RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIETE ET D'EFFICACITE

Grille de lecture

FAITS & CHIFFRES

Nov 2022

BRASSE
Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité

Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques

Les brasseurs d'air en plafond permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement de locaux. Ils sont par conséquent une solution permettant de **s'adapter au changement climatique**. Mais ces équipements sont peu préconisés par les équipes de conception de bâtiment. D'un point de vue technique, cela est dû à un **manque de connaissance** sur ces équipements, leurs **performances** et leur **effet sur la qualité des ambiances intérieures**. Cela pourrait également être dû à des **raisons socio-économiques** non encore identifiées.

Ces constats ont fait naître le programme de recherche : BRASSE[1].

Ce projet de recherche vise principalement à **enrichir** le secteur du bâtiment de connaissances sur ces équipements, de développer des **méthodes** et outils d'aide à l'intégration et à **diffuser** cette connaissance.

Les axes de recherche :

- Performances des brasseurs
- Effets sur la qualité des ambiances intérieures
- Outil d'aide à la conception
- Identification des freins sociologiques
- Diffusion des connaissances

Les ambitions du projet sont :

- Réaliser un important **retour d'expérience** à travers 4 approches :
    1. Retour d'expérience technique préliminaire
    2. Analyse sociologique
    3. Mesure sur site pour la validation de la méthodologie
    4. POE

- Établir un **protocole standardisé** de détermination des performances des brasseurs d'air présents sur le marché et **approfondir l'étude** de brasseurs d'air.
- Définir une **méthode** permettant de proposer une **conception de locaux équipés** de plusieurs brasseurs d'air (calepinage) prenant en compte les principaux paramètres : thermiques, acoustiques et aérauliques.
- **Comprendre le rapport des utilisateurs et des professionnels** aux brasseurs d'air quels que soient leurs profils, le climat ou le territoire dans lequel ils évoluent.
- **Diffuser l'information** pour faire monter en compétence l'ensemble de la filière bâtiment sur ces sujets.

Ce programme de recherche rassemble six entités regroupant des compétences pluridisciplinaires :

- **Surya consultants** : bureau d'études, recherches et développement/ Thermique – énergie – environnement – modélisation (pilote du projet)
- **LASA** : laboratoire privé en acoustique
- **ISEA** : cabinet de recherche et de conseil en sciences sociales – spécialisé en analyse et intervention comportementale
- **Laboratoire PIMENT – Université publique de la Réunion** : Génie de l'Habitat et génie thermique
- **Laboratoire Eiffel aérodynamique, filiale du groupe CSTB** : aérodynamique - expérimentation
- **EnvirobatBDM** : centre de ressources et démarche bâtiments durables méditerranéens – retour d'expérience

Le programme BRASSE est lauréat de l'appel à projets de recherche **Bâtiments responsables 2020** géré par l'Ademe.

[1] BRasseur d'Air : une Solution de Sobriété et d'Efficacité

Le présent document a pour objectif de donner au lecteur une vision générale des travaux réalisés dans le cadre du projet de recherche BRASSE en listant l'ensemble des rapports disponibles à la lecture.

Le schéma de la page suivante représente l'ensemble des travaux réalisés dans le cadre du projet BRASSE et les enchaînements et logiques les liants.

La production du projet BRASSE se décompose en 4 études :

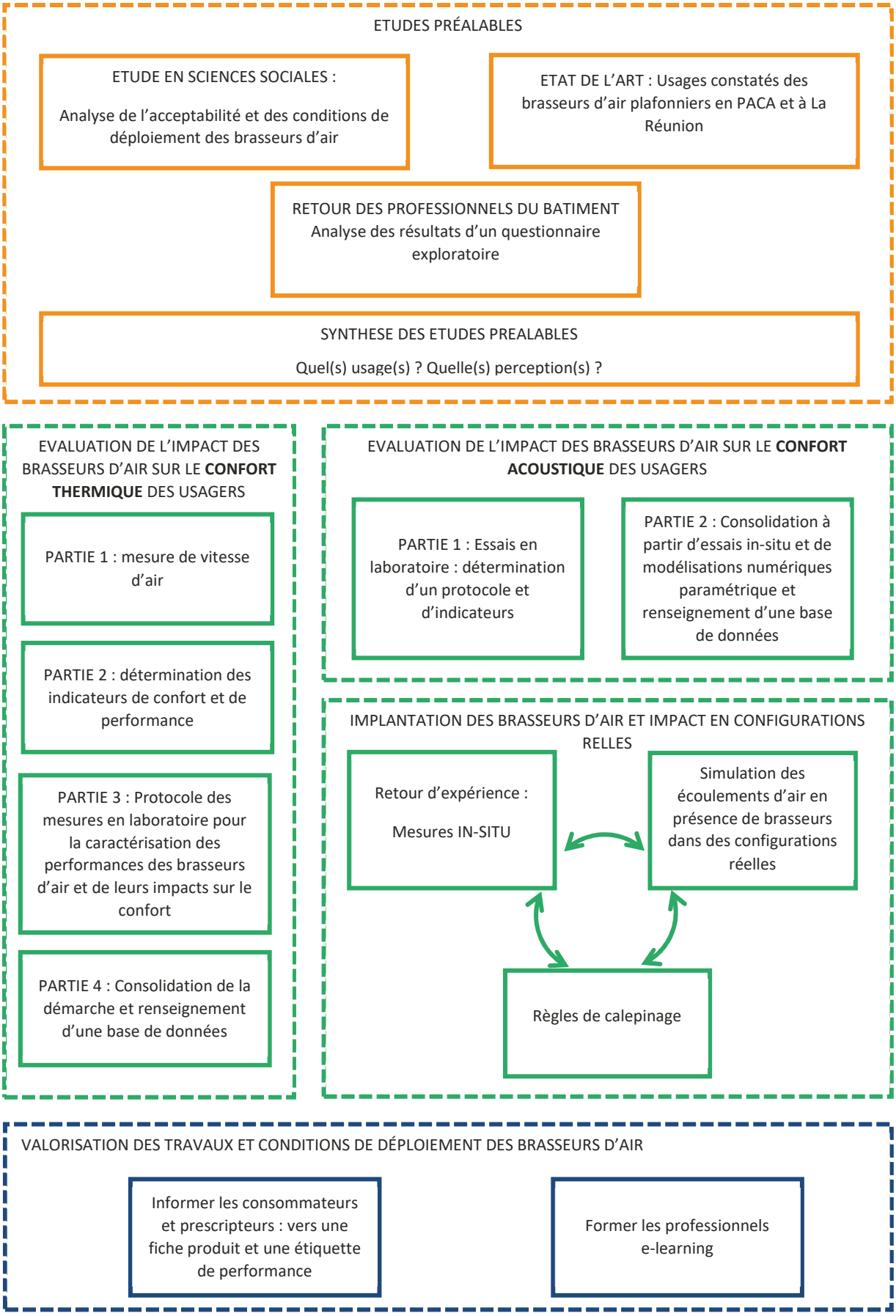
- Etude 1 : Les études préalables
- Etude 2 : L'évaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort acoustique des usagers
- Etude 3 : L'valuation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers
- Etude 4 : L'implantation des brasseurs d'air et impact en configurations réelles

Les résultats de chacune de ces études sont repris dans un ou plusieurs rapports. La liste des rapports est reprise dans le tableau ci-dessous.

Rapport 1.1	Etude en sciences sociales : Analyse de l'acceptabilité et des conditions de déploiement des brasseurs d'air Une étude qualitative de l'offre et la demande
Rapport 1.2	Etat de l'art : Usages constatés des brasseurs d'air plafonniers en PACA et à La Réunion
Rapport 1.3	Retour des professionnels du bâtiment - Analyse des résultats d'un questionnaire exploratoire
Rapport 1.4	Brasseurs d'air : Quel(s) usage(s) ? Quelle(s) perception(s) ? Synthèse des études préalables
Rapport 2	Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort acoustique des usagers : Synthèse des résultats d'acoustique
Rapport 3.1	Analyse des protocoles de mesures de vitesse d'air
Rapport 3.2	Indicateurs de performance des brasseurs
Rapport 3.3	Retour d'expérience : mesures in-situ
Rapport 3.4	Simulation des écoulements par CFD
Rapport 3.5	Vers une base de données BRASSE - validation du protocole et étude du gamme de brasseurs
Rapport 4.1	BRASSE_Règles_calepinage_2023_0_1
Rapport 4.2	BRASSE_Protocole_mesure_2023_1_0

Les rédacteurs de chaque rapport sont mentionnés sur chacun d'eux.

L'ensemble du consortium vous souhaite une bonne lecture et se tient à votre disposition pour tout renseignement.


ETUDES PRÉALABLES
ETUDE EN SCIENCES SOCIALES :
Analyse de l'acceptabilité et des conditions de déploiement des brasseurs d'air
ETAT DE L'ART : Usages constatés des brasseurs d'air plafonniers en PACA et à La Réunion
RETOUR DES PROFESSIONNELS DU BATIMENT
Analyse des résultats d'un questionnaire exploratoire
SYNTHESE DES ETUDES PREALABLES
Quel(s) usage(s) ? Quelle(s) perception(s) ?
EVALUATION DE L'IMPACT DES BRASSEURS D'AIR SUR LE CONFORT THERMIQUE DES USAGERS
PARTIE 1 : mesure de vitesse d'air
PARTIE 2 : détermination des indicateurs de confort et de performance
PARTIE 3 : Protocole des mesures en laboratoire pour la caractérisation des performances des brasseurs d'air et de leurs impacts sur le confort
PARTIE 4 : Consolidation de la démarche et renseignement d'une base de données
EVALUATION DE L'IMPACT DES BRASSEURS D'AIR SUR LE CONFORT ACOUSTIQUE DES USAGERS
PARTIE 1 : Essais en laboratoire : détermination d'un protocole et d'indicateurs
PARTIE 2 : Consolidation à partir d'essais in-situ et de modélisations numériques paramétrique et renseignement d'une base de données
IMPLANTATION DES BRASSEURS D'AIR ET IMPACT EN CONFIGURATIONS RELLES
Retour d'expérience :
Mesures IN-SITU
Simulation des écoulements d'air en présence de brasseurs dans des configurations réelles
Règles de calepinage
VALORISATION DES TRAVAUX ET CONDITIONS DE DÉPLOIEMENT DES BRASSEURS D'AIR
Informer les consommateurs et prescripteurs : vers une fiche produit et une étiquette de performance
Former les professionnels e-learning

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIETE ET D'EFFICACITE

Etude 1 – Etudes préalables

Rapport 1.1 - Analyse de l'acceptabilité et des conditions de déploiement des brasseurs d'air - Une étude qualitative de l'offre et de la demande

RAPPORT FINAL

ISEA

Juin 2022

FAITS & CHIFFRES

BRASSE
Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité

Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques

Les brasseurs d'air en plafond permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement de locaux. Ils sont par conséquent une solution permettant de **s'adapter au changement climatique**. Mais ces équipements sont peu préconisés par les équipes de conception de bâtiment. D'un point de vue technique, cela est dû à un **manque de connaissance** sur ces équipements, leurs **performances** et leur **effet sur la qualité des ambiances intérieures**. Cela pourrait également être dû à des **raisons socio-économiques** non encore identifiées.

Ces constats ont fait naître le programme de recherche : BRASSE[1].

Ce projet de recherche vise principalement à **enrichir** le secteur du bâtiment de connaissances sur ces équipements, de développer des **méthodes** et outils d'aide à l'intégration et à **diffuser** cette connaissance.

Les axes de recherche :

- Performances des brasseurs
- Effets sur la qualité des ambiances intérieures
- Outil d'aide à la conception
- Identification des freins sociologiques
- Diffusion des connaissances

Les ambitions du projet sont :

- Réaliser un important **retour d'expérience** à travers 4 approches :
    1. Retour d'expérience technique préliminaire
    2. Analyse en sciences sociales
    3. Mesure sur site pour la validation de la méthodologie
    4. POE

- Établir un **protocole standardisé** de détermination des performances des brasseurs d'air présents sur le marché et **approfondir l'étude** de brasseurs d'air.
- Définir une **méthode** permettant de proposer une **conception de locaux équipés** de plusieurs brasseurs d'air (calepinage) prenant en compte les principaux paramètres : thermiques, acoustiques et aérauliques.
- **Comprendre le rapport des utilisateurs et des professionnels** aux brasseurs d'air quels que soient leurs profils, le climat ou le territoire dans lequel ils évoluent.
- **Diffuser l'information** pour faire monter en compétence l'ensemble de la filière bâtiment sur ces sujets.

Ce programme de recherche rassemble six entités regroupant des compétences pluridisciplinaires :

- **Surya consultants :** bureau d'études, recherches et développement/ Thermique – énergie – environnement – modélisation (pilote du projet)
- **LASA :** laboratoire privé en acoustique
- **ISEA :** cabinet de recherche et de conseil en sciences sociales – spécialisé en analyse et intervention comportementale
- **Laboratoire PIMENT – Université publique de la Réunion :** Génie de l'Habitat et génie thermique
- **Laboratoire Eiffel aérodynamique, filiale du groupe CSTB :** aérodynamique - expérimentation
- **EnvirobatBDM :** centre de ressources et démarche bâtiments durables méditerranéens – retour d'expérience

Le programme BRASSE est lauréat de l'appel à projets de recherche **Bâtiments responsables 2020** géré par l'Ademe.

[1] BRasseur d'Air : une Solution de Sobriété et d'Efficacité

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée par **Dorian LITVINE**, du cabinet de recherche et de conseil ISEA, **Rémi de LAAGE**, du cabinet d'études et de conseil SSE, et **Sébastien HOARAU** (Master 2 Psychologie Sociale et Environnementale – UNIMES) dans le cadre du projet BRASSE - financement ADEME (APR "Vers des bâtiments responsables" - 2019)

Nous tenons à remercier tout particulièrement l'ADEME pour sa confiance et son soutien financier, ainsi que l'ensemble des personnes ayant pris le temps de répondre à nos questions.

CITATION DE CE RAPPORT

Litvine D., de Laage R. et Hoarau S., 2022. Analyse de l'acceptabilité et des conditions de déploiement des brasseurs d'air : Une étude qualitative de l'offre et de la demande. Tache 4 du Projet BRASSE – Pour le compte de l'ADEME

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01
Numéro de convention : 2004C0018
Appel à projets de recherche Vers des Bâtiments Responsables à l'horizon 2020"
Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Dorian LITVINE - ISEA
Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline
Direction/Service : DVTD/SB

SOMMAIRE

_Toc108042524

RÉSUMÉ (TACHE 4)..... 5

SIGLES ET ACRONYMES 6

1. CONTEXTE, PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS 7

1.1. Contexte et objectifs du projet BRASSE 7
1.2. Objectifs et structure du volet d'étude en Sciences Sociales..... 7
1.3. Etat de l'art..... 8
1.4. Problématique et notions étudiées 8

2. ELEMENTS DE METHODOLOGIE 10

2.1. Cadre conceptuel et méthodologique..... 10
2.2. Cibles et échantillon d'étude 13
2.3. Description de la méthodologie empirique..... 15

3. PRINCIPAUX RÉSULTATS 21

3.1. Perception et attitude vis-à-vis des brasseurs d'air..... 21
3.2. L'usage des brasseurs d'air 32
3.3. Le contrôle sur l'usage 45
3.4. L'influence sociale et croyances normatives 50
3.5. Les leviers à l'utilisation des brasseurs d'air - solutions larges 52

4. ELEMENTS DE SYNTHESE ET FOCUS SECTORIELS 55

4.1. Synthèses par type de cibles (demande)..... 55
4.2. Focus sur le logement social 60
4.3. Focus sur les responsables techniques et décisionnaires en logement social..... 61
4.4. Focus sur la dynamique entre offre et demande 65

5. DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS..... 68

5.1. Discussion..... 68
5.2. Pistes d'actions et d'études - recommandations..... 73

Bibliographie..... 77

Index des tableaux et figures 79

RÉSUMÉ (TACHE 4)

Econome en énergie tout en étant à faible intensité technologique, le brasseur d'air (**noté BA**) représente une solution potentiellement pertinente en termes de confort d'été/hiver. La nouvelle RE2020 semble accorder une place particulière à cet équipement et laisse entrevoir un potentiel de déploiement futur. Depuis longtemps présent dans les espaces bâtis, notamment à la Réunion, et ancré dans l'imagerie collective, le brasseur d'air est pourtant actuellement peu prescrit et installé en France métropolitaine mais aussi, dans une moindre mesure, dans les DROM-COM. Le projet BRASSE vise ainsi à mieux cerner les conditions de déploiement de cet équipement ancien mais fortement en prise avec l'actualité.

La présente étude représente le volet sciences sociales du projet BRASSE. Elle mobilise un cadre théorique et empirique au croisement de diverses disciplines telles que la psychologie sociale et cognitive, l'économie comportementale et la sociologie de l'énergie. Une campagne de 43 entretiens semi-directifs a été menée à l'été 2021 en France métropolitaine et à la Réunion, auprès d'usagers d'espaces bâtis et de professionnels, afin de mieux appréhender la demande et l'offre de brasseurs d'air. Des notions et facteurs comme les représentations, les perceptions, les motivations, les freins et leviers à l'installation et à l'utilisation de brasseurs d'air ont été étudiés dans une approche exploratoire. Si nous répondons à certaines hypothèses de départ, notre travail empirique a également fait émerger diverses questions et problématiques utiles aux chercheurs qui souhaitent approfondir le sujet. Notre étude fournit finalement un ensemble de résultats et de recommandations utiles aux acteurs souhaitant déployer les brasseurs d'air : professionnels, institutions, etc.

Principaux résultats

Du côté de la demande, à savoir les usagers d'espaces bâtis interrogés, les différences les plus marquées concernent le type d'occupation (habitation/hors habitation). La distinction entre les usagers avec et sans brasseurs d'air porte surtout sur la perception et les attentes. La comparaison entre la métropole et la Réunion fait également émerger de nombreux résultats. Globalement, le brasseur d'air souffre d'une image plutôt négative, renvoyant souvent à un équipement peu moderne et peu esthétique. Le jugement global porté sur le brasseur d'air reste malgré tout positif : c'est un équipement utile, pratique et efficace (dans une certaine limite), économique et écologique. Le brasseur d'air reste majoritairement utilisé en saison chaude, un faible nombre d'usagers l'utilisent pour de la destratification en hiver (métropole). S'il apporte un véritable confort aux usagers, son efficacité perçue reste tributaire (1) de la sensibilité thermique des individus, elle-même fluctuante selon les zones climatiques ; (2) de la conception du bâti dans lequel il est installé (une efficacité réduite dans un bâtiment mal isolé, perçu comme un agrément de confort apprécié mais parfois limité dans un bâtiment bioclimatique, etc.) ; ainsi que (3) des solutions complémentaires permettant de participer à l'amélioration du confort ressenti (ventilation naturelle, climatisation, etc.). - Notons à ce propos que les répondants tendent assez souvent à confondre les termes de « refroidissement », qui est une diminution de la température réelle, avec « rafraichissement », qui est une diminution de la température ressentie. Nous utilisons dans ce rapport le terme de « rafraichissement » mais rappelons que le travail qualitatif vise aussi à respecter au mieux les déclarations et les interprétations des répondants. - Sur ce dernier point, l'utilisation des brasseurs d'air se confronte fortement avec la climatisation, souvent jugée plus efficace pour répondre aux besoins de rafraichissement. Une confrontation qui peut aussi renvoyer à des questions de représentations sociales et économiques telles que le luxe, le confort, la modernité, la maitrise et le progrès, etc.

Du côté de l'offre, pour la plupart des professionnels interrogés le brasseur d'air est un équipement technique indispensable qui, en plus d'être sobre, améliore nettement la sensation de confort ressenti. Il permet notamment (a) d'optimiser la température ressentie, ce qui conduit à une meilleure acceptabilité de la chaleur ; (b) la réduction de l'usage de la climatisation (en durée ou en température), ainsi que (c) d'homogénéiser l'air (de stratification). Notons que si un certain nombre de professionnels évoquent la déstratification d'hiver, cette utilisation reste très rare car dépendante d'une certaine configuration : haut plafond, gros volume, système de chauffage particulier, etc. Cela requiert d'utiliser des brasseurs d'air de grande taille, qui ne figurent pas dans le périmètre de BRASSE. Les brasseurs d'air sont souvent recommandés quand un rafraîchissement passif efficace est possible. En effet, en l'absence d'une conception adaptée son utilité peut être remise en cause. Si la demande dans le tertiaire tend à augmenter, surtout en milieu scolaire, la plupart des professionnels interrogés prescrivent / installent moins souvent de brasseurs d'air dans le secteur habitation, notamment privé. La maison individuelle apparait comme un marché à ouvrir, notamment en travaillant sur l'intégration des brasseurs d'air dans l'architecture d'intérieur. Aussi, la plupart des aspects négatifs seraient surtout issus de craintes (installation, sécurité, couts, etc.) et de mauvaises pratiques dans la conception / installation. A ce titre, les professionnels soulignent le manque d'études et de retours d'expérience (REx) des usagers et maitres d'ouvrages (MOA). Ceci pourrait expliquer en partie la compétition avec la climatisation, bien que ces équipements ne répondent pas aux mêmes besoins et puissent se compléter dans certains cas. Notons que l'usage de la climatisation ou de brasseurs d'air nécessite différentes stratégies de conception bioclimatique. Or cette distinction ne semble pas être acquise par l'ensemble des acteurs de la construction et la méconnaissance de l'efficacité des brasseurs d'air ne permet pas de bien appréhender leur impact sur le confort.

Notre étude suggère finalement que pour stimuler le déploiement des brasseurs d'air il est important de cibler les divers acteurs de la chaine offre/demande dans le cadre d'une stratégie globale. Chaque acteur présente en effet des motivations et freins/blocages particuliers à adresser pour une intervention efficace, tout en distinguant la zone géographique qui détermine des différences climatiques et socioéconomiques et donc des différences de conception des bâtiments. Si la sensibilisation des usagers et des MOA semble essentiel, notamment en faisant remonter les avis et expériences des usagers aux MOA, une intervention sur les acteurs de l'offre s'avère tout aussi importante : (1) informer, former et mettre en lien les professionnels (REX, fiches techniques, partage de pratiques, etc.) ; (3) faire remonter la réalité de terrain aux fabricants afin d'aboutir à des produits adaptés aux conditions françaises; (4) étendre la représentativité de l'étude (approche quantitative confirmatoire) et construire des profils-types d'usagers à tester en situation réelle au cours d'une expérimentation à plus large échelle.

SIGLES ET ACRONYMES

BA	Brasseurs d'air
MOA	Maitre / maitrise d'ouvrage
MOE	Maitre / maitrise d'œuvre
OLS	Organisme de logement social
RTAA DOM	Réglementation Thermique, Acoustique et Aération en Départements Outre-Mer
UH	Usager en habitation (logement privé ou social)
UHH	Usager hors-habitation (bureaux et établissements scolaires)
UH-brasseurs d'air	Usager en habitation avec brasseurs d'air
UHH-brasseurs d'air	Usager hors-habitation avec brasseurs d'air
UH-SBA	Usager en habitation sans brasseurs d'air
UHH-SBA	Usager hors-habitation sans brasseurs d'air

1. CONTEXTE, PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS

1.1. Contexte et objectifs du projet BRASSE

Les brasseurs d'air plafonniers (notés **brasseurs d'air**) peuvent potentiellement contribuer à divers enjeux actuels. Ils permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments, en été comme en hiver, ainsi que la qualité des ambiances intérieures tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire à la diminution de la température ressentie. Ils représentent un système passif peu consommateur d'énergie qui augmente la pertinence des opérations qualitatives telles que les opérations passives, bioclimatiques, etc. « Alors qu'en confort d'hiver, les brasseurs d'air agissent par homogénéisation des températures (déstratification), en confort thermique d'été, ils permettent le rafraîchissement des occupants par une augmentation de la vitesse de l'air sur la peau » (p.45, ICEB et ARENE, 2014)[2]. Notons toutefois que l'usage des brasseurs d'air pour la déstratification n'est pertinent que dans des conditions particulières (grands volumes, mode d'émission de chauffage non réparti, grands brasseurs d'air, etc.).

Les brasseurs d'air permettent de répondre à la fois aux enjeux de performance, de confort et d'adaptation au changement climatique tout en étant à faible intensité technologique. De plus, ils peuvent s'adapter à tout type de bâtiments (tertiaires de bureaux, enseignement, logement, etc.) pour du neuf ou de l'existant, ce qui en fait une solution flexible et facile à mettre en œuvre.

Plusieurs études en laboratoire ont testé et validé l'apport des brasseurs d'air, et notamment l'accroissement des échanges convectifs et évaporatifs, dans des environnements de bureau, d'enseignement, sportif et autres[3]. L'augmentation de la vitesse d'air améliorerait nettement la sensation de confort thermique pendant la saison estivale.

Les brasseurs d'air sont ainsi présentés comme l'une des solutions évidentes, économiques et écologiques au problème de l'inconfort d'été[4]. A ce titre, ils ont une place spécifique dans la future réglementation environnementale RE2020, qui valorise à la fois le taux de brassage horaire et l'impact sur la consommation électrique dans le bilan énergétique global[5]. Cette intégration des brasseurs d'air se base sur diverses études techniques menées depuis une vingtaine d'années sur les performances des brasseurs d'air (cf. CERQUAL, 2021 ; cf. revue de littérature commune BRASSE). Ils ont également une place dans la RTAA DOM qui, depuis 2016, réglemente la place du brasseur d'air au sein des logements neufs[6].

Malgré ces résultats et apports, leur déploiement est limité en France métropolitaine, contrairement à d'autres pays comme les USA où 80% des maisons individuelles en sont équipés ou encore les départements d'outre-mer comme La Réunion où leur usage est à priori plus répandu. Ainsi, ces équipements sont encore peu préconisés par les professionnels du bâtiment en Métropole, que ce soit les concepteurs ou prescripteurs.

Nous partons du postulat que ces blocages sont de nature technique, notamment dû au manque de connaissance des professionnels, ainsi que psychosociologiques (représentations, croyances, contrôle perçu, etc.). La structure du marché, ses acteurs et la rencontre entre l'offre et la demande sont également questionnés.

Le projet BRASSE vise à identifier les raisons de ce blocage, en étudiant les performances, l'impact sur le confort et la désirabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques. Pour cela notre projet propose notamment de (1) produire de la connaissance sur les usages de ces équipements afin (2) d'enrichir les acteurs de la construction et (3) de mettre à jour les leviers et verrous à leur développement, dans l'objectif de (4) produire des préconisations visant à stimuler leur déploiement.

En effet, cette partie du projet se base sur une comparaison entre la France métropolitaine et la Réunion, un département/région où l'utilisation des brasseurs d'air est historique et à priori ancrée dans les coutumes.

Au final, en partant de l'idée que les brasseurs d'air peuvent apporter une contribution significative au défi de la transition énergétique et écologique, le projet BRASSE cherche globalement à offrir des résultats concrets et opérationnels aux acteurs afin que cette contribution soit reconnue en tant que tel et bien mise en œuvre.

1.2. Objectifs et structure du volet d'étude en Sciences Sociales

Les protocoles visant à estimer les performances techniques des brasseurs d'air ne représentent pas la réalité des usages, ni ne prennent en compte l'environnement d'usage ou encore l'impact des brasseurs d'air sur un espace et un usager. Si l'aspect technique est essentiel, la dimension humaine et liée à l'usage l'est tout autant. Ainsi, le projet BRASSE repose sur un consortium pluridisciplinaire réunissant des bureaux d'études énergétiques, environnementales et acoustiques, des

2 ICEB & ARENE, 2014. Confort d'été passif.

3 Nous renvoyons le lecteur à l'étude bibliographique du projet BRASSE (document dédié). Par exemple, Zhang et al, (2015) ont montré que ce pouvoir correcteur allait de 1 à 6° et que les BA permettent d'atteindre des conditions de confort jusqu'à plus de 28°C.

4 Cf. Salomon T., Aubert C., 2004. Fraîcheur sans clim', Terre Vivante. 160 p. ISBN 2914717091

5 Certains professionnels doutent du soutien de la RE2020 aux BA étant donné le flou existant sur le coefficient de débit d'air et vitesse d'air (sans dimension).

6 Elle s'applique aux bâtiments d'habitation construits à une altitude inférieure à 600 mètres. Deux éléments sont à prendre en compte : (1) l'obligation de mettre en œuvre une attente dans un séjour mesurant moins de 20 m2 ; (2) L'obligation d'équiper un BA dans les chambres qui ne bénéficient pas d'une ventilation autonome apportée par au moins deux ouvrants menant vers l'extérieur du logement

chercheurs et consultants en Sciences Sociales, ainsi que des laboratoires de recherche et centre de ressources. Le projet a donc une ambition clairement sociotechnique et expérimentale.

Le présent rapport porte sur la dimension sociale, humaine et organisationnelle, à travers une étude en Sciences Sociales inspirée de disciplines telles que la psychologie sociale et cognitive, la sociologie de l'énergie et l'économie comportementale.

Ce volet d'étude a pour objectif d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes : *Comment les usagers utilisent les brasseurs d'air ? Quelles sont les représentations qu'en ont les usagers ayant et n'ayant pas de brasseurs d'air ? Il y a-t-il des différences fortes selon le type d'usager et d'occupation (habitation, hors habitation, etc.) ? Pourquoi observe-t-on une faible utilisation des brasseurs d'air en France ? Ce blocage provient-il des usagers qui ne souhaitent pas utiliser de brasseurs d'air (côté demande) ? Si oui, pour quelles raisons ? En quelle mesure le blocage provient des professionnels (côté offre) ? Quels enseignements peut-on tirer de la Réunion ? Comment lever les freins et répondre aux motivations des usagers afin d'essaimer l'équipement ?*

La réponse à ces questions permet à la fois de nourrir la réflexion des autres membres du consortium, d'augmenter la connaissance globale des brasseurs d'air et de produire des recommandations visant à faciliter leur diffusion. La démarche sociale est bien intégrée à l'approche scientifique et technique du projet.

Pour la dimension de la demande, nous proposons d'explorer les thématiques suivantes :

- Les représentations liées aux brasseurs d'air chez les usagers et non usagers
- Les conditions d'appropriation et de désirabilité des brasseurs d'air : les motivations et freins à utiliser les brasseurs d'air, les bénéfices et inconvénients vécus ou perçus, les conséquences potentielles pour les usagers sans brasseurs d'air et les conditions qui les amèneraient à les utiliser davantage
- La notion d'usage : comment les brasseurs d'air sont utilisés, les usages les plus pertinents, le rôle du contrôle perçu sur l'équipement

Ces notions sont complétées par une analyse du côté offre (professionnels) auprès de prescripteurs, distributeurs et installateurs :

- Les freins à la diffusion des brasseurs d'air
- Les retours qu'ils ont des usagers – l'équilibre offre/demande dans la construction du marché
- Ce qui leur manque pour intégrer davantage les brasseurs d'air dans leur offre de service
- Les recommandations qu'ils ont à formuler pour la diffusion des brasseurs d'air

Ces thématiques sont traitées dans **une démarche exploratoire**, en émettant un nombre limité d'hypothèses ex-ante. Pour cela nous mobilisons **un protocole qualitatif,** via la réalisation d'une campagne d'entretiens semi-directifs (n=28), auprès d'un panel diversifié de cibles jugées pertinentes : usagers avec ou sans brasseurs d'air, en secteur d'habitation ou hors habitation, en France métropolitaine ou à la Réunion. Le secteur habitation concerne le logement privé et social, et le secteur hors habitation porte essentiellement sur les bâtiments scolaires (lycée et IUT) et les bureaux (publics et privés). Un web-questionnaire administré après les entretiens auprès des usagers interrogés complète les données collectées par entretien (N=24), nous permettant de consolider certains résultats par test statistique. Des entretiens menés auprès de professionnels et autres acteurs fournissent des données sur la dimension offre des brasseurs d'air (N=14).

Ce document constitue un rapport de recherche détaillé, pouvant servir à de futurs travaux de recherche. Nous avons également rédigé systématiquement des synthèses et produit des recommandations opérationnelles.

Ce rapport est constitué de 3 parties. La première partie décrit notre méthodologie, dont le protocole empirique et l'échantillon obtenu. Nous développons ensuite les résultats produits en seconde partie. Nous esquissons enfin des recommandations.

1.3. Etat de l'art

Nous renvoyons le lecteur à l'état de l'art commun, document qui réunit les apports des divers membres du consortium BRASSE.

1.4. Problématique et notions étudiées

La revue de littérature (cf. livrable commun) nous permet de mettre en évidence plusieurs enjeux et axes de réflexion sur lesquels s'est appuyée notre recherche. Nous avons pu identifier des éléments structurants tels que :

- Les représentations symboliques des brasseurs d'air ;
- L'usage qui en est fait ;
- Le contrôle effectif et la sensation de contrôle sur l'objet ;
- La difficulté perçue à installer / utiliser un brasseur d'air et les facteurs facilitant /freinant ;
- Les croyances, à savoir les anticipations de l'usager quant aux conséquences de l'utilisation de brasseurs d'air ;
- Le confort thermique perçu par les usagers et autres effets tirés de l'utilisation de brasseurs d'air ;
- Les économies d'énergies pouvant être réalisées ;

- La compétition avec les autres équipements, notamment la climatisation.

Ces axes se déclinent en questions, que nous soulevons et proposons d'aborder dans ce rapport :

- La sensation de contrôle de l'équipement est-elle une condition sine qua non de l'usage et la satisfaction d'utilisation du brasseur d'air ? La sensation de contrôle est un concept composite : utilisabilité, capacité à manipuler/régler l'objet, information et compétences pour faire un choix, etc.
- Etant donné la dimension perceptive de la sensibilité thermique, les besoins de rafraîchissement sont différents selon les individus et le moment. La perception des usagers avec brasseurs d'air et sans brasseurs d'air est-elle homogène ? L'usage modifie-t-il la perception de confort ?
- Le brasseur d'air est-il perçu comme un équipement qui répond aux besoins ?
- Qu'en est-il de l'efficacité des brasseurs d'air comparée à celle des climatiseurs du point de vue des usagers ?
- Il y a-t-il une concurrence ou des conflits d'usage entre équipements (brasseurs d'air, climatisation, climatiseurs, ventilateurs, etc.) : comment et pourquoi ? Dans quels types d'espace ?
- Pourquoi les brasseurs d'air ne sont pas plus développés en France Métropolitaine ? Dans quelle mesure le sont-ils à la Réunion ?
- Quelles sont les conditions d'usage des brasseurs d'air, ce qui pousse à les utiliser (freins et leviers)
- Comment déployer l'usage des brasseurs d'air ? Quels sont les leviers et les freins à leur déploiement ?
- La demande stimule-t-elle l'offre ou est-ce l'inverse ? Les deux ?

La démarche exploratoire que nous adoptons dans cette étude conduit à ne pas formuler trop d'hypothèses ex-ante, si ce n'est quelques suppositions ; mais de générer des observations et analyses permettant d'en émettre à l'issu du travail de recherche. L'investigation qualitative déployée permet en effet de faire émerger de nouvelles questions, non identifiées en début de recherche, et que nous listons en conclusion de ce rapport.

2. ELEMENTS DE METHODOLOGIE

2.1. Cadre conceptuel et méthodologique

Notre recherche croise diverses approches et modèles sur le plan théorique et pratique.

- Une approche qualitative inspirée de la Sociologie de l'Énergie et de l'anthropologie
- Une approche comportementale empruntée à la Psychologie Sociale et à l'Économie
- Une méthodologie d'enquêtes basée sur les travaux en Psychologie Cognitive et en *Survey Methodology*

Nous suivons notamment la « Tailored Design Method » (Dilman et al. 2014) dans le croisement de nos modes d'investigation.

Notre étude considère deux comportements/actions : (1) le fait d'installer des brasseurs d'air, pour ceux qui n'en n'ont pas encore, mais qui ont la liberté de le faire ; (2) le fait d'utiliser le(s) brasseurs d'air installé(s) pour les usagers bénéficiant d'un tel équipement, quand son utilisation n'est pas imposée (ex. espaces collectifs).

2.1.1. Notre approche qualitative

Dans notre étude nous privilégions une approche qualitative permettant d'approfondir les mécanismes et phénomènes à l'œuvre dans la problématique visée, notamment via des études de cas, des acteurs et des problématiques ciblés et jugés pertinents. **Notre démarche est exploratoire**, elle vise avant tout à recueillir les éléments indirects et spontanés afin d'en tirer des pistes de réflexion et d'émettre des hypothèses utiles à de futures recherches ainsi qu'à des actions visant le déploiement des brasseurs d'air.

Les études qualitatives nécessitent moins d'observations que les approches quantitatives et ne recherchent pas la robustesse statistique, mais une compréhension fine et ancrée de l'objet de l'enquête. En général, nous obtenons des résultats plus riches et détaillés sur les relations entre facteurs ainsi que sur les profils des répondants. Ce sont des études de nature plus sociologique et psychologique, qui visent à expliquer en profondeur les comportements, les motivations ou à guider des recherches exploratoires et créatives. **Les études qualitatives ne visent pas la représentativité statistique de l'échantillon, mais sa diversité.** Ainsi, quelques entretiens bien ciblés suffisent généralement à atteindre l'objectif de saturation de l'information. Cette étape peut être utilisée pour calibrer un questionnaire quantitatif, ou bien venir après une telle étape afin de préciser ou d'expliquer les résultats obtenus.

Notons que certains outils statistiques peuvent aussi être appliqués sur un échantillon réduit, permettant de compléter les observations qualitatives[7]. Nous avons ici fait le choix d'intégrer, en plus de la phase d'entretiens qualitatifs, des éléments qui ne peuvent se mesurer que dans une approche statistique (modalités de réponses complexes, plusieurs options de réponses, etc.) (Voir partie 2.1.2). **C'est pourquoi notre étude combine deux modes d'investigation** afin de comprendre les enjeux, les problématiques et les freins autour de l'utilisation des brasseurs d'air : (1) une campagne d'entretiens semi-directifs ; (2) un web-questionnaire complémentaire, administré après entretien.

Cette enquête pourra en outre être complétée par un questionnaire à large échelle diffusé dans un futur proche par l'équipe de SURYA Consultants, dans une approche confirmatoire.

2.1.2. L'approche comportementale

2.1.2.1. La théorie du comportement planifié

Notre cadre d'analyse du comportement et de fait nos supports d'investigation s'inscrivent dans la Théorie du Comportement Planifié (*Theory of Planned Behavior*, **notée TPB** ; Ajzen, 1991, 2002). La TPB propose un des modèles d'action les plus efficaces en Psychologie Sociale pour expliquer, prédire voire modifier un comportement donné. Ce modèle permet de croiser des variables de nature variées : économiques, affectives, cognitives, normatives, etc.

NOTE : la TPB est mobilisée partiellement dans notre étude. Nous ne mesurons pas l'intention ni le niveau d'action (s'équiper ou utiliser davantage un brasseur d'air), qui nécessiterait des entretiens plus longs voire une étude statistique sur un échantillon plus conséquent. **Nous utilisons le modèle TPB avant tout comme cadre pour intégrer la diversité des facteurs** pouvant conduire à l'acquisition/utilisation d'un brasseur d'air. Ainsi, nous exploitons avant tout la notion de **croyance**. Nous rappelons que notre étude se focalise sur deux actions ou comportements : (1) l'installation d'un brasseur d'air ; (2) l'utilisation (plus intense) quand l'usager n'a pas le choix dans l'installation d'un brasseur d'air (hors habitation notamment). Dans certains cas, les usagers ne peuvent ni choisir d'installer un brasseur d'air ni de l'utiliser ou pas (espaces collectifs). Nous sortons alors du cadre du modèle TPB, qui ne concerne que des actions sur lesquelles l'individu a un certain

7 Selon la Tailored Design Method (Dillman et al. (2014), la combinaison de plusieurs étapes empiriques et de modes d'investigation permet de construire des dispositifs d'enquête très robustes. Cette méthode préconise notamment qu'une enquête quantitative (enquête principale) soit précédée d'une enquête qualitative préliminaire (enquête exploratoire), afin de calibrer et d'optimiser au mieux tant la forme que le contenu de cette enquête. Une troisième étape, le plus souvent qualitative (entretiens de groupes, ateliers participatifs, etc.) peut aussi revenir sur les résultats les plus marquants auprès d'un échantillon représentatif des cibles (enquête confirmatoire). Ainsi, les éléments les plus pertinents issus de l'analyse de cette étude exploratoire pourraient tout à fait faire l'objet d'une étude quantitative puis d'une étude confirmatoire (quantitative ou qualitative)

degré de choix. Nous avons toutefois choisi de compléter notre approche qualitative par un questionnaire afin d'intégrer certaines variables de la TPB, afin d'alléger l'entretien (Voir 2.1.1).

Selon ce modèle, le fait d'utiliser ou de s'équiper d'un brasseur d'air (le comportement ou l'action) est déterminé en grande partie par l'intention d'entreprendre cette action. Cette intention comportementale est déterminée à partir de 3 grandes variables :

1. **L'attitude envers les** brasseurs d'air (*Behavioral Attitude* - **A_B**) résume le jugement global de la cible sur l'action elle-même (s'équiper d'un brasseur d'air), sur une base affective, cognitive et rationnelle. Cette attitude est favorable quand les résultats espérés positifs sont supérieurs aux résultats espérés négatifs.

2. **Les normes subjectives** (*Subjective Norms* - **SN**) résument l'influence sociale liée à la décision de s'équiper de brasseurs d'air. Elle est constituée de deux composantes :
   a. La cible va s'équiper d'un brasseur d'air si cela lui permet de satisfaire ce qu'il pense être les attentes de personnes/groupes importants pour lui (*normes injonctives*) ;
   b. La cible va s'équiper d'un brasseur d'air si d'autres personnes l'ont déjà fait et que l'équipement est relativement répandu (*normes descriptives*). Cela fournit alors un signal positif à la cible et donne de l'importance et de la légitimité à son intention : installer acquérir un brasseur d'air devient une norme souhaitable et la cible peut également satisfaire son besoin ostentatoire et/ou avoir la sensation d'appartenir à une communauté.

3. **La sensation de contrôle** sur l'action (*Perceived Behavioral Control* - **PBC**) résume la sensation de la cible à pouvoir maîtriser son action si elle devait s'équiper d'un brasseur d'air. Elle comprend cinq composantes :
   a. Si cela lui semblerait facile ou difficile (difficulté perçue) ;
   b. Si elle pense que les résultats seront conformes à ses attentes (efficacité de la réponse) ;
   c. Si elle peut le faire et que la décision ne dépend que d'elle (contrôle externe),
   d. Si elle pense pouvoir atteindre son objectif (efficacité personnelle[8]) ;
   e. Si elle a assez d'information et de compétences pour faire un choix bénéfique (contrôle interne).

Selon l'action qui est étudiée, ces 3 variables (**A_B, SN et PBC**) sont plus ou moins puissantes pour expliquer l'intention. Très souvent l'attitude comportementale est la plus influente, ainsi que le contrôle perçu. Mais dans le cas d'actions/pratiques ayant une forte réalité sociale, les normes subjectives peuvent aussi être explicatives.

Ces 3 variables sont constituées par un **ensemble de croyances, regroupées en 3 catégories** :

- **Les croyances comportementales** (attitude) : les conséquences que la cible pense ou penserait observer du fait d'utiliser ou d'installer un brasseur d'air ;
- **Les croyances normatives** (normes subjectives) : les personnes importantes pour la cible qui, selon elle, approuvent l'utilisation d'un brasseur d'air et/ou souhaiteraient qu'elle s'en équipe (croyances injonctives), ainsi que le niveau de normalisation (un nombre significatif de personnes ont un brasseur d'air ou prévoient de s'en équiper) ;
- **Les croyances de contrôle** (contrôle perçu) : les facteurs qui rendent facile ou difficile l'acquisition et l'utilisation d'un brasseur d'air, la sensation que l'action ne dépend que de soi, l'impression de posséder suffisamment d'information et compétences pour faire le bon choix, et enfin la perception d'avoir la capacité de mieux atteindre ses objectifs.

La notion de croyance

A l'instar d'autres modèles en psychologie sociale, le point de départ de la décision de s'équiper et/ou d'utiliser un brasseur d'air est représenté par la notion de croyance. Une croyance peut être définie comme une représentation mentale sur laquelle l'individu base son évaluation. Une croyance associe un objet (ex : le brasseur d'air) à une liste d'attributs (ex : efficace, utile, etc.) et une action (ex : s'équiper d'un brasseur d'air) à une liste de conséquences (ex : résultats obtenus). Pour chaque attribut ou conséquence à l'esprit de la cible (niveau de saillance), une croyance est formée par l'association de deux index : la valeur de l'attribut/résultat (degré de désirabilité) et sa force (probabilité avec laquelle la cible pense observer l'attribut/résultat) (Ajzen, 2002). En agrégeant ces valeurs pour chaque croyance, et ce pour toutes les croyances de la cible, nous évaluons l'utilité espérée subjective du fait d'utiliser et/ou de s'équiper d'un brasseur d'air, autrement dit la satisfaction ou le bénéfice personnel anticipé, éléments centraux dans la décision et le passage à l'action (cf. Litvine & Wüstenhagen, 2011 ; Litvine & de Laage, 2017, 2020 ; Litvine, 2020).

Le concept de « saillance »

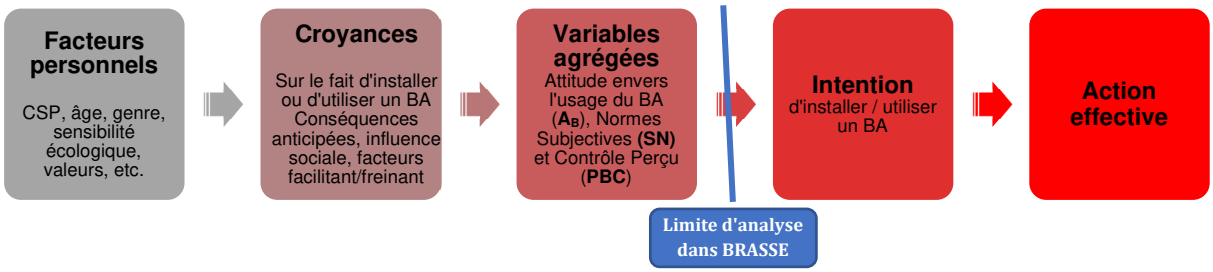
Une croyance est dite « saillante » dès lors qu'elle est présente à l'esprit et aisément extraite par la cible. Le concept de saillance dépend ainsi en grande partie de la force (stabilité) et de l'accessibilité des croyances en mémoire. Par exemple, un individu ayant formé de nombreuses croyances saillantes envers les brasseurs d'air dispose d'attitudes et de préférences plus stables et accessibles en mémoire. Ces variables subjectives ont plus de chance de guider le comportement de la cible, et ses déclarations seront plus stables et cohérentes. Il est alors davantage possible d'exploiter les déclarations en enquête pour estimer son niveau de demande potentielle, voire sa propension à agir.

8 Le sentiment d'auto-efficacité (Bandura, 1977) représente la croyance de l'individu en sa capacité à atteindre un objectif, comme par exemple réaliser une tâche. Plus grand est le sentiment d'auto-efficacité, plus élevés sont les objectifs que s'impose la personne et l'engagement dans leur poursuite. D'après Bandura, le système de croyances qui forme le sentiment d'efficacité personnelle est le fondement de la motivation et de l'action : « Si les gens ne croient pas qu'ils puissent obtenir les résultats qu'ils désirent grâce à leurs actes, ils ont bien peu de raisons d'agir ou de persévérer face aux difficultés ».

Divers moyens permettent d'augmenter la saillance des croyances et/ou le nombre de croyances saillantes dans la participation à une enquête :

1. Jouer sur les niveaux cognitifs : les croyances et attitudes se développent tout au long du processus d'acquisition de l'information concernant l'action. Une information calibrée permet non seulement de modifier les croyances existantes mais aussi d'en former de nouvelles ;
2. Modifier la fréquence avec laquelle la cible est invitée à extraire et à exprimer ses croyances et attitudes/préférences (par exemple en revenant plusieurs fois sur une thématique en posant différentes questions) ;
3. Jouer sur le niveau d'expérience directe avec l'objet étudié.

Figure 1 : Des croyances au comportement : le modèle TPB simplifié



2.1.2.2. Estimer la valeur des usagers pour les brasseurs d'air : le processus de décision

En théorie économique, les préférences des usagers envers les brasseurs d'air et la valeur qu'ils attribuent à l'utilisation de ces équipements sont censées se révéler à travers leurs comportements et décisions d'action. L'usager qui installe et/ou utilise volontairement un brasseur d'air estime implicitement que le surcoût pour ce choix (temps, argent) est compensé par l'augmentation de son utilité, une façon de considérer la satisfaction ou le gain. Lorsque nous ne pouvons observer le comportement effectif de l'usager, et que ce dernier n'est que déclaré en entretien, il est possible de recueillir ses préférences et son intérêt, notamment au cours d'entretiens et/ou d'un questionnaire. Mais dans cet exercice, on observe souvent un écart entre l'intérêt que les individus ont ou déclarent avoir envers l'usage de l'équipement et leur usage effectif. Ce phénomène de "do/say gap" est particulièrement intense dans le cas de biens/services à caractère écologique ou quand l'usager a du mal à percevoir concrètement les résultats de son choix (cf. Litvine & Wüstenhagen, 2011). Étant donné que les brasseurs d'air véhiculent des qualités écologiques, le fait d'en installer / utiliser est soumis à une forme de désirabilité sociale, qui amène l'usager à surestimer son intérêt pour les brasseurs d'air et sa disposition à en utiliser.

Cet écart entre valeur « réelle », valeur déclarée et comportement effectif pose un défi important aux méthodes dites "déclaratives", dont font partie les études par entretien ou questionnaire. Tout d'abord, les usagers avec ou sans brasseurs d'air peuvent avoir du mal à extraire puis à déclarer leurs préférences ou attitudes (évaluation globale), ces dernières étant souvent floues et changeantes. En effet, les travaux économiques sur le caractère "non construit" des préférences (Lichtenstein & Slovic, 2006) et l'approche psychologique des attitudes temporaires (cf. Vogel et al., 2014) indiquent que les préférences/attitudes sont souvent instables, et se créent au moment requis (réponse à entretien, choix, etc.). Elles sont de fait dépendant de l'information saillante sur le moment. Il n'y aurait pas de préférence réelle stable, mais autant que d'évaluations et de contextes.

Ainsi, à défaut d'avoir une idée précise de la valeur qu'il attribue à **l'installation et/ou à l'utilisation d'un brasseur d'air, les deux actions que nous visons dans cette étude**, l'usager se fonde sur ce qu'il a entendu, ce qu'il pense être les attentes de personnes importantes (proches, associés, supérieurs, etc.), l'information fournie en entretien, ou bien il utilise cette dernière comme signal de l'utilité espérée et de la valeur acceptable pour le service proposé.

De plus, les réponses peuvent aussi être sous-estimées par protestation spontanée envers la forme ou le fond de l'étude. A ces biais implicites viennent se greffer des comportements stratégiques, quand la cible estime que ses intérêts seront mieux servis en déclarant un intérêt supérieur ou inférieur à son intérêt réel. Enfin, s'ajoutent à cela des limites dans le traitement de l'information (saturation cognitive et rationalité limitée).

Il est donc important de tenir compte de ces biais potentiels dans notre enquête et d'essayer d'estimer leur intensité.

2.1.2.3. Biais cognitifs et mécanismes psycho-économiques

L'usager confronté au choix d'installer / utiliser un brasseur d'air va être influencé par un ensemble de biais cognitifs et de mécanismes psycho-économiques, qui offrent des clefs de lecture des comportements (cf. ADEME 2016). Ces biais sont des distorsions que l'individu expérimente dans la perception et le traitement de l'information, et qui sont d'autant plus intenses que l'action est inconnue ou peu répandue.

Dans la décision d'utiliser une option qui diffère de l'équipement usuel (climatisation), les individus ont souvent besoin d'éléments rassurants sur le fait que leur situation ne sera pas dégradée. Ce résultat peut s'expliquer par des aspects

contextuels tels que l'aversion au risque et aux pertes (Tversky & Kahneman, 1991). Par ces mécanismes psychologiques, l'individu évite une perte plus fortement qu'il ne désire un bénéfice, à gain final équivalent. Ainsi, si un équipement semble apporter un confort plus sûr et régulier dans les diverses situations, tout équipement alternatif tel que le brasseur d'air induit un doute et une incertitude. Dans ce cas, le schéma de décision est dicté par une aversion aux risques et aux pertes avec une supériorité des facteurs qui rassurent (confort obtenu) sur les critères de valorisation économique (économies) ou écologique.

Les biais de jugement concernent la façon d'évaluer les situations et les informations (ancrage mental et biais de statu quo). Les biais de raisonnement concernent le processus de traitement et de mobilisation de l'information (biais de confirmation, dissonance cognitive, rationalité limitée, etc.). Le sentiment de manque de contrôle sur la décision et sur l'action, et notamment par une sensation de défaut d'information ou de compétences (contrôle interne, cf. Litvine 2010 ; Litvine & De Laage, 2017, 2020). La dissonance cognitive et la préférence pour le présent jouent également en faveur de l'attentisme vis-à-vis de l'utilisation d'un équipement alternatif (Brisepierre & Hamon, 2017 ; Litvine, 2008, Gaspard, Martin, & Rozo, 2017).

2.2. Cibles et échantillon d'étude

Les cibles de l'étude ont été identifiées selon 2 grands critères :

- Le premier est géographique : Métropole/Réunion
- Le second porte sur la demande (usagers) versus l'offre (professionnels du secteur)

Le critère géographique avait initialement pour but de comparer une zone avec un grand nombre de brasseurs d'air et une situation à priori favorable au déploiement des brasseurs d'air (la Réunion), et une zone avec une faible culture du brasseur d'air (Métropole). Nous avons mobilisé d'autres critères de segmentation afin d'enrichir les profils observés, que nous présentons en fin de partie.

2.2.1. Du côté de la demande – les usagers d'espaces bâtis

Les cibles côté demande concernent des usagers d'espaces bâtis, qui se répartissent selon 3 critères :

1. La zone étudiée : Métropole/Réunion
2. Le secteur ou type d'occupation : Habitation (UH) /Hors habitation (UHH)
3. L'usager étant équipé d'un brasseur d'air et l'usager n'en étant pas équipé

2.2.1.1. Périmètre géographique - Métropole/Réunion

Pour chaque terrain nous avons délimité l'enquête de terrain auprès des cibles en fonction de la zone climatique

- En métropole, nous nous sommes attachés à différencier les cibles selon un axe nord/sud, avec une prédominance au sud
- A la Réunion, le périmètre d'enquête a été déterminé sur 4 zones pouvant offrir une diversité dans les critères discriminants : une diversité de populations et d'habitat (critères sociodémographiques) ainsi qu'une diversité de zones climatiques observées sur l'île (humidité, températures). Nous avons aussi choisi de ne considérer que les quatre premières zones thermométriques de l'île, soit en dessous de 600 m. d'altitude. Ce critère correspond notamment à celui identifié dans la mise en œuvre de la RTAA DOM 2016.

Figure 2 : zonage climatique et géographique - la Réunion

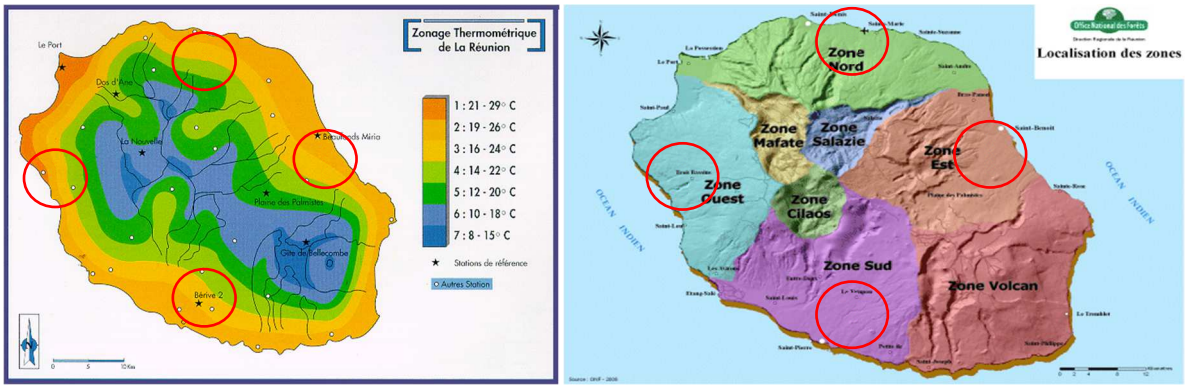
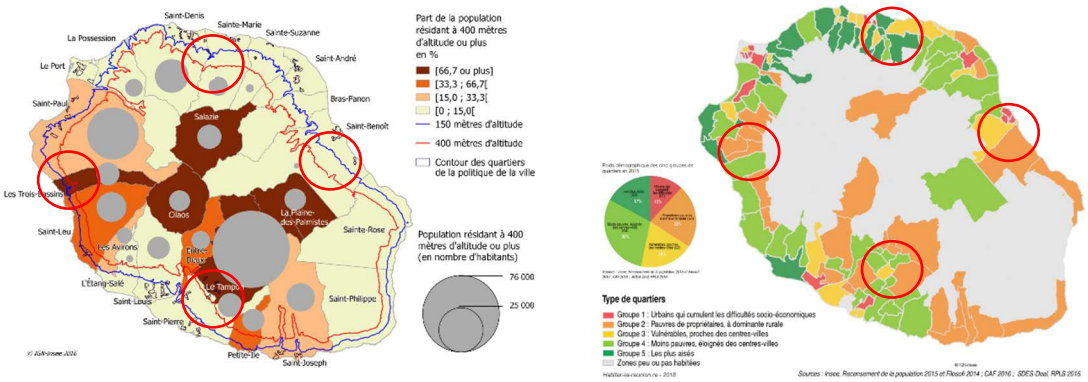


Figure 3 : Répartition de la population selon les zones - La Réunion



2.2.1.2. Type d'occupation - Habitation et hors habitation

L'occupation "habitation" regroupe les logements privés (maisons individuelles, appartements) et sociaux. Nous parlons d'usager en habitation (**UH**). L'occupation hors-habitation porte sur des espaces de bureau (publics ou privés) et les établissements scolaires du secondaire et du supérieur. Nous parlons d'usagers hors-habitation (**UHH**).

- **Usager Habitation (UH)**
  - Logement privé (maison individuelle ou appartement)
  - Logement social
- **Usager Hors habitation (UHH)**
  - Bureaux (tertiaire public et privé)
  - Etablissement scolaire : lycée-collège ou IUT

Ces secteurs ont été choisis sur la base de 2 critères : 1) ils proposent une certaine homogénéité de situations ; 2) ils représentent un grand nombre de bâtiments, dans l'idée de l'impact de notre étude en termes d'essaimage.

2.2.1.3. Usage avec ou sans brasseur d'air

Nous distinguons les usagers qui utilisent un ou plusieurs brasseurs d'air de ceux qui n'en utilisent pas (et qui à priori n'en ont jamais utilisé) : habitants, lycéens, professeurs, employés de bureau, personnel administratif, etc.

Note : Le terme « usager » renvoie au type d'occupation (habitation ou hors habitation)

Le croisement de ces variables nous a permis d'établir **quatre types de cibles** du côté demande :

- Les usagers avec brasseurs d'air en habitation (UH-brasseurs d'air)
- Les usagers sans brasseurs d'air en habitation (UH-SBA)
- Les usagers avec brasseurs d'air hors-habitation (UHH-brasseurs d'air)
- Les usagers sans brasseurs d'air hors-habitation (UHH-SBA)

Nous avons croisé d'autres critères de segmentation, permettant d'enrichir le profil et situations observées du côté de la demande (usagers). Le tableau ci-dessous résume les critères utilisés pour échantillonner les cibles. Tous ces facteurs n'ont pas pu être renseignés en amont comme nous le souhaitions afin d'orienter la prise de contact, mais nous les avons collectés au cours des entretiens afin d'assurer la diversité au fil des entretiens. Les 7 premières colonnes reprennent les critères de sélection que nous pouvions contrôler dans la prise de contact (ex-ante), les autres colonnes listent les variables renseignées en cours d'entretien (ex-post).

Tableau 1 : Liste des critères de segmentation des cibles (du côté de la demande)

Critère	Géo	Type de cible	Présence brasseurs	Occupation	Domaine (secteur)	Zone climatique	Installation volontaire	Type Brasseurs	Type bâtiment	Qualité Bâtiment	Type d'espace observé	Réglage	Degré de contrôle
Modalités possibles	Réunion	Offre	Avec	Logement social	Privé	H1 (France)	Oui	Pale	Bâtiment (maison)	Non performant	Privatif (pièce, bureau)	Commande murale	Peut manipuler et régler
	Métropole	Demande	Sans	Logement privé	Public	H2 (France)	Non	Hélice	Appart. ou bureau dans bâtiment	Performant (BEPOS, passif)	Collectif (classe, bureau, partie commune	Télécommande	Ne peut pas manipuler ou régler
		Autre		Lycée		H3 (France)		Autre		Bioclimatique		Chainette	
				Bureaux		Littoral (Réunion)		Ancien				Autre	
						Les hauts (montagne) (Réunion)		Nouveau					

2.2.2. Le côté offre

Les cibles côté "offre" se répartissent selon 3 critères :

1. La zone étudiée : Métropole/Réunion
2. Le secteur ou l'activité : Installateurs, prescripteurs ou distributeurs (fabricants)
   - Les installateurs sont des professionnels chargés d'installer des brasseurs d'air sur le terrain. Principalement des entreprises d'installation/ maintenance d'équipements "chaud/froid".
   - Les prescripteurs regroupent les professionnels susceptibles de proposer l'installation de brasseurs d'air dans leurs projets :
     - Bureaux d'études techniques
     - Architectes
     - Maîtres d'ouvrage
   - La dernière catégorie représente les distributeurs/fabricants qui conçoivent les équipements (**Cf. liste en annexe**)
3. Si le professionnel prescrit ou installe des brasseurs d'air

Note : Certaines **cibles hybrides** ont émergé lors de la construction du protocole, à savoir les chefs d'établissement et les responsables technique d'organismes de logement social. En effet, ces cibles ont un pouvoir de décision pouvant influencer l'installation de brasseurs d'air, mais ils ont également un rôle de "prescripteur" dans leur structure. Nous avons traité ces cas à part.

2.3. Description de la méthodologie empirique

2.3.1. Notre protocole empirique

Notre étude combine deux modes d'investigation : (1) une campagne d'entretiens semi-directifs ; (2) un web-questionnaire complémentaire, administré après entretien auprès des usagers interrogés (et non auprès des professionnels). Ce mode mixte permet de poser des questions au format « ouvert puis fermé ». Lors des entretiens, le format ouvert permet de recueillir les réponses spontanées, importantes pour estimer si certaines notions, valeurs et mécanismes sont déjà formés ou pas dans l'esprit des répondants. Le répondant est ensuite invité à répondre au questionnaire fermé, qui complète les déclarations spontanées notamment dans le cas où l'interviewé aurait donné trop peu de réponses. Cette technique permet d'identifier si certains facteurs sont déjà formés ou pas dans l'esprit des répondants, tels que les croyances saillantes.

2.3.1.1. Entretiens semi-directifs

A travers un échange ouvert avec le répondant, l'enquêteur oriente la discussion sur des thématiques prédéfinies, qui sont présentées dans le désordre selon les besoins de l'entretien. Les questions étaient parfois formulées à l'avance, mais l'enquêteur adaptait souvent les questions à la situation et au répondant.

Afin de permettre aux usagers non équipés de brasseurs d'air d'échanger sur le sujet, nous leur avons présenté des photos de brasseurs d'air, après avoir recueilli leurs représentations des brasseurs d'air (ce à quoi ils pensaient spontanément lorsque nous leur évoquions le terme de « brasseurs d'air plafonnier »).

Confidentialité : un regard sur le consentement à la participation a été présentée aux participants. Ils ont été informés de la nature anonyme et confidentielle de l'étude et du fait que les données recueillies seraient utilisées exclusivement à des fins de recherche scientifique par les enquêteurs. Afin de garantir toute transparence, nous avons également demandé l'autorisation aux participants s'ils acceptaient que l'entretien soit enregistré. Les participants ont été informés qu'ils pouvaient demander que ces enregistrements audios soient effacés s'ils le souhaitaient.

2.3.1.2. Web-questionnaire complémentaire

En fin d'entretien, les usagers (côté demande) ont été invités à répondre à un questionnaire web à l'aide d'un lien transmis par l'enquêteur. Nous avons obtenu 24 réponses sur les 47 entretiens menés. Ce questionnaire visait à compléter les informations collectées en entretien. Les questions portaient donc sur une sous-partie des notions que nous avons explorées en entretien, en proposant cette fois des modalités fermées, et notamment : (1) les croyances TPB ; (2) les motivations ; (3) le profil du bâtiment et du ménage (sociodémographique, profil énergétique, etc.). Ce format permet d'atteindre les notions/réponses qui ne seraient pas tout de suite à l'esprit chez les répondants, plus difficiles à collecter en entretien, et d'obtenir une plus grande quantité de réponses. Ce questionnaire est à ne pas confondre avec celui qui sera administré à un large public à l'hiver 2021-2022. Les deux questionnaires peuvent se nourrir.

2.3.2. Thématiques des guides d'entretien et du questionnaire complémentaire

2.3.2.1. Trames des entretiens

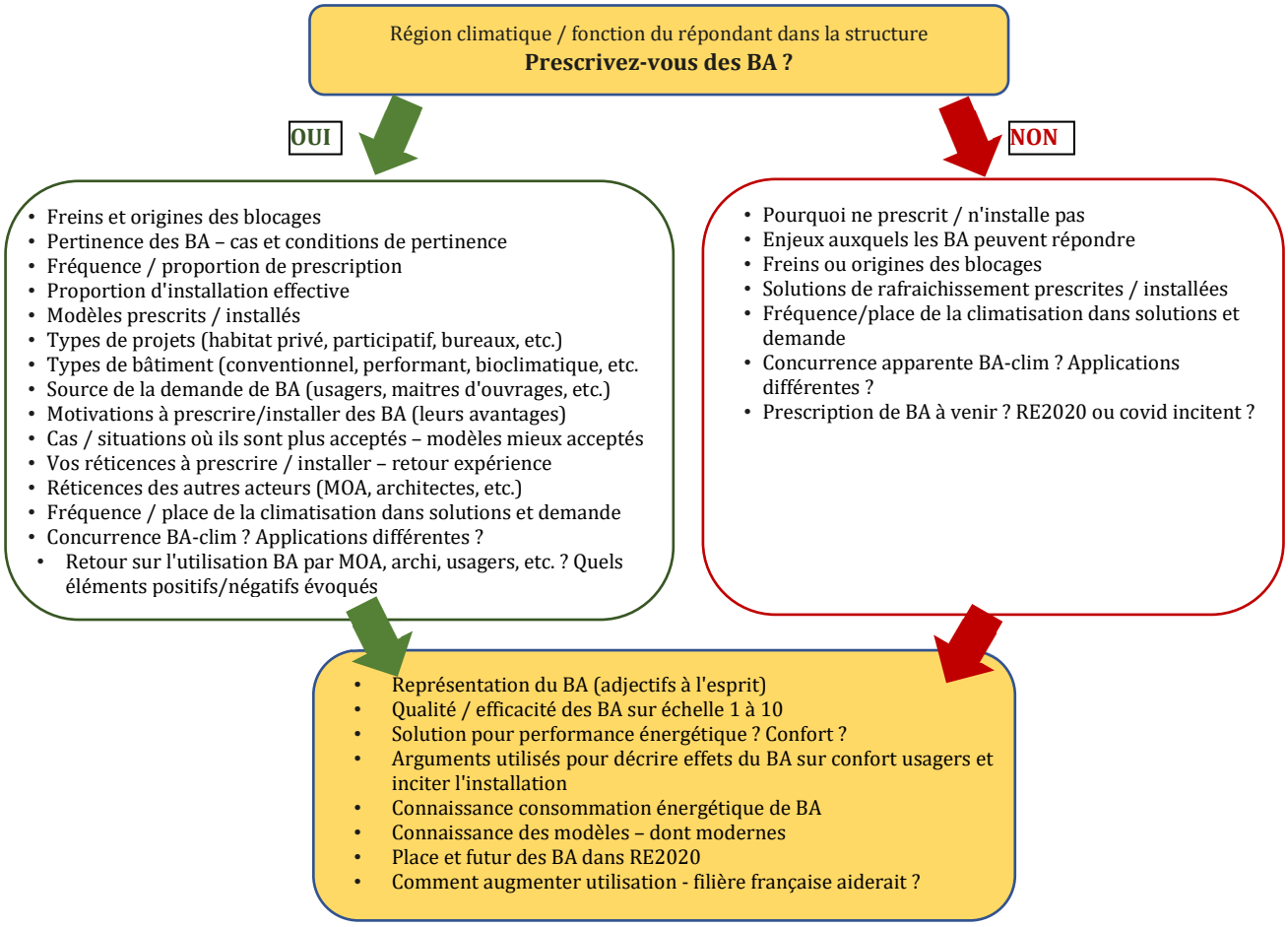
Les thématiques ont été sélectionnées à partir de la revue de littérature ainsi que des questionnements initiaux du projet. Elles ont donné lieu à divers guides d'entretien, adaptés à chaque type de cible, mais avec des troncs communs. Dans le cas d'usagers sans brasseurs d'air, les questions étaient posées au conditionnel, avec quelques thématiques supplémentaires.

2.3.2.1.1. Trames d'entretien du côté des usagers - la demande

1. Niveau de confort perçu : sensation d'inconfort, espace-bâtiment suffisamment isolé, solutions mises en œuvre, etc.
2. Perception vis-à-vis du brasseur d'air (représentation / après présentation de photos dans le cas d'usagers sans brasseurs d'air)
3. Intégration du brasseur d'air dans l'espace (importance du critère pratique, esthétique, etc. / espace privé ou collectif, etc.)
4. Description de l'usage réel/imaginé du brasseur d'air (en complémentarité avec un autre équipement de rafraîchissement) : fréquence d'usage, espaces équipés (ou potentiellement), ventilation nocturne, sécurité, conflits d'usage avec d'autres personnes, etc.
5. Degré de compétition avec la climatisation (les autres utilisent-ils davantage la clim ou les brasseurs d'air ?)
6. Sensation de contrôle : pouvoir sur les modes de réglage, sensation d'une bonne utilisation brasseurs d'air, manque d'information, etc.
7. Croyances de contrôles (facteurs facilitants et freinant)
8. Croyances normatives (personnes d'influence – utilisation courante en Métropole/Réunion ?)
9. Croyances comportementales (conséquences potentielles du fait d'utiliser des brasseurs d'air)
10. Sensations de confort
11. Inconvénients perçus (acoustique, confort ressenti, etc.)
12. Motivations
13. Leviers permettant de stimuler l'utilisation
14. Souhait de transfert de l'utilisation entre domicile et travail
15. Des thématiques d'ouverture abordées en fin d'entretien :
    - Raison de la prédominance de la climatisation et situation où l'entourage l'aurait abandonnée ;
    - Avis sur le changement climatique et pertinence du brasseur d'air vis-à-vis des enjeux climatiques et environnementaux ;
    - Point sur les modèles de brasseurs d'air modernes.

2.3.2.1.2. *Trame d'entretien du côté des professionnels - l'offre*

Prescripteurs et installateurs de brasseurs d'air



Fabricants – distributeurs

- Les modèles fabriqués
- Les modèles qui se vendent le plus
- Les avantages mis en avant pour vendre son/ses brasseurs d'air
- Inconvénients perçus de son/ses brasseurs d'air
- Type de bâtiment où le brasseur d'air est plus pertinent
- Description du circuit de vente et acteurs
- Source de la demande
- Retours des prescripteurs/installateurs/usagers
- Blocages au déploiement des brasseurs d'air
- Quels facteurs/conditions pour un meilleur déploiement
- Méthode / arguments mis en avant pour inciter l'utilisation de brasseurs d'air
- Méthode / arguments utilisés pour inciter les usagers à en installer
- Avis sur la place future des brasseurs d'air dans la RE2020 / comment augmenter l'utilisation des brasseurs d'air

2.3.2.2. Trame du web-questionnaire complémentaire

Nous avons proposé 5 versions de questionnaire, selon le profil du répondant : UH-SBA, UH-brasseurs d'air, UHH-brasseurs d'air, UHH-SBA et le cas des usagers hors-habitation sans contrôle sur le brasseur d'air.

1. Contrôle effectif sur les réglages (variateur et on/off)
2. Motivation à utiliser un brasseur d'air
3. Qualifier les brasseurs d'air : utiles – sécurisants – efficaces, économiques, esthétiques, silencieux, modernes (échelle -5 / +5)
4. Type d'activité prioritaire sous le brasseur d'air (statique ou en mouvement)
5. Usage volontaire ou "forcé"
6. Croyances comportementales : conséquences potentielles de l'usage de brasseurs d'air (probabilité/ importance pour le répondant)

7. Croyances de contrôle : facteurs qui rendraient l'utilisation plus difficile/facile (probabilité/importance pour le répondant)
8. Leviers : situations ou dispositifs qui inciteraient l'utilisation
9. Degré de satisfaction liée au confort, à la qualité de l'équipement et globale
10. Connaissance type de bâtiment (conventionnel, performant, bioclimatique, passif)
11. Actions réalisées en termes d'économies d'énergie
12. Niveau d'action (engagement) écologique (actions fréquentes)
13. Variables sociodémographiques

2.3.3. Campagne d'entretien

Initialement, nous avions prévu de mener 46 entretiens répartis sur les deux zones géographiques.

Tableau 2 : Objectifs initiaux des entretiens à réaliser (N=46)

France métropolitaine (*n*=23)					**La Réunion (*n*=23)**			
Demande (*n*=15)		**Offre (*n*=8)**			**Demande (*n*=19)**		**Offre (*n*=4)**	
Secteur Habitation	Secteur Hors-habitation	Installateurs	Prescripteurs	Fabricants / distributeurs	Secteur Habitation	Secteur Hors-habitation	Installateurs	Prescripteurs

La recherche de participants s'est effectuée entre le mois d'Avril 2021 jusqu'au mois de juin 2021 au moyen de réseaux professionnels et personnels, aussi bien sur le territoire de la Réunion que de la France métropolitaine. Les entretiens ont été menés entre le mois de mai 2021 et le mois de juillet 2021, en présentiel lorsque cela nous était possible, sinon en visioconférence ou par téléphone. Afin de rendre compte des différents échanges, nous avons enregistré les entretiens lorsque nous en avions la possibilité.

Au total, 47 entretiens ont été menés :

- 33 du côté de la demande
- 14 sur celui de l'offre

Une série d'entretiens a également été menée en région PACA par Envirobat BDM (N=13), sur la base des mêmes guides. L'objectif de cette campagne était de mener des entretiens conjointement à des mesures et observations techniques. Nous avons donc prévu relativement moins d'entretiens "usagers" en France métropolitaine qu'à la Réunion, du fait de cette campagne menée par Envirobat (et donc relativement plus d'entretiens côté offre en France).

2.3.3.1. Du côté de la demande

Sur le secteur du logement privé, nous avons entrepris de prospecter auprès de réseaux sociaux privés. A noter qu'afin d'obtenir des répondants potentiels, nous avons entrepris de contacter EDF Réunion, compte tenu de leur programme sur l'implémentation des brasseurs d'air sur le territoire insulaire. De la même manière, nous avons décidé de faire appel à l'ensemble des installateurs de brasseurs d'air de l'île pour bénéficier de leurs réseaux de clientèle.

Du côté des usagers en logement social (OLS), nous avons contacté l'ensemble des bailleurs sociaux de l'Île de la Réunion et quelques bailleurs sociaux dans le sud de la France métropolitaine, afin de bénéficier d'une liste de locataires susceptibles de bien vouloir participer à notre enquête.

Pour le secteur hors-habitation, nous avons entrepris de démarcher des entreprises ayant des espaces de bureau ainsi que des établissements scolaires, à la fois dans le milieu public et privé. La prospection s'est faite par échange de courriels, d'appels téléphoniques et de prises de rendez-vous en présentiel à la Réunion. Plusieurs rencontres ont été organisées afin de présenter le projet, l'objet de notre demande et l'organisation des entretiens auprès des professionnels volontaires.

Tableau 3 : Synthèse des entretien réalisés du côté de la demande (N=33)

	France métropolitaine (n=16)				**La Réunion (n=17)**			
	Habitation		**Hors-Habitation**		**Habitation**		**Hors-habitation**	
	Logement privé	Logement social	Bureau	Etablissement scolaire	Logement privé	Logement social	Bureau	Etablissement scolaire
Avec brasseurs d'air (n=18)	3	0	1	0	3	5	3	3
Sans brasseurs d'air (n=15)	3	1	3	5	1	0	1	1
TOTAL	**6**	**1**	**4**	**5**	**4**	**5**	**4**	**4**

2.3.3.2. Du côté de l'offre

Du côté des professionnels, nous avons procédé de la même manière que pour le secteur hors-habitation. Sur les 14 entretiens qui ont été réalisés, nous avons pu avoir la participation de six « prescripteurs » (bureau d'études ou cabinet d'architectes), deux fabricants/distributeurs, un installateur et cinq professionnels ayant une fonction décisionnaire quant à l'installation de ce type d'équipement au sein de leur institution. Ces derniers constituent des cibles "hybrides" : ils ne sont pas professionnels du secteur, en ce sens ni ils ne prescrivent, ni n'installent ou ne fabriquent, mais ils peuvent décider d'installer ou pas des brasseurs d'air dans leur établissement : proviseur / principal de lycée / collège, gestionnaire technique et chargé d'opération chez un bailleur social et responsable patrimoine d'un conseil départemental.

Tableau 4 : Synthèse des entretien réalisés du côté de l'offre (N=14)

	Prescripteur	Installateur	Fabriquant / distributeur	Responsable décideur	Total
Métropole (n=10)	4	0	2	4	10
La Réunion (n=4)	2	1	0	1	4
TOTAL	**6**	**1**	**2**	**5**	**14**

2.3.3.3. Remarques

Afin de réaliser l'ensemble de nos entretiens, nous avons dû relancer régulièrement nos contacts, ce qui a fortement impacté le calendrier du projet (près de 2 mois de décalage).

La démarche qualitative reste partielle puisque la plupart des entretiens ont été menés à distance à cause de la situation sanitaire liée à l'épidémie de COVID 19. Aussi nous n'avons pas pu réaliser toutes les observations de terrain.

2.3.4. Description de l'échantillon

Les tableaux ci-dessous précisent les profils de notre échantillon du côté demande (usagers d'espaces) et offre (professionnels).

Tableau 5 : Description de l'échantillon des usagers (du côté de la demande)

	Genre		M_{Age}	CSP[1]			Revenu[1, 2]			Type de bâtiment		TOTAL
	Homme	Femme		CSP -	CSP+	Autres	Rev -	Rev +/-	Rev +	Bâtiment classique (béton, briques...)	Bâtiment performant passif ou bioclimatique	
Sans brasseurs d'air	5 (33,3 %)	10 (66,7 %)	32,4	4 (40%)	3 (30%)	3 (30%)	1 (12,5%)	6 (75%)	1 (12,5%)	12 (80 %)	3 (20 %)	15 (45%)
Avec brasseurs d'air	5 (17,8 %)	13 (72,2 %)	33,2	2 (15%)	9 (65%)	3 (30%)	2 (25%)	6 (75%)	0	12 (66,7 %)	5 (27,8 %)	18 (55%)
UH	3 (18,75 %)	13 (81,25 %)	37,4	3 (33%)	3 (33%)	3 (33%)	3 (60%)	2 (40%)	0	12 (75 %)	3 (25 %)	16 (49%)
UHH	7 (41,2 %)	10 (58,8 %)	29,2	3 (20%	9 (60%)	3 (20%)	0	10 (91%)	1 (9%)	12 (70,6 %)	5 (29,4 %)	17 (51%)
Métropole	6 (37,5 %)	10 (62,5 %)	29,6	5 (45%)	3 (27%)	3 (27%)	1 (12,5%)	6 (75%)	1 (12,5%)	12 (75 %)	3 (25 %)	16 49%)
Réunion	4 (23,5 %)	13 (76,5 %)	37,4	1 (7%)	9 (70%)	3 (23%)	2 (25%)	6 (75%)	0	12 (70,6 %)	5 (29,4 %)	17 (51%)
TOTAL	10 (43%)	23 (57%)	35,7	6 (25%)	12 (50%)	6 (25%)	3 (19%)	12 (75%)	1 (6%)	24 (75%)	8 (25%)	33

[1] *Variables non collectées pendant les entretiens mais via le questionnaire complémentaire, auquel certains interviewés n'ont pas répondu*
[2] *REV (-) = 0 à 21k€/an / REV (+-) = 21k€ à 50k€/an / REV (++) = >50k€/an*

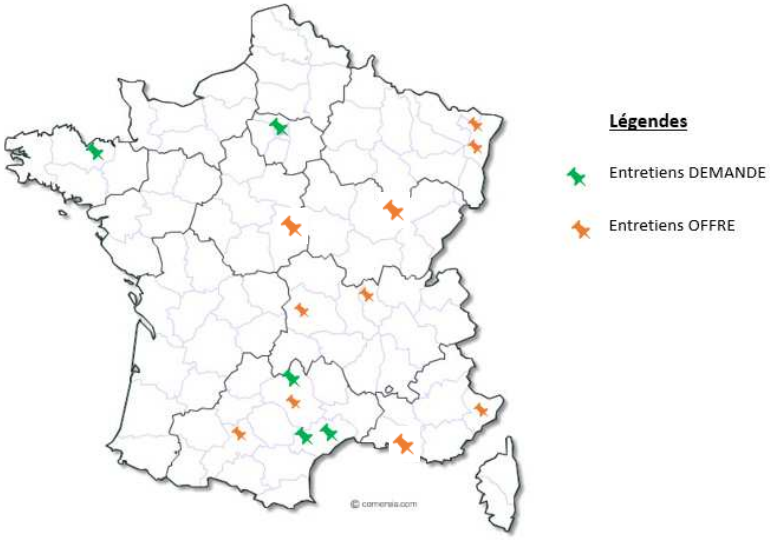
Tableau 6 : Localisation des établissements / organismes interviewés du côté demande (usagers hors-habitation) et offre

Liste des structures interviewées	Type de cible	Zone	Localisation
Clim'nature	OFFRE	La Réunion	Trois-mares
Collège Saint-Charles 2	Usager	La Réunion	Saint-Pierre
Conseil Départemental de l'Aveyron (12)	Usager	France Métropolitaine	Flavin
INSET Réunion (Ingénierie spécialisée en équipements techniques)	OFFRE	La Réunion	Sainte-Clotilde
Laboratoire d'architecture bioclimatique	OFFRE	La Réunion	Saint-Pierre
Laboratoire d'écologie urbaine	Usager	La Réunion	Saint-Pierre
Laboratoire IMAE	Usager	France Métropolitaine	Alsace
Laboratoire Piment - Université de la Réunion (IUT Saint-Pierre)	Usager	La Réunion	Saint-Pierre
Logis-cite - Crea'lead	Usager	France Métropolitaine	Montpellier
Lycée polyvalent Stella	OFFRE	La Réunion	Saint-Leu

Lycée professionnel de Léon de Lépervanche	Usager	La Réunion	Le Port
Lycée St-Charles	Usager	La Réunion	Saint-Pierre
nfinite	Usager	France Métropolitaine	Paris
Collège de Pézenas	Usager	France Métropolitaine	Pézenas
IMAEE – Bureau d'études thermiques	OFFRE	France Métropolitaine	Sélestat
LAB Réunion - Laboratoire d'Architecture Bioclimatique	OFFRE	La Réunion	Saint-Pierre
Seuil Architecture	OFFRE	France Métropolitaine	Toulouse
Des Conseil - Bureau d'études thermiques	OFFRE	France Métropolitaine	Montpeyroux
INSET	OFFRE	La Réunion	Sainte-Clotilde
Exhale Fans (France)	OFFRE	France Métropolitaine	Biot / Feillens
Guibb	OFFRE	France Métropolitaine	Lingolsheim
Clim'nature	OFFRE	La Réunion	Le Tampon
Conseil Départemental de l'Aveyron (12)	OFFRE	France Métropolitaine	Flavin
Lycée professionnel	OFFRE	La Réunion	Saint Leu
Une SEM en logement social	OFFRE	La Réunion	Saint Denis
Terranergie	OFFRE	France Métropolitaine	Saulcy-sur-Meurthe
Un bailleur social en PACA	OFFRE	France Métropolitaine	Aix en Provence
Un bailleur social en région de Reims	OFFRE	France Métropolitaine	Reims

Figure 4 : Localisation géographique des personnes / structures interviewées à la Réunion

Figure 5 : Localisation géographique des personnes / structures interviewées en France métropolitaine



3. PRINCIPAUX RÉSULTATS

Les résultats développés dans cette partie sont issus de deux sources de recueil de notre protocole : (a) une campagne de 47 entretiens (33 du côté demande et 14 du côté offre) et (b) un questionnaire complémentaire (N=24 réponses) (Cf. 2.3.1). **Les résultats présentés ici sont donc essentiellement qualitatifs**, complétés par quelques tests statistiques issus du questionnaire complémentaire. **Nos conclusions n'ont donc pas vocation à être généralisées à l'ensemble des usagers**, elles permettent d'approfondir les phénomènes et mécanismes à l'œuvre. Elles pourront être consolidées grâce au questionnaire à large échelle à mener ainsi que par des études ultérieures, dans une approche plus confirmatoire. (Cf. 2.1.1)

Pour évoquer les personnes ayant participé aux entretiens nous utilisons les termes « cibles », « répondants » ou « interrogés ». Nous utilisons « répondants » pour ceux ayant participé au questionnaire complémentaire.

Nous proposons deux critères majeurs de segmentation des usagers, que nous croisons pour l'analyse : usagers avec ou sans brasseurs d'air, et usagers en habitation ou hors habitation. Dans la plupart des thématiques traitées, nous menons trois types d'analyses comparées sur la base de ces critères : (a) nous comparons les cibles en prenant les 4 types générés par le croisement de nos 2 critères (usagers avec brasseurs d'air en habitation ou hors habitation, usagers sans brasseurs d'air en habitation ou hors habitation) ; (b) nous comparons les cibles en ne prenant qu'un critère de segmentation à la fois, l'autre restant fixe. Ce qui conduit à des comparaisons des cibles deux à deux (avec brasseurs d'air versus sans brasseurs d'air / habitation versus hors habitation). (c) nous menons des analyses sur l'ensemble de l'échantillon.

Dans une approche qualitative, nous mobilisons la syntaxe suivante pour évoquer les proportions observées :

- Environ ¼ des réponses : un faible nombre, une petite partie, faible part, proportion faible
- Environ ½ des réponses : la moitié, une petite majorité, un certain nombre,
- Environ ¾ des réponses : un grand nombre, une grande majorité

3.1. Perception et attitude vis-à-vis des brasseurs d'air

3.1.1. Représentations : image, esthétique et intégration

La prise de contact lors des invitations à enquête ainsi que résultats issus des entretiens nous ont conduits à constater que le brasseur d'air semble être un équipement globalement méconnu, en métropole mais aussi à la Réunion. Nous avons ainsi constaté qu'il existe d'une part une méconnaissance du terme « brasseurs d'air », contrairement à celui de « ventilateur de plafond » qui est plus courant, mais aussi des avantages et inconvénients des brasseurs d'air, de leur coût, ainsi que des enjeux auxquels ils peuvent répondre.

3.1.1.1. Avec brasseurs d'air

Les brasseurs d'air sont reliés à un certain nombre de représentations dans l'esprit des répondants. La richesse de ces représentations s'explique probablement par l'ancienneté du mécanisme. Pour la majorité des usagers, le brasseur d'air évoque les "pays chauds", les "colonies", les "films des années 70" ou encore "les vieux cafés". C'est un équipement "à l'ancienne" qui renvoie à "une autre époque". Le brasseur d'air n'est pas perçu comme étant particulièrement esthétique, un critère qui revêt une importance non négligeable pour un grand nombre d'usagers en habitation, notamment lorsqu'il est question d'installer un brasseur d'air dans leur logement avec un souci d'intégration mobilière. Les brasseurs d'air sont en effet souvent perçus comme étant mal intégrés dans les logements, soit au niveau esthétique, soit au niveau de l'efficacité. En revanche, les usagers du tertiaire (bureaux) les considèrent comme étant bien intégrés. Hors habitation, le critère esthétique semble être beaucoup moins important, la préoccupation étant plutôt orientée sur la finalité et l'efficacité (utilité et confort).

***Note** : il est difficile de relier la perception des répondants avec brasseurs d'air au type d'équipement qu'ils utilisent. En effet, pour des raisons sanitaires une grande partie des entretiens a été menée à distance, ce qui a rendu l'observation des équipements complexe. Il serait néanmoins intéressant de considérer les perceptions (esthétique, modernité/ancienneté, etc.) au regard des équipements que les répondants avec brasseurs d'air ont l'habitude de voir / manipuler dans leur quotidien.*

3.1.1.2. Sans brasseur d'air

Les répondants qui ne possèdent pas de brasseurs d'air pensent aussi que ce sont de "vieux équipements", de "l'ancien temps", voire "venant des grands-parents" (anciens modèles), que l'on voit dans les "vieux western". Ils évoquent les "colonies", la "couleur marron", ou encore les "maisons traditionnelles réunionnaises". Paradoxalement, ils peuvent aussi évoquer l'image d'habitations modernes, aux USA notamment. Le brasseur d'air est donc un équipement qui peut aussi paraître haut de gamme, ce qui représente une tendance forte de la demande actuelle (cf. avis des professionnels). En habitation, les brasseurs d'air sont perçus comme peu esthétiques ("hélice d'avion"). Ce critère semble important s'ils devaient s'en équiper, tout comme la modernité ("je ne voudrais pas d'un ancien modèle") et la praticité. En revanche, dans

les bureaux et les écoles, les besoins pratiques auxquels les brasseurs d'air sont censés répondre passent avant le critère esthétique.

Focus questionnaire complémentaire (n=24)
Les répondants étaient invités à répondre à la question le brasseur *d'air est-il un équipement désuet-moderne*" et "*est-il disgracieux-esthétique ?*" sur une échelle de -5 à +5 (11 points). Les scores moyens à ces questions sont sensiblement équivalents selon le type de cible (zone, secteur et avec/sans brasseurs d'air). La provenance géographique (zone), le type d'occupation (habitation ou hors-habitation) ou le fait d'utiliser ou non un brasseur d'air ne semblent pas, à priori, altérer le jugement sur ces deux dimensions[9].

Le point de vue des professionnels
Pour les prescripteurs, le brasseur d'air évoque les "vacances", "le soleil'', "les alizés aux Antilles" (vent frais), "les tropiques". Selon eux, le brasseur d'air n'est pas un équipement particulièrement esthétique, il peut parfois faire penser à une "hélice d'hélicoptère", mais il n'en est pas désuet pour autant. Pour cause, ils ne prescrivent généralement pas d'anciens modèles. Et notamment pour les ménages à revenu moyen ou élevé, qui veulent un autre standard ("Le brasseur d'air est la clim du pauvre"). Ceci amène les fabricants à pousser le design vers des "ventilateurs architecturaux" qui cadrent mieux aux standards de décoration d'intérieure actuels. Ainsi, le brasseur d'air est souvent demandé en tant qu'objet de décoration (ex. brasseurs d'air à 5 pales avec couleurs qui contrastent avec le plafond).
Pour une partie des professionnels interrogés le brasseur d'air est un équipement technique "indispensable", "sobre", "frugal", qui améliore nettement la sensation de confort.

Synthèse – Représentations
Le brasseur d'air est un équipement qui semble globalement méconnu des usagers enquêtés et de ceux que nous avons contactés pour participer à l'étude. Il est perçu comme un vieil équipement, utilisé surtout dans les pays chauds. Peu esthétique pour la majorité des usagers (avec et sans brasseurs d'air), ce critère semble important en habitation, notamment dans la décision d'installer des brasseurs d'air. Ceci est moins le cas en contexte de bureau ou dans les établissements scolaires où l'aspect fonctionnel prend le dessus sur les critères qui déterminent l'utilisation (avec brasseurs d'air) ou la décision d'installation (sans brasseurs d'air). Le fait de placer le principe d'efficacité avant le design peut donc aussi s'expliquer par le métier exercé par le répondant. Du côté de l'offre, si les professionnels interrogés le perçoivent aussi comme un équipement faisant penser aux pays chauds, il n'en est pas pour autant désuet car il permet de répondre efficacement au besoin de confort tout en assurant une sobriété énergétique. Il existe notamment une demande pour les brasseurs d'air en tant qu'objet de décoration, sur des modèles haut de gamme qui prennent en compte les enjeux de décoration d'intérieur. Les professionnels interrogés semblent prescrire avant tout des modèles récents, avec une forte dimension esthétique, notamment en habitation mais aussi hors habitation.

9 Nous avons effectué des ANOVA, après avoir confirmé l'homogénéité des variances. Les statistiques de Fisher ne sont pas du tout significatives (p= 0,8 à 0,9). Rappelons que la taille de l'échantillon rend cette analyse délicate et ne permet pas de conclure avec certitude quant à l'équivalence des moyennes pour chaque groupe (absence de différence significative).

3.1.2. La perception de confort

Le confort ressenti par l'usager dépend du contexte initial, à savoir la qualité thermique (niveau d'isolation, etc.) et les niveaux de référence (température, hygrométrie, etc.) du bâtiment d'habitation / d'étude / de travail. La perception de confort dépend également de l'état psychoaffectif de l'usager. Ainsi la perception de confort ne peut être décorrélée de ces éléments dans notre analyse.

Globalement, la plupart des usagers relient les brasseurs d'air à la question du confort d'été (rafraîchissement, sensation d'air en mouvement, etc.) mais quasiment aucun répondant n'évoque le confort d'hiver, et notamment la notion de déstratification, à savoir homogénéiser l'air, entre les couches d'air chaud et froid.

3.1.2.1. Usagers avec brasseurs d'air

Pour les usagers en habitation, le brasseur d'air est perçu comme un équipement qui apporte un certain confort par temps chaud. Pour les plus convaincus, s'en équiper revient à ne pas installer de climatisation. C'est donc pour eux un choix de rafraîchissement moins énergivore, motivé par une certaine conscience écologique. En revanche, certains répondants pensent que c'est un équipement inefficace voire inutile en cas de fortes chaleurs et qui contribue donc à un gaspillage d'électricité. Ce résultat semblerait dépendre de la qualité du bâtiment dans lequel évoluent les répondants[10]. Les entretiens révèlent en effet que, dans les logements récents, les usagers avec brasseurs d'air ressentent moins d'inconfort. Mais le lien avec la perception du brasseur reste toutefois difficile à établir. Dans tous les cas, il existe un sentiment d'efficacité limitée des brasseurs d'air pour « vraiment rafraîchir » le logement, particulièrement dans les OLS. Nous touchons peut-être là une confusion dans le sens où le brasseur d'air n'est pas un équipement qui est censé rafraîchir l'ambiance mais diminuer la température ressentie. Les effets du brasseur d'air sont tout de même appréciés car ils apportent du confort. Nous relevons ici une contradiction entre deux groupes : ceux qui sont convaincus et pour lesquels les brasseurs d'air fonctionnent et ceux dont le bâtiment n'est pas adapté et donc pour lesquels le brasseur d'air ne fonctionne pas. Une approche mitigée qui ne conduit pas un groupe à l'emporte sur l'autre à ce stade.

Hors habitation, les usagers s'accordent à dire que le brasseur d'air est un équipement pratique permettant d'améliorer le ressenti personnel de l'air ambiant, à défaut de réellement rafraîchir l'air. En d'autres termes, ils sont conscients que cela n'impacte pas la température de l'air. Ce qui confirme qu'en habitation, les usagers non sachant s'attendent à ce que le thermomètre diminue. Mais la sensation de confort générée (brassage d'air, sensation de brise sur la peau, etc.) augmente l'intérêt à utiliser un brasseur d'air. Les répondants s'accordent sur le fait que l'usage d'un brasseur d'air diffère de la climatisation. Le brasseur d'air est tout d'abord considéré comme plus respectueux de l'environnement, notamment au niveau de la consommation d'énergie, du rejet de chaleur résiduelle ou encore des fluides frigorigènes propres aux climatiseurs. Le brasseur d'air demande aussi moins de maintenance et donc peut générer des économies. Une des raisons pour laquelle il est largement utilisé dans le secteur touristique (hôtels, restaurants, etc.). Cependant, c'est un équipement qui reste perçu comme moins efficace et qui apporte moins de confort que la climatisation, qui elle permet de véritablement abaisser la température de la pièce.

3.1.2.2. Usagers sans brasseur d'air

En habitation, pour un grand nombre de répondants sans brasseurs d'air celui-ci évoque un système similaire à la climatisation, mais ils s'interrogent toutefois sur sa capacité de rafraîchissement, particulièrement en cas de fortes chaleurs, le brasseur d'air ne faisant que "brasser de l'air chaud". Certains répondants pensent même que c'est un équipement « inutile », surtout en métropole ou dans des conditions climatiques tempérées. Un équipement qui a donc été remplacé naturellement par la climatisation pour beaucoup, et qui répondrait mieux aux besoins de rafraîchissement dans les logements.

Dans les bureaux, les répondants s'accordent sur le fait que le brasseur d'air doit certainement apporter du confort en cas de chaleur. Il est perçu comme un équipement plus pratique que les ventilateurs de bureau, voire même la climatisation pour certains. Cet équipement aurait donc sa place dans les bureaux, surtout en espace partagé (open-space). Cependant, il existe un doute sur l'efficacité de rafraîchissement et le potentiel de renouvellement de l'air. Il existe aussi une crainte quant au bruit potentiellement émis, ainsi qu'à la sensation procurée : « *un équipement qui frappe de l'air sur soi continuellement* ». Il peut enfin être perçu comme gênant en bureau, lorsque l'activité est statique, avec un travail intellectuel notamment.

10 En revanche, nous ne voyons pas de lien solide émerger des données du questionnaire complémentaire (N=24). Mais il est difficile de conclure quand les tests ne s'avèrent pas significatifs étant donné la faible taille de l'échantillon.

Focus questionnaire complémentaire (n=24)

Les usagers avec et sans brasseurs d'air ne semblent pas anticiper de la même manière l'apport des brasseurs d'air au confort d'été. En effet, il y a significativement plus de répondants sans brasseurs d'air (80%) qui anticipent "*une meilleure sensation de confort en saison chaude (air brassé, rafraichissement, etc.)*" que de répondants avec brasseurs d'air (50%)[11]. En revanche ces deux cibles n'indiquent pas de différence significative en moyenne quant à la probabilité d'améliorer le confort d'hiver ("*une meilleure sensation de confort en saison froide (chaleur plus homogène dans les pièces)*"). Ce résultat renforce les observations tirées des entretiens, et notre interprétation à savoir qu'une partie des usagers avec brasseurs d'air, ayant expérimenté ces équipements, pourraient se trouver partiellement déçus, alors que les usagers sans brasseurs d'air ont davantage d'anticipation positive quant aux effets de l'utilisation de l'équipement (croyance positive)[12].

Le point de vue des professionnels

Les éléments qui émergent des entretiens côté "offre" complètent ces observations. Pour la plupart des prescripteurs interrogés, les brasseurs d'air constituent une solution efficace pour le rafraîchissement, qui améliore le confort ressenti notamment quand les bâtiments sont bien isolés et que la ventilation nocturne permet de décharger la chaleur accumulée en journée. Les brasseurs d'air sont souvent recommandés quand un rafraîchissement passif efficace est possible.

En termes de confort, les professionnels indiquent que le brasseur d'air permet (a) une sensation de brise sur la peau (brassage et vitesse d'air absente par climatisation) ; (b) une optimisation des températures ressenties ~~(environ 4°C/m/s)~~ et donc une meilleure acceptabilité de la chaleur ; (c) une réduction de l'usage de la climatisation (en durée ou en température de consigne) ; ainsi que (d) une homogénéisation de l'air (déstratification) en hiver notamment. Certains prescripteurs indiquent aux usagers et aux MOA "*ne vous attendez pas à avoir 25°C mais un ressenti de fraîcheur et une meilleure acceptabilité de la chaleur*".

Dans les autres cas l'apport en confort des brasseurs d'air est davantage discuté, selon la situation : performance, usages, réalité psychoaffective des usagers, etc. Par exemple, le brasseur d'air ne peut pas être efficace dans les bâtiments qui accumulent beaucoup de chaleur et pour lesquels aucune stratégie de décharge thermique est en place. Dans ces bâtiments, le brasseur d'air brasse de l'air chaud.

Certains prescripteurs indiquent qu'il *"ne devrait pas y avoir besoin de brasseurs d'air quand la conception est bien faite"*. Pour d'autres, "*ils sont utiles avec ou sans climatisation, et les augmentations de températures les imposeront, car de nos jours on ne supporte plus d'avoir chaud ni froid*"

Les bâtiments dans lesquels les brasseurs d'air semblent prescrits en priorité sont les bâtiments tertiaires publics ou privés du type scolaire, bureau, hospitalier, maison de retraite ou EHPAD ; autrement dit dans les bâtiments dans lesquels les usagers ont une occupation avec peu de mouvement. Ils semblent également utiles quand il y a de fortes contraintes sur la ventilation naturelle ou de pollution d'air, et donc quand l'ouverture des fenêtres est compliquée (circuit fermé). Certains installent des brasseurs d'air dans des espaces haut de plafond, tels que gymnases, bureaux anciens, espaces de vie en maison de retraite, hall, etc. En effet, la déstratification en hiver est utile dans les espaces avec plus de 3,5m de plafond. D'autres professionnels recommandent des brasseurs d'air dans le cas d'opérations de rénovation de bâtiments avec enjeu patrimonial, pour lesquels l'isolation par l'extérieur est exclue.

La plupart des professionnels interviewés prescrivent / installent bien moins souvent de brasseurs d'air dans le secteur habitation, notamment privé ; la maison individuelle étant un marché à "ouvrir".

Synthèse – Perception de confort

Les brasseurs d'air apportent un confort appréciable, tant en termes de confort ressenti (brise sur la peau) que de température acceptable. Leur efficacité est toutefois mise en doute chez les usagers sans brasseurs d'air et avec brasseurs d'air : les brasseurs d'air ne permettent pas de répondre efficacement au besoin de rafraîchissement, surtout en cas de fortes chaleurs. La climatisation semble être une solution préférée afin de répondre à ce besoin.

Pour traiter cette question, il semble important d'approfondir le lien entre la qualité du bâtiment (performance, matériaux, isolation, etc.), le type d'occupation, le confort ressenti par l'usager et son jugement quant à la performance du brasseur d'air. Lorsque le rafraîchissement passif est possible et que les bâtiments sont suffisamment adaptés aux brasseurs d'air, ces derniers deviennent un équipement perçu comme utile et efficace, pouvant même venir en supplément ou en complément de la climatisation. Il existe plusieurs autres cas singuliers qui légitiment l'usage du brasseur d'air. Ils sont notamment prescrits en priorité dans les bâtiments tertiaires publics ou privés, en logement collectif et dans des bâtiments avec une importante hauteur de plafond (déstratification en hiver).

11 Test de Mann-Whitney : U = 49,0 / p = 0,14
12 Test de Mann-Whitney : U = 67,0 / p = 0,75

3.1.3. Jugement quant à l'utilisation des brasseurs d'air - la notion d'attitude

Note : Les résultats de cette partie sont issus uniquement du questionnaire complémentaire

L'attitude envers les brasseurs d'air est une notion centrale pour comprendre le rapport des usagers à l'équipement. L'attitude résume le jugement global de la cible vis-à-vis des brasseurs d'air sur une base affective (liée aux émotions), cognitive (liée à l'information) et conative (liée à l'action). Cette attitude est favorable quand les effets positifs potentiels / observés de l'usage du brasseur d'air sont supérieurs aux effets négatifs.

L'attitude des répondants envers les brasseurs d'air peut être évaluée à travers une échelle multi-items d'Osgood. Cette dernière a été proposée lors du questionnaire complémentaire à partir de 8 paires d'items opposés, à savoir : Utile - inutile / Non sécurisant - Sécurisant / Inefficace - Efficace / Non pratique - Pratique / Coûteux - Économique / Disgracieux - Esthétique / Bruyant - Silencieux / Désuet - Moderne.

Ces adjectifs qualificatifs, identifiés par notre revue de littérature amont complétée par les premiers entretiens menés, permettent de saisir diverses dimensions des brasseurs d'air : jugement global, démarche instrumentale, dimension émotionnelle, critère esthétique, etc.

Chaque paire d'adjectifs a été mesurée sur une échelle à 11 points allant de "-5" à "+5", rappelant une échelle thermique, avec une extrémité "chaude" et l'autre "froide"[13].

Tableau 7 - Les caractéristiques des brasseurs d'air - comparaison entre cibles prises 2 à 2 - les composantes de l'attitude globale (N=23 / questionnaire complémentaire)

Caractéristiques des brasseurs d'air	**Habitation** (N=9)	**Hors Habitation** (N=14)	**Avec brasseurs d'air** (N=13)	**Sans brasseurs d'air** (N=10)	**Total** (N=23)
	M (σ)	M (σ)	M (σ)	M (σ)	M (σ)
Inutile | Utile	9,8 *(1,6)*	8,9 *(2,6)*	9,2 *(2,7)*	9,3 *(1,5)*	9,3 *(2,2)*
Non sécurisant | Sécurisant	8,4 *(2,2)*	9,0 *(1,5)*	9,2 *(1,6)*	8,3 *(1,9)*	8,8 *(1,8)*
Inefficace | Efficace	9,0 *(1,7)*	8,4 *(1,8)*	8,6 *(1,9)*	8,7 *(1,7)*	8,7 *(1,7)*
Non pratique | Pratique	8,4 *(2,4)*	8,1 *(2,3)*	8,2 *(2,6)*	8,3 *(2,0)*	8,3 *(2,3)*
Coûteux | Économique	**9,1 *(1,7)****	**7,9 *(1,9)****	8,7 *(2,0)*	8,0 *(1,6)*	8,4 *(1,9)*
Disgracieux | Esthétique	7,6 *(3,4)*	6,8 *(2,4)*	7,1 *(2,5)*	7,1 *(3,3)*	7,1 *(2,8)*
Bruyant | Silencieux	6,8 *(2,2)*	6,9 *(2,1)*	**7,5 *(2,3)****	**5,9 *(1,4)****	6,8 *(2,1)*
Désuet | Moderne	7,3 *(3,1)*	7,4 *(2,2)*	7,2 *(2,4)*	7,5 *(2,8)*	7,3 *(2,5)*
Attitude globale envers les brasseurs d'air (moyenne)	**8,3 *(1,7)***	**7,9 *(1,3)***	**8,2 *(1,3)***	**7,9 *(1,7)***	**8,1 *(1,5)***

* : moyennes significativement différentes au seuil 0,05 (ANOVA - Welch)

Interprétation du tableau : le score moyen d'attitude envers les brasseurs d'air est de 8,3 sur 11 pour les 9 usagers d'habitation ayant répondu au questionnaire complémentaire. Les différences qui sont significatives sont indiquées par un astérisque (*) : ces différences sont calculées entre les sous-groupes deux à deux

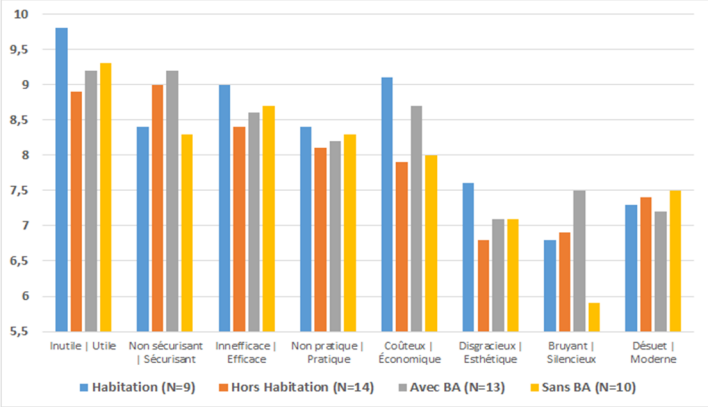


Figure 6 - Moyenne d'évaluation de chaque caractéristique / selon le type de cible

13 Pour les calculs, cette échelle a été ramenée à un score entre 1 et 11 (cf. Ajzen, 2002).

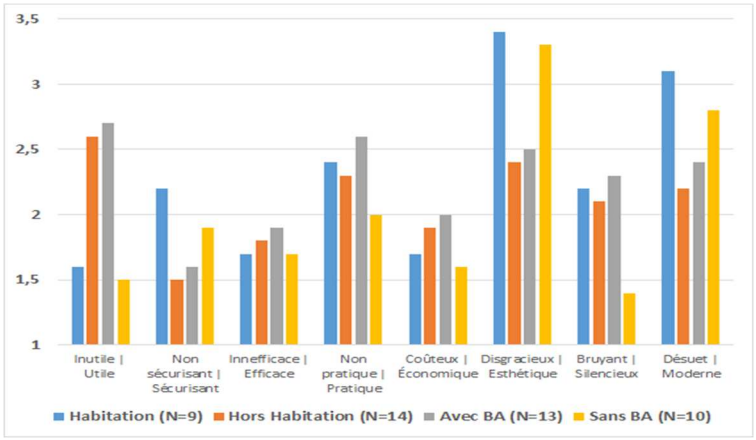


Figure 7 - Dispersion autour de la moyenne pour chaque caractéristique / selon le type de cible

3.1.3.1. Toutes cibles confondues - ensemble de l'échantillon

Les 23 répondants ont une vision plutôt positive des brasseurs d'air sur la base des paires d'adjectifs proposés. Notons que le nombre de répondants avec brasseurs d'air (n=13) et sans brasseurs d'air (n=10) est équilibré. En effet, aucune paire d'adjectif n'a de score moyen inférieur à 5,5 (point moyen de l'échelle). L'attitude globale est de fait globalement assez positive, avec M=8,1 (sur 11) et une certaine homogénéité de réponse dans l'échantillon (dispersion à la moyenne assez faible $\sigma = 1,5$).

La notion la plus positive pour qualifier les brasseurs d'air dans l'esprit des répondants est "utile" (M=9,3 sur 11). En seconde position nous trouvons "sécurisant", "efficace", "pratique" et "économique". Enfin, les qualificatifs les moins bien notés sont "esthétique", "silencieux" et "moderne" (M<7,3 sur 11).

Ces données confirment nos observations qualitatives. Les brasseurs d'air sont perçus avant tout comme étant utiles, efficaces, pratiques et économiques. Et l'échantillon est plus homogène sur ces adjectifs, autrement dit les réponses sont moins disparates (dispersion à la moyenne). Les brasseurs d'air sont moins bien jugés sur la dimension esthétique, acoustique et de modernité, avec des avis et postures plus hétérogènes (réponses disparates - avis plus contrastés).

Notons que rares sont ceux qui citent le risque d'insécurité (N=2 sur 23) : cette dimension ne semble pas être un réel problème au sein de l'échantillon (M=8,8). Ceci va en contre-point avec certaines observations en entretien, où l'aspect sécurité semble souvent important, notamment en bâtiment scolaire.

3.1.3.2. Comparaison entre cibles sur chaque critère (comparaison "deux à deux")

Les usagers habitation (UH) ont une attitude légèrement plus favorable envers les brasseurs d'air (M=8,3) que les usagers hors-habitation UHH (M=7,9). De même les usagers ayant une expérience des brasseurs d'air ont une attitude globalement plus favorable (M=8,2) que les usagers n'en n'ayant pas encore utilisé (M=7,9)[14].

Deux différences significatives émergent de nos résultats (confirmées par des tests statistiques) :

- Nous observons d'une part une différence de jugement entre les usagers en habitation (UH) et hors habitation (UHH) sur la dimension économique des brasseurs d'air : les cibles UH considèrent en moyenne que les brasseurs d'air sont plus économiques que les cibles UHH. Cela est probablement dû à une méconnaissance de l'efficience des brasseurs d'air de la part des usagers UHH, qui n'ont pas souvent de retour sur les économies d'énergie générées, et qui ne peuvent donc baser leur jugement que sur des projections. Les usagers UHH ont également une certaine méconnaissance du coût d'investissement (installation brasseurs d'air), information bien plus partagée par les usagers avec brasseurs d'air. Ce résultat peut traduire également le fait que les brasseurs d'air de bureau soient plus coûteux en moyenne, du fait de leur taille. Les deux types de cibles sont relativement homogènes dans leur réponse sur ce point ($\sigma = 1,7$ à $1,9$).

- D'autre part, les moyennes de jugement diffèrent de manière significative entre les cibles avec et sans brasseurs d'air sur l'aspect acoustique. **Les usagers avec brasseurs d'air jugent l'équipement plus silencieux en moyenne** (M=7,5) que les répondants sans brasseurs d'air (M=5,9). Ce résultat appuie nos observations quant au fait que les brasseurs d'air sont perçus comme des équipements potentiellement bruyants, de manière assez homogène. En effet, les usagers avec brasseurs d'air sont plus hétérogènes que ceux sans brasseurs d'air ($\sigma = 2,3$ contre $1,4$), indiquant des perceptions plus disparates quant à l'acoustique chez ceux qui expérimentent les brasseurs d'air que ceux qui n'en ont pas encore utilisé.

- Pour les autres items qualificatifs, les différences notables (mais non significatives) sont :

14 Ces résultats descriptifs ne sont pas confirmés par des tests statistiques (ANOVA seuil 10%). Nous notons des différences de moyenne peu amples entre les types d'usagers pris deux par deux. Néanmoins la taille de l'échantillon peut être responsable de ce résultat. Ainsi nous avons confirmé nos résultats grâce à des tests non paramétriques, moins sensibles à la taille des sous-échantillons.

- Usagers en habitation et hors habitation : les cibles UH jugent les brasseurs d'air plus fortement utiles (M=9,8 sur 11) que les cibles UHH (M=8,9). Ces derniers sont plus hétérogènes sur cet aspect, soulignant une différence entre les usagers de ce type dans l'intensité de leur jugement (σ =2,6). Les usagers UHH trouvent les brasseurs d'air en moyenne plus sécures que les usagers UH, mais moins efficaces. Ces deux types de cibles ont le même jugement sur la dimension acoustique.

- Avec ou sans brasseurs d'air : **les usagers avec brasseurs d'air jugent les brasseurs plus sécurisants que ne le jugent les usagers sans brasseurs d'air**, ce qui souligne la tendance que nous avons observée à croire que les brasseurs d'air sont des équipements dont la sécurité peut être en question. L'efficacité et la praticité ne semblent pas générer d'à priori (scores moyens quasi égaux entre les deux cibles). Les usagers ayant expérimenté les brasseurs d'air ont tendance à les considérer plus économiques que les usagers sans brasseurs d'air, relevant ici peut-être un a priori sur l'efficience des brasseurs d'air.

3.1.3.3. Comparaison entre les 4 types de cible (en croisant les 2 critères de segmentation)

Alors que nous notons des moyennes peu différentes entre les types d'usagers pris deux par deux, nous observons des différences marquées entre les 4 sous-groupes de cibles qui croisent les deux critères de segmentation (UH-UHH / avec ou sans brasseurs d'air), et ce malgré un effectif par sous-groupe assez faible15. En effet, pour tous les items il y a au moins deux sous-groupes présentant une différence de moyenne significative.

- L'attitude est significativement plus négative chez les usagers habitation sans brasseurs d'air (M=6,3 ; N=3) que chez les 3 autres cibles (M=7,3 à 9,3).

- En tendance les usagers UHH avec brasseurs d'air et les usagers UH sans brasseurs d'air ont des jugements significativement moins positifs que les deux autres profils d'usagers (UH avec brasseurs d'air et UHH sans brasseurs d'air), et ce pour tous les qualificatifs proposés. Les usagers UHH avec brasseurs d'air et les usagers UH sans brasseurs d'air considèrent les brasseurs d'air relativement moins utiles, efficaces, pratiques, économiques, esthétiques et modernes que les autres cibles.

- Seules exceptions : (1) les cibles UHH ont toutes un jugement positif vis-à-vis de la sécurité des brasseurs d'air, qu'ils soient utilisateurs ou pas. Seules les usagers UH sans brasseurs d'air appréhendent plus fortement ce risque (M=6,3). (2) Les usagers UH utilisateurs de brasseurs d'air les jugent plus bruyants que lorsqu'ils n'utilisent pas de brasseurs d'air.

Tableau 8 - Le jugement quant aux brasseurs d'air dans le questionnaire - 4 types de cibles - les composantes de l'attitude globale envers les brasseurs d'air (N=23)

Caractéristiques brasseurs d'air	**UH avec brasseurs d'air** (N=6)	**UH sans brasseurs d'air** (N=3)	**UHH avec brasseurs d'air** (N=8)	**UHH sans brasseurs d'air** (N=7)
	M (σ)	M (σ)	M (σ)	M (σ)
Inutile | Utile	10,8 *(0,4)**	7,7 *(0,6)**	7,9 *(3,2)**	10,0 *(1,2)**
Non sécurisant | Sécurisant	9,5 *(1,6)**	6,3 *(1,5)**	8,9 *(1,6)**	9,1 *(1,5)**
Inefficace | Efficace	10,0 *(0,9)**	7,0 *(1, 0)**	7,4 *(1,6)**	9,4 *(1,4)**
Non pratique | Pratique	9,2 *(2,6)**	7,0 *(1,0)**	7,4 *(2,5)**	8,9 *(2,1)**
Coûteux | Économique	10,0 *(1,1)**	7,3 *(1,2)**	7,6 *(2,0)**	8,3 *(1,8)**
Disgracieux | Esthétique	9,3 *(1,5)**	4,0 *(3,6)**	5,1 *(1,1)**	8,4 *(2,2)**
Bruyant | Silencieux	7,3 *(2,5)**	5,7 *(1,2)**	7,7 *(2,3)**	6,0 *(1,6)**
Désuet | Moderne	8,2 *(3,2)**	5,7 *(2,5)**	6,4 *(1,0)**	8,3 *(2,7)**
Attitude globale envers les brasseurs d'air (moyenne des scores)	**9,3 *(1,0)***	**6,3 *(1,1)***	**7,3 *(0,9)***	**8,6 *(1,5)***

* : moyennes significativement différentes au seuil 0,05 (ANOVA - Welch)

Interprétation tableau : les usagers UH sans brasseurs d'air ont un score moyen de 4,0 sur 11 sur le couple de qualificatifs "disgracieux-esthétique". Cela indique que ce type de cible considère, en moyenne, que les brasseurs d'air sont plutôt disgracieux. Les différences qui sont significatives sont indiquées par un astérisque (*) : ces différences sont calculées entre les sous-groupes deux à deux. Les sous-groupes ayant les scores les plus positifs vis-à-vis des autres ont un fond vert clair, et les sous-groupes ayant les scores relativement plus négatifs un fond orange clair.

Ces résultats suggèrent que **les usagers en habitation avec brasseurs d'air qui ont été interrogés ont un jugement globalement plus positif que les usagers hors-habitation avec brasseurs d'air.** De plus, les usagers habitation avec brasseurs d'air interrogés ont un jugement globalement plus positif que les usagers habitation sans brasseurs d'air. L'usage du brasseur d'air permet donc de réduire les à priori et croyances négatives. En revanche, c'est l'inverse pour l'occupation hors-habitation, où les usagers qui n'en utilisent pas ont un jugement plus positif que ceux qui en utilisent.

15 Les tests paramétriques (ANOVA et Welch) ont été confirmés par des tests non paramétriques, moins sensibles à la taille des sous-échantillons (Mann Whitney).

Le type d'occupation et le cadre d'utilisation du brasseur d'air semblent jouer fortement sur la satisfaction et l'attitude des usagers. L'usage dans le tertiaire conduit globalement à un jugement plus négatif que l'expérience d'usage dans l'habitat. Il génère pourtant plus de croyances et projections positives que dans l'habitat, parmi ceux qui n'utilisent pas de brasseurs d'air. Dans ce dernier, l'expérience du brasseur d'air réduit les croyances et à priori, avec une expérience globalement positive.

Le point de vue des professionnels - attitude et caractéristiques des brasseurs d'air

Les professionnels interrogés expriment certains aspects négatifs des brasseurs d'air qu'ils ont pu relever eux-mêmes, par le retour des MOA ou celui des usagers (encore peu courant). Les brasseurs d'air feraient "voler les feuilles" dans les espaces de bureau ou scolaire. Ils font parfois du bruit ("flap flap" des pales), notamment quand ils sont mal installés ou pour certains modèles anciens. Selon la hauteur du brasseur d'air, son dimensionnement et sa vitesse de rotation, il peut y avoir des plaintes quant à l'excès d'air sur la tête ou le cou. Le mouvement d'air continu peut aussi induire des maux de tête. Les professionnels attribuent ces retours à des associations avec la climatisation (ex. les bouches de climatisation trop directionnelles). Le risque de chute ou de blessure est également un point qui freine les MOA et gestionnaires techniques. Mais selon certains professionnels, si le brasseur d'air est réglé sur une rotation optimale et qu'il est bien équilibré cela permet de réduire fortement les risques.

Les brasseurs d'air représentent aussi un objet avec une présence fixe, qui semble gêner certains usagers / MOA : ils se voient même s'ils ne tournent pas, surtout quand la lumière porte sur eux.

Les brasseurs d'air peuvent difficilement être efficaces à la fois en hiver et en été (mais rappelons que l'usage hivernal semble peu courant, principalement dans des locaux de grande hauteur).

Enfin, dans le cas où les usagers n'ont pas le contrôle sur la vitesse mais uniquement sur l'allumage (ex. collèges, espaces collectifs de bureau, etc.) et quand la vitesse est mal réglée (souvent trop importante) les usagers ont tendance à ne pas allumer les brasseurs d'air.

Pour les professionnels interviewés, **la plupart des aspects négatifs seraient surtout issus de craintes et de mauvaises pratiques dans la conception / installation.**

Synthèse – Attitude

Les participants au questionnaire complémentaire ont une vision globalement très positive des brasseurs d'air sur la base des adjectifs proposés. Globalement, les brasseurs d'air convainquent surtout sur le plan pratique ("utile", "efficace" et "économique"), avec une homogénéité de réponse, et un peu moins sur le plan esthétique et acoustique, avec une hétérogénéité de réponse.

Selon le type de cible (UH / UHH, avec / sans brasseurs d'air), le jugement peut être différent. Les usagers UH considèrent les brasseurs d'air plus économiques en moyenne que les usagers UHH, traduisant pour ces derniers probablement un manque d'information sur l'efficience des brasseurs d'air. Les usagers UH jugent aussi les brasseurs d'air plus fortement utiles et efficaces que les usagers UHH, qui trouvent en revanche les brasseurs d'air plus sécures en moyenne, probablement de par la confiance dans l'entreprise / établissement au niveau de l'installation et maintenance.

Les usagers avec brasseurs d'air jugent l'équipement plus silencieux et sécurisant en moyenne que les usagers sans brasseurs d'air, ce qui appuie les croyances observées en entretien. Enfin, ceux qui n'utilisent pas les brasseurs d'air n'ont pas d'à priori sur l'efficacité et la praticité.

Lorsque nous croisons les deux catégories de cibles, et observons isolément les 4 types de cibles, ces dernières présentent des différences bien plus marquées, malgré de faibles tailles de sous-échantillon. Le secteur et le cadre d'utilisation du brasseur d'air semble jouer fortement sur le jugement et l'attitude des usagers. L'usage dans le tertiaire est globalement moins satisfaisant que dans l'habitat. Il génère pourtant plus de croyances et de projections positives que dans l'habitat, parmi les usagers sans brasseurs d'air. Dans l'habitat l'expérience du brasseur d'air réduit fortement les croyances et à priori, avec une expérience globalement positive, bien plus que dans les secteurs hors-habitation.

Les professionnels font état de quelques défauts rapportés par les MOA et usagers. Les brasseurs d'air … "peuvent faire voler les feuilles" dans les espaces de bureau ou scolaires ; font parfois du bruit ("flap flap" des pales) ; génèrent des plaintes quant à l'excès d'air sur la tête ou le cou. Les MOA publics émettent également des craintes, comme le risque de chute ou de blessure. Mais selon les professionnels interviewés, ces qualités négatives relèvent plus des craintes et de mauvaises pratiques pro (modèles anciens ou inadaptés, mal installés, etc.).

3.1.4. Les motivations à installer / utiliser un brasseur d'air

Note : *les résultats de cette partie sont issus des entretiens, appuyés par le questionnaire complémentaire.*

- Tous usagers confondus, les motivations les plus courantes à utiliser un brasseur d'air sont d'améliorer le confort ressenti l'été (avoir moins chaud) et de faire un geste pour l'environnement (cf. Tableau 9).
- La seconde catégorie de motivation la plus fréquente est : santé-qualité de l'air, faible intensité technologique (low-tech) et augmenter la performance du lieu de vie/travail/études.
- Enfin, les motivations les moins fréquentes sont : améliorer le confort d'hiver (homogénéisation des couches d'air), réduire la facture, anticiper les futures normes, inciter d'autres à utiliser un brasseur d'air (effet d'entraînement), améliorer l'esthétique du lieu et réduire les risques de covid par le brassage d'air.

3.1.4.1. Comparaison entre les 4 types de cible (en croisant les 2 critères de segmentation)

On constate qu'en habitation, la motivation "*Faire un geste pour l'environnement (savoir que je contribue à réduire les émissions de GES, production d'énergie, etc.)*" est partagée à l'unanimité. Dans les bureaux en revanche, cette préoccupation est partagée par un peu moins de la moitié des sondés. Viennent ensuite les motivations de réduction de consommation d'énergie ou encore le fait d'utiliser un équipement low tech. Dans les écoles, la motivation la plus forte est "*d'améliorer la qualité de l'air et le confort sanitaire : humidité, odeurs, aération, etc.*"

Les répondants qui n'utilisent pas de brasseurs d'air, aussi bien en habitation qu'hors habitation, seraient majoritairement motivés à les utiliser afin de "faire un geste pour l'environnement" et "améliorer la qualité de l'air". En logement privé, la motivation de réduire la consommation d'électricité pour avoir un logement plus performant est forte alors qu'en bureaux et dans les écoles il s'agit plus d'améliorer la qualité de l'air qui motiverait l'utilisation. On constate également qu'utiliser un équipement low tech ou réduire la consommation énergétique sont aussi des motivations assez fortes en bureau.

3.1.4.2. Comparaison entre cibles sur chaque critère (comparaison "deux par deux")

Note : Les résultats suivants sont issus des entretiens et du Tableau 6, qui reprend les données du questionnaire complémentaire.

3.1.4.2.1. Usagers UH versus UHH

- **Usagers UHH** : le souhait d'avoir moins chaud en saison chaude (améliorer le confort ressenti) est de loin la motivation la plus courante chez les usagers UHH (93%), significativement plus fréquente que chez les usagers UH (66%). Le souhait d'améliorer la qualité de l'air (santé) est la 2nde motivation la plus courante des usagers UHH (60%), significativement plus fréquente que chez les usagers UH (11%). Utiliser un équipement low-tech est également une motivation importante chez les usagers UHH (40%).

- **Usagers UH** : ont des motivations assez différentes. Le fait de faire un geste pour l'environnement prédomine largement (89%), bien plus fréquemment que les autres usagers (47%). Le confort d'été ressenti est la 2nde motivation (66%). L'idée d'avoir un logement performant et de réduire les factures arrive en 3ème position (33%). Les usagers UH sont peu motivés par la dimension low-tech des brasseurs d'air, ou par l'apport en confort d'hiver. Enfin, l'usage des brasseurs d'air ne leur permet pas, à priori, de réduire les risques de covid ni d'encourager d'autres ménages à en utiliser (effet d'entraînement).

- Les usagers UH et UHH ne montrent pas de différence dans les motivations suivantes : apparence et esthétique, performance du bâtiment, réduction de factures et confort d'hiver.

3.1.4.2.2. Usagers avec brasseurs d'air versus sans brasseurs d'air

- Le souhait d'**avoir moins chaud** en saison chaude (améliorer le confort ressenti) et de **contribuer à l'environnement** constituent toujours les motivations les plus courantes chez les usagers avec ou sans brasseurs d'air, sans distinction.

- Pour les autres motivations, les usagers avec brasseurs d'air ne révèlent pas de motivation plus fréquente que les usagers sans brasseurs d'air, si ce n'est **suivre les dernières innovations** et mettre son lieu de travail/études aux futures normes (25% contre 14%).

- En revanche, les usagers sans brasseurs d'air ont coché deux fois plus de motivations que les usagers avec brasseurs d'air (51% contre 26%). Ce résultat indiquerait que **les personnes n'ayant pas encore utilisé de brasseurs d'air sont mues par plus de sujets que les usagers avec brasseurs d'air**. Les usagers sans brasseurs d'air anticipent davantage que l'équipement répondra à leurs attentes. Au moins deux interprétations possibles à ce résultat : (1) les brasseurs d'air seraient en tendance "décevants" à l'usage, **les motivations se réduisant avec l'usage**. (2) l'utilisation des brasseurs d'air réduit les attentes, qui sont remplies à l'usage. Par exemple, 30% des répondants sans brasseurs d'air indiquent que les brasseurs d'air pourraient leur permettre de personnaliser leur logement / lieu de travail, et seraient donc attirés par la dimension esthétique générée, contre 0% d'usagers brasseurs d'air (différence significative). 60% des répondants sans brasseurs d'air pensent que ces équipements permettent d'améliorer la qualité de l'air et le confort sanitaire, contre à peine 30% des usagers de brasseurs d'air (différence significative).

Tableau 9 - Motivations exprimées au cours du questionnaire complémentaire - proportion d'items cochés des cibles 2 à 2 (en ne faisant varier qu'un critère à chaque fois)

Motivations	UH (N=9)	UHH (N=15)	Avec brasseurs d'air (N=14)	Sans brasseurs d'air (N=10)	Total (N=23)
Personnaliser ma maison ou mon lieu de travail (apparence et esthétique)	11%	13%	0%	30%*	12,5%
Avoir moins chaud en saison chaude - améliorer le confort ressenti (confort d'été)	66%	93%*	86%	80%	83%
Améliorer la qualité de l'air et le confort sanitaire : humidité, odeurs, aération, etc. (santé)	11%	60%*	29%	60%*	42%
Réduire la consommation d'électricité pour avoir un logement plus performant / pour la performance du bâtiment où je travaille / étudie (performance)	33%	33%	21%	50%*	33%
Réaliser des économies d'énergie pour réduire le montant de ma facture / celle de ma structure (réduire facture)	33%	20%	14%	40%*	25%
Faire un geste pour l'environnement (savoir que je contribue à réduire les émissions de GES, production d'énergie, etc.) (action écologique)	89%	47%*	64%	60%	62%
Encourager le passage à l'acte de voisins, amis, etc. / de collègues ou d'autres structures (engagement, montrer aux autres la bonne voie à suivre) (effet d'entraînement)	0%	27%*	7%	30%*	17%
Brasser de l'air pour réduire les risques de covid (ou autres virus) (santé)	0%	13%	0%	20%*	8%
Utiliser un équipement low-tech pour le rafraîchissement (faible technologie)	22%	40%	21%	50%*	33%
Avoir une sensation plus homogène en saison froide (faire descendre l'air chaud d'en haut) (confort d'hiver)	22%	27%	14%	40%*	25%
Suivre les innovations - mon lieu de travail / établissement scolaire se met aux standards futurs (anticipation)	ND	20%	25%	14%	20%
Moyenne	29%	24%	26%	51%	

* : proportions significativement différentes entre les deux sous-groupes, au seuil 0,05 (Test de Mann-Whitney)

Interprétation tableau : les usagers UH sont 66% à indiquer que l'amélioration du confort d'été est une motivation pour eux, contre 93% des usagers UHH. Les différences de proportions qui sont significatives sur le plan statistique sont indiquées par un astérisque (*) et plus la relation est robuste et marquée, plus le fond est gris foncé. Ces différences sont calculées entre les sous-groupes deux à deux (voir flèche).

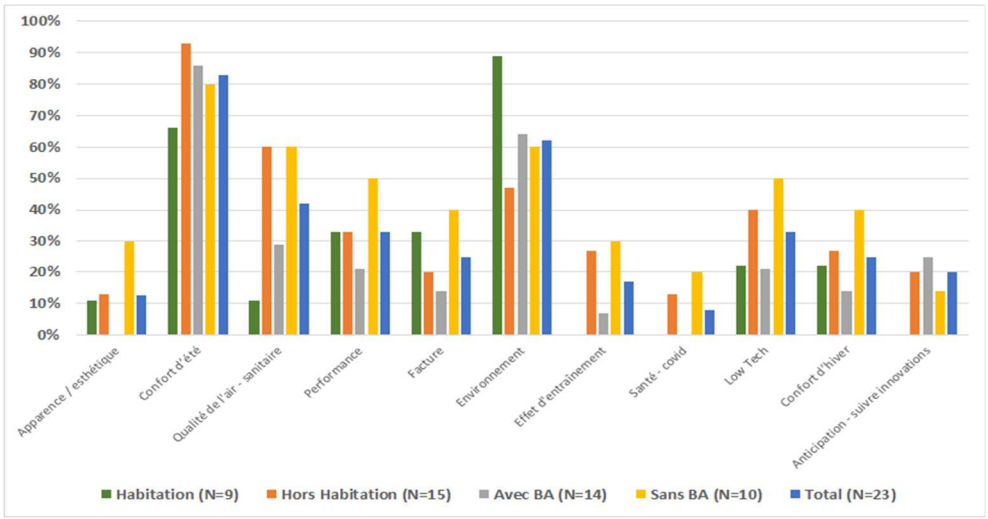


Figure 8 - Motivations selon le type de cible

Le point de vue des professionnels - Motivations des usagers

Les professionnels interrogés évoquent les motivations suivantes du côté des usagers :

Dimension technique : résistance de l'équipement (un brasseur d'air peut durer un siècle", notamment les modèles à bain d'huile) et appareil faiblement technologique (low tech) et donc simple à installer, à utiliser et à entretenir (passer une éponge sur pales).

Dimension confort :

- Capacité à homogénéiser l'air (déstratification) qui augmente la sensation de confort en réduisant notamment les différences de température par zone
- Confort avec vitesse d'air (cf. diagramme de Givoni) : transpiration, métabolisme du corps, etc.
- Température acceptée plus élevée, d'où des consignes plus basses.

Critère financier : système économe et moins cher à l'achat et à l'entretien (réduction des coûts d'exploitation), ayant en général un bon rapport qualité / prix.

Santé (en comparaison avec la climatisation) : assainit l'air, moins de mal de gorge et de tête, et peut réduire la charge virale dans le cas du covid

Environnement : le ratio "kWh consommé / m3 brassé" est faible comparativement à d'autres systèmes. Les brasseurs d'air réduisent la consommation et ne disposent pas de gaz frigorigènes.

Du côté des maîtres d'ouvrage (MOA) cités par les professionnels interrogés : les MOA considèrent le brasseur d'air comme un système permettant de réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, tout en générant du confort. C'est une "porte de sortie" quand ils n'ont plus de budget, pour obtenir un certain confort. En revanche, ils ont rarement à l'esprit le fait que les brasseurs d'air génèrent une brise sur le corps, une des particularités de ce type d'équipements.

Les distributeurs font état d'un nombre croissant de demandes "haut de gamme", qui intègre notamment le changement de sens de rotation sans appuyer sur bouton sur brasseurs d'air, pour le passage hiver / été.

Du côté des établissements scolaires, les MOA remarquent une demande croissante des usagers pour des solutions de confort d'été, et ce de plus en plus tôt dans l'année, à cause des pics de chaleur d'avril. Or installer la climatisation dans tous les établissements serait coûteux et peu cohérent car les bâtiments sont vides tout l'été.

Synthèse – Motivations

L'amélioration du confort thermique (avoir moins chaud) et la contribution à l'environnement constituent les motivations les plus évidentes dans le fait d'utiliser un brasseur d'air chez les usagers avec brasseurs d'air ou sans brasseurs d'air. Ces derniers semblent également conscients qu'utiliser un brasseur d'air va dans le sens d'une réduction de la consommation énergétique. Hors habitation (bureaux, établissements scolaires) l'amélioration de la qualité de l'air est une motivation importante. Les cibles de ce secteur mettent aussi en avant la fiabilité et l'efficacité de l'équipement.

Les usagers sans brasseurs d'air ont davantage de motivations : ils ont plus de projections, qui semblent se réduire avec l'usage des brasseurs d'air (qui réduit les attentes).

Les professionnels font remonter un ensemble de motivations de la part des usagers et MOA telles que la facilité de l'entretien, la réduction des coûts d'exploitation, l'absence de gaz frigorigènes, etc. Les brasseurs d'air représentent une "porte de sortie" intéressante en termes de confort et d'économie d'énergie lorsque les budgets de construction d'équipements publics sont limités, et avec une demande croissante de confort d'été. Cependant certains MOA publics ont rarement à l'esprit le fait que les brasseurs d'air génèrent une brise sur le corps, ils ne peuvent donc arbitrer sur la base des qualités effectives des brasseurs d'air.

3.2. L'usage des brasseurs d'air

Cette partie vise à résumer comment les usagers avec brasseurs d'air utilisent l'équipement et comment les usagers sans brasseurs d'air l'utiliseraient (projection d'usage).

3.2.1. Description des usages dans l'échantillon

3.2.1.1. Lieux d'installation

Au sein de logements privés où des brasseurs d'air étaient déjà installés, nous avons constaté la présence d'un brasseur d'air par chambre pour la moitié des cibles. Les brasseurs d'air sont aussi installés dans le salon dans la moitié des cas, mais peu dans la cuisine (un seul cas). Nous n'avons rencontré qu'un seul cas où le brasseur d'air n'était installé que dans le salon. Le nombre de brasseurs d'air installés dans les logements varient en général entre 1 et 4.

En logement social (la Réunion) les cibles mettent en avant la contrainte de la pré installation du brasseur d'air : ces derniers sont souvent déjà installés dans les logements, sans que les usagers aient eu le choix (5 cas sur 6). Les brasseurs d'air sont installés la plupart du temps dans les chambres (un brasseur d'air par chambre dans 5 cas sur 6). Le salon n'est majoritairement pas équipé.

En bureau, nous observons un brasseur d'air par pièce au-dessus du bureau dans les espaces de travail personnel. En espace partagé on retrouve un brasseur d'air pour 5 à 6 usagers, situé au-dessus de chaque poste de travail. Le cas où était installé un modèle de brasseurs d'air de type Exhale concernait 8 personnes dans un espace partagé ouvert (open-space) de 53 m2.

En bâtiment scolaire, nous avons observé environ 3 voire 4 brasseurs d'air par salle maximum, selon le volume de la pièce. Pas dans les salles de technologies. Présent dans les ateliers des lycées professionnels.

3.2.1.2. Occupation et activités sous les brasseurs d'air

Dans les logements privés, les usagers effectuent majoritairement leurs activités dans la pièce où le brasseur d'air est installé, contrairement aux usagers résidant en logement social. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'en logement privé les brasseurs d'air sont souvent installés dans le salon alors qu'en logement social ils se situent plutôt dans les chambres.

En bureau, le brasseur d'air est généralement placé au-dessus de l'espace de travail. Une place attribuée dans les espaces partagés, sans choix. Le type d'activité observé est essentiellement intellectuel (ordinateur, lecture, écriture, etc.).

En bâtiment scolaire, le brasseur d'air est placé au-dessus des tables - Type d'activité : Intellectuelle (ordinateur, lecture, écriture, etc.) et manuelle.

3.2.1.3. Utilisation - réglages et fréquence

En logement privé, un grand nombre d'usagers utilisent le brasseur d'air jour et nuit quand il fait chaud et à puissance maximale en cas de forte chaleur. Le brasseur d'air est également utilisé le soir en fonction du besoin de rafraîchissement. Le brasseur d'air est donc principalement utilisé en saison chaude, mais certains usagers de métropole l'utilisent aussi en hiver ponctuellement pour homogénéiser la chaleur de la pièce.

En logement social, lorsque le brasseur d'air fonctionne (4 cas sur 6 où le brasseur d'air ne fonctionne qu'une fois sur 3), il est souvent utilisé nuit et jour sans aération naturelle, mais aussi ponctuellement le soir pour évacuer la chaleur accumulée dans le logement. Lorsque le brasseur d'air est non-performant, il est utilisé uniquement pour renouveler l'air dans le logement. La crainte associée à l'équipement conduit certains usagers à ne l'utiliser que lorsque les enfants ne sont pas présents. Une personne déclare ne jamais l'utiliser.

En bureau, pour la plupart des répondants, le brasseur d'air est utilisé en fonction du besoin de rafraîchissement propre au type de bâtiment. Dans les bâtiments bioclimatiques par exemple, son usage est ponctuel, souvent à vitesse réduite et couplé avec la ventilation naturelle (2/4). Les répondants soulignent une utilisation raisonnée du brasseur d'air dans l'année/la journée. Il existe notamment des consignes quant à leur utilisation, comme éteindre le brasseur d'air en sortant de l'espace de travail. Dans les autres bâtiments, l'usage du brasseur d'air se fait sur l'ensemble des heures de travail, entre 8 et 9h par jour en été, contre 4h en hiver ponctuellement. La vitesse est maximale, puis régulation en fonction du besoin dans la journée (baisse progressive). Les brasseurs d'air ne sont la plupart du temps jamais éteints entre 12h et 14h.

En bâtiment scolaire, les brasseurs d'air sont utilisés en fonction du besoin de rafraîchissement ou en permanence selon les enseignants. Il n'y a généralement pas de consigne d'utilisation, sauf si l'équipement est défectueux. Avec les mesures sanitaires liées au COVID leur utilisation a été interdite en saison estivale à la Réunion (fin 2020).

La période d'utilisation à la Réunion va de fin octobre à fin avril, avec une forte demande durant le mois de décembre et janvier. En métropole, le brasseur d'air est utilisé surtout en été (de Juin à Septembre), particulièrement dans le sud.

3.2.1.4. Conflits d'usages

En logement privé, c'est généralement la différence de sensibilité thermique entre les usagers qui crée le conflit. Le contrôle de l'équipement, comme le réglage de la vitesse de brassage peut aussi en être la source. Dans ce cas, les différends se règlent alors soit par concession, soit en adaptant sa tenue vestimentaire (se couvrir). Nous n'avons rencontré qu'un seul cas où la cible parlait de réelle mésentente sur l'usage. La période d'utilisation influence aussi les potentiels conflits selon certains répondants : il est plus facile de s'adapter en été qu'en hiver. Nous n'avons rencontré qu'un seul cas où aucun conflit n'avait lieu et où l'usage relevait d'un accord commun.

En logement social, les conflits signalés l'ont été uniquement pour les ménages avec des enfants âgés. Les points d'entente sont sinon trouvés par concession.

En espace partagé de bureau la décision d'utiliser les brasseurs d'air est souvent collective, il n'y a donc généralement pas de conflit d'usage, mais plutôt un consensus. Un résultat qui peut sembler surprenant à première vue. Dans certains cas, une communication sur la décision de leur utilisation et sur les réglages prévus est faite au cours de la journée.

En bâtiment scolaire, des conflits d'usage peuvent apparaître car le nombre important d'élèves présents augmente les différences de sensibilité thermique. Il arrive qu'en cas de refus de la majorité des élèves à utiliser le brasseur d'air, la demande soit prise en compte par les enseignants. En d'autres termes, les élèves peuvent prendre la décision et si elle n'est pas unanime, le dernier mot revient au professeur. Nous avons eu également des rapports de conflits d'usage dû aux règles sanitaires liées au COVID qui interdisait l'utilisation des brasseurs d'air.

3.2.1.5. Satisfaction globale d'utilisation

Dans le questionnaire complémentaire, nous avons demandé aux usagers avec brasseurs d'air de se prononcer sur leur degré de satisfaction sur le confort apporté, la qualité de l'équipement et la satisfaction globale d'utilisation.

Les résultats montrent une **satisfaction d'usage fortement supérieure en habitation**, avec des réponses bien plus concentrées autour de la moyenne (dispersion) que pour les usagers hors habitation, bien moins homogènes dans leur réponse[16].

Tableau 10 - Degré de satisfaction vis à vis des brasseurs d'air - comparaison entre usagers en habitation et hors habitation

	Habitation (N=6)	Hors Habitation (N=8)	Total (N=14)
Satisfaction quant au confort offert	8,50 (0,84)	6,25 (2,65)	7,21 (2,32)
Satisfaction quant à la qualité de l'équipement	8,50 (1,05)	6,38 (2,26)	7,29 (2,09)
Satisfaction globale	9,00 (0,89)	6,25 (2,43)	7,43 (2,34)

Moyennes sur 10 points

Synthèse – Usages
L'utilisation des brasseurs d'air dépend du type d'occupation et de la qualité du bâtiment. Elle est quasiment permanente en saison chaude, sauf dans les bâtiments performants où l'utilisation est plus raisonnée et accompagnée de consignes d'usage. En habitation, l'utilisation est souvent couplée à la ventilation naturelle en soirée pour profiter de la brise nocturne : le couple "brasseurs d'air / ventilation nocturne" semble important. L'installation de brasseurs d'air dans le salon où la pièce à vivre principale augmente fortement leur usage.
Les conflits d'usages concernent dans la majorité des cas les différences de sensibilité thermique des usagers. Les brasseurs d'air peuvent être source de désaccord qui incite à s'adapter (se vêtir, etc.). Dans le secteur tertiaire, notamment en espace partagé et bâtiment scolaire, les usagers semblent s'accorder sur l'usage.

Le point de vue des professionnels - Usages
Les professionnels qui mobilisent des brasseurs d'air ont été invités à noter la qualité et efficacité des brasseurs d'air sur une échelle à 10 points. Ils devaient se prononcer sur les modèles qu'ils prescrivent / installent / vendent le plus, ou en distinguant brasseurs d'air ancien et moderne.
Les anciens modèles sont parfois mal notés, avec 3/10 dû notamment à la vibration (pas bien équilibrés). Les modèles plus modernes obtiennent toujours une bonne note (allant de 7 à 10 sur 10). La robustesse des brasseurs d'air dans l'ensemble est bien notée, avec 7/10 en moyenne. L'apport en confort est quasi-unanime, le brasseur d'air optimise les températures ressenties, homogénéise l'air, induit une brise sur le corps et permet d'accepter une température de consigne plus élevée. L'apport en performance est unanime : économies d'énergie et réduction de l'usage de la climatisation (durée et température de consigne). Cependant, certains prescripteurs indiquent aux usagers et aux MOA de "*ne pas s'attendre à avoir 25°C mais un ressenti de fraîcheur et une meilleure acceptabilité de la chaleur*".
Pour certains, au-delà de la dichotomie "ancien/moderne", l'enjeu se place dans la pertinence du modèle vis-à-vis de la situation. Ainsi, les professionnels font état du **manque d'études et de dispositif de recueil des retours d'expérience** des usagers et MOA (REX).

16 Cette partie ne décrit pas de résultats comparatifs entre usagers avec et sans BA, puisque la satisfaction ne concerne que ceux ayant expérimenté les BA.

3.2.2. Compétition avec d'autres équipements de rafraîchissement

3.2.2.1. Les autres équipements de rafraîchissement utilisés

En logement privé, la moitié des cibles interrogées ont déclaré utiliser un ventilateur sur pied, le plus souvent la nuit dans les chambres. Les usagers avec des convictions écologiques (amoindrir la consommation énergétique et son empreinte écologique) n'utilisent pas d'autre équipement, parfois même lorsqu'une climatisation est installée dans le logement (un cas).

En bureau et en bâtiment scolaire avec brasseurs d'air, aucun des usagers interrogés n'utilisaient d'autre équipement pour se rafraîchir que le brasseur d'air. Les sondés déclarent s'orienter vers des actions complémentaires comme l'ouverture des fenêtres pour générer une ventilation naturelle, ou encore par la mise en place de fontaines à eau. Cependant nous avons rencontré systématiquement des climatiseurs installés (mais non utilisés) dans les bureaux administratifs et une fois dans une salle de gymnastique.

3.2.2.2. Compétition entre le brasseur d'air et la climatisation

Q - *Selon-vous, la climatisation est-elle plus utilisée ?*

En habitation (logement privé & social), un grand nombre de répondants pense que l'usage du climatiseur est plus répandu que celui des brasseurs d'air, d'autant plus chez les personnes âgées et notamment en métropole (Sud de France) où ces derniers sont plus nombreux. La climatisation serait à ce titre un équipement qui répondrait mieux au besoin de confort de cette population.

A la Réunion, les cibles s'accordent sur le fait que les brasseurs d'air sont plus répandus dans les établissements scolaires publiques, notamment pour des raisons économiques. D'autres avancent cependant que la présence de climatiseurs serait plus fréquente dans des établissements scolaires privés, car ils ne sont pas en lien avec les collectivités territoriales et sont donc plus libres de leurs investissements.

Q - *Pensez-vous que les brasseurs d'air puissent être une solution pertinente pour le climat et l'environnement ? Au regard de la climatisation*

En logement privé, la plupart des usagers interrogés pensent que le brasseur d'air représente une meilleure solution que la climatisation pour des enjeux environnementaux (consommation d'électricité). Mais, le brasseur d'air peut s'avérer peu utile dans les logements bioclimatiques ayant déjà des spécificités (performances, bâtiment qui peut être déchargé thermiquement la nuit, etc.).
En logement social, le brasseur d'air est perçu comme étant moins énergivore et représente donc une solution économique avantageuse. Il peut également être perçu comme meilleur que la climatisation pour l'environnement mais aussi pour des raisons de santé (qualité de l'air, pas de froid) ; dans tous les cas plus pertinent qu'un ventilateur sur pied qui se désagrège vite et occasionne un déchet électroménager.
En bureau, la plupart des usagers pensent que le brasseur d'air représente une bonne alternative économique et écologique à la climatisation, mais **seulement si les bâtiments sont bien conçus**. Selon eux, il permet d'augmenter l'efficacité de la climatisation et donc de régler les climatiseurs à des températures moins basses, permettant d'économiser de l'énergie. A la Réunion, le brasseur d'air peut être un équipement d'appoint pertinent dans un bâtiment bien ventilé naturellement.
Dans les établissements scolaires, le brasseur d'air est également perçu comme supérieur à la climatisation pour le renouvellement de l'air, mais la priorité est donnée à l'aération naturelle des constructions. Le brasseur d'air est certes utile en cas de chaleur modérée, mais la climatisation permet de faire face à des chaleurs plus soutenues. Le brasseur d'air ne brassera pas assez". Il y a aussi la problématique de l'acoustique.

Q - *Connaissez-vous des personnes qui ont abandonné le brasseur d'air au profit de la climatisation ?*

En logement privé, la moitié des cibles interrogées n'ont pas eu connaissance de ce cas. Il existe ainsi des cas où l'usager semble avoir remplacé ses brasseurs d'air par un système de climatisation car ils ne suffisaient pas à répondre au besoin de rafraîchissement nocturne.

Idem en logement social où 5 des 6 locataires interrogés ne connaissent pas ce cas. Un locataire évoque le cas d'un logement très petit et renfermé qui manquait d'aération, et où l'usage de la climatisation avait été pris en considération parce que les résidents percevaient des limites d'efficacité des brasseurs d'air à partir de 28°C.

Dans les bureaux, nous n'avons également rencontré qu'un seul cas où les brasseurs d'air avaient été remplacés par des climatiseurs, les brasseurs d'air n'étant jugé pas assez efficaces lors des fortes chaleurs dans leur bâtiment.

Synthèse – Compétition avec la climatisation

La combinaison entre brasseurs d'air et autres moyens de rafraîchissement est plus courante en secteur habitation, pour pallier l'insuffisance du brasseur d'air ou lorsque les pièces ne sont pas toutes équipées. Cela est plus difficile en bureau et dans les bâtiments scolaires où les usagers "subissent" davantage l'existant. La ventilation naturelle est plus souvent combinée aux brasseurs d'air.

Le brasseur d'air est de plus perçu comme un équipement plus vertueux, plus propre et moins énergivore que la climatisation. En revanche, le brasseur d'air n'aura pas la même efficacité selon la conception du bâtiment. Dans un bâtiment performant, il est parfois jugé peu utile et parfois pertinent si l'on souhaite se passer de climatisation ou en réduire l'usage. Il apparaît aussi être une réponse intéressante en appui à d'autres systèmes. Dans un bâtiment non performant et sans climatiseur, le brasseur d'air est perçu comme indispensable mais son efficacité trouvera vite une limite, surtout si la ventilation naturelle n'est pas possible (décharge thermique la nuit).

Nous constatons également que le cas de remplacement d'un brasseur d'air par un système de climatisation est principalement dû à leur limite d'efficacité perçue. Dans la section précédente, nous avons vu que le type de bâti (isolation thermique, circulation de l'air, etc.) pouvait jouer un rôle déterminant sur cette perception.

Les personnes âgées requièrent plus souvent la climatisation et sont de ce fait davantage en défiance des brasseurs d'air.

Le point de vue des professionnels - compétition avec la climatisation

Q *- Il y a-t-il une concurrence entre climatisation et brasseurs d'air ?*

La plupart des professionnels interrogés indiquent qu'il n'y pas réellement de concurrence : "*leurs applications sont différentes et se complètent*". Brasseurs d'air et climatisation ne répondent pas aux mêmes besoins et ne sont pas installés dans les mêmes conditions & bâtiments. Les deux visent une amélioration du confort, mais les brasseurs d'air permettent un mouvement d'air l'été que la climatisation n'offre pas. De plus, nous observons des MOA publics qui proposent des brasseurs d'air quand la climatisation n'est pas possible, notamment pour des raisons budgétaires.

Dès lors, quand la climatisation est installée, les brasseurs d'air seraient rarement présents selon les interrogés. Pourtant selon eux, les deux peuvent se coupler efficacement : les brasseurs d'air permettraient de réduire la puissance installée en climatisation et d'en limiter la période d'utilisation en été. La température de consigne pourrait être alors différente avec une utilisation simultanée "clim + brasseurs d'air" : température plus forte en été et plus faible en hiver. Par exemple, les brasseurs d'air peuvent servir à fixer la température de consigne à 27°C dans les bureaux en été plutôt qu'à 25°C, grâce à l'apport de rafraîchissement par brassage d'air et la sensation de brise sur la peau. En hiver, la température de l'air peut être maintenue à 22°C plutôt que 24°C pour le chauffage grâce à la déstratification des couches d'air. Ces arguments et exemples ont été donnés par des professionnels interrogés, la pertinence du couple "brasseurs d'air+Clim" ainsi que de la destratification reste à confirmer.

Q *- Pourquoi la climatisation domine-t-elle aujourd'hui ?*

Selon les professionnels interrogés c'est une question d'image. La climatisation donne l'impression d'être technique et moderne, ce qui plaît à une large catégorie d'usagers : "*Le futur c'est la clim, les brasseurs d'air c'est du passé*". Cette représentation est en partie construite par méconnaissance des brasseurs d'air, notamment quand ils sont peu manipulés par les usagers (réglage automatique). Certains professionnels évoquent les points faibles de la climatisation à leurs clients : souvent mal dimensionnée, entretien important, casse régulière, présence de gaz frigorigènes, impact sur la santé et forte consommation électrique. Mais cette démarche reste rare, apparemment.

La 2nde raison forte est le confort ressenti, en lien avec le contrôle perçu : les usagers se sentent en confort s'ils peuvent maîtriser la température de consigne et pas seulement la vitesse de l'air. La climatisation apporte un rafraîchissement fort et rapide, peu importe la température extérieure.

La facilité du système de climatisation est également évoquée, qui propose du chaud/froid en un seul équipement. Le système est automatique, dès lors que les températures de consignes sont fixées aux diverses saisons. Cela permet de déresponsabiliser les usagers, alors que dans ce cas des brasseurs d'air, les usagers doivent être plus actifs dans le réglage quotidien, puisque les besoins peuvent varier dans la journée et d'un jour à l'autre.

Si la climatisation est perçue comme plus avantageuse dans le rapport "coût d'investissement/efficacité", les bureaux d'études ne prennent pas pleinement en compte la phase d'exploitation (maintenance, coût de l'énergie, etc.), qui requiert une approche en coût global. Ainsi la performance énergétique disparaît des arbitrages, ce qui désavantage les solutions comme les brasseurs d'air.

Le lobbying des industriels/distributeurs peut aussi expliquer la pénétration de la climatisation selon certains professionnels.

3.2.3. Projection d'usage ou usage projeté

3.2.3.1. Comment les usagers sans brasseurs d'air utiliseraient cet équipement ?

Dans les logements privés, les usagers sans brasseurs d'air interrogés envisageraient d'utiliser l'équipement dans les chambres ou dans la pièce à vivre. Certains répondants émettent le besoin d'avoir l'aval des tous les occupants avant d'en installer un. Si pour certains répondant le brasseur d'air serait en fonctionnement en permanence, la plupart envisagent plutôt une utilisation ponctuelle en fonction de l'inconfort ressenti en cas de chaleur**.** Il serait plutôt utilisé pendant l'été, le soir en cas de canicule, notamment pour rafraîchir la chambre avant de dormir. Cependant, certains répondants n'envisagent pas d'utiliser de brasseurs d'air pour dormir par crainte d'un inconfort acoustique.

En secteur tertiaire, le brasseur d'air serait utilisé pour garantir une température idéale au travail en fonctionnant toute la durée des heures de travail, mais aussi avant qu'il ne fasse trop chaud afin de prévenir à l'inconfort de chaleur. Le réglage varierait en fonction de la température ressentie au cours de la journée. L'attention des répondants est souvent portée à la vitesse du brasseur d'air (pas trop fort pour ne pas faire voler les feuilles). Le brasseur d'air pourrait aussi être utilisé pour aérer la pièce/salle.

Dans les établissements scolaires, le brasseur d'air serait utilisé en fonction des besoins de rafraîchissement des élèves durant l'été, en adéquation avec la ventilation naturelle pour aérer la pièce/salle et rafraîchir les usagers. En métropole, un répondant a déclaré envisager l'utilisation d'un brasseur d'air seulement s'il pouvait expérimenter l'équipement et garantir son utilité. Il existe aussi une crainte chez certains répondants quant au bruit potentiellement émis, ce qui pourrait réduire son utilisation.

3.2.3.2. Projection d'usage sur les brasseurs d'air sans pale (type Exhale)

Les usagers habitation et hors habitation (UH et UHH) sans brasseurs d'air ont été interrogés en fin d'entretien sur leur perception des ventilateurs sans pale (de type Exhale). Nous relevons une attitude plutôt positive ainsi qu'un intérêt et une curiosité pour cet équipement et son fonctionnement. Ce type de brasseurs d'air est d'abord perçu comme plus esthétique qu'un brasseur d'air classique. Il apparaît aussi comme plus efficace : il apporterait moins de gêne, notamment par l'absence visuelle des pales. Les répondants anticipent toutefois un coût plus élevé. C'est un équipement qui s'intégrerait plutôt bien dans les bureaux et les écoles, moins dans le secteur habitation car il implique une intégration architecturale forte qui peut être problématique dans les logements anciens. Il est également bien perçu dans les écoles car il éviterait de perturber les élèves : il n'attirerait pas l'attention comme c'est le cas avec les pales en rotation des modèles classiques.

3.2.3.3. Projections sur le transfert logement - travail

Q *- Aimeriez-vous avoir des brasseurs d'air également sur votre lieu de travail vs habitation ?*

3.2.3.3.1. Avec brasseurs d'air

Les habitants en logement social interrogés sont globalement favorables à l'idée d'utiliser un brasseur d'air sur leur lieu de travail. Certains perçoivent un avantage en termes de rafraîchissement, d'autres pensent que le brasseur d'air est plus efficace et écologique qu'une climatisation et que l'aération naturelle est meilleure pour la santé. D'autres enfin n'y sont pas favorables par peur de subir des contraintes d'utilisation par leur employeur. En logement privé, la moitié des répondants préfère la climatisation sur leur lieu de travail, notamment à cause de la limite d'efficacité du brasseur d'air à forte température. L'autre moitié déclare déjà utiliser des brasseurs d'air dans leur école ou bureau d'études.

Les répondants en secteur tertiaire (bureaux) utilisant un brasseur d'air sont favorables à l'idée de s'en équiper pour leur logement privé. Autrement, ils se tournerait au moins vers des ventilateurs sur pieds. Dans les écoles, les interviewés les plus sceptiques envers les brasseurs d'air déclarent posséder des climatiseurs à leur domicile.

3.2.3.3.2. Sans brasseur d'air

Dans les logements privés, les répondants sans brasseurs d'air ne sont pas favorables à en avoir sur leur lieu de travail, principalement à cause du bruit qui "n'aide pas pour la concentration et l'attention quand on travaille". Pour eux le brasseur d'air n'est pas une solution de rafraichissement pertinente en comparaison avec la climatisation, cela "n'aide pas à baisser la température du corps ou de l'air". De plus, certains avancent aussi le problème de la portée de l'air brassé.

En bureau, les interviewés sans brasseurs d'air sont globalement favorables à l'idée d'utiliser un brasseur d'air à leur domicile privé, mais avec quelques nuances dans les attentes. Pour certains le brasseur d'air devrait par exemple être installé dans une grande pièce du logement, pas dans les chambres. Pour d'autres déclarant avoir une mauvaise expérience avec la climatisation, le brasseur d'air devrait pouvoir suppléer cette solution quand cela est possible, hors chaleurs fortes ou maison mal isolée. Dans les écoles, les répondants sans brasseurs d'air ne sont pas favorables à l'idée d'utiliser un brasseur d'air dans leur logement, notamment car un grand nombre déclare avoir déjà une climatisation installée (Réunion), ou que cela est

inutile si la maison est bien isolée, ou encore car ils résident dans une zone climatique ne nécessitant pas l'usage de brasseurs d'air (métropole).

Synthèse – Projection d'usage

Les non-usagers envisagent majoritairement une utilisation du brasseur d'air ponctuelle en cas de forte chaleur, donc plutôt en saison chaude (été). Il existe certaines craintes par rapport aux désagréments potentiels : déplacement d'air gênant dans les bureaux et émergence acoustique.

Les ventilateurs de type exhale sont plutôt bien perçus mais leur installation en habitation nécessite une intégration architecturale forte. De plus, ils sont plus onéreux qu'un brasseur d'air classique.

Concernant le transfert logement/travail, nous constatons que les répondants utilisant déjà des brasseurs d'air à leur domicile ou sur leur lieu de travail sont globalement plus favorables à l'idée d'un transfert d'usage que les répondants sans brasseurs d'air, sauf en bureau où le transfert bureau/domicile semble plus envisageable.

3.2.4. Les conséquences potentielles issues de l'usage d'un brasseur d'air

Les conséquences potentielles de l'usage d'un brasseur d'air, autrement dit les effets que l'usager pense observer en utilisant un brasseur d'air sont saisis, en psychosociologie, par la notion "croyance comportementale". L'individu détient plusieurs croyances comportementales, et à chacune d'elle est associé (1) une probabilité d'occurrence, ou sa force ("*il est très peu probable que l'utilisation du brasseur d'air induise telle conséquence*") ; (2) un degré d'importance, ou sa valeur ("*telle conséquence / résultat est important pour moi*").

Nous avons tout d'abord collecté les croyances saillantes en entretien (spontanées), via des questions ouvertes, que nous avons complétées lors du en questionnaire au format fermé (proposition d'items avec réponse multiple).

3.2.4.1. Sur l'ensemble de l'échantillon - éléments tirés du questionnaire

Le questionnaire permet d'identifier les conséquences anticipées du fait d'utiliser des brasseurs d'air (croyances comportementales) à partir d'une liste d'items proposés. Le Tableau 7 résume les réponses, à savoir les conséquences probables (observées ou potentielles) et importantes aux yeux du répondant, sans distinction sur les cibles.

Tableau 7 - Les conséquences probables et importantes aux yeux des répondants (N=24) - Fréquence d'occurrence des croyances comportementales (réponse multiple) - questionnaire complémentaire

Croyance - item	*Cette conséquence est-elle potentiellement observable selon vous ?* (Force de la croyance) **Fréquence de choix** (N=24)	*Cette conséquence est-elle importante pour vous ?* (Valeur de la croyance) **Fréquence de choix** (N=24)
Une meilleure maîtrise de ma consommation d'électricité (pouvoir anticiper)	11 (46%)	**15 (62%)**
Une réduction de ma facture d'électricité	7 (29%)	**17 (71%)**
Une réduction de mon empreinte écologique	7 (29%)	**18 (75%)**
J'intègre une communauté d'usagers soucieux de leur consommation d'énergie	8 (33%)	11 (46%)
Le moindre recours à des solutions plus coûteuses comme la climatisation	9 (37%)	**17 (71%)**
Une meilleure sensation de confort en saison chaude (air brassé, rafraichissement, etc.)	**15 (62%)**	**18 (75%)**
Une meilleure sensation de confort en saison froide (chaleur homogène dans les pièces)	3 (12,5%)	3 (12,5%)
Les économies d'énergie réalisées sont conformes à mes prévisions	2 (8%)	7 (29%)
Des soucis de sécurité (chute, etc.)	6 (25%)	7 (29%)
Un niveau sonore non acceptable (bruit)	9 (37%)	**14 (58%)**
Un équipement moins efficace et/ou moins performant que d'autres équipements (clim, ventilateur sur pied, PAC, etc.)	11 (46%)	11 (46%)
Des papiers/documents qui volent, ce qui est gênant	**12 (50%)**	6 (25%)
Une sensation de froid sur ma tête, mon cou ou mes épaules	**14 (58%)**	7 (29%)
Un effet stroboscopique (les pales qui passent devant la lumière)	7 (29%)	5 (21%)
Un brassage d'air continue qui peut agacer voire donner des maux de tête	7 (29%)	7 (29%)
Une source de distraction pour les élèves ou de perturbation pour les enseignements (bâtiment scolaire)[a] (sur 15 réponses)	7 (46%)	1 (7%)

[a] Question posée en secteur scolaire - N=15

Les conséquences positives de l'usage d'un brasseur d'air qui, d'après les répondants, sont les plus probables sont (dans l'ordre décroissant d'occurrence) :

- Une meilleure sensation de confort en saison chaude
- Une meilleure maîtrise de sa consommation d'électricité
- Le moindre recours à des solutions plus coûteuses comme la climatisation

Les conséquences négatives les plus probables sont, dans l'ordre décroissant :

- Une sensation de froid sur la tête, le cou ou les épaules
- La gêne occasionnée par des papiers/documents qui volent

Les conséquences positives les plus importantes aux yeux des répondants sont, dans l'ordre décroissant :

(1) Une meilleure sensation de confort en saison chaude (air brassé, rafraichissement, etc.)
(2) Une réduction de son empreinte écologique
(3) Le moindre recours à des solutions plus coûteuses comme la climatisation
(4) Une réduction de sa facture d'électricité
(5) Une meilleure maîtrise de sa consommation d'électricité (pouvoir anticiper)

Les conséquences négatives les plus importantes aux yeux des répondants (non souhaitées) sont, dans l'ordre décroissant :

(1) Un niveau sonore non acceptable (bruit)
(2) Un équipement moins efficace et/ou moins performant que d'autres équipements (clim, ventilateur sur pied, PAC, etc.)

(3) Les économies d'énergie réalisées sont conformes à mes prévisions
(4) Une sensation de froid sur ma tête, mon cou ou mes épaules
(5) Un brassage d'air continue qui peut agacer voire donner des maux de tête

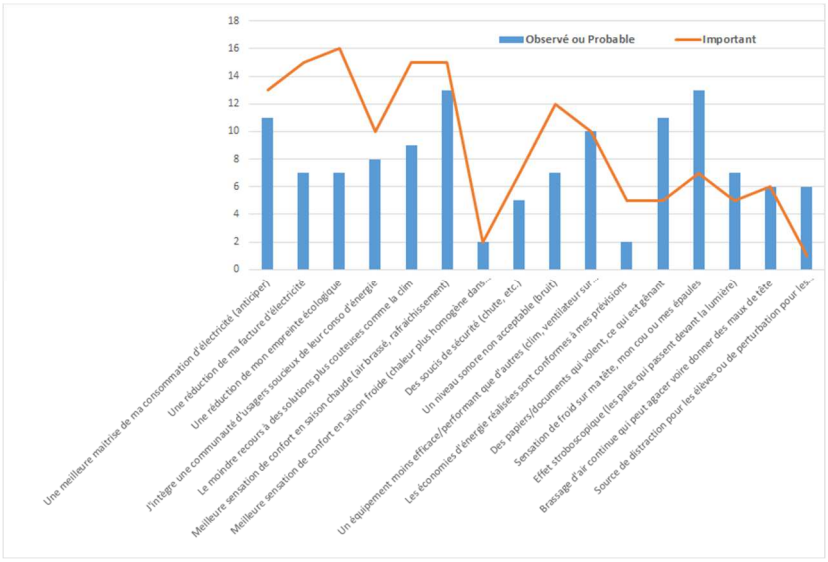


Figure 5 - Les conséquences potentielles de l'usage des brasseurs d'air du point de vue de l'usager

Croisement entre probabilité d'occurrence et importance pour chaque item (croyance comportementale)

Lorsque nous croisons, pour chaque conséquence potentielle, la probabilité d'occurrence et son importance aux yeux du répondant :

- Les items "Une meilleure sensation de confort en saison chaude" / Une meilleure maîtrise de la consommation d'électricité (anticiper) et "moins recourir à la climatisation" sont à la fois probables et importants pour un certain nombre de répondants.

- Les items "Réduire ma facture d'électricité", "réduire mon empreinte écologique" et "un niveau sonore non acceptable (bruit)" sont importants pour un grand nombre de répondants, mais ne sont pas souvent observés ou peu probables du fait d'utiliser un brasseur d'air selon eux.

- Les items "Un effet stroboscopique" et "Une source de distraction pour les élèves ou de perturbation pour les enseignements" sont souvent observés ou anticipés mais ne sont pas importants pour les répondants.

- Les effets "Une meilleure sensation de confort en saison froide" et "Les économies d'énergie réalisées sont conformes à mes prévisions" sont à la fois peu importants et peu probables.

3.2.4.2. Analyse comparative avec et sans brasseurs d'air

L'analyse comparée entre usagers avec brasseurs d'air et sans brasseurs d'air se fait en deux étapes, tout d'abord les éléments tirés des entretiens, puis du questionnaire complémentaire.

3.2.4.2.1. Données issues des entretiens

Avec brasseurs d'air

En secteur habitation, les conséquences positives les plus observées sont les effets du brasseur d'air sur le **confort ressenti** (confort thermique). Les usagers évoquent un rafraîchissement réel, plus marqué à proximité du brasseur d'air, ou encore une sensation d'air frais. D'autres effets positifs ont été évoqués, comme le **renouvellement de l'air**, la réduction de dépôt de poussière ou encore d'insectes (mouches). Une minorité de répondants a déclaré ne pas observer d'effets particuliers à l'utilisation du brasseur d'air.

Une des conséquences négatives concerne **l'impact sur la facture d'électricité**. L'utilisation du brasseur d'air peut ainsi être réduite afin de limiter les coûts. Cependant ces effets sont minimisés en comparaison avec la climatisation. Le critère négatif le plus fréquemment observé reste **le bruit**. Un inconvénient plutôt perçu lors d'une utilisation nocturne, et qui s'atténue en général avec la durée d'utilisation (habitude) ou n'apparaît qu'en vitesse maximale, principalement sur les modèles bas de

gamme. Un autre inconvénient évoqué concerne l**e temps nécessaire à ressentir une sensation de rafraîchissement** (5 à 10 minutes), en comparaison à la climatisation qui apporte une fraîcheur quasi instantanée. Enfin, les répondants en secteur habitation à la Réunion évoquent aussi les **limites à l'efficacité** du brasseur d'air au-delà de 35 degrés, limite à partir de laquelle le brasseur d'air ne fait que "brasser de l'air chaud".

Dans les logements sociaux de la Réunion, la plupart des répondants ne voient pas d'inconvénients spontanément à l'usage du brasseur d'air. Pour ceux qui en perçoivent, la principale crainte porte sur **la sécurité** de l'équipement. D'autres répondants évoquent le fait qu'il n'y ait pas de brasseurs d'air installé dans la pièce à vivre principale, d'autres encore avancent des soucis de **performance**, avec un débit d'air inchangé malgré les réglages, ce qui influence la sensation de contrôle et donc l'usage.

Hors habitation, dans les bureaux, nous n'avons pas eu de retours particuliers sur les impacts positifs, hormis l'impact sur la **sensation de confort et la fraîcheur apportée**, notamment en saison chaude. L'inconvénient majeur rapporté par les usagers porte sur le **brassage de l'air**, qui peut faire "voler les feuilles" ou encore "transporter la poussière". Un autre inconvénient perçu concerne le **manque d'efficacité** lors de températures élevées : "On subit un peu". Certains usagers de bureaux mettent aussi en cause l'isolation : si le bâtiment est mal conçu, le brasseur d'air est inutile. Enfin, la **limite de portée de l'air brassé** peut également être perçue comme un inconvénient puisque tout le monde ne bénéficie pas à égalité des effets du brasseur d'air.

Dans les établissements scolaires réunionnais, à défaut de rafraîchir, le brasseur d'air apporte également un **soulagement à la sensation d'inconfort** en période estivale : "*Sensation de confort non, mais l'inconfort est moins élevé*". Le brasseur d'air plafonnier est donc considéré comme un équipement utile pour le rafraîchissement des salles de cours et qui permet aux élèves de mieux supporter les grosses chaleurs : "*On a moins de problème d'élève en manque d'air. Il y a 10 à 15 ans en arrière, certains se sentaient mal durant la grosse période estivale (février-mars), certains perdaient connaissance par suffocation*". Concernant les conséquences potentielles négatives, c'est là aussi majoritairement **le bruit** qui est en cause, notamment car les brasseurs d'air dans les classes nécessitent souvent d'être réglés sur des vitesses maximales. L'enseignant doit alors hausser la voix, ce qui peut provoquer épuisement et agacement car élèves et enseignants ne s'entendent pas. Un autre inconvénient porte sur le **mouvement de l'air** (sur le matériel) qui peut être perçu comme gênant.

Sans brasseurs d'air

En secteur habitation, les répondants sans brasseurs d'air évoquent souvent les effets potentiels d'une utilisation du brasseur d'air **en comparaison avec la climatisation**. Certains répondants pensent ainsi que le brasseur d'air serait **plus supportable qu'une climatisation** car contrairement à cette dernière il ne refroidit pas la pièce mais brasse l'air ambiant : "*la clim, une fois que j'ai froid, je l'éteins*". Le brasseur d'air serait dans ce cas utilisé plus souvent et plus durablement (toute la journée), notamment car il **permet des économies d'énergie** par rapport à la climatisation. Le brasseur d'air aurait d'autres conséquences positives par rapport à la climatisation comme l'i**mpact sur la santé** : " [le brasseur d'air] donnerait moins mal à la tête que la clim (asthme)". Le brasseur d'air **améliorerait le confort ressenti** en cas de besoin, quand il fait chaud, pour "réduire la chaleur", "avoir un flux d'air", notamment en période nocturne dans les chambres : "même si ça brasse de l'air chaud", "c'est déjà ça".

Pour les répondants qui ne possèdent pas de brasseurs d'air en logement privé, l'inconvénient potentiellement observable le plus souvent cité concerne **le déplacement d'air**, qui pourrait notamment soulever la poussière, problématique pour des personnes allergiques. L'autre inconvénient majeur porte sur **le bruit** émis par l'appareil, une appréhension en partie liée à l'observation d'anciens modèles installés chez des personnes de l'entourage. Parmi les autres conséquences négatives possibles (potentiellement observables), certains répondants ont émis des doutes sur l**'efficacité du brasseur d'air** (capacités de rafraîchissement) ou sur d'autres aspects tels que la portée ou le type d'installation (selon la hauteur du plafond par exemple).

Enfin parmi les autres inconvénients évoqués en logement privé, citons :

- La place de l'équipement dans le logement (est-il au bon endroit ?) ;
- Le manque de mobilité de l'appareil ;
- Le coût (rapport qualité/prix) ;
- L'entretien en période de non utilisation (accumulation de poussière) ;
- L'accessibilité de l'équipement, pour son entretien ;
- La maintenance technique qui dépendrait d'une intervention extérieure ;

Hors habitation, les répondants pensent que le brasseur d'air apporterait un **confort supplémentaire** dans les bureaux en été, ce qui pourrait même "*peut-être augmenter notre productivité pendant cette période-là*". Idem dans les établissements scolaires, du côté des enseignants, où le brasseur d'air pourrait apporter un **gain en confort**, permettant de rafraîchir l'air, d'aérer, d'obtenir un air plus sain et même de **faciliter la concentration** des élèves. Selon ces enseignants, la chaleur estivale entrave la concentration des élèves : "*On sait qu'en termes d'apprentissage, quand les élèves nous disent qu'il fait chaud, les carottes sont cuites (rires). Ils ne seront pas réceptifs*". "*Je pense que même le matin les brasseurs d'air aideraient à réveiller les élèves (rires)*". Chez les élèves de métropole, là encore le brasseur d'air "ferait du bien" en cas de chaleur, apportant plus de **calme et d'apaisement** dans la classe ; mais il présenterait aussi un inconvénient par le brassage de l'air qui pourrait **faire**

voler les feuilles ou déstabiliser, déconcentrer. A la Réunion les élèves interrogés pensent que le brasseur d'air permettrait une meilleure accoutumance au changement de température, ainsi qu'une baisse certaine de la consommation énergétique.

En bureau, parmi les inconvénients d'usages anticipés nous retrouvons le problème du **déplacement d'air** (qui pourrait faire voler les feuilles ou générer des maux de tête à cause du vent projeté sur le visage), mais aussi le **bruit** ou même la **fatigue visuelle**. Dans les écoles, la crainte principale serait le **bruit** ou les **conflits d'usage** concernant la vitesse (déplacement d'air). D'autres inconvénients évoqués concernent le **coût énergétique et écologique de l'installation et de l'utilisation**, notamment par rapport à des installations déjà existantes (climatisation). Installer des brasseurs d'air en plus de l'existant pourrait alors générer un surplus d'équipement à gérer et serait aussi vu comme inutile par certains. Les brasseurs d'air pourraient également être **source de distraction** pour les élèves.

Tableau 8 : Conséquences potentielles de l'usage du brasseur d'air - anticipations positives et négatives - données tirées des entretiens

	Avec brasseurs d'air	**Sans brasseurs d'air**
Anticipations positives	• Améliore le confort ressenti • Renouvellement de l'air • Assainissement (H)	• Améliore le confort ressenti • Impact sur la santé (moins de froid) • Gain en concentration et en productivité (HH) • Meilleure accoutumance au changement de température • Economies d'énergie (comparé à clim) (H)
Anticipations négatives	<u>Les plus cités</u> • Limites à l'efficacité perçue en cas de forte chaleur (tout secteur) • Bruit (tout secteur) • Brassage de l'air gênant (HH) <u>Autres facteurs cités</u> • Impact sur la consommation d'électricité (H) mais minimisé en comparaison avec la clim • Temps nécessaire à ressentir le rafraîchissement (H) en comparaison avec la climatisation • Sécurité (OLS) • Performance (OLS) • Portée de l'air brassé (bureaux)	<u>Les plus cités</u> • Déplacement d'air (tous secteur) • Bruit (tout secteur) • Limite d'efficacité perçue (plutôt UH) <u>Autres facteurs cités</u> En Habitation (UH) • La place de l'équipement et sa mobilité (portée de l'air brassé) • Le coût (rapport qualité/prix) ; • L'entretien • La maintenance Hors Habitation (UHH) • La fatigue visuelle (bureau) • Conflits d'usages • Cout énergétique et écologique de l'installation (écoles) • Surplus d'équipements à gérer (écoles) • Source de distraction pour les élèves (écoles)

** L'annotation entre parenthèse précise dans quel secteur l'élément est les plus cité*

3.2.4.2.2. Données issues du questionnaire complémentaire

Dans le Tableau 9, les (%) indiquent la part de répondants qui, dans chaque catégorie de cible, a coché l'item : (1) Les conséquences observées ou potentielles du fait d'utiliser un brasseur d'air. ; (2) les conséquences importantes pour l'usager.

Tableau 9 : Les conséquences probables et importantes aux yeux des répondants (N=24) - Fréquence d'occurrence des croyances comportementales en comparant usagers avec et sans brasseurs d'air (réponse multiple) - questionnaire complémentaire

Croyance - item	*Cette conséquence est-elle potentiellement observable selon vous ?* (Force de la croyance) **Fréquence de choix** (N=24)		*Cette conséquence est-elle importante pour vous ?* (Valeur de la croyance) **Fréquence de choix** (N=24)	
	Avec BA[a]	**Sans BA[b]**	**Avec BA[a]**	**Sans BA[b]**
Une meilleure maîtrise de ma consommation d'électricité (pouvoir anticiper)	**4 (28%)****	**7 (70%)****	**11 (78%)***	**4 (40%)***
Une réduction de ma facture d'électricité	**2 (14%)***	**5 (50%)***	**12 (85%)***	**5 (50%)***
Une réduction de mon empreinte écologique	**2 (14%)***	**5 (50%)***	12(85%)	6 (60%)
J'intègre une communauté d'usagers soucieux de leur consommation d'énergie	3 (21%)	5 (50%)	6 (43%)	5 (50%)
Le moindre recours à des solutions plus coûteuses comme la climatisation	**3 (21%)***	**6 (60%)***	11 (78%)	6 (60%)
Une meilleure sensation de confort en saison chaude (air brassé, rafraichissement, etc.)	7 (50%)	8 (80%)	18 (75%)	7 (70%)
Une meilleure sensation de confort en saison froide (chaleur homogène dans les pièces)	2 (14%)	1 (10%)	2 (14%)	1 (10%)
Les économies d'énergie réalisées sont conformes à mes prévisions	1 (7%)	1 (10%)	5 (36%)	2 (20%)
Total d'items positifs cochés pour chaque catégorie	***24***	***36***	***77***	***34***
Des soucis de sécurité (chute, etc.)	4 (28%)	2 (20%)	5 (36%)	2 (20%)
Un niveau sonore non acceptable (bruit)	4 (28%)	5 (50%)	9 (64%)	5 (50%)
Un équipement moins efficace et/ou moins performant que d'autres équipements (clim, ventilateur sur pied, PAC, etc.)	**4 (28%)****	**7 (70%)****	7 (50%)	4 (40%)
Des papiers/documents qui volent, ce qui est gênant	**5 (35%)***	**7 (70%)***	2 (14%)	4 (40%)
Une sensation de froid sur ma tête, mon cou ou mes épaules	**6 (43%)***	**8 (80%)***	4 (28%)	3 (30%)
Un effet stroboscopique (les pales qui passent devant la lumière)	**1 (7%)*****	**6 (60%)*****	4 (28%)	1 (10%)
Un brassage d'air continue qui peut agacer voire donner des maux de tête	**1 (7%)*****	**6 (60%)*****	5 (36%)	2 (20%)
Une source de distraction pour les élèves ou de perturbation pour les enseignements (bâtiment scolaire)[c] (sur 15 réponses)	3 (37%)	4 (57%)	0 (0%)	1 (10%)
Total d'items négatifs cochés pour chaque catégorie	***28***	***45***	***36***	***22***

[a] N=14 [b] N=10 [c] Question posée en secteur scolaire - N=15 * p<0,2 ** p<0,1 *** p<0,05 **** p<0,01

*Interprétation du tableau : les données **en gras** indiquent que la différence de réponse entre usagers avec ou sans brasseurs d'air est significative sur le plan statistique (différence de rang, marge d'erreur inférieure à 10%).*

Avec brasseurs d'air

- Les **conséquences positives les plus probables** aux yeux des répondants **avec brasseurs d'air** sont : (1) Une meilleure sensation de confort en saison chaude ; (2) Une meilleure maîtrise de la consommation d'électricité (pouvoir anticiper) ;
- Les **conséquences négatives les plus probables** aux yeux des répondants **avec brasseurs d'air** sont : (1) Une sensation de froid sur ma tête, mon cou ou mes épaules. ; (2) Une source de distraction pour les élèves ou de perturbation pour les enseignements (bâtiment scolaire)

Sans brasseurs d'air

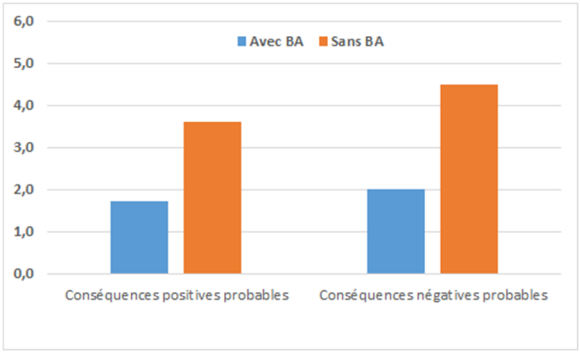
- Les **conséquences positives les plus probables** aux yeux des répondants **sans brasseur d'air** sont : (1) Une meilleure sensation de confort en saison chaude (air brassé, rafraichissement, etc.); (2) Le moindre recours à des solutions plus coûteuses comme la climatisation (3) Une meilleure maîtrise de la consommation d'électricité (pouvoir anticiper); Les autres items sont souvent sélectionnés, mais en une moindre mesure : (4) Une réduction de l'empreinte écologique (5) Une réduction de la facture d'électricité; (6) Ils intègrent une communauté d'usagers soucieux de leur consommation d'énergie. **Ces conséquences sont les plus fortement anticipées du fait d'utiliser un brasseur d'air (projection).**
- Les **conséquences négatives** les plus probables pour les répondants sans brasseurs d'air sont : (1) Une sensation de froid sur ma tête, mon cou ou mes épaules ; (2) Un équipement moins efficace et/ou moins performant que d'autres équipements (clim, ventilateur sur pied, PAC, etc.) ; (3) Des papiers/documents qui volent, ce qui est gênant. Idem, les autres items sont moins souvent sélectionnés : (4) Un effet stroboscopique (les pales qui passent devant la lumière) ; (5) Un brassage d'air continue qui peut agacer voire donner des maux de tête ; (6) Une source de distraction pour les élèves ou de perturbation pour les enseignements (bâtiment scolaire).

La Figure 6 indique que les répondants sans brasseurs d'air anticipent un plus grand nombre de conséquences potentielles (positives ou négatives) que les usagers avec brasseurs d'air, alors qu'ils sont moins nombreux à répondre (N=10 contre

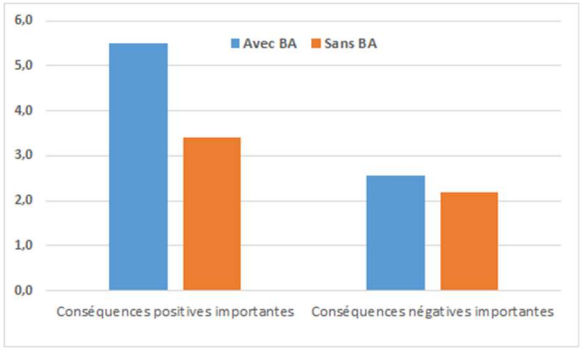
N=14)[17]. Ce résultat se retrouve avec les réponses spontanées en entretien. Autrement dit, les usagers sans brasseurs d'air ont davantage de projections quant à l'usage de l'équipement que ceux qui l'expérimentent déjà au moment de l'enquête. Les premiers auraient donc plus de croyances formées dans leur esprit, ce qui irait à l'encontre de travaux sur les mécanismes de construction des préférences et des attitudes (cf. Litvine 2008, 2010). Ces travaux indiquent que l'expérience d'un objet ou d'une action (ici l'usage d'un brasseur d'air) conduit l'individu à former des croyances sur ledit objet/action. Nous devrions donc en théorie avoir plus d'items sélectionnés pour le type "avec brasseurs d'air" que "sans brasseurs d'air". Plusieurs explications sont possibles :

- Nous demandons à des personnes de se projeter ce qui est plus aisé pour des usagers sans brasseurs d'air. Néanmoins, les usagers avec brasseurs d'air peuvent aussi se projeter sur des effets potentiels mais pas encore expérimentés.
- Les usagers sans brasseurs d'air ont de fortes représentations et à priori, ce qui peut les amener à avoir plus d'anticipations.
- Les items proposés n'ont pas permis aux usagers avec brasseurs d'air d'exprimer les conséquences observées ou potentielles ;
- Le format de réponse multiple : le manque d'expérience conduit les sans brasseurs d'air à un biais de consentement, qui consiste à répondre plus facilement oui que non, notamment quand il n'y a pas d'arbitrage ou de priorisation à faire dans les réponses (réponses multiples).

En revanche, les répondants sans brasseurs d'air accordent moins d'importance aux conséquences proposées. Autrement dit, **les usagers avec brasseurs d'air forment plus d'attentes vis-à-vis de l'usage de ces équipements que ceux qui n'en utilisent pas, et notamment des attentes positives** (conséquences potentielles)[18].



Nombre moyen d'items par répondant - probabilité



Nombre moyen d'items par répondant - importance

Figure 6 - Les conséquences de l'usage de brasseurs d'air - Nombre moyen d'items cochés par répondant (croyances)

17 Cette différence de proportion est statistiquement significative, confirmée par un test de Mann-Whitney U = 29,5 / p = 0,016 pour les items positifs et U = 17,0 / p = 0,001 pour les items négatifs

18 Cette différence de proportion est statistiquement significative au seuil de 20%, confirmée par un test de Mann-Whitney U = 45,5 / p = 0,19 pour les items positifs, mais n'est pas significative pour les items négatifs (U = 60,0 / p = 0,58)

Synthèse – Conséquences potentielles (entretiens et questionnaire)

Les conséquences potentielles positives - avantages perçus

Les conséquences positives les plus fréquentes dans le fait d'utiliser un brasseur d'air est l'amélioration du **confort ressenti** en saison chaude, tous secteurs confondus et aussi bien chez les usagers avec brasseurs d'air que sans brasseurs d'air. Les usagers avec brasseurs d'air évoquent une sensation d'air frais et un soulagement de la sensation d'inconfort en période estivale (à défaut de rafraîchir). Le gain en confort pourrait aussi améliorer la concentration voire la productivité des employés et des élèves selon les usagers sans brasseurs d'air, ainsi qu'apporter calme et apaisement en classe.
Le **renouvellement de l'air** est également un avantage constaté par les usagers avec brasseurs d'air. Et les usagers sans brasseurs d'air anticipent aussi un impact positif sur la santé.
La maîtrise de sa consommation d'électricité (pouvoir anticiper) est également un effet que tous les répondants anticipent, notamment par un moindre recours à des solutions plus coûteuses comme la climatisation.
La réduction de son empreinte écologique n'est pas un effet majeur observé ou observable.

Les conséquences potentielles négatives - inconvénients perçus

Les inconvénients majeurs perçus par les répondants concernent le **bruit** de nuit notamment (ou en vitesse maximale), tous secteurs confondus. La problématique du **déplacement d'air** est souvent anticipée, surtout dans les espaces de bureaux et établissements scolaires, avec la crainte ou l'expérience d'une sensation de froid sur la tête, le cou ou les épaules. Le **temps** nécessaire à ressentir de la fraicheur est évoqué. En milieu scolaire, le brasseur d'air est perçu comme une source de distraction pour les élèves ou de **perturbation** pour les enseignements. La question de **l'entretien du brasseur d'air** est également citée, à savoir l'accessibilité et les oublis potentiels. Enfin les **limites perçues à l'efficacité du brasseur d'air**, surtout en cas de forte chaleur, et notamment dans les espaces partagés (bureaux) où les usagers ne bénéficient pas de la même exposition aux effets du brasseur d'air.
Certains effets discutés dans la littérature et le milieu professionnel ne semblent pas être anticipés ou observés par les usagers, tel que l'effet stroboscopique (les pales qui passent devant les luminaires) ou un brassage d'air continue qui peut agacer voire provoquer des maux de tête.
Nous constatons un plus grand nombre de croyances négatives chez les usagers sans brasseurs d'air, ce qui pourrait induire que **l'usage tend à réduire la perception des inconvénients**. Cela s'observe en particulier chez les usagers de brasseurs d'air où les craintes liées au bruit sont souvent fonction de la qualité de l'équipement ou du lieu d'installation du brasseur d'air (en habitation), mais l'usage tend à réduire cette perception.
Les conséquences potentielles sont associées à une probabilité d'occurrence et un degré d'importance aux yeux des usagers. Les items "Une meilleure sensation de confort en saison chaude", "une meilleure maîtrise de la consommation d'électricité (anticiper)" et "moins recourir à la climatisation" sont à la fois probables et importants pour un certain nombre de répondants. Les items "réduire ma facture d'électricité", "réduire mon empreinte écologique" et "obtenir un niveau sonore non acceptable (bruit)" sont importants pour un grand nombre de répondants, mais ne sont pas souvent observés ou peu probables à l'usage du brasseur d'air.

Notons que :
(1) les répondants sans brasseurs d'air ont tendance à prendre la climatisation comme référentiel de projection quant aux conséquences potentielles de l'utilisation du brasseur d'air.
(2) les répondants sans brasseurs d'air anticipent un plus grand nombre de conséquences potentielles (positives ou négatives) que les usagers avec brasseurs d'air. Les premiers auraient plus de croyances formées dans leur esprit, notamment dû aux fortes représentations et à priori observées chez ces cibles. En revanche, les usagers avec brasseurs d'air forment plus d'attentes vis-à-vis de l'usage des équipements, et notamment des attentes positives. En définitive, les usagers qui expérimentent les brasseurs d'air sont plus pragmatiques sur les conséquences de l'utilisation de l'équipement mais sont plus exigeants quant aux effets potentiels.

3.3. Le contrôle sur l'usage

3.3.1. Contrôle perçu et contrôle effectif

Pour rappel, le contrôle sur l'usage comporte une dimension technique objective, à savoir *quel contrôle effectif l'usager a sur l'équipement ?* (Terminaux de réglage), ainsi qu'une dimension liée à la perception / sensation, à savoir le jugement quant aux outils de contrôle ainsi que le réglage à plusieurs : *ça ne dépend que de moi, si je veux le faire je peux le faire* (contrôle externe). Une autre composante du contrôle perçu concerne les ressources que l'usager pense avoir à disposition pour agir de la bonne manière et prendre les bonnes décisions : information, connaissances, temps, etc. (contrôle interne). Ces dimensions du contrôle perçu sont appréhendées par les entretiens et le questionnaire complémentaire.

3.3.1.1. Données issues des entretiens

Q - *Avez-vous la sensation d'avoir un contrôle sur le(s) brasseurs d'air ?*

Dans les logements privés, la perception de contrôle des brasseurs d'air est quasiment unanime (5/6). Notons que pour ces usagers l'ensemble des brasseurs d'air est fonctionnel. Cette perception / sensation de contrôle semble également renforcée lorsque les outils de réglages sont relativement simples d'utilisation.

Dans les logements sociaux, la sensation de contrôle du brasseur d'air n'existe que lorsque ce dernier est fonctionnel. En revanche lorsque le brasseur d'air n'est pas fonctionnel, les usagers n'ont pas la sensation de contrôle. Dans ces logements, les réglages (vitesse et débit d'air) ont peu d'influence sur les effets du brasseur d'air.

Les usagers de bureaux déclarent en majorité avoir une forte sensation de contrôle sur les brasseurs d'air. En espace partagé, la sensation de contrôle ne se pose pas, sauf dans les cas où il existe une communication sur l'utilisation.

Dans les établissements scolaires, l'enseignant a généralement le contrôle sur les brasseurs d'air, un contrôle qui peut être négocié avec les élèves (cf. conflits d'usage, p.32). La sensation de contrôle est évidemment moindre lorsque le brasseur d'air est jugé comme dangereux, par exemple avec un mouvement des pales instable.

Q - *Dans ce cas, pouvez-vous régler la vitesse de l'air comme vous le souhaitez ?*

Dans les logements privés, l'ensemble des interviewés indiquent pouvoir régler la vitesse d'air du brasseur d'air selon leurs désirs. On retrouve trois dispositifs de réglage : télécommande, variateur mural et chaînette. Pour certaines cibles possédant des modèles de brasseurs d'air anciens (2/6), la chaînette est le moyen de contrôle standard, avec 3 niveaux de réglages (Réunion). La plupart des répondants possédaient cependant des modèles plus récents, avec un contrôle par télécommande pouvant aller de 3 à 7 niveaux de réglages (4/6). Nous avons également rencontré un cas où les usagers possédaient un variateur mural pour chaque brasseur d'air installé dans le logement.

Dans les logements sociaux, tous les locataires interrogés avaient une commande murale avec variateur. Sur ces boîtiers les vitesses varient de 1 à 5. Dans le cas des brasseurs d'air non-fonctionnels, qui représentent une grande partie des observations, la sensation de contrôle est inexistante car le débit d'air ne varie pas et donc les sensations perçues restent inchangées entre les différentes valeurs de réglages. Ces répondants ont affirmé avoir effectué des demandes de réparation/maintenance auprès du bailleur qui ne donne pas de réponse.

La plupart des usagers de bureaux interrogés ont la possibilité de contrôler les brasseurs d'air au moyen d'un variateur mural (3/4) avec 3 réglages de vitesse possibles, en plus d'avoir le contrôle sur l'alimentation [bouton on/off]. Dans le cas de brasseurs d'air de type Exhale, le contrôle se fait au moyen d'une télécommande permettant un réglage de la vitesse de 1 à 5.

Dans les établissements scolaires, le variateur mural et l'interrupteur ON/OFF sont les moyens de contrôle les plus répandus. Les réglages de vitesse rencontrés vont de 1 à 3, voire à 6 pour les modèles les plus récents. Mais bien souvent la vitesse maximum de ces modèles est limitée à 3, notamment à cause du bruit important généré par une vitesse supérieure.

Q - Comment jugez-vous ces outils de contrôle ?

Dans les logements privés, les usagers ont une appréciation mitigée de la chaînette de contrôle, rencontrée principalement sur les brasseurs d'air bon marché. La chaînette est le seul moyen de contrôle connu pour ⅓ des usagers à la Réunion. Elle apparaît comme pratique, utile et ergonomique pour les locataires qui ne possèdent que ce type de commande. En revanche, la chaînette est vue comme contraignante lorsque l'usager a expérimenté le contrôle du brasseur d'air via un boîtier mural. Elle est de plus perçue comme fragile et peut engendrer une difficulté d'accessibilité pour les personnes de petite taille. Elle peut aussi être vue comme contraignante dans le fait de devoir tirer plusieurs fois la chaînette pour changer la vitesse.

Dans les logements sociaux, la commande murale est globalement perçue comme pratique et utile, sauf lorsque le contrôle est défaillant (débit d'air inchangé en fonction du réglage). Ainsi il ne s'agit pas dans ces cas d'un jugement sur le boîtier de contrôle mais plutôt sur le manque de contrôle dû à des réglages défaillants, ce qui influence in fine le jugement porté sur l'équipement.

Les usagers de bureau qui disposent d'un variateur mural ont un jugement mitigé sur ce dernier. Si certains sont satisfaits de sa prise en main simple, il peut cependant être jugé contraignant, notamment lorsque tous les boîtiers de contrôle sont situés au même endroit, comme cela est le cas dans les espaces partagés. Il est alors nécessaire de se déplacer, parfois loin de son bureau, pour effectuer un réglage. Les répondants peuvent aussi avoir une difficulté à identifier le variateur attribué à un certain brasseurs d'air. En revanche, lorsque le contrôle s'effectue avec une télécommande, il est souvent jugé satisfaisant et utile car permet de s'affranchir d'une programmation.

Dans les établissements scolaires, le variateur mural offre un contrôle satisfaisant sur le brasseur d'air, jugé la plupart du temps pratique par le personnel car il reste fixe et ne se perd pas comme cela peut être le cas des télécommandes. Le pré réglage manuel est parfois jugé moins pratique que la télécommande.

Synthèse – Contrôle perçu / effectif

Le contrôle sur l'équipement constitue l'élément qui facilite le plus l'action des usagers (installation / utilisation). En tendance, les usagers avec brasseurs d'air préfèrent tout régler à l'aide d'un système simple et, de préférence, non technologique. Les usagers sans brasseurs d'air sont plus sensibles à un système technologique pour régler l'équipement, ce qui facilite davantage leur passage à l'action (incitation à en installer).

La sécurité liée à l'équipement est également un facteur qui facilite fortement le passage à l'action, avant tout chez les usagers sans brasseurs d'air : une fois que ce dernier expérimente un brasseur d'air, cet aspect bloque moins l'utilisation. La personne qui fait l'usage d'un brasseur d'air en dehors de l'habitat est plus attentive aux aspects de sécurité que les usagers habitant.

Nous observons une plus grande sensation de contrôle sur les brasseurs d'air en habitation, moins dans les bureaux. Cette sensation de contrôle du brasseur d'air est notamment due aux outils de commande qui doivent être accessibles et simples d'utilisation. La chaînette, présente sur les anciens modèles de brasseurs d'air ou bons marchés, est un outil souvent jugé dépassé voire contraignant. Le variateur mural, plutôt répandu, offre un contrôle satisfaisant, apprécié notamment dans les écoles où les usagers (les élèves) ne doivent pas pouvoir manipuler le brasseur d'air de façon intempestive. La télécommande reste le moyen de contrôle jugé le plus pratique, surtout dans les bureaux où l'usager a le pouvoir de décider individuellement de contrôler le brasseur d'air sans que ce soit une tâche trop fastidieuse (se déplacer). Dans les bâtiments scolaires ce mode de contrôle n'est pas préféré (perte, casse, durée de vie limitée des piles, etc.).

Les usagers en habitation ressentent davantage le besoin d'obtenir de l'information sur les brasseurs d'air afin d'en faciliter l'usage.

3.3.2. Les facteurs ou conditions qui facilitent ou rendent difficile l'usage des brasseurs d'air

3.3.2.1. Facteurs facilitants

Rappelons que la notion de contrôle sur l'usage des brasseurs d'air comprend une composante subjective, avec des croyances sur les facteurs qui rendent l'installation/usage facile ou difficile.

Tableau 10 - Les principaux facteurs ou conditions qui facilitent l'usage des brasseurs d'air

	Avec brasseurs d'air	Sans brasseurs d'air
Logement privé	• Si le brasseur d'air ne fait pas de bruit (acoustique) • S'il fait chaud (conditions climatiques)	• La facilité de contrôle de l'équipement • La pratique d'une activité (Pour s'endormir, travailler, Faire du sport)
Logement social	• Lorsque les enfants ne sont pas présents dans le logement (sécurité) • Que l'équipement soit sécurisé (sécurité)	
Bureaux	• La proximité de la commande (contrôle) • Lorsqu'il y a un besoin important de rafraîchissement (conditions climatiques) • Être seul dans le bureau, être maître de ses choix, besoins (contrôle)	• Si le brasseur d'air requiert moins d'entretien qu'une climatisation (entretien) • Plus facile à utiliser dans les moments les plus chaud, le matin ou le midi (conditions climatiques)
Etablissements scolaires	• Lorsque tout le monde est d'accord (consensus) • En fonction des moments de la journée (conditions climatiques, confort thermique)	• Si disposition de la classe en îlot sinon tout le monde n'en profiterait pas (portée de l'air) • Lorsqu'il y a besoin d'être concentré au maximum (assurer de bonnes conditions de travail) (confort thermique) • Quand il fait chaud dans la période de mai juin et juillet (conditions climatiques)

3.3.2.2. Facteurs freinants

Parmi les facteurs ou conditions qui rendent l'usage de brasseurs d'air contraignant, la saison froide (hiver) est la plus souvent citée chez les usagers avec ou sans brasseurs d'air. Cela conduit à penser que l'usage des brasseurs d'air pour la déstratification n'est pas vraiment répandu ou même compris par les usagers comme les non-usagers. D'une manière plus générale, l'usage du brasseur d'air est lié aux conditions climatiques extérieures, qu'il fasse froid ou trop chaud, auquel cas le brasseur d'air ne serait plus en mesure de répondre au besoin de rafraîchissement. Dans le même ordre d'idée, si la ventilation naturelle peut suffire, alors l'utilisation d'un brasseur d'air n'est pas perçue comme nécessaire. La question de la pertinence du brasseur d'air dans un espace bien ventilé (bioclimatique, passif, etc.) peut donc se poser. Pour les usagers de brasseurs d'air, la différence de sensibilité thermique entre individus est aussi vue comme un facteur contraignant qui pouvant causer des conflits d'usage. Le contrôle sur l'équipement apparaît comme un facteur important à l'utilisation du brasseur d'air. Enfin, le bruit représente aussi un frein à l'utilisation des non-usagers (SBA).

Tableau 11 - Liste des facteurs freinant le passage à l'action - comparaison avec et sans brasseurs d'air

	Avec brasseurs d'air	Sans brasseurs d'air
Logement privé	• Lorsqu'il fait froid (température plus douce, fraîche) • Les périodes de fortes chaleurs : limite d'efficacité perçu du brasseur d'air • La sensibilité thermique de chacun • L'entretien • Le modèles de brasseurs d'air bas de gamme : risque de se retrouver avec de l'inconfort sonore et des problèmes de mouvement avec des effets stroboscopiques. Moins de risque d'inconfort sonore avec des brasseurs d'air plus haut de gamme. • L'esthétique : si le brasseur d'air s'intègre mal dans le logement • La possibilité de réglages (contrôle de l'équipement) • Le manque de choix dans l'offre locale > Contraint à avoir recours au marché numérique	• Le déplacement d'air : peut-être gênant pour la pratique de certaines activités • Le bruit • Une température extérieure trop forte : le brasseur d'air brasse de l'air chaud • Une température extérieure trop froide • Le fait que le brasseur d'air puisse soulever la poussière • L'esthétique du brasseur d'air • L'efficacité de l'équipement pour satisfaire les besoins de rafraîchissement : o Si le brasseur d'air n'est pas couplé à un autre équipement pour rafraîchir o La limite à la portée de l'air brassé o Limites perçues en été : va brasser de l'air chaud • Le bruit • Le coût d'installation • La sécurité de l'installation
Logement social	• Le froid • La présence des enfants dans le logement, crainte liée aux enjeux de sécurité du brasseur d'air et son fonctionnement (état fonctionnel) : mouvement des pales ; hauteur sous-plafond insuffisante, maintenance inexistante de l'équipement, etc. • Le manque de contrôle sur l'équipement • Le fait que le brasseur d'air puisse soulever la poussière • L'éventuel coût énergétique perçu sur la facture	NC
Bureaux	• Le positionnement de la commande (contrôle) • La saison hivernale, froid, ou les conditions extérieures qui ne justifient pas l'utilisation du brasseur d'air (ne pas avoir chaud) • Si l'aération naturelle est suffisante, dans ce cas pas besoin de brasseurs d'air. Utiliser un équipement électrique au lieu de la ventilation naturelle est aberrant pour les usagers avec des convictions écologiques.	• Le bruit • Limite à l'efficacité du brasseur d'air : rafraîchissement insuffisant • Le déplacement d'air : Fait voler les papiers • Les conditions d'installation (une hauteur sous-plafond insuffisante) • La lumière intégrée aux brasseurs d'air (pas de possibilité d'utilisation indépendante) • S'il fait froid
Etablissements scolaires	• La différence de sensibilité thermique, forte du fait du nombre d'usagers qui se partage les brasseurs d'air • Le bruit • Le déplacement, vitesse d'air, perçu comme gênant • Dans une moindre mesure : la sécurité de l'équipement	• Le bruit • Le déplacement d'air : Fait voler les feuilles • La crainte que cela impact sur l'attention/concentration des élèves • Le fait d'avoir un équipement supplémentaire (conviction écologique et économique) • Que l'installation soit imposée sans temps d'essai pour l'établissement • S'il fait froid

3.3.2.2.1. Données issues du questionnaire complémentaire

Q - *Parmi les propositions suivantes, lesquelles rendraient votre usage de brasseurs d'air difficile / facile ? [*"rendrait difficile (1)" à "rendrait facile (10)"*]*

Les participants étaient invités à se prononcer sur 9 items, dont 6 représentent des facteurs censés faciliter l'installation / usage de brasseurs d'air (croyance de contrôle positive) et 3 des facteurs censés rendre l'installation / usage de brasseurs d'air plus difficile (croyance de contrôle négative). Ces items ont été mesurés sur une échelle à 10 points.

Sur l'ensemble de l'échantillon

Le contrôle effectif sur le brasseur d'air constitue la dimension la plus fortement facilitante, à savoir si le répondant peut tout régler (vitesse, etc.) et s'il existe un système de réglage simple peu technologique (M=8,5 et 8,3 sur 10). Notons une légère préférence pour des outils de réglage "low-tech" plutôt qu'automatisés et connectés, notamment pour leur robustesse et durabilité (ne disparaissent pas). **La sécurité** de l'équipement est également un facteur qui facilite fortement le passage à l'action (M=8,3 sur 10). Notons que les réponses sont plus homogènes pour ces trois facteurs, avec une faible dispersion autour de la moyenne (σ= 1,5 à 1,8) : les répondants donnent à peu près la même réponse, avec une constance/homogénéité.

Obtenir de l'information pour décider et agir (contrôle interne) et connaître le nombre de logements / bureaux qui sont équipés de brasseurs d'air (normes descriptives) sont deux facteurs qui, en moyenne, facilitent légèrement le passage à l'action (M=6,7 sur 10). Sans surprise, les items négatifs rendent le passage à l'action difficile, à savoir l'entretien de l'équipement et l'effort à fournir pour l'installer.

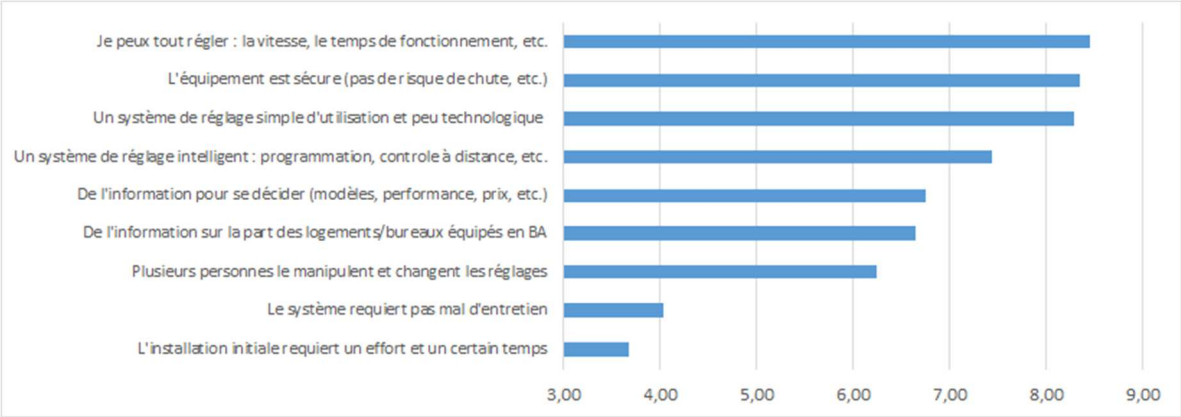


Figure 7 - Facteurs de contrôle - ensemble de l'échantillon N=16 à 24

En comparant les types de cibles

Usagers avec brasseurs d'air vs sans brasseurs d'air

Nos résultats indiquent que les usagers avec et sans brasseurs d'air semblent influencés par les mêmes facteurs de contrôle[19]. Les deux seuls items pour lesquels il semble y avoir une différence significative entre cibles sont (1) l'existence d'un système de contrôle/réglage intelligent[20] et (2) l'équipement est sécurisé (pas de risque de chute)[21].

Globalement la perspective d'un système de contrôle/réglage intelligent (automatisé, connecté, etc.) faciliterait fortement le passage à l'action des usagers sans brasseurs d'air (M=9,0), avec une attente homogène au sein du groupe (dispersion faible σ = 1,2) alors que les usagers de brasseurs d'air sont bien moins en attente d'un tel système (M=6,4), même s'il existe une forte disparité au sein de ce groupe (σ = 3,2). Autrement dit, les usagers qui n'ont pas encore de brasseurs d'air sont incités par la perspective d'un système technologique visant à régler l'équipement, qui augmente leur sensation de contrôle. Une fois usager de brasseurs d'air, cette attente est moins forte et la manipulation d'un système de réglage fortement intensif en technologie n'incite pas fortement l'utilisation des brasseurs d'air. Les usagers de brasseurs d'air préfèrent une solution peu technologique, notamment pour leur robustesse et simplicité.

En second, l'aspect sécurité du brasseur d'air (pas de chute, etc.) facilite davantage le passage à l'action des usagers sans équipement (M=8,9 ; σ = 3,2) que ceux avec brasseurs d'air (M=7,9). Autrement dit, une fois que l'usager expérimente les brasseurs d'air, cet aspect est moins important pour déterminer leur degré d'utilisation, et il est plus important pour ceux qui n'ont pas encore expérimenté de brasseurs d'air, probablement par projection négative.

Usagers en habitation versus hors habitation

Nos résultats indiquent que les usagers d'habitation et hors habitation ne sont pas influencés par les mêmes facteurs de contrôle, avec 3 items qui présentent des différences de moyenne significatives.

(1) Le fait de disposer d'informations sur les brasseurs d'air (modèles, prix, comment utiliser, etc.) facilite davantage l'utilisation de l'équipement par les usagers du secteur habitation (M=7,8 sur 10), que les usagers hors habitation (M=5,4 sur 10)[22]. Autrement dit, les usagers d'habitation ressentent davantage le besoin d'obtenir de l'information sur les brasseurs d'air, et ce de manière très homogène (dispersion très faible σ = 0,8), que les usagers hors-habitation.

(2) Le fait de connaître le nombre d'espaces équipés en brasseurs d'air (logements, bureaux, etc.) semble faciliter davantage l'action des usagers hors habitation (M=7,8) que ceux en habitation (même dispersion)[23]. Autrement dit, la perception de ce que font les "autres" usagers d'un groupe de référence pourrait influencer le passage à l'action des usagers hors habitation (normes descriptives).

(3) L'aspect sécurité (pas de chute, etc.) facilite davantage le passage à l'action des usagers hors habitation (M=8,7 ; σ = 3,2) que ceux en habitation (M=7,8)[24] (même dispersion). Autrement dit, la personne qui fait l'usage d'un brasseur d'air en dehors de l'habitat est plus attentive aux aspects de sécurité que dans le cadre d'habitation.

19 Différences de moyenne significativement égales pour la plupart des items. Rappelons que la faible taille de l'échantillon, et les différences dans le nombre de répondants entre les deux groupes, rendent difficile les conclusions sur l'absence de différence. Ainsi nous réalisons des tests non paramétriques qui sont plus conservateurs et robustes pour indiquer la différence ou absence de différence significative.
20 Test de Mann-Whitney U=31,5 / p=0,04
21 Test de Mann-Whitney U=40,8 / p=0,15
22 Test de Mann-Whitney U=11,0 / p=0,03
23 Test de Mann-Whitney U=12,5 / p=0,18
24 Test de Mann-Whitney U=13,5 / p=0,19

3.4. L'influence sociale et croyances normatives

L'influence sociale constitue l'un des principaux déterminants du comportement d'usage des brasseurs d'air et notamment via deux grandes familles de mécanismes propres aux normes sociales : (1) les normes injonctives qui décrivent comment l'usager est incité à installer / utiliser un brasseur d'air s'il pense que cela répondrait aux attentes de personnes / groupes de référence (dont l'avis compte pour lui). (2) les normes descriptives qui décrivent comment l'usager est incité à installer / utiliser un brasseur d'air s'il pense que cela est répandu au sein de groupe(s) de référence. D'autres mécanismes liés aux interactions sociales peuvent être à l'œuvre, comme le souhait que son action/usage soit communiquée à d'autres (besoin ostentatoire), et notamment pour inciter leur action/usage (effet d'entraînement) (cf. Litvine 2010, 2020).

Les questions suivantes ont été posées en entretien afin de saisir la plupart de ces mécanismes et d'évaluer en quelle mesure ils interviennent dans la décision et l'action. En effet, les normes sociales ne sont pas toujours activées selon l'action ou le comportement étudié mais, une fois actives, peuvent se révéler de puissants moteurs du comportement (cf. de Laage & Litvine, 2020 ; Litvine & Wüstenhagen, 2011 ; Litvine 2020).

Q - *Pensez-vous que des individus ou groupes d'individus de votre entourage personnel/professionnel, et dont l'avis compte pour vous, approuve(raient) que vous utilisiez un brasseur d'air ?* (Normes injonctives)

Avec brasseurs d'air

En logement social, les répondants nous ont indiqué que le brasseur d'air ne suscitait pas d'intérêt particulièrement marqué de la part de leurs proches lorsqu'il n'y a pas de problèmes à déplorer. En revanche, certains ont fait part de leur inquiétude dans les cas où le brasseur d'air ne semble pas sûr. En logement privé, l'usage du brasseur d'air est dans tous les cas approuvés par l'entourage des usagers. C'est un équipement qui est perçu positivement, jugé comme pratique surtout lorsqu'il y a la perception des effets recherchés. L'utilisation des brasseurs d'air au sein des lieux de travail et des établissements scolaires est aussi largement approuvée par l'entourage des répondants.

Sans brasseurs d'air

En logement privé, nous avons rencontré plus de répondants qui pensent que leur entourage approuverait l'utilisation de brasseurs d'air, mais ils sont également nombreux à penser que cela ne susciterait pas d'intérêt particulier pour un d'équipements assimilé à "un simple ventilateur". Il n'y aurait donc rien à dire de notable. Dans le secteur privé, l'utilisation de brasseurs d'air serait globalement bien accueillie par l'entourage proche des interviewés, mais la plupart pensent que cela dépend fortement de la sensibilité de chacun. L'utilisation de brasseurs d'air pourrait en effet être perçue comme un acte simple, aussi banal que "l'ouverture des fenêtres". Il pourrait également être perçu par l'entourage comme moins rafraîchissant que la climatisation. Les répondants pensent ainsi que le brasseur d'air serait bien perçu si l'entourage connaissait l'équipement ou avait pu avoir l'expérience de son utilité. Dans les établissements scolaires, la majorité des répondants pensent que leur entourage accueillerait positivement le brasseur d'air dans les salles de classe pour apporter du confort. Il pourrait y avoir des récalcitrants, mais le jugement serait globalement favorable.

Q - *Pensez-vous que l'utilisation de brasseurs soit courante en France ?* (Normes descriptives)

Avec brasseurs d'air

En logement social, la majorité des usagers indiquent que la présence des brasseurs d'air est courante dans les logements, mais certains disent que le brasseur d'air ne se généralise que depuis récemment. En logement privé, les usagers indiquent que la présence des brasseurs d'air n'est pas courante dans les logements, aussi bien en métropole qu'à la Réunion, où l'on retrouve plus généralement des climatiseurs. On les observerait surtout dans les maisons traditionnelles à la Réunion. L'utilisation des brasseurs d'air n'est également pas perçue comme étant courante en secteur Hors habitation, les entreprises se tournent davantage vers des climatiseurs. Le brasseur d'air revient pourtant sur le devant de la scène pour des enjeux écologiques, "face à la pollution que génère la climatisation". Pour d'autres, le brasseur d'air apporte certes une plus-value en termes de confort, mais l'inconvénient est qu'il faut multiplier les équipements pour que tout le monde ressente les effets/bienfaits. Enfin, l'enquête dans les établissements scolaires le brasseur d'air se rencontre majoritairement dans les établissements scolaires publics.

Sans brasseurs d'air

La majorité des répondants qui n'utilisent pas de brasseurs d'air pensent que cet équipement n'est pas vraiment courant dans le secteur habitation, ce aussi bien à la Réunion qu'en métropole. Les répondants pensent également que l'utilisation de brasseurs d'air n'est pas courante dans les bureaux, qui sont plutôt équipés de climatiseurs réversibles. Enfin, le brasseur d'air ne serait aussi pas courant dans les établissements scolaires, ni même dans d'autres établissements recevant du public (métropole). Pour beaucoup de répondants il n'y aurait d'ailleurs pas d'équipements de rafraîchissement dans les écoles.

***Q-** Savez-vous si votre entourage/collègues utilise des brasseurs d'air ?* (Normes descriptives)

Avec brasseurs d'air

En logement social les répondants ont observé des brasseurs d'air dans d'autres logements sociaux, mais n'en ont généralement pas observé dans les logements privés (famille, amis). Dans les logements privés, les répondants déclarent avoir observé des brasseurs d'air généralement chez les personnes âgées de leur famille, ou dans les établissements scolaires (à la Réunion). Ils déclarent observer plutôt des climatisations dans leur entourage, ou des solutions mobiles (ventilateur sur pied). Dans les bureaux, un nombre significatif de répondants déclarent qu'ils connaissent certains de leurs collègues qui utilisent les brasseurs d'air, mais généralement en utilisation ponctuelle ou s'ils peuvent en ressentir les effets (problématique de portée). Les répondants des établissements scolaires déclarent que l'utilisation des brasseurs d'air est répandue et que toutes les classes et enseignants les utilisent.

Sans brasseurs d'air

En logement privé, quelques usagers déclarent connaître des voisins qui s'en sont équipés récemment (Réunion), ou des membres de leur entourage proche qui en sont équipés (métropole). Dans les bureaux, quelques personnes en ont vu à quelques occasions dans leurs familles (secteur habitation).

Synthèse – Influence sociale

Les normes sociales autour des brasseurs d'air dépendent du secteur. En logement privé, les usagers de brasseurs d'air pensent que leur utilisation est perçue positivement et approuvée par les autres usagers. Ce qui n'est pas le cas en logement social. En revanche, dans le logement privé les répondants pensent que l'usage de brasseurs d'air est peu répandu, alors que les occupants de logements sociaux pensent le contraire. Finalement, les normes sociales sont plus ou moins activées selon le secteur. Elles constituent donc un levier pour les actions de sensibilisation.

Pour les non-utilisateurs, la projection quant à l'approbation des proches est fortement liée à la notion d'efficacité de l'équipement, peut-être car eux-mêmes adoptent déjà cette posture vis-à-vis des brasseurs d'air.

Le brasseur d'air n'est pas perçu comme un équipement répandu, aussi bien en métropole qu'à la Réunion, au dépend de la climatisation. A la Réunion, il semble que le brasseur d'air ne soit plus aussi répandu qu'auparavant. De fait, les brasseurs d'air sont peu observés dans l'entourage, mais généralement plus à la Réunion qu'en métropole.

3.5. Les leviers à l'utilisation des brasseurs d'air - solutions larges

Lors des entretiens et du questionnaire complémentaire nous avons interrogé les répondants sur les facteurs qui pourraient les inciter à installer ou à utiliser davantage les brasseurs d'air. Ces leviers concernent des situations ou des éléments pouvant orienter des actions de déploiement (intervention sensibilisation, réglementaire, sectorielle, etc.). Les leviers sont plus génériques que les croyances de contrôle, à savoir les facteurs qui rendent l'action plus difficile ou facile, et qui portent de fait sur un périmètre d'usage proche. Leviers et facteurs facilitants se complètent en termes de recommandations pour le déploiement des brasseurs d'air.

3.5.1. Résultats issus des entretiens

Les répondants comparent souvent les bénéfices apportés par le brasseur d'air avec la climatisation. **Les économies d'énergies** réalisées en utilisant un brasseur d'air plutôt que la climatisation constituent un levier majeur pour les usagers avec brasseurs d'air, ainsi qu'une attente forte chez les usagers sans brasseurs d'air. **L'efficacité du brasseur d'air** (sa capacité à rafraîchir ou à renouveler l'air) est un autre facteur important dans la décision d'utiliser ou de s'équiper d'un brasseur d'air (usagers avec ou sans brasseurs d'air). S'il doit apporter un **confort** de vie dans les logements, le brasseur d'air doit aussi permettre d'assurer de **bonnes conditions de travail** en bureau ou dans les écoles.

Chez les usagers sans brasseurs d'air, **le prix ou le coût d'investissement** apparaît être un facteur déterminant dans le choix d'opter pour des brasseurs d'air, notamment en secteur tertiaire (bureaux et établissements scolaires), où les besoins en équipements seront plus élevés. Dans ces secteurs, l'entretien et la maintenance (coût et logistique) seront aussi regardés. Les répondants ont besoin d'une preuve de l'efficacité du brasseur d'air avant d'investir.

3.5.2. Résultats issus du questionnaire complémentaire

Les répondants au questionnaire complémentaire étaient invités à se prononcer sur 13 facteurs ou situations pouvant diminuer / augmenter leur intention d'installer ou utiliser un brasseur d'air :

Q - *Les propositions suivantes seraient-elles de nature à modifier votre intention d'installer / utiliser un brasseur d'air ?* [1 = diminuerait mon intention / 6 = intention inchangée / 11 = augmenterait mon intention]

3.5.2.1. Ensemble de l'échantillon - analyse en moyenne

Sans trop de surprise, **la perspective d'obtenir des aides pour l'installation de brasseurs d'air** (investissement) constitue le principal levier au passage à l'action (M=9,7 sur 11). Pour les usagers hors habitation, le fait de savoir si l'usage du brasseur d'air a permis de **générer des économies** au sein de la structure est également très incitatif (M=8,9 sur 11) et que ces économies soient conformes à leurs prévisions (déception évitée) (M=8,8).

Puis dans l'ordre décroissant d'impact nous trouvons

- Bénéficier d'un suivi qualité qui assure les performances effectives du brasseur d'air (économies, confort, etc.) (M=8,5)
- Pouvoir expérimenter un brasseur d'air chez quelqu'un (démonstrateur) (M=8,3)
- Un modèle moderne de brasseurs d'air (M=8,3)
- Un certificat / label permet de valoriser ma démarche (M=8,0)
- L'installation et entretien est assuré par un agent agréé par un organisme public (M=8,0)
- Bénéficier d'un accompagnement à la prise d'information et de décision (M=7,9)
- Être certain que les employés / élèves bénéficient aussi des économies réalisées (M=7,7)
- Être pionnier - faire partie des 1ers ménages à adopter un brasseur d'air (M=7,3)

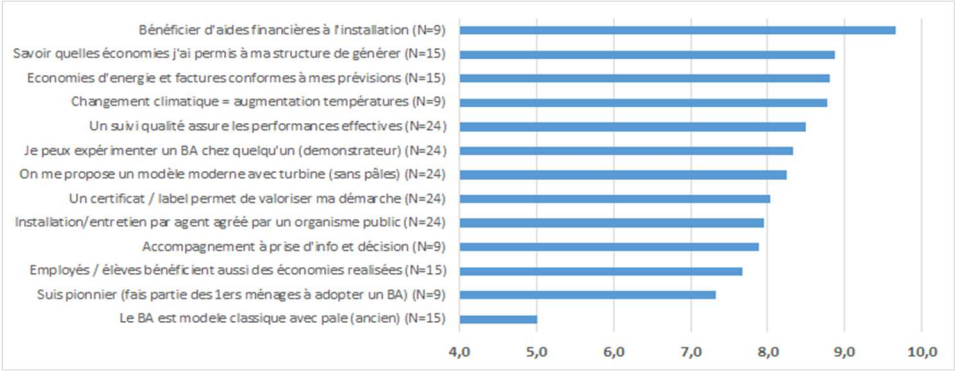
En revanche les brasseurs d'air classiques et anciens, à pales, ont tendance à réduire l'intention de les utiliser en moyenne sur l'échantillon (M=5 sur 11).

Au final, mis à part l'incitation financière, deux autres grands leviers semblent opérants :

- L'information sur l'utilité de l'acte (économies, retombées pour les usagers, etc.)
- La garantie de l'efficacité et qualité du brasseur d'air (suivi, installation par agent agréé, valorisation par un label, etc.).

Le fait de pouvoir expérimenter un brasseur d'air chez quelqu'un est incitatif, avec une préférence pour les modèles sans pale. Les modèles anciens semblent en désinciter un certain nombre. Des facteurs globaux comme le réchauffement climatique seraient également incitatifs (M=8,8) pour ceux qui ont traité l'item.

La prise en compte de la dispersion à la moyenne suggère que les items qui sont les moins incitatifs (faible moyenne) ont aussi plus d'hétérogénéité (dispersion plus forte) que les items incitatifs (forte moyenne). Autrement dit, lorsqu'une proposition constitue un levier important il y a également une forme de consensus au sein de l'échantillon. Ce qui consolide la force du levier aux yeux des cibles.



Score moyen aux items “leviers” - ensemble de l’échantillon

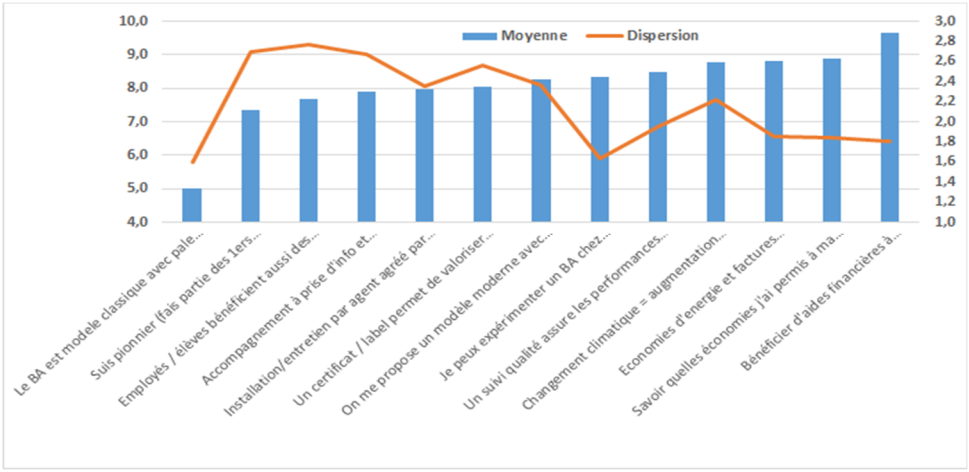


Figure 8 - Comparaison entre score moyen et dispersion pour les items “leviers” - ensemble de l’échantillon

3.5.2.2. Comparaison entre types de cibles

3.5.2.2.1. Avec ou sans brasseurs d’air

Lorsque nous comparons les cibles selon qu’elles soient utilisatrices ou pas de brasseurs d’air, nous voyons que 3 items sont significativement différents entre ces cibles[25] :

- La conformité des résultats (économies, factures) aux attentes ;
- Le fait que l’agent qui installe soit agréé par un organisme public ;
- Le fait de pouvoir expérimenter un brasseur d’air

Les usagers sans brasseurs d’air sont **significativement plus attentifs au fait de pouvoir expérimenter un brasseur d’air avant décision** (M=9,0 contre 7,9 sur 11)[26], puis que le brasseur d’air soit ensuite installé par un agent agréé (M=9,0 contre 7,2 sur 11)[27] et que les résultats soient ensuite conformes aux attentes[28] (M=9,4 contre 8,2 sur 11).

Concernant la comparaison “usagers habitation et hors habitation”, seuls 4 items ont été posés à toutes les cibles, et nous n’observons aucune différence significative par tests statistiques.

25 Rappelons que la faible taille de l’échantillon et les différences d’effectif entre groupes (avec ou sans BA) rendent les tests peu robustes. Nous avons donc opté pour des tests non paramétriques.
26 Test de Mann-Whitney : U=44,0; p=0,14
27 Test de Mann-Whitney : U=38,0; p=0,06
28 Test de Mann-Whitney : U=20,1; p=0,19

Le point de vue des professionnels - les leviers au passage à l'action des usagers

Les professionnels interrogés ont évoqué des facteurs ou conditions favorables à l'installation ou utilisation des brasseurs d'air, sur le plan de l'information, technique, sectoriel (filière), économique ou réglementaire :

Sensibilisation et accompagnement aux usagers

- De l'information aux usagers finaux, voire des actions de sensibilisation, qui traitent notamment de l'image : "*dans l'esprit des usagers, les brasseurs d'air sont anciens, mais en réalité ils sont très modernes, ils incarnent même le futur…*", des problèmes de climatisation, etc.
- Proposer un accompagnement aux usagers pour qu'ils se les approprient et sachent les utiliser, et ainsi augmenter l'acceptabilité, permettant de réduire la demande de climatisation
- Faciliter les retours d'expérience des usagers vers les MOA (clients) et les professionnels. Certains MOA indiquent qu'avec de bons retours d'expérience par type de bâtiment / projets ils seraient incités à équiper leur parc en rénovation ou en neuf.

Connaissance des professionnels et liens interprofessionnels (et avec MOA)

- Former les prescripteurs et MOA : potentiel et avantages (situations dans lesquelles ils sont pertinents), conditions de mise en œuvre, modèles, coordination avec la climatisation, etc. Par exemple, la plupart des professionnels interrogés ne connaissent pas la consommation moyenne d'un brasseur d'air ni les modèles, mis à part ceux qui en prescrivent couramment.
- Faciliter les liens et retours d'expérience entre professionnels, et avec les MOA, notamment en organisant des groupes de travail nationaux : retours d'expérience et bonnes pratiques, regroupements (commandes groupées), informations sur les produits et les conditions de mise en œuvre, savoir distinguer les situations favorables (refroidissement passif, hauteurs de plafond, dalles de plafond, etc.), information sur la réduction effective de la consommation électrique (en suppléant de la climatisation), etc.
- Faire évoluer les programmes de projets en y mettant des notions de vitesse d'air et de zone de confort (bureau administratif), afin que les architectes les prévoient en conception.

Améliorer les protocoles de mesure et structurer une filière

- Structurer une filière française de fabrication / distribution permettant de créer un véritable marché [cette proposition a été discutée et critiquée par l'équipe BRASSE, donnant lieu à une autre recommandation - cf. Tableau 13 p.73).
- Réaliser des tests sous contrôle en faisant varier les situations, modèles, etc. Permettant notamment d'améliorer les protocoles de mesures car aujourd'hui "*nous n'avons pas les idées claires, il y a beaucoup de bricolage et peu de science. Il est temps d'y travailler pour améliorer les protocoles*". L'idée est de prendre du recul sur les données et d'optimiser le dimensionnement et le calepinage. Puis de diffuser les résultats aux autres bâtiments - situations
- Rendre les produits plus lisibles (opacité sur internet)
- La réduction du prix du matériel qualitatif
- Inciter une réglementation qui rend les brasseurs d'air obligatoires sous certaines conditions : zone climatique, type de bâtiment, type d'occupation, etc. En effet, "*ils sont utiles avec ou sans climatisation, et l'augmentation de température à venir les imposera*[29]"

En résumé, les entretiens réalisés auprès des professionnels suggèrent de travailler en simultané à (1) la sensibilisation aux usagers (retirer l'image vieillotte et inefficace des brasseurs d'air) afin de réduire la demande de climatisation (paix sociale); (2) former et mettre en lien les professionnels pour faciliter l'information sur les avantages et conditions de mise en œuvre, permettant (3) ce que les brasseurs d'air soient inclus dès la phase conception quand cela est pertinent, avec une climatisation minimum pour répondre ponctuellement aux excès de chaleur (les brasseurs d'air permettant d'augmenter la T° de consigne en été et de la réduire en hiver). Puis (4) amener les constructeurs à produire des équipements adaptés au contexte français.

29 Un professionnel évoque le fait que depuis 2003 les DJU estivaux sont en diminution sur l'axe Paris-Lyon-Marseille : l'inconfort estival n'est pas si fort

4. Eléments de synthèse et focus sectoriels

4.1. Synthèses par type de cibles (demande)

Dans cette section nous synthétisons les résultats comparatifs entre types de cibles et zones géographiques. Les différences les plus marquées concernent la comparaison “usagers habitation” versus “usagers hors habitation”. La distinction “avec ou sans brasseurs d’air” est aussi contrastée, mais davantage concernant la perception et les attentes des usagers. La comparaison “métropole vs Réunion” est également porteuse de résultats.

4.1.1. Comparaison avec brasseurs d’air / sans brasseur d’air

La comparaison entre usagers de brasseurs d’air et non usagers fait apparaître des différences principalement au niveau des croyances et des représentations envers l’équipement.

Nous remarquons par exemple que les usagers sans brasseurs d’air ont une attitude légèrement moins positive et craignent des gênes potentielles (bruit, déplacement d’air, etc.). Ils ont également une moins bonne perception de la dimension économique du brasseur d’air. L’usage du brasseur d’air rendrait l’attitude plus positive, notamment sur la sécurité de l’équipement, l’acoustique et son aspect économique. L’usage induirait donc une accommodation aux effets négatifs anticipés par les usagers (bruit et déplacement d’air), ou permettrait de réduire leurs à priori et de mieux appréhender d’autres impacts comme la moindre consommation d’énergie ou l’allègement de son impact sur l’environnement. De même, si la motivation d’utiliser un brasseur d’air en saison chaude et d’améliorer le confort ressenti est partagée, nous remarquons plus de motivations et de résultats espérés chez les usagers sans brasseurs d’air. Cela se répercute sur les conséquences que les usagers observent ou pensent observer en utilisant un brasseur d’air : les usagers sans brasseurs d’air anticipent plus de conséquences potentielles (positives et négatives) mais leur accordent moins d’importance, alors que les usagers de brasseurs d’air anticipent moins de conséquences potentielles (positives et négatives) mais leur accordent plus d’importance. Ainsi, l’expérience du brasseur d’air augmente le pragmatisme de l’usager, ainsi que son exigence en termes de résultat.

Les usagers sans brasseurs d’air projettent finalement beaucoup plus d’éléments liés au processus de décision et d’action : motivations, résultats potentiels et facteurs incitant/freinant l’usage du brasseur d’air. Tous **ces éléments constituent autant de matière et leviers utiles pour concevoir des actions de communication et de sensibilisation à l’adoption du brasseur d’air**. Notons que les non-usagers comparent très souvent le brasseur d’air à la climatisation, qui constitue l’équipement de référence en termes de rafraichissement aussi bien en métropole qu’à la Réunion. Aussi, parmi les facteurs favorisant le passage à l’action, les non-usagers ont besoin de pouvoir vérifier que le brasseur d’air répondra à leurs attentes, soit en observant l’équipement en fonctionnement, par expérimentation, ou en bénéficiant d’une offre de brasseurs d’air variée, facile d’accès et compréhensible.

Les usagers de brasseurs d’air ont moins d’éléments à l’esprit pouvant être extraits dans le cadre d’entretiens : les motivations sont moins saillantes, ainsi que les freins, résultats espérés, etc. Ces usagers ont probablement déjà développé des stratégies d’adaptation en termes de confort d’usage. Le contraste observé entre usagers avec et sans brasseurs d’air suggère qu’il existe beaucoup de fausses croyances, de projections et d’à priori sur les brasseurs d’air, ce qui légitime un important travail de communication et de sensibilisation pour déconstruire ces éléments avant de penser à la diffusion de l’équipement.

Le

Tableau 11 résume les principales similarités et différences entre les cibles avec et sans brasseurs d'air. La première colonne reprend les thématiques traitées dans le rapport. Nous renvoyons le lecteur à ces parties pour plus de détails.

Nous rappelons les sigles utilisés : brasseurs d'air : brasseurs d'air / UH : usager en habitation / UHH : usager hors habitation (scolaire, bureau, etc.) / MOA : maitre d'ouvrage /

Tableau 11 - Synthèse des observations par thématique - comparaison de cibles avec et sans brasseurs d'air

Thématiques	Avec brasseurs d'air (Utilisation plus intense des brasseurs d'air)	Sans brasseurs d'air (Installation d'un brasseur d'air)
Représentation	Pays chauds, équipement ancien, inesthétique	
Esthétique	Critère important - souci d'intégration décorative ou architecturale	
Confort perçu	Le brasseur d'air apporte un confort thermique indéniable, avec une limite d'efficacité en cas de forte chaleur. Dépend du type de bâtiment (conception : isolation, ventilation, etc.). Jugement mitigé (déception) sauf pour les usagers pro-écologie.	Le brasseur d'air apporterait un confort certain (anticipation positive) mais doute sur l'efficacité réelle de rafraîchissement par rapport à la climatisation (notamment UHH).
Attitude envers les brasseurs d'air	Vision globalement positive des brasseurs d'air (utile, sécurisant, efficace, pratique, économique).	
	L'usage rend l'attitude plus positive, notamment sur la sécurité de l'équipement, l'acoustique et le côté économique.	Les non-usagers de brasseurs d'air ont une attitude moins positive, avec des craintes sur certaines gênes potentielles (bruit, déplacement d'air…). Ils ont également une moins bonne perception du côté économique du brasseur d'air (impact sur facture, coût d'investissement, etc.).
Motivations à utiliser un brasseur d'air	Motivations partagées : avoir moins chaud en saison chaude (améliorer le confort ressenti) et contribuer à l'environnement	
	Le nombre de motivations se réduit avec l'usage du brasseur d'air	Plus de motivations liées à l'utilisation d'un brasseur d'air. Anticipations positives.
Usage (avec brasseurs d'air) et projection d'usage (sans brasseurs d'air)	L'usage dépend du type d'occupation (UH/UHH) et de la qualité du bâtiment. Utilisation souvent permanente en saison chaude, sauf dans les bâtiments performants. Souvent couplée avec la ventilation naturelle en soirée (brise nocturne) (UH). Utilisation plus importante quand le brasseur d'air est installé dans une pièce à vivre (UH), voire en continue dans les bureaux et bâtiments scolaires.	N'envisagent pas d'utiliser les brasseurs d'air de manière constante mais plutôt ponctuellement. Idée d'équipement d'appoint permettant de rafraîchir lorsque cela est nécessaire (chaleur).
Conséquences potentielles observées ou observables	Anticipent moins de conséquences potentielles (positives et négatives) mais leur accordent plus d'importance + Meilleure sensation de confort en saison chaude + Meilleure maîtrise de la consommation d'électricité (pouvoir anticiper) + Sensation de rafraîchissement - Limites à l'efficacité en cas de forte chaleur (tout secteur) - Bruit (tout secteur) - Brassage d'air gênant (UHH)	Anticipent plus de conséquences potentielles (positives et négatives) mais leur accordent moins d'importance + Meilleure sensation de confort en saison chaude + Le moindre recours à des solutions plus coûteuses comme la climatisation + Meilleure maîtrise de la consommation d'électricité (pouvoir anticiper) - Déplacement d'air (tous secteur) - Bruit (tout secteur) - Limite d'efficacité perçue (plutôt UH)
Contrôle sur l'usage du brasseur d'air	Préférence pour un système de contrôle simple et non technologique	La perspective d'un système technologique pour régler l'équipement facilite davantage le passage à l'action des usagers sans brasseurs d'air (incitation à en installer). La sécurité liée à l'équipement est également un facteur qui facilite fortement le passage à l'action, avant tout chez les usagers sans brasseurs d'air
Facteurs freinant / facilitant	Conditions climatiques : saison froide Fortes chaleurs : limite d'efficacité	
	Entretien du brasseur d'air Coût d'utilisation Manque de contrôle	Bruit Déplacement d'air Coût d'installation Sécurité
Leviers	Economies d'énergies Economies financières pour la structure et retombées pour les usagers (UHH) Efficacité avérée (suivi qualité, label, etc.)	Economies d'énergies Confort apporté Coût d'investissement et perspectives d'aides Accompagnement à la décision - pouvoir expérimenter préalablement un brasseur d'air chez un autre usager - se voir proposer un brasseur d'air moderne Installation par un agent agréé par un organisme public

4.1.2. Comparaison UH / UHH

Les différences entre les secteurs habitation et tertiaire (bureaux et établissements scolaires) permettent d'apprécier les nuances en termes d'attentes, de croyances, de projections, de freins et de leviers.

Les usagers en habitation ont généralement plus de liberté dans l'utilisation du brasseur d'air que les usagers du tertiaire qui subissent davantage une installation imposée ou par décision collective.

Cela s'observe par exemple par une plus grande sensation de contrôle en habitation, où les conflits d'usages sont plus facilement gérables par l'adoption de stratégies d'adaptation diversifiées (vêtements, changer de pièce, ventilateurs sur pied, aération, etc.). La satisfaction d'usage est ainsi légèrement supérieure en habitation. Cela pose la question du lien entre cette satisfaction et le contrôle de l'équipement ou le plus grand nombre de conséquences négatives observées par les usagers du tertiaire.

Les usagers de brasseurs d'air en habitation ont globalement de meilleures connaissances sur la dimension économique que dans le tertiaire. Si tous jugent le brasseur d'air globalement utile, il est jugé moins efficace que la climatisation dans le tertiaire. On retrouve également plus de convictions écologiques à utiliser le brasseur d'air chez les usagers en habitation mais dans les deux cas la performance énergétique de l'équipement est attendue. Les économies d'énergie constituent d'ailleurs le facteur incitatif le plus souvent partagé par les usagers des deux secteurs. En revanche, les usagers en habitation sembleraient avoir besoin d'une offre plus riche et diversifiée, accessible et accompagnée d'une communication, ce qui semble manquer aussi bien en métropole qu'à la Réunion (dans une moindre mesure). Les répondants du secteur tertiaire semblent avoir besoin d'une preuve de l'efficacité des brasseurs d'air afin de prendre la décision d'investir, une analyse coûts/avantages plus rationnelle puisqu'elle concerne souvent un investissement plus conséquent.

Dans les deux cas donc nous voyons que les usagers ont besoin de preuves quant à l'efficacité du brasseur d'air, par exemple à travers un suivi qualité. Ceci s'explique notamment car le brasseur d'air est souvent comparé à la climatisation, surtout dans le tertiaire où cet équipement semble mieux répondre au besoin de refroidissement souhaité par les usagers, à savoir le besoin d'avoir une température stable (pour des tâches statiques) sans gênes (bruit et déplacement d'air).

Le tableau 12 reprend les éléments les plus saillants quand on compare les cibles UH et UHH, en donnant des détails entre les cibles avec et sans brasseurs d'air quand cela est pertinent. Notons que le sigle "**OLS"** indique le logement social.

Tableau 12 - Synthèse des observations par thématique - comparaison de cibles UH et UHH

Thématiques	Usager habitation (UH)	Usager hors-habitation (UHH)
Représentation	Pays chauds, équipement ancien et inesthétique	
Esthétique	Important, surtout lorsqu'il est question d'installer un brasseur d'air. Souci d'intégration dans l'habitat.	A son importance mais le côté fonctionnel (résultats) est prioritaire.
Confort perçu	Confort par temps chaud. Sentiment d'efficacité limitée en cas de forte chaleur. Sentiment de faible efficacité dans les logements plus anciens ou mal isolés (notamment en logement social), mais aussi dans les logements récents ou performants (où les brasseurs d'air sont même perçus comme "inutiles"). À mettre en parallèle avec le type de bâtiment et leur conception : possibilités de ventilation naturelle, déchargement de la chaleur accumulée, etc.	Permet de rafraîchir l'air ambiant à défaut de réellement refroidir, mais le confort généré est appréciable. Brasseurs d'air perçu comme moins efficace que la climatisation.
Attitude envers les brasseurs d'air	Bonnes connaissances sur la dimension économique Jugent les brasseurs d'air plus utiles. Plus d'appréhension sur la sécurité (quand brasseurs d'air préinstallés) Jugement globalement plus positif des cibles UH avec brasseurs d'air que les cibles UH sans brasseurs d'air : l'usage du brasseur d'air réduit les a priori et croyances négatives	Méconnaissance du coût d'investissement et des bénéfices économiques de l'utilisation des brasseurs d'air. Jugent les brasseurs d'air plus sécurisants mais moins efficaces Jugement globalement plus positif des cibles UHH sans brasseurs d'air que les cibles UHH avec brasseurs d'air : anticipation positive plus forte chez les non-usagers (plus de croyances positives).
Motivations à utiliser un brasseur d'air	1. Faire un geste pour l'environnement 2. Avoir moins chaud en saison chaude 3. Avoir un logement performant et réduire les factures Peu motivés par la dimension low tech ni par le confort d'hiver	1. Avoir moins chaud en saison chaude 2. Améliorer la qualité de l'air 3. Utiliser un équipement low tech
Usage des brasseurs d'air	Saison chaude, ponctuel en cas de forte chaleur - utilisation continue aux heures de travail (UHH) et plus ponctuelle en logement (UH)	
Conflits d'usage	En fonction des différences de sensibilité thermique des usagers	
	Consensus souvent trouvé avec différentes stratégies d'adaptation (vêtements, changer de pièce, etc.)	Les usagers "subissent" plus une décision collective et ont moins de marge de manœuvre. Acceptation globalement positive
Compétition avec d'autres équipements	Utilisation d'autres équipements (ventilateurs d'appoint) pour pallier l'insuffisance du brasseur d'air ou lorsque les pièces n'en sont pas équipées	Pas d'autres équipements utilisés Ventilation naturelle
Brasseurs d'air VS Clim	Brasseurs d'air = solution économique et à moindre impact environnemental, mais perçus comme inutiles si possibilité de ventilation naturelle dans les logements performants Efficacité limitée dans les logements mal isolés ou qui ne se déchargent pas	Alternative économique et écologique à la climatisation seulement si le bâtiment est bien conçu. La climatisation répond mieux au besoin de refroidissement souhaité dans le secteur tertiaire et les écoles : besoin de température stable (travail intellectuel) et pas de gêne (bruit, déplacement d'air)

		Pourrait compléter la clim déjà installée dans l'idée d'adapter les températures de consigne et de réduire les coûts
Contrôle sur l'usage	Sensation de contrôle du brasseur d'air lorsque celui-ci est fonctionnel et que les outils de commande sont accessibles et simples d'utilisation	
	Plus grande sensation de contrôle en habitation Dans les logements, la chaînette (présente sur brasseurs d'air ancien ou à bas prix) est perçue comme un outil dépassé et contraignant. Le variateur mural offre un contrôle satisfaisant. La télécommande reste le moyen de contrôle jugé le plus pratique	Peu de contrôle en utilisation collective (open-space, lycées) Variateur mural apprécié dans les établissements scolaires Télécommande préférée en secteur tertiaire (bureaux)
Satisfaction d'usage	Satisfaction d'usage supérieure	Satisfaction d'usage inférieure
Conséquences potentielles observées	+ Améliore le confort ressenti + Renouvellement de l'air, assainissement + Economies d'énergies - Limite d'efficacité perçue en cas de forte chaleur - Bruit (notamment la nuit et à forte vitesse) - Temps nécessaire à ressentir le rafraîchissement (en comparaison avec la climatisation), portée de l'air brassé - Sécurité (logement social)	+ Améliore le confort ressenti + Gain en concentration, calme et en productivité - Limite d'efficacité perçue en cas de forte chaleur - Bruit - Déplacement d'air - Fatigue visuelle (bureau) - Conflits d'usages - Cout énergétique et écologique de l'installation (écoles) - Surplus d'équipements à gérer (écoles) - Source de distraction pour les élèves (écoles)
Facteurs freinant / facilitant	Conditions climatiques	
		Contrôle sur l'équipement
Leviers	Economies d'énergie Confort apporté Offre plus variée sur le marché	Economies d'énergie Coût d'acquisition, d'installation et d'entretien Efficacité prouvée (suivi qualité, consommations, etc.)

4.1.3. Comparaison Métropole / Réunion

4.1.3.1. Les représentations, connaissance et diffusion des brasseurs d'air

Les contextes sociaux, climatiques, techniques et culturels en métropole et à la Réunion sont assez différents. Les brasseurs d'air sont implantés de manière historique à la Réunion, alors qu'en métropole ils sont, à priori, plus rares. Cependant, **dans les 2 cas, nous avons pu constater un certain manque de connaissance vis-à-vis des brasseurs d'air**, à savoir les principaux enjeux, avantages et inconvénients, fonctionnement, coût, conditions d'utilisation, etc. de ce type d'équipement. Même si les usagers à la Réunion savent en majorité ce que sont les brasseurs d'air, il subsiste des confusions avec les ventilateurs muraux ou sur pieds.

En métropole, les brasseurs d'air renvoient pour beaucoup de répondants à une image coloniale et aux pays chauds. Ils sont par ailleurs peu installés dans les logements et les bureaux, notamment dans les régions Grand-Est et Nord, avec une très faible culture du brasseur d'air. On les rencontre principalement dans la partie sud de la France. A la Réunion, il semblerait que les brasseurs d'air soient des objets moins répandus qu'auparavant et donc moins connus, du moins en secteur habitation. Dans les établissements scolaires, leur présence est plus fréquente. Ce constat émerge à la fois de notre campagne de prise de contact et de nos entretiens. Nous avons vu que les brasseurs d'air renvoient effectivement une époque ancienne dans l'imaginaire des interviewés. Le brasseur d'air est de plus perçu comme un équipement économique (peu onéreux) : il peut ainsi parfois être associé aux classes sociales les moins aisées n'ayant pas les moyens d'investir dans des équipements modernes comme la climatisation. Cette dernière est globalement plus plébiscitée, et jugée plus efficace que les brasseurs d'air, notamment pour répondre aux besoins de rafraîchissement en cas de forte chaleur. Un avis partagé surtout dans le secteur tertiaire (bureaux)

Ces résultats contrastent avec le retour d'expérience mené à la Réunion par Imageen, le CAUE, LEU et IPSOS en 2019 dans le cadre du projet PACTE[30]. Cette étude porte sur 100 logements, la moitié hors norme RTAA et l'autre aux normes RTAA. "*Avant RTAA, seuls 2% des logements visités ont des brasseurs d'air installés, ce chiffre augmente très significativement à 49% après RTAA*" (p.46). Notons que ce chiffre porte sur 44 logements ayant mis en place la réglementation RTAA DOM, et qui ont de ce fait des spécificités qu'on ne retrouve pas dans tous les bâtiments. Notre étude porte justement sur des logements et bâtiments variés. L'étude Imageen conclut "*le constat est mitigé : encore trop peu de logements sont véritablement équipés en brasseurs*".

30 Projet AP11, financement ADEME et EDF.

Note : Notons également que la perception des brasseurs d'air et les avis dépendent en partie aussi de ce que l'usager a pu entendre ou observer quant à la conception et installation de brasseurs d'air (dimensionnement, commandes, entretien, etc.).

4.1.3.2. Confort thermique : disparité des besoins et des équipements

Une des différences majeures entre Métropole et Réunion concerne les besoins en termes de confort thermique. La Réunion bénéficie d'un climat tropical où les températures sont moins extrêmes en moyenne qu'en France métropolitaine, mais où les saisons durent plus longtemps. Les besoins de confort thermique sont essentiellement orientés vers le confort d'été, avec un usage d'équipements de rafraîchissement sur une plus longue période. La métropole bénéficie d'un climat tempéré, mais avec des températures assez extrêmes entre les différentes saisons. Les besoins de confort thermique concernent donc à la fois le confort d'été et d'hiver. L'usage de solution de rafraîchissement porte ainsi sur une courte période (l'été) alors que les besoins en chauffage sont plus importants. Des nuances existent cependant entre le Nord/Sud.

De ce fait, les besoins en équipements sont différents. A la Réunion, les techniques de rafraîchissement (aération naturelle, ventilateurs sur pieds, plafonnier ou climatiseur) sont utilisées sur une plus grande période de l'année, à savoir 6 mois environ. Cependant, les températures restent bien trop fraîches durant l'été dans les Hauts pour avoir besoin d'un brasseur d'air. En France métropolitaine, il y a un besoin de chaleur l'hiver, et de rafraîchissement durant l'été ainsi qu'aux mi saisons (problèmes de chaleur dus aux changements climatiques). Les usagers s'équipent donc en conséquence, et privilégient des équipements qui permettent de garantir un confort double tel que les climatiseurs réversibles. Nous avons pu par exemple entendre lors des entretiens des affirmations du type : « *pourquoi acheter un brasseur d'air alors qu'il ne permet que d'avoir "potentiellement" du confort thermique durant l'été ?* » Certains usagers de métropole évoquent même une impression de "perdre de l'argent" en accumulant des installations à fonction unique, cela quand bien même l'équipement serait utile et efficace.

4.1.3.3. Typologie du bâti

Les contextes climatiques et les histoires architecturales associées en métropole et la Réunion sont très différents. Cela implique des approches confort différentes. La comparaison de ces dernières n'est pas l'objet de la présente partie de l'étude, elle ne sera donc pas traitée ici.

Néanmoins, il a été constaté qu'une grande majorité des logements privés (anciens) à la Réunion sont construits selon des normes contraignantes qui orientent les installateurs à favoriser l'implémentation des brasseurs d'air vers certains types de bâtiments (logements privés/sociaux neufs, secteur tertiaire établissement scolaires).

Les contraintes relevées dans cette étude sont les suivantes :

- La hauteur sous plafond de ce qu'on appelle les "maisons traditionnelles" est souvent trop basse (< 2,50 m) pour permettre la pose de brasseurs d'air dans les normes en vigueur (>2,50 m).
- La composition du plafond peut être trop fragile (faux-plafond) et sa forme peut occasionner des surcoûts de l'installation de brasseurs d'air (si l'intention est d'en installer sous le toit). Dans ces cas, il faudrait soit renforcer le plafond pour une installation sûre du brasseur d'air (selon le poids du modèle choisi - ex. les Loki Hunter sont plus lourds), soit adapter l'installation pour veiller à ce que les pales ne touchent pas le plafond/toit ou d'autres obstacles en y installant une tige plus importante.
- Le système électrique des maisons traditionnelles n'est souvent pas optimal et nécessite d'être rénové, ce qui occasionne des surcoûts pour l'installation de brasseurs d'air

4.2. Focus sur le logement social

Dans cette partie nous faisons un focus sur le logement social, permettant de produire des conclusions utiles à de futurs recherches et recommandations pour le déploiement des brasseurs d'air dans ces secteurs.

4.2.1. Focus sur la demande en logement social à la Réunion

Nous faisons ici un focus sur les quelques usagers en logement social qui ont participé aux entretiens. Ces entretiens ne concernent pas la métropole.

4.2.1.1. Une réponse partielle au besoin de rafraîchissement

Pour la plupart des résidents en logement social interrogés et qui disposent de brasseurs d'air, ces derniers répondent à leur besoin de rafraîchissement, d'aération et de renouvellement de l'air. Toutefois, ils sont souvent utilisés en complément d'autres techniques de rafraîchissement, comme la ventilation naturelle ou des ventilateurs sur pied, qui permettent de répondre à des besoins ciblés (pièces non équipées de brasseurs d'air par exemple) ou pour augmenter le brassage d'air de manière générale. Cette mixité d'usages s'observe notamment plutôt dans le cas de logements anciens. Aussi, la majorité des répondants s'accordent sur la limite de l'efficacité de brasseurs d'air au-delà d'un certain seuil de chaleur.

4.2.1.1.1. *Un fort enjeu de sécurité*

La sécurité des brasseurs d'air semble être un critère important chez les usagers résidant en logement social. Les brasseurs d'air sont en effet souvent perçus comme dangereux du fait du système rotatif des pales. Cet aspect semble être lié à la configuration des logements d'une part, notamment car les brasseurs d'air peuvent parfois être installés dans des pièces dont la hauteur sous plafond est insuffisante, ce qui peut aussi laisser penser que leur installation n'est pas conforme dans certains cas. D'autre part, il semblerait que cet enjeu sécuritaire soit également lié à une faible maintenance des équipements de la part de certains bailleurs. Autrement dit, certains usagers nous laissent entendre qu'il existerait un réel désintérêt/désengagement des bailleurs vis-à-vis de la maintenance/entretien de l'équipement, voire même des installations non conformes.

4.2.1.1.2. *Un manque de contrôle*

Ce sentiment d'insécurité semble de plus renforcé par le fait que certains usagers ne disposent d'aucun contrôle sur les brasseurs d'air et ne peuvent donc pas modifier ni changer leur équipement, puisque ces derniers appartiennent au bailleur. Ces locataires émettent un sentiment d'impuissance et subissent l'existant sans pouvoir d'action.

4.2.1.1.3. *Conclusion*

Même si les brasseurs d'air ne semblent pas faire l'unanimité afin de répondre intégralement au besoin de rafraîchissement, notamment en cas de forte chaleur, ils sont toutefois globalement perçus comme des équipements économiques et fonctionnels. Cependant, ils pourraient obtenir bien plus de faveur s'il n'existait pas les problèmes d'entretien et de sécurité évoqués. Des problèmes qui semblent se rencontrer dans les logements sociaux plus anciens, dus notamment à la question de la propriété du brasseur d'air.

Le critère esthétique revêt une dimension plus ou moins importante selon les sondés, ce qui indique qu'il existe tout de même un intérêt pour l'intégration des brasseurs d'air dans le logement. Les brasseurs d'air sont globalement perçus comme bien intégrés et fonctionnels dans les logements sociaux récents. Si les brasseurs d'air sont installés dans tous les logements sociaux neufs aujourd'hui[31] à La Réunion, ils restent pourtant des équipements peu connus. Dans le cas des logements sociaux plus anciens, le critère esthétique arrive loin derrière les enjeux de sécurité, de conformité, de fonctionnalité et de contrôle.

Cette approche mitigée envers les brasseurs d'air nous amène à nous questionner sur leur efficacité dans une conception d'ensemble du logement : isolation, taille des pièces, installation, etc. Cela pourrait en partie expliquer que certains locataires de logements sociaux adoptent une attitude réfractaire envers les brasseurs d'air, leur préférant la climatisation, jugée plus efficace, fonctionnelle et ne présentant pas les mêmes inconvénients d'usage. Aussi, les brasseurs d'air peuvent être considérés comme des équipements "*pour ceux qui n'ont pas les moyens*".

4.3. Focus sur les responsables techniques et décisionnaires en logement social

Nous avons interrogé 3 responsables techniques d'organisme de gestion des logements sociaux.

- Un Directeur de la Maîtrise d'Ouvrage (métropole)
- Un Adjoint au DTP - Chef du département investissement et travaux (métropole)
- Un responsable des Service Travaux neufs et réhabilitation (Réunion)

4.3.1. En métropole

Les responsables que nous avons interrogés en métropole n'installent pas de brasseurs d'air dans les parcs locatifs qu'ils gèrent. Notons que parmi ces 2 responsables, l'un avait une posture très favorable aux brasseurs d'air avec de bonnes connaissances, l'autre avait une posture assez neutre et manquait sensiblement de connaissances.

4.3.1.1. Une absence de réglementation, mais en évolution (RE 2020)

Notons tout d'abord qu'il n'existe pas de réglementation concernant l'installation de brasseurs d'air dans les logements sociaux. Si la RT2012 les intègre dans les moteurs de calcul, il n'y a pas de directives fortes. Toutefois, la RE 2020 fixe des objectifs de déploiement de cet équipement à partir de Janvier 2022 pour les bâtiments à usage d'habitation. Ainsi les responsables interrogés pensent que les brasseurs d'air seront prochainement préconisés et les promoteurs vont logiquement les implanter en logement social (mais après les logements privés). Ils déclarent à ce propos en avoir discuté à plusieurs reprises lors de leurs réunions, en préambule de cette future application.

4.3.1.2. Des craintes liées à une méconnaissance des brasseurs d'air

Mais dans les cas étudiés, les exploitants n'ont pas voulu installer de brasseurs d'air, principalement à cause d'une **méconnaissance des coûts d'exploitation** à la charge du bailleur (installation, entretien et remplacement). De plus, il existe

31 En lien avec la RTA DOM (-600m ou manque d'ouverture pour ventilation naturelle) - 2016

de nombreux types de brasseurs d'air avec un gradient de qualité. Ce sont donc des équipements qui nécessitent des préconisations importantes. Dans une logique de rentabilité, les exploitants ont alors besoin de connaître les caractéristiques des brasseurs d'air : leur consommation énergétique, s'ils vont devoir les remplacer, quel est le coût d'entretien, etc. **Un guide détaillé de prescription pour les brasseurs d'air ou une étude comparative sur les marques phares à déployer avec leur caractéristiques (durée de vie - taux de panne - coût de réparation, etc.) permettrait ainsi d'inciter les bailleurs sociaux à investir dans les brasseurs d'air.**

En plus de ne pas avoir assez d'informations sur les brasseurs d'air ou son coût d'entretien, un des responsables évoque d'autres craintes, telle que celle de l'installation qui nécessite de former les sociétés de service chargées de l'entretien. De plus, ce dernier avoue ne pas savoir vers quel équipementier se tourner. Il n'a d'ailleurs jamais été approché par un prescripteur. Enfin, il évoque également la crainte de détérioration de l'équipement par les usagers (locataires).

4.3.1.3. Les solutions installées et leurs problématiques

Les solutions thermiques installées actuellement en logement social, volets roulants ou fenêtres oscillo-battantes, visent principalement à protéger les occupants de la chaleur afin de remédier à leur inconfort thermique. Ce terme est préféré par un des responsables qui selon lui met le doigt sur un problème et permet donc de proposer des solutions pour le résoudre, contrairement au terme de « confort d'été » qui tend à appréhender les solutions de rafraîchissement comme une option voire un luxe.

Un des responsables interrogés établit toutefois le constat que les débits de ventilation des VMC installées en France ne sont pas assez élevés. Les logements sont donc mal ventilés, ce qui contribue à augmenter l'inconfort thermique perçu par les usagers. Selon lui, avec la BBC Réno 2021, on peut avoir une bonne étiquette énergétique mais pas de bons résultats car ceux-ci ne sont pas corrélés. L'étiquette perd donc son sens car d'après lui bien souvent les moteurs de calcul ne fonctionnent pas. Selon lui, la meilleure solution qui devrait être installée dans les logements sociaux actuellement est la VMC double flux (hormis les brasseurs d'air).

4.3.1.4. Les stratégies des occupants pour optimiser leur confort thermique

Afin de remédier à leur inconfort, certains locataires adoptent parfois des solutions qui nuisent aux performances du logement. Un des responsables évoque avoir rencontré plusieurs cas où les locataires bouchaient les entrées d'air des VMC afin d'éviter que du froid ne rentre (courants d'air). Mais cela contribue à augmenter l'humidité dans le logement, ce qui favorise le développement de moisissures mais aussi la sensation d'inconfort (air chargé en humidité).

Le locataire peut décider d'installer un brasseur d'air s'il le souhaite mais il faut l'autorisation du bailleur. L'installation d'un équipement comme un brasseur d'air est une initiative personnelle, le tout est de remettre le logement en état en quittant les lieux. Cependant, les locataires ne sont pas en demande de brasseurs d'air, c'est plutôt la climatisation qu'ils souhaitent installer, ce qui corrobore les résultats que nous avons trouvés en logement social par ailleurs.

En réalité, il s'avère que **le brasseur d'air n'est pas un équipement connu**. Un des responsables déplore à ce propos un **manque de communication** autour des brasseurs d'air. Il se remémore l'action de sensibilisation menée sur des locataires par des ambassadeurs, mais cela n'a pas changé la donne. Selon lui, les locataires ne s'équipent pas en brasseurs d'air parce qu'ils sont trop chers - « *en tout cas c'est ce que pensent les locataires, les gens en général* ». De plus le brasseur d'air « fait vieillot - ancien », certains ont peur que « ça dénote dans l'appartement », les proches se demandent si cela marche vraiment. A contrario la climatisation gagne en termes d'image, elle « donne un côté luxe » alors que le brasseur d'air serait dévalorisant. L'utilisation de la climatisation est devenue une pratique culturelle, synonyme de luxe et de confort absolu. Le contrôle perçu sur le rafraîchissement est aussi un facteur fort et c'est avec la climatisation que les usagers ont l'impression de l'avoir le plus.

Toutefois, les bailleurs refusent en général d'installer la climatisation dans les logements car c'est alors à eux de les entretenir, contrairement à une installation personnelle d'un équipement comme le brasseur d'air. Nous sommes dans une logique de réduction des coûts d'exploitation assez notable. C'est pourquoi les stratégies de rafraîchissement des locataires se limitent le plus souvent à de simples ventilateurs sur pied. Cependant, il s'avère que certains locataires installent quand même la climatisation sans en demander l'autorisation, ce qui contribue à la détérioration du logement. A ce propos, notons qu'un des responsables déclare qu'il n'autoriserait sûrement pas les locataires à installer un brasseur d'air à cause du risque de détérioration : « les enfants vont jouer avec les pales », « l'installation risque de détériorer l'appartement ». **Une remarque importante qui suggèrerait qu'en logement social, les brasseurs d'air ne pourraient se développer que par la contrainte (réglementation) ou l'incitation (financière).**

4.3.1.5. Un avis globalement favorable

Le brasseur d'air représente selon les responsables interrogés une bonne voire une excellente solution de rafraichissement, meilleure que la climatisation en termes de consommation énergétique d'une part mais aussi d'impact environnemental. Aussi, selon un des responsables, le brasseur d'air est bien plus agréable à vivre au quotidien et bien meilleur pour la santé car cela oblige notre corps à s'habituer à des différences de températures. Notons qu'il s'agit là d'avis personnels et que nous constatons qu'en l'absence de connaissances sur le sujet la posture du répondant change sensiblement.

4.3.1.6. Les solutions pour déployer les brasseurs d'air

Nous pouvons dégager de ces entretiens plusieurs facteurs qui favoriseraient le déploiement des brasseurs d'air en logement social. Du côté des exploitants, des réponses en termes de coût/avantage pourraient être facilement démontrées avec des études chiffrées et comparées avec climatisation. Nous avons vu que les acteurs interrogés sont favorables à l'idée d'avoir un guide de prescription des brasseurs d'air.

Ceci étant, les 2 facteurs principaux seraient :

- La contrainte réglementaire, le caractère obligatoire ;
- L'incitation financière ou l'octroi de subventions.

Enfin, il serait nécessaire de renforcer l'image positive des brasseurs d'air auprès des locataires. Selon un des responsables, « *les gens apprécient de plus en plus la technique, le contrôle et la maison connectée* ». Ainsi selon lui proposer des brasseurs d'air connectés ou automatisés pourrait être un facteur de déblocage, de réhabilitation. Faire du brasseur d'air un objet tech, avec un contrôle via une application smartphone par exemple. Finalement, il s'agit de jouer sur l'innovation.

Le problème à ce type de solution, que propose par exemple les ventilateurs sans pales, est leur coût. Le brasseur d'air est justement une solution low-tech qu'il est intéressant d'utiliser pour cette caractéristique. A ce propos, l'oscillo battant est une solution qu'on met en place facilement maintenant et qui fonctionne bien, « les locataires en sont contents », il y a de « bons retours », alors qu'elle a mis beaucoup de temps à être reconnue pour sa simplicité et son utilité. Dans le même ordre d'idée, les volets à projection sont un système ancien qui n'est pourtant plus utilisé.

4.3.2. A la Réunion

L'entretien mené à la Réunion a été effectué auprès d'une Société d'Economie Mixte (SEM) dont l'activité couvre les métiers de la construction, l'aménagement et la gestion de logements sociaux. Cette société gérait en 2019 un parc de plus de 26000 logements.

4.3.2.1. Installation de brasseurs d'air dans les programmes de réhabilitation

La pose de brasseurs d'air n'est pas obligatoire en réhabilitation contrairement aux logements neufs où l'installation est imposée par la réglementation RTADOM (en fonction de l'altitude). La SEM a donc procédé à des installations de brasseurs d'air à l'initiative du bailleur, principalement afin d'éviter que les locataires ne s'équipent de climatiseurs. En effet la climatisation est énergivore et peut engendrer des factures d'électricité élevées, des situations pouvant vite devenir problématiques pour des occupants généralement en situation économique précaire ou fragile, avec au final d'importants risques de loyers impayés.

Dans le cadre de programmes de réhabilitation des logements, la SEM a ainsi mené plusieurs opérations d'installations de brasseurs d'air sur différentes zones de l'île. Selon notre interlocuteur, environ 1000 logements ont été équipés de brasseurs d'air jusqu'à présent. Il y aurait 2 à 3 brasseurs d'air par logement (séjour et chambre principale). Les brasseurs d'air peuvent avoir été posés par des installateurs différents, avec potentiellement plusieurs types de brasseurs d'air installés. Les brasseurs d'air ont été posés par des électriciens, pas forcément en lien avec EDF. Ce dernier a par ailleurs accompagné les projets à leurs débuts notamment sur les économies d'énergies pouvant être réalisées. Ces programmes ont aussi bénéficié d'un prêt de la Caisse des Dépôts (Eco prêt) au sein du projet **Bâti Pei**, utilisant un logiciel de simulation thermique dynamique.

Les contraintes évoquées lors de ces opérations :

- Techniques : la hauteur sous-plafond peut poser problème notamment dans le cas d'une installation dans les chambres qui possèdent des lits superposés ;
- L'ancienneté du bâtiment : un logement trop ancien construits avec des matériaux peu adaptés ;
- Le type de brasseurs d'air choisi par les bailleurs : certains veulent des brasseurs d'air avec lumière intégré mais ils sont plus fragiles ;
- Le système de contrôle des brasseurs d'air : les commandes murales sont préférées aux ficelles (chaînettes) plus fragiles.

La pose de de brasseurs d'air est gratuite pour les occupants de logement social. En revanche, l'octroi de primes dépend du niveau de revenu du ménage. Plusieurs installateurs peuvent être chargés de l'installation des brasseurs d'air. De même, l'entretien des brasseurs d'air installés n'incombe pas spécifiquement à l'installateur mais peut être réalisé par d'autres prestataires.

4.3.2.2. La prime CEE (Prime de Certificats d'Economies d'Energie)

Depuis 2020, EDF Réunion a lancé une offre dédiée aux brasseurs d'air à destination des particuliers et des professionnels (Offre brasseurs d'air Agir Plus). Les particuliers peuvent déduire jusqu'à 240€ et les entreprises 100€ sur leur acquisition d'un brasseur d'air.

Catégorie	Résidentiel	Résidentiel « coup de pouce »
Mise en place d'un ou de plusieurs brasseurs d'air dans un logement neuf (< à 2 ans)	120€ / unité	150€ / unité
Mise en place d'un ou de plusieurs brasseurs d'air dans un logement existant (> à 2 ans)	190€ / unité	240€ / unité

*Les personnes locataires de leur logement peuvent demander l'accord écrit du propriétaire bailleur du logement pour la mise en place de brasseurs d'air.

Catégorie	Tertiaire	Bailleurs sociaux logements collectifs
Mise en place d'un ou de plusieurs brasseurs d'air dans un bâtiment neuf (< à 2 ans)	100€ / unité	150€ / unité
Mise en place d'un ou de plusieurs brasseurs d'air dans un bâtiment existant (> à 2 ans)	100€ / unité	200€ / unité

Figure 9 - - les offres issues de la prime CEE pour l'installation de brasseurs d'air à la Réunion

Des entreprises partenaires d'EDF sont chargées d'installer les brasseurs d'air en fonction de l'offre choisie. Cependant, un certain nombre de ces installateurs ne passent pas par les bailleurs et contactent directement les locataires. Ainsi les bailleurs ne sont ni consultés par EDF ni par les installateurs, une pratique jugée inacceptable qui a amené certains bailleurs à mettre fin à la possibilité d'installer des brasseurs d'air au sein de leur parc locatif.

Cette pratique soulève également d'autre problèmes :

- Les installateurs ne font pas de diagnostic amiante avant travaux ;
- Les outils qu'ils utilisent ne semblent pas connus ;
- Entretien et maintenance des brasseurs d'air : le bailleur n'est responsable que de l'entretien des brasseurs d'air qu'il a lui-même installés. Les brasseurs d'air équipés directement par les installateurs ne sont pas à leur charge. En effet, si l'installation de brasseurs d'air est effectuée dans le cadre CEE, le brasseur d'air appartient au locataire et non au bailleur, il doit le reprendre lors de son départ du logement ;
- Le bailleur social ne sait pas où les installateurs EDF ont posé des brasseurs d'air ;
- Le bailleur ne sait pas quelles informations sont données aux locataires par les installateurs ;

Comme l'installation de brasseurs d'air se fait sans consultation du bailleur, l'opération n'est pas coordonnée. Cela génère des incompréhensions chez les autres locataires quant à la pose de brasseurs d'air, notamment sur leur inéligibilité à la prime CEE.

4.3.2.3. Positionnement sur les brasseurs d'air

Le brasseur d'air est une bonne solution pour le responsable interrogé : c'est une technologie qui a fait ses preuves et relativement peu coûteuse. Ainsi, les résultats des opérations de la SEM sont encourageants selon le répondant :

- Ce dernier indique qu'il a été observé une baisse de 2 degrés dans les logements ;
- Il n'y a pas eu de pose de climatisation après l'installation de brasseurs d'air, ce qui correspond à l'objectif du bailleur ;

Globalement, les brasseurs d'air fonctionnent donc bien selon le répondant. Mais un des soucis est l'absence de retour d'expérience des locataires, il n'y a donc aucun moyen d'analyser concrètement l'usage des brasseurs d'air par les locataires ni le coût énergétique réellement assumé par les usagers.

Concernant l'évolution des brasseurs d'air, notre interlocuteur avoue ne pas avoir de connaissances sur les nouveaux modèles, bien qu'il ait été informé de leur existence. Ce n'est pour le moment pas une priorité pour le bailleur.

Les principaux avantages des brasseurs d'air selon le répondant

- Diminution de la température ressentie ;
- Renouvellement de l'air ;
- Évite la pose de climatisation qui sont énergivores.

Les motivations à installer des brasseurs d'air

- Politique environnementale (générique) ;
- Obligation RTADOM (logements neufs) ;

- Faire en sorte que les locataires n'installent pas de climatisations, car trop coûteux sur le plan économique (facture d'électricité). Les bailleurs ont peur de l'impact sur la consommation d'électricité des locataires en situation précaire. Si impossibilité de payer = répercussion sur la capacité à payer le loyer = impact sur les coûts de recouvrement.

Inconvénients des brasseurs d'air

- Surconsommation potentielle ;
- Pas suffisamment de recul qualitatif (retours usagers) ;
- Au vu du prix des brasseurs d'air moderne, impossibilité d'en installer en logement social.

4.3.2.4. Communication aux occupants

La SEM ne fait pas de communication sur la possibilité de poser des brasseurs d'air, notamment par rapport à la problématique rencontrée avec les installateurs agréés EDF qui ne passent pas par les bailleurs. La communication est donc un point manquant dans le programme de la SEM qui en a conscience. Ils souhaiteraient plus d'échanges avec les locataires.

4.4. Focus sur la dynamique entre offre et demande

Un certain nombre d'informations provenant des 14 professionnels interrogés viennent enrichir les diverses analyses menées du côté demande, présentées au cours du rapport. La présente partie synthétise les éléments spécifiques à la relation entre offre et demande.

4.4.1. D'où émerge la demande de brasseurs d'air ? Retour d'expérience des professionnels

D'après les retours que nous avons eus, rares sont les prescripteurs qui proposent des brasseurs d'air (maîtres d'œuvres, BE, etc.), ce qui limite l'offre sans stimuler la demande. Le retour semble être le même du côté des clients (MOA), qui constituent la clef de voûte de la demande (cf. Figure 10). En effet, les usagers sont très rarement demandeurs de brasseurs d'air. Le MOA adapte les équipements en partie aux demandes qui émergent des usagers. Si les prescripteurs ne présentent pas les solutions de brasseurs d'air de manière pertinente, ces équipements ont peu de chance de trouver leur place.

Nous notons cependant un certain contraste selon la région climatique. Dans les régions Nord et Grand-Est, les professionnels interrogés soulignent un manque notable de culture du brasseur d'air, accentué par un faible besoin en rafraîchissement aux intersaisons. Les pics de chaleur d'été sont souvent traités par la climatisation, installée en partie pour répondre aux exigences des usagers très sensibles au confort d'été, et ce de manière croissante. Ainsi les MOA et décideurs interrogés (N=5) n'évoquent pas les brasseurs d'air dans leurs cahiers des charges, et certains qui en font l'expérience reviennent parfois sur la climatisation pour éviter les protestations d'usagers. La combinaison "clim + brasseurs d'air" semble quasi inexistante, ainsi que la fonction de déstratification d'hiver.

Dans les régions du sud de la France métropolitaine, les brasseurs d'air semblent un peu plus connus des MOA et prescripteurs. Ces derniers proposent donc parfois des brasseurs d'air selon le type de projet, et notamment quand le cahier des charges est ambitieux sur le volet environnemental. Ces propositions sont souvent discutées par les MOA qui ont des craintes qui s'expliquent par un manque d'information et de retours d'expérience. Les professionnels qui prescrivent des brasseurs d'air constatent également un important manque de connaissance chez la plupart des prescripteurs (avantages / inconvénients, conditions pertinentes, mise en œuvre et optimisation, etc.). Ce manque d'information et de culture constitue un important verrou au déploiement des brasseurs d'air. La déstratification est rarement proposée.

Concernant les professionnels qui travaillent avec les brasseurs d'air : quand l'équipement est demandé, cela a souvent lieu en phase programmation. Ces professionnels le proposent également directement aux MOA convaincus, et notamment les cabinets en architecture bioclimatique par exemple.

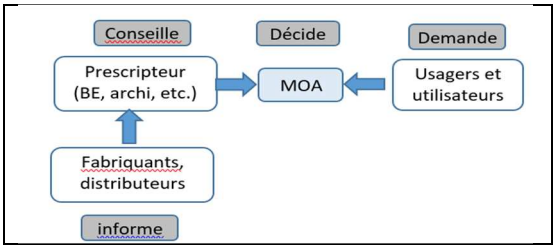


Figure 10 - Circuit de l'offre demande simplifié

4.4.2. Description du marché et du circuit de vente - les tendances du marché

D'après un distributeur majeur du territoire français, le marché serait structuré de la sorte[32] :

- Professionnels en B2B : hôtels, restaurants, magasins, écoles et prescripteurs (65%)
- Revendeurs et intermédiaires (30%)
- Particuliers (via internet essentiellement) (5%)

La demande se concentrerait actuellement en grande partie autour de BE et associations convaincus, et de fait à la pointe des enjeux environnementaux (bioclimatisme, bâtiment durable, etc.). Nous serions donc encore dans un marché de niche, porté par les pionniers (2,5%) au sens de la courbe de diffusion de Roger (1962). L'enjeu serait d'atteindre la catégorie des primo-adoptants, qui représentent entre 5 et 10% de la population.

Les bâtiments dans lesquels les brasseurs d'air semblent prescrits en priorité seraient les bâtiments tertiaires publics ou privés du type scolaire, bureau, hospitalier, maison de retraite (occupation globalement statique), quand l'ouverture des fenêtres est compliquée (circuit fermé) ou pour la déstratification dans espaces avec plus de 3,5m de plafond (gymnase, etc.).

La tendance chez les particuliers serait au "brasseurs d'air architectural", esthétique et avec une forte intégration au bâti et à la décoration d'intérieure des logements. Or le marché des particuliers se fait en majorité par internet : ces derniers ont tendance à s'informer sur les salons et auprès des installateurs, puis achètent l'équipement sur internet. Ceci ne favorise pas la qualité ni ne stimule la filière des installateurs. Et la question de l'entretien/maintenance devient alors un sujet, notamment quand il est réalisé par des entreprises non formées.

4.4.3. La compétition brasseurs d'air/climatisation comme sujet majeur du marché

- La compétition entre brasseurs d'air et climatisation constitue un élément majeur du marché des brasseurs d'air et de sa dynamique. Voici les principaux points soulignés par les professionnels interrogés :
- La climatisation est parfois peu coûteuse à l'investissement, mais impose une consommation significative. Et pourtant, cet équipement est très souvent préféré. Cela est dû à l'absence ou à la rareté de démarche en coût global, et notamment chez les bureaux d'études qui ne prennent pas pleinement en compte la phase d'exploitation. Ainsi la performance énergétique disparaît des arbitrages, ce qui désavantage les solutions comme les brasseurs d'air. Certains prescripteurs voient dans la RE2020 une occasion de modifier le cadre et les paramètres d'analyse.
- Les usagers ressentent davantage de confort s'ils peuvent maîtriser la température de consigne, et pas seulement la vitesse d'air. Ceci avantage la climatisation, notamment en espace partagé de travail / études, où le contrôle du brasseur d'air n'est pas à la portée de tous les usagers.
- Une fois les températures de consignes fixées aux diverses saisons, le système avec climatisation est automatique, ce qui permet de déresponsabiliser les usagers. Ceci est rarement le cas des brasseurs d'air, dont l'usage requiert des usagers qu'ils restent plus actifs dans le réglage quotidien, puisque les besoins peuvent varier dans la journée et d'un jour à l'autre. D'où l'enjeu de l'information, sensibilisation voire accompagnement aux usagers.
- Le brasseur d'air porte globalement l'image d'un équipement ancien et dépassé, alors que la climatisation donne l'impression d'être technique et moderne. Les représentations ne sont pas du tout favorables aux brasseurs d'air.
- La complémentarité et le couplage entre brasseurs d'air et climatisation pourrait être mise davantage en valeur. En effet, les brasseurs d'air permettent de réduire la puissance installée de la climatisation et d'en limiter la période d'utilisation en été. La température de consigne peut aussi être différente lors d'une utilisation simultanée "clim + brasseurs d'air" : plus forte en été et plus faible en hiver, ce qui induit d'importantes économies d'énergie.

4.4.4. Quelles conditions faciliteraient la prescription des professionnels ?

- La nécessité de pousser vers la qualité et le design ("brasseurs d'air architectural"), à savoir le brasseur d'air "objet décoration", avec une tendance à installer des brasseurs d'air aérés, légers et blancs.
- Une attention forte devait être portée à l'adéquation du modèle aux caractéristiques du plafond (hauteur, éclairage, etc.). Il existe un risque d'effet stroboscopique quand les pales se trouvent sous l'éclairage. Or les hauteurs de plafond en logement peuvent être insuffisantes vis-à-vis de la hauteur règlementaire sous pales (2,2m).
- Cet enjeu est à lier à la question du dimensionnement selon un professionnel interrogé. Selon lui, le diamètre des brasseurs d'air actuels serait en général trop important (environ 1,32m) vis-à-vis des dalles de faux plafond des bâtiments français, qui sont souvent de 60cm. Ainsi pour occuper 4 dalles et ne pas déborder sur les éclairages, les pales de brasseurs d'air devraient être au maximum de 1,2m, au risque de produire cet effet stroboscopique. Ceci appui l'utilité d'une filière de production française, qui serait adaptée aux conditions, au marché, aux techniques et aux

[32] Comme tous les éléments avancés par les répondants, ce type de données est à confirmer.

pratiques nationales ; ou plutôt d'un rapprochement entre professionnels de terrain et constructeurs, et d'une plus forte influence industrielle (cf. Tableau 13 p.73).

- Il est difficile d'obtenir à la fois un confort d'été et d'hiver avec le même brasseur d'air. En effet, la destratification requiert des équipements différents (orientation des pales, diamètre du brasseur d'air, etc.) et surtout elle est pertinente dans des configurations particulières et souvent contraires aux configurations nécessaires au bon fonctionnement des brasseurs d'air en période estivale (hauteur sous plafond, grand volume, etc.).
- La RE2020 constitue-t-elle un cadre favorable au déploiement des brasseurs d'air ? La plupart des professionnels pensent que les prescriptions devraient se multiplier, notamment car ces équipements seront davantage valorisés dans les moteurs de calcul. D'autres plus pessimistes accordent peu de crédit à l'impact de la réglementation, "*qui a toujours un train de retard*".
- Les brasseurs d'air pourraient être bénéfiques dans le cadre de la pandémie de covid 19. En effet, certains modèles sont équipés d'une fonction "UV" qui viserait à aseptiser l'air. Le mouvement induit par le brassage de l'air serait également bénéfique.
- Une tarification plus homogène entre les installateurs. En effet, les coûts diffèrent en fonction de l'âge du bâtiment, du revenu du ménage, des conditions techniques (renforcement du plafond et de câblages), etc.
- Une meilleure communication entre les installateurs et les prescripteurs, qui partagent peu leurs pratiques et connaissances.
- Une meilleure communication entre offre et demande : les usagers n'ont pas conscience de l'offre (modèles, opportunités, prestataires, etc.), notamment car les brasseurs d'air ne sont pas souvent exposés dans les grandes entreprises spécialisées. A la Réunion la plupart des usagers ne sont pas au courant du programme d'aide à l'installation de brasseurs d'air mis en place par EDF.

En résumé, nos entretiens auprès des professionnels permettent de dégager diverses actions à mener pour faciliter le déploiement des brasseurs d'air :

- Sensibiliser les usagers et modifier la représentation "vieillotte" et "inefficace" qu'ils ont des brasseurs d'air / informer sur les inconvénients de la climatisation, afin d'en réduire la demande systématique ;
- (In)former et mettre en lien les professionnels pour faciliter le partage d'information sur les avantages et conditions de mise en œuvre, ainsi que la sensibilisation à la démarche en coût global, permettant …
- Que les brasseurs d'air soient inclus dès la phase conception quand cela est pertinent, avec une climatisation minimum pour répondre ponctuellement aux excès de chaleur
- Structurer une filière française, afin notamment de produire des solutions adaptées et réduire le coût des équipements de qualité (NB : cette proposition a été discutée par l'équipe BRASSE et a donné lieu à une autre recommandation qui n'est pas de mettre en place une filière de fabrication, mais d'intensifier les liens entre acteurs de terrain et constructeurs, ainsi que la force de négociation industrielle, afin que des équipements adaptés au contexte français soient produits).

5. Discussion et recommandations

5.1. Discussion

5.1.1. Eléments de réponses à notre problématique et hypothèses initiales

La présente étude vise à compléter l'analyse technique et d'usage réalisée par nos partenaires du projet BRASSE. Notre étude repose sur une démarche qualitative exploratoire, avec l'objectif de recueillir des données permettant d'approfondir notre problématique initiale et de faire émerger des hypothèses et réflexions. Ces dernières pourront être développées et consolidées lors d'une prochaine recherche. Ainsi, et afin de conserver une posture d'ouverture quant aux résultats obtenus, nous n'avions pas émis un grand nombre d'hypothèses ex-ante. Nous avions cependant défini une problématique centrale, qui était de comprendre la demande et l'offre de brasseurs d'air, et notamment d'identifier les freins, motivations et leviers à leur usage. Les éléments produits pour répondre à ces thématiques sont utiles pour recommander des actions visant le déploiement de ce type d'équipement.

Le protocole empirique déployé, constitué de 47 entretiens auprès d'usagers et de professionnels puis d'un questionnaire complémentaire (N=24), a permis de traiter notre problématique ainsi que les quelques questions posées en amont, que nous synthétisons ici.

5.1.1.1. Le brasseur d'air est-il perçu comme un équipement qui répond aux besoins des usagers ?

Les brasseurs d'air sont perçus avant tout comme étant utiles, efficaces, pratiques et économiques. Ils sont en revanche moins bien jugés sur la dimension esthétique, acoustique et de modernité. Ils sont majoritairement utilisés en saison chaude, à la Réunion comme en métropole (régions du sud). Ils ne semblent pas être culturellement acceptées ni utilisés en régions grand-est et nord, et notamment pour la déstratification en hiver. Ils répondent ainsi en grande partie au besoin de rafraîchissement des usagers en saison chaude, bien qu'il y ait toutefois une limite perçue à leur efficacité au-delà d'un certain seuil de température (qui varie en fonction de la zone climatique et des différences de sensibilité thermique des individus, mais nous estimons ce seuil à 35°C). Cette limite à leur efficacité est aussi à mettre en relation avec la typologie et l'environnement du bâtiment : isolation, aération naturelle, déchargement, végétalisation environnante, etc.

Selon les professionnels, l'apport en confort des brasseurs d'air est quasi-unanime : le brasseur d'air optimise les températures ressenties, homogénéise l'air, induit une brise sur le corps et permet d'accepter une température de consigne plus élevée. L'apport en performance est également indéniable : économies d'énergie et réduction de l'usage de la climatisation (durée et température de consigne).

5.1.1.2. La compétition et les conflits d'usage avec la climatisation : où, comment et pourquoi ?

Le brasseur d'air est souvent assimilé à un équipement plus vertueux que la climatisation, notamment en termes de consommation d'énergie, d'impact sur l'environnement et sur la santé (il assainit l'air, réduit le mal de gorge et de tête, etc.). Pourtant la climatisation induit une forte compétition.

Les répondants qui n'utilisent pas de brasseurs d'air ont davantage tendance à comparer ou à anticiper les effets du brasseur d'air par rapport à la climatisation, qui est un équipement de référence et qui est devenu une norme. Leurs projections se basent ainsi sur une analyse avantage/inconvénient par rapport à ce que peut apporter la climatisation.

Les usagers du tertiaire (bureaux notamment) semblent préférer l'usage de la climatisation car cette dernière aurait plus de capacité à refroidir la pièce, apportant un confort supérieur, qui induit moins de gênes pour le travail intellectuel, contrairement aux brasseurs d'air qui est perçu comme contraignant du fait du brassage d'air (feuilles qui volent), la constance de la brise dus les parties du corps ou du bruit produit par la rotation des pales.

Selon les professionnels, dès lors que la climatisation est installée, les brasseurs d'air sont peu présents. La combinaison des deux équipements est rarement réalisée, alors que ce couplage est intéressant : les brasseurs d'air permettent de réduire la puissance installée en climatisation et d'en limiter la période d'utilisation en été. La température de consigne peut aussi être différente lors d'une utilisation simultanée "clim + brasseurs d'air" : température plus forte en été et plus faible en hiver.

Mais c'est aussi et surtout une question d'image : la climatisation est attachée à une image technique et moderne, ce qui plaît à une large catégorie d'usagers. La climatisation est devenue une pratique culturelle synonyme de luxe et de confort absolu, en reléguant le brasseur d'air à des classes sociales moins favorisées et à une image inverse au progrès technique et économique. On est bien en présence de **représentations sociales fortes, qui constituent un important verrou au déploiement des brasseurs d'air**. La seconde raison forte est le confort ressenti, en lien avec le contrôle perçu : les usagers se sentent en confort s'ils peuvent maîtriser la température de consigne, peu importe la température extérieure. La climatisation permet cela, alors que le brasseur d'air requiert plus d'ajustements en journée, avec un délai quant à l'impact sur la sensation de fraicheur en comparaison à la climatisation.

5.1.1.3. Pourquoi les brasseurs d'air ne sont pas développés en France Métropolitaine ? Le sont-ils actuellement à la Réunion ?

Nous renvoyons le lecteur à synthèse métropole/réunion (p.59) ainsi qu'au sujet de la méconnaissance des brasseurs d'air dans les questions émergentes (p. 70).

5.1.1.4. Comment déployer l'usage des brasseurs d'air ? Quels sont les leviers et les freins à leur déploiement ?

Nous renvoyons le lecteur à la partie "leviers" (p. 52) ainsi qu'aux recommandations émises (p.73). Les types de cibles (UHH-UH et avec et sans brasseurs d'air) ne sont pas influencés par les mêmes facteurs et situations. Il est donc **capital de réaliser une segmentation précise des divers types d'usagers** afin de penser au déploiement des brasseurs d'air.

Pour le logement privé, les brasseurs d'air souffrent d'une mauvaise réputation/image. Il existe de nombreuses fausses croyances, projections et à priori sur les brasseurs d'air, ce qui souligne l'intérêt d'un important travail de communication et de sensibilisation pour déconstruire ces éléments et renforcer l'image positive des brasseurs d'air avant de penser à la diffusion de l'équipement.

Cette action doit ainsi s'accompagner du développement d'une bonne communication de la part des organismes qui promeuvent les brasseurs d'air, avec l'octroi d'aides financières éventuellement. Un travail sur la différenciation et complémentarité avec la climatisation est essentiel, en soulignant les inconvénients des climatiseurs et les avantages des brasseurs d'air, ainsi que de leur combinaison.

Note : Notons que la qualité de conception et installation de brasseurs d'air que l'usager aurait pu observer ou entendre par ailleurs (dimensionnement, commandes, entretien, etc.) peut représenter un frein ou levier important.

Les usagers ont émis à plusieurs reprises le souhait de pouvoir disposer d'une offre de brasseurs d'air accessible, diversifiée avec toutes les informations sur les caractéristiques et les possibilités offertes par ce type d'équipement (déstratification par exemple, taille des pales/m2, consommation électrique, etc.). Actuellement, l'offre n'est pas lisible, avec un faible nombre d'acteurs proposant des modèles au grand public, qui doit alors se rabattre sur l'offre en ligne. Le fait d'expérimenter un brasseur d'air chez d'autres usagers constitue un levier important, ainsi que la possibilité de répondre à toutes les motivations et conséquences potentielles positives listées dans notre rapport : garantie de qualité et d'efficacité pour alléger la "supériorité" de la climatisation, conseils sur l'utilisation selon le contexte et le bâtiment, mise en avant des divers modèles dont les modernes, contrôle effectif sur l'usage (dispositif de contrôle/réglage intelligent pour attirer l'usager, qui puisse évoluer vers du low-tech à l'usage), réduction du prix du matériel qualitatif, installation réalisée par un agent agréé, etc. Les usagers sans brasseurs d'air possèdent tout une imagerie, motivations, attentes, etc. qu'il est possible d'adresser et de viser dans une campagne de sensibilisation et d'accompagnement au changement de pratiques.

Pour le secteur tertiaire, les responsables ont avant tout besoin d'analyses coût/avantages solides, qui leur permette de visualiser précisément les gains en investissement et l'impact sur la consommation électrique. Ce besoin est en rapport avec les coûts d'investissements nécessaires à l'acquisition en masse.

Du côté des exploitants des organismes de logements sociaux, des réponses en termes de coût/avantage pourraient être facilement démontrées avec des études chiffrées et comparées avec climatisation. Nous avons vu que les acteurs interrogés seraient favorables à l'idée de bénéficier d'un guide de prescription des brasseurs d'air (durée de vie, taux de panne, coût de réparation, consommation électrique, etc.). En outre, au-delà de cet aspect informatif et communicatif, les responsables interrogés pointent moteurs du déploiement des brasseurs d'air dans les logements sociaux : la contrainte réglementaire (caractère obligatoire) et l'incitation financière (octroi de subventions). En parallèle, il serait aussi nécessaire de renforcer l'image positive des brasseurs d'air auprès des locataires, et de produire un guide de l'usager pour informer et faciliter la prise en main du brasseur d'air.

5.1.1.5. La sensation de contrôle de l'équipement est-elle une condition nécessaire de l'usage et de la satisfaction d'utilisation du brasseur d'air ?

Le contrôle sur l'usage du brasseur d'air, tant au niveau effectif que de la perception, est un concept clef du passage à l'action. Les résultats de l'enquête consolident notre hypothèse initiale selon laquelle le contrôle sur le brasseur d'air, effectif ou perçu, serait un élément déterminant dans l'adoption et l'usage des brasseurs d'air ainsi que sur les perceptions et la satisfaction d'usage. Ceci est plus marqué dans les espaces partagés : bureaux et établissements scolaires. Ce résultat est cohérent avec les divers travaux qui montrent que la sensation de confort de l'usager dépend du contrôle perçu et la sensation de pouvoir agir sur l'équipement (variateur, etc.) (cf. revue de littérature commune).

Cela s'observe par exemple par une plus grande sensation de contrôle en habitation, où les conflits d'usages sont plus facilement gérables par l'adoption de stratégies d'adaptation diversifiées (vêtements, changer de pièce, ventilateurs sur pied, aération, etc.). La satisfaction d'usage est ainsi supérieure en habitation. Cela pose la question du lien entre cette satisfaction et le contrôle de l'équipement ou encore avec les conséquences potentiellement négatives observées qui sont plus nombreuses dans le tertiaire.

Le contrôle effectif sur l'usage du brasseur d'air constitue le principal moteur de l'installation ou utilisation : est-ce que le répondant peut tout régler (vitesse, etc.), existe-t-il un système de réglage simple et peu technologique (légère préférence pour des outils de réglage "low-tech", non automatisés ni connectés), l'équipement est-il sûr et l'usager a-t-il un contrôle sur cet aspect ainsi que sur l'entretien, obtenir de l'information pour décider et agir (contrôle interne).

Le fait que plusieurs usagers se partagent un brasseur d'air dans un même espace, et aient ou pas un contrôle individuel ou de groupe sur l'équipement est-il de nature à réduire la satisfaction, voire le confort ressenti ? Le fait de se partager un brasseur d'air ne semble pas être un problème en soi, que ce soit en secteur habitation ou hors habitation. Nos observations indiquent cependant que dans le secteur hors habitation, le manque de contrôle sur les réglages peut induire une réduction du confort ressenti.

5.1.1.6. La demande génère-t-elle l'offre, est-ce l'inverse, ou les deux ?

Initialement dans notre recherche, nous nous demandions si c'est l'offre de brasseurs d'air qui crée la demande essentiellement, ou l'inverse. Nos résultats semblent indiquer que cette relation est circulaire, et dépend de la zone géographique. A la Réunion, nos observations suggèrent que c'est plutôt un manque d'offre à jour, percutante et efficace (modèles modernes et variés, bonne mise en œuvre, etc.) qui aurait réduit progressivement l'intensité de la demande, qui s'est en parallèle tournée vers la climatisation. En France métropolitaine, la demande des usagers et MOA étant quasi nulle, l'offre ne s'est pas développée, si ce n'est dans le secteur B2B (hôtels, restaurants, etc.). La connaissance et compétences des prescripteurs sur le plan des brasseurs d'air est essentielle (bureaux d'études, architectes, etc.) : les conditions d'utilisation, l'optimisation de la mise en œuvre, la qualité de la communication avec les MOA, etc. Le MOA constitue une autre pièce maitresse du circuit de déploiement : il se trouve entre l'usager et le prescripteur notamment, et son niveau de connaissance et de sensibilisation peut jouer largement sur la décision de poser ou pas des brasseurs d'air. Nous renvoyons le lecteur p. 65 pour plus détails.

5.1.1.7. Observe-t-on un transfert de l'usage du brasseur d'air entre le domicile et le lieu de travail ?

Habitation → travail

En logement privé, 50% des répondants de la Réunion déclarent déjà utiliser des brasseurs d'air dans leur école ou bureau. La moitié des répondants sans brasseurs d'air préférerait pourtant avoir la climatisation sur leur lieu de travail : ils ne sont pas favorables à aux brasseurs d'air leur lieu de travail par craintes de gêne (bruit, déplacement d'air), ou même par peur de subir des contraintes d'utilisation par leur employeur (ne pas avoir le contrôle sur l'équipement). Les habitants en logement social interrogés sont globalement favorables à l'idée d'utiliser un brasseur d'air sur leur lieu de travail, notamment car plus efficace, écologique et santé qu'une climatisation.

Travail → habitation

Les répondants en secteur tertiaire (bureaux) utilisant un brasseur d'air sont favorables à l'idée de s'en équiper pour leur logement privé. En milieu scolaire, les interviewés les plus sceptiques envers les brasseurs d'air déclarent posséder des climatiseurs à leur domicile (2/3 - enseignants) : l'expérience difficile en travail (avec élèves) peut induire une défiance pour l'habitation ou l'inverse. Également, 2/3 des interviewés favorables aux brasseurs d'air en ont à leur domicile

En bureau, les interviewés sans brasseurs d'air sont globalement favorables à l'idée d'utiliser un brasseur d'air à leur domicile privé. En milieu scolaire : les répondants sans brasseurs d'air ne sont pas favorables à l'idée d'utiliser un brasseur d'air dans leur logement, notamment car un grand nombre déclare avoir déjà une climatisation installée (Réunion), ou que cela est inutile si la maison est bien isolée, ou encore car ils résident dans une zone climatique ne nécessitant pas l'usage de brasseurs d'air

Les répondants utilisant déjà des brasseurs d'air à leur domicile ou sur leur lieu de travail sont globalement plus favorables à l'idée d'un transfert d'usage que les répondants sans brasseurs d'air, sauf en bureau où le transfert semble plus accepté.

5.1.2. Les questions et problématiques qui ont émergé de notre analyse

L'investigation qualitative a également fait émerger de nouvelles questions, dans une démarche exploratoire. Nous clarifions ici les questions et hypothèses qui ont émergé, en tâchant de fournir quelques éléments permettant d'enrichir ces dernières et d'apporter les 1ers éléments de réponse.

5.1.2.1. La relative méconnaissance des brasseurs d'air

Comme évoqué, notre enquête a révélé une certaine méconnaissance des brasseurs d'air de la part des usagers, aussi bien en métropole qu'à la Réunion. Cette méconnaissance porte sur le fonctionnement des brasseurs d'air, leurs aspects pratiques (avantages et inconvénients), les éléments de coût, les modèles, etc. Cela s'est tout d'abord traduit par une méconnaissance du terme de « brasseurs d'air », plus connu sous le terme de "ventilateur plafonnier". Si en métropole, cette méconnaissance pourrait s'expliquer par une faible utilisation historique des brasseurs d'air, il en va autrement à la Réunion où l'utilisation du brasseur d'air est a priori plus traditionnelle mais semblerait bien moins forte de nos jours.

5.1.2.1.1. *Comment expliquer cette méconnaissance des brasseurs d'air en métropole et à la Réunion ?*

Notre étude fournit quelques éléments de réponse à cette question. Les brasseurs d'air sont des équipements de rafraîchissement relativement anciens, bien intégrés historiquement à la Réunion mais qui ont perdu de la présence au profit de la climatisation, signe de modernité et de développement économique. Cet équipement répond plus facilement à un besoin de refroidissement en région climatique intense, avec une facilité de réglage et de contrôle pour les usagers, et sans exigence forte quant au type de bâtiment : la climatisation garantit une température de consigne en été dans une passoire thermique comme dans un bâtiment performant (tout est question de consommation). N'ayant pas été au cœur de l'offre des professionnels, si ce n'est dans certains secteurs (bâtiments scolaires, tertiaire public et logement social), les brasseurs d'air installés et utilisés ne représentent pas la diversité et la qualité de mise en œuvre potentielles de ce type d'équipement. Ainsi, les brasseurs d'air ont progressivement été qualifiés de désuets, anciens et en hors trajectoire de progrès et modernité.

En France métropolitaine, les brasseurs d'air ont une existence historique plus faible. Ils semblent actuellement proposés par un faible nombre de prescripteurs, et seulement dans certains cas (bâtiments bien isolés, espaces haut de plafond, etc.). Les MOA ont également une faible connaissance des brasseurs d'air, avec des craintes fortes, et les usagers ont pris l'habitude de la climatisation pour assurer leur confort d'été. Des expériences dans des bâtiments inadaptés (passoires thermiques) ont pu reléguer l'équipement au rang des solutions peu efficaces dans l'esprit des quelques pionniers. L'utilisation du brasseur d'air pour le confort d'hiver est encore peu répandue. Ainsi les usagers ont une faible connaissance des brasseurs d'air, et/ou une vision caricaturale et ancienne.

5.1.2.1.2. *Les brasseurs d'air sont-ils réellement moins connus aujourd'hui à la Réunion ? Si oui pourquoi ?*

Notre constat quant à la méconnaissance significative des brasseurs d'air se base sur le retour de notre échantillon ainsi que sur celui de plusieurs dizaines de personnes et organismes contactés lors de notre phase d'invitation à participation. Ainsi, s'il doit être considéré avec prudence, il se base sur un nombre significatif d'observations. Notons que ce constat dépend aussi du type de logement / bâtiment considéré. Par exemple, les brasseurs d'air semblent peu installés dans les logements qui ne sont pas aux normes RTAA DOM, ce que révèle l'étude menée par Imageen et le CAUE Réunion (2019)[33] « Avant RTAA, seuls 2% des logements visités ont des brasseurs d'air installés » (p.46). D'autre part, à la Réunion les brasseurs d'air semblent bénéficier d'un important taux d'installation dans les établissements scolaires. Ainsi, un recueil à large échelle du taux d'équipement représentatif des divers contextes (profils, occupation, bâtiment, etc.) en métropole et à la Réunion serait utile pour enrichir nos observations.

Certains témoignages tendent à associer l'idée que l'adoption de techniques simples et peu onéreuses comme le brasseur d'air avec la crainte de baisse du niveau de vie. Il serait à ce propos utile d'interroger des habitants à la Réunion sur ce qu'ils entendent par « confort de vie », en comparant cette notion sur un plan historique et avec l'importance de l'innovation technologique au sein des ménages, autrement dit recueillir des données sur les modes de vies anciens, actuels et futurs projetés/désirés. Aussi le développement des brasseurs d'air implique la nécessité d'identifier un potentiel rejet des individus à revenir à d'anciens équipements.

5.1.2.2. Place et fonction des brasseurs d'air dans les bâtiments - la question de l'isolation

Les résultats de notre étude suggèrent à plusieurs reprises un lien entre la perception des brasseurs d'air, l'attitude et les conséquences attendues avec le type de bâtiment (qualité, conception, isolation, etc.) dans lequel le brasseur d'air est installé. Certains usagers peuvent avoir un jugement négatif sur l'efficacité du brasseur d'air lorsque le bâtiment est mal isolé ou mal ventilé naturellement, le brasseur d'air ne pouvant alors pas répondre au besoin de rafraîchissement, surtout en cas de forte chaleur. Dans ce cas, le brasseur d'air peut être couplé à d'autres systèmes (autres ventilateurs) et être perçu comme inutile, les usagers indiquant alors préférer la climatisation qui répondrait mieux à leur besoin. Le brasseur d'air est plus rarement remis en question dans les bâtiments bien isolés ou bien ventilés.

Le brasseur d'air représente-il donc une solution pertinente de rafraîchissement en dehors des bâtiments où il est intégré dès sa conception ? La perception d'une utilité ou efficacité limitée est-elle liée au fait que le logement ou bâtiment n'est pas adapté aux brasseurs d'air ? (Exemple d'un grand nombre de maisons à la Réunion)

Nos observations semblent indiquer que l'utilisation du brasseur d'air dans des bâtiments inadaptés est en effet jugée inefficace par un certain nombre d'usagers comme de professionnels (cf. rapport technique pour une définition d'un bâtiment adapté). Les brasseurs d'air seraient donc plus pertinents dans des bâtiments de conception bioclimatique intégrant cet équipement dans son mode de fonctionnement, limitant les apports solaires en journée et permettant une décharge la nuit par rafraîchissement passif. Cependant, d'autres professionnels indiquent que dans tous les bâtiments, les brasseurs d'air apportent une sensation de rafraîchissement sur la peau en été, permettant de mieux tolérer des températures d'inconfort, notamment dans les bâtiments où il est possible d'ouvrir les fenêtres la nuit et de protéger les parois vitrées en journée.

[33] La partie plus sociologique de l'étude a été menée sur un échantillon 57 logements, dont 13 construits avant la mise en place de la réglementation RTAA.

5.1.2.3. Le cas spécifique du logement social

Le secteur du logement social a présenté des particularités que nous trouvons importantes de soulever.

Entretiens et Maintenance

- Pourquoi les brasseurs d'air sont-ils défaillants/non fonctionnels dans les OLS (anciens) ?
- Les brasseurs d'air sont-ils réellement non entretenus par les bailleurs ? Et si oui pourquoi ? (Coûts ?)
- Les craintes et les soucis de sécurité sont-ils plutôt liés à l'installation/maintenance des brasseurs d'air, ou à la méconnaissance des brasseurs d'air (peu connus à la Réunion, pas de communication, etc.)
- Pourquoi les locataires ne sont-ils pas informés sur les équipements en brasseurs d'air dans les logements sociaux et leur utilisation (pas de notice/manuel d'utilisation)
- Le brasseur d'air est présenté comme un objet banal et son usage une évidence alors que paradoxalement il est peu (ou de moins en moins) connu.

Conception thermique et isolation

- Pourquoi les bâtiments OLS ne disposent pas d'une aération répondant aux normes en vigueur ?
- Quelle est la place des brasseurs d'air dans les logements bien isolés et où la ventilation naturelle peut suffire ? (Confort supplémentaire inutile ?)
- Quelle est la place des brasseurs d'air dans un logement mal isolé (inefficacité ?)

5.1.2.4. Enjeux de sécurité

Les enjeux de sécurité ont émergé à plusieurs reprises lors des entretiens. Ils semblent influencer l'attitude et la décision d'installer / utiliser des brasseurs d'air, notamment chez les usagers qui n'ont pas encore fait l'expérience de l'équipement : crainte que l'équipement ou une partie puisse tomber. Cependant cette crainte s'allège fortement quand l'usager fait l'expérience d'un brasseur d'air.

La perception de sécurité de l'équipement repose-t-elle sur l'équipement en lui-même, son installation (procédé) et/ou le professionnel qui l'a installé (confiance en l'installation, l'installateur, aux professionnels) ?

Notre étude semble indiquer que c'est l'équipement lui-même qui, en général, est source d'insécurité. A la Réunion nous avons également relevé une défiance quant aux installateurs. En France métropolitaine, nous n'avons pas relevé de craintes particulières, mais les professionnels expérimentés font état du manque de connaissance technique des autres professionnels (prescripteurs, installateurs, etc.), qui ne savent pas quand et comment installer un brasseur d'air de manière pertinente et efficace, ce qui peut activer la crainte des usagers.

Comment réduire cet à priori et crainte partagée chez les non-usagers de brasseurs d'air ?

Comme évoqué, l'expérience des brasseurs d'air allège fortement cette crainte. Ainsi le partage d'expérience d'usagers brasseurs d'air en faveur des non-usagers pourrait aider ces derniers à limiter leurs craintes : échanges et expérimentation d'un brasseur d'air sur site.

5.1.2.5. Rafraîchissement et refroidissement

Comment la confusion entre rafraîchissement et refroidissement impacte-t-elle l'usager et ses pratiques ?

Nous avons constaté une confusion entre les termes de "rafraîchissement" et de "refroidissement", qui devrait impacter la perception des usagers quant à l'équipement ainsi que leurs attentes. En termes de fonctionnement et d'efficacité. Le glissement de la pratique du rafraîchissement au refroidissement systématique rend le brasseur d'air moins désirable et acceptable.

Les individus cherchent-ils à avoir moins chaud (rafraîchissement) ou à n'avoir plus chaud (par le refroidissement) ?

Notre étude relève un usage croissant de la climatisation, qui amène les usagers à des habitudes de refroidissement au détriment du rafraîchissement. Ce dernier est davantage vécu et accepté dans les bâtiments adaptés (cf. rapport technique BRASSE pour une définition), mais semble peu recherché et pratiqué dans les bâtiments peu performants.

Les approches pédagogiques manquent mais sont utiles. A l'aide du diagramme de Givoni, les prescripteurs mobilisent de manière simple les bases du fonctionnement humain afin de témoigner de la pertinence du brasseur d'air dans sa capacité à répondre aux besoins physiologiques, à défaut de la climatisation.

5.2. Pistes d'actions et d'études - recommandations

5.2.1. Actions et études à mener

Notre étude suggère que pour stimuler le déploiement des brasseurs d'air il est important de cibler les divers acteurs de la chaine offre/demande, dans le cadre d'une stratégie globale. Chaque acteur présente des motivations et freins/blocages à adresser pour une intervention efficace, en distinguant la zone d'intervention (Réunion / Métropole) étant donné les différences historiques et de dynamique. Notre étude suggère qu'une intervention sur les prescripteurs et acteurs de l'offre est tout aussi importante, voire plus, que sur les usagers.

Voici quelques actions que nous recommandons de mener afin d'exploiter au mieux les résultats produits dans le cadre de notre étude. Le Tableau 13 reprend 4 propositions que nous jugeons pertinentes à mettre en place, en complément de l'ensemble des résultats fournis concernant les facteurs, leviers, etc. La première colonne du tableau décrit succinctement la recommandation que nous formulons. La deuxième colonne liste les thématiques qui permettent de situer la recommandation, à savoir *"économique ou financier", "méthodologie", "construction/renfort d'un réseau d'acteurs", "montée en compétence/information" et "communication/valorisation*". Enfin, dans la dernière colonne nous formulons des remarques qui précisent la zone concernée (Métropole, Réunion, les deux), le contexte/besoin/objectif (*pourquoi ?*) et la mise en œuvre possible (*comment ?*) de chaque recommandation.

Notons que ces recommandations pourraient/ont été confrontées et amendées par divers experts lors d'un travail collaboratif par exemple, afin d'augmenter leur robustesse et efficacité.

Tableau 13 - Actions recommandées suite au volet Sciences Sociales de BRASSE

Formulation recommandation	Thématique(s)	Détails et suggestions
1. Lancer une campagne de sensibilisation à large échelle visant les usagers et les MOA	Communication sensibilisation Montée en compétence/ Information	***Zone concernée :*** *Métropole et Réunion* ***Pourquoi ?*** Notre étude relève un manque de connaissance et/ou de fortes représentations négatives ancrées chez un grand nombre d'usagers sans brasseurs d'air, pour qui cet équipement est désuet, vieillot, inesthétique et potentiellement inefficace. Les usagers ont l'image des anciens brasseurs d'air ou ne les connaissent pas ou peu : modèles, efficacité, etc. (manque d'information sur la situation actuelle des brasseurs d'air). Et ce même à la Réunion, où l'usage des brasseurs d'air est plus historique. De plus, la climatisation apparaît comme plus efficace, facilement réglable et fiable dans l'esprit des usagers, dans les deux zones de l'étude. Les avantages/inconvénients de la climatisation comparativement aux brasseurs d'air ne sont pas connus, ni l'intérêt d'une combinaison entre les deux types d'équipement. Dans ce cas, il est important d'expliquer la complémentarité et l'objectif du brasseur d'air qui est de diminuer l'utilisation de la climatisation en cas de températures non-extrêmes, sauf dans des bâtiments très performants ou bioclimatiques. L'enjeu de l'entretien/ maintenance des brasseurs d'air est également important à clarifier. Mais également la diffusion de bonnes expériences en conception/installation de brasseurs d'air. Ces éléments freinent fortement la pénétration des brasseurs d'air. De plus, les usagers sans brasseurs d'air projettent beaucoup plus d'éléments liés au processus de décision et d'action : motivations, résultats potentiels et facteurs incitant/freinant l'usage du brasseur d'air. Ces éléments constituent autant de matière et de leviers utiles pour concevoir des actions de communication et de sensibilisation à l'adoption du brasseur d'air. Les MOA présentent aussi des à priori négatifs, sur lesquels il est nécessaire d'agir : les brasseurs d'air sont des "coupes-têtes", ils vont distraire les élèves, etc. Ils comptent sur des expériences positives sur un bâtiment pour se faire une idée et reproduire l'installation d'un brasseur d'air sur des bâtiments similaires. ***Comment ?*** Il semblerait utile de mener une campagne de communication visuelle positive, qui montre les divers modèles de brasseurs d'air en contexte d'utilisation (usagers), avec intégration architecturale (avec pale, sans pale, petits, etc.) ; cette campagne pourrait présenter les avantages selon les conditions d'équipement, en soulignant les apports en été comme en hiver. Il semblerait également utile de proposer (1) de tester un brasseur d'air chez un usager à proximité disposant de l'équipement, dans une approche de cooptation et expérimentation entre pairs ; (2) un guide de prise en main des brasseurs d'air avec des informations simples. Il semble notamment important de s'assurer que les termes rafraîchissement et refroidissement sont bien compris. Cela peut en effet conditionner à la fois la manière dont les usagers perçoivent les différents équipements et l'attente qui en résulte, et donc limiter les déceptions (ex : croire que le brasseur d'air refroidit l'air, alors qu'il émet une sensation de rafraîchissement par évapotranspiration). Il semble également utile d'alléger les craintes latentes au niveau de la sécurité de l'équipement (fixation au plafond, dangerosité des pales), le niveau acoustique de l'équipement (ne pas déranger pour le sommeil et la concentration au travail), son efficacité selon les conditions climatiques locales (emplacement et isolation thermique du logement/bâtiment, exposition au soleil, aération naturelle) en garantissant une pleine sensation de contrôle de l'équipement. Cette sensibilisation devrait aussi s'adresser aux MOA, avec un retour des usagers satisfaits de l'utilisation de brasseurs d'air. En effet, les MOA installent des solutions de climatisation parfois ou souvent en réponse aux demandes des usagers, ou en anticipation pour "acheter la paix sociale". Il est donc utile de mettre ces deux acteurs

		en lien dans les actions de sensibilisation et d'information. Il est également important de recueillir des retours d'expérience positifs auprès de MOA, par typologie de bâtiment, à diffuser aux autres MOA (retour de pairs).
2. (in)former et mettre en lien les professionnels, notamment en facilitant les retours d'expérience ainsi que le partage de pratiques et d'informations technico-économiques sur les brasseurs d'air	Montée en compétence/ information Construction / renfort d'un réseau d'acteurs	***Zone concernée :*** *Métropole et Réunion* ***Pourquoi ?*** Un important verrou au déploiement des brasseurs d'air est le manque d'information et de formation des professionnels, notamment prescripteurs et installateurs, ainsi que les acteurs ayant un pouvoir décisionnaire dans les structures publiques ou privées (responsable technique/patrimoine, chargés d'opérations, responsable de bâtiments scolaires, etc.). Une partie significative des prescripteurs ne connaît pas les avantages/inconvénients des brasseurs d'air, en comparaison avec la climatisation, ni les modèles adaptés aux diverses situations et les conditions optimales de mise en œuvre, etc. Le déploiement des brasseurs d'air requiert un changement de paradigme chez les professionnels, vers la prise en compte du coût global des projets. Le partage d'information et de pratiques entre pairs, ainsi que la formation permettraient aux professionnelles de monter rapidement en connaissance et compétence afin de savoir prescrire correctement les brasseurs d'air et conseiller les MOA sur le sujet. L'enjeu est au final de proposer à l'usager un référent de qualité et reconnu sur le plan technique, qui peut être un professionnel ou conseiller déjà existant (installateur, architectes, conseiller ALEC, CAUE, centres de ressource locaux type Envirobat, etc.). ***Comment ?*** 1) Identifier les référents "naturels" les plus simples à former ; (2) produire des ressources fiables et simples pour former ces référents. Le projet BRASSE vise justement à produire des fiches synthèse utiles dans ce sens. Parallèlement, l'idée serait de proposer une formation courte pour prescripteurs et installateurs en particulier, en associant les divers acteurs du secteur qui connaissent le sujet brasseurs d'air et coût global : BE, architectes, distributeurs/ fabricants, etc. Cette formation pourrait comprendre un volet "communiquer et sensibiliser auprès des MOA", ainsi que la clarification des opportunités dans le cadre de la RE2020. Nous proposons de réaliser aussi un retour d'expérience (rex) des pratiques liées aux brasseurs d'air, basé notamment sur le travail déjà réalisé par Envirobat, et d'enrichir une plateforme existante déjà fortement consultée avec ces rex et autres sources d'information. Le défi est de faire vivre cette plateforme dans la durée. Un format collaboratif pourrait servir cet objectif, notamment en favorisant la coopération entre professionnels expérimentés et inexpérimentés, l'échange de pratiques voire le codéveloppement (un groupe aide un acteur dans son projet vis-à-vis du brasseur d'air). Une autre solution serait de créer davantage d'interactions entre les professionnels de terrain (installateurs, etc.) et les fabricants, afin que ces derniers adaptent leurs produits à la réalité française (dimensions des dalles de faux plafond, hauteurs de plafond, etc.). L'idée a été donnée de créer une filière française, notamment de fabrication. Mais l'avance des constructeurs asiatiques rend ce souhait peu réaliste puisqu'ils proposent du matériel bien plus performant tout en étant bien moins consommateur. Cela conduit à un coût optimisé très difficile à concurrencer. L'idée serait donc plutôt d'intensifier les relations avec les constructeurs asiatiques notamment, avec une présence de relais sur le territoire français et la valorisation d'un fort marché potentiel, permettant ainsi d'augmenter l'influence industrielle.
3. Réaliser une enquête quantitative visant à étendre la représentativité des résultats de notre étude (approche confirmatoire)	Construction du savoir Méthodologie Montée en compétence/ Information	***Zone concernée :*** *Métropole et Réunion* ***Pourquoi ?*** Notre étude sociotechnique a généré des résultats approfondis sur un faible nombre de participants. Nous avons pu analyser en profondeur des mécanismes, relations, etc. utiles à la mise en place d'actions opérationnelles. Il serait intéressant d'étendre les résultats à l'ensemble des ménages (usagers ou non de brasseurs d'air) afin de tirer des conclusions représentatives, et notamment pour construire une segmentation plus précise. ***Comment ?*** Un questionnaire administré par internet permettrait de toucher une diversité de profils de ménages, avec un échantillonnage rigoureux. Ce questionnaire aurait de préférence une structure expérimentale afin de tester les principaux déterminants et leviers du passage à l'action que nous avons identifié. Il permettrait également d'approfondir et clarifier (enrichir / confirmer) les profils d'usagers (segmentation) et idéaux-types esquissés.
4. Construire des profils-types d'usagers et tester cette segmentation en situation réelle au cours d'une expérimentation à plus large échelle	Construction du savoir Méthodologie Intervention / accompagnement au changement Communication/ valorisation	***Zone concernée :*** *Métropole et Réunion* ***Pourquoi ?*** Notre étude fournit des résultats concernant divers profils d'usagers, mais avec un faible nombre d'observations par type (occupation, secteur, etc.). Ces résultats constituent une base pour construire une segmentation plus fine ainsi que des idéaux-types (et personae). L'idée serait, pour chaque cible-type, de décliner leurs freins, motivations, leviers, etc. ***Comment ?*** Croiser nos résultats avec ceux d'un questionnaire représentatif confirmatoire (recommandation n°3), puis calibrer une expérimentation de terrain à plus large échelle en testant l'efficacité d'interventions de sensibilisation et d'accompagnement au changement de pratiques sur les divers grands types de profils.

5.2.2. Autres recommandations méthodologiques

5.2.2.1. L'importance d'un protocole empirique riche, mêlant approche qualitative, quantitative et expérimentale

Notre étude, couplée aux apports des autres membres du consortium BRASSE, soutient l'intérêt d'un protocole riche mêlant une approche qualitative (entretiens), quantitative (questionnaire) et expérimentale (mesures techniques) dans le recueil de données utiles à la conception d'interventions visant les pratiques des usagers et professionnels.

Fournir aux utilisateurs de l'information constitue le premier niveau d'une stratégie de déploiement des brasseurs d'air. Une étude réalisée par la Sustainable Energy Authority (SEAI, 2018) montre que le fait de fournir des informations sur la consommation d'énergie à domicile par le biais d'affichages et de factures énergétiques plus détaillées, ainsi que des audits gratuits et un résumé des mesures d'économie d'énergie, encouragent les économies d'énergie et les mesures d'efficacité énergétique. Cependant ce niveau ne suffit pas à modifier les pratiques (Litvine, 2021), notamment en présence d'habitudes et de verrous tels que ceux que nous observons avec les brasseurs d'air, qui véhiculent des représentations négatives en compétition avec un équipement bien ancré, à savoir la climatisation.

Nous conseillons donc de croiser les méthodes et approches : informations adaptées à leur réalité (personnalisées), sensibilisation (identifier les freins et leviers pour l'usager), manipulation de matériel (observer un brasseur d'air en fonctionnement, mesurer et expérimenter) et accompagnement au changement (dépassement des réticences et échanges entre pairs). Chacune de ces briques est utile au changement de pratiques des divers usagers, selon leur profil et trajectoire de vie.

De plus, l'analyse riche des conditions de déploiement des brasseurs d'air doit bien prendre en compte différentes dimensions (usages, confort, performance, économie, acteurs, réglementation, etc.) et croiser les approches techniques et sociales. En effet, nous conseillons de combiner, sur les mêmes cibles, des mesures techniques et contextuelles, sociales et d'usage. L'objectif est de croiser les résultats pour chaque participant, dans une approche sociotechnique et qui accorde une place importante à l'expertise d'usage des utilisateurs. C'est ce qu'a opéré Envirobat BDM sur son échantillon, que nous conseillons d'étendre à toute étude sur les brasseurs d'air.

Le croisement de données d'usage et techniques permettent aussi de relever le défi des biais déclaratifs et des variables de perception, difficiles à estimer. En superposant les données déclaratives entre elles et en les croisant avec des mesures techniques nous pouvons identifier et limiter les biais déclaratifs volontaires ou involontaires (surestimation ou sous-estimation des gestes réalisés, des efforts effectués, etc.). Il serait ainsi intéressant de mener une étude en site naturel afin de suivre les usagers dans leur quotidien et de saisir leurs pratiques, habitudes et freins en tâchant de contrôler les variables tierces.

5.2.2.2. L'importance d'une segmentation plus poussée et de construire des idéaux-types

La segmentation et l'analyse de profil est une démarche très utile pour préparer le déploiement à grande échelle d'un produit ou service. Les usagers ne sont pas tous réceptifs aux mêmes éléments et méthodes d'interventions, ce qui souligne l'importance de distinguer les profils d'usagers pour optimiser leur efficacité. Notre étude fait ressortir certains profils pouvant servir de base à la définition d'idéaux-types, à savoir des cas extrêmes permettant de saisir la complexité des profils sur le terrain[34]. Étant donné notre objectif d'interroger une variété large de cibles, nous avons obtenu un faible nombre d'observations par type de cible (N=1 à 4), ce qui limite la réalisation d'un travail d'idéal-type et personae. Nous identifions cependant quelques profil types qui pourraient servir à un futur travail plus approfondi sur le sujet, à croiser avec la courbe de diffusion de Rogers (1962) :

- **L'engagé écologiquement** : Utilise les brasseurs d'air par choix, même s'ils sont insuffisants pour réguler en cas de forte chaleur - Attentif à la conso énergétique : privilégie les brasseurs d'air à la clim pour la consommation énergétique et la dimension environnementale. Il souhaitera des preuves que le brasseur d'air a bien une empreinte écologique faible (fabrication, consommation, etc.) et permet de réduire la climatisation. Il sera moins exigeant sur d'autres gênes (bruit, efficacité, etc.). Il est sensible aux discours emprunts de valeur et de prospectives. Usage mixte de solutions : Trouve des solutions pour limiter la chaleur : volets fermés et ventilation naturelle, etc. Ils représentent les pionniers sur la courbe d'innovation.

- **Le technique pragmatique** : il recherche l'efficacité du brasseur d'air, notamment en comparaison avec la climatisation – ils souhaite un modèle moderne, fonctionnel, sans bruit. Il attend que d'autres adoptent le brasseur d'air pour sécuriser son processus de décision (majorité tardive). Il est sensible aux discours fondés, chiffrés et emprunts de données techniques. Si le brasseur d'air ne lui procure pas satisfaction, il bascule directement sur la climatisation. Il appartient à la tranche de la majorité tardive.

[34] Un idéal-type (M. Weber, 1918) est un type abstrait, une catégorie, qui aide à comprendre ou théoriser certains phénomènes, sans prétendre que les caractéristiques de ce type se retrouvent toujours et parfaitement dans les phénomènes observés. Un idéaltype vise ainsi à bâtir un modèle d'un phénomène social et reflète donc aussi une perspective liée au but de ce modèle. Pour Weber, l'usage d'un idéaltype permet de dresser un « tableau de pensée homogène » qui n'a pas pour finalité de retranscrire la réalité : c'est seulement un guide dans la construction des hypothèses.

- **L'économiquement rationnel** : il cherche la solution la moins couteuse. Les frais d'installation doivent être clairs et détaillés, ainsi que les frais d'exploitation. Il appartient à la tranche de la majorité tardive.
- **L'usager "autonomie"** : il cherche à faire seul, souhaite comprendre et avoir un important contrôle sur l'usage. En situation hors habitation, il souhaitera pouvoir agir et gérer le système de manière simple. Il appartient à la tranche de la majorité précoce.
- **L'usager "confort"** : il privilégie la climatisation pour sa facilité de réglage et sa rapidité de refroidissement. Il fera peu de compromis sur son confort, et sera disposé à utiliser un brasseur d'air si on lui prouve que cela ne vient pas réduire son confort mais l'augmenter. Il appartient à la tranche des réfractaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADEME - Gaspard, A., & Martin, S. (2016). Changer les comportements Faire évoluer les pratiques sociales vers plus de durabilité. (Ed.).

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. Organizational behavior and human decision processes, 50(2), 179-211.

Ajzen I. (2002). Constructing a Theory of Planned Behavior questionnaire: Conceptual and methodological considerations. Working paper University of Massachusetts <www-unix.oit.umass.edu/~aizen>

Brisepierre, G. (2013). Analyse sociologique de la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels et tertiaires Bilan et perspectives.

Brisepierre, G., & Hamon, V. (2017). Marché de la rénovation énergétique de l'habitat : un état de l'art.

CERQUAL (2021). Dossier qualité de l'air intérieur - études sur la ventilation des logements. www.qualitel.org/professionnels/uploads/Rapport_technique_QAI_Ventilation-Eiffel.pdf

De Laage R., Litvine D. (2020). Les moteurs de l'engagement dans le programme de sciences participatives Cybelle Méditerranée : de l'intérêt au passage à l'action. SSE Conseil et ISEA, Novembre 2020.

Dillman D., Smyth J., Christian L. (2014). Internet, Mail, and Mixed-Mode Surveys: The Tailored Design Method. 4Th Edition. Wiley Press

Gaspard, A., Martin, S., & Rozo, A. (2017). From People to Policy. Integrating Social Sciences and Design Insights in Renovation Policies. In Eceee summer study proceedings.

ICEB & ARENE (2014). Confort d'été passif. http://www.asso-iceb.org/liste-des-telechargements-disponibles/

Imageen, CAUE Réunion, LEU Réunion et IPSOS (2019). PACTE - Retour d'expérience sur la réglementation thermique, aéraulique et acoustique des DOM dans les logements à La Réunion (REX RTAA DOM) - Tâche 3 : Retour d'expérience sur 100 logements. Projet AP11, financement ADEME et EDF.

Labbouz D., Brisepierre G., Auzoult L., Borel C. (2020). Rapport de l'étude Transphères : transferts de pratiques environnementales entre les sphères professionnelles et personnelles, 170 pages

Labranche, S. (2012). Analyse qualitative du défi FAEP : motivations et pérennité des gestes, pour la Région Rhône Alpes et Prioriterre.

Lawrence, R. (2006). Représentations sociales de l'habitat:la pertinence de l'écologie humaine. Psychologie sociale de l'environnement,35-47.

Lichtenstein S., Slovic P. (2006). The Construction of Preference. Cambridge Univ. Press, London

Litvine D. (2008). Révélation des préférences individuelles et incitation au choix de l'électricité verte : une analyse de la décision du consommateur. Thèse de doctorat en sciences économiques, Université Montpellier 1.

Litvine D. (2010). La participation volontaire des citoyens sur le marché européen des permis d'émission de CO2 : Une évaluation contingente élargie à la Psychologie environnementale ", Conseil Français de l'Énergie, 250 pages, 2010 – Repec (credwp 10.07.87)

Litvine D. (2020). La rénovation complète et performante des maisons individuelles – Comprendre et inciter le passage à l'action des propriétaires. Rapport projet RESSORT pour le compte de l'ADEME

Litvine D., De Laage R. (2017). Analyse de la demande et des facteurs d'adoption d'une innovation sociotechnique SCANBAT – auto diagnostic de performance énergétique pour les particuliers. Pour le compte de l'ADEME

Litvine D., Wüstenhagen R. (2011). Helping "light green" consumers walk the talk: Results of a behavioural intervention survey in the Swiss electricity market. Ecological Economics 70, 462-474

Prochaska & DiClemente (1984). The transtheoretical approach: crossing traditional boundaries of therapy. Homewood, IL: Dow Jones-Irwin.

Rabourdin S., Litvine D. (2018), Benchmark – état de l'art en sciences humaines et sociales sur la rénovation performante des maisons individuelles. Projet RESSORT. Financement ADEME

Salomon T., Aubert C. (2004). Fraîcheur sans clim', Terre Vivante. 160 p. ISBN 2914717091

Schwartz, S. H. (1977). Normative influences on altruism. In L. Berkowitz (Ed.), Advances in experimental social psychology (Vol. 10). New York: Academic Press.

Sekhar, S. C. (1995). Higher space temperatures and better thermal comfort—a tropical analysis. Energy and Buildings, 23(1), 63-70.

Stern, P. C., Dietz, T., Abel, T., Guagnano, G. A., & Kalof, L. (1999). A value-belief-norm theory of support for social movements: The case of environmentalism. Human ecology review, 81-97.

Subrémon H. (2011). Anthropologie des usages de l'énergie dans l'habitat - un état des lieux. Collection « Recherches » du PUCA n°200

Tversky A., Kahneman D. (1981). The framing of decision and the psychology of choice, Science 211, 453-458

Vogel T., Bohner G., Wanke M. (2014). Attitudes and attitude change. Psychology Press, NY. 312 p.

Zélem, M. C. (2010). Politiques de maîtrise de la demande d'énergie et résistances au changement : une approche socio-anthropologique. Politiques de maîtrise de la demande d'énergie et résistances au changement, 1-323.

Zélem, M. C. (2012). Les énergies renouvelables en transition : de leur acceptabilité sociale à leur faisabilité sociotechnique. Revue de l'Energie, 610, 1-8.

Zelem MC., Beslay C. (dir.) (2019). Sociologie de l'énergie - Gouvernance et pratiques sociales. Edition CNRS. 478 p.

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 : Liste des critères de segmentation des cibles (du côté de la demande) 14
Tableau 2 : Objectifs initiaux des entretiens à réaliser (N=46) 18
Tableau 3 : Synthèse des entretien réalisés du côté de la demande (N=33) 18
Tableau 4 : Synthèse des entretien réalisés du côté de l'offre (N=14) 19
Tableau 5 : Description de l'échantillon des usagers (du côté de la demande) 19
Tableau 6 : Localisation des établissements / organismes interviewés du côté demande (usagers hors-habitation) et offre 19
Tableau 7 - Les conséquences probables et importantes aux yeux des répondants (N=24) - Fréquence d'occurrence des croyances comportementales (réponse multiple) - questionnaire complémentaire 38
Tableau 8 : Conséquences potentielles de l'usage du brasseur d'air - anticipations positives et négatives - données tirées des entretiens 41
Tableau 9 : Les conséquences probables et importantes aux yeux des répondants (N=24) - Fréquence d'occurrence des croyances comportementales en comparant usagers avec et sans brasseurs d'air (réponse multiple) - questionnaire complémentaire 42
Tableau 10 - Les principaux facteurs ou conditions qui facilitent l'usage des brasseurs d'air 47
Tableau 11 - Liste des facteurs freinant le passage à l'action - comparaison avec et sans brasseurs d'air 48
Tableau 12 - Synthèse des observations par thématique - comparaison de cibles UH et UHH 58
Tableau 13 - Actions recommandées suite au volet Sciences Sociales de BRASSE 73

Figure 1 : Des croyances au comportement : le modèle TPB simplifié 12
Figure 2 : zonage climatique et géographique - la Réunion 13
Figure 3 : Répartition de la population selon les zones - La Réunion 13
Figure 4 : Localisation géographique des personnes / structures interviewées à la Réunion 20
Figure 5 - Les conséquences potentielles de l'usage des brasseurs d'air du point de vue de l'usager 39
Figure 6 - Les conséquences de l'usage de brasseurs d'air - Nombre moyen d'items cochés par répondant (croyances) 43
Figure 7 - Facteurs de contrôle - ensemble de l'échantillon N=16 à 24 49
Figure 8 - Comparaison entre score moyen et dispersion pour les items "leviers" - ensemble de l'échantillon 53
Figure 9 - - les offres issues de la prime CEE pour l'installation de brasseurs d'air à la Réunion 64
Figure 10 - Circuit de l'offre demande simplifié 65

ANNEXES

Liste des fabricants de brasseurs d'air

Liste des fabricants	Caractéristiques
Air Max Fans (7)	A applications (40)
AmbiRad Ltd (2)	Matériau (21)
Big Ass Fan (9)	Structure (14)
Chemisafe (1)	Écologique (9)
Electronic Grup, S.L (1)	A entraînement direct (8)
EMMECOM SRL (1)	A économie d'énergie (8)
FOSHAN KANASI ELECTRICAL CO., LTD. (2)	Silencieux (7)
FRICO (2)	Haute performance (6)
Fujian Huada Electric CO.,Ltd (2)	Alimentation (5)
Greenheck (4)	De jet (5)
Hangzhou Airflow Electric Appliances Co.,Ltd. (1)	Haute température (5)
HANIL Electric Co.,Ltd (1)	En ligne (4)
Helios Ventilation (1)	Gainable (4)
IAG Industrie Automatisierungsgesellschaft m.b.H. (1)	Grand débit (4)
Ivaco (1)	Étanche (4)
LaCont Umwelttechnik GmbH (1)	Réversible (3)
MAICO Ventilatoren (1)	Vertical (3)
Mark Climate Technology (1)	Haute pression (2)
MET MANN (2)	Horizontal (2)
Mistcooling Inc (1)	A filtre (2)
Munters (1)	A rotation lente (2)
Planetfan (2)	Basse vibration (1)
REMKO (1)	Chauffant (1)
Rite-Hite (1)	Plénum (1)
S.PLUS (2)	Robuste (1)
TROX (1)	A faible consommation (1)
Venco Havalandirma (6)	A grande vitesse (1)
Vostermans Ventilation (1)	
WANSHSIN SEIKOU (HUNAN) CO., LTD. (1)	

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIETE ET D'EFFICACITE

BRASSE
BRASSEUR D'AIR :
UNE SOLUTION
DE SOBRIÉTÉ
ET D'EFFICACITÉ

Etude 1 – Etudes préalables

Rapport 1.2 - Usages constatés des brasseurs d'air plafonniers en PACA et à La Réunion

RAPPORT FINAL

FAITS & CHIFFRES

envirobatbdm

Mars 2022

BRASSE
Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité

Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques

Les brasseurs d'air en plafond permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement de locaux. Ils sont par conséquent une solution permettant de **s'adapter au changement climatique**. Mais ces équipements sont peu préconisés par les équipes de conception de bâtiment. D'un point de vue technique, cela est dû à un **manque de connaissance** sur ces équipements, leurs **performances** et leur **effet sur la qualité des ambiances intérieures**. Cela pourrait également être dû à des **raisons socio-économiques** non encore identifiées.

Ces constats ont fait naître le programme de recherche : BRASSE[1].

Ce projet de recherche vise principalement à **enrichir** le secteur du bâtiment de connaissances sur ces équipements, de développer des **méthodes** et outils d'aide à l'intégration et à **diffuser** cette connaissance.

Les axes de recherche :

- Performances des brasseurs
- Effets sur la qualité des ambiances intérieures
- Outil d'aide à la conception
- Identification des freins sociologiques
- Diffusion des connaissances

Les ambitions du projet sont :

- Réaliser un important **retour d'expérience** à travers 4 approches :
    1. Retour d'expérience technique préliminaire
    2. Analyse en sciences sociales
    3. Mesure sur site pour la validation de la méthodologie
    4. POE

- Établir un **protocole standardisé** de détermination des performances des brasseurs d'air présents sur le marché et **approfondir l'étude** de brasseurs d'air.
- Définir une **méthode** permettant de proposer une **conception de locaux équipés** de plusieurs brasseurs d'air (calepinage) prenant en compte les principaux paramètres : thermiques, acoustiques et aérauliques.
- **Comprendre le rapport des utilisateurs et des professionnels** aux brasseurs d'air quels que soient leurs profils, le climat ou le territoire dans lequel ils évoluent.
- **Diffuser l'information** pour faire monter en compétence l'ensemble de la filière bâtiment sur ces sujets.

Ce programme de recherche rassemble six entités regroupant des compétences pluridisciplinaires :

- **Surya consultants :** bureau d'études, recherches et développement/ Thermique – énergie – environnement – modélisation (pilote du projet)
- **LASA :** laboratoire privé en acoustique
- **ISEA :** cabinet de recherche et de conseil en sciences sociales – spécialisé en analyse et intervention comportementale
- **Laboratoire PIMENT – Université publique de la Réunion :** Génie de l'Habitat et génie thermique
- **Laboratoire Eiffel aérodynamique, filiale du groupe CSTB :** aérodynamique - expérimentation
- **EnvirobatBDM :** centre de ressources et démarche bâtiments durables méditerranéens – retour d'expérience

Le programme BRASSE est lauréat de l'appel à projets de recherche **Bâtiments responsables 2020** géré par l'Ademe.

[1] BRasseur d'Air : une Solution de Sobriété et d'Efficacité

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée par **Carlos VAZQUEZ**, de l'association Envirobat BDM avec le soutien de **Tangi LE BÉRIGOT** et de **Frédéric BŒUF**, de Surya Consultants, pour les visites à la Réunion, dans le cadre du projet BRASSE - financement ADEME (APR "Vers des bâtiments responsables" - 2020)

CITATION DE CE RAPPORT

VAZQUEZ C., 2022. Usages constatés des brasseurs d'air plafonniers en PACA et à la Réunion. Tache 1 du Projet BRASSE

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de convention : 2004C0018

Appel à projets de recherche Vers des Bâtiments Responsables à l'horizon 2020"

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Carlos VAZQUEZ – Envirobat BDM

Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline

Direction/Service : DVTD/SB

SOMMAIRE

SOMMAIRE 4

1. CONTEXTE DU PROJET 5

1.1. Contexte et objectifs du projet BRASSE 5
1.2. Objectifs et structure du volet d'étude technique 5

2. PROTOCOLE 7

2.1. Base méthodologique 7
2.2. Echantillonnage 7
2.3. Protocole 9

3. PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS 1

3.1. Fiches REX Métropole 1
3.2. Fiches REX La Réunion 27

4. SYNTHESE / CONCLUSIONS 45

4.1. Typologies des locaux 45
4.2. Brasseurs instrumentés 47
4.3. Vitesses d'air 47
4.4. Conclusions 53

1. Contexte du projet

1.1. Contexte et objectifs du projet BRASSE

Les brasseurs d'air, également connus sous le nom de 'ventilateurs de plafond', ont été historiquement, avant l'avènement de la climatisation, une solution technique efficace permettant de répondre à plusieurs finalités liées au confort hygrothermique dans les bâtiments. Apparus dans les climats chauds et humides, ils ont su s'adapter et évoluer pour conserver et compléter leurs performances liées aux besoins de confort dans des climats plus tempérés.

Initialement prévus pour le confort en été, ils sont également utilisés aujourd'hui pour améliorer le confort d'hiver. En effet, les brasseurs d'air permettent, selon le sens de rotation, de réduire les consommations en chauffage avec un phénomène de destratification d'air, surtout quand ils sont installés dans de volumes à grande hauteur.

Ils sont considérés comme un système de rafraîchissement semi-actif qui est préconisé actuellement comme solution pour obtenir du confort thermique en saison chaude, dans le cas des bâtiments durables et avec une forte conception bioclimatique. Ils élargissent les périodes de confort thermique acceptable, en abaissant la température ressentie par les usagers. Dans le cas des bâtiments moins performants au niveau du confort thermique, les brasseurs peuvent également compléter l'utilisation d'un système de refroidissement actif (climatisation) afin de réduire de quelques degrés la température de consigne, de réduire le nombre d'heures d'utilisation et de diminuer ainsi la consommation énergétique de ces derniers.

Alors que l'implantation des brasseurs est très faible en Europe, la pénétration dans le marché chinois et américain est très importante[2]. Ainsi, on compterait environ 200 millions de ventilateurs aux Etats-Unis au début des années 2000, ce qui représente une moyenne de 2,8 brasseurs par ménage équipé avec ventilateurs.

Le projet BRASSE se questionne sur le faible déploiement des brasseurs d'air en Métropole, en comparaison avec d'autres territoires, comme La Réunion. Il propose une solution afin de déceler l'usage et les performances réelles des brasseurs, ainsi que son acceptabilité en réponse aux changements climatiques.

Pour cela, un consortium pluridisciplinaire a été constitué : bureaux d'étude énergétiques, environnementales et acoustiques, consultants en sciences sociales, laboratoires d'essais et de recherche et centre de ressources. Ce groupement permet d'avoir une vision holistique autour des brasseurs d'air, afin de traiter les sujets tels que le retour d'expérience, la perception des usagers, les blocages à l'usage, la caractérisation et essai en laboratoire, la modélisation numérique et finalement la diffusion au plus grand nombre d'acteurs de l'acte de construire.

Ce rapport développe une des premières phases du projet BRASSE : le retour d'expérience et usagers sur des opérations livrées en région Paca ainsi que à La Réunion.

1.2. Objectifs et structure du volet d'étude technique

Les retours d'expérience sont, avec l'étude en sciences sociales[3], une partie primordiale du projet BRASSE, car ce sont ces deux études qui permettent d'appréhender les dimensions techniques (installation de brasseurs, exploitation, positionnement, régulation, vitesses d'air…) et sociales (appropriation des brasseurs, freins à la diffusion, usage, représentations…) sur une base d'information réelle. Ces observations ont été menées ouvertement afin d'éviter les biais de confirmation et de rendre robuste l'approche globale du projet BRASSE.

Les résultats des retours d'expérience conforment le socle d'hypothèses concernant les contraintes techniques qui influent l'efficacité et la performance des brasseurs. Les conclusions du rapport ont pour objectif de développer la phase d'expérimentation, dans laquelle la recherche portera sur l'identification et mise en évidence des conditions de confort sur l'ensemble des points d'une pièce, et l'instrumentation se fera dans deux laboratoires.

Dans les projets de bâtiments engagés dans des démarches de qualité environnementale, avec des objectifs de sobriété énergétique et de confort thermique, les brasseurs d'air sont des équipements fréquemment déployés. EnvirobatBDM réalise régulièrement des enquêtes dans ce type d'opérations, afin de rédiger des rapports thématiques[4] basés sur la collecte de retours d'expériences concrets. Ce type d'enquête permet de confronter les caractéristiques théoriques d'un système, qui sont inévitablement tributaires de la manière dont le bâtiment a été conçu, réalisé et utilisé.

[2] Ventilation Information Paper n°13 Octrobre 2017 – International Energy Agency – Air Infiltration and Ventilation Centre

[3] Litvine D., de Laage R. et Hoarau S., 2021. Analyse approfondie des conditions de déploiement des brasseurs d'air - Une étude qualitative de l'offre et de la demande

[4] Voir rapport végétal et architecture et panorama des protections solaires sur www.enviroboite.net

Ces enquêtes déploient une série de visites et d'entretiens, compilent les retours négatifs et positifs liés à la conception, la mise en œuvre et l'usage, et finalement confrontent les critères établis dans le protocole d'étude des performances des brasseurs d'air avec les conclusions issus du terrain. L'importance de l'étude de cas concrets repose avant tout sur l'analyse des perceptions positives (bonnes pratiques) et négatives (difficultés, non-qualité) exprimées par les acteurs concernés : maîtres d'œuvre, entreprises, usagers.

Ce rapport apporte des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Dans quel type de bâtiment sont déployés les brasseurs d'air ? en Métropole et à La Réunion ?
- Quelle est la répartition des brasseurs d'air sur une pièce ? comment est-elle faite ?
- Quels modèles de brasseurs d'air ont été installés dans les bâtiments suivant la démarche BDM ? et à La Réunion ?
- Les vitesses d'air sont-elles suffisantes pour garantir un confort thermique dans les conditions hygrothermiques constatées ? et en scénario caniculaire ?
- Comment la régulation des brasseurs affecte la vitesse d'air et le ressenti des usagers ?

Les enquêtes menées ne se veulent pas exhaustives, ni représentatives d'une réalité plus large et complexe, que ce soit en région Paca ou dans l'île de La Réunion. Elles représentent un échantillon d'une dizaine de bâtiments et treize locaux (Paca) ainsi que cinq bâtiments et 10 locaux à La Réunion. En région Paca, les bâtiments visités font partie de l'ensemble des bâtiments en démarche BDM (Bâtiments Durables Méditerranéens), et c'est grâce à l'implication d'un réseau actif d'adhérents EnvirobatBDM que l'identification des projets a pu être réalisée, ainsi que les entretiens et l'instrumentation technique. A La Réunion, les locaux visités sont uniquement des bureaux situés dans des bâtiments qui pour certains peuvent être considérés comme performants alors que pour d'autres cela n'est pas le cas. Les installations, et qui plus est les brasseurs d'air, de ces locaux réunionnais sont d'âges différents.

Les résultats, en ce qui concerne les vitesses d'air et les mesures hygrothermiques, ne sont pas extrapolables au-delà de l'échantillon visité. Les réponses et témoignages récoltés répondent strictement à chaque local. Ainsi, les résultats ne permettent pas de créer des conclusions représentatives, mais plutôt d'ouvrir des chemins de réflexion pour la suite du projet, et d'avoir un premier aperçu des performances énergétiques, ainsi que de l'usage des brasseurs d'air.

Le présent rapport est constitué d'une première partie méthodologique, dans laquelle le protocole mis en place est défini, ainsi que les outils d'instrumentation et les différentes étapes. Une deuxième partie décrit les principaux résultats obtenus pour chaque local. Des 'fiches REX' sont rédigées pour décrire les locaux, les brasseurs installés, les vitesses d'air et conditions hygrothermiques constatées, un résumé des témoignages collectés ainsi qu'une série d'observations recueillies pour chaque local. Une troisième partie synthétise ces résultats, afin de permettre d'ébaucher une série des conclusions fondamentales pour les phases ultérieures du projet BRASSE.

2. Protocole

2.1. Base méthodologique

La méthode proposée est issue d'un apprentissage continu pratiqué par EnvirobatBDM depuis environ une quinzaine d'années. La démarche BDM ainsi que le centre de ressources Envirobat compilent des retours d'expérience des opérations de qualité environnementale sur l'ensemble des trois phases critiques d'un projet de construction : conception, réalisation et usage.

Pour cela, nous réalisons diverses actions comme des groupes de travail experts, EnviroFORUMS, colloques thématiques, commissions publiques et enquêtes de terrain. Ces rencontres mettent à disposition des acteurs de la construction un cadre solide d'échange sur leurs propres retours d'expérience. Les échanges sont finalement cristallisés dans des livrables divers : livret compte-rendu de commission, rapport du groupe de travail, guides thématiques et rapports retour d'expérience[5].

Ce rapport s'inscrit dans la démarche de retours d'expérience issus des enquêtes de terrain. EnvirobatBDM a une forte expérience de suivi des projets, et s'appuie sur la méthode développée par l'AQC dans son projet REX BP[6].

Cette approche est développée en quatre phases :

- Collecte sur le terrain

  Des entretiens sont tenus de *visu* et *in situ* avec les acteurs clés de chaque projet (maîtres d'ouvrage, maître d'œuvre, exploitants, usagers…). Identification des bonnes pratiques, ainsi que des difficultés rencontrées sur une thématique donnée.

- Capitalisation des données

  Intégration des retours sur une base de données prédéfinie, permettant une ultérieure exploitation des retours.

- Analyse des données

  Extraction des données en fonction d'une thématique particulière. Echanges avec des experts issus du réseau BDM afin d'identifier les retours dominants.

- Valorisation et diffusion des conclusions

  Production d'un livrable en forme de rapport. Réalisation de restitutions publiques (conférences, webinaires…).

Nous distinguons deux axes de caractérisation des retours :

- Le premier distingue une partie qualitative et une partie quantitative. Dans le cadre du projet BRASSE, les témoignages des acteurs ainsi que les observations menées sur le terrain font partie de la base qualitative des retours. En revanche, les mesures réalisées avec les outils d'instrumentation (vitesse d'air, température, taux d'humidité…) font partie de la base quantitative. Le croisement des données au sein de cet axe est essentiel pour comprendre des phénomènes d'ordre technique (par exemple, une baisse de performance) et d'ordre social (mécontentement des usagers, bonne appréciation du confort…).
- Le deuxième axe de caractérisation est celui lié au comportement des acteurs. Nous distinguons les perceptions positives 'bonne pratiques' des négatives 'mauvaises pratiques ou difficultés'.

Dans le cadre des interviews des acteurs, nous sommes confrontés à un double objectif : limiter la déperdition de l'information et améliorer la transmission des messages. Pour cela, les échanges doivent être efficaces entre les interlocuteurs, que ce soit pour la communication verbale, non verbale (gestes, positions) ou para-verbale (rythme, volume, rapidité de la voix).

Les enquêtes sont orientées pour minimiser les biais de confirmation, afin de réduire une perception faussée et influencée de l'enquêteur qui puisse perturber la capitalisation des retours. Des outils comme l'écoute active, la neutralité et la bienveillance sont déployés avec des questions ouvertes qui rendent plus libre le discours de l'interviewé.

2.2. Echantillonnage

Dans un premier temps, EnvirobatBDM a voulu intégrer un maximum des projets en région Paca équipés des brasseurs d'air dans le champ d'étude préalable aux visites. Pour cela, deux actions ont été menées en parallèle :

[5] Pour plus d'informations sur l'ensemble de ressources d'EnvirobatBDM, voir www.enviroboite.net
[6] Voir www.dispositif-rexbp.com

- Lancement d'un appel à contributions auprès de notre réseau d'acteurs.
- Recherche approfondie des projets contenant des brasseurs sur notre centre de ressources en ligne (https://www.enviroboite.net/)

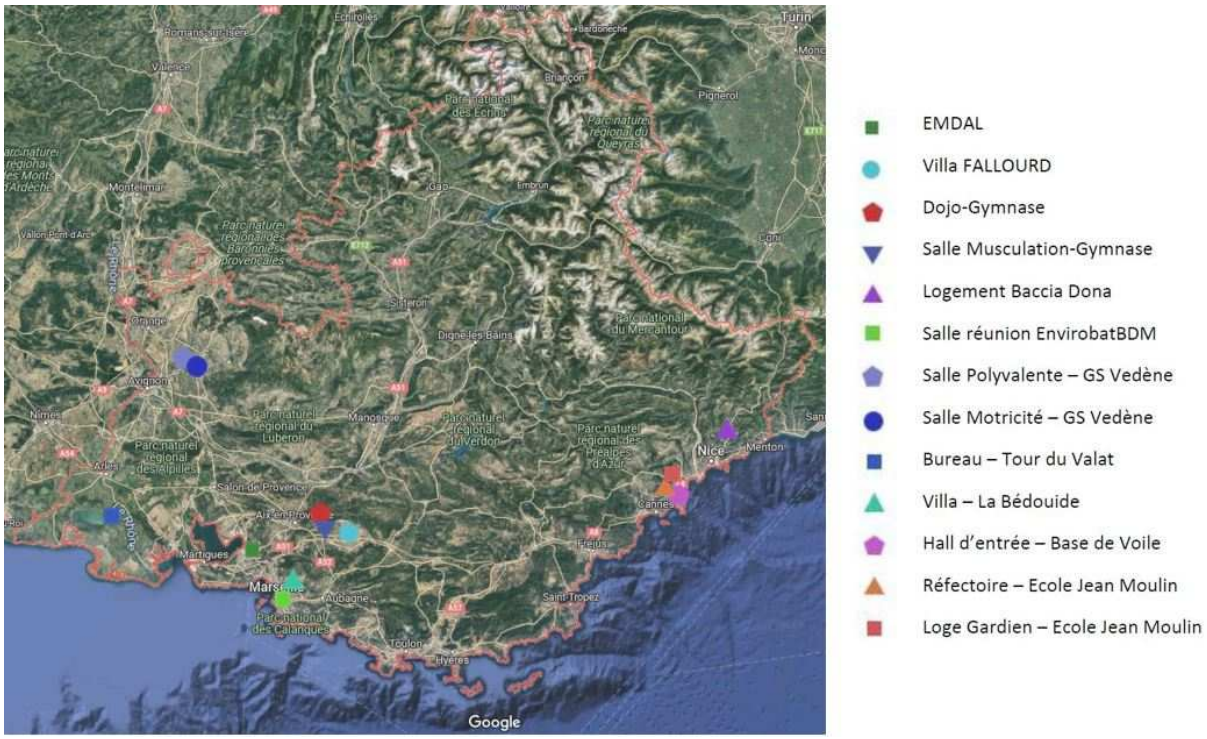
Dans un deuxième temps, d'autres projets ont été analysés et visités, suivant le même protocole, à La Réunion. Cette partie d'expertise a été réalisée par Surya consultants.

2.2.1. Du côté de la Région Paca

Notre double démarche de recherche nous a permis d'avoir une vision globale de l'ensemble des projets équipés de brasseurs et suivant une démarche BDM. Le premier échantillon est composé de 19 bâtiments, avec des typologies très variées (maison individuelle, lycée, office de tourisme, bureau, école de voile, gymnase, logements collectifs…) et des contextes géographiques divers (littoral, arrière-pays, montagne…).

Cet échantillon a été analysé avec une grille des critères comme la localisation, la typologie du projet, le type de travaux (neuf ou existant), le climat, l'utilisation d'une climatisation ou pas, le type de ventilation ainsi que l'usage ou pas d'une surventilation nocturne.

Après plusieurs projets de retour d'expérience, nous constatons qu'entre l'échantillon initial et le nombre de bâtiments ou projets enquêtés, la perte est d'environ 50%. Dans ce cas concret, nous avons pu visiter une dizaine des bâtiments, pour un total de treize locaux. La carte de la région Paca ci-dessous montre l'implantation des projets finalement visités.



**EMDAL = Ecole de musique, danse et art lyrique (à Vitrolles)*

La localisation des projets s'articule, pour 80% autour des métropoles Aix-Marseille-Provence et Nice Côte d'Azur. Les projets restants se trouvent à côté d'Avignon (Vedène) et d'Arles (Le Sambuc). Cette concentration est très représentative, d'une part, de la densité urbaine propre à la région Paca, et d'une autre de la répartition des projets BDM sur le territoire.

2.2.2. Du côté de L'île de la Réunion

Pour la Réunion, il n'a pas été cherché la variété des typologies. Les paramètres considérés pour ces enquêtes ont été : l'âge du bâtiment et le climat auquel il est soumis.

Les locaux sont donc soit des bureaux pour 90% des cas soit des locaux d'enseignement pour les 10% restant.

Certains locaux étudiés sont récents et ont été considérés à leur construction comme des bâtiments performants et particulièrement adaptés au climat tropical (50%), d'autres ne sont pas désignés comme des bâtiments performantes (50%). Il est à noter que les bâtiments dits performants dans ce cas sont des bâtiments récents (moins de 5 ans) et les bâtiments non performants ont été construits bien avant (entre 5 et 20 ans).

Pendant les visites, 27 personnes ont été interrogé sur leurs ressentis et leurs jugements en axant les entretiens particulièrement sur l'usage des brasseurs. Ces enquêtes ont permis quelques fois d'interroger l'usager sur son rapport aux brasseurs et au rafraichissement dans le cadre de sa vie privé, c'est-à-dire dans les logements.

▲ CIRBAT, Saint-André

■ Bâtiment DARWIN, Sainte-Clothilde

● Université de la Réunion, Saint-Pierre

▲ Hôtel de Région, Saint-Denis

⬟ Chambre de Commerce et de l'Artisanat, Saint-Denis

2.3. Protocole

2.3.1. Les objectifs du protocole

Le protocole décrit dans ce document rassemble le mode opératoire ainsi que les indicateurs de mesure fixés dans le cadre du projet BRASSE par l'ensemble des acteurs du groupement, dans l'objectif de préciser et extraire les données relatives au confort thermique et aux ambiances intérieures concernant l'utilisation des brasseurs d'air plafonniers.

Cette partie détermine, d'un point de vue quantitatif, les indicateurs et mesures exécutés qui serviront de base de réflexion pour des phases plus avancées du projet. D'un autre côté, le protocole apporte également, du point de vue qualitatif, un questionnaire de base pour effectuer les visites et échanges avec les différents interlocuteurs.

2.3.2. Le périmètre du protocole

2.3.2.1. Les definitions

Sur la base du protocole 'appréciation du confort et des ambiances' rédigé par l'AQC[7], nous allons définir ci-après quelques notions d'ambiance, de confort et d'indicateur.

Ambiance : Elle est définie par « la constitution et les propriétés du milieu dans lequel se trouve un individu » et est caractérisée par « l'ensemble des conditions thermométrique et hygrométrique d'un local ».

Encyclopédie Larousse en ligne. Consultée le 12 novembre 2021.

Confort : Le confort thermique désigne l'ensemble des multiples interactions entre l'occupant et le bâtiment. Complexe, il peut être décrit avec de nombreux paramètres physiologiques, psychologiques, physiques, quantitatifs ou qualitatifs, plus ou moins incertains et imprécis. Pluridisciplinaire, il est tout ce qui contribue au bien-être, et s'exprime par une sensation agréable procurée par la satisfaction de besoins physiologiques et l'absence de tensions psychologiques.

Texte produit par des chercheurs du Laboratoire des Sciences de l'Habitat, à l'occasion du 6e congrès européen de Sciences des Systèmes intitulé « Complexité du confort thermique des bâtiments ».

Indicateur : Un indicateur est un élément observable constituant le signe, la trace de la présence d'un phénomène, et permettant la mesure du niveau ou de l'évolution de ce phénomène. C'est donc une information factuelle et concrète (mais pas systématiquement chiffrée) qui renseigne sur un état ou une évolution.

Définition donnée par le site de l'Éducation nationale française

[7] Voir www.qualiteconstruction.com/publication/appreciation-confort-ambiances-protocole/

2.3.2.2. Les indicateurs du confort et d'ambiance

Le protocole s'intéresse au confort hygrothermique en présence d'un brasseur d'air. Les indicateurs suivants sont capitalisés en fonction du confort recherché :

Confort	Indicateur	Outil de mesure
Hygrothermique	Température ambiante	Thermomètre
	Humidité relative ambiante	Hygromètre
	Température rayonnante moyenne	Thermomètre à boule noire
	Vitesse d'air	Anémomètre à boule noire
Qualité d'air intérieur	Concentration dioxyde de carbone	Détecteur de CO2
Visuel	Eclairement lumineux	Luxmètre

Les indicateurs relatifs à l'hygrothermique sont valorisés dans le diagramme psychométrique de Givoni, de manière individuelle pour chaque local, et de façon groupée dans la partie synthèse.

Les indicateurs de QAI et visuel, bien qu'enregistrés lors des visites, n'ont pas été valorisés dans ce document. Les résultats bruts seront exploités dans des phases ultérieures par d'autres membres du consortium.

2.3.2.3. Les appareils de mesure

Les appareils ont été choisi en fonction du contexte particulier de notre mission. Les contraintes initiales étaient les suivantes :

- Réaliser des déplacements en région Paca avec les appareils de mesure
- Effectuer des mesures sur un temps donné, d'environ 1h30 – 2h selon le local ou bâtiment visité
- Avoir une certaine autonomie dans la prise de mesure, pour pouvoir réaliser des questionnaires qualitatifs en même temps.
- Enregistrement direct des mesures pour exploitation des données au bureau
- Pouvoir réaliser des mesures à l'intérieur des locaux mais également une mesure extérieure simultanément

Les critères de choix de matériaux :

- Transportabilité et légèreté pour l'ensemble des déplacements
- Prise de mesure sur une durée de 2h maximum avec enregistrement avec carte mémoire SD
- Précision suffisante des appareils pour que les données exploitables soient fiables
- Une maîtrise du coût

Le trépied de mesures répondant à ces problématiques et donc utilisés dans le cadre de ces travaux est le trépied de mesure d'ambiance Intrépide® développé par Surya Consultants.

Le tableau ci-dessous décrit les appareils de mesure en fonction de l'indicateur recherché :

Indicateur	Outil de mesure
Température ambiante	Thermomètre
Humidité relative ambiante	Hygromètre
Température rayonnante moyenne	Thermomètre à boule noire
Température et humidité extérieure	Balise thermomètre-hygromètre mobile avec piles
Vitesse d'air	Anémomètre à boule noire
Concentration dioxyde de carbone	Détecteur de CO2
Eclairement lumineux	Luxmètre

2.3.3. Les outils du protocole

2.3.3.1. Fiches REX

Les fiches REX sont un outil de travail permettant d'analyser systématiquement chaque local ou bâtiment visité. Elles servent de base au travail de synthèse qui donne les premiers éléments comparables.

Leur composition est la suivante :

- Description du local

  Sont ici décrits la destination des locaux, l'orientation des menuiseries, les dimensions maximales, la surface, le volume, le niveau par rapport à la rue, le type de surfaces intérieures, les systèmes de protections solaires, ainsi que les systèmes de ventilation, climatisation (s'il y a lieu) et surventilation nocturne.

  Cette description est accompagnée des éléments graphiques type plan et/ou coupes avec l'identification des brasseurs d'air et, quand cela a été possible, leur calepinage.

- Description du brasseur utilisé

  Les données décrites sont le nombre de brasseurs installés dans le local, la marque et modèle, leur matière, diamètre et nombre de pales, leur réversibilité (été/hiver), leur éclairage intégré, la puissance maximale, ainsi que le débit d'air, la puissance acoustique (données fournisseur) et le mode de commande et régulation.

- Partie photographique

  Les photographies prises in situ accompagnent les données définies ci-dessus, afin de donner au lecteur un aperçu de l'installation des brasseurs dans les locaux.

- Lecture de données

  Cette partie est composée, d'une part, d'un tableau des données empiriques recueillies avec le trépied de mesure (date, heure, vitesse d'air, température d'air sec, humidité relative, température rayonnante) et d'un diagramme de Givoni avec l'insertion d'un point représentatif du local en termes de température et humidité.

  Les conditions de prise de mesures sont également décrites (occupation du local lors de la prise de mesure, positionnement des protections solaires, type de ventilation, etc.)

- Témoignages

  Les témoignages recueillis ont été transcrits intégralement, sans aucune déviation sémantique. Cela permet au lecteur d'appréhender le ressenti brut des personnes habitant les locaux, sans filtre analytique.

- Observations

  Les observations ont été menées d'une manière objective, sans émettre un jugement de valeur et en décrivant le plus fidèlement ce qui est aperçu. Certaines incohérences entre les témoignages et nos observations ont été soulevées.

Les fiches REX décrivant les projets en métropole seront nommées 'FRM-X' tandis que les fiches REX provenant de La Réunion seront nommées 'FRR-X'.

2.3.3.2. Guides entretien ISEA

D'un autre côté, EnvirobatBDM a collaboré avec ISEA dans le cadre du déploiement des enquêtes. En effet, une partie des guides entretien réalisés par ISEA a été également intégrée lors de nos entretiens en région Paca. Les réponses de ces questionnaires ont été utilisées dans l'analyse du volet sciences sociales et sont complémentaires des retours qualitatifs réalisés par EnvirobatBDM.

Les cibles étudiées sont des projets avec des brasseurs d'air, en typologie habitation et hors habitation, et en région Paca.

A titre d'exemple, les thématiques intégrées dans les guides entretien sont les suivantes : niveau de confort perçu, perception vis-à-vis du brasseur d'air, degré de compétition avec la climatisation, sensation de contrôle, croyances comportementales, motivations, leviers permettant de stimuler l'utilisation, etc.

Pour plus d'information, voir *Litvine D., de Laage R. et Hoarau S., 2021. Analyse approfondie des conditions de déploiement des brasseurs d'air - Une étude qualitative de l'offre et de la demande.*

2.3.3.3. Les étapes du protocole

Ce chapitre décrit d'une manière générale le déroulement du protocole, une fois la phase d'échantillonnage finalisée. Les étapes décrites ci-après peuvent varier d'un projet à l'autre, en fonction de la typologie, du type du professionnel ou usager

rencontré et également de sa disponibilité pour répondre à nos sollicitations. Ainsi, certaines visites de projet ont été préparées en avance (planimétries, notices techniques brasseurs, échange téléphonique en amont…) tandis que d'autres ont été complétées après.

2.3.3.4. Préparation de la visite

En amont de la visite, nous procédons au recueillement d'une série des documents et données. La plupart des projets sont inscrits en démarche BDM et sont ainsi répertoriés dans notre base de données numérique. Les documents nécessaires à l'étude préalable des bâtiments sont les suivants (liste non exhaustive) :

- Planimétrie complète du bâtiment :
    - Plans et coupes archi pour comprendre le projet (typologie de locaux, circulations, orientations…).
    - Plans et coupes exécutés, notamment en ce qui concerne l'emplacement des brasseurs d'air dans l'ensemble des pièces ou locaux du projet.
    - Etude thermique réglementaire ou autre (STD) pour pouvoir accéder aux compositions des parois (et donc des locaux équipés des brasseurs) si les plans exécutés ne sont pas disponibles. Les systèmes techniques sont également analysés (système de ventilation, rafraîchissement…).
    - Fiches techniques des brasseurs le cas échéant.
    - Documents sur le suivi du projet : livrets commissions BDM, rapport de suivi en phase usage…Cela a pour but de nous alerter si des sujets autour des brasseurs ont été signalés pendant les différents phases du projet (conception, réalisation, usage), comme des désordres ou bien des bonnes pratiques.
- Coordonnées des acteurs du projets : Moa, Moe, gestionnaire, accompagnateur BDM, installateur des brasseurs (si possible). Cela a pour but d'identifier les acteurs les plus pertinents à contacter pour l'expertise. Un tableau des opérations est créé pour le suivi du protocole.

2.3.3.5. Premiers retour avant visite

Une fois les coordonnées des acteurs recueillies, un premier échange téléphonique permet, de fixer une date de visite, ainsi que de recueillir certains retours pour mieux préparer le rendez-vous. Un échange général du projet, puis spécifique aux locaux potentiels équipés des brasseurs, est réalisé pour compléter les informations et identifier des pistes de réflexion ou questionnements qui seront explorés pendant la visite.

Le choix des locaux à instrumenter peut se faire pendant ce premier échange, ou bien une fois sur place. Le nombre des locaux et personnes à interroger peut également être défini pour mieux estimer la durée de la visite.

2.3.3.6. Préparation des outils du protocole

Toujours avant la visite, les documents et données recueillis peuvent déjà être intégrés ou orienter les outils du protocole définis précédemment.

D'un côté, les fiches REX peuvent être complétées dans leur première partie avec les caractéristiques du local et les types des brasseurs utilisés. D'un autre côté, les grilles d'entretien peuvent s'adapter en fonction de la personne qui sera interrogée (usagers hors habitation, usagers habitation). Au-delà de ce questionnaire, les documents de suivi du projet peuvent rajouter des questions qui seront posées pour compléter les retours, plus spécifiques à chaque opération.

2.3.3.7. Visite du bâtiment

A l'arrivée au bâtiment, une remise en contexte du projet BRASSE est réalisée avec notre interlocuteur. Après cet échange, et une fois dans le local à instrumenter :

- Les brasseurs sont repérés dans le local, ainsi que les outils de commande (boîtier, télécommande…).
- La répartition des usagers par rapport aux brasseurs permet d'envisager les éventuelles localisations du trépied de mesure.
- Prise de mesures d'au moins deux points dans le local : sous le brasseur d'air et à l'endroit le plus occupé (chaise bureau, canapé séjour, tables cantine, comptoir accueil…)
- Plusieurs vitesses sont mesurées : arrêt / minimum / medium / maximum (ce point est adapté en fonction des brasseurs d'airet du timing)
- Le trépied reste environ 8-10 min sur chaque point et pour chaque vitesse
- La hauteur de l'anémomètre est de 110 cm

Côté entretiens :

- Ils sont réalisés pendant la prise de mesure : le trépied permet de libérer l'enquêteur
- Une première partie concerne le guide d'entretien usagers réalisé avec ISEA

- Une deuxième porte sur un entretien ouvert (en fonction des questions soulevées en phase préparatoire)

Des photographies sont prises pour mieux illustrer l'emplacement des brasseurs, les dimensions du local, les systèmes techniques mis en place, etc.

2.3.3.8. Analyse des données recueillies

Les données extraites se divisent en :

- Mesures réalisées par le trépied comprenant : température d'air intérieur, humidité d'air intérieur, température rayonnante intérieure, lux, CO_2, vitesse d'air, température et humidité extérieure.
  Les données sont analysées et triées selon chaque local, la localisation de chaque point de mesure et la vitesse du brasseur. Des moyennes sont réalisées sur chaque mesure (qui a été prise pendant 8-10 minutes) afin de dégager des valeurs représentatives.
  Ses valeurs sont ensuite reportées sur les fiches REX et insérées dans un diagramme de Givoni.
- Guides entretien (fournis par ISEA)
  Le traitement de ces données appartient à ISEA
- Questions/réponses préparées en amont, ainsi que d'autres venues lors de l'entretien
  Ces sujets sont analysés en prenant en compte les valeurs quantitatives décrites ci-dessus, afin de donner une vision plus globale. Les corrélations ou contradictions entre les retours qualitatifs et les données mesurées sont reportées sur les fiches REX. Des observations plus génériques, en dehors des retours usagers, sont également reportées aux fiches pour une compréhension plus large des conditions de mesure.

3. Principaux résultats obtenus

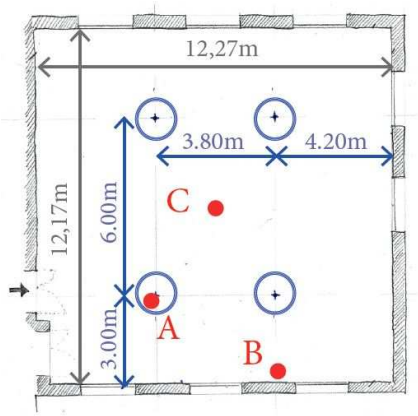
3.1. Fiches REX Métropole

3.1.1. FRM-1 : Ecole de Musique, Danse et Art Lyrique

L'Ecole de musique, danse et art lyrique (EMDAL) est située dans la commune de Vitrolles (13).
Il s'agit d'un projet de réhabilitation à usage d'enseignement.

- Description du local

Destination : salle de danse
Orientations menuiseries : ouest, sud et est
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 12,17
Longueur : 12,27
Hauteur : 3,50 sous faux plafond
Surface (m^2) : 150
Volume (m^3) : 630
Altimétrie : rez-de-chaussée
Surface de parois extérieures : plâtre
Protections solaires : BSO
Ventilation : VMC double flux
Climatisation : CTA avec batterie froide
Ventilation naturelle nocturne : non



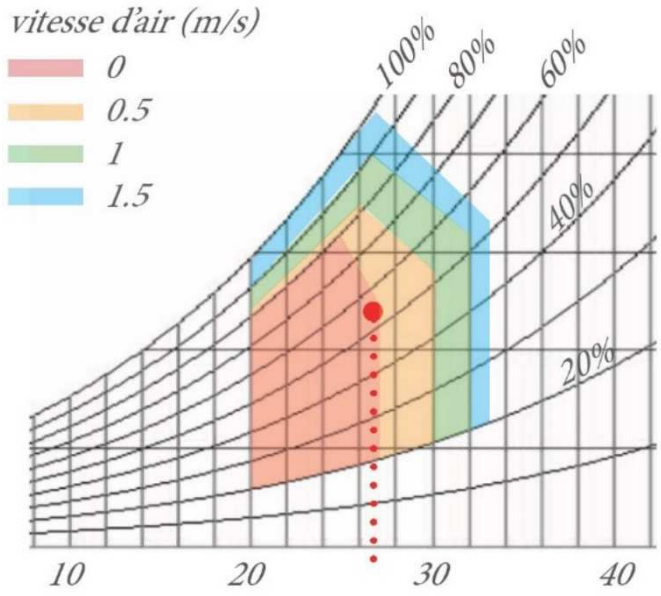
- Description des brasseurs

Nombre : 4
Fabricant : Exhale
Modèle : -
Matière : -
Diamètre : 86 cm
Nombre de pales : sans pales
Réversible été/hiver : non
Eclairage intégré : oui
Puissance électrique max : 50 W
Débit annoncé : 6900 m^3/h
Puissance acoustique max : 45 dB
Commande/régulation : télécommande à 6 vitesses

- Images

- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*15-06-21*	*12 : 05*	*Vmaximale (6/6)*	*0,19*	*26,67*	*56*	*25,47*
B	*15-06-21*	*12 : 12*	*Vmaximale (6/6)*	*0,18*	*26,72*	*55*	*25,42*
C	*15-06-21*	*12 :23*	*Vmaximale (6/6)*	*0,27*	*26,62*	*56*	*25,30*



- Conditions de prise de mesure

- Local inoccupé lors de la prise de mesure
- Absence de ventilation naturelle : portes et fenêtres fermées
- Ventilation mécanique activée à partir de 12 heures
- Protections solaires : BSO déployés sur la moitié des baies vitrées (4 sur 8)

- Témoignages

<u>Chargé de mission prospective patrimoniale et développement durable – Ville de Vitrolles :</u>
'On ne sent pas l'air qui brasse'
'C'est peut-être bien quand la température intérieure est inférieure à 24°C, au-delà, ils ne sont pas très efficaces. La batterie froide de la CTA s'active à partir de 24°C.'
'Les danseuses se plaignent de la chaleur à l'intérieur, les brasseurs ne suffisent pas'

- Observations

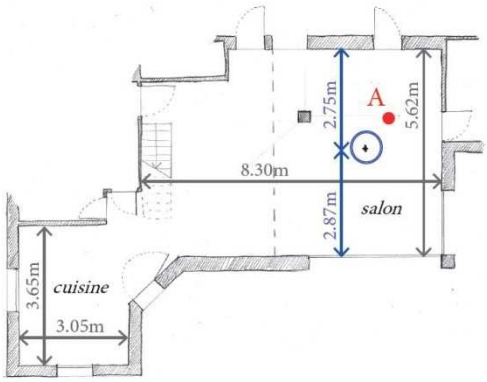
Le produit Exhale étant un destratificateur, le sens de brassage est vers le haut sous le brasseur d'air et vers le bas aux parois périphériques.
Sur les trois positionnements, la vitesse choisie est 6 (maximale). La fourchette des vitesses est de 0.13 à 0.26 m/s pour les points A et B, et de 0.17 à 0.38 pour le point C.

Un problème de régulation/activation des brasseurs est constaté, dû surement à un défaut électrique interne à l'installation. En effet, il y a une seule télécommande pour les 4 brasseurs d'air, mais lorsque l'on modifie la vitesse, certains brasseurs d'air ne tournent pas à la vitesse choisie. Le même défaut est constaté pour la gestion des éclairages.

3.1.2. FRM-2 : Villa Fallourd

La maison individuelle de M FALLOURD est située dans la commune de Puyloubier (13).
Il s'agit d'un projet de construction neuve à usage d'habitation.

- Description du local



Destination : salon
Orientations menuiseries : sud et est
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 5,62
Longueur : 8,30
Hauteur : 4,30
Surface (m²) : 45 (partie salon)
Volume (m³) : 122
Altimétrie : rez-de-chaussée
Surface de parois extérieures : plâtre, brique terre crue
Protections solaires : volets battants, BSO
Ventilation : VMC simple flux hygro B
Climatisation : sans objet
Ventilation naturelle nocturne : oui

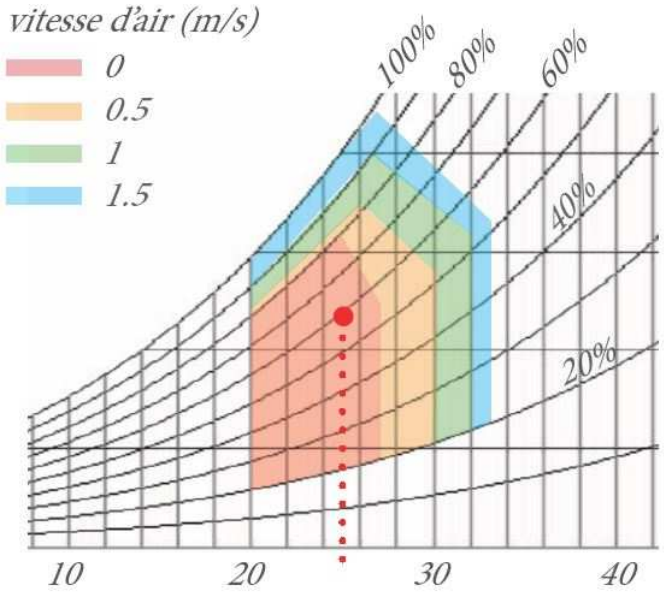
- Description des brasseurs

Nombre : 1
Fabricant : Faro
Modèle : indus
Matière : acier
Diamètre : 140 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 47,6 W
Débit annoncé : 9300 m³/h
Puissance acoustique max : pas annoncée
Commande/régulation : boîtier mural à 5 vitesses

- Images

- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*16-06-21*	*9 : 30*	*Arrêt*	*0,10*	*25,28*	*57*	*24,61*
A	*16-06-21*	*9 : 41*	*Vmaximale (1/5)*	*0,65*	*25,08*	*60*	*24,30*
A	*16-06-21*	*9 : 50*	*Vmedium (3/5)*	*0,45*	*25,00*	*61*	*24,29*
A	*16-06-21*	*10 : 05*	*Vminimale (5/5)*	*0,27*	*25,60*	*60*	*24,47*



- Conditions de prise de mesure

- Local occupé lors de la prise de mesure
- Absence de ventilation naturelle : portes et fenêtres fermées
- Ventilation mécanique activée
- Protections solaires : BSO non déployés

- Témoignages

Propriétaire :
'La maison est très bien conçue. Je n'utilise presque jamais le brasseur d'air, surtout en hiver'
'L'esthétique du brasseur est un peu ancienne, j'aurais aimé un design plus moderne'
'J'utilise seulement la vitesse 1, cela est largement suffisant. Je n'ai pas besoin de plus de vitesse'

- Observations

L'usage du brasseur d'air est négligeable.

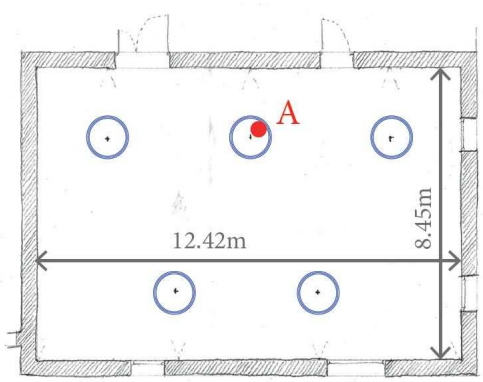
Au moment de tests, on s'est aperçu que le propriétaire n'avait pas complétement compris l'usage du boîtier (sûrement par un usage très réduit). La vitesse 1 est la plus forte et non la plus faible, comme l'usager pense.

D'un autre côté, le boîtier permet de basculer du mode été au mode hiver selon le sens de rotation du bouton. Le mode hiver n'a pas été utilisé, et le boîtier a toujours été positionné en vitesse 1 (la plus forte) en mode été, malgré le gros volume.
Le bruit est conforme aux attentes et ne produit pas de gêne.

3.1.3. FRM-3A : Dojo - Gymnase

Le dojo fait partie du gymnase situé dans la commune de Saint-Marc-Jaumegarde (13).
Il s'agit d'un projet de construction neuve à usage sportif.

- Description du local

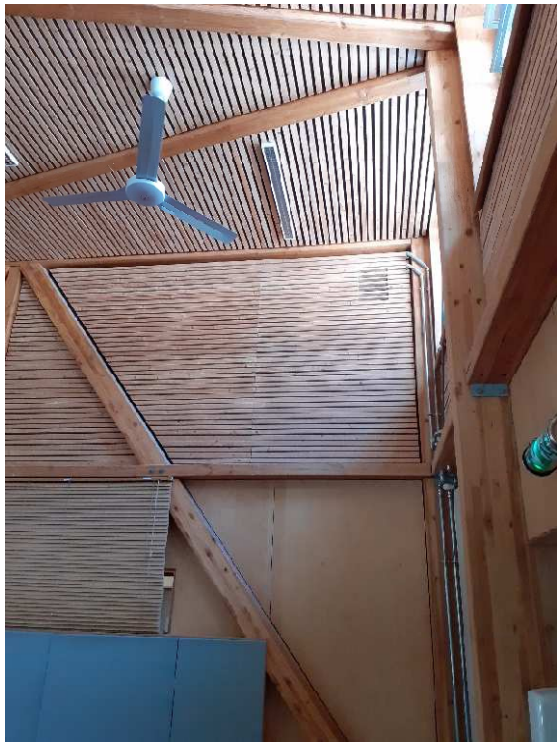


Destination : dojo
Orientations menuiseries : nord, sud et est
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 8,45
Longueur : 12,42
Hauteur : 5,05 (4,10 sous brasseur)
Surface (m²) : 105
Volume (m³) : 530
Altimétrie : rez-de-chaussée
Surface de parois extérieures : bois, tatami plastique
Protections solaires : arbres à proximité
Ventilation : VMC double flux
Climatisation : CTA avec batterie froide
Ventilation naturelle nocturne : non

- Description des brasseurs

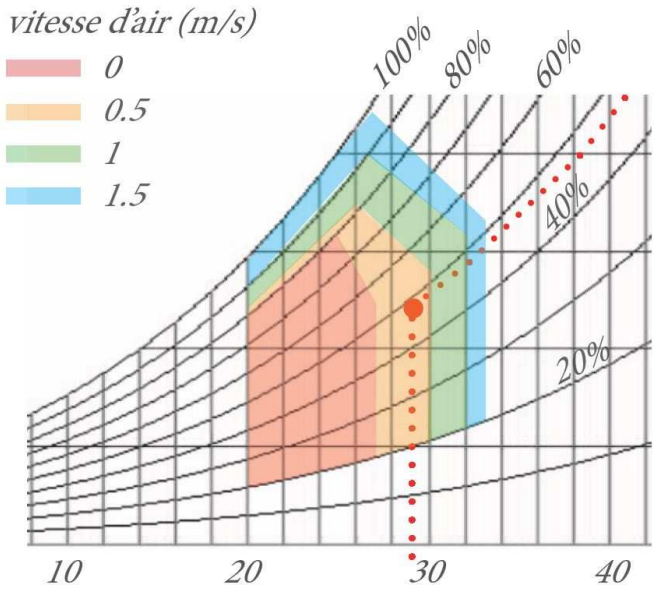
Nombre : 5
Fabricant : Frico
Modèle : ICF
Matière : acier
Diamètre : 142,2 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 70 W
Débit annoncé : 13500 m³/h
Puissance acoustique max : pas annoncée
Commande/régulation : double boîtier pour régulation de vitesses et mode été/hiver

- Images



- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*21-06-21*	*16 : 38*	*Arrêt*	*0,20*	*29,23*	*47*	*27,93*
A	*21-06-21*	*16 : 45*	*Vmaximale*	*1,11*	*29,06*	*47*	*28,14*



- Conditions de prise de mesure

- Local inoccupé lors de la prise de mesure
- Ventilation naturelle : ventelles ouvertes en partie haute
- Protections solaires : sans objet
- Porte d'entrée fermée puis ouverte pour l'installation du maître et élèves

- Témoignages

Maître :
'On est assez satisfait des brasseurs d'air, surtout lorsqu'on est beaucoup'
'Le seul problème est peut-être la poussière qui s'accumule au-dessus des pales, et qui part dans l'air quand l'on active les e'
'Globalement très efficace'

- Observations

Le dojo a une activité très intermittente, avec des périodes creuses sans utilisation et des périodes avec une utilisation plus forte (jusqu'à 20 enfants).

Le ressenti des utilisateurs est globalement bon, avec une appréciation de la réactivité des brasseur d'air pour produire une sensation d'air frais très vite.

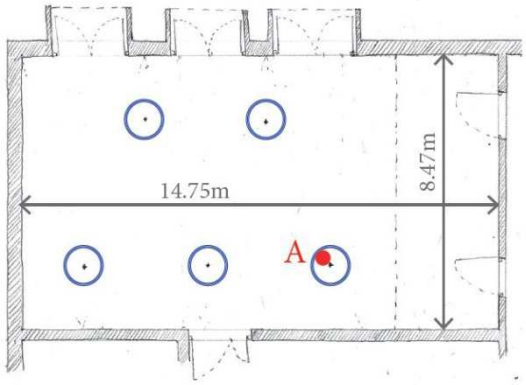
La ventilation naturelle n'est pas souvent couplée aux brasseurs d'air, car certaines fenêtres sont très hautes et l'on ne peut pas accéder aisément aux poignées pour les ouvrir.

La problématique de poussière qui tombe se produit car les brasseurs d'air ne sont pas utilisés en hiver, malgré des gros volumes.

3.1.4. FRM-3B : Salle de musculation – Gymnase

La salle de musculation fait partie du gymnase situé dans la commune de Saint-Marc-Jaumegarde (13).
Il s'agit d'un projet de construction neuve à usage sportif.

- Description du local



Destination : salle de musculation
Orientations menuiseries : nord et sud
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 8,47
Longueur : 14,75
Hauteur : 5,05 (4,10 sous brasseur)
Surface (m²) : 125
Volume (m³) : 631
Altimétrie : rez-de-chaussée
Surface de parois extérieures : bois
Protections solaires : loggias
Ventilation : VMC double flux
Climatisation : CTA avec batterie froide
Ventilation naturelle nocturne : non

- Description des brasseurs

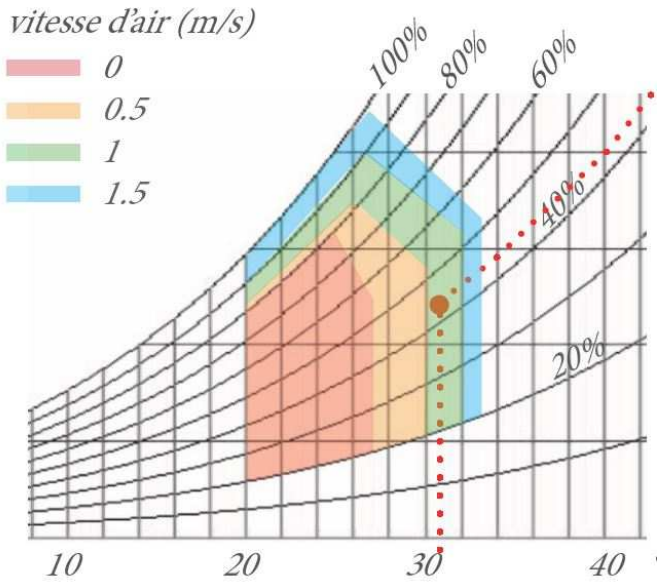
Nombre : 5
Fabricant : Frico
Modèle : ICF
Matière : acier
Diamètre : 142,2 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 70 W
Débit annoncé : 13500 m³/h
Puissance acoustique max : pas annoncée
Commande/régulation : double boîtier pour régulation de vitesses et mode été/hiver

- Images

- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*21-06-21*	*16 : 20*	*Vmaximale*	*0,25*	*30,63*	*44*	*27,60*

NOTA : Une erreur d'affichage est constatée dans le trépied de mesure. Après plusieurs mesures erronées, on s'est aperçu que la prise de l'anémomètre n'était pas bien enfoncée dans le boîtier. Les mesures, pour cette salle, ne sont donc pas représentatives. On gardera néanmoins les témoignages.



- Conditions de prise de mesure

- Local occupé lors de la prise de mesure
- Ventilation naturelle : portes-fenêtres et ventelles ouvertes
- Protections solaires : le rayonnement est arrêté efficacement par les loggias au niveau de portes-fenêtres

- Témoignages

Abonné à la salle de musculation :
'Je n'ai jamais régulé les brasseurs d'air, c'est le responsable qui les contrôle'
'Le confort est bon et les brasseurs d'air sont appréciés, même si parfois, quand il y a beaucoup de monde, il peut faire très chaud'

- Observations

Il y a une incohérence sur la perception de l'utilisation des brasseurs d'air. L'abonné interrogé nous dit que l'utilisation appartient au responsable, mais ce dernier nous indique que chaque personne est libre d'utiliser les brasseur d'air selon ses besoins.

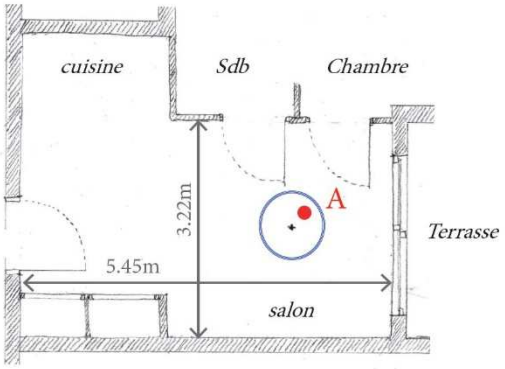
Après la réalisation de mesures, les brasseurs d'air sont restés allumés et le responsable a ouvert les 3 portes fenêtres pour mieux ventiler et amener la fraicheur. Il se trouve que, d'après les mesures prises, la température extérieure était supérieure à celle mesurée à l'intérieur de la salle.

Globalement, la salle reste très perméable à l'air même en période chaude, avec un usage couplé des brasseurs d'air avec la ventilation naturelle.

3.1.5. FRM-4 : Résidence Baccia Donna

L'appartement fait partie de la résidence 'Baccia Donna' située dans la commune de La Trinité (06).
Il s'agit d'un projet de construction neuve à usage d'habitation.

- Description du local

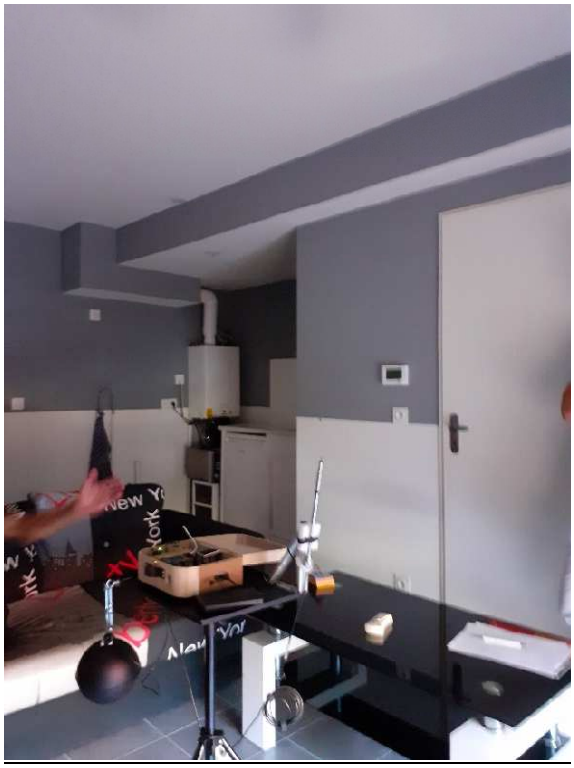


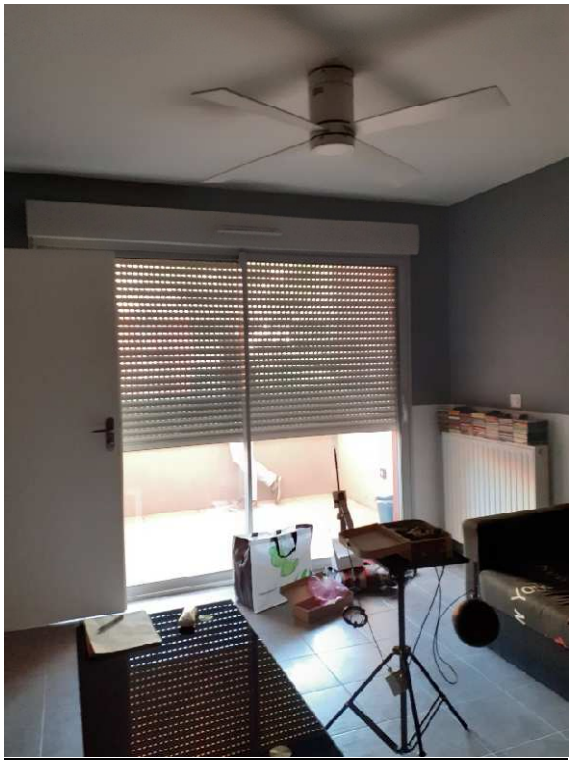
Destination : séjour cuisine
Orientations menuiseries : ouest
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 5,45
Longueur : 3,80
Hauteur : 2,50 (2,20 sous brasseur)
Surface (m²) : 19
Volume (m³) : 47,5
Altimétrie : r+2
Surface de parois extérieures : plâtre
Protections solaires : volet roulant
Ventilation : VMC simple flux
Climatisation : sans objet
Ventilation naturelle nocturne : non

- Description des brasseurs

Nombre : 1
Fabricant : Faro
Modèle : Timor
Matière : acier
Diamètre : 132 cm
Nombre de pales : 4
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : oui
Puissance électrique max : 50 W
Débit annoncé : 8056 m³/h
Puissance acoustique max : pas annoncée
Commande/régulation : télécommande à 3 vitesses

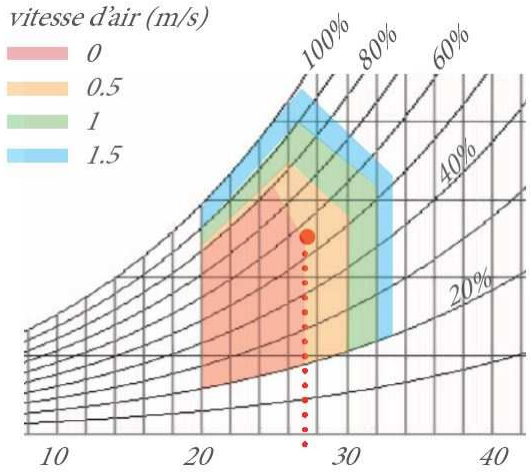
- Images





- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*29-06-21*	*10 : 25*	*Arrêt*	*0,13*	*27,76*	*54*	*26,21*
A	*29-06-21*	*10 : 35*	*Vminimale*	*0,34*	*27,14*	*56*	*25,42*
A	*29-06-21*	*10 : 45*	*Vmedium*	*0,60*	*26,81*	*57*	*25,15*
A	*29-06-21*	*10 : 55*	*Vmaximale*	*0,69*	*26,88*	*57*	*26,01*



- Conditions de prise de mesure

- Local occupé lors de la prise de mesure
- Ventilation naturelle : porte-fenêtre fermée
- Protections solaires : volet roulant déployé en quasi-totalité
- Visite de l'appartement avec l'accompagnateur BDM. Les portes de la chambre et la salle de bains ont été ouvertes à plusieurs reprises pour réaliser la visite complète du logement.

- Témoignages

'Le brasseur d'air est un gadget, il ne sert à rien'
'Il ne rafraîchit pas, l'air reste chaud'
'Je l'utilise très peu'

- Observations

Le locataire pense que le brasseur d'air doit rafraîchir l'air (comme une clim') et ne comprend pas pourquoi l'air reste chaud.

La télécommande ne fonctionnait pas, au début des mesures, car la pile n'était pas correctement insérée.

Pendant les mesures, le brasseur d'air est apprécié par le locataire surtout en vitesse medium et maximale. Le mode hiver n'a jamais été utilisé.

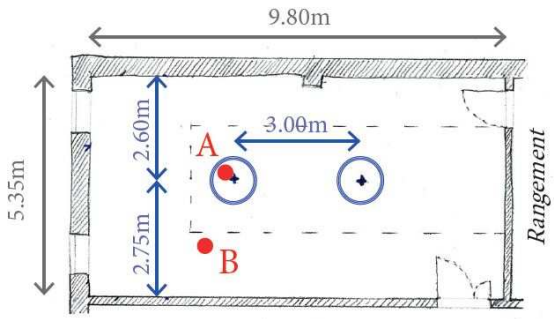
L'accompagnateur BDM indique que ce locataire est très économe en énergie, d'après ses relevés énergétiques.

3.1.6. FRM-5 : Bureaux EnvirobatBDM

Les bureaux d'EnvirobatBDM sont situés dans la commune de Marseille (13).
Il s'agit d'un projet de réhabilitation à usage tertiaire.

- Description du local

Destination : salle de réunion
Orientations menuiseries : nord-est
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 5,35
Longueur : 9,80
Hauteur : 2,45 (2,24 sous faux plafond)
Surface (m²) : 52
Volume (m³) : 122
Altimétrie : rez-de-chaussée
Surface de parois extérieures : plâtre
Protections solaires : volet accordéon en PVC
Ventilation : VMC double flux
Climatisation : sans objet
Ventilation naturelle nocturne : oui



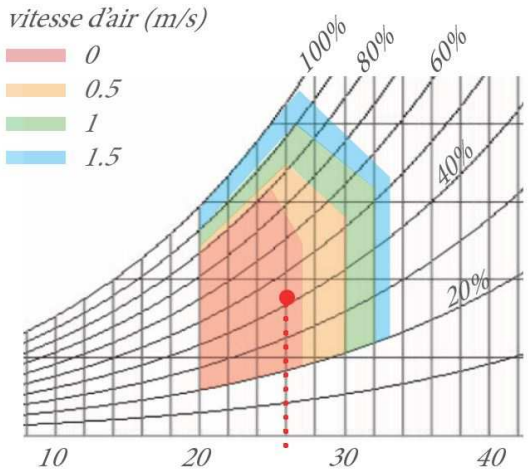
- Description des brasseurs

Nombre : 2
Fabricant : S&P
Modèle : HTB
Matière : acier
Diamètre : 90 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : non
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 55 W
Débit annoncé : 6000 m³/h
Puissance acoustique max : 50 dB
Commande/régulation : boîtier à 3 vitesses

- Images

- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*30-06-21*	*11 : 20*	*Arrêt*	*0,11*	*25,94*	*42*	*25,30*
A	*30-06-21*	*11 : 30*	*Vmaximale*	*1,70*	*26,00*	*42*	*25,56*
A	*30-06-21*	*11 : 40*	*Vmedium*	*1,22*	*26,21*	*42*	*25,72*
A	*30-06-21*	*11 : 50*	*Vminimale*	*1,04*	*26,25*	*43*	*25,80*
B	*30-06-21*	*12 : 00*	*Vminimale*	*0,19*	*27,50*	*41*	*26,00*
B	*30-06-21*	*12 : 10*	*Vmedium*	*0,24*	*27,87*	*40*	*26,09*
B	*30-06-21*	*12 : 20*	*Vmaximale*	*0,28*	*27,68*	*41*	*26,85*



- Conditions de prise de mesure

- Local inoccupé lors de la prise de mesure
- Ventilation naturelle : porte et fenêtres fermées
- Protections solaires : volets non déployés
- Le point B est à environ 150 cm de A

- Témoignages

Equipe EnvirobatBDM :
'Au début tu penses que le bruit peut nuire, mais finalement il n'est pas très bruyant'
'Nous n'avons pas eu des informations pour l'utilisation, mais la prise en main est assez intuitive'
'Le ressenti global est bon, mais on a l'impression qu'il marche surtout sous le brasseur d'air et moins ailleurs'

- Observations

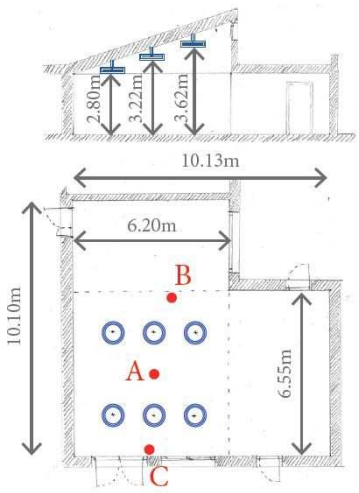
Certains usagers sont dérangés par le bruit en vitesse maximale. De ce fait, seules les vitesses minimale et medium sont utilisées.
Selon les témoignages, les brasseurs d'air restent parfois allumés une fois que la salle de réunion se vide. La perception visuelle et acoustique est très faible et cela contribue à 'oublier' qu'ils sont activés.

Il y a des difficultés pour comprendre le fonctionnement du boîtier de régulation. Les usagers pensent que la vitesse '1' est la plus faible et la '3' la plus puissante, alors que c'est à l'inverse.

L'usage peut se faire avec les fenêtres ouvertes ou fermées. Parfois, des ventilateurs de pied sont utilisés pour compléter les brasseurs d'air.

3.1.7. FRM-6A : Salle polyvalente – Groupe scolaire Frederi Mitan

Le groupe scolaire Frederi Mitan est situé dans la commune de Vedène (84).
Il s'agit d'un projet de construction neuve à usage éducatif.



- Description du local

Destination : salle polyvalente
Orientations menuiseries : nord-est et nord (sheds)
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 10,10
Longueur : 10,13
Hauteur : 2,40 à 4,40
Surface (m²) : 88
Volume (m³) : 252
Altimétrie : rez-de-chaussée
Surface de parois extérieures : plâtre
Protections solaires : store intérieur
Ventilation : VMC double flux
Climatisation : plancher chauffant réversible
Ventilation naturelle nocturne : non

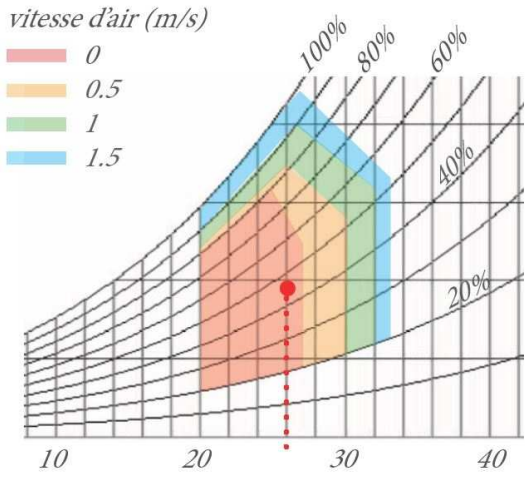
- Description des brasseurs

Nombre : 6
Fabricant : S&P
Modèle : HTB
Matière : acier
Diamètre : 90 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 55 W
Débit annoncé : 6000 m³/h
Puissance acoustique max : 50 dB
Commande/régulation : boîtier à 3 vitesses

- Images

- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*02-07-21*	*10 : 55*	*Arrêt*	*0,13*	*25,98*	*47*	*24,80*
A	*02-07-21*	*11 : 05*	*Vminimale*	*0,20*	*26,38*	*46*	*24,74*
A	*02-07-21*	*11 : 15*	*Vmaximale*	*0,40*	*26,00*	*47*	*24,80*
B	*02-07-21*	*11 : 25*	*Vmaximale*	*0,68*	*25,70*	*48*	*24,80*
B	*02-07-21*	*11 : 35*	*Vminimale*	*0,30*	*26,00*	*47*	*24,85*
C	*02-07-21*	*11 : 45*	*Vminimale*	*0,25*	*26,40*	*46*	*25,10*
C	*02-07-21*	*11 : 55*	*Vmaximale*	*1,01*	*26,15*	*47*	*25,30*



- Conditions de prise de mesure
    - Local inoccupé lors de la prise de mesure
    - Ventilation naturelle : porte et fenêtres fermées
    - Protections solaires : stores non déployés
    - Les brasseurs d'air sont en mode hiver

- Témoignages

Professeur des écoles :
'J'ai parfois des craintes de chute. A vitesse maximale, on voit comment le brasseur d'air bouge sur lui-même'
'On les utilise à partir de juin, en juillet mais également en septembre'
'On ne sent pas énormément l'air'

- Observations

A vitesse maximale, on ressent un bourdonnement des brasseurs d'air, mais également un son métallique émanant d'un ventilateur, sûrement d'une pièce interne. Il n'y a pas d'entretien prévu.

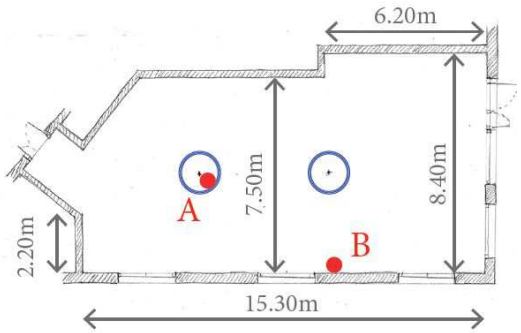
Les brasseurs d'air tournent en mode hiver et les usagers ne s'en sont pas rendu compte. Le bouton pour basculer en mode été se trouve sur les propres appareils, qui sont en hauteur et difficilement atteignables. Le mode été n'est donc pas utilisé.

Le flux d'air est plus fort au droit des parois périphériques (vers le bas) et plus faible au centre de la pièce, là où l'activité a lieu.

3.1.8. FRM-6B: Salle de motricité – Groupe scolaire Frederi Mitan

Le groupe scolaire Frederi Mitan est situé dans la commune de Vedène (84).
Il s'agit d'un projet de construction neuve à usage éducatif.

- Description du local



Destination : salle motricité
Orientations menuiseries : sud-ouest et nord-ouest
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 8,40
Longueur : 15,30
Hauteur : 2,60
Surface (m²) : 117
Volume (m³) : 304
Altimétrie : rez-de-chaussée
Surface de parois extérieures : plâtre
Protections solaires : BSO
Ventilation : VMC double flux
Climatisation : plancher chauffant réversible
Ventilation naturelle nocturne : non

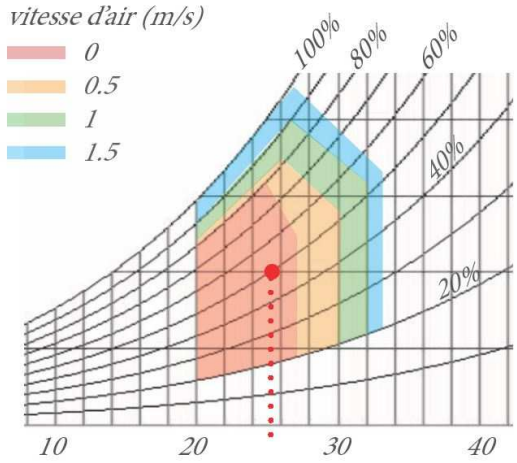
- Description des brasseurs

Nombre : 1
Fabricant : Exhale
Modèle : -
Matière : -
Diamètre : 86 cm
Nombre de pales : sans pales
Réversible été/hiver : non
Eclairage intégré : oui
Puissance électrique max : 50 W
Débit annoncé : 6900 m³/h
Puissance acoustique max : 45 dB
Commande/régulation : télécommande à 6 vitesses

- Images

- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*02-07-21*	*10 : 55*	*Arrêt*	*0,13*	*25,98*	*47*	*24,80*
A	*02-07-21*	*11 : 05*	*Vminimale*	*0,20*	*26,38*	*46*	*24,74*
A	*02-07-21*	*11 : 15*	*Vmaximale*	*0,40*	*26,00*	*47*	*24,80*
B	*02-07-21*	*11 : 25*	*Vmaximale*	*0,68*	*25,70*	*48*	*24,80*



- Conditions de prise de mesure

- Local inoccupé lors de la prise de mesure
- Ventilation naturelle : porte et fenêtres fermées
- Protections solaires : BSO déployés sur certaines fenêtres

- Témoignages

Professeur des écoles :
'Il fait parfois chaud puisqu'on n'aère pas assez. Nous avons des brasseurs d'air mais je ne pense pas que ce soit suffisant'
'J'espère que c'est le côté pratique et pas l'esthétique qui a guidé le choix'
'Il faudrait avoir plus d'informations. Des aides pour installer les brasseurs d'air

- Observations

Avant la prise de mesure, la salle était sans occupation mais les brasseurs d'air étaient allumés, en vitesse maximale (6 sur 6).

L'échange avec le personnel laisse comprendre que l'aération par fenêtres est plus efficace que l'activation des brasseurs d'air (ressentie du personnel).

La vitesse d'air n'est pas facilement perçue par le personnel.

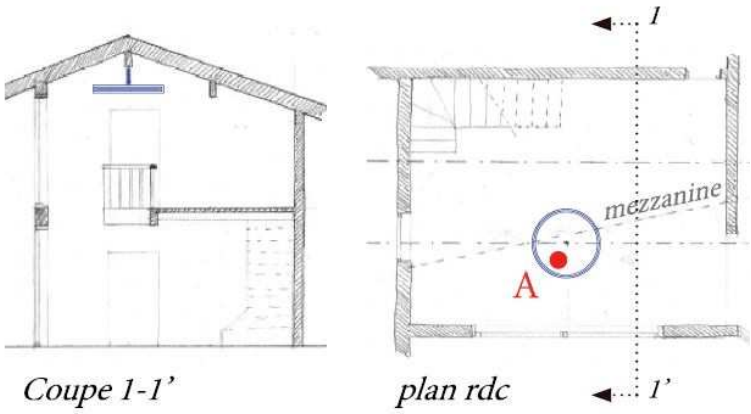
Au niveau bruit, les brasseurs d'air n'apportent aucune nuisance.

3.1.9. FRM-7 : Villa La Bedouide

La maison individuelle 'La Bédouïde' est située dans la commune de Marseille (13).
Il s'agit d'un projet de construction neuve à usage d'habitation.

- Description du local

Destination : salon
Orientations menuiseries : sud
Dimensions maximales (m), planimétrie approximative :
Largeur : 4,50
Longueur : 7,20
Hauteur : 4,66
Surface (m^2) : 32,40
Volume (m^3) : 151
Altimétrie : rez-de-chaussée
Surface de parois extérieures : bois, enduit à la chaux
Protections solaires : pergola bioclimatique
Ventilation : naturelle
Climatisation : non
Ventilation naturelle nocturne : oui



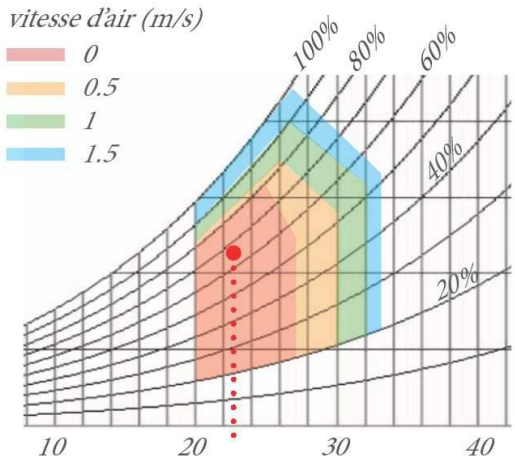
- Description des brasseurs

Nombre : 1
Fabricant : Helios
Modèle : DVW
Matière : acier
Diamètre : 140 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 75 W
Débit annoncé : 13000 m^3/h
Puissance acoustique max : 44 dB
Commande/régulation : boîtier à 5 vitesses

- Images

- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*05-07-21*	*9 : 45*	*Arrêt*	*0,12*	*22,84*	*65*	*21,75*
A	*05-07-21*	*9 : 55*	*Vminimale (1/5)*	*0,33*	*23,27*	*64*	*21,62*
A	*05-07-21*	*10 : 03*	*Vmedium (2/3)*	*0,42*	*23,00*	*65*	*21,70*
A	*05-07-21*	*10 : 10*	*Vmedium (3/5)*	*0,63*	*22,77*	*65*	*21,78*
A	*05-07-21*	*10 : 15*	*Vmaximale (5/5)*	*1,24*	*22,32*	*67*	*21,80*



- Conditions de prise de mesure

- Local occupé lors de la prise de mesure
- Ventilation naturelle : porte et fenêtres fermées
- Protections solaires : pergola bioclimatique performante

- Témoignages

Propriétaire :
'J'utilise le brasseur d'air principalement en hiver, quand la différence de température entre le bas et la mezzanine est de 2 à 3 °C'
'Nous utilisons la vitesse 2 (madame) et la vitesse 3 (moi-même)'

'Parfois en hiver, la vitesse d'air peut nuire à certaines personnes. Nous abaissons la vitesse du brasseur'

- Observations

La maison étant très bien conçue (MOA architecte), en été le brasseur n'est presque jamais utilisé. Pour l'hiver, le propriétaire a mis en place 4 capteurs de température et active le brasseur dès que la différence est supérieure à 2-3 °C entre le haut et le bas pour économiser du chauffage (poêle à bois).

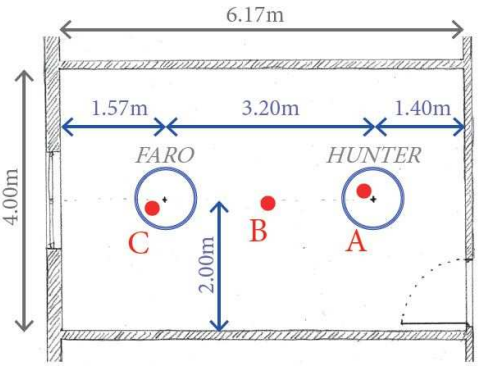
Le niveau 5 n'est jamais utilisé, il est trop bruyant malgré une forte vitesse d'air. Les niveaux 2 et 3 sont les plus utilisés s'adaptant au besoin selon l'utilisateur.

L'accessibilité aux boîtiers est difficile, il faut prendre un tabouret pour y arriver (ils se trouvent dans le placard d'entrée, assez haut).

3.1.10. FRM-8 : Bureaux Tour du Valat

Les bureaux de la Tour du Valat sont situés dans la commune d'Arles (13).
Il s'agit d'un projet de réhabilitation à usage tertiaire.

- Description du local

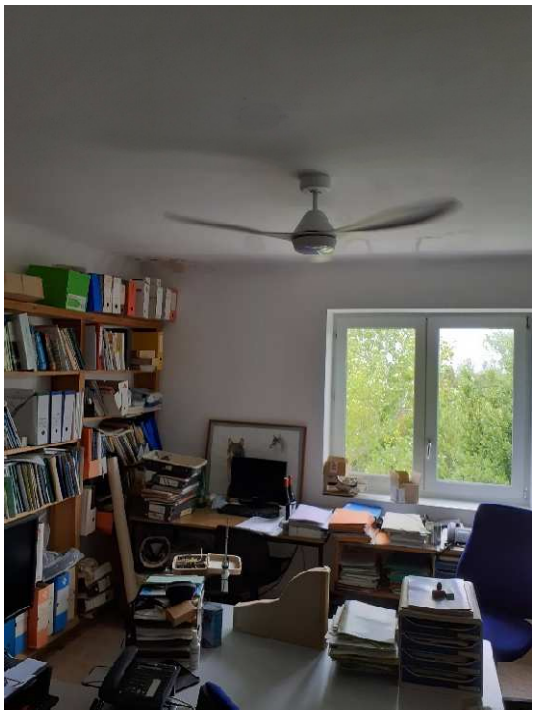


Destination : bureau
Orientations menuiseries : nord
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 4,00
Longueur : 6,17
Hauteur : 2,66
Surface (m²) : 25
Volume (m³) : 66
Altimétrie : r+1
Surface de parois extérieures : plâtre
Protections solaires : sans objet
Ventilation : naturelle
Climatisation : non
Ventilation naturelle nocturne : oui

- Description des brasseurs

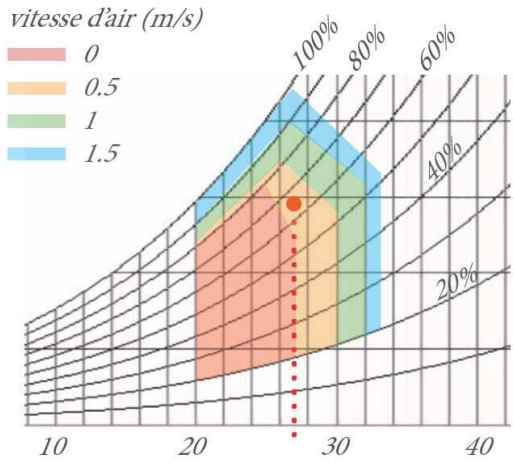
Nombre : 1 / 1
Fabricant : Hunter / Faro
Modèle : Industrie / Polaris
Matière : MDF / polycarbonate
Diamètre : 132 / 132 cm
Nombre de pales : 3 / 3
Réversible été/hiver : oui / oui
Eclairage intégré : non / oui
Puissance électrique max : 75 / 35 W
Débit annoncé : 13600 / 9860 m³/h
Puissance acoustique max : pas annoncée
Commande/régulation : boîtier à 3 vitesses / télécommande à 5 vitesses

- Images



- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*06-07-21*	*13 : 50*	*Arrêt*	*0,11*	*27,34*	*66*	*26,02*
A	*06-07-21*	*14 : 00*	*Vminimale*	*0,24*	*27,43*	*66*	*26,03*
A	*06-07-21*	*14 : 10*	*Vmedium*	*0,29*	*27,22*	*68*	*26,14*
A	*06-07-21*	*14 : 20*	*Vmaximale*	*0,44*	*27,04*	*69*	*26,20*
B	*06-07-21*	*14 : 28*	*Vmaximale*	*0,43*	*27,05*	*68*	*26,20*
B	*06-07-21*	*14 : 35*	*Vminimale*	*0,30*	*27,27*	*68*	*26,20*
C	*06-07-21*	*14 : 42*	*Vminimale*	*0,90*	*27,15*	*68*	*26,35*
C	*06-07-21*	*14 : 50*	*Vmaximale*	*2,01*	*26,81*	*69*	*26,50*



- Conditions de prise de mesure

- Local occupé lors de la prise de mesure
- Ventilation naturelle : portes et fenêtres fermées
- Protections solaires : sans objet
- Point A = Hunter activé seulement
- Point B = Hunter et Faro activés
- Point C = Faro activé seulement

- Témoignages

Employés :
'Nous avons réalisé une enquête auprès des salariés pour savoir où installer les brasseurs'
'Nous sommes globalement contents du fonctionnement des brasseurs'
'Le fait que la lumière du brasseur ne soit pas réglable provoque un peu d'inconfort en fonction de la lumière naturelle'

- Observations

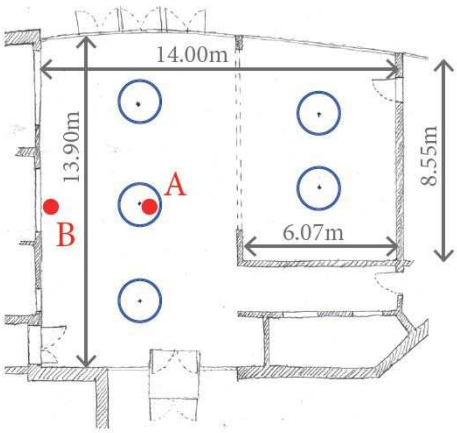
Les utilisateurs se plaignent d'un inconfort thermique dû au télétravail. En effet, certains bureaux ne sont pas rafraîchis la nuit pendant quelques jours en absence des usagers, et les brasseurs ne sont pas suffisants pour avoir une sensation de confort.

La lumière sur le brasseur 'Polaris' n'est pas réglable. Cela génère un certain inconfort et fatigue visuelle en fin de journée. L'utilisation des brasseurs se fait avec ouverture de fenêtres pour 'mieux ventiler et rafraîchir'. Vers la mi-juin, l'utilisation se fait en continu pendant toute la journée.

3.1.11. FRM-9 : Base de voile le Ponteil

L'école de voile 'Le Ponteil' est située dans la commune d'Antibes (06).
Il s'agit d'un projet de construction neuve à usage tertiaire.

- Description du local



Destination : hall d'entrée
Orientations menuiseries : est (paroi vitrée)
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 13,90
Longueur : 14,00
Hauteur : 4,02 (3,05 sous brasseur)
Surface (m²) : 174
Volume (m³) : 650
Altimétrie : rez-de-chaussée
Surface de parois extérieures : plâtre
Protections solaires : sans objet
Ventilation : VMC double flux
Climatisation : non
Ventilation naturelle nocturne : oui

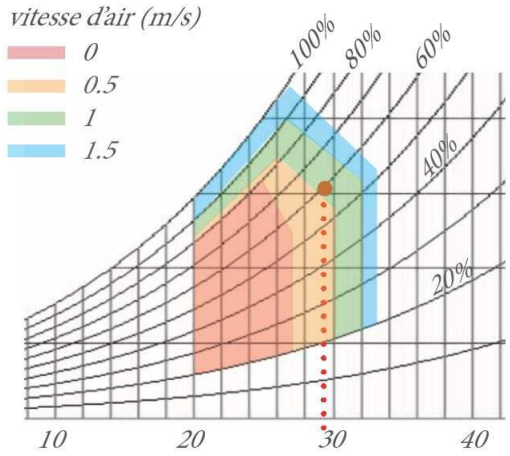
- Description des brasseurs

Nombre : 5
Fabricant : Faro
Modèle : Lakki
Matière : ABS
Diamètre : 132 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 50 W
Débit annoncé : pas annoncé
Puissance acoustique max : pas annoncée
Commande/régulation : télécommande à 3 vitesses

- Images

- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*08-07-21*	*8 : 45*	*Arrêt*	*0,25*	*28,51*	*61*	*26,71*
A	*08-07-21*	*8 : 52*	*Vminimale*	*0,87*	*28,71*	*59*	*28,88*
A	*08-07-21*	*9 : 00*	*Vmaximale*	*1,43*	*28,49*	*60*	*28,75*
B	*08-07-21*	*9 : 08*	*Vmaximale*	*0,34*	*29,20*	*59*	*28,70*
B	*08-07-21*	*9 : 15*	*Vminimale*	*0,23*	*29,85*	*57*	*28,83*



- Conditions de prise de mesure

- Local ouvert pendant la prise de mesure (accueil d'élèves avec parents pour début de classe)
- Ventilation naturelle par ouverture de fenêtres hautes (sur deux façades)
- Protections solaires : le soleil du matin rentre sur environ 3 mètres à l'intérieur du hall, côté Est.

- Témoignages

Employés :
'Il faut être vraiment en-dessous pour ressentir de l'air'
'Il fait très chaud lors qu'on accueille les gens, l'air n'arrive pas derrière le comptoir d'accueil'
'En été, on les met à fond dès le matin'
'Certains visiteurs craignent une chute. On les voit un peu osciller sur leur axe'

- Observations

Sur le hall d'accueil : les employés n'ont complétement conscience des fonctionnalités des brasseurs, notamment le mode hiver, qui n'est pas utilisé.

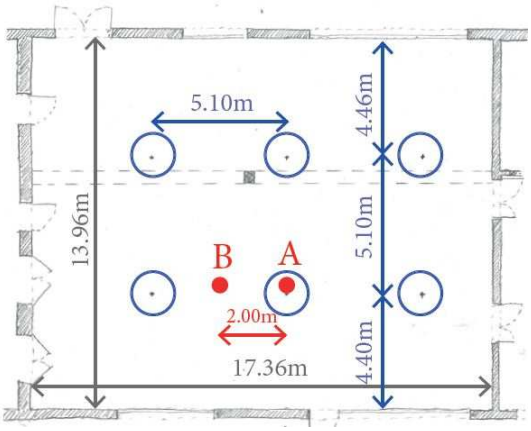
D'après les usagers, les brasseurs d'air n'arrivent pas à contrer la chaleur à l'intérieur. En effet, entre 8h et 9h, la température intérieure est d'environ 29°C. Le local est ventilé de part et d'autre par des ouvertures hautes, tandis que la façade Est est fortement vitrée sans protections solaires.

Sur le local d'administration : l'employé nous signale que son brasseur ne sert pas à grande chose, qu'il ne ressent pas l'air. Il se trouve qu'il tourne en mode hiver.

3.1.12. FRM-10A : Refectoire Elémentaire – Groupe scolaire Jean Moulin

L'école Jean Moulin est située dans la commune d'Antibes (06).
Il s'agit d'un projet de réhabilitation et construction neuve à usage scolaire.

- Description du local



Destination : réfectoire élémentaire
Orientations menuiseries : est, ouest
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 13,96
Longueur : 17,36
Hauteur : 3,66 (2,86 sous brasseur)
Surface (m²) : 242
Volume (m³) : 887
Altimétrie : rez-de-chaussée
Surface de parois extérieures : plâtre, bois en plafond
Protections solaires : façade en bois ajourée (tasseaux verticaux)
Ventilation : VMC double flux
Climatisation : non
Ventilation naturelle nocturne : non

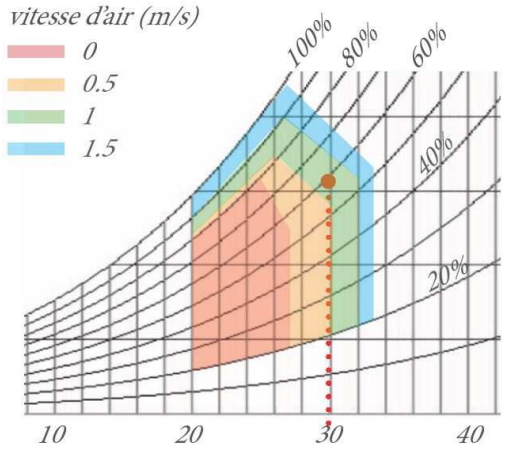
- Description des brasseurs

Nombre : 6
Fabricant : Faro
Modèle : Lantau
Matière : acier (moteur) et bois (pales)
Diamètre : 132 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 65 W
Débit annoncé : 8853 m³/h
Puissance acoustique max : pas annoncée
Commande/régulation : télécommande à 3 vitesses

- Images

- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*08-07-21*	*11 : 10*	*Arrêt*	*0,12*	*29,88*	*59*	*28,88*
A	*08-07-21*	*11 : 17*	*Vminimale*	*0,81*	*29,54*	*59*	*28,70*
A	*08-07-21*	*11 : 24*	*Vmaximale*	*1,06*	*29,36*	*60*	*28,77*
B	*08-07-21*	*11 : 33*	*Vmaximale*	*0,29*	*29,56*	*59*	*28,77*
B	*08-07-21*	*11 : 41*	*Vminimale*	*0,18*	*30,01*	*59*	*28,77*



- Conditions de prise de mesure

- Local inoccupé pendant la prise de mesure
- Ventilation naturelle : portes et fenêtres fermées
- Protections solaires : sans objet

- Témoignages

Employés :
'Je crains qu'il chute et fasse mal à un enfant'
'Il est bien, en revanche il bouge un peu'

- Observations

Les brasseurs d'air fonctionnent en courant continu. La télécommande est rangée dans les locaux propres à la restauration, adjacentes au réfectoire.

Les brasseurs sont situés au-dessus de certaines tables. La distance entre deux brasseurs permet d'installer des tables qui n'ont pas des brasseurs au-dessus.

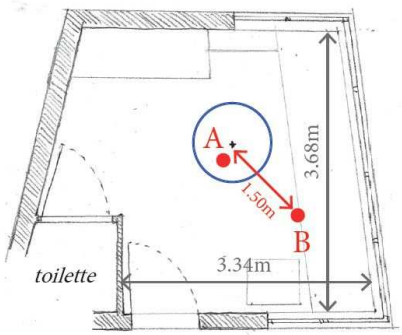
Le bruit est acceptable et ne gêne pas les usagers lors des repas.

3.1.13. FRM-10B : Loge gardien – Groupe scolaire Jean Moulin

L'école Jean Moulin est située dans la commune d'Antibes (06).
Il s'agit d'un projet de réhabilitation et construction neuve à usage scolaire.

- Description du local

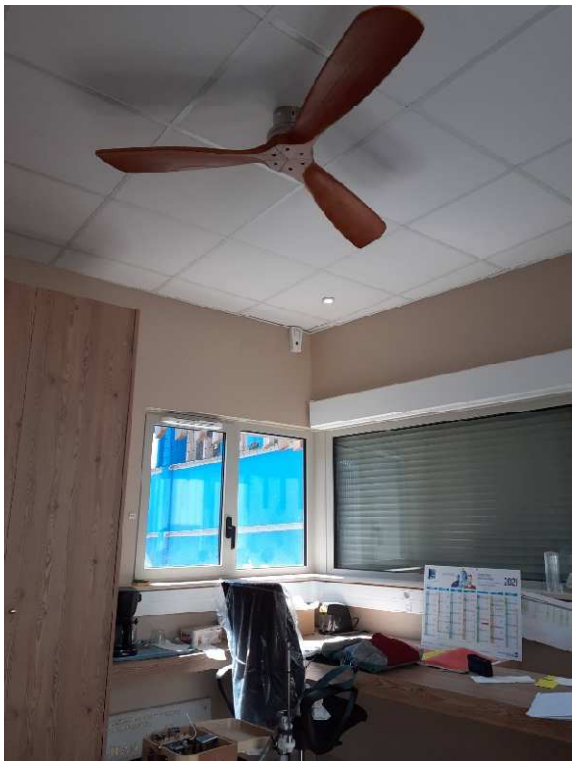
Destination : loge gardien
Orientations menuiseries : Est, sud et ouest
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 3,34
Longueur : 3,68
Hauteur : 2,78
Surface (m²) : 14
Volume (m³) : 39
Altimétrie : rez-de-chaussée
Surface de parois extérieures : plâtre
Protections solaires : volet roulant
Ventilation : VMC simple flux
Climatisation : non
Ventilation naturelle nocturne : non



- Description des brasseurs

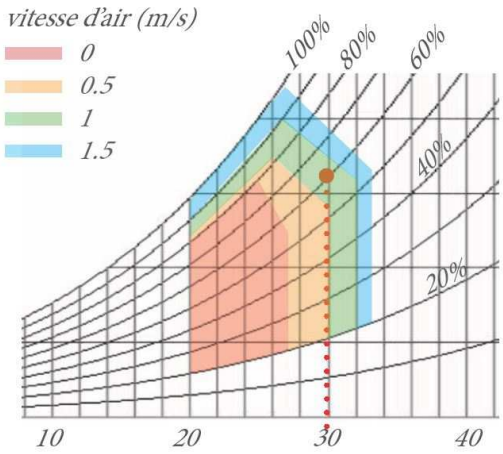
Nombre : 1
Fabricant : Faro
Modèle : Lantau
Matière : acier (moteur) et bois (pales)
Diamètre : 132 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 65 W
Débit annoncé : 8853 m³/h
Puissance acoustique max : pas annoncée
Commande/régulation : télécommande à 3 vitesses

- Images



- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*08-07-21*	*10 : 25*	*Arrêt*	*0,15*	*29,81*	*60*	*29,64*
A	*08-07-21*	*10 : 33*	*Vminimale*	*0,62*	*30,10*	*60*	*29,20*
A	*08-07-21*	*10 : 40*	*Vmaximale*	*0,95*	*29,83*	*61*	*29,20*
B	*08-07-21*	*10 : 50*	*Vmaximale*	*0,56*	*29,77*	*62*	*29,14*
B	*08-07-21*	*10 : 58*	*Vminimale*	*0,23*	*30,03*	*62*	*29,18*



- Conditions de prise de mesure

- Local inoccupé pendant la prise de mesure
- Ventilation naturelle : portes et fenêtres fermées
- Protections solaires : volet roulant déployé partiellement

- Observations

A vitesse maximale, le bruit est très remarquable.

Certaines feuilles et post-it collés sur le mur, à droite du bureau, bougent lorsque le brasseur est en vitesse maximale, sans pour autant s'envoler.

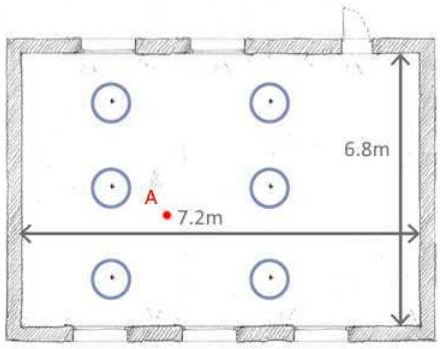
Le ressenti d'air est assez homogène dans la pièce.

3.2. Fiches REX La Réunion

3.2.1. FRR-1A : Salle de TD - ESIROI

La salle de TD de l'université est située dans d'ancien bâtiment du site de l'avenue De Soweto à Saint-Pierre (Réunion). Cette salle peut recevoir 20 étudiants.

- Description du local



Destination : enseignement
Orientations menuiseries : est et ouest
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 6,80
Longueur : 7,20
Hauteur : 2,78 (2,40 sous brasseur)
Surface (m²) : 49
Volume (m3) : 136
Altimétrie : R+1
Protections solaires : coursive côté ouest / patio couvert côté est
Ventilation : naturelle (local traversant)
Climatisation : oui
Ventilation naturelle nocturne : non

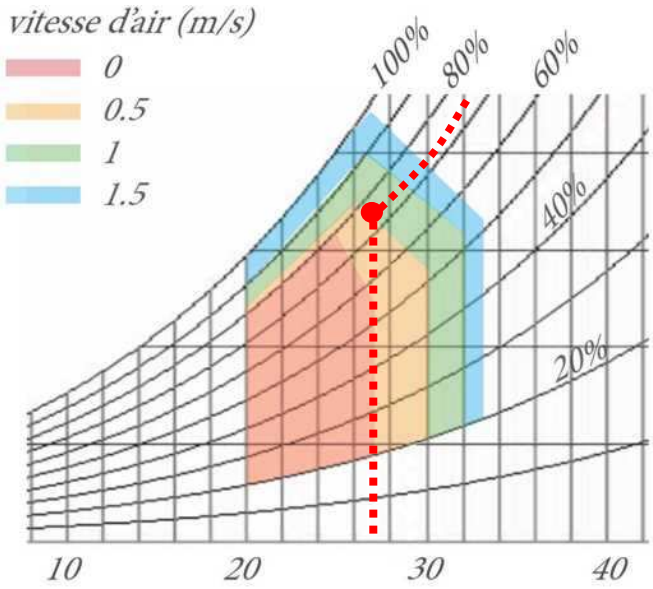
- Description des brasseurs

Nombre : 6
Fabricant : Hunter (ancien modèle)
Modèle : NC
Matière : acier
Diamètre : donnée technique non disponible
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : donnée technique non disponible
Débit annoncé : donnée technique non disponible
Puissance acoustique max : donnée technique non disponible
Commande/régulation : boîtiers pour régulation de vitesses

- Images

- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*20-10-21*	*17 : 10*	*Arrêt*	*0,11*	*27,2*	*73,0*	*27,0*
A	*20-10-21*	*16 : 23*	*Vmaximale*	*0,77*	*27,2*	*72,5*	*26,5*



- Conditions de prise de mesure
  - Local inoccupé mais juste après le dernier cours de la journée
  - Ventilation naturelle : Nacos ouverts
  - Protections solaires : sans objet
  - Porte d'entrée ouverte

- Témoignages

4 étudiants ont été interrogés. Ils sont unanimes pour dire que les brasseurs font un bruit qui est gênant lorsqu'il est nécessaire de se concentrer. Les brasseurs d'air sont en revanche perçu comme plus agréable que la climatisation. Le jugement de la vitesse d'air provoquée par les brasseurs d'air est en revanche différents d'un étudiant à l'autre allant de « fort » à « assez faible ».
Les brasseurs sont mis en route lorsque l'ensemble des Nacos et la porte sont ouverts.
La commande est murale.

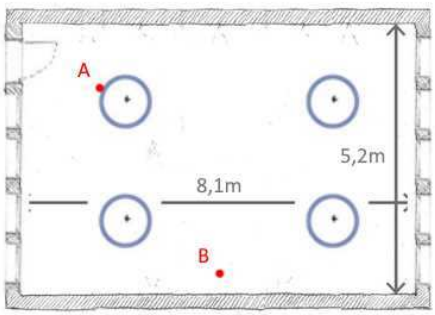
- Observations

Cette salle de cours est protégée des apports solaires. Les équipements sont bruyants et vieillissants mais les usagers sont relativement satisfaits de leurs impacts.

3.2.2. FRR-1B : Salle de réunion - ESIROI

La salle de Réunion de l'université est située dans le nouveau bâtiment très performant du site de l'avenue De Soweto à Saint-Pierre (Réunion). Ce bâtiment a été pensé pour permettre une ventilation naturelle permanente.

- Description du local

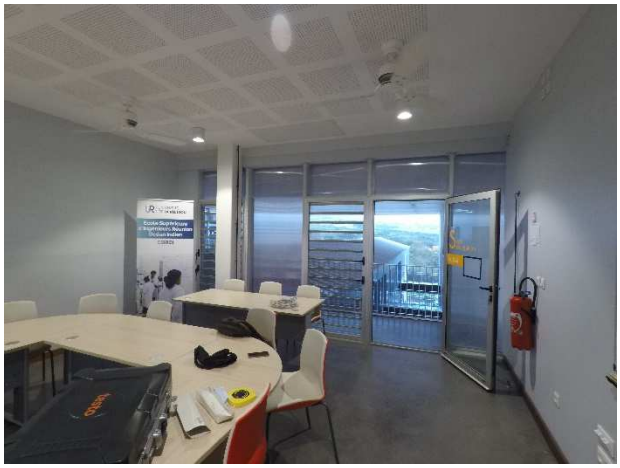


Destination : tertiaire
Orientations menuiseries : est et ouest
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 8,10
Longueur : 5,20
Hauteur : 3,50 (3,20 sous brasseur)
Surface (m²) : 42
Volume (m3) : 147
Altimétrie : R+3
Protections solaires : brise soleil côté ouest / coursive sur patio côté est
Ventilation : naturelle (local traversant)
Climatisation : non
Ventilation naturelle nocturne : non

- Description des brasseurs

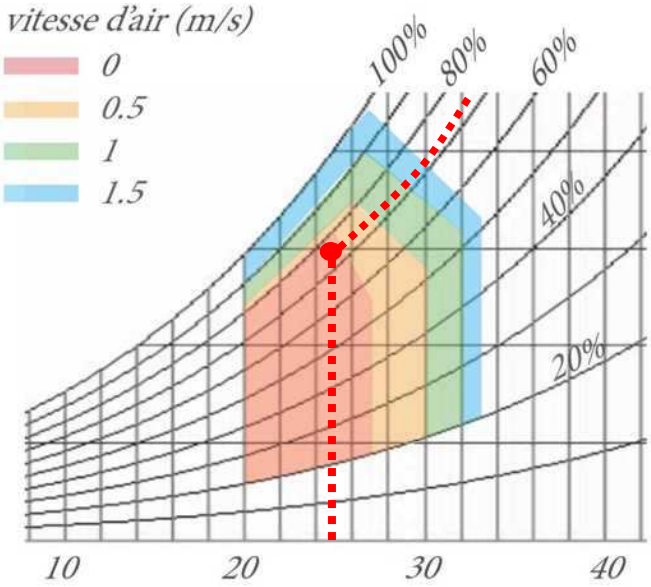
Nombre : 4
Fabricant : Hunter
Modèle : Industry II
Matière : acier
Diamètre : 132 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 66W (à grande vitesse)
Débit annoncé : 9 000 m³/h (à grande vitesse)
Puissance acoustique max :
Commande/régulation : interrupteur accessible, boîtiers de régulation de vitesses en hauteur

- Images



- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*20-10-21*	*17 : 47*	*Arrêt*	*0,07*	*25,1*	*71,5*	*25,0*
A	*20-10-21*	*17 : 50*	*Vmoyenne*	*0,36*	*25,1*	*71,6*	*25,1*
B	*20-10-21*	*18 : 08*	*Arrêt*	*0,07*	*25,0*	*71,6*	*25,3*
B	*20-10-21*	*18 : 08*	*Vmoyenne*	*0,30*	*25,2*	*71,3*	*25,2*



- Conditions de prise de mesure
  - Local occupé par une personne
  - Ventilation naturelle : la moitié des Nacos ouverts
  - Protections solaires : fixes
  - Porte d'entrée ouverte

- Témoignages

2 membres du personnel ont été interrogés. Ils sont d'accord pour déclarer les brasseurs d'air (associé à l'ouverture des Nacos) permettent d'obtenir des conditions de confort.

- Observations

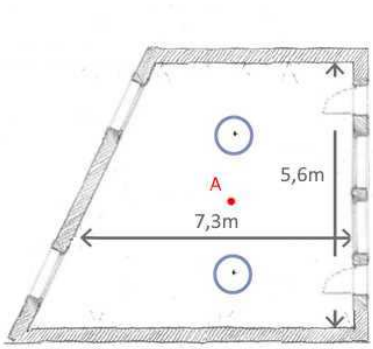
La régulation est placée en hauteur pour éviter que les usagers fassent varier trop fréquemment la vitesse provoquant de l'inconfort et usant la commande. Le revers de la médaille est que la vitesse n'est pas adaptée aux besoins. Les utilisateurs fréquents de la salle déclaraient que les brasseurs étaient en vitesse maximale en arrivant de la local, or après vérification ils étaient en vitesse moyenne.

3.2.3. FRR-2A : Salle de réunion - CIRBAT

La salle de réunion du CIRBAT est située dans les locaux de Saint-André. Ce bâtiment n'a pas de qualification de performance particulière.

- Description du local

Destination : tertiaire
Orientations menuiseries : nord et sud
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 7,30
Longueur : 5,60
Hauteur : 3,00 (2,70 sous brasseur)
Surface (m²) : 35
Volume (m3) : 105
Altimétrie : RDC
Protections solaires : brise soleil côté sud / coursive sur patio côté nord
Ventilation : naturelle (local traversant)
Climatisation : non
Ventilation naturelle nocturne : non



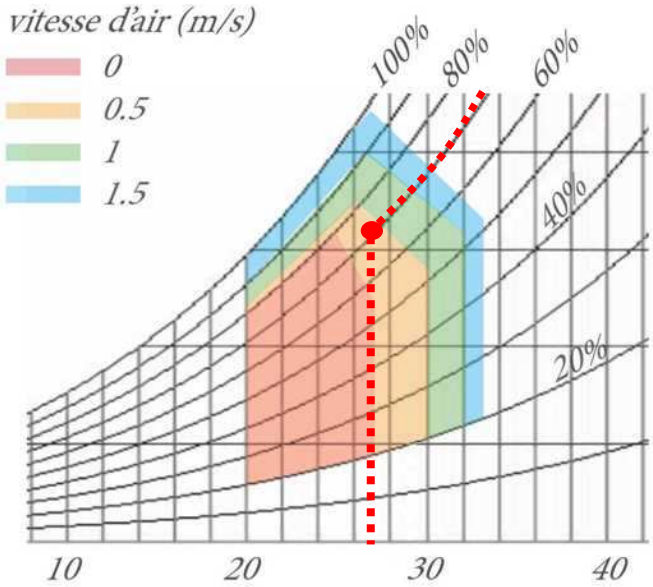
- Description des brasseurs

Nombre : 2
Fabricant : Hunter
Modèle : Industry II (ancien modèle)
Matière : acier
Diamètre : 132 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : donnée technique non disponible
Débit annoncé : : donnée technique non disponible
Puissance acoustique max :
Commande/régulation : boîtiers muraux de régulation de vitesses

- Images

- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*21-10-21*	*14 : 46*	*Arrêt*	*0,1*	*27,0*	*73,0*	*27,0*
A	*21-10-21*	*15 : 56*	*Vmaximale -nacos ouverts*	*0,34*	*27,3*	*73,2*	*27,1*
A	*21-10-21*	*15 : 04*	*Vmaximale – nacos fermés*	*0,33*	*27,3*	*73,0*	*27,2*



- Conditions de prise de mesure
  - Local inoccupé
  - Ventilation naturelle : les Nacos ont été ouverts sur un test puis fermés
  - Protections solaires : fixes
  - Porte d'entrée ouverte puis fermée

- Témoignages

1 membres du personnel ont été interrogés. Il déclare que les brasseurs d'air sont peu utilisés dans ces pièces et lorsqu'ils le sont c'est à la vitesse minimum puisque certaines personnes ne supportent pas les vitesses élevées.
De plus, il précise que ces brasseurs sont bruyants et la commande difficile à régler.

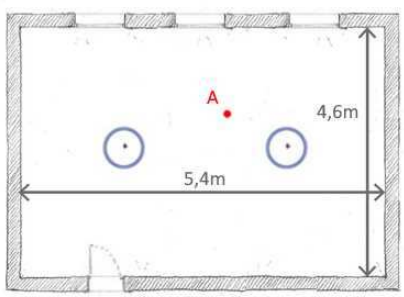
- Observations

Lors du premier test, l'un des brasseurs faisait vibrer le faux-plafond à grande vitesse. Le problème a pu être réglé en partie en replaçant des dalles. Néanmoins sans ce problème, les deux brasseurs génèrent un bruit possiblement gênant.
L'une des deux commandes est défectueuse (cf. photo ci-dessus).
Les pales des brasseurs sont montées à l'envers.
Les mesures montrent que, à la vitesse maximale, le flux d'air généré a une vitesse identique avec ou sans ventilation naturelle (ouverture/fermeture des nacos).

3.2.4. FRR-2B : Laboratoire Pathologies des bois - CIRBAT

Le laboratoire des pathologie du bois du CIRBAT est située dans les locaux de Saint-André. Ce bâtiment n'a pas de qualification de performance particulière.

- Description du local

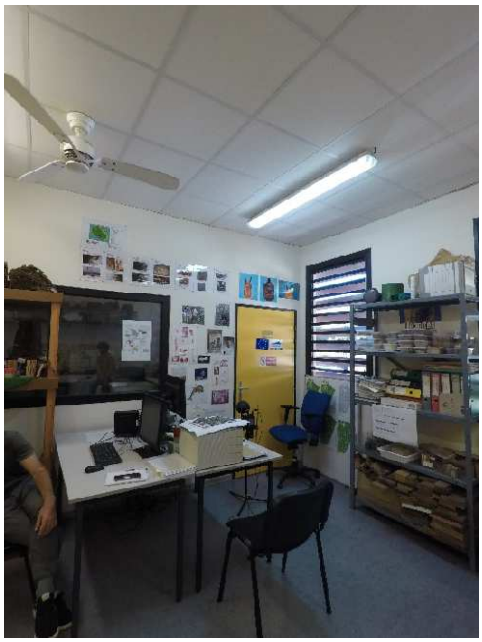


Destination : tertiaire
Orientations menuiseries : nord et sud
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 4,60
Longueur : 5,40
Hauteur : 3 (2,70 sous brasseur)
Surface (m²) : 25
Volume (m3) : 75
Altimétrie : RDC
Protections solaires : brise soleil côté nord / coursive sur patio côté sud
Ventilation : naturelle
Climatisation : non
Ventilation naturelle nocturne : non

- Description des brasseurs

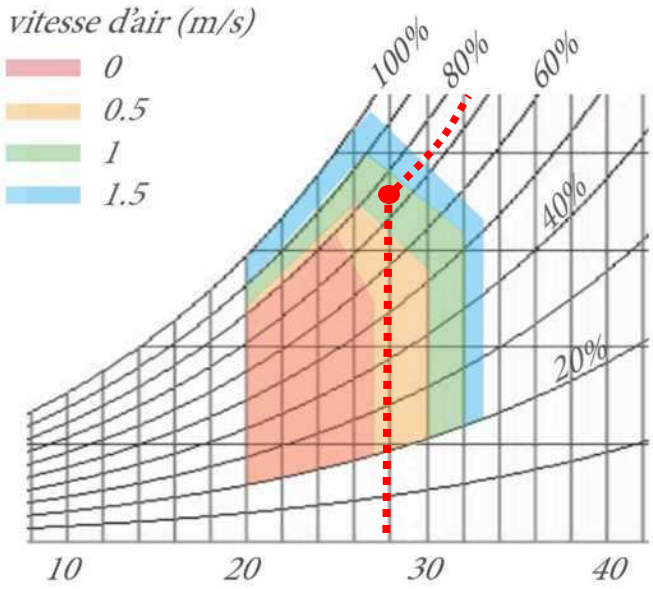
Nombre : 2
Fabricant : Hunter
Modèle : Industry II (ancien modèle)
Matière : acier
Diamètre : 132 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : donnée technique non disponible
Débit annoncé : : donnée technique non disponible
Puissance acoustique max :
Commande/régulation : boîtiers muraux de régulation de vitesses

- Images



- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*21-10-21*	*14 : 19*	*Arrêt*	*0,04*	*27,9*	*73,6*	*27,9*
A	*21-10-21*	*15 : 26*	*Vmaximale*	*0,49*	*27,9*	*73,6*	*27,9*



- Conditions de prise de mesure
  - Local inoccupé
  - Ventilation naturelle : Nacos fermés
  - Protections solaires : fixes
  - Porte d'entrée fermée

- Témoignages

1 membres du personnel ont été interrogés. Il déclare utilisé dès que possible les brasseurs (en fonction de son activité, cela n'est pas toujours possible – poussière de bois). Il utilise les brasseurs nacos et portes fermées.

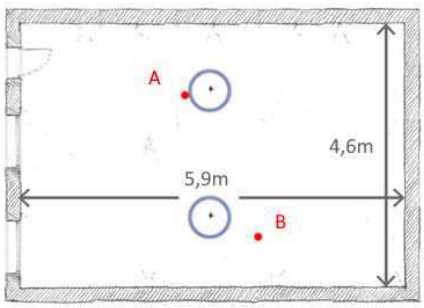
- Observations

Ce sont les mêmes brasseurs installés que dans la salle de réunion, or ceux-ci font moins de bruit.
La vitesse de rotation des brasseurs est différente (constat visuel).
La commande murale semble fragile.

3.2.5. FRR-3A : Bureau des techniciens – Hôtel de Région

L'Hôtel de Région de la Réunion est situé avenue Cassin à Saint Denis. Le bureau des techniciens accueille 3 techniciens.

- Description du local



Destination : tertiaire
Orientations menuiseries : nord
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 5,90
Longueur : 4,60
Hauteur : 2,70 (2,40 sous brasseur)
Surface (m²) : 27
Volume (m3) : 73
Altimétrie : R+2
Protections solaires large coursive
Ventilation : NC
Climatisation : oui
Ventilation naturelle nocturne : non

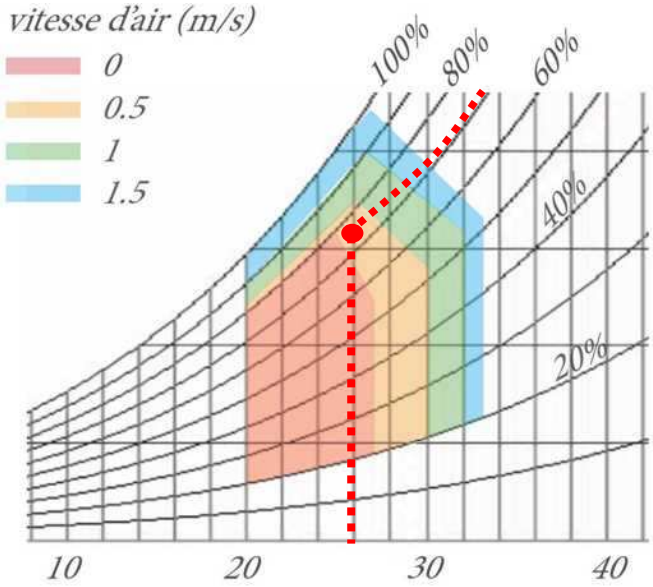
- Description des brasseurs

Nombre : 2
Fabricant : Hunter
Modèle : Carera
Matière : acier
Diamètre : 132 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui (bouton sur l'équipement)
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 65W (à grande vitesse)
Débit annoncé : 9 742 m³/h (à grande vitesse)
Puissance acoustique max : 39,5 dB(A) (à grande vitesse)
Commande/régulation : boîtiers muraux de régulation de vitesses avec bouton supplémentaire (cf. photo ci-dessous)

- Images

- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*22-10-21*	*09 : 23*	*Arrêt*	*0,1*	*26,0*	*71,7*	*26*
A	*22-10-21*	*09 : 26*	*Vmaximale*	*0,23*	*26,1*	*71,8*	*26,1*
B	*22-10-21*	*09 : 38*	*Arrêt*	*0,12*	*26,0*	*71,8*	*25,6*
B	*22-10-21*	*09 : 44*	*Vmaximale*	*0,76*	*26,0*	*71,6*	*25,4*



- Conditions de prise de mesure
  - Local occupé
  - Ventilation naturelle : les Nacos ouverts
  - Protections solaires : fixes
  - Porte d'entrée ouverte

- Témoignages

2 membres du personnel ont été interrogés. Ils déclarent ne pas utiliser les brasseurs puisque le moteur de l'un des deux fait beaucoup de bruit. Du fait qu'ils soient responsables de la maintenance, ils ont cherché à résoudre le problème mais n'ont pas trouvé de personnes compétentes pour résoudre le problème. Ils n'ont pas non plus réussi à traiter les problèmes par eux même (démontage et nettoyage non pas donné de résultats).
De plus, le bureau est climatisé. Ils préfèrent donc mettre en route la climatisation lorsque nécessaire. Ils se disent « pas convaincus de l'efficacité des brasseurs d'air ».

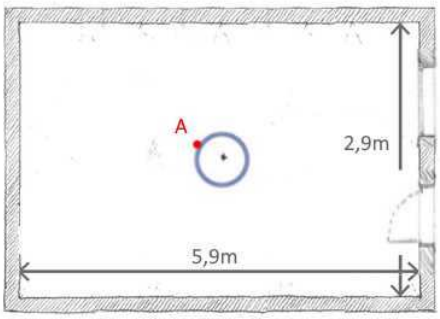
- Observations

Le bruit mentionné par les usagers très important.
Le bouton sur la commande des brasseurs est un bouton commandant l'éclairage lorsqu'ils en sont équipés. Les usagers ne connaissaient pas son utilité et déduisaient un dysfonctionnement de l'installation puisque son action n'induisait aucune action.

3.2.6. FRR-3B : Bureau des standardistes – Hôtel de Région

L'Hôtel de Région de la Réunion est situé avenue Cassin à Saint Denis. Le bureau des standardistes accueille 2 personnes.

- Description du local

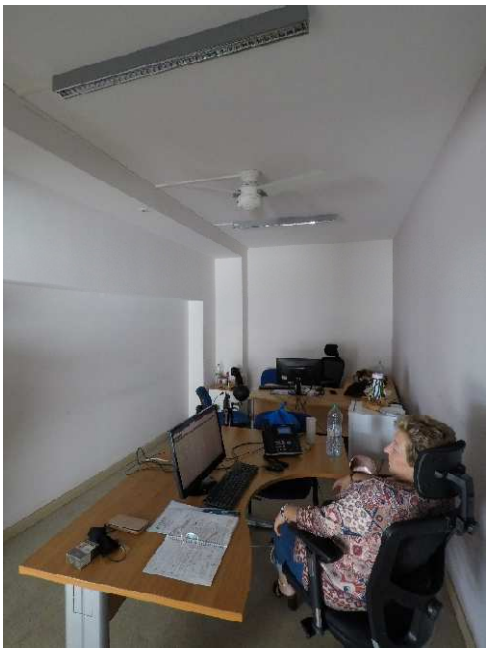


Destination : tertiaire
Orientations menuiseries : nord
Dimensions maximales (m) :
Largeur : 5,90
Longueur : 2,90
Hauteur : 2,70 (2,40 sous brasseur)
Surface (m²) : 17
Volume (m3) : 46
Altimétrie : R+2
Protections solaires large coursive
Ventilation : NC
Climatisation : oui
Ventilation naturelle nocturne : non

- Description des brasseurs

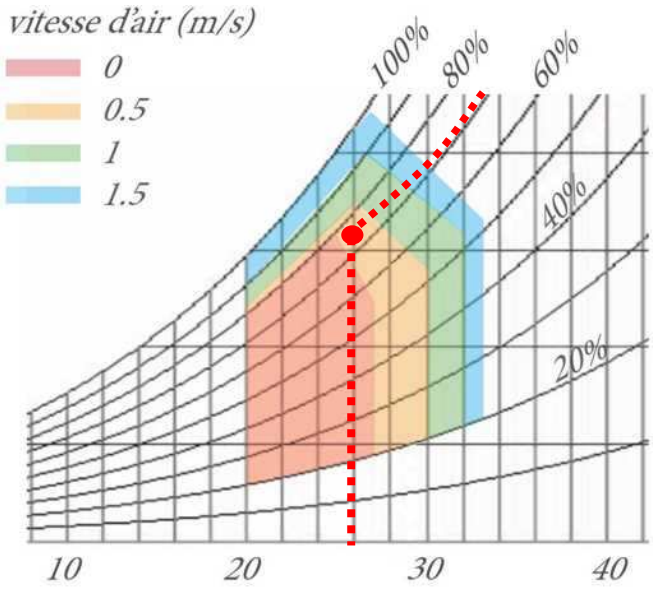
Nombre : 1
Fabricant : Hunter
Modèle : Carera
Matière : acier
Diamètre : 132 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui (bouton sur l'équipement)
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 65W (à grande vitesse)
Débit annoncé : 9 742 m³/h (à grande vitesse)
Puissance acoustique max : 39,5 dB(A) (à grande vitesse)
Commande/régulation : boîtiers muraux de régulation de vitesses avec bouton supplémentaire et tirette sur l'équipement

- Images



- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*22-10-21*	*09 : 56*	*Arrêt*	*0,12*	*26*	*71,8*	*25,6*
A	*22-10-21*	*10 : 07*	*Vmaximale*	*0,35*	*25,9*	*71,8*	*25,7*



- Conditions de prise de mesure
  - Local occupé
  - Ventilation naturelle : les Nacos ouverts
  - Protections solaires : fixes
  - Porte d'entrée ouverte

- Témoignages

2 membres du personnel ont été interrogés. Les deux personnes déclarent ne pas être convaincues du brasseur dans ce bureau et donc l'utilise très peu (alors qu'elles en ont et les utilisent chez elles). L'une d'entre elle déclare être gênée par le bruit du brasseur, la seconde déclare ne pas être gênée.
Elles utilisent donc préférentiellement la climatisation lorsque nécessaire.

- Observations

Ce modèle de brasseur d'air est équipé d'une tirette permettant de commander les vitesses du brasseur. Cette commande fait doublon avec la commande murale. Après test, il est remarqué que la tirette était en position moyenne. Les usagers ne connaissaient pas l'utilité de cette commande.

3.2.7. FRR-4C : Open space R+1 – Bâtiment DARWIN

Le bâtiment DARWIN est situé rue Emile Hugot à Sainte-Clothilde. Cet immeuble de bureaux a été conçu par un bureau d'étude bâtiment local pour ses propres besoins. Il est jugé très performant et conçu pour s'adapter aux problématiques du climat tropical.

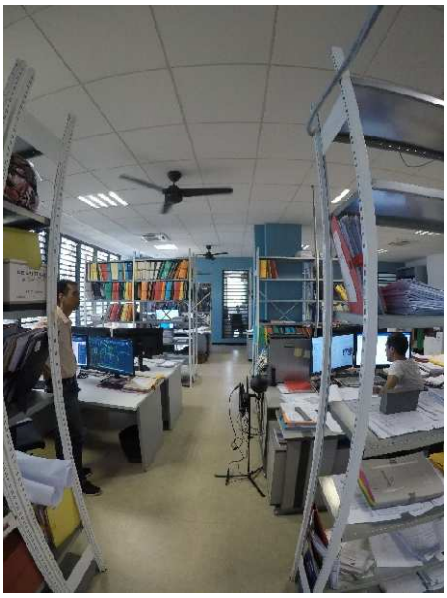
- Description du local

Destination : tertiaire
Orientations menuiseries : nord
Dimensions maximales (m) :
Largeur :
Longueur :
Hauteur : 3,20 (2,90 sous brasseur)
Surface (m²) :
Volume (m3) :
Altimétrie : R+1
Protections : Brises soleils + façade végétale
Ventilation : mécanique
Climatisation : oui (mais non fonctionnelle)
Ventilation naturelle nocturne : oui

- Description des brasseurs

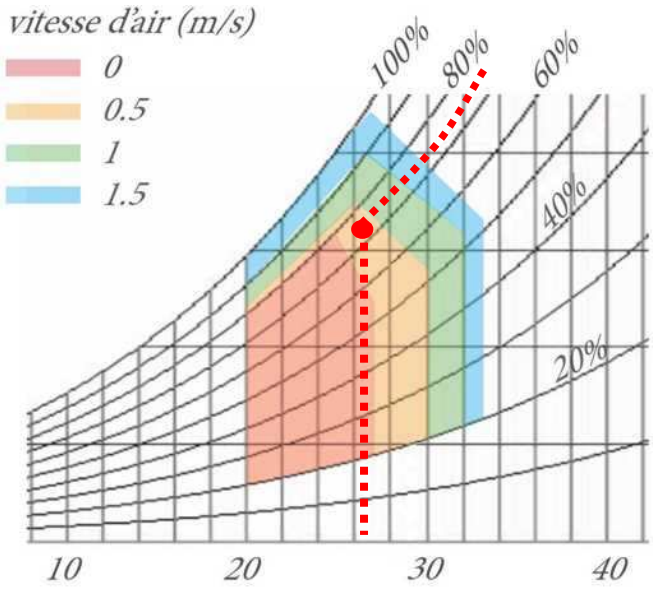
Nombre : 7
Fabricant : Hunter
Modèle : Carera
Matière : acier
Diamètre : 132 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui (bouton sur l'équipement)
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 65W (à grande vitesse)
Débit annoncé : 9 742 m³/h (à grande vitesse)
Puissance acoustique max : 39,5 dB(A) (à grande vitesse)
Commande/régulation : boîtiers muraux de régulation de vitesses avec bouton supplémentaire et tirette sur l'équipement

- Images



- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*22-10-21*	*11 : 45*	*Arrêt*	*0,18*	*27,1*	*72,7*	*27,2*
A	*22-10-21*	*11 : 51*	*Vmaximale*	*0,38*	*27,2*	*72,7*	*27,2*



- Conditions de prise de mesure
  - Local occupé
  - Ventilation naturelle : une partie des Nacos ouverts
  - Protections solaires : fixes
  - Porte d'entrée fermée

- Témoignages

3 membres du personnel ont été interrogés. D'après eux les brasseurs sont très utiles 6 mois dans l'année. L'une d'entre elle déclare tout de même qu'elle apprécierait la climatisation à certain moment. Concernant l'acoustique, les 3 personnes déclarent qu'elles entendent les brasseurs mais que cela les gêne pas. Une personne fait remarquer que le bruit de la circulation extérieur est plus gênant.
Ils n'ont pas d'habitude concernant les ouvertures des nacos pour favoriser la ventilation traversante.

- Observations

Les usagers semblent conscients de l'intérêt des brasseurs.

3.2.8. FRR-4B : Open space R+2 – Bâtiment DARWIN

Le bâtiment DARWIN est situé rue Emile Hugot à Sainte-Clothilde. Cet immeuble de bureaux a été conçu par un bureau d'étude bâtiment local pour ses propres besoins. Il est jugé très performant et conçu pour s'adapter aux problématiques du climat tropical.

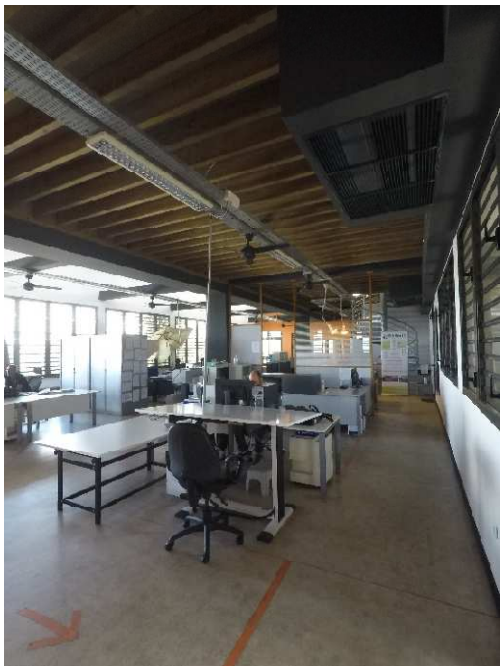
- Description du local

Destination : tertiaire
Orientations menuiseries : nord
Dimensions maximales (m) :
Largeur :
Longueur :
Hauteur : 3,50 (3,20 sous brasseur) au plus bas
Surface (m²) :
Volume (m3) :
Altimétrie : R+2
Protections : Brises soleils + façade végétale
Ventilation : mécanique
Climatisation : oui (mais non fonctionnelle)
Ventilation naturelle nocturne : oui

- Description des brasseurs

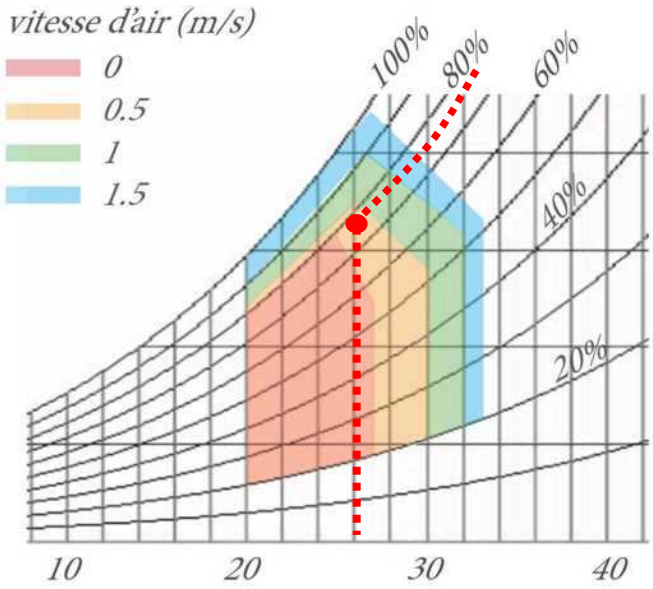
Nombre : 12
Fabricant : Hunter
Modèle : Carera
Matière : acier
Diamètre : 132 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui (bouton sur l'équipement)
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 65W (à grande vitesse)
Débit annoncé : 9 742 m³/h (à grande vitesse)
Puissance acoustique max : 39,5 dB(A) (à grande vitesse)
Commande/régulation : boîtiers muraux de régulation de vitesses avec bouton supplémentaire et tirette sur l'équipement

- Images



- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*22-10-21*	*11 : 03*	*Arrêt*	*0,21*	*26,1*	*75,2*	*26,4*
A	*22-10-21*	*11 : 11*	*Vmaximale*	*0,93*	*26,2*	*75,2*	*26,4*



- Conditions de prise de mesure
  - Local occupé
  - Ventilation naturelle : une partie des Nacos ouverts
  - Protections solaires : fixes
  - Porte d'entrée fermée

- Témoignages

3 membres du personnel ont été interrogés. Deux personnes sont très satisfaites des brasseurs et mettent en fonctionnement le brasseur au-dessus d'eux lorsqu'il en ressent le besoin. Une personne située près de la façade nord du bâtiment déclare l'utiliser peu (plutôt à la mi-saison) et préfère un ventilateur sur table lorsqu'elle a trop chaud. Pour elle, les brasseurs sont mal positionnés et trop haut pour qu'elle en ressente l'effet.
Ils n'ont pas d'habitude concernant les ouvertures des nacos pour favoriser la ventilation traversante.

- Observations

Les usages sont très différents d'une zone à l'autre de l'open space, le ressenti également. Ceci pourrait être liée à la configuration de l'espace, au positionnement des brasseurs dans l'espace ou aux a priori des usagers quant à cet équipement.

3.2.9. FRR-4C : Open space R+3 – Bâtiment DARWIN

Le bâtiment DARWIN est situé rue Emile Hugot à Sainte-Clothilde. Cet immeuble de bureaux a été conçu par un bureau d'étude bâtiment local pour ses propres besoins. Il est jugé très performant et conçu pour s'adapter aux problématiques du climat tropical.

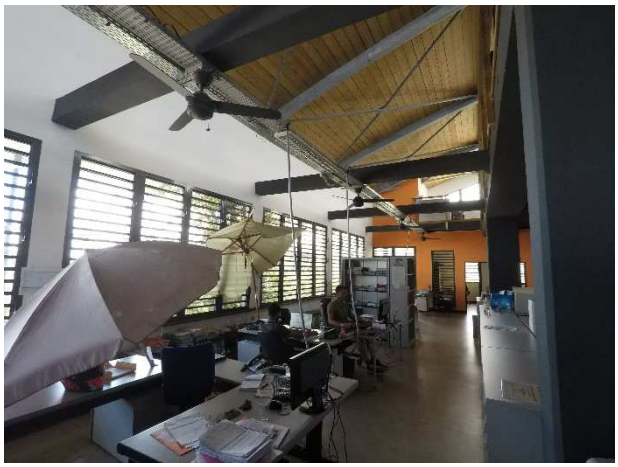
- Description du local

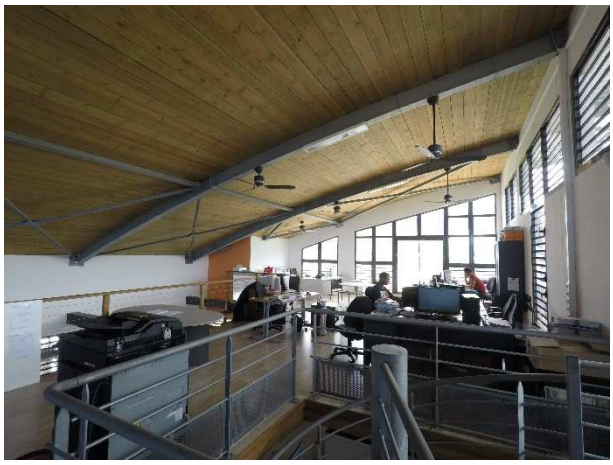
Destination : tertiaire
Orientations menuiseries : nord
Dimensions maximales (m) :
Largeur :
Longueur :
Hauteur : variable (sous pente)
Surface (m²) :
Volume (m3) :
Altimétrie : R+3
Protections : Brises soleils
Ventilation : mécanique
Climatisation : oui (mais non fonctionnelle)
Ventilation naturelle nocturne : oui

- Description des brasseurs

Nombre : 5
Fabricant : Hunter
Modèle : Industry II
Matière : acier
Diamètre : 132 cm
Nombre de pales : 3
Réversible été/hiver : oui
Eclairage intégré : non
Puissance électrique max : 66W (à grande vitesse)
Débit annoncé : 9 000 m³/h (à grande vitesse)
Puissance acoustique max :
Commande/régulation : interrupteur accessible, boîtiers de régulation de vitesses en hauteur

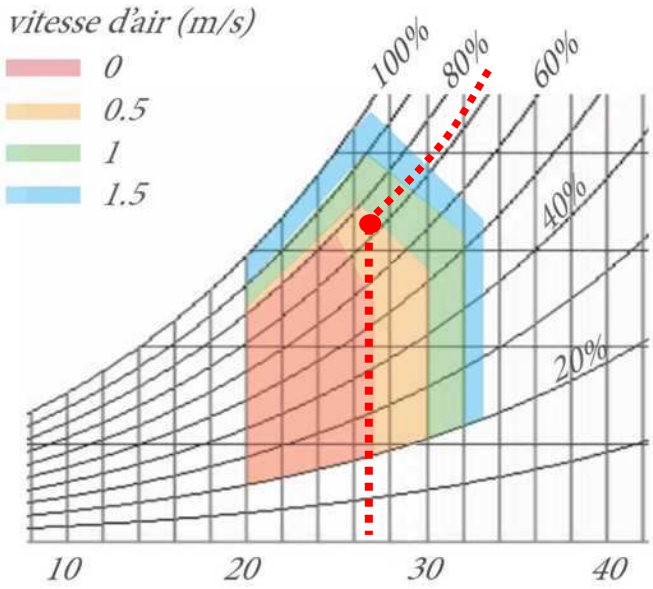
- Images





- Lecture de données

Point	*Date*	*Heure*	*Régulation*	*Vitesse d'air (m/s)*	*Temp. Sèche (°C)*	*Humidité relative (%)*	*Temp. Rayonnante (°C)*
A	*22-10-21*	*11 : 26*	*Arrêt*	*0,21*	*27,3*	*73,4*	*27,1*
A	*22-10-21*	*11 : 30*	*Vmaximale*	*0,93*	*27,4*	*73,5*	*27,2*



- Conditions de prise de mesure
  - Local occupé
  - Ventilation naturelle : Nacos fermés
  - Protections solaires : fixes
  - Porte d'entrée fermée

- Témoignages

1 personne a été interrogé. Cette personne a un bon a priori sur les brasseurs et est contente des brasseurs installés. Elle l'utilise toujours à la vitesse moyenne car à forte vitesse elle se plaint d'assèchement des yeux.

- Observations

RAS

4. Synthèse / Conclusions

4.1. Typologies des locaux

Concernant les dix bâtiments visités en métropole, treize locaux ont été instrumentés. A La Réunion, neuf locaux ont été instrumentés sur quatre bâtiments. Nous pouvons distinguer quatre typologies :

Typologie A : grande hauteur et grande surface

Local	Hauteur sous plafond	Surface (m^2)	Volume (m^3)	Nombre brasseur d'air	Ratio m^2/brasseur d'air	Ratio m^3/brasseur d'air	Diamètre brasseur d'air utilisé (m)	Ratio m^2/mBA
Salle de danse (EMDAL)	3.50	150	525	4	37,5	131	0,86	43,60
Dojo (Gymnase)	5,05	105	530	5	21	103	1,42	14,79
Salle de musculation (Gymnase)	5,05	125	631	5	25	126	1,42	17,60
Salle polyvalente (GS Vedène)	2,40 à 4,40	88	252	6	14,6	42	0,96	15,20
Hall d'entrée (Ecole de voile)	4,02	174	650	5	34,8	130	1,32	26,36
Réfectoire (Ecole Jean Moulin)	3,66	242	886	6	40,3	147	1,32	30,53

Typologie B : grande hauteur et petite surface (maison)

Local	Hauteur sous plafond	Surface (m^2)	Volume (m^3)	Nombre brasseur d'air	Ratio m^2/brasseur d'air	Ratio m^3/brasseur d'air	Diamètre brasseur d'air (m)	Ratio m^2/mBA
Villa Fallourd	4,30	45	122	1	45	122	1,40	32,14
La Bédouide (villa)	4,66	33	151	1	33	151	1,40	23,57

Typologie C : petite-moyenne hauteur et petite surface

Local	Hauteur sous plafond	Surface (m^2)	Volume (m^3)	Nombre brasseur d'air	Ratio m^2/brasseur d'air	Ratio m^3/brasseur d'air	Diamètre brasseur d'air (m)	Ratio m^2/mBA
Logement social (Baccia Dona)	2,50	19	47	1	19	47	1,32	14,39
Salle de réunion (EnvirobatBDM)	2,24 à 2,45	52	122	2	26	61	0,96	27,08
Bureau (Tour du Valat)	2,66	25	66	2	12,5	33	1,32	9,46
Loge gardien (Ecole Jean Moulin)	2,78	14	39	1	14	39	1,32	10,60
Salle de TD (ESIROI)	2.78	49	136	6	8.16	22.66	Non disponib.	Non disponib.
Salle de réunion (ESIROI)	3.50	42	147	4	10.5	36.75	1.32	7.95
Salle de réunion (CIRBAT)	3.00	35	105	2	17.5	52.5	1.32	13.26
Laboratoire pathologies des bois (CIRBAT)	3.00	25	75	2	12.5	37.5	1.32	9.46
Bureau des techniciens (Hôtel de Région)	2.70	27	73	2	13.5	36.5	1.32	10.22

Bureau des standardistes (Hôtel de Région)	2.70	17	46	1	17	46	1.32	12.88

Typologie D : petite hauteur et grande surface

Local	Hauteur sous plafond	Surface (m^2)	Volume (m^3)	Nombre brasseur d'air	Ratio m^2/brasseur d'air	Ratio m^3/brasseur d'air	Diamètre brasseur d'air (m)	Ratio m^2/mBA
Salle de motricité (GS Vedène)	2,60	117	304	2	58,5	152	0,86	67,67

Le ratio m^2/brasseur d'air nous indique le nombre de m^2 affecté à chaque brasseur d'air pour chaque local. Ce ratio est corrigé, en le divisant par le diamètre des brasseurs installés, pour obtenir m^2/mBA, afin de ramener la surface affectée à un diamètre fictif de 100cm et pouvoir ainsi comparer les différentes installations.

Le ratio m^3/brasseur d'air indique le nombre de m^3 affecté à chaque brasseur. Cet indicateur est surtout intéressant pour prendre en compte les phénomènes de destratification en hiver, pour les locaux de grande hauteur (typologies A et B).

D'une manière générale, concernant la répartition des brasseurs dans les locaux nous constatons, à l'aide des ratios m^2/brasseur d'air, m^2/mBA et m^3/brasseur d'air, que leur implantation n'est pas homogène. La densité de brasseurs peut varier du simple ou double au sein d'une même typologie de locaux.

D'un côté, les plus petits ratios se trouvent dans les locaux à faible surface (typologie C), à l'exception des maisons individuelles. D'un autre côté, les plus grands ratios sont constatés dans les grandes surfaces (typologie A, sauf salle polyvalente). Cela montre que, lorsqu'il s'agit des grandes surfaces et volumes, la densité diminue par rapport aux petites surfaces.

D'un point de vue géographique, nous ne constatons pas de variations significatives de ces ratios entre les locaux instrumentés en métropole et à La Réunion (Esiroi, Cirbat et Hôtel de Région, typologie C). Néanmoins, une densité des brasseurs légèrement plus forte dans certains locaux de La Réunion est constatée.

Pour info, les locaux 'Open space r+1', 'Open space r+2' et 'Open space r+3' du bâtiment DARWIN à La Réunion ne sont pas intégrés dans les tableaux ci-dessus par manque des données.

4.2. Brasseurs instrumentés

On distingue sept marques et treize modèles différents audités, leurs caractéristiques principales annoncées par les fabricants sont les suivantes :

Marque	Modèle	Diamètre (cm)	Nombre pales	AC/ DC	Eté/ Hiver	Eclairage intégré	Puissance max (W)	Débit (m^3/h)	Efficacité à vitesse maximale (m^3/Wh)	Prix (€)[3]
FARO	INDUS	140	3	AC	Oui	Non	47,6	9300	195	75-135
FARO	POLARIS	132	3	DC	Oui	Oui	35	9860	282	250-350
FARO	LAKKI	132	3	DC	Oui	Non	50	[4]	[4]	380-400
FARO	LANTAU	132	3	DC	Oui	Non	65	8853	136	255-295
FARO	TIMOR	132	4	DC	Oui	Oui	50	8056	161	225-290
S&P	HTB 90	96	3	AC	Oui/Non[1]	Non	55	6000	109	100-125
HELIOS	DVW	140	3	AC	Oui	Non	75	13000	173	110-260
FRICO	ICF	142,2	3	AC	Oui	Non	70	13500	193	220-230
HUNTER	INDUSTRIE	132	3	AC	Oui	Non	70	13600	194	215-245
HUNTER	INDUSTRIE II	132	3	AC	Oui	Non	66	9000	136	270-400
HUNTER	CARERA	132	3	AC	Oui	Non	65	9742	150	260-425
EXHALE	-	86	0	DC	[2]	Oui	50	6900	138	690-700
VORTICE	[5]	[5]	[5]	[5]	[5]	[5]	[5]	[5]	[5]	[5]

(1) Oui (Salle polyvalente GS Vedène) / Non (Salle de réunion EnvirobatBDM)
(2) Le modèle Exhale propose 6 vitesses, mais l'inversion du sens de rotation des pales n'est pas possible. Les vitesses plus faibles (1 et 2) peuvent se comparer avec le mode hiver d'autres marques
(3) Les prix affichés sont ceux trouvés sur internet (décembre 2021), fourniture TTC avec une fourchette minimum-maximum en fonction du distributeur
(4) Donnée introuvable
(5) Modèle non trouvé. Données techniques non disponibles.

Nous constatons que, d'une part, certaines caractéristiques sont communes à une grande majorité des brasseurs utilisées, comme leur diamètre (132-140 cm) et le nombre de pales (3). Cela contraste avec l'offre sur le marché, qui propose des brasseurs avec des diamètres supérieures comme 150 ou 180 cm voire plus et parfois avec 5 pales.

En revanche, les différences sont plus visibles lorsqu'il s'agit des puissances maximales. Elles varient du simple (35 W) au double (70 W), avec une moyenne d'environ 55 W. Les débits proposés par les fournisseurs montrent également des différences importantes (de 6000 à 13500 m^3/h). Ces deux facteurs combinés nous donnent l'efficacité de chaque brasseur. Nous constatons, sans surprise, des variations du simple pouvant aller jusqu'à deux fois et demi (de 106 à 282 m^3/Wh).

Concernant l'aspect financier, les prix sont globalement homogènes dans la presque totalité des cas, sauf pour le modèle Lakki de Faro et le brasseur Exhale.

4.3. Vitesses d'air

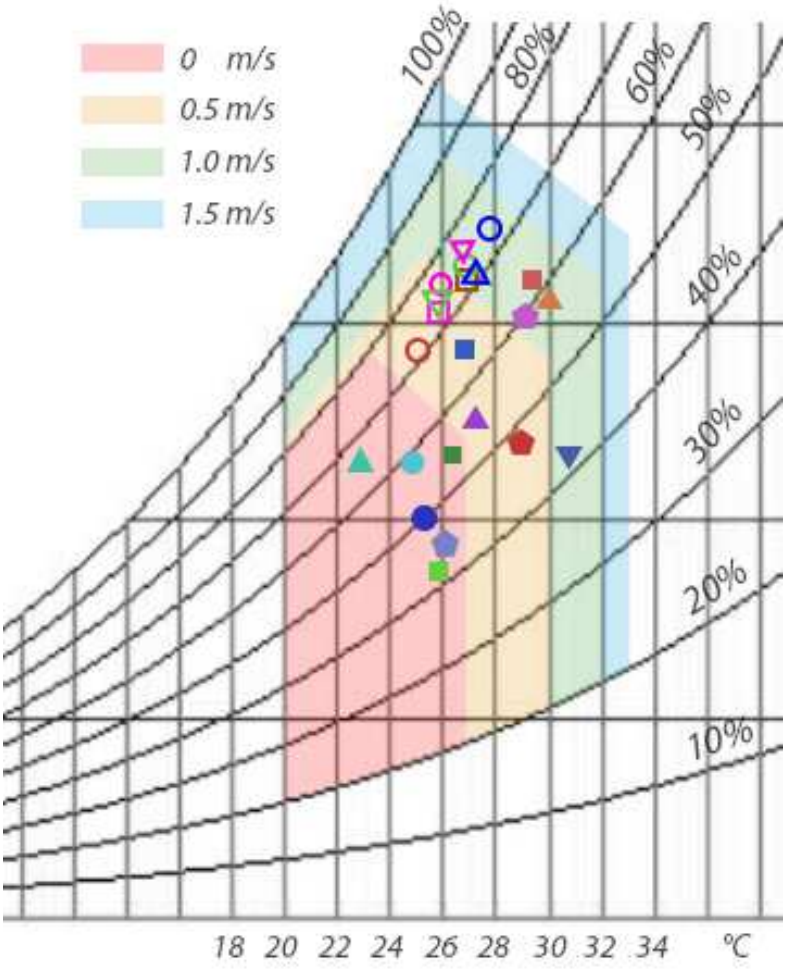
Pour évaluer le confort dû aux brasseurs dans chaque local, nous prenons le diagramme de Givoni comme modèle intégrant les vitesses d'air.

'Le diagramme de Givoni établit pour une activité sédentaire et avec un habillement adapté à l'été, sur le diagramme de l'air humide, des zones de confort correspondant à différentes plages de vitesse d'air (jusqu'à 1,5 m/s, vitesse au-delà de laquelle un risque de nuisance existe).' – Extrait du guide Bio-tech – Confort d'été passif – ARENE Ile de France – ICEB.

Le graphique ci-dessous nous montre les températures/humidités moyennes de chaque opération visitée.

Locaux en région PACA :

- EMDAL
- Villa Fallourd
- Dojo-Gymnase
- Salle Musculation-Gymnase
- Logement Baccia Dona
- Salle réunion EnvirobatBDM
- Salle Polyvalente – GS Vedène
- Salle Motricité – GS Vedène
- Bureau – Tour du Valat
- Villa – La Bédouide
- Hall d'entrée – Base de voile
- Réfectoire – Ecole Jean Moulin
- Loge Gardien – Ecole Jean Moulin



Locaux à La Réunion :

- Salle de réunion CIRBAT
- Salle de réunion ESIROI
- Laboratoire CIRBAT
- Salle TD ESIROI
- Open space r+1 DARWIN
- Bureau techniciens Hôtel de Région
- Open space r+2 DARWIN
- Open space r+3 DARWIN
- Bureau standardistes Hôtel de Région

Pour chaque local, la vitesse nécessaire (selon le modèle Givoni) est définie pour garantir le confort, selon la plage de température-humidité donnée. Ainsi, nous trouvons que pour différents locaux, et en fonction de données recueillies (qui sont partielles et représentatives d'un moment donné), la vitesse d'air nécessaire sera différente.

Par exemple, pour la salle polyvalente (GS Vedène), la température moyenne est d'environ 26°C, avec une humidité relative moyenne d'environ 46%. La vitesse d'air nécessaire selon Givoni serait de 0 m/s, c'est-à-dire nulle. Avec ces conditions hygrothermiques, l'effet 'brise d'été' n'est pas nécessaire.

Pour le dojo (gymnase), la température moyenne est d'environ 29°C, avec une humidité relative moyenne d'environ 47%. La vitesse d'air nécessaire selon Givoni serait d'environ 0,5 m/s.

Finalement, pour le réfectoire (Ecole Jean Moulin), la température moyenne est d'environ 30°C, avec une humidité relative moyenne d'environ 59%. La vitesse d'air nécessaire selon Givoni serait d'environ 1 m/s.

Ces trois cas nous montrent que, selon les conditions hygrothermiques recueillies lors des instrumentations, les vitesses d'air nécessaires seront différentes pour garder une conformité vis-à-vis du modèle Givoni.

Les tableaux ci-dessous résument ces propos pour chaque local en fonction de l'implantation de l'anémomètre, soit sous les brasseurs, soit à environ 150 cm, et montrent cette 'conformité' à Givoni.

4.3.1. Vitesses d'air sous les brasseurs

Local	Vitesse constatée (Vmin-Vmax)	Vitesse nécessaire Givoni[1]	0,4 < V < 0,6 m/s	V > 0,9 m/s
Ecole de danse	/ - 0,19	< 0,50	Non	Non
Villa Fallourd	[2]	< 0,50	[2]	[2]
Dojo (Gymnase)	/ - 1,11	≈ 0,50	Oui	Oui
Salle de musculation (Gymnase)	/ - 0,25[3]	≈ 1,00	[3]	[3]
Logement social (Baccia Dona)	0,34 - 0,69	≈ 0,50	Oui	Non
Salle de réunion (EnvirobatBDM)	1,04 - 1,70	< 0,50	Oui	Oui
Salle polyvalente (GS Vedène)	0,20 - 0,40	< 0,50	Oui	Non
Salle motricité (GS Vedène)	0,27 - 0,31	< 0,50	Non	Non
Bureau (Tour du Valat)	[4]	≈ 0,50	Oui/Oui	Non/Oui
Villa La Bédouide	0,33 - 1,24	< 0,50	Oui	Oui
Hall d'entrée (Ecole de voile)	0,87 - 1,43	≈ 1,00	Oui	Oui
Réfectoire (Ecole Jean Moulin)	0,81 - 1,06	≈ 1,00	Oui	Oui
Loge gardien (Ecole Jean Moulin)	0,62 - 0,95	≈ 1,00	Oui	Oui
Salle TD ESIROI	[2]	≈ 1,00	[2]	[2]
Salle de réunion ESIROI	/ - 0.36	≈ 0,50	Non	Non
Salle de réunion CIRBAT	[2]	≈ 1,00	[2]	[2]
Laboratoire pathologies bois CIRBAT	[2]	≈ 1,00	[2]	[2]
Bureau techniciens Hôtel de Région	/ - 0.23	≈ 0,50	Non	Non
Bureau standardistes Hôtel de Région	/ - 0.35	≈ 0,50	Non	Non
Open space r+1 DARWIN	/ - 0.38	≈ 1,00	Non	Non
Open space r+2 DARWIN	/ - 0.93	≈ 0,50	Oui	Oui
Open space r+3 DARWIN	/ - 0.93	≈ 1,00	Oui	Oui

(1) Pour chaque salle et selon les conditions hygrothermiques données (non extrapolables sur une année)
(2) La prise de mesure n'a pas été réalisée sous le brasseur. Voir le tableau 4.3.2
(3) Erreur lors de la prise de mesure. Les données ne sont pas exploitables
(4) Modèle Hunter : 0,24 – 0,44 m/s ; Modèle Faro : 0,90 – 2,01 m/s

Les colonnes '0,4 < V < 0,6 m/s' ainsi que 'V > 0,9 m/s' indiquent, pour chaque local, si les brasseurs atteignent ces vitesses. Pour rappel, les professionnels de la construction considèrent une baisse de 2°C de température ressentie avec une vitesse d'environ 0,5 m/s et de 4°C avec 1 m/s.

Concernant les locaux en région PACA, la grande majorité des brasseurs génèrent des vitesses entre 0,4 et 0,6 m/s, à l'exception de ceux installés dans l'Ecole de danse et dans la salle de motricité (GS Vedène). D'un autre côté, presque la moitié des brasseurs (5 sur 11) n'arrivent pas à générer une vitesse supérieure à 0,9 m/s.

Pour les locaux à La Réunion, aucun brasseur n'arrive à générer des vitesses entre 0,4 et 0,6 m/s, à l'exception des ceux installés dans l'Open space r+2 et r+3 du bâtiment Darwin. Ce sont également ces deux locaux qui peuvent bénéficier, au besoin, de vitesses légèrement supérieures 0.9 m/s.

Au total, sur 22 locaux instrumentés, nous avons pu récupérer des données sur 17 locaux.

- **11 locaux sur 17, soit environ 65% arrivent à générer des vitesses entre 0.4 m/s et 0.6 m/s (ce qui correspond à une diminution de 2°C de température ressentie). Sur les 11 locaux, 9 sont situés en PACA et 2 à La Réunion.**
- **9 locaux sur 17, soit environ 52%, génèrent une vitesse supérieure à 0.9 m/s (diminution d'environ 4°C de température ressentie). Sur les 9 locaux, 7 sont situés en PACA et 2 à La Réunion.**

4.3.2. Vitesses d'air à environ 150 cm

(1) Pour chaque salle et selon les conditions hygrothermiques données (non extrapolables sur une année)
(2) La prise de mesures n'a été réalisée que sous le brasseur. Voir le tableau 4.3.1

Local	Vitesse constatée (Vmin-Vmax)	Vitesse nécessaire Givoni[1]	0,4 < V < 0,6 m/s	V > 0,9 m/s
Ecole de danse	/ - 0,27	< 0,50	Non	Non
Villa Fallourd	0,27 - 0,65	< 0,50	Oui	Non
Dojo (Gymnase)	[2]	≈ 0,50	[2]	[2]
Salle de musculation (Gymnase)	[2]	≈ 1,00	[2]	[2]
Logement social (Baccia Dona)	[2]	≈ 0,50	[2]	[2]
Salle de réunion (EnvirobatBDM)	0,19 - 0,28	< 0,50	Non	Non
Salle polyvalente (GS Vedène)	0,25 - 1,01[3]	< 0,50	Oui	Oui
Salle motricité (GS Vedène)	0,32 - 0,49	< 0,50	Oui	Non
Bureau (Tour du Valat)	0,30 - 0,43[4]	≈ 0,50	Oui	Non
Villa La Bédouide	[2]	< 0,50	[2]	[2]
Hall d'entrée (Ecole de voile)	0,23 - 0,34	≈ 1,00	Non	Non
Réfectoire (Ecole Jean Moulin)	0,18 - 0,29	≈ 1,00	Non	Non
Loge gardien (Ecole Jean Moulin)	0,23 - 0,56	≈ 1,00	Oui	Non
Salle TD ESIROI	0.11-0.77	≈ 1,00	Oui	Non
Salle de réunion ESIROI	/ - 0.30	≈ 0,50	Non	Non
Salle de réunion CIRBAT	/ - 0.34	≈ 1,00	Non	Non
Laboratoire pathologies bois CIRBAT	/ - 0.49	≈ 1,00	Oui	Non
Bureau techniciens Hôtel de Région	/ - 0.76	≈ 0,50	Oui	Non
Bureau standardistes Hôtel de Région	[2]	≈ 0,50	[2]	[2]
Open space r+1 DARWIN	[2]	≈ 1,00	[2]	[2]
Open space r+2 DARWIN	[2]	≈ 0,50	[2]	[2]
Open space r+3 DARWIN	[2]	≈ 1,00	[2]	[2]

(3) Nota : les brasseurs étaient en mode hiver, la mesure a été prise au droit d'un mur périphérique. Cela nous montre, en comparaison avec le tableau 4.3.1, que le flux d'air était plus fort sur la périphérie du local, pouvant aller jusqu'à 1 m/s, et plus faible au centre, sous les brasseurs.
(4) Les valeurs définies représentent les vitesses des deux brasseurs activés simultanément.

Ce tableau nous montre une diminution assez importante des vitesses d'air, en comparaison avec les mesures prises sous les brasseurs. Nous retenons quinze locaux exploitables.

Concernant les locaux en région PACA, 4 brasseurs sur 9 n'arrivent pas à générer une vitesse d'air entre 0,4 et 0,6 m/s, tandis qu'un 1 brasseur sur 9 atteint une vitesse supérieure à 0,9 m/s, sur la salle polyvalente (GS Vedène). Curieusement, les brasseurs installés dans ce local sont en mode hiver, donc nous ne pouvons pas les retenir comme satisfaisants pour le confort d'été, car cette vitesse est prise collée contre un mur périphérique.

Pour les locaux à La Réunion, 3 brasseurs sur 5 arrivent à générer des vitesses entre 0,4 et 0,6 m/s. En revanche, aucun brasseur ne génère pas des vitesses supérieures à 0.9m/s.

Au total, sur 22 locaux instrumentés, nous avons pu récupérer des données sur 14 locaux.

- **8 locaux sur 14, soit environ 57% arrivent à générer des vitesses entre 0.4 m/s et 0.6 m/s (ce qui correspond à une diminution de 2°C de température ressentie). Sur les 8 locaux, 5 sont situés en PACA et 3 à La Réunion.**
- **Aucun brasseur génère une vitesse supérieure à 0.9 m/s (diminution d'environ 4°C de température ressentie).**

4.4. Conclusions

L'ensemble des visites nous a permis d'avoir une vision globale de l'utilisation des brasseurs dans les bâtiments durables méditerranéens. Même si ces retours n'ont pas une vocation à généraliser des enseignements, ou à tracer des grandes lignes de conduite et perception des usagers, nous pouvons néanmoins proposer certains sujets qui, à notre sens, peuvent avoir un intérêt pour les phases suivantes du projet BRASSE.

Mode hiver / Mode été

Certains usagers n'ont pas connaissance du mode hiver. Cela a été constaté dans la typologie A (grand volume et grande surface). Les économies d'énergie de chauffage ne sont donc pas réalisées. Comme exemple : les brasseurs d'air de la salle polyvalente (GS Vedène) tournent en mode hiver toute l'année, mais personne ne l'a remarqué. Le changement été/hiver se fait individuellement sur chaque brasseur d'air et il faut monter à 3-4 mètres de hauteur. Le résultat est que personne n'est chargé de le faire. Pour le petit bureau de l'école de voile, le même constat a été fait. Cela produit chez les usagers une impression de sous-performance des brasseurs d'air voire d'inefficacité.

Pour la typologie B (maisons individuelles), la maîtrise des brasseurs est plus aboutie, et le mode hiver est utilisé au besoin. Sur une des maisons, des capteurs de température ont été posés à plusieurs endroits (rdc, mezzanine, extérieur, sous véranda…) pour activer le brasseur d'air lorsque le delta température > 2-3°C. Toujours pour cette typologie, le mode été n'est pratiquement utilisé du fait d'une bonne conception et usage des maisons.

Ventilation naturelle

La ventilation par ouverture de fenêtres est perçue globalement comme un moyen efficace de rafraîchissement (salle muscu du gymnase, salle motricité GS, hall d'entrée école voile et bureau Tour du Valat). Le couplage de cette ventilation avec les brasseurs d'air est considéré plus performant que l'utilisation des brasseurs d'air sans ventilation, et ce malgré des températures élevées à l'extérieur.

Cela est parfois contreproductif, mais s'explique, dans certains cas, par l'absence d'une ventilation nocturne naturelle et l'absence de déchargement thermique des locaux en période nocturne.

Dans la salle de réunion ESIROI, les mesures montrent que, à la vitesse maximale, le flux d'air généré a une vitesse identique avec ou sans ventilation naturelle (ouverture/fermeture des nacos). La ventilation a donc peu d'impact sur les vitesses des brasseurs d'air.

Appropriation des outils de commande (accessibilité, usage de différentes vitesses)

La plupart des interrogés perçoit une bonne appropriation des commandes. Aucune préférence n'a été exprimée entre boîtier et télécommande, sauf, dans le cas d'un échange avec un installateur, une préférence par les brasseurs d'air à courant continu (télécommande, plus efficaces). Sur une visite, la pile de la télécommande était déchargée (Baccia Dona) mais a été rapidement remplacée. Un autre usager a exprimé une légère préférence par les télécommandes : 'pour pouvoir contrôler les brasseurs d'air assis depuis mon bureau'.

D'un autre côté, l'accessibilité aux commandes est bonne. Cependant, un usager (La Bédouide) a signalé que le boîtier était très haut et qu'il devait monter sur un tabouret pour accéder aisément aux commandes.

Concernant certains locaux à La Réunion, des usagers ont constatés une fragilité dans la commande (Laboratoire Pathologies des bois – CIRBAT) ou des défaut majeurs (Salle de réunion – CIRBAT). Dans la salle de réunion ESIROI, le bouton sur la commande des brasseurs est un bouton commandant l'éclairage lorsqu'ils en sont équipés. Les usagers ne connaissaient pas son utilité et déduisaient un dysfonctionnement de l'installation puisque son action n'induisait aucune action.

Acoustique

D'une manière générale, l'effet acoustique des brasseurs d'air n'est pas gênant pour les usagers. Cependant, certains brasseurs d'air à vitesse maximale provoquent une gêne constatée (La Bédouide, salle polyvalente GS Vedène et dans une moindre mesure la salle de réunion EnvirobatBDM). Ce constat a été également repéré dans les locaux à La Réunion (Salle TD ESIROI, Hôtel de Région…). Cette gêne amène les usagers à utiliser une vitesse plus faible. Certains usagers évoquent de problèmes de concentration.

D'un autre côté, un des brasseurs d'air de la salle polyvalente GS Vedène (1 sur 6) génère un bruit mécanique de friction entre le moteur et les pales. On constate également sur cette opération un bourdonnement lorsqu'on active les six brasseurs d'air au même temps, en vitesse maximale.

Une mauvaise fixation des brasseurs peut également générer des bruits non contrôlés ainsi qu'une sensation d'insécurité. C'est le cas de certains brasseurs de l'école de voile à Antibes et dans la salle de réunion CIRBAT.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIETE ET D'EFFICACITE

BRASSE
BRASSEUR D'AIR :
UNE SOLUTION
DE SOBRIÉTÉ
ET D'EFFICACITÉ

Etude 1 – Etudes préalables

Rapport 1.3 – Retour des professionnels du bâtiment

RAPPORT FINAL

surya CONSULTANTS
ISEA

Mars 2022

FAITS & CHIFFRES

BRASSE
Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité

Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques

Les brasseurs d'air en plafond permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement de locaux. Ils sont par conséquent une solution permettant de **s'adapter au changement climatique**. Mais ces équipements sont peu préconisés par les équipes de conception de bâtiment. D'un point de vue technique, cela est dû à un **manque de connaissance** sur ces équipements, leurs **performances** et leur **effet sur la qualité des ambiances intérieures**. Cela pourrait également être dû à des **raisons socio-économiques** non encore identifiées.

Ces constats ont fait naître le programme de recherche : BRASSE[1].

Ce projet de recherche vise principalement à **enrichir** le secteur du bâtiment de connaissances sur ces équipements, de développer des **méthodes** et outils d'aide à l'intégration et à **diffuser** cette connaissance.

Les axes de recherche :

- Performances des brasseurs
- Effets sur la qualité des ambiances intérieures
- Outil d'aide à la conception
- Identification des freins sociologiques
- Diffusion des connaissances

Les ambitions du projet sont :

- Réaliser un important **retour d'expérience** à travers 4 approches :
    1. Retour d'expérience technique préliminaire
    2. Analyse en sciences sociales
    3. Mesure sur site pour la validation de la méthodologie
    4. POE

- Établir un **protocole standardisé** de détermination des performances des brasseurs d'air présents sur le marché et **approfondir l'étude** de brasseurs d'air.
- Définir une **méthode** permettant de proposer une **conception de locaux équipés** de plusieurs brasseurs d'air (calepinage) prenant en compte les principaux paramètres : thermiques, acoustiques et aérauliques.
- **Comprendre le rapport des utilisateurs et des professionnels** aux brasseurs d'air quels que soient leurs profils, le climat ou le territoire dans lequel ils évoluent.
- **Diffuser l'information** pour faire monter en compétence l'ensemble de la filière bâtiment sur ces sujets.

Ce programme de recherche rassemble six entités regroupant des compétences pluridisciplinaires :

- **Surya consultants :** bureau d'études, recherches et développement/ Thermique – énergie – environnement – modélisation (pilote du projet)
- **LASA :** laboratoire privé en acoustique
- **ISEA :** cabinet de recherche et de conseil en sciences sociales – spécialisé en analyse et intervention comportementale
- **Laboratoire PIMENT – Université publique de la Réunion :** Génie de l'Habitat et génie thermique
- **Laboratoire Eiffel aérodynamique, filiale du groupe CSTB :** aérodynamique - expérimentation
- **EnvirobatBDM :** centre de ressources et démarche bâtiments durables méditerranéens – retour d'expérience

Le programme BRASSE est lauréat de l'appel à projets de recherche **Bâtiments responsables 2020** géré par l'Ademe.

[1] BRasseur d'Air : une Solution de Sobriété et d'Efficacité

REMERCIEMENTS

Le présent article analyse les résultats d'un sondage réalisé en collaboration avec le consortium B-AIR composé de Vincent PRIORI - INDDIGO, Robert CELAIRE, Marjorie SINCZAK – MS Atelier Architecture et Laurent SEAUVE – Equinoxe.

CITATION DE CE RAPPORT

LE BERIGOT T., BŒUF F., LITVINE D., DELAAGE R., 2022. Brasseurs d'air : Retour des professionnels du bâtiment - Projet BRASSE

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de convention : 2004C0018

Appel à projets de recherche Vers des Bâtiments Responsables à l'horizon 2020"

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Tangi LE BERIGOT & Frédéric Bœuf (Surya Consultants) - Dorian LITVINE & Rémi DELAAGE (ISEA-SSE)

Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline

Direction/Service : DVTD/SB

BRASSEURS D'AIR : RETOUR DES PROFESSIONNELS DU BATIMENT
Analyse des résultats d'un questionnaire exploratoire

Tangi LE BERIGOT[1], Frédéric BŒUF[1], Dorian LITVINE[2], Rémi DELAAGE[2],
[1]Surya Consultants, BRASSE [2]ISEA/SSE Conseil, BRASSE

Mots clés : brasseur d'air, enquête, professionnel, perception, usage, B-Air, BRASSE

*Cette analyse s'inscrit dans le programme de recherche « BRASSE : Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques. » (Projet lauréat de l'appel à projets de recherche Bâtiments responsables 2020 géré par l'ADEME[2]) ainsi que dans le projet B-Air (*projet retenu dans le cadre du programme « Outre-Mer pour des Bâtiments Résilients et Économes en Énergie » (OMBREE), soutenu par l'AQC et l'ADEME[3]).

Une démarche exploratoire

Dans le cadre d'un partenariat entre les projets BRASSE et B-Air, une enquête a été réalisée via un questionnaire diffusé en ligne entre le 04 avril et le 03 juin 2022. L'objectif de cette enquête était de recueillir l'avis, les perceptions et les recommandations des professionnels du bâtiment vis-à-vis des brasseurs d'air. Le présent rapport synthétise les principaux résultats de cette enquête inédite.

Description de l'échantillon

275 professionnels du bâtiment ont répondu à cette enquête, de la maîtrise d'ouvrage (notée MOA) (14%) à l'entreprise (5%) en passant par la maîtrise d'œuvre (24% d'architectes et 43% autres membres de la maîtrise d'œuvre) – cf. Figure 1. L'échantillon interrogé est situé à la fois en France Métropolitaine et en Outre-mer – cf. Figure 2. Les répondants travaillant principalement en métropole ont leur activité concentrée en grande majorité dans le quart sud-est de la métropole (46% des répondants travaillent en PACA, 40% en Occitanie et 23% en Auvergne-Rhône-Alpes – cf. Figure 3). Les répondants postés principalement dans les DROM-COM travaillent en majorité à la Réunion (44% des répondants - cf. Figure 4). Toutes les régions de France sont représentées dans l'échantillon par au moins 10 répondants[4].

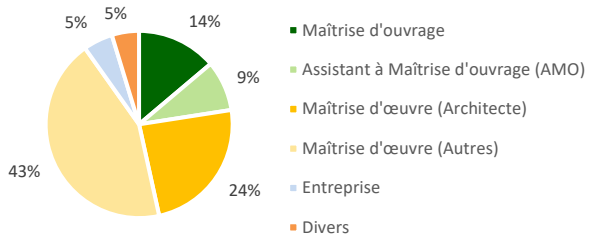


Figure 1 : Décomposition de l'échantillon suivant le métier du répondant [n=275]

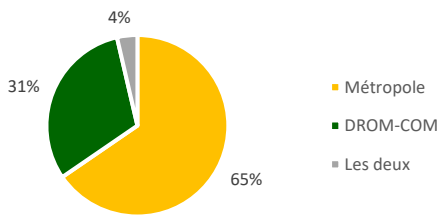


Figure 2 : Décomposition de l'échantillon suivant le secteur géographique d'activité du répondant [n=275]

[2] Plus d'information sur https://www.envirobatbdm.eu/index.php/nos-actions/etude-brasseurs-dair

[3] Plus d'information sur https://batiments-outremer.fr/appels-a-projets-pour-des-batiments-ultramarins-economes-en-energie/

[4] Dans une démarche exploratoire, nous ne cherchions pas une représentativité statistique de l'échantillon vis-à-vis de la population mère des "professionnels du bâtiment". Cependant, nous avons cherché à alléger le biais de non-réponse via une invitation à enquête assez large (thématique présentée). Mais les canaux d'invitation, de proche en proche autour des réseaux de professionnels, ont pu toucher majoritairement des professionnels intéressés de près ou de loin par le sujet de l'enquête

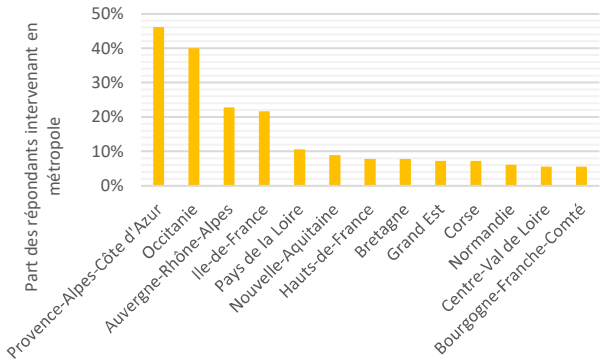


Figure 3 : Région d'activité des professionnels travaillant principalement en métropole [n=180]

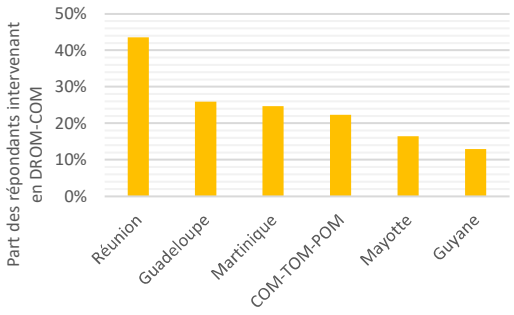


Figure 4 : Région d'activité des professionnels travaillant principalement dans les DROM-COM [n=85]

Les répondants interviennent en majorité sur des projets de logements (55%) et de bureaux (51%) – cf. Figure 5. L'ensemble des typologies est représenté par au moins 43 individus.

Les répondants ont majoritairement plus de 10 ans d'expérience (65% - cf. Figure 6). Ceci permet de nous assurer que la majorité ont été regard avisé sur le sujet.

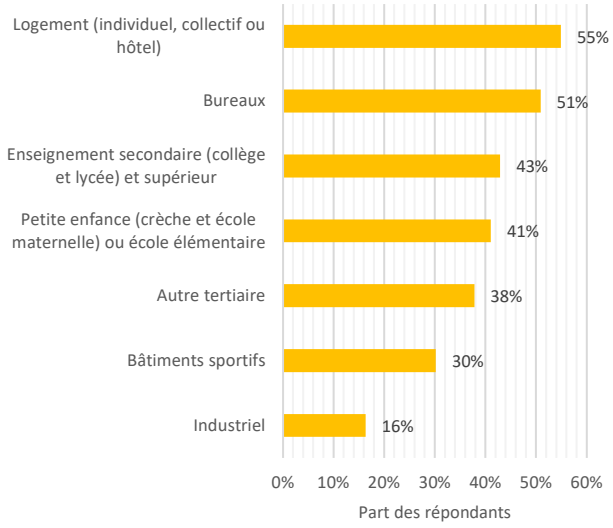


Figure 5 : Typologies des projets sur lesquels travaillent les répondants [% des répondants – n=270]

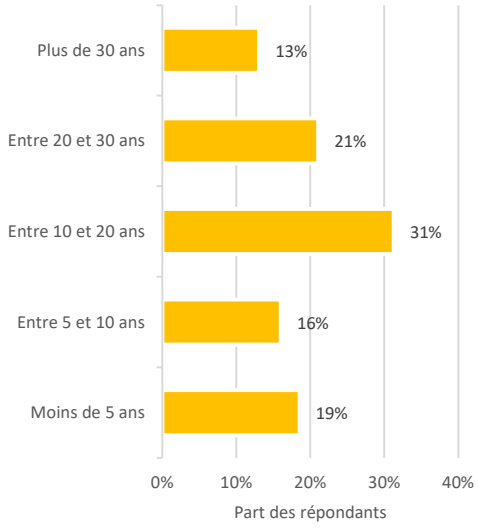


Figure 6 : Nombre d'années d'expérience des répondants [% des répondants – n=275]

Rapport aux brasseurs d'air

Les répondants ont été questionnés dans un premier temps sur leur rapport aux brasseurs d'air.

Le premier constat concerne la terminologie employée. En effet, plusieurs termes sont usités pour désigner les équipements visés dans notre enquête. Les termes les plus courants sont « brasseur d'air » (53% des répondants – cf. Figure 7) et « brasseur d'air plafonnier » (29%). Le terme « ventilateur de plafond » est le troisième terme le plus fréquemment utilisé (14%). Cette information indique qu'une majorité des répondants utilise le terme générique « brasseur d'air » mais que pour une partie non négligeable de l'échantillon, il s'agit d'un équipement situé au plafond. Ce besoin de précision devra être pris en compte dans nos différents éléments de communication.

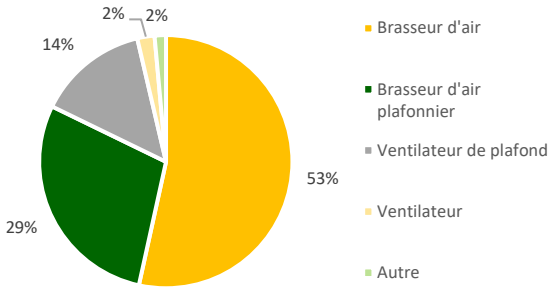


Figure 7 : Comment appelez-vous en général cet équipement ? [% des répondants - n=275]

Pour analyser la perception des brasseurs d'air plafonnier (notés brasseurs d'air) par les professionnels, l'échantillon a été séparé en trois sous-échantillons : Métropole (comprenant les professionnels dont le secteur d'activité se situe principalement en métropole), DROM-COM (comprenant les professionnels dont le secteur d'activité se situe principalement dans l'un des DROM-COM) et Métropole/DROM-COM (comprenant les professionnels intervenant dans les deux zones).

La perception générale des brasseurs d'air est bonne voire très bonne quelle que soit la région (cf. Figure 8). Néanmoins, nous observons que l'avis quant au brasseur d'air est significativement différent (au sens statistique) selon la zone géographique d'activité du répondant (métropole, DROM COM ou les deux[5]). Lorsque le répondant intervient dans les deux zones sa perception/avis général quant au brasseur d'air est plus fortement positif que lorsqu'il opère en métropole uniquement, où l'avis dominant est "bonne". De plus les professionnels qui interviennent dans les deux zones ont des réponses un peu plus regroupées autour de la moyenne (écart-type inférieur pour la perception générale) : ils forment donc un groupe plus homogène dans leur comportement de réponse. Lorsque le répondant intervient uniquement dans les DROM-COM l'avis dominant est « très bonne ».

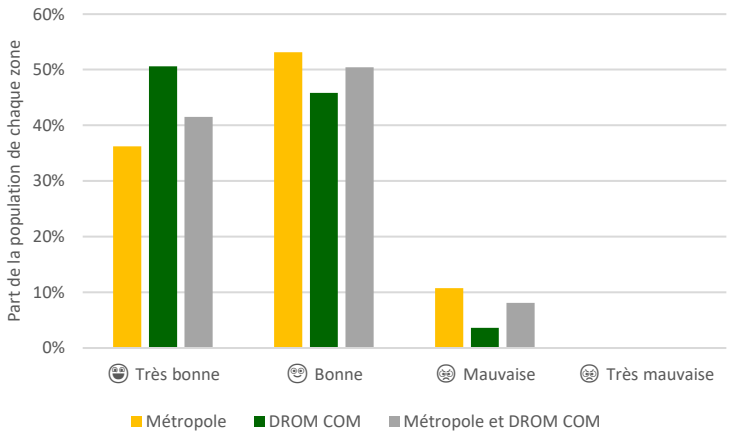


Figure 8 : Perception des brasseurs d'air plafonnier des professionnels en fonction de leur secteur d'activité

[5] La localisation est corrélée à la perception globale (R = 0,17 / p=0,00). Le score moyen de perception globale est significativement différent selon la zone géographique (ANOVA - Statistique de Welch (variances non homogènes) : W (2; 26,4) = 7,0 / p = 0,00)

Les professionnels ayant une appréciation négative des brasseurs d'air (pertinence pour le confort thermique) ont-ils des spécificités ?

Pour qualifier les répondants qui ont un avis négatif quant à la pertinence du brasseur d'air comme solution de confort thermique, il est nécessaire de comparer leur profil avec ceux ayant un avis positif. Les répondants ayant un avis négatif se différencient de ceux ayant un avis positif de par[6]:

Le métier : ils sont en priorité des entreprises et MOA (14% des 14 entreprises et 36 MOA ont un avis négatif)

La zone d'activité principale (métropole, DROM COM, les deux) : ils sont plutôt en Métropole (10% des 177 répondants en Métropole ont un avis négatif contre 3,6% des 83 répondants en DROM COM)

La façon de nommer les brasseurs d'air : ils les nomment en priorité "ventilateur" (1/3 des 6 répondants qui les nomment ainsi ont un avis négatif, contre 5% seulement des 78 qui les nomment "brasseurs d'air plafonniers")

1) Le fait de penser que le brasseur d'air n'est pas une alternative à la climatisation (12% des 73 répondants qui ne pensent pas que les brasseurs d'air soient une alternative ont un avis négatif, contre 5% des 193 qui pensent que c'est une alternative)
2) La perception du répondant quant à sa connaissance des effets thermiques et physiologiques du brasseur d'air : ils disent en majorité ne pas bien connaître ces effets.
3) Le fait d'avoir déjà installé des brasseurs d'air : seuls 5% des 215 répondants ayant déjà prescrit /installé des brasseurs d'air ont un avis négatif contre 22% des 54 répondants n'en n'ayant pas encore prescrit / installé.
4) Quand le répondant a tendance à penser que les brasseurs d'air sont trop couteux, qu'il y a des problèmes d'installation et que la durée de vie constatée est trop faible.
5) Quand le mise en œuvre du brasseur d'air découle en général d'une proposition de la maitrise d'œuvre.

D'autres variables ne sont pas significativement différentes en proportion entre les répondants avec avis négatif et positif. Elles ne sont pas significatives pour différencier les répondants, et donc ne semblent pas en cause dans le fait d'avoir un avis positif ou négatif. Ces variables sont :

- L'ancienneté du répondant dans le secteur du bâtiment
- Le fait de de considérer les brasseurs d'air trop bruyants, dangereux ou pas esthétiques
- Le fait de constater que la commande ne fonctionne pas et que son utilisation est complexe
- Le fait de juger les brasseurs d'air comme inefficaces

Pénétration de l'équipement

Parmi les répondants, 80% ont déjà préconisé/installé des brasseurs d'air.

Cette étude nous apprend que c'est dans le logement que le plus de répondants préconisent/installent des brasseurs d'air (n=107 sur 270 – cf. Tableau 1), puis dans l'enseignement secondaire et supérieur (n=92 sur 270)[7]. Et que les brasseurs d'air sont surtout préconisés/installés dans le neuf (42%) et plus rarement dans la rénovation (7%).

	Nombre de répondant [/270]
Logement (individuel, collectif, hôtellerie)	107
Petite enfance ou primaire	85
Enseignement secondaire et supérieur	92
Bureaux	87
Bâtiments sportifs	35
Autre tertiaire	52
Industriel	16

Tableau 1 : Nombres de répondants préconisant/installant au moins « parfois » des brasseurs d'air en fonction des typologies de bâtiments

Parmi ceux qui n'ont jamais préconisé/installé des brasseurs d'air, 87% déclarent n'avoir jamais eu l'occasion de le faire mais une majorité n'aurait a priori pas de réticence ou d'appréhension si l'occasion se présentait (69% cf. Figure 9).

Pour les 13% restants déclarent ne jamais avoir préconisé/installé de brasseurs d'air puisque « un ou plusieurs éléments [leur] ont empêché de le faire ». Ces éléments sont repris dans le Tableau 2. Dans 71% de cas, l'élément bloquant a été la perception

[6] Le test statistique non paramétrique de Mann-Whitney a été utilisé lorsque la variable à comparer était nominale ou catégorielle et une ANOVA a été utilisée quand elle était de type ratio (échelle).

[7] A été retenu les professionnels déclarant préconiser/installer au moins « parfois » des brasseurs d'air par type de bâtiment.

désuète de l'équipement. Les méconnaissances de l'équipement et l'esthétisme sont les principaux autres éléments bloquant (57%).

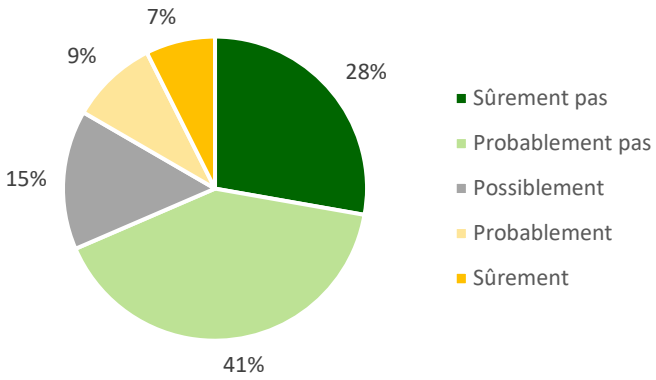


Figure 9 : Réponses à la question « Auriez-vous une réticence / appréhension à préconiser des brasseurs d'air plafonniers ? » posée aux répondants n'ayant jamais eu l'occasion de préconiser/installer des brasseurs d'air (n=48)

	Fréquence
Perception désuète	71%
Méconnaissance	57%
Inesthétisme	57%
Inefficacité thermique	43%
Équipement jugé peu efficace par rapport à la climatisation	29%
Habitude de prescription de climatiseurs à la place	29%
Consommation électrique de l'équipement jugée élevée	29%
Technologie bruyante	29%
Coût élevé	14%
Équipement vecteur de maladies	14%
Fragilité	14%
Difficultés de mise en œuvre liées aux normes et/ou réglementations]	0%
Difficulté d'usage	0%
Dangerosité	0%
Difficultés de conception	0%
Difficultés d'installation	0%

Tableau 2 : Fréquence des éléments ayant empêché la prescription de brasseurs d'air (n=7)

Les retours des usagers

Les professionnels ont été interrogés quant au recueil du retour des usagers. Le Tableau 3 détaille l'ensemble des retours recueillis en fonction des typologies de bâtiment sur lesquels les répondants travaillent.

Les retours positifs "ils permettent des économies d'énergie" et "ils représentent un bon rapport qualité/prix" sont recueillis de manière homogène respectivement par 50 à 60% et 30 à 40% des répondants dans l'ensemble des types de bâtiments dans lesquels sont préconisés /installés des brasseurs d'air.

Ce sont les répondants qui préconisent / installent des brasseurs d'air souvent sur site industriels qui évoquent le plus souvent les retours usager positifs tels que "ils sont agréables", "ils sont efficaces" et "ils améliorent le confort d'été". Ces retours sont les moins souvent évoqués en bâtiment d'enseignement secondaire / supérieur ou en logement (tout en restant sur de valeurs relativement importantes).

C'est dans les bâtiments sportifs qu'est le plus souvent recueilli le retour "les brasseurs d'air améliorent le confort d'hiver", même si le taux de retour de ce type de bâtiment reste faible (12,5%). Ces bâtiments ont des locaux de grand volume, ce constat est donc logique.

Tous les répondants qui préconisent / installent souvent des brasseurs d'air en bâtiment industriel font état « d'aucun retour positif », alors qu'environ 10% de ceux qui préconisent / installent dans les logements font état « d'aucun retour positif » des usagers.

	Logement (individuel, collectif, hôtellerie) (n=107)	Petite enfance ou primaire (n=85)	Enseignement secondaire et supérieur (n=92)	Bureaux (n=87)	Bâtiments sportifs (n=35)	Autre tertiaire (n=52)	Industriel (n=16)
[Ils permettent des économies d'énergies]	52,60%	48,70%	54,80%	57,30%	50,00%	59,20%	62,50%
[Ils sont efficaces]	50,50%	51,30%	46,40%	51,20%	59,40%	57,10%	75,00%
[Ils sont agréables]	45,40%	46,20%	44,00%	50,00%	59,40%	57,10%	68,80%
[Ils améliorent le confort d'été]	76,30%	83,30%	83,30%	86, 6%	81,30%	83,70%	100,00%
[Ils améliorent le confort d'hiver]	12,40%	11,50%	11,90%	12,20%	12,50%	8,20%	6,30%
[Ils représentent un bon rapport qualité/prix]	38,10%	34,60%	34,50%	31,70%	31,30%	32,70%	31,30%
[Je n'ai pas de retours positifs]	9,30%	8,20%	8,70%	5,70%	8, 6%	5,80%	0,00%
[Ils sont trop bruyants.]	40,00%	42,60%	40,30%	39,70%	44,40%	37,50%	38,50%
[Ils sont dangereux.]	17,50%	19,10%	18,10%	19,20%	18,50%	20,00%	7,70%
[Ils ne sont pas esthétiques.]	37,50%	45,60%	47,20%	45,20%	44,40%	37,50%	53,80%
[La commande ne fonctionne pas.]	15,00%	23,50%	16,70%	17,80%	18,50%	27,50%	23,10%
[L'utilisation est complexe.]	7,50%	5,90%	4,20%	5,50%	11,10%	7,50%	7,70%
[La durée de vie constatée est trop faible.]	11,30%	4,40%	9,70%	8, 2%	11,10%	7,50%	7,70%
[Ils sont trop coûteux.]	30,00%	30,90%	26, 4%	28,80%	33,30%	30,00%	30,80%
[Il y a des problèmes d'installation.]	17,50%	20,60%	25,00%	21,90%	14,80%	25,00%	38,50%
[Ils sont inefficaces.]	20,00%	22,10%	16,70%	19,20%	18,50%	15,00%	7,70%
[Je n'ai pas de retours négatifs]	25,20%	20,00%	21,70%	16,10%	22,90%	23,10%	18,80%

Tableau 3 : Fréquence des retours usagers selon le type de bâtiment dans lequel le répondant préconise /installe des brasseurs d'air le plus souvent (en neuf ou rénovation)

Les deux principaux **retours négatifs** sont le bruit (entre 37 et 44%) et le manque d'esthétisme (entre 37% et 54%) quel que soit la typologie de bâtiment.

Les retours négatifs qui suivent concernent le coût et les problèmes d'installation. Des coûts trop élevés sont évoqués plus fréquemment dans les bâtiments de logements, d'accueil de petite enfance et d'enseignement primaire ainsi que dans les bâtiments sportifs (respectivement 30%, 31% et 33%). Les problèmes d'installation des brasseurs d'air sont évoqués par 38% des répondants travaillant sur des bâtiments industriels contre 14,8% de ceux travaillant sur des bâtiments sportifs. Les problèmes d'installation semblent donc plus fréquents dans l'industrie que dans les équipements sportifs.

La durée de vie courte et la complexité de l'équipement sont globalement peu évoquées. Dans l'enseignement, seuls 4,2% des répondants évoquent des retours usager jugeant l'utilisation de cet équipement trop complexe par exemple.

En synthèse, cette analyse permet de constater que les retours positifs des usagers recueillis par les professionnels sont plus importants que les retours négatifs. Néanmoins, seul un quart des répondants déclare n'avoir aucun retour négatif. Les retours négatifs sont donc à analyser plus en détail afin de proposer des réponses ou solutions visant des installations répondant en tous points aux attentes des usagers.

Enseignements techniques

Le questionnaire proposé permet également d'obtenir des retours techniques sur les préconisations faites par les professionnels ainsi que sur leurs méthodes de dimensionnement.

Les professionnels ont répondu à la question « Pour vous, dans quelles conditions le brasseur d'air plafonnier est-il utile ? » (cf. Figure 10).

Une large majorité juge l'installation de brasseurs pertinente dans les bâtiments non climatisés que cela soit en métropole et dans les DROM-COM (entre 88% et 91%). Les répondants des deux groupes géographiques sont également d'accord dans les mêmes proportions sur l'utilité des brasseurs « avec de la ventilation naturelle ou mécanique nocturne » (entre 61% et 65%) et « en alternative à la climatisation » (entre 76% et 77%).

En revanche, les répondants intervenant principalement en métropole se différencient des répondants intervenant en DROM-COM en déclarant les brasseurs d'air moins d'utile « avec de la ventilation naturelle diurne » (48% contre 79%) ou « en extérieur » (15% contre 46%). Ces écarts de jugement sont portés sur des configurations spécifiques et/ou plus répandues en climat tropical (ventilation naturelle diurne, et utilisation en extérieur).

De la même manière, la climatisation est bien plus présente sous ces climats qu'en métropole et il est constaté un écart du jugement à l'item « en complément partiel ou saisonnier à la climatisation » important (57% contre 85%).
Il a été vu que les brasseurs d'air sont plus prescrits, installés et utilisés en DROM-COM, avec un avis majoritairement positif. Pour toutes ces raisons, il est donc peu étonnant d'observer des écarts importants sur des configurations spécifiques et des usages conjoints climatisation/ventilation mécanique.

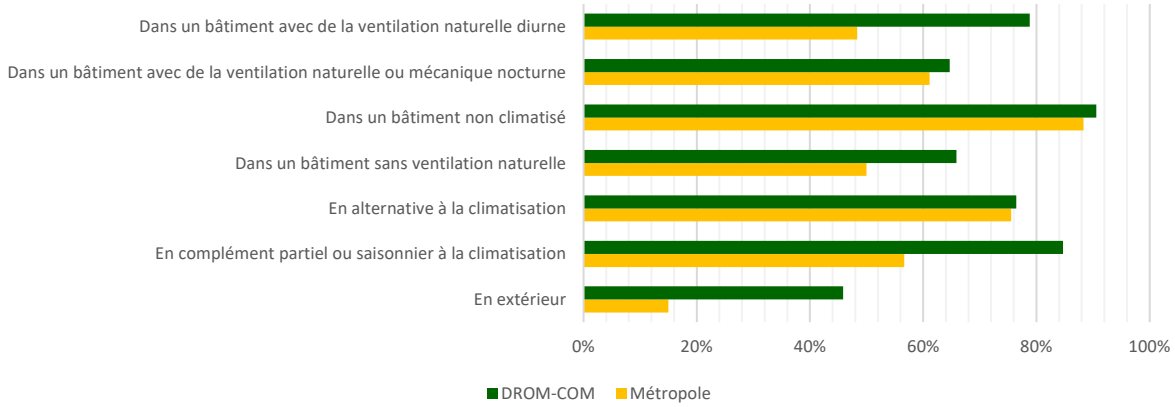


Figure 10 : Fréquence des réponses à la question : Pour vous, dans quelles conditions le brasseur d'air plafonnier est-il utile ?

Pour compléter ces observations, il a été demandé aux répondants s'ils recommandaient l'installation de brasseurs d'air dans les pièces climatisées (cf. Figure 11). 68% des répondants ont répondu le préconiser « occasionnellement » (18%) à « toujours » (13%). L'installation de brasseurs d'air dans des bâtiments climatisés semble donc une pratique existante.

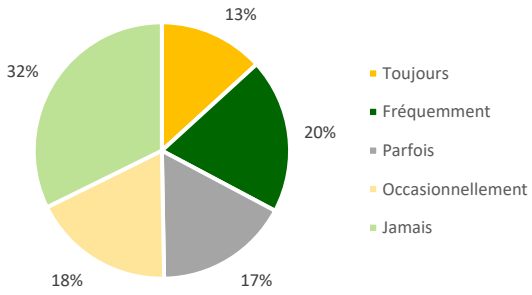


Figure 11 : Fréquence d'installation des brasseurs dans des pièces climatisées

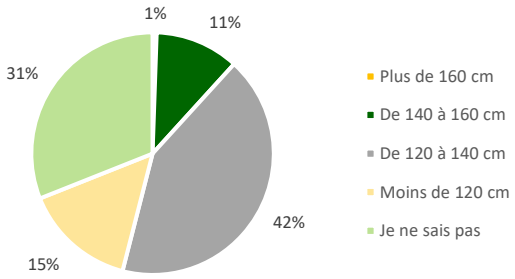


Figure 12 : Diamètres des brasseurs d'air principalement installés sur les projets des répondants

Une grande majorité des brasseurs installés mesure entre 120 et 140 cm de diamètre (42% - cf. Figure 12). Les brasseurs d'air de grandes dimensions, supérieures à 160cm, sont peu installés par l'échantillon consulté (moins de 1%). Il est à noter que 31% des répondants ne connaissent pas les dimensions des brasseurs majoritairement installés sur leurs projets. Ce résultat est étonnant et pourrait correspondre à des répondants intervenant bien en amont d'un projet (AMO par exemple) ou alors à des professionnels n'ayant pas assez de connaissance sur le fonctionnement des brasseurs d'air et sur l'importance du bon dimensionnement et du bon calepinage pour obtenir le confort souhaité.

Les professionnels ayant la charge de la prescription indiquent trouver l'information sur les sites web de constructeurs (82% - cf. Figure 13), sur les sites web marchands (21%) et via un commercial (25%). **Aucune autre source d'information indépendante n'a été identifiée.** Notons que 12% des prescripteurs indiquent ne pas avoir besoin des données techniques pour prescrire.

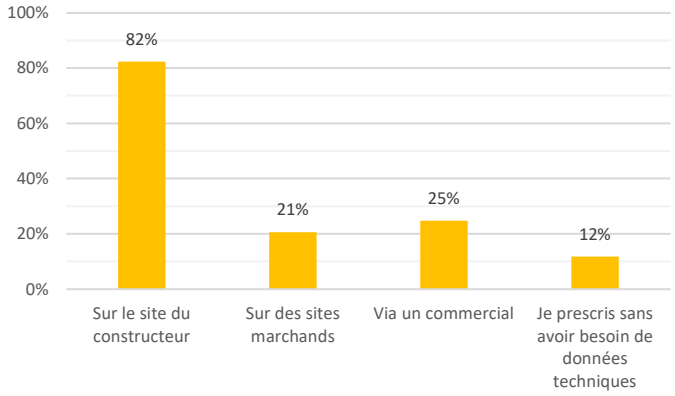


Figure 13 : Sources d'informations techniques pour la prescription.

Concernant les outils et les méthodes utilisés pour justifier les effets des brasseurs d'air sur le confort, une grande majorité des prescripteurs utilisent les diagrammes de confort ainsi que la STD pour leurs prescriptions (49% pour les deux -cf. Figure 14). La CFD est, à l'opposé, très peu utilisée (8% des répondants). Entre les deux approches, les répondants déclarent utiliser une approche qualitative (30%) ou aucune méthode (26%) ou bien encore prendre en compte une diminution constante de température (24%).

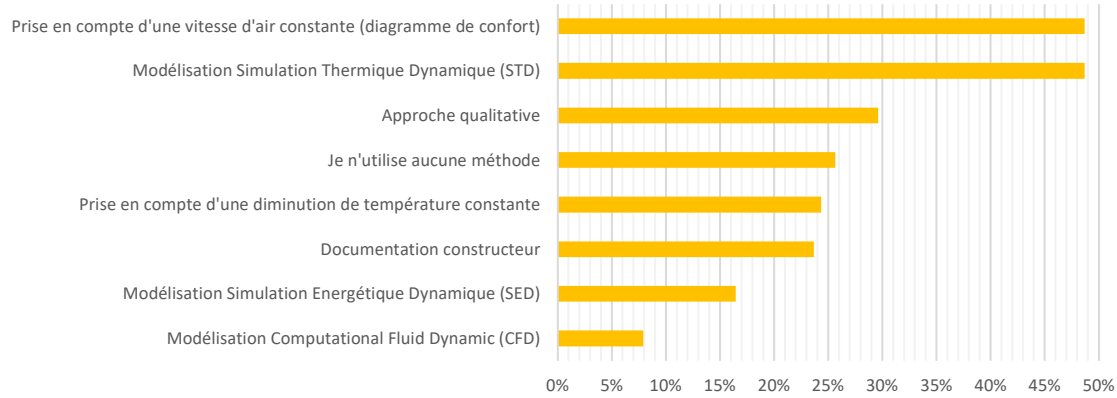


Figure 14 : Fréquences d'utilisation des différents outil(s) / méthode(s) utilisés pour justifier les effets des brasseurs d'air plafonniers sur le confort des usagers par les répondants

L'un des enseignements de cette section est qu'une partie des prescripteurs n'utilise à la fois pas d'outils ou de méthodes pour justifier les prescriptions et à la fois ne détaille pas leurs prescriptions (« pas de données techniques », pour d'information sur la taille des brasseurs d'air). Ces pratiques peuvent induire des situations dans lesquelles le brasseur d'air ne répond pas au confort ou provoquer de mauvaises mises en œuvre aux conséquences directes sur l'usage voire potentiellement sur la sécurité.

Analyse détaillée des freins

Les répondants ont été interrogés sur les freins qu'ils observent au développement des brasseurs d'air. Le Tableau 4 reprend l'ensemble des constats.

Les entreprises évoquent le moins souvent de freins, si ce n'est "formation des installateurs" et "une meilleure connaissance de cet équipement". Ce résultat pourrait être expliqué par le faible rôle que les entreprises ont dans le choix de la mise en œuvre des brasseurs d'air. En effet, ceci pourrait expliquer qu'elles perçoivent peu de freins, mais ressentent un manque de compétences et souhaitent se former.

L'équipe de MOE (autres MOE et architectes) sont ceux qui perçoivent le plus souvent le frein lié au "manque de volonté des MOA" (autour de 64%). Mais ils ne sont pas les seuls, puisque plus de 50% des MOA considèrent qu'ils n'ont pas assez de volonté à installer ces équipements. Cette tendance s'inverse pour le frein "manque de volonté du concepteur" : les MOA évoquent ce frein plus souvent en proportion que les architectes.

Le manque de financement ne semble pas être un frein au déploiement des brasseurs d'air pour la plupart des groupes de métier ayant répondu (<23%), si ce n'est pour les architectes qui sont 33% à évoquer ce frein. Ceci peut s'expliquer par leur rôle dans le projet et la difficulté à intégrer le brasseur d'air dans les projets en conception, et de fait le besoin d'incitation financière pour convaincre le MOA.

Les ¾ des MOA ayant répondu à l'enquête évoquent le besoin de mieux connaitre l'équipement ; ce qui confirme leur manque de connaissance des brasseurs d'air ainsi que leur souhait de réaliser une campagne de promotion de l'équipement (46%) et d'obtenir un retour des usagers pour les professionnels (53%). Les architectes sont ceux qui pensent le moins souvent avoir besoin de mieux connaitre les brasseurs d'air (61%), et ils évoquent moins souvent la nécessité d'obtenir un retour des usagers (31%).

Le manque d'échange d'information et de bonnes pratiques entre professionnels est moyennement identifié. Il l'est surtout par les "autres MOE" (44%). Les MOA (57%) et les entreprises (61%) évoquent le plus souvent la nécessité de sortir de l'image négative des brasseurs d'air, alors que les AMO, peu en lien avec les usagers et installateurs, évoquent moins souvent ce frein (36%).

Etonnement, le manque de formation des installateurs n'est pas souvent évoqué comme un frein (<23%) : soit les répondants considèrent qu'ils font du bon travail, soit ils ne voient pas la formation des installateurs comme un levier pour déployer les brasseurs d'air.

Le résultat est assez similaire concernant le manque de formation des prescripteurs.

Enfin le besoin d'une interaction entre les professionnels de terrain et les constructeurs pour que ces derniers fabriquent des équipements mieux adaptés au contexte français n'est identifié que par 16 à 38% des répondants. Ce sont avant tout les entreprises qui l'évoquent, en front avec les difficultés de mise en œuvre, et moins souvent les architectes, qui sont justement moins confrontés à la réalité technique de mise en œuvre des brasseurs d'air.

	MOA	AMO	Architecte	Autre MOE	Entreprises
La volonté des maîtres d'ouvrage	57,10%	59,10%	63,20%	64,10%	30,80%
La volonté des concepteurs / maître d'œuvre	53,60%	45,50%	49,10%	46,60%	15,40%
Des financements / aides	17,90%	22,70%	33,30%	21,40%	15,40%
Des règles de dimensionnement et d'installation	53,60%	45,50%	43,90%	55,30%	15,40%
Une meilleure connaissance de cet équipement	71,40%	68,20%	61,40%	66,00%	61,50%
La formation des installateurs	21,40%	22,70%	19,30%	20,40%	23,10%
La formation des prescripteurs	32,10%	31,80%	29,80%	35,90%	23,10%
Une campagne de promotion de cet équipement	46,40%	31,80%	45,60%	43,70%	23,10%
Sortir de l'image négative de ces équipements	57,10%	36,40%	49,10%	50,50%	61,50%
Un retour des usagers pour les professionnels et/ou le MOA	53,60%	27,30%	31,60%	45,60%	38,50%
Des échanges d'information et bonnes pratiques entre professionnels	35,70%	40,90%	35,10%	43,70%	30,80%
Plus d'interaction entre les pro sur le terrain et les constructeurs pour que ces derniers fabriquent des équipements mieux adaptés au contexte français	32,10%	31,80%	15,80%	29,10%	38,50%
Rien, je ne pense pas qu'il soit nécessaire que cet équipement se développe	0,00%	0,00%	1,70%	0,00%	0,00%

Tableau 4 : Freins observés en fonction de l'activité des répondants

Nous étudions ensuite le lien entre le type d'opération (neuf/rénovation) où le répondant préconise/installe souvent des brasseurs d'air et les freins que ce dernier anticipe / rencontre : pour chaque répondant, nous identifions s'il installe plus souvent des brasseurs d'air dans des opérations en neuf ou rénovation.
Nous obtenons la distribution suivante :

- Ne préconise pas souvent (n=57) ou jamais (n=81) de brasseurs d'air, que ce soit dans la rénovation ou dans le neuf. Au total n=138 (51% du total)
- Installe/préconise des brasseurs d'air plutôt dans la rénovation (toute typologie confondue) : n=19 (7%)
- Installe/préconise des brasseurs d'air plutôt dans le neuf (toute typologie confondue) : n=113 (42%)

Le frein "manque de volonté des MOA" est (légèrement) plus ressenti en proportion par les participants qui installent / préconisent des brasseurs d'air en priorité en rénovation. Mais cette différence est faible. Le frein "manque de volonté des concepteurs / MOE" est (légèrement) plus ressenti en proportion par les participants qui installent / préconisent des brasseurs d'air en priorité en neuf. Ceci pourrait être dû à l'importance de l'engagement « confort » sur de plus en plus de

projets neufs et le manque de connaissance sur l'impact des brasseurs d'air sur le confort. Il est actuellement difficile de s'engager avec des indicateurs confort en prenant en compte les brasseurs d'air.
Le frein "manque de financement" est ressenti indifféremment en neuf ou rénovation.
Le besoin de règles de dimensionnement et d'installation est (légèrement) plus ressenti en proportion par les participants qui installent / préconisent des brasseurs d'air en priorité en rénovation. Ceci peut être dû au fait que pour le neuf, les méthodes permettant d'obtenir des indicateurs sur l'impact des brasseurs d'air sur le confort (STD par exemple) sont déployés et donc les concepteurs estiment avoir les moyens de bien préconiser.
Le manque de retours des usagers est fortement plus ressenti en proportion par les participants qui installent / préconisent des brasseurs d'air en priorité en neuf. En effet, les brasseurs d'air étant des équipements utilisés depuis de nombreuses années, les répondants peuvent imaginer que les retours sur les anciens projets sont connus mais que les retours sur les nouveaux projets sont encore rares.
Le manque d'interaction entre professionnels et constructeurs est ressenti significativement plus souvent en proportion par les participants qui installent / préconisent des brasseurs d'air en priorité en rénovation.

Frein	Rénovation en priorité (n=19)	Neuf en priorité (n=113)	N'installe/ ne préconise pas ou peu souvent (n=138)
La volonté des maîtres d'ouvrage	68,40%	64,00%	51,90%
La volonté des concepteurs / maître d'œuvre	31,60%	45,00%	44,40%
Des financements / aides	31,60%	31,50%	20,40%
Des règles de dimensionnement et d'installation	57,9%	53,20%	35,2%
Une meilleure connaissance de cet équipement	47,40%	53,20%	75,90%
La formation des installateurs	26,30%	16,20%	18,50%
La formation des prescripteurs	26,30%	27,90%	31,50%
Une campagne de promotion de cet équipement	42,10%	44,10%	46,30%
Sortir de l'image négative de ces équipements	52,60%	43,20%	55,60%
Un retour des usagers pour les professionnels et/ou le MOA	26,3%	45,9%	35,20%
Des échanges d'information et bonnes pratiques entre professionnels	26,30%	37,80%	42,60%
Plus d'interaction entre les professionnels du terrain et les constructeurs pour que ces derniers fabriquent des équipements mieux adaptés au contexte français	42,10%	25,20%	22,20%

Tableau 5 : Freins observés en fonction du type d'opération (neuf/rénovation

Vers une étiquette de performance ?

Les répondants ont enfin été questionné sur l'intérêt d'une éventuelle étiquette de performance pour qualifier la/les performance/s des brasseurs d'air. Une grande majorité des répondants sont favorables à cet étiquetage (n=174 - 94%)

Dans ce cas, les répondants souhaiteraient voir intégrer dans cet indicateur un maximum de critères de performance : efficacité énergétique, impact sur le confort thermique, niveau acoustique et surface d'influence du brasseur (cf. Figure 15).

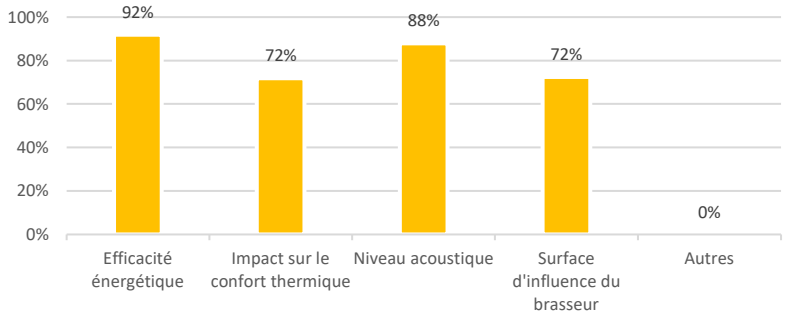


Figure 15 : Critères de performances attendus dans un éventuel étiquetage des produits.

Conclusion

Dans une démarche exploratoire, notre enquête ne vise pas la représentativité de notre échantillon vis-à-vis des professionnels du bâtiment8. Cette enquête nous permet de mieux connaître les usages et pratiques liés au brasseur d'air mais également le rapport des professionnels et des usagers au brasseur d'air.

En effet, l'étude a montré que la perception générale des brasseurs d'air est bonne voire très bonne quelle que soit la région géographique.

Les retours positifs des usagers recueillis et cités par les répondants sont les économies d'énergie générées par les brasseurs d'air vs service rendu et le bon rapport qualité/prix de la solution. L'efficacité, le côté agréable et l'amélioration du confort estival sont les trois autres principaux retours positifs identifiés via ce questionnaire.

Cette analyse permet de constater également que les retours des usagers positifs sont plus importants que les retours négatifs. En outre, seul un quart des répondants déclare n'avoir aucun retour négatif.

En effet, les freins au développement des brasseurs d'air sont très divers. Cela peut être lié aux acteurs (MOA, MOE par exemple) mais également aux manques de connaissances et de formations dispensées.

En termes d'enseignements techniques, une part importante des professionnels ont prescrit/installé des brasseurs d'air en complément de la climatisation et les outils/méthodes de calcul principalement utilisées actuellement sont les STD et le diagramme de confort. En revanche, il a été identifié une catégorie de professionnel qui prescrivent/installent des brasseurs d'air sans outils ou méthodes mais aussi sans données techniques.

Cette étude permet de confirmer l'intérêt de produire une information indépendante et approfondie au sujet des brasseurs d'air, en questionnant les thématiques techniques mais également liées aux perceptions et attitudes des professionnels. Une telle information viendrait combler un manque observé par notre enquête.

8 De plus l'échantillon a été constitué à travers des invitations faites dans des réseaux de professionnels, potentiellement intéressés par le sujet

Table des illustrations

Figure 1 : Décomposition de l'échantillon suivant le métier du répondant [n=275] 4
Figure 2 : Décomposition de l'échantillon suivant le secteur géographique d'activité du répondant [n=275] 4
Figure 3 : Région d'activité des professionnels travaillant principalement en métropole [n=180] 5
Figure 4 : Région d'activité des professionnels travaillant principalement dans les DROM-COM [n=85] 5
Figure 5 : Typologies des projets sur lesquels travaillent les répondants [% des répondants – n=270] 5
Figure 6 : Nombre d'années d'expérience des répondants [% des répondants – n=275] 5
Figure 7 : Comment appelez-vous en général cet équipement ? [% des répondants - n=275] 6
Figure 8 : Perception des brasseurs d'air plafonnier des professionnels en fonction de leur secteur d'activité 6
Figure 9 : Réponses à la question « Auriez-vous une réticence / appréhension à préconiser des brasseurs d'air plafonniers ? » posée aux répondants n'ayant jamais eu l'occasion de préconiser/installer des brasseurs d'air (n=48) 8
Figure 10 : Fréquence des réponses à la question : Pour vous, dans quelles conditions le brasseur d'air plafonnier est-il utile ? 10
Figure 11 : Fréquence d'installation des brasseurs dans des pièces climatisées 10
Figure 12 : Diamètres des brasseurs d'air principalement installés sur les projets des répondants 10
Figure 13 : Sources d'informations techniques pour la prescription 11
Figure 14 : Fréquences d'utilisation des différents outil(s) / méthode(s) utilisés pour justifier les effets des brasseurs d'air plafonniers sur le confort des usagers par les répondants 11
Figure 15 : Critères de performances attendus dans un éventuel étiquetage des produits. 13

Tableau 1 : Nombres de répondants préconisant/installant au moins « parfois » des brasseurs d'air en fonction des typologies de bâtiments 7
Tableau 2 : Fréquence des éléments ayant empêché la prescription de brasseurs d'air (n=7) 8
Tableau 3 : Fréquence des retours usagers selon le type de bâtiment dans lequel le répondant préconise /installe des brasseurs d'air le plus souvent (en neuf ou rénovation) 9
Tableau 4 : Freins observés en fonction de l'activité des répondants 12
Tableau 5 : Freins observés en fonction du type d'opération (neuf/rénovation 13

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIETE ET D'EFFICACITE

Etude 1 – Etudes préalables

Rapport 1.4 – Brasseurs d'air : Quel(s) usage(s) ? Quelle(s) perception(s) ? Synthèse des études préalables

RAPPORT FINAL

FAITS & CHIFFRES

surya CONSULTANTS envirobatbdm ISEA

Nov 2022

BRASSE
Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité

Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques

Les brasseurs d'air en plafond permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement de locaux. Ils sont par conséquent une solution permettant de **s'adapter au changement climatique**. Mais ces équipements sont peu préconisés par les équipes de conception de bâtiment. D'un point de vue technique, cela est dû à un **manque de connaissance** sur ces équipements, leurs **performances** et leur **effet sur la qualité des ambiances intérieures**. Cela pourrait également être dû à des **raisons socio-économiques** non encore identifiées.

Ces constats ont fait naître le programme de recherche : BRASSE[1].

Ce projet de recherche vise principalement à **enrichir** le secteur du bâtiment de connaissances sur ces équipements, de développer des **méthodes** et outils d'aide à l'intégration et à **diffuser** cette connaissance.

Les axes de recherche :

- Performances des brasseurs
- Effets sur la qualité des ambiances intérieures
- Outil d'aide à la conception
- Identification des freins sociologiques
- Diffusion des connaissances

Les ambitions du projet sont :

- Réaliser un important **retour d'expérience** à travers 4 approches :
    1. Retour d'expérience technique préliminaire
    2. Analyse en sciences sociales
    3. Mesure sur site pour la validation de la méthodologie
    4. POE
- Établir un **protocole standardisé** de détermination des performances des brasseurs d'air présents sur le marché et **approfondir l'étude** de brasseurs d'air.
- Définir une **méthode** permettant de proposer une **conception de locaux équipés** de plusieurs brasseurs d'air (calepinage) prenant en compte les principaux paramètres : thermiques, acoustiques et aérauliques.
- **Comprendre le rapport des utilisateurs et des professionnels** aux brasseurs d'air quels que soient leurs profils, le climat ou le territoire dans lequel ils évoluent.
- **Diffuser l'information** pour faire monter en compétence l'ensemble de la filière bâtiment sur ces sujets.

Ce programme de recherche rassemble six entités regroupant des compétences pluridisciplinaires :

- **Surya consultants** : bureau d'études, recherches et développement/ Thermique – énergie – environnement – modélisation (pilote du projet)
- **LASA** : laboratoire privé en acoustique
- **ISEA** : cabinet de recherche et de conseil en sciences sociales – spécialisé en analyse et intervention comportementale
- **Laboratoire PIMENT – Université publique de la Réunion** : Génie de l'Habitat et génie thermique
- **Laboratoire Eiffel aérodynamique, filiale du groupe CSTB** : aérodynamique - expérimentation
- **EnvirobatBDM** : centre de ressources et démarche bâtiments durables méditerranéens – retour d'expérience

Le programme BRASSE est lauréat de l'appel à projets de recherche **Bâtiments responsables 2020** géré par l'Ademe.

[1] BRasseur d'Air : une Solution de Sobriété et d'Efficacité

CITATION DE CE RAPPORT

LE BERIGOT T., BŒUF F., VAZQUEZ C., LITVINE D., DELAAGE R., 2022. Brasseurs d'air : Quel(s) usage(s) ? Quelle(s) perception(s) ? Synthèse des études préalables - Projet BRASSE

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de convention : 2004C0018

Appel à projets de recherche Vers des Bâtiments Responsables à l'horizon 2020"

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Tangi LE BERIGOT & Frédéric Bœuf (Surya Consultants) - Dorian LITVINE & Rémi DELAAGE (ISEA-SSE) - Carlos VAZQUEZ (Envirobat BDM)

Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline

Direction/Service : DVTD/SB

BRASSEURS D'AIR : QUEL(S) USAGE(S) ? QUELLE(S) PERCEPTION(S) ?
Synthèse du retour d'expérience du projet BRASSE

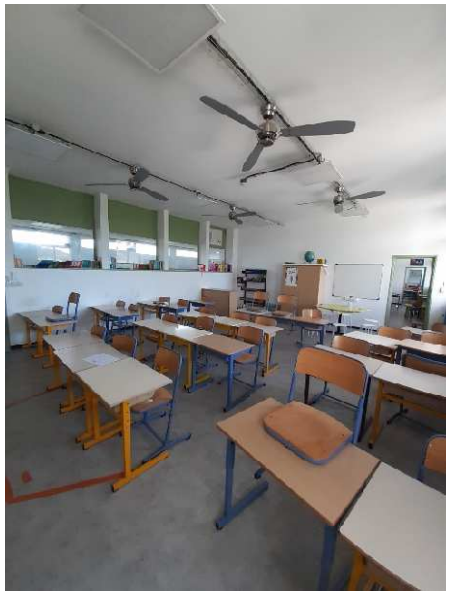
Tangi LE BERIGOT[1], Frédéric BŒUF[1], Carlos VAZQUEZ[2], Dorian LITVINE[3], Rémi DELAAGE[3]
[1]Surya Consultants, France [2]Envirobat BDM, France [3]ISEA/SSE Conseil

Mots clés : brasseur d'air, exploratoire, REX, perception, usage, mise en œuvre, sciences sociales

Cette synthèse s'inscrit dans le programme de recherche « BRASSE : Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques. ». Projet lauréat de l'appel à projets de recherche Bâtiments responsables 2020 géré par l'Ademe.

Une approche exploratoire

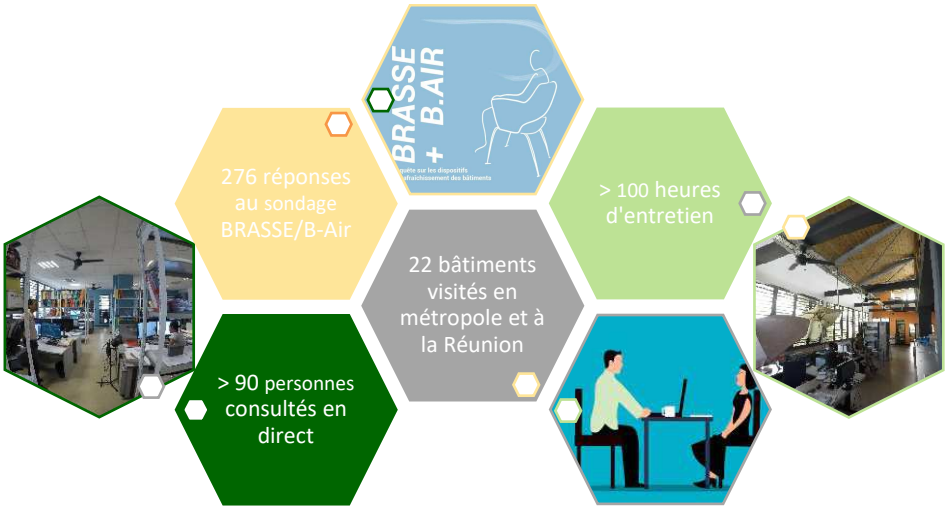
Un brasseur d'air plafonnier est un dispositif permettant de générer un flux d'air dans un local. La vitesse d'air générée par le brasseur permet de favoriser l'évapotranspiration à la surface du corps d'un individu et par conséquent d'augmenter sa sensation de confort thermique avec une consommation d'énergie limitée en comparaison avec une climatisation. De plus, son positionnement au plafond lui permet d'induire une vitesse d'air plus homogène qu'un ventilateur sur pieds et de traiter une surface plus importante. Les performances des brasseurs et l'évaluation de son impact sur le confort font l'objet d'un volet à part entière du projet de recherche BRASSE. Mais si le développement des connaissances des performances et de l'impact des brasseurs d'air sur le confort des usagers est déterminant pour la bonne conception de bâtiments équipés de brasseurs d'air, la mise en œuvre, l'usage ou bien encore la perception des brasseurs d'air sont des aspects à ne pas négliger.



Ces aspects peuvent être sources de mauvais retours d'expérience (ou tout simplement de faux retours d'expérience), de dysfonctionnements, de mauvais usages ou bien même de non-acceptabilité de l'équipement. Le premier volet du projet BRASSE a pour objectif d'identifier les points d'attention, majeurs ou mineurs sur trois aspects : usage, perception et mise en œuvre. Ce travail permet de mieux connaître le ou les contextes d'usage des brasseurs d'air, de lister les freins et atouts de cet équipement et d'appréhender la perception de celui-ci par les usagers et les professionnels.

Pour atteindre cet objectif, l'approche mise en place est de type exploratoire. Cette dernière a pour ambition d'observer des phénomènes et relations entre facteurs (usages, comportements, etc.) sans à priori et sans chercher la représentativité des résultats. Cette approche se base donc sur l'échantillon préétabli, sans sélection a priori. Il ne sera donc pas conclu sur la représentativité des observations. Il ne pourra pas être fait d'inférence statistique. Le travail a été mené ouvertement afin d'éviter les biais de confirmation et de rendre robuste l'approche globale du projet BRASSE.

Bien que notre approche soit qualitative, un nombre d'entretien et de visites important a été réalisé : 22 bâtiments visités en France métropolitaine et à la Réunion, plus de 90 personnes ont été consultés en direct, 276 via un sondage grande échelle et plus de 100 heures d'entretien ont été réalisées.



Une méthodologie / 3 étapes de recueil et d'analyse

Pour réaliser cette approche, trois types de recueil ont été mis en œuvre. Le premier se base sur les retours d'expérience de terrain. Ces derniers permettent d'appréhender les dimensions techniques de la problématique : installation de brasseurs, exploitation, positionnement, contrôle, vitesses d'air, etc. Les retours d'expérience ont pour objectif de confronter les caractéristiques théoriques d'un système à la réalité, qui est inévitablement déterminé par la manière dont le bâtiment a été conçu, réalisé et est utilisé. Cette approche déploie une série de visites, d'entretiens et de mesures sur site, puis compilent les retours négatifs et positifs liés à la conception, la mise en œuvre et l'usage des brasseurs d'air, et finalement confrontent les critères établis dans le protocole d'étude des performances des brasseurs d'air aux conclusions issus du terrain. L'importance de l'étude de cas concrets repose avant tout sur l'analyse des perceptions positives (bonnes pratiques) et négatives (difficultés, non-qualité) exprimées par les acteurs concernés : maîtres d'œuvre, entreprises, usagers. Ce recueil a été déployé par Envirobat BDM (assisté de Surya Consultants pour son exécution à la Réunion).

La seconde étape de notre protocole se base sur les sciences sociales. Celle-ci permet d'appréhender l'aspect social de la problématique : appropriation des brasseurs, freins à la diffusion, usage, représentations, etc. Elle mobilise un cadre théorique et empirique au croisement de diverses disciplines telles que la psychologie sociale et cognitive, l'économie comportementale et la sociologie de l'énergie. Une campagne de 43 entretiens semi-directifs a été menée à l'été 2021 en France métropolitaine et à la Réunion, auprès d'usagers d'espaces bâtis et de professionnels. Des notions et facteurs comme les représentations, les perceptions, les motivations, les freins et leviers à l'installation et à l'utilisation de brasseurs d'air ont été étudiés. Cette étape a été réalisée par ISEA/SSE.

La méthodologie, les résultats et les analyses de ces deux premières et principales étapes de notre protocole sont détaillés et disponibles dans le rapport d'avancement 2021 du projet BRASSE et le rapport de sciences sociales (extraction de la partie sciences sociales du rapport d'avancement 2021).

Une troisième approche a été déployée permettant de viser un public plus large. Celle-ci a consisté à diffuser un questionnaire en ligne. Cette campagne de consultation s'est déroulée entre le 04 avril 2022 et le 03 juin 2022. Ce questionnaire a permis de récolter l'avis 276 professionnels du bâtiment, de l'architecte à l'ingénieur en bureau d'étude en passant par le gestionnaire de patrimoine. L'échantillon interrogé est situé à la fois en France Métropolitaine et en Outre-mer. Ce questionnaire a été élaboré en collaboration avec le programme B-Air[2]. Les principaux résultats sont présentés dans un document spécifique.

Le brasseur d'air : un équipement bien connu ?

Ces différentes études ont permis de constater que le brasseur d'air est un équipement globalement méconnu, en métropole ainsi qu'à la Réunion. Les avantages et inconvénients des brasseurs d'air, leur coût, ainsi que les enjeux auxquels ils peuvent répondre sont flous ou imprécis pour la plupart de acteurs (usagers et professionnels du bâtiment). Il apparait également une

[2] B-AIR fait partie des projets retenus dans le cadre du programme « Outre-Mer pour des Bâtiments Résilients et Économes en Énergie » (OMBREE), soutenu par l'AQC et l'ADEME.

confusion sémantique entre le rafraîchissement et le refroidissement d'une ambiance. Cette confusion pourrait expliquer en partie la perception des brasseurs d'air qui sont dans certains cas comparés à la climatisation.

Les différentes enquêtes mettent également en exergue les différentes appellations de cet équipement : brasseurs d'air, ventilateur de plafonds, etc. Avec une confusion de la part des usagers. Le questionnaire BRASSE/B-air rapporte que 82% des professionnels interrogés utilisent les termes de brasseur d'air ou brasseur d'air plafonnier.

Quels rapports entretiennent les usagers et les professionnels avec les brasseurs d'air ?

Les premières conclusions sont relatives au rapport entre le brasseur d'air et l'usager ou le professionnel du bâtiment.

Du côté de la demande, globalement, le brasseur d'air souffre d'une image plutôt négative, renvoyant souvent à un équipement peu moderne et peu esthétique. Le jugement global porté sur les brasseurs d'air reste malgré tout positif : c'est un équipement utile, pratique et efficace (dans une certaine limite), économique et écologique. Le brasseur d'air reste majoritairement utilisé en saison chaude, un faible nombre d'usagers l'utilisent pour de la déstratification en hiver (métropole).

Les motivations les plus courantes à utiliser un brasseur d'air sont d'améliorer le confort ressenti l'été (avoir moins chaud) et de faire un geste pour l'environnement (cf. Figure 1). Les motivations identifiées ensuite sont dans l'ordre d'importance : la santé et la qualité de l'air, la faible intensité technologique (low-tech) et l'augmentation de la performance énergétique du lieu de vie/travail/études.

Les entretiens et visites ont permis également d'obtenir des retours sur le ressenti acoustique du brasseur d'air. A ce sujet, les avis sont aussi divers que les locaux. Dans un majorité des cas, aucun inconfort n'est constaté. Dans d'autres, un inconfort est constaté provoquant quelques gênes à la concertation par exemple, sans provoquer l'incapacité à réaliser l'action prévue. En revanche, dans l'autre cas, une gêne d'incapacité est constatée. Le brasseur d'air est alors soit utilisé à une vitesse réduite soit non-utilisé.

En écartant le jugement individuel en usage normal lié à l'individu et sa variabilité d'usage, des nuisances acoustiques liées à des erreurs de conception et des dysfonctionnements, ainsi qu'au manque d'entretien ont été constatées et induisent un inconfort acoustique relativement souvent.

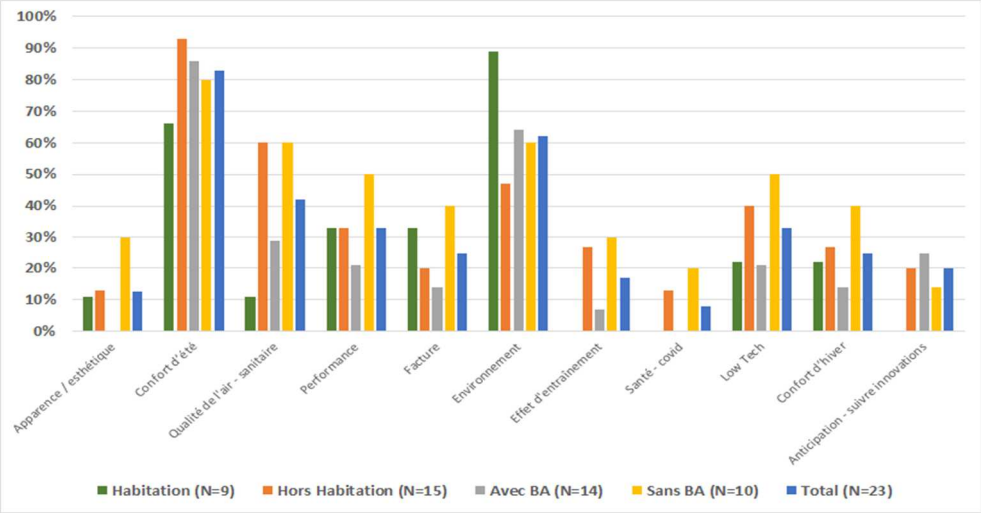


Figure 1 : Motivations selon le type de cible

Du côté de l'offre, pour la plupart des professionnels interrogés le brasseur d'air est un équipement technique indispensable qui, en plus d'être sobre, améliore nettement la sensation de confort ressenti. D'après eux, il permet notamment (a) d'optimiser la température ressentie, ce qui conduit à une meilleure acceptabilité de la chaleur ; (b) de réduire l'usage de la climatisation (en durée ou en température), ainsi que (c) d'homogénéiser l'air (déstratification)[3]. Les brasseurs d'air sont souvent recommandés quand un rafraîchissement passif efficace est possible. En effet, en l'absence d'une conception de bâtiment adaptée, son utilité peut être remise en cause. Si la demande dans le tertiaire tend à augmenter, surtout en milieu scolaire, la plupart des professionnels interrogés prescrivent et/ou installent moins souvent de brasseurs d'air dans le secteur

[3] Notons que si un certain nombre de professionnels évoquent la déstratification d'hiver, cette utilisation reste très rare car dépendante d'une certaine configuration : haut plafond, gros volume, système de chauffage spécifique, etc. Cela requiert d'utiliser des brasseurs d'air de grande taille, qui ne figurent pas dans le périmètre de BRASSE.

habitation, notamment privé. La maison individuelle apparait comme un marché à ouvrir, notamment en travaillant sur l'intégration des brasseurs d'air dans l'architecture d'intérieur. Ces constats sont confirmés par le sondage BRASSE/B-Air, cf.

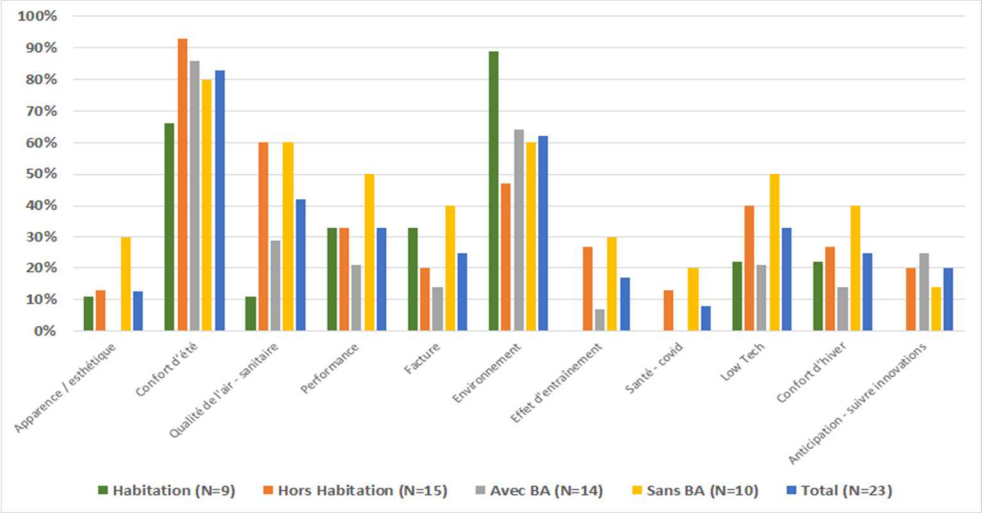


Figure 1). Aussi, la plupart des aspects négatifs seraient surtout issus de craintes (installation, sécurité, coûts, etc.) et de mauvaises pratiques dans la conception et/ou installation. A ce titre, les professionnels soulignent le manque d'études et de retours d'expérience (REx) des usagers et maitres d'ouvrages (MOA), et notamment des usagers à destination des MOA. Ceci pourrait expliquer en partie la compétition que les usagers créent dans leur esprit entre brasseurs d'air et climatisation ; bien que ces équipements ne répondent pas aux mêmes besoins et puissent se compléter dans certains cas. Notons que l'usage de la climatisation ou de brasseurs d'air nécessite différentes stratégies de conception bioclimatique. Or cette distinction ne semble pas être acquise par l'ensemble des acteurs de la construction et la méconnaissance de l'efficacité des brasseurs d'air ne permet pas de bien appréhender leur impact sur le confort.

Quels sont les modes d'usage des brasseurs d'air qui ont été identifiés ?

Les différentes approches mettent en avant que si le brasseur d'air apporte un véritable confort aux usagers, son efficacité perçue reste tributaire :

(1) de la sensibilité thermique des individus, elle-même fluctuante selon les zones climatiques ;

(2) de la conception du bâti dans lequel il est installé (une efficacité réduite dans un bâtiment mal isolé, perçu comme un agrément de confort apprécié mais parfois limité dans un bâtiment bioclimatique, etc.) ;

(3) ainsi que des solutions complémentaires permettant de participer à l'amélioration du confort ressenti (ventilation naturelle, climatisation, etc.). L'utilisation des brasseurs d'air se confronte fortement avec la climatisation, souvent jugée plus efficace pour répondre aux besoins de rafraichissement. Une confrontation qui peut aussi renvoyer à des questions de représentations sociales et économiques telles que le luxe, le confort, la modernité, la maitrise et le progrès, etc.

Lors des différentes retours d'expérience, plusieurs usages ont été observés. Les usages constatés sont :

- Utilisation **nuit et jour sans aération naturelle** pour diminuer la température ressentie,
- Utilisation **nuit et jour avec aération naturelle** pour diminuer la température ressentie et profiter de la température espérée plus fraiche à l'extérieur (lorsque cet usage n'est pas monitoré, des erreurs de perception ont été observé faisant alors entrer de l'air chaud dans le bâtiment réduisant l'intérêt de la stratégie global pour rechercher le confort),
- Ponctuellement le soir pour évacuer la chaleur accumulée dans le logement.
- Uniquement pour **renouveler l'air dans le logement**.

Il a été observé que l'usage peut également dépendre du public présent dans le local concerné ou du type d'activité. Par exemple, la **crainte associée** à l'équipement conduit certains usagers à ne l'utiliser que lorsque les enfants ne sont pas présents. Ou bien, dans les espaces partagés, il y a des conflits d'usage lorsque plusieurs usagers sont concernés par un même brasseur d'air. Cela confirme l'importance des variables psycho-socio-affectives.

La vitesse d'usage varie d'un local à l'autre. Plusieurs facteurs sont justifiés pour choisir une vitesse de rotation :

- La sensation de chaleur dépendant du besoin dans la journée,
- La sensibilité d'un ou plusieurs usagers à la nuisance acoustique générée,

- La sensibilité d'un ou plusieurs usagers à l'impact de la vitesse générée sur l'assèchement des yeux ou sur l'acceptation individuelle d'une vitesse d'air.

Les résultats montrent une satisfaction d'usage fortement supérieure en habitation, avec des réponses bien plus concentrées autour de la moyenne (dispersion) que pour les usagers hors habitation, bien moins homogènes dans leur réponse.

Le contrôle : un paramètre important pour l'utilisabilité et la sensation de maitrise de l'usager

Le contrôle de l'usage a été identifié comme un élément important pour les usagers. La sensation de contrôle des brasseurs d'air est très forte et très appréciée quel que soit l'usage du bâtiment.

Trois dispositifs de contrôle de vitesse ont été observés : télécommande, variateur mural et chaînette (modèle plus ancien). L'appréciation de la chaînette de contrôle est très mitigée. Elle apparaît comme pratique, utile et ergonomique pour les usagers (principalement en logement) qui ne possèdent que ce type de commande. Mais elle est également vue comme contraignante lorsque les usagers ont expérimenté le contrôle du brasseur d'air via un boîtier de mural. Le retour montre également que la chaînette est fragile, difficilement accessible, manque de praticité et d'ergonomie. Dans les logements sociaux, la commande murale est globalement perçue comme pratique et utile, sauf lorsque le contrôle est défaillant. Les usagers de bureau qui disposent d'un variateur mural ont un jugement mitigé sur ce dernier. Certains sont satisfaits de sa prise en main simple, il peut cependant être jugé contraignant, notamment lorsque tous les boîtiers de contrôle sont situés au même endroit, comme cela est le cas dans les espaces partagés. En revanche, lorsque le contrôle s'effectue avec une télécommande, il est souvent jugé satisfaisant et utile. Dans les établissements scolaires, le variateur mural offre un contrôle satisfaisant sur le brasseur d'air, jugé la plupart du temps pratique par le personnel. Quelques soient le type de commande, il a été observé des dysfonctionnements soit liés à un défaut d'entretien (manquement de piles pour les télécommandes), soit liés à l'usure qui amènent au non-usage de l'équipements. Dans certains cas, la complexité de l'organe de contrôle a entrainé automatiquement un non-usage ou un mauvais usage de l'appareil. La commande doit donc s'adapter à l'usage et non l'inverse, et les options low-tech semblent en tendance plus appréciées.

Des conceptions non judicieuses et des erreurs de mises en œuvre impliquent une satisfaction aléatoire.

Les brasseurs d'air sont des équipements qui existent depuis longtemps. Leurs évolutions ces dernières années ont permis d'augmenter les performances intrinsèques des équipements. Pour les professionnels, il y a une vraie différence entre ancien modèle de brasseurs d'air et nouveau. Pour certains, au-delà de la dichotomie "ancien/moderne", l'enjeu se place dans la pertinence du modèle vis-à-vis de la situation. Ainsi, les professionnels font état du manque d'études et de dispositif de recueil des retours d'expérience des usagers et MOA (REX). En effet, la performance et la mise œuvre va dépendre de plusieurs paramètres. Plusieurs observations ont été faites. La mise en place de brasseurs d'air va dépendre de la typologie du bâtiment. En logement, il est mis en place soit dans les chambres soit dans les séjours. En bureau, le nombre de brasseurs d'air et leurs emplacements varient en fonction de la taille du local et de sa situation (métropole VS Réunion). Il a été constaté sur l'échantillon étudié que le nombre de mètre carré couvert par un brasseur d'air en moyenne en métropole est de 18m²/brasseurs contre 13m²/brasseurs à la Réunion. Les sources donnant des recommandations quant à l'installation préconisent sur surface entre 10 et 15m²/brasseurs pour des brasseurs de 132cm de diamètre. Il est également remarqué que le calepinage des brasseurs d'air n'est pour toujours optimum. En effet, l'installation des brasseurs d'air n'est pas toujours suffisamment liée à l'usage de la pièce. Une répartition homogène est le plus souvent observé.

Au-delà de ces constats de mise en œuvre, il est important de jauger de l'efficacité des brasseurs d'air. Pour cela, les vitesses d'air dans les locaux visités ont été mesurées. Ces mesures ont été effectuées sur un temps court (environ 2h) et ne sont donc pas représentatives d'un usage régulier. Elles permettent néanmoins d'obtenir une photographie à un instant donné du fonctionnement du brasseur d'air. Ces photographies ont permis d'observer que, sans distinctions de stratégies de rafraîchissement et de configuration des locaux ou de climat, les vitesses maximales observées varient entre 0,19 et 2 m/s (mesure à 1.1m de hauteur et une longueur de pale de l'axe de rotation du brasseur d'air). Ces observations montrent que d'une configuration à l'autre et suivant l'équipement mis en œuvre, la vitesse d'air et donc l'impact du brasseur d'air sur le ressenti de l'usager peut être très différente. Cela prouve l'intérêt et le besoin de règles de mise en œuvre et de caractérisation de la performance des brasseurs d'air pour une bonne efficacité.

Au-delà de la vitesse d'air constatée, des dysfonctionnements ont été observés. Dans des locaux métropolitains et d'outre-mer, ces dysfonctionnements génèrent de l'insatisfaction.

Le premier dysfonctionnement est lié au mode de fonctionnement du brasseur à savoir le mode 'hiver' ou le mode 'été'. Ce mode influe sur le sens de rotation des pales et donc sur la répartition des vitesses d'air dans l'espace. Les brasseurs à pales étant généralement désignés pour un mode en particulier, l'efficacité dans le mode inverse induira un fonctionnement moins efficace. Il est donc nécessaire de faire choisir le bon mode pour le bon brasseur et le bon objectif de confort. Mais la méconnaissance de l'impact de ces modes de fonctionnement et le fait que le contrôle de celui-ci se situe en général au

niveau du moteur du brasseur, donc en hauteur, fait que le sens de rotation du brasseur d'air n'est pas piloté et que celui-ci peut ne pas être utilisé de manière optimale.

Plusieurs autres dysfonctionnements ont été observés comme le mauvais montage des pales sur certains modèles ou encore la mauvaise fixation induisant une nuisance sonore et un manque de confiance en l'appareil.

Certains appareils nécessitaient également un entretien et une maintenance. Les usagers ont fait remonter leur impuissance face à ce besoin et leur incapacité à trouver la ressource pour réaliser cet entretien et cette maintenance. Il est important de noter que ce constat est réalisé en métropole et à la Réunion.
Les Rex ont permis de faire plusieurs autres constats techniques :

- La hauteur sous plafond des locaux peut être une limite du déploiement des brasseurs d'air. En dessous de 2,50m, la mise en œuvre de brasseurs d'air classiques n'est pas possible.
- La composition du plafond peut être trop fragile (faux-plafond, toiture légère en outre-mer) et sa forme (en pente) peut occasionner des surcoûts de l'installation de brasseurs d'air (si l'intention est d'en installer sous le toit).
- En rénovation, le système électrique des bâtiments peut ne pas permettre l'installation de brasseurs d'air sans mise aux normes électriques.

Les freins et motivations à l'installation de brasseurs

Une autre partie de cette étude a permis d'aborder les freins et les motivations à l'installation de brasseurs d'air. Tous usagers confondus, les motivations les plus courantes à utiliser un brasseur d'air sont d'améliorer le confort ressenti l'été (avoir moins chaud) et de faire un geste pour l'environnement. La seconde catégorie de motivation la plus fréquente est : santé-qualité de l'air, faible intensité technologique (low-tech) et augmenter la performance du lieu de vie/travail/études.

Les motivations à utiliser un brasseur d'air les moins fréquentes sont : améliorer le confort d'hiver (homogénéisation des couches d'air), réduire la facture, anticiper les futures normes, inciter d'autres à utiliser un brasseur d'air (effet d'entraînement), améliorer l'esthétique du lieu et réduire les risques de covid par le brassage d'air.

Les répondants professionnels expriment également le fait que pour un certain nombre de projets, la mise en œuvre de brasseurs d'air est souhaitée par les maîtrises d'ouvrage qui n'ont pas le budget pour mettre en place de la climatisation. La motivation n'est alors pas basée sur un ressenti positif mais imposée par une situation.

A l'inverse plusieurs freins sont identifiés. Le premier est la méconnaissance de la technologie et son impact sur le confort des usagers. A plusieurs reprises, il a été relevé que les répondants (usagers et professionnels) avaient besoin de preuves de l'efficacité du brasseur d'air avant d'investir et d'information pour sa bonne prescription et son bon usage. Ce manque d'information et de culture constitue le plus important verrou au déploiement des brasseurs d'air.

Au final, notre étude met en avant les besoins pour lever ces freins, et propose des pistes d'actions (recommandations opérationnelles) :

1. Sensibilisation et accompagnement aux usagers
2. Connaissance des professionnels et liens interprofessionnels (et avec MOA)
3. Améliorer les protocoles de mesure et structurer une filière
4. Faciliter et structurer le retour d'expérience d'usagers, MOA et professionnels

Conclusion

Les résultats des retours d'expérience confortent le socle d'hypothèses concernant les contraintes techniques et l'acceptation sociale qui influent l'efficacité et la performance des brasseurs.

Notre étude suggère finalement que pour stimuler le déploiement des brasseurs d'air il est important de cibler les divers acteurs de la chaine offre/demande dans le cadre d'une stratégie globale. Chaque acteur présente en effet des motivations et freins/blocages particuliers à adresser pour une intervention efficace, tout en distinguant la zone géographique qui détermine des différences climatiques et socioéconomiques et donc des différences de conception des bâtiments. Si la sensibilisation des usagers et des MOA semble essentiel, notamment en faisant remonter les avis et expériences des usagers aux MOA et en mettant en valeur les gains à utiliser des brasseurs d'air, une intervention sur les acteurs de l'offre s'avère tout aussi importante : (1) informer, former et mettre en lien les professionnels (REX, fiches techniques, partage de pratiques, etc.) ; (2) faire remonter la réalité de terrain aux fabricants afin d'aboutir à des produits adaptés aux conditions françaises; (3) agréer et développer la connaissance de ces équipements pour aider à la bonne conception et la bonne mise en œuvre.

Et pour avoir une communication pertinente et efficace, notre étude confirme le besoin d'investiguer le fonctionnement des brasseurs d'air et de pouvoir fournir à l'ensemble des acteurs concernés des informations claires, pertinentes et justifiées sur les fonctionnements des brasseurs d'air. Ceci est la raison d'être de BRASSE.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIETE ET D'EFFICACITE

BRASSE
BRASSEUR D'AIR :
UNE SOLUTION
DE SOBRIÉTÉ
ET D'EFFICACITÉ

Etude 2 – Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort acoustique des usagers

Rapport de synthèse des études d'acoustique

RAPPORT FINAL

LASA

Sept. 2023

FAITS & CHIFFRES

BRASSE
Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité

Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques

Les brasseurs d'air en plafond permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement de locaux. Ils sont par conséquent une solution permettant de **s'adapter au changement climatique**. Mais ces équipements sont peu préconisés par les équipes de conception de bâtiment. D'un point de vue technique, cela est dû à un **manque de connaissance** sur ces équipements, leurs **performances** et leur **effet sur la qualité des ambiances intérieures**. Cela pourrait également être dû à des **raisons socio-économiques** non encore identifiées.
Ces constats ont fait naître le programme de recherche : BRASSE[1].

Ce projet de recherche vise principalement à **enrichir** le secteur du bâtiment de connaissances sur ces équipements, de développer des **méthodes** et outils d'aide à l'intégration et à **diffuser** cette connaissance.

Les axes de recherche :

- Performances des brasseurs
- Effets sur la qualité des ambiances intérieures
- Outil d'aide à la conception
- Identification des freins sociologiques
- Diffusion des connaissances

Les ambitions du projet sont :

- Réaliser un important **retour d'expérience** à travers 4 approches :
    1. Retour d'expérience technique préliminaire
    2. Analyse en sciences sociales
    3. Mesure sur site pour la validation de la méthodologie
    4. POE

- Établir un **protocole standardisé** de détermination des performances des brasseurs d'air présents sur le marché et **approfondir l'étude** de brasseurs d'air.
- Définir une **méthode** permettant de proposer une **conception de locaux équipés** de plusieurs brasseurs d'air (calepinage) prenant en compte les principaux paramètres : thermiques, acoustiques et aérauliques.
- **Comprendre le rapport des utilisateurs et des professionnels** aux brasseurs d'air quels que soient leurs profils, le climat ou le territoire dans lequel ils évoluent.
- **Diffuser l'information** pour faire monter en compétence l'ensemble de la filière bâtiment sur ces sujets.

Ce programme de recherche rassemble six entités regroupant des compétences pluridisciplinaires :

- **Surya consultants :** bureau d'études, recherches et développement/ Thermique – énergie – environnement – modélisation (pilote du projet)
- **LASA :** laboratoire privé en acoustique
- **ISEA :** cabinet de recherche et de conseil en sciences sociales – spécialisé en analyse et intervention comportementale
- **Laboratoire PIMENT – Université publique de la Réunion :** Génie de l'Habitat et génie thermique
- **Laboratoire Eiffel aérodynamique, filiale du groupe CSTB :** aérodynamique - expérimentation
- **EnvirobatBDM :** centre de ressources et démarche bâtiments durables méditerranéens – retour d'expérience

Le programme BRASSE est lauréat de l'appel à projets de recherche **Bâtiments responsables 2020** géré par l'Ademe.

[1] BRasseur d'Air : une Solution de Sobriété et d'Efficacité

CITATION DE CE RAPPORT

OSSAKOWSKY P., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort acoustique des usagers, BRASSE

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de convention : 2004C0018

Appel à projets de recherche Vers des Bâtiments Responsables à l'horizon 2020"

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Pierre OSSAKOWSKY - LASA

Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline

Direction/Service : DVTD/SB

SOMMAIRE

SOMMAIRE 4

1. RESUME 6

2. GENERALITES ACOUSTIQUES 6

3. PROTOCOLE DE MESURES ACOUSTIQUES 9

3.1. Objet 9
3.2. Généralités 9
3.3. Niveau de pression acoustique 9
3.4. Série des normes NF EN ISO 3740 11
3.5. NORME NF EN ISO 3746-201206 13
3.6. Méthodologie retenue 16

4. PRESENTATION DES MESURES ACOUSTIQUES REALISEES VIA LE PROTOCOLE MIS EN PLACE 19

4.1. Salle d'essai au laboratoire PIMENT à la Réunion 19
4.2. Salle d'essai du laboratoire EIFFEL à Paris 22

5. COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES ET DES RESULTATS DES DEUX LABORATOIRES PIMENT ET EIFFEL 25

5.1. Objet 25
5.2. Modifications salle d'essai PIMENT 25
5.3. Aménagement salle d'essai EIFFEL 26
5.4. Résultats Lw brasseurs d'air obtenus 27

6. MESURES ACOUSTIQUES REALISEES DANS DIFFERENTS LOCAUX EXISTANTS EQUIPES DE BRASSEUR D'AIR 29

6.1. Objet 29
6.2. Description des locaux retenus 29
6.3. Résultats des mesures 30
6.4. Commentaires sur l'impact des bruits extérieurs 35
6.5. Masquage sonore du au brasseur d'air 35
6.6. Analyse et commentaires 35

7. MODELISATIONS ACOUSTIQUES DES LOCAUX OU DES MESURES ONT ETE EFFECTUEES 37

7.1. Objet 37
7.2. Méthodologie 37
7.3. Description des locaux retenus dans l'école Jean MOULIN à MIRAMAS (13) 37
7.4. Analyses et commentaires 40

8. ETUDE PARAMETRIQUE DU NIVEAU SONORE D'UN BRASSEUR TYPE DANS DIFFERENTES SALLES EN FONCTION DU NOMBRE DE BRASSEURS ET MATERIAUX ACOUSTIQUES EN PAROIS 41

8.1. Objet 41
8.2. Méthodologie 41
8.3. Description des hypothèses retenues 41
8.4. Résultants des modélisations 42

8.5. Synthèse 57

9. OUTIL DE PREDIMENSIONNEMENT 58

9.1. Objet 58
9.2. Description de la feuille de prédimensionnement 58
9.3. Synthèse 61

10. ETIQUETTE ACOUSTIQUE 62

11. CONCLUSION 63

1. Résumé

Toutes les études acoustiques effectuées dans le cadre du projet BRASSE, débuté en 2019, sont présentées dans ce rapport. Ce projet a pour but de quantifier les performances et l'acceptabilité des brasseurs d'airs en réponse aux changements climatiques et LASA a apporté son expertise pour la dimension acoustique du projet.

Les principaux objectifs ont été d'élaborer un protocole simple pour la mesure du niveau de puissance acoustique des brasseurs, de créer des simulations acoustiques dans des salles typiques où pourraient être utilisé un brasseur et de commencer à alimenter une base de données acoustiques exploitable pour les acteurs de projets de bâtiments avec brasseurs d'air.

Pour cela, LASA a participé à la mise au point de deux cellules d'essais acoustiques dans les laboratoires PIMENT à la Réunion et EIFFEL à Paris

Des essais ont ensuite été réalisés d'afin d'alimenter la base de données acoustiques BRASSE.

LASA a aussi conduit une série de mesures de bruit de ventilateur sur le terrain et dans différentes typologies de locaux avec différents brasseurs. Ces locaux ont ensuite été modélisés pour permettre la création de modèles numériques de situations génériques avec interfaçage avec la base de données afin de permettre un prédimensionnement acoustique de brasseurs.

Pour finir, LASA a produit une feuille EXCEL de prédimensionnement basée sur toutes les mesures et modélisations présentées précédemment.

Cette feuille permet d'obtenir une prédiction de niveau sonore dans un local générique en fonction des paramètres du local (nombre de brasseurs, type de paroi, …). La feuille permet en fonction du niveau sonore visé de connaître la puissance acoustique maximale possible pour les brasseurs et propose une liste de modèles répondant à la contrainte recherchée, choisie dans la base de données.

Toutes ces étapes sont présentées dans la suite du rapport.

2. Généralités acoustiques

Niveau sonore

On évalue la force d'un bruit par l'amplitude de la variation de la pression de l'air par rapport à la pression atmosphérique moyenne. L'oreille humaine transforme la pression acoustique en sensation auditive par l'intermédiaire d'un mécanisme très complexe dont la sensibilité, non linéaire, est limitée. La sensation perçue varie comme le logarithme de l'excitation. Le niveau sonore s'exprime en décibel [dB]. Ce niveau est défini comme le rapport logarithmique entre la pression acoustique p et une pression acoustique de référence p_0 comme suit :

$$L_p = 20 \log p/p_0$$

- p pression acoustique en Pascal [Pa]
- p_0 pression acoustique de référence en Pascal : 2×10^{-5}[Pa]

Octave –Tiers d'octave

Une octave est une bande de fréquence dans laquelle la fréquence varie du simple au double (facteur 2 entre la plus basse et la plus haute). En acoustique, les octaves (et les tiers d'octaves également) ont été normalisées en prenant pour référence 1 000 Hz comme centre de l'octave ou du tiers d'octave. Les bandes d'octave et de tiers d'octave habituellement utilisées sont présentées sur le tableau ci-dessous :

50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630

800	1k	1,25k	1,6k	2k	2,5k	3,15k	4k	5k	6,3k	8k	10k

En gris, les fréquences centrales des bandes d'octave habituelles.

Pondération

Afin de réaliser une mesure représentative du niveau physiologique perçu, à l'aide d'un appareil de mesure (sonomètre), il est nécessaire d'introduire un filtre disposant d'une courbe de pondération correspondant à la sensibilité de l'oreille. Toutes les

fréquences composant le bruit sont alors évaluées sensiblement de la même manière qu'elles le seraient par l'oreille humaine. Le bruit est alors caractérisé par son niveau sonore global pondéré A ou niveau en dB(A).

Presque toutes les normes concernant les nuisances sonores se réfèrent à la pondération A, et les mesures correspondantes s'expriment en décibel pondéré A [dB(A)].

Niveau de pression acoustique continu équivalent

Afin de caractériser un bruit fluctuant par une seule valeur, on calcule le niveau de pression acoustique continu équivalent noté L_{eq}. Le niveau sonore équivalent est par définition le niveau continu stable qui contiendrait autant d'énergie que le niveau réel fluctuant dans le temps au cours de la période considérée.

Le niveau sonore équivalent peut être pondéré A, il est alors noté $L_{A,eq}$. Il peut être exprimé en décibel [dB] ou en décibel pondéré A [dB(A)].

Bruit résiduel (ou bruit de fond)

Bruit ambiant, en l'absence du (des) bruit(s) particulier(s), objet(s) de la requête considérée.

Bruit particulier

Composante du bruit ambiant qui peut être identifiée spécifiquement et que l'on désire distinguer du bruit ambiant notamment parce qu'il est l'objet d'une requête.

Bruit ambiant

Bruit total existant dans une situation donnée pendant un intervalle de temps donné. Il est composé de l'ensemble des bruits émis par toutes les sources proches et éloignées.

Emergence

L'émergence est définie dans l'arrêté 2006-1099 comme étant est la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et celui du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, dans un lieu donné, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement normal des équipements.

Courbe NR ou NC

Les courbes de critère de bruit de fond (NC pour Noise Criteria) ou plus communément les courbes de niveau de bruit (NR pour Noise Rating) ont été instaurées par une norme ISO qui leur confère ainsi un caractère international. La législation française des normes acoustiques l'inscrit sous la référence NF S 30-010.

Ces courbes définissent des valeurs en bandes d'octave de 31, 5 à 8000 Hz pour un indice donné.

Indices fractiles

L'indice fractile LX correspond au niveau sonore atteint ou dépassé pendant X% du temps d'observation. On utilise principalement les indices fractiles L10, L50, L90. Plus le pourcentage de temps est élevé plus l'indice considéré représente le bruit de fond, sans prendre en compte les contributions des événements sonores énergétiques de courte durée, comme des passages de véhicules isolés par exemple.

Durée de réverbération

Par définition, la durée de réverbération T_r correspond au temps nécessaire pour qu'un son décroisse de 60 dB après extinction d'une source sonore émettant dans le local.

Le T_r défini ainsi est également appelé TR60.

Par analogie, le TR30 et les TR15 correspondent au temps nécessaire pour qu'après l'arrêt d'une source sonore, l'intensité acoustique décroisse respectivement de 30 et 15 dB.

La durée de réverbération dépend essentiellement :

- de la forme et du volume du local,
- de la nature et de la surface des matériaux recouvrant les murs, le plafond, le sol.

Echogrammes

Les échogrammes permettent de repérer les différentes caractéristiques des réflexions sonores perçues par un récepteur dans une configuration spécifique.

L'analyse du nombre, de l'intensité et du décalage dans le temps des réflexions perçues permet de juger de la qualité d'écoute d'un lieu.

Ainsi, lorsque le récepteur reçoit deux réflexions sonores, d'intensités similaires :

- à moins de 50 ms d'intervalle : elles sont perçues comme une seule onde sonore,
- entre 50 et 80 ms d'intervalle : elles renforcent l'intelligibilité de la parole ou de la musique,
- à plus de 80 ms d'intervalle : elles provoquent un écho défavorable à l'intelligibilité.

En cas d'écho, la gêne sera d'autant plus minimisée que l'intensité de l'onde réfléchie sera inférieure à celle de l'onde directe.

Intelligibilité de la parole (STI et RASTI)

Le STI (Speech Transmission Index) est un critère objectif directement lié à l'intelligibilité de la parole. Il est généralement utilisé pour évaluer la facilité qu'auront les auditeurs à comprendre un discours ou entendre de la musique sans que le son soit déformé.

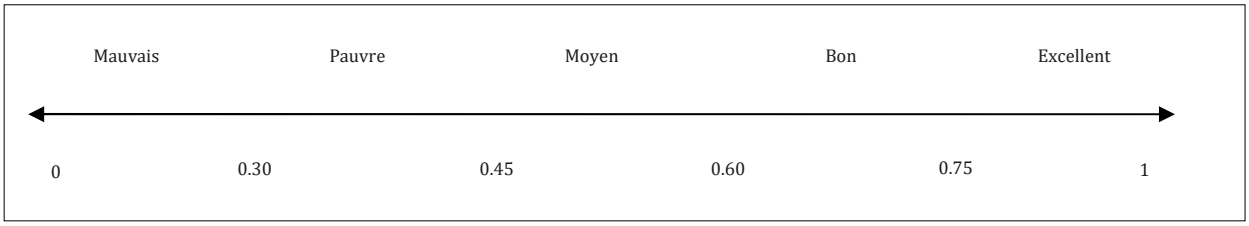
Ce critère dépend essentiellement :

- de la durée de réverbération,
- du rapport signal / bruit correspondant à la différence entre le niveau sonore de la parole reçu et le niveau ambiant.

Le STI varie entre 0 et 1.

On considère qu'il est bon à partir de 0,6 pour une salle sans sonorisation, mais on exigera un STI supérieur à 0,7 dans une salle sonorisée.

Le graphique ci-dessous indique les correspondances entre les valeurs du STI et l'intelligibilité correspondante :



Le RASTI (Rapid Speech Transmission Index) est calculé de la même façon que le STI, avec un calcul réduit aux bandes d'octaves 500 et 2 000 Hz.

3. Protocole de mesures acoustiques

La première partie du projet consista à mettre au point un protocole de mesure permettant la caractérisation acoustique des brasseurs. La méthodologie suivie ainsi que les modalités du protocole sont explicitées dans la partie suivante.

3.1. Objet

Le protocole suivant a pour objectif de décrire la méthodologie de mesures acoustiques de brasseurs d'air dans des cellules d'essai du laboratoire PIMENT à la Réunion et des laboratoire EIFFEL à Paris dans le cadre du projet BRASSE. Ce protocole a pour objet d'être extrapolé à d'autres locaux de tests pour des caractérisations acoustiques simplifiés de brasseurs.

Le protocole a pour objectif que les données acoustiques associées à un brasseur d'air soient homogènes et exploitables par un concepteur de locaux.

La puissance acoustique (L_w) d'une source sonore permet de supprimer toute ambiguïté sur les conditions de mesures toujours associé à une donnée exprimée sous forme de niveau de pression acoustique/sonore (L_p).

La donnée acoustique à fournir est donc la puissance acoustique Lw, L_{wA} en dB(A) dans le cadre du protocole mais qui peut en complément être fournie en bande d'octave ou tiers d'octave.

N.B. : Les données acoustiques transmises dans les fiches techniques des brasseurs d'air sont souvent inexploitables car l'unité n'est pas précisée. Le niveau de pression acoustique est inférieur (de 5 à 15 dB(A) voire plus selon les conditions de mesures) au niveau de puissance acoustique. Si cette différence peut sembler qualitative car la valeur en dB affichée est plus faible, cela ne permet pas une étude fiable.

3.2. Généralités

3.3. Niveau de pression acoustique

Le niveau sonore d'une source de bruit est exprimé en décibel :

$$Lp = 10 * \log\left(\frac{p^2}{po^2}\right)$$

Avec :

$$po = 2.10^{-5}$$

Cette pression acoustique *p* au niveau du point de mesures dépend

- De la puissance acoustique de la source
- De la distance à cette source
- Des conditions d'environnement (conditions de propagation, réflexions, diffraction, etc.)
- Du bruit de fond

L'ensemble de ces éléments, à part la distance entre la source et le récepteur, dépendent de la fréquence considérée.

Dans un local, la pression acoustique s'exprime comme la somme logarithmique du champ direct et du champ réverbéré selon la formule

$$Lp_{total} = Lp\ direct + Lp\ réverbéré$$

3.3.1. Puissance acoustique

Soit, en introduisant le niveau de puissance acoustique :

$$Lp_{total} = Lw + 10 * LOG\left(\frac{Q}{4 * pi * d^2} + \frac{4}{A}\right)$$

Avec :

A = l'Aire d'Absorption Equivalente de la salle de test

Q = le coefficient de directivité de la source

d = distance source – récepteur

Deux stratégies sont utilisées pour faire des mesures de puissance acoustique de source. Il s'agit de créer les conditions de laboratoire pour rendre négligeable l'un ou l'autre des champs afin d'estimer la puissance acoustique à partir du champ prépondérant.

En effet, si le champ direct est négligeable devant le champ réverbéré, la puissance acoustique s'exprime comme :

$$Lw = Lp\ réverbéré - 10 * LOG\left(\frac{4}{A}\right)$$

De même, si le champ réverbéré est négligeable devant le champ direct, la puissance acoustique s'exprime comme :

$$Lw = Lp\ direct - 10 * LOG\left(\frac{Q}{4 * pi * d^2}\right)$$

3.3.2. Salles utilisées en laboratoire

Concrètement, deux types de salles de tests acoustiques permettent de se rapprocher au mieux de ces deux situations :

- La salle réverbérante pour rendre négligeable le champ direct
- La salle anéchoïque pour rendre négligeable le champ réverbéré

Un local quelconque ne permet pas a priori de se positionner clairement dans une situation ou une autre. Le niveau sonore mesuré contient donc à parts non négligeables les contributions sonores directes et réverbérées.

3.4. Série des normes NF EN ISO 3740

3.4.1. Tableau 1 : Vue d'ensemble des Normes internationales pour la détermination des niveaux de puissance acoustique des machines et des équipements

Paramètre	Niveau de pression acoustique							Intensité acoustique	
	ISO 3741 Laboratoire [a]	ISO 3743-1 Expertise [a]	ISO 3743-2 Expertise [a]	ISO 3744 Expertise [a]	ISO 3745 Laboratoire [a]	ISO 3746 Contrôle [a]	ISO 3747 Expertise ou contrôle [a]	ISO 9614-1 Laboratoire, expertise ou contrôle [a]	ISO 9614-2 Expertise ou contrôle [a]
Environnement d'essai	Salle réverbérante	Salle à parois dures	Dalle réverbérante spéciale	Champ essentiellement libre sur plan réfléchissant	Salle anéchoïque ou semi-anéchoïque	Pas d'environnement d'essai spécial	Champ essentiellement réverbéré in situ, soumis à des exigences de qualification données	Tout type	Tout type
Critère d'aptitude de l'environnement d'essai	Volume de la salle et temps de réverbération à qualifier	Volume $\geqslant 40\ m^3$ Coefficient d'absorption $\leqslant 0{,}20$	$70\ m^3 \leqslant$ volume $\leqslant 300\ m^3$ $0{,}5\ s \leqslant T_{nom} \leqslant 1\ s$	$K_2 \leqslant 2\ dB$ [b]	Exigences spécifiées	$K_2 \leqslant 7\ dB$ [b]	Exigences spécifiées	Exigences spécifiées pour: — intensité parasite; — vent, flux de gaz, vibrations, température; — configuration de l'environnement	Exigences spécifiées pour: — intensité parasite; — vent, flux de gaz, vibrations, température; — configuration de l'environnement
Volume de la source sonore	De préférence inférieur à 2 % du volume de la salle d'essai	De préférence inférieur à 1 % du volume de la salle d'essai	De préférence inférieur à 1 % du volume de la salle d'essai	Aucune restriction: limité uniquement par l'environnement d'essai disponible	Dimension caractéristique inférieure à la moitié du rayon de mesurage	Aucune restriction: limité uniquement par l'environnement d'essai disponible	Aucune restriction: limité uniquement par l'environnement d'essai disponible	Aucune restriction	Aucune restriction
Type du bruit émis par la source	Stable, à large bande, à bande étroite ou à fréquence discrète	Tout type mais pas d'éclats isolés	Tout type mais pas d'éclats isolés	Tout type	Tout type	Tout type	Stable, à large bande, à bande étroite ou à fréquence discrète	À large bande, à bande étroite ou à fréquence discrète, si stationnaire dans le temps	À large bande, à bande étroite ou à fréquence discrète, si stationnaire dans le temps
Limitation du bruit de fond	$\Delta L \geqslant 10\ dB$ $K_1 \leqslant 0{,}5\ dB$ [c]	$\Delta L \geqslant 6\ dB$ $K_1 \leqslant 1{,}3\ dB$ [c]	$\Delta L \geqslant 4\ dB$ $K_1 \leqslant 2\ dB$ [c]	$\Delta L \geqslant 6\ dB$ $K_1 \leqslant 1{,}3\ dB$ [c]	$\Delta L \geqslant 10\ dB$ $K_1 \leqslant 0{,}5\ dB$ [c]	$\Delta L \geqslant 3\ dB$ $K_1 \leqslant 3\ dB$ [c]	$\Delta L \geqslant 6\ dB$ $K_1 \leqslant 1{,}3\ dB$ [c]	Niveau: donné par la capacité dynamique des instruments (généralement: $\Delta L \geqslant -10\ dB$ variabilité: exigence spécifiée pour l'indicateur de champ F1	Niveau: donné par la capacité dynamique des instruments (généralement: $\Delta L \geqslant -10\ dB$ variabilité: exigence spécifiée pour la vérification de la répétabilité
Instruments: [d] a) sonomètre b) sonomètre intégrateur c) filtre de bande de fréquences d) calibreur e) instrument de mesure de l'intensité acoustique	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	a) classe 1 b) classe 1 c) classe 1 d) classe 1	e) classe 1 ou 2 [e]	e) classe 1 ou 2 [e]
Niveaux de puissance acoustique pouvant être obtenus	Pondéré A et par bandes de tiers d'octave ou d'octave	Pondéré A et par bandes d'octave	Pondéré A et par bandes d'octave	Pondéré A et par bandes de tiers d'octave ou d'octave	Pondéré A et par bandes de tiers d'octave ou d'octave	Pondéré A	Pondéré A et par bandes d'octave	Bande limitée (1/3 octave 50 Hz à 6 300 Hz) pondéré A et par bandes de tiers d'octave ou d'octave. La classe de précision est déterminée à partir d'indicateurs de champ	Bande limitée (1/3 octave 50 Hz à 6 300 Hz) pondéré A et par bandes de tiers d'octave ou d'octave. La classe de précision est déterminée à partir d'indicateurs de champ
Informations facultatives disponibles	Autres niveaux de puissance acoustique pondérés en fréquence	Autres niveaux de puissance acoustique pondérés en fréquence	Autres niveaux de puissance acoustique pondérés en fréquence	Information sur la directivité et niveaux de pression acoustique en fonction du temps; niveaux de pression acoustique d'un événement élémentaire; autres niveaux de puissance acoustique pondérés en fréquence — Niveaux d'énergie acoustique		Niveaux de pression acoustique en fonction du temps	Niveaux de pression acoustique en fonction du temps	Concentration de puissance acoustique élémentaire partielle positive et/ou négative	

[a] Classe de précision: laboratoire = classe 1; expertise = classe 2; contrôle = classe 3.
[b] K_2 est la correction d'environnement (voir 3.12).
[c] K_1 est la correction de bruit de fond (voir 3.11).
[d] Au moins conforme à la classe " " de:
a) CEI 61672-1, b) CEI 61672-1, c) CEI 61260, d) CEI 60942, e) CEI 61043
[e] Selon la classe de précision de la méthode (classe 1 pour les méthodes de laboratoire et d'expertise et classe 2 pour la méthode de contrôle).

Tableau 1 : Vue d'ensemble des Normes internationales pour la détermination des niveaux de puissance acoustique des machines et de équipements

3.4.2. Tableau 2 — Incertitude dans la détermination des niveaux de puissance, exprimée par la valeur maximale de l'écart-type de reproductibilité

Fréquence	ISO 3741	ISO 3743-1	ISO 3743-2	ISO 3744	ISO 3745 Salle anéchoïque	ISO 3745 Salle semi-anéchoïque	ISO 3746	ISO 3747 Expertise	ISO 3747 Contrôle	ISO 9614-1 Laboratoire	ISO 9614-1 Expertise	ISO 9614-1 Contrôle	ISO 9614-2 Expertise	ISO 9614-2 Contrôle
Pondération A	0,5	1,5	2	1,5 [a]	—	—	3 [a] (si $K_2 \leqslant 5\ dB$) 4 [a] (si $5 < K_2 \leqslant 7\ dB$) 4 [c] (si $K_2 \leqslant 5\ dB$) 5 [c] (si $5 < K_2 \leqslant 7\ dB$)	1,5	4	—	—	4 [b]	1,5 [b]	4 [b]
Bandes d'octave (Hz)														
63	—	—	—	5 [d]	—	—	—	—		2	3	—	3	—
125	2,5	3	5	3	—	—	—	—		2	3	—	3	—
250	1,5	2	3	2	—	—	—	—		1,5	2	—	2	—
500	1,0	1,5	2	1,5	—	—	—	—		1,5	2	—	1,5	—
1 000 à 4 000	1,0	1,5	2	1,5	—	—	—	—		1	1,5	—	1,5	—
8 000	2	2,5	3	2,5	—	—	—	—		—	—	—	—	—
Bandes de tiers d'octave (Hz)														
50 à 80	—	—	—	5 [d]	2	2	—	—		2	3	—	3	—
100 à 160	3,0	—	—	3	1	1,5	—	—		2	3	—	3	—
200 à 315	2,0	—	—	2	1	1,5	—	—		1,5	2	—	2	—
400 à 630	1,5	—	—	1,5	1	1,5	—	—		1,5	2	—	1,5	—
800 à 5 000	1,5	—	—	1,5	0,5	1	—	—		1	1,5	—	1,5	—
6 300 à 10 000	3	—	—	2,5	1	1,5	—	—		2 [e]	2,5 [e]	—	2,5 [e]	—

[a] Pour une source qui émet un bruit avec un spectre relativement «plat» sur le domaine de fréquences utile.
[b] Pondéré A (à partir de bandes d'octave, 63 Hz à 4 000 Hz ou à partir de bandes de tiers d'octave, 50 Hz à 6 300 Hz).
[c] Pour une source qui émet un bruit contenant des sons purs prédominants.
[d] Généralement pour des mesurages en plein air; bon nombre de salles ne sont pas qualifiées pour cette bande de fréquence
[e] Bande de tiers d'octave 6 300 Hz uniquement.
— Non indiqué dans la norme.

Tableau 2 : Incertitude dans la détermination des niveaux de puissance, exprimée par la valeur maximale de l'écart-type de reproductibilité

3.4.3. Tableau 3 — Facteurs conditionnant le choix de la méthode

		ISO 3741	ISO 3743-1	ISO 3743-2	ISO 3744	ISO 3745	ISO 3746	ISO 3747	ISO 9614-1	ISO 9614-2
Classe de précision	Laboratoire (classe 1)	x				x			x	
	Expertise (classe 2)		x	x	x			x	x	x
	Contrôle (classe 3)						x	x	x	x
Environnement conçu pour la détermination de la puissance acoustique	Salle réverbérante	x								
	Salle d'essai réverbérante			x						
	Salle anéchoïque					x				
	Salle semi-anéchoïque				x [a]	x				
	Salle d'essai à parois dures		x							
Environnement in situ	À l'intérieur dans un champ réverbéré							x	x	x
	À l'intérieur dans un champ relativement libre sur un plan réfléchissant						x [b]		x	x
	À l'intérieur et à l'extérieur dans un champ essentiellement libre sur un plan réfléchissant				x				x	x
Niveau de bruit de fond	$\Delta L \geqslant$ 10 dB	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	$\Delta L \geqslant$ 6 dB		x	x	x		x	x	x	x
	$\Delta L \geqslant$ 3 dB						x		x	x
	$\Delta L <$ 3 dB								x [c]	x [c]
Type de bruit	Tous types comme défini dans l'ISO 12001				x	x	x			
	Tous types, à l'exception des impulsions isolées	x	x	x				x		
	Stable dans le temps								x	x
Instruments (voir Table 1)	Sonomètre:									
	classe 1	x	x	x	x			x		
	classe 2					x	x			
	Sonomètre intégrateur:									
	classe 1	x	x	x	x			x		
	classe 2					x				
	Filtre de bande de classe 1	x	x	x	x	x	x	x		
	Instrument de mesure de l'intensité acoustique								x	x
Niveaux de puissance acoustique pouvant être obtenus	Niveaux par bandes de tiers d'octave	x			x	x			x	x
	Niveaux par bandes d'octave	x	x	x	x	x		x	x	x
	Niveaux pondérés A	x	x	x	x	x	x	x	x [d]	x [d]
Information disponible en option	Autres pondérations en fréquence	x	x	x	x	x	x	x		
	Information sur la directivité				x	x				
	Signature temporelle				x	x	x			

[a] Correction d'environnement $K_2 \leqslant 2$ dB.
[b] Correction d'environnement $K_2 \leqslant 7$ dB.
[c] La limite inférieure est approximativement égale à –10 dB, mais dépend des conditions de mesurage.
[d] Pondéré A (à partir de bandes d'octave, 63 Hz à 4 000 Hz ou à partir de tiers d'octave, 50 Hz à 6 300 Hz).
x Applicable.

Tableau 3 : Facteurs conditionnant le choix de la méthode

3.5. NORME NF EN ISO 3746-201206

Cette norme a été retenue comme base du protocole de détermination des puissances acoustiques des brasseurs d'air.

3.5.1. Intitulé

« Acoustique — Détermination des niveaux de puissance acoustique et des niveaux d'énergie acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique — Méthode de contrôle employant une surface de mesure enveloppante au-dessus d'un plan réfléchissant »

3.5.2. Description succincte et application au brasseur

3.5.2.1. Critère de bruit de fond

Les niveaux de pression acoustique pondérés A dus au bruit de fond moyennés sur l'ensemble des positions de microphone ou des trajets microphoniques sur la surface de mesure doivent être inférieurs d'au moins 3 dB au niveau de pression acoustique moyen dû à la source de bruit en essai en fonctionnement, mesuré en présence de ce bruit de fond (voir 8.3.2).

3.5.2.2. Critère d'aptitude acoustique de l'environnement d'essai

- K2A < 7 dB

3.5.2.3. Généralités

Sonomètre de classe 2 OK pour bruit stable mais sonomètre de classe 1 conseillé

3.5.2.4. Fonctionnement de la source pendant l'essai

Conditions de fonctionnement de la source en essai (par exemple) :

1. Source dans des conditions de charge spécifiées ;
2. Source sous pleine charge (si elle diffère de la charge spécifiée) ;
3. Source sous charge nulle (à vide) ;
4. Source à vitesse maximale dans des conditions définies ;
5. Source fonctionnant dans les conditions correspondant à une émission sonore maximale en utilisation normale ;
6. Source sous charge simulée et dans des conditions définies ;
7. Source effectuant un cycle de travail caractéristique dans des conditions définies. Pour le brasseur, il s'agira des différentes vitesses de rotation.

3.5.2.5. Parallélépipède de référence

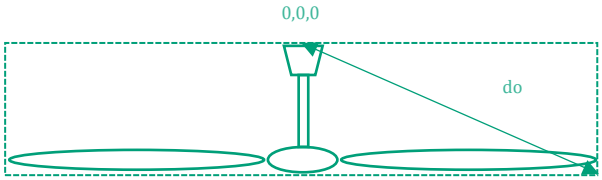


Figure 1 : Schéma du parallélépipède de référence

3.5.2.6. Surface de mesure hémisphérique

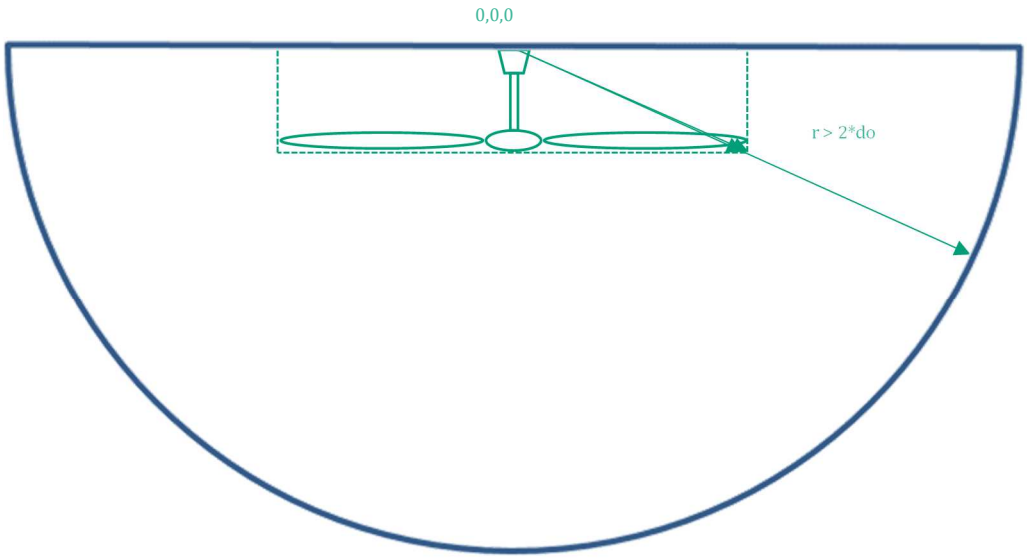


Figure 2 : Schéma de la surface de mesure hémisphérique

3.5.2.7. Détermination de K2A

Méthode valable dans le cas de salle d'essai de longueur et de largeur inférieures à trois fois la hauteur du plafond.

$$K_{2A} = 10 * LOG\left(1 + 4\frac{S}{A}\right)$$

Avec :

- A est l'aire d'absorption acoustique équivalente de la salle, en mètres carrés ;
- S est l'aire, en mètres carrés, de la surface de mesure.
- $A = \alpha * S_V$

Où :

- α est le coefficient d'absorption acoustique moyen, donné pour des grandeurs pondérées A dans le Tableau 4;
- S_V est l'aire totale, en mètres carrés, des surfaces délimitant la salle d'essai (murs, plafond et sol).

Surface de mesures : $S = 2*pi*r^2$

Coefficient d'absorption acoustique moyen, α	Description de la salle
0,05	Salle presque entièrement vide à murs lisses et durs en béton, brique, plâtre ou carrelage
0,10	Salle partiellement vide; salle à murs lisses
0,15	Salle meublée ayant la forme d'un cuboïde carré; salle de machines ou local industriel ayant la forme d'un cuboïde carré
0,20	Salle meublée de géométrie irrégulière; salle de machines ou local industriel de géométrie irrégulière
0,25	Salle contenant du mobilier rembourré; salle de machines ou local industriel à parois ou à plafond revêtus de petites quantités de matériau absorbant
0,30	Salle à plafond absorbant, mais sans matériau absorbant sur les murs
0,35	Salle à murs et plafond revêtus de matériau absorbant
0,50	Salle à murs et plafond largement revêtus de matériau absorbant

Tableau 4 : Valeurs approchées du coefficient d'absorption acoustique moyen, α

3.5.2.8. Positions des points de mesure hémisphériques

- 4 positions de mesures
- Positions de mesures supplémentaires si l'étendue entre plus petite et plus grande valeur dépasse 2 fois le nombre de positions de points de mesurage.
- Réduction du nombre de points de mesures si écart entre les valeurs est inférieurs à 1dB (exemple avec diagramme de rayonnement symétrique, cas du brasseur a priori).

3.5.2.9. Mesurage des niveaux de pression acoustique

- Durée minimum 10 secondes, pour chaque mode de fonctionnement.
- Mesure du bruit de fond aux mêmes positions.
- Niveau moyen de pression acoustique pondéré A :

$$\overline{L'_{pA(ST)}} = 10 \lg \left[\frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} 10^{0,1 L'_{pA\,i(ST)}} \right] \text{dB}$$

Où $L'_{pAi(ST)}$ est le niveau de pression acoustique temporel moyen pondéré A de la source de bruit en essai (ST) à la position i du microphone ou sur le trajet i du microphone, en décibels;

N_M est le nombre de positions de microphone ou de trajets microphoniques individuels.

3.5.2.10. Corrections de bruit de fond

$$K_{1A} = -10 * LOG\left(1 - 10^{-0.1 \Delta L_{pA}}\right)$$

$$\Delta L_{pA} = \overline{L'_{pA(ST)}} - \overline{L_{pA(B)}}$$

Où :

- $\overline{L'_{pA(ST)}}$ est le niveau de pression acoustique temporel moyen pondéré A du réseau de positions de microphone sur la surface de mesure, la source de bruit en essai étant en fonctionnement, en décibels
- $\overline{L_{pA(B)}}$ est le niveau moyen de pression acoustique temporel moyen pondéré A du bruit de fond du réseau de positions de microphone sur la surface de mesure, en décibels.
- Si $\Delta L_{pA} > 10$ dB, K_{1A} est supposée égale à zéro.
- Pour 3 dB $\leq \Delta L_{pA} \leq$ 10 dB, les corrections doivent être calculées conformément à l'Équation (12).
- Si $\Delta L_{pA} < 3$ dB, la précision du (des) résultat(s) est réduite et la valeur de K_{1A} à appliquer dans ce cas est de 3 dB (la valeur pour $\Delta L_{pA} = 3$ dB). Dans ce cas, il doit être clairement mentionné dans le texte du rapport d'essai, ainsi que dans les graphiques et les tableaux de résultats, que les données obtenues lors de l'essai constituent une limite supérieure du niveau de puissance acoustique de la source de bruit en essai.

3.5.2.11. Calcul du niveau de pression acoustique surfacique temporel moyen

$$\overline{L_{pA}} = \overline{L'_{pA(ST)}} - K_{1A} - K_{2A}$$

3.5.2.12. Calcul des niveaux de puissance acoustique

$$L_{WA} = \overline{L_{pA}} + 10 * LOG\left(\frac{S}{So}\right)$$

Avec :

- S = Surface de mesure
- So = 1m2

3.5.3. Incertitude de mesures

Cette incertitude de mesure correspond à l'usage de la norme 3746 et prend en compte l'écart type « forfaitaire » sur le bruit des machines $sigma_{omc}$ ainsi que celui de la méthodologie de mesures $sigma_{RO}$.

On peut réduire cette incertitude dans le cadre de la 3746 dans le cadre de spectre « plat » des machines sans ton pur prédominant ou bien utiliser la norme 3744 qui permet de réduire l'incertitude à 1.5 dB(A) mais qui nécessite des conditions de mesures et d'environnement plus contraignantes (10 points de mesures, K2 < 2 dB

$$u(Lw) = \sigma tot$$

$$\sigma tot = \sqrt{\sigma^2{}_{R0} + \sigma^2{}_{omc}}$$

Incertitude élargie : $U = k * \sigma tot$

L'intervalle de confiance à 95% s'obtient avec k =2 (Lw se situera avec 95% de chance dans l'intervalle (Lw - U) et (Lw + U).

$$\sigma_{omc} = 2dB$$

$$\sigma_{R0} = 1.5\ dB$$

Avec les brasseurs, on a donc :

$$U = 2 * \sqrt{1.5^2 + 2^2} = 5\ dB$$

3.6. Méthodologie retenue

3.6.1. Principe général

Des salles dédiées aux tests de performances des brasseurs serviront aux mesures de niveaux de pression acoustique afin de déterminer les puissances acoustiques sur la base de la norme NF EN ISO 3746.

Cette norme permet de réaliser des mesures en niveau global pondéré A et de prendre en compte les caractéristiques acoustiques de la salle afin de calculer la correction d'environnement K2A de manière visuelle. Il est également possible de faire cette correction par la mesure du temps de réverbération afin d'améliorer la précision, a priori. Pour cela il faut calculer l'aire d'absorption équivalente de la salle grâce à la mesure du temps de réverbération et à la formule de Sabine présentée ci-dessous :

$$Tr = \frac{0.16V}{A}$$

Avec :

- Tr le temps de réverbération moyenné sur les bandes des tiers d'octaves comprises entre 400 et 1250 Hz (fréquence d'analyse que LASA juge cohérente par rapport aux mesures d'un brasseur d'air).
- V le volume de la salle
- A l'air d'absorption équivalente

De cette formule nous pouvons remonter à l'aire d'absorption équivalente. La correction d'environnement résultant de cette méthode sera nommée K2A' par la suite.

Il est également maintenu la possibilité de faire les relevés acoustiques en bande de tiers d'octave pour permettre notamment des analyses plus fines du spectre des brasseurs.

Il convient en première approche de s'assurer des caractéristiques suivantes pour permettre ces mesures normalisées :

Hypothèses sur la géométrie du brasseur

- Diamètre : 1.3m
- Hauteur 0.5m
- Donc une distance d0 de 0.82
- Donc avec un rayon de l'hémisphère de mesurage de 1.64m.

Avec une puissance acoustique du brasseur supposée de l'ordre de 35 dB(A) en petite vitesse

Les contraintes sont :

- **Bruit de fond inférieur à 30 dB(A)**
- **Salle :**
  - **Surface de la salle de 20m2 au minimum**
  - **Alpha moyen des parois de 0.20**

  Ou (par exemple) :
  - **Surface de la salle de 25m2 au minimum**
  - **Alpha moyen des parois de 0.15**

Il est nécessaire de retenir 4 positions de mesures pour le bruit du brasseur en fonctionnement et le bruit de fond. Ces positions de bruit de fond pourraient être éventuellement réduites à 1 s'il apparait lors des premières mesures de caractérisation des salles que celui-ci est sensiblement équivalent en tous les points de mesures.

Les positions de mesures seront repérées soit par des supports fixés au sol soit suspendus au plafond permettant un positionnement précis du microphone lors des mesures.

Ces supports de sonomètres de devront pas générer de bruit notamment s'ils sont exposés au flux d'air du brasseur.

*N.B. : Ces positions dépendent donc de la dimension du brasseur d'air. Toutefois il pourra être prévu une stratégie de maximisation de la surface de mesurage permettant de prendre en compte les brasseurs les plus grands (r > 2*do) afin de permettre un repérage définitif des positions de mesurage.*

3.6.2. Schéma de positions de brasseur et de mesures

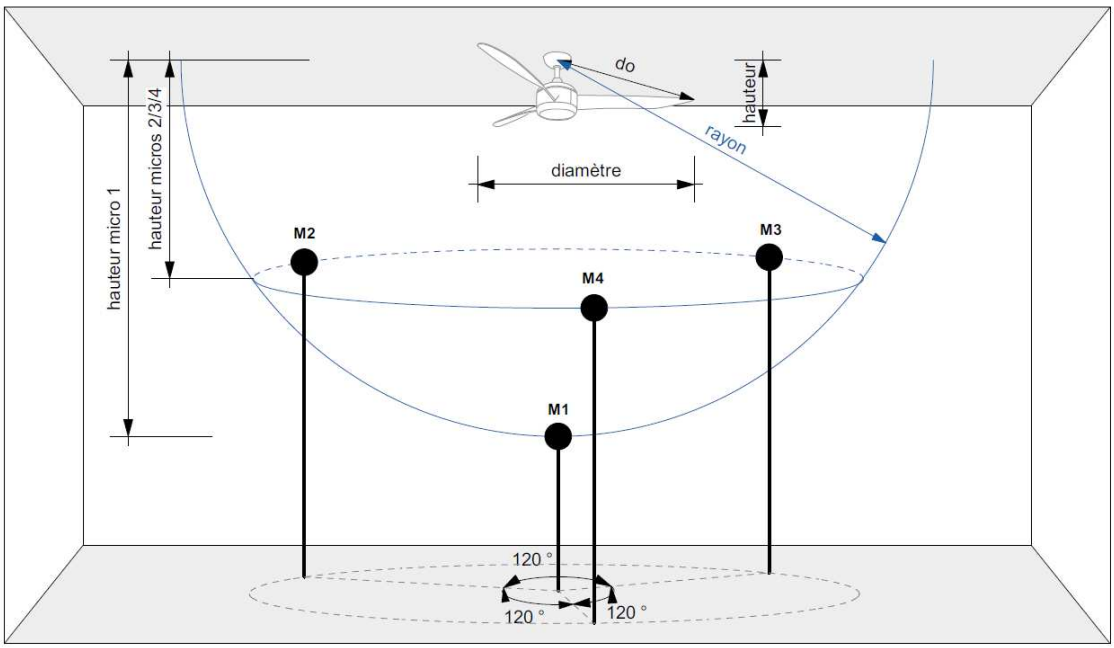


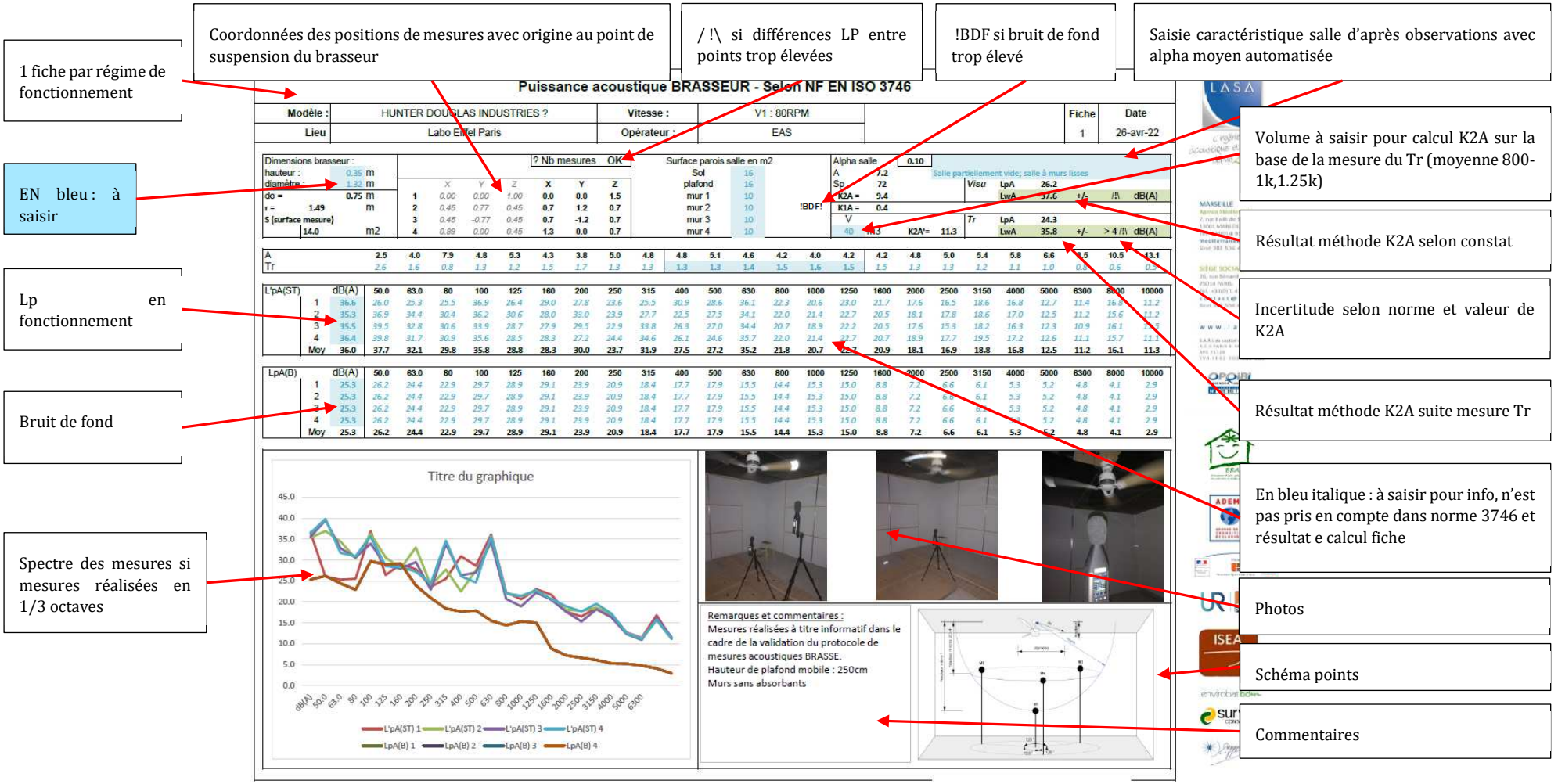
Figure 3 : Schéma de position de brasseur et de mesures

Le brasseur est positionné au centre du plafond le plus loin possible des parois latérales.

3.6.3. Conditions de fonctionnement : vitesses de rotation

Les différentes vitesses de rotations disponibles du brasseur seront mesurées en chaque point de mesures.

3.6.4. Fiche de mesures



4. Présentation des mesures acoustiques réalisées via le protocole mis en place

Les différentes séries de mesures acoustiques réalisées dans le cadre du projet BRASSE sont présentées ci-après.

Des mesures ont eu lieu dans le laboratoire PIMENT situé à la Réunion, du 18 au 20 octobre 2021 dans le cadre du séminaire organisé pour le projet BRASSE. Puis, une campagne de mesures a été réalisée dans les locaux de la soufflerie EIFFEL à Paris le 29 octobre 2021.

Ces campagnes ont conduit à des modifications des deux salles d'essai et deux nouvelles séries de mesures, sur le même brasseur, ont eu lieu le 07 mars et le 26 avril 2022 aux laboratoires PIMENT et d'EIFFEL.

Ces mesures ont permis de tester le protocole de mesures acoustiques dans la salle d'essai des brasseurs d'air du laboratoire PIMENT et de vérifier l'adéquation des locaux, avec la norme utilisée, grâce aux mesures réalisées à la soufflerie EIFFEL.

De plus, des mesures de niveau sonore acoustique ont été réalisées dans un certain nombre de locaux différents et les résultats sont présentées dans la section suivante.

4.1. Salle d'essai au laboratoire PIMENT à la Réunion

4.1.1. Présentation de la salle d'essai du laboratoire PIMENT

La salle d'essai des brasseurs d'air du laboratoire PIMENT est située dans les locaux de l'ESIROI à Saint Pierre à la Réunion. Cette salle a été conçue spécifiquement pour les tests des brasseurs dans le cadre notamment du projet BRASSE.

Les caractéristiques de la salle sont :

- Surface : 4*4 = 16 m²
- Hauteur sous plafond suspendu de 250 à 270cm
- Sol en béton
- Plafond suspendu en cadre métallique avec dalle de plafond en fibre minérale
- Murs en béton sauf partie haute de 2 des 4 murs en polycarbonate.

4.1.2. Caractéristiques acoustiques de la salle

Les premières mesures effectuées sur site ont permis de quantifier les durées de réverbération ainsi que le bruit de fond dans la salle de test. Les résultats sont visibles dans le tableau et les graphiques suivants :

Fréquence (Hz)	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
TR 250 REV (s)	3.31	1.56	1.47	1.56	1.12	1.09	0.93	0.75	0.70	0.61	0.61	0.62	0.82	0.78	0.74	0.67	0.68	0.68	0.64	0.69	0.71	0.65	0.62	0.62
TR 250 ABS (s)	1.16	1.27	2.02	1.40	0.93	0.97	0.49	0.42	0.38	0.39	0.37	0.34	0.34	0.35	0.35	0.41	0.43	0.44	0.48	0.50	0.48	0.41	0.38	0.36
TR 270 ABS (s)	1.36	1.18	1.58	1.17	0.90	0.86	0.57	0.58	0.46	0.42	0.40	0.36	0.33	0.36	0.40	0.35	0.38	0.38	0.37	0.36	0.35	0.33	0.30	0.29
BDF (dB)	40.4	23.9	29.7	27.4	20.4	16.2	18.8	18.9	13.7	11.5	11.6	11.9	8.3	7.7	10.2	7.3	7.9	9.4	8.3	8.5	9.9	9.1	9.1	9.1

Tableau 5 : Résultats des mesures de temps de réverbération pour différentes configurations de salles et du bruit de fond

Il a été mesuré un bruit de fond de de 21 dB(A). Ce bruit de fond est très bas ce qui est une caractéristique très favorable pour la mesure de bruit des brasseurs notamment à basse vitesse, toutefois le local est facilement perturbé par les bruits en provenance de la zone de commande ou de la salle de TP mitoyenne qui ne sont séparées de la salle de test que par une cloison en polycarbonate qui ne peut apporter un isolement que de l'ordre de 15 à 20 dB maximum.

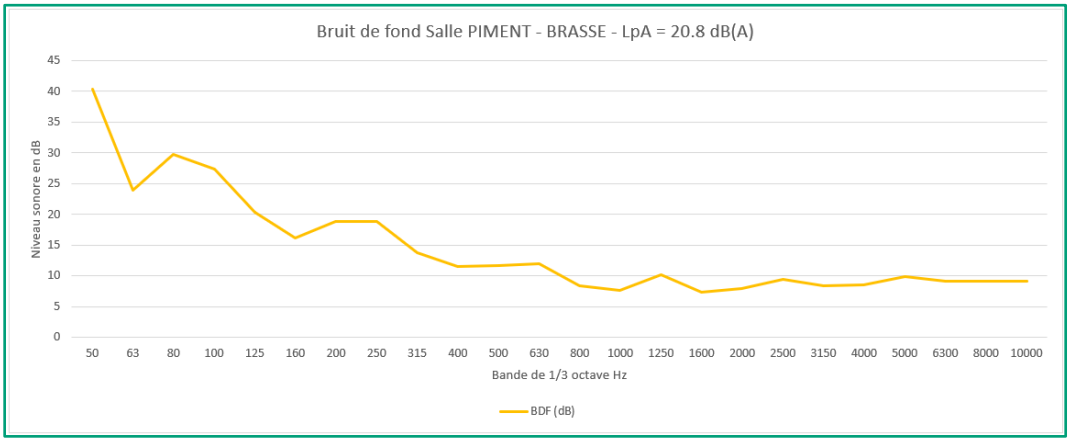


Figure 4 : Bruit de fond mesuré dans la cellule d'essai du laboratoire PIMENT

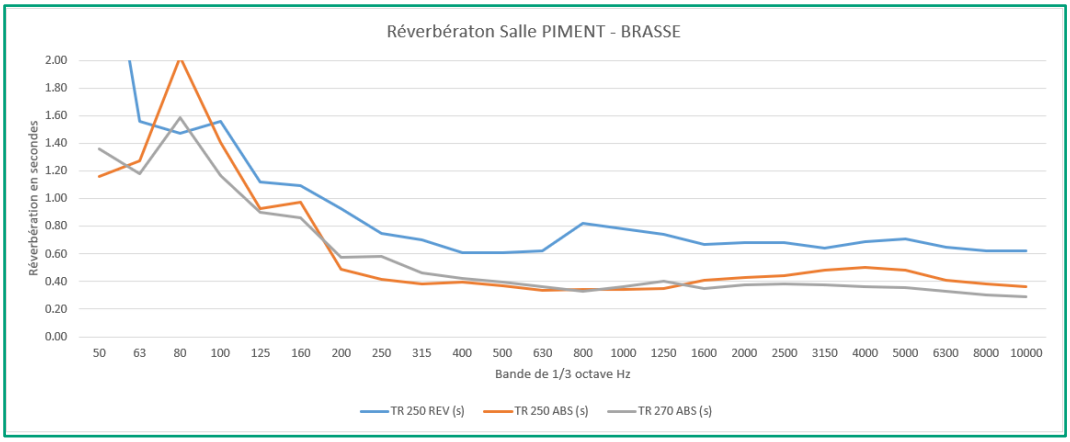


Figure 5 : Temps de réverbération mesuré dans la salle en fonction de la hauteur et des traitements acoustiques du plafond

La réverbération de la salle de test, présentée ci-dessus, montre la diminution des valeurs non négligeables (divisées par deux à certaines fréquences) à la suite de l'ajout de panneaux de fibre minérales (de plafond) posés contre les murs.

Le choix pour cette étude est de réaliser le calcul du niveau de puissance du brasseur en utilisant la mesure du temps de réverbération au lieu de déduire le coefficient d'absorption de la salle via le tableau donné par la norme. Cette méthode apporte des résultats plus précis, car les données sont mesurées et non déduites d'observations. Cette remarque est d'autant plus vraie que les évaluateurs ne sont pas spécialistes des matériaux acoustiques.

Pour exemple, si nous nous tenons à la norme dans le cas présent, la salle d'essai avec une hauteur de 2.50 m et sans matériaux absorbant sur les murs, serait vu comme une « Salle à plafond absorbant, mais sans matériaux absorbant sur les murs » (faux plafond présent dans la salle). Ce qui donnerait un α moyen de 0.3 d'après le tableau de la norme. Si nous calculons maintenant le même α en utilisant les valeurs de temps de réverbération mesurés, nous trouvons une valeur de α moyen de 0.13.

La différence observée ici est élevée pour un indice qui évolue entre 0 et 1. Les résultats de niveau de puissance acoustique que nous obtenons, avec les deux méthodes, peuvent avoir un écart pouvant être plus élevée que l'incertitude associée au protocole. Dans notre situation, l'écart de LwA est de 3 dB(A) pour une hauteur de 2.50 m sans matériaux absorbant.

En revanche, lorsque des panneaux absorbants ont été ajoutés, le α moyen, calculer en fonction du temps de réverbération remesuré, se situe aux alentours des 0.23 et se rapproche de la valeur déduite par la norme. Dans cette situation, les valeurs de puissances obtenues dans les deux situations sont assez proches.

La méthode par mesures du temps de réverbération pour obtenir K2A' est à privilégier lorsqu'il est possible de réaliser la mesure de la réverbération du local. A noter, que cette réverbération ne varie pas en fonction du brasseur testée, elle peut donc être mesurée afin de caractériser un local de manière définitive en l'absence de modification des matériaux en parois.

En réalisant l'analyse selon le temps de réverbération mesuré et sans l'ajout des matériaux absorbants, la salle de test ne permet pas d'avoir un terme K2A' satisfaisant au sens de la norme 3746 (on obtient une valeur de 8.5 pour un maximum de 7 permis dans la norme). Avec l'ajout de ces quelques matériaux le K2A' descend à 6.1 pour une hauteur de 2.5m et 5.9 pour une hauteur de 2.7m, la valeur est donc conforme à la norme. L'incertitude sera quant à elle de 4 dB(A) au lieu de 3 dB(A) pour un K2A' < 5. Il est donc essentiel de prévoir ces aménagements complémentaires afin de réduire le K2A et l'incertitude lié.

4.1.3. Caractérisation d'un brasseur d'air selon le protocole

L'analyse décrite ci-dessus a été effectuée pour la salle avec le plafond à 2.5 m, sans matériaux absorbant et pour la salle avec le plafond à 2.7m, avec matériaux absorbant. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant (fiches mesures disponible en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

Salle testée	Plafond à 2.5 m, sans absorbant	Plafond à 2.7 m, avec absorbant
Tr (400 – 1250 Hz)	0.7	0.42
K2A	5.6	5.0
K2A'	8.5	5.9
Incertitude	K2A' trop important → incertitude non présentée et supérieur à +/- 4 dB(A)	K2A inférieur à 7 → incertitude de +/- 4 dB(A)
LwA (V1) dB(A)	21.5	24.5
LwA (V2) dB(A)	30.5	32
LwA (V3) dB(A)	38	39.5

Tableau 6 : Résultats des mesures effectuées dans la salle PIMENT dans deux configurations différentes

Comme on peut le voir, la différence entre le K2A et le K2A' est élevé lorsqu'il n'y pas d'absorbant, ce qui peut impacter fortement les résultats. Comme dis précédemment, il faut faire attention lorsqu'on utilise la norme pour déterminer le coefficient d'absorption de la salle.

Aucune conclusion ne peut être faite sur les résultats, car l'incertitude sur le cas sans absorbant est trop élevée.

4.1.4. Synthèse

La cellule de test des brasseurs d'air du laboratoire PMENT de l'ESIROI permet de mesurer les niveaux sonores des brasseurs d'air de petite dimension (diamètre maximum de 1.55m) compte tenu de la taille de la cellule.

Le bruit de fond dans cette salle est suffisamment faible pour des mesures de niveau sonore de brasseur jusqu'à 25 dB(A) environ au minimum. Toutefois ce bruit de fond peut être perturbé par les bruits dans la salle mitoyenne de TP de l'ESIROI. Cela implique de la part de l'opérateur un très grand silence y compris hors de la salle de test. Il est conseillé de s'assurer par post-traitement des données mesurées que les perturbations acoustiques sont bien ôtées des calculs.

Cela nécessite par ailleurs de réaliser les mesures avec un sonomètre de classe 1 ayant un bruit de fond électronique très faible.

Pour permettre de limiter au mieux la réverbération et donc abaisser le critère K2A afin que la salle soit conforme à la norme du protocole, et même le bruit de fond dans la salle, l'ajout de panneaux absorbants sur les murs de la salle d'essai serait à réaliser. Des panneaux de laine de roche rigide de 50mm d'épaisseur minimum placés entre les montants métalliques supports des panneaux en polycarbonate conviendraient à cet usage.

A noter que l'utilisation de la norme et son approche visuelle pour déterminer le α moyen n'est pas la méthode la plus précise.

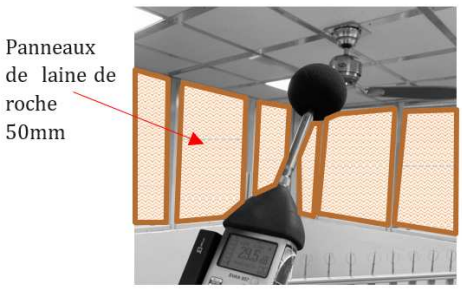


Figure 6 : Schéma des traitements acoustique apportés aux murs de la salle

4.2. Salle d'essai du laboratoire EIFFEL à Paris

Afin de vérifier l'adéquation des locaux, avec la norme utilisée, une seconde campagne de mesure a été effectuée dans une salle d'essai au laboratoire EIFFEIL.

4.2.1. Présentation de la salle d'essai du laboratoire EIFFEL

La salle prévue pour les tests dans le laboratoire EIFFEL est située dans les locaux de la soufflerie historique 67, rue BOILEAU à Paris 16ème. Une partie de cette grande halle est dédié aux mesures sur les brasseurs d'air. Un plafond léger a été mis en place au-dessus de la zone de test afin de se rapprocher des conditions d'utilisation des brasseurs d'air. Les dimensions de la salle sont de 30*13*9HT, soit un volume de 3510 m3. Toutefois, la zone prévue pour les brasseurs ne concerne qu'une partie de cet espace.

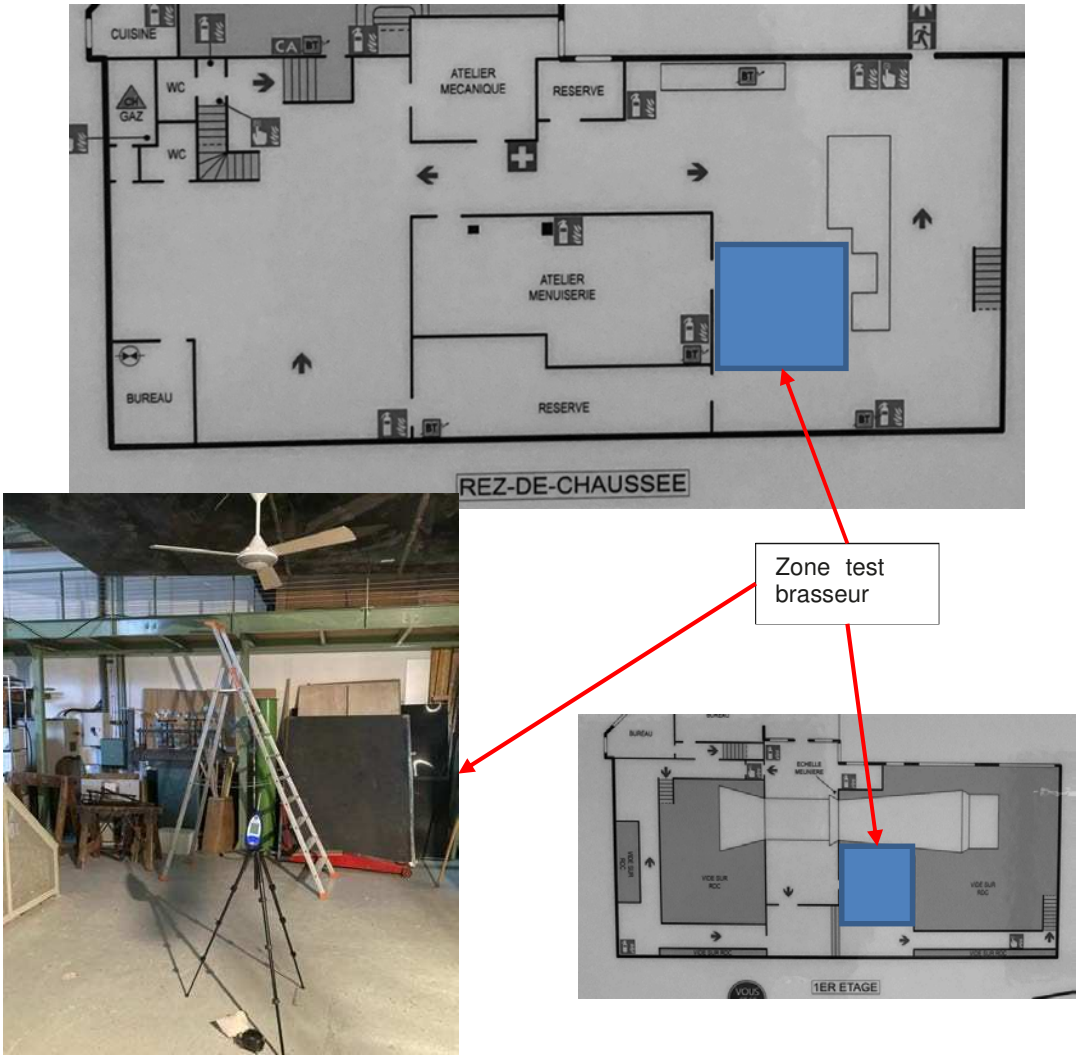


Figure 7 : Photographies de la cellule d'essai du laboratoire EIFFEL

4.2.2. Caractéristiques acoustiques de la salle

Comme pour la salle du laboratoire PIMENT, une première série de mesure est nécessaire pour quantifier les durées de réverbération et le bruit de fond de la salle.

Fréquence (Hz)	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
TR	1.69	1.93	1.24	1.26	1.42	1.24	1.28	1.25	1.51	1.62	1.66	1.61	1.64	1.68	1.78	1.60	1.64	1.66	1.47	1.28	1.16	1.01	0.81	0.62
BDF (dB)	33	32	31	31	32	30	28	25	22	21	19	18	19	18	16	14	11	8	6	5	6	6	6	6

Tableau 7 : Résultats des mesures de temps de réverbération et du bruit de fond

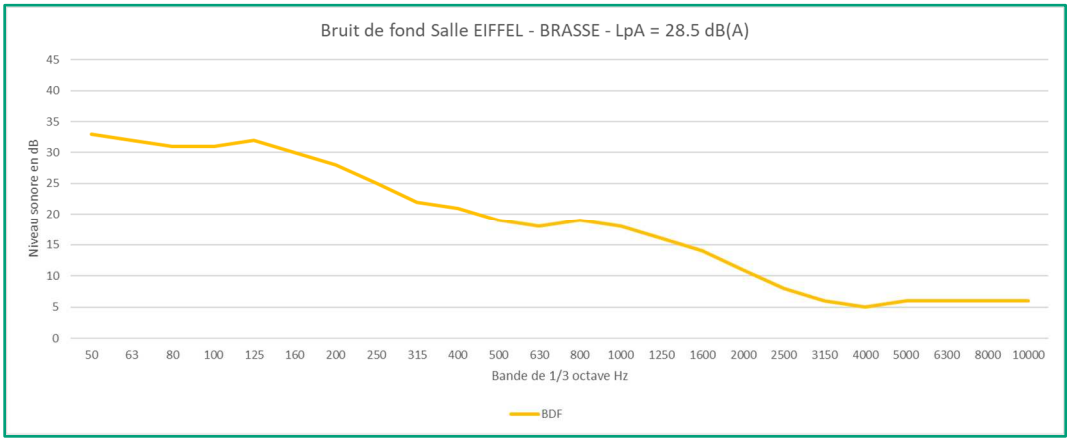


Figure 8 : Bruit de fond mesuré dans la cellule d'essai du laboratoire EIFFEL

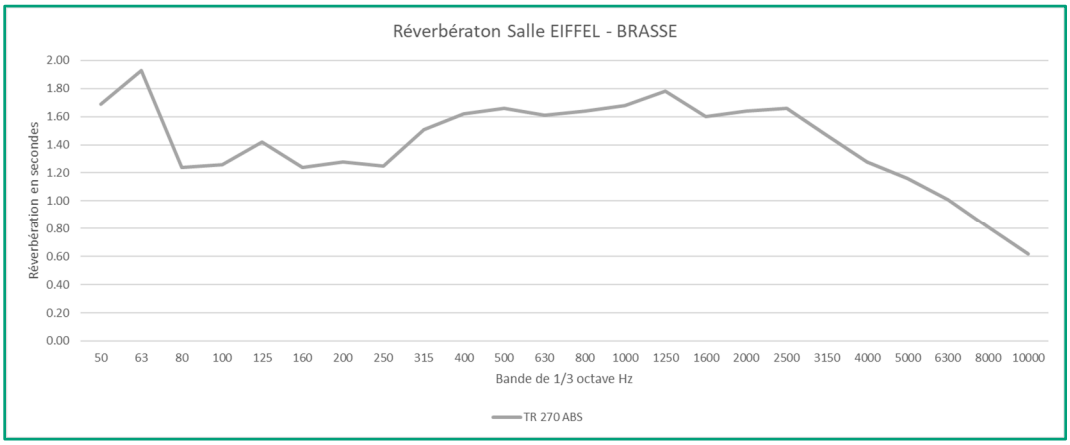


Figure 9 : Temps de réverbération mesuré dans la salle

Pour cette salle d'essai, un niveau de bruit de fond de 28.5 dB(A) a été mesuré. Cette valeur est assez élevée et cela nous empêchera de mesurer des niveaux sonores en dessous de 32.5 dB(A), car celui-ci sera trop impacté par le bruit de fond de la salle.

A noter que la zone de mesures des brasseurs d'air est située dans le halle principale de la soufflerie EIFFEL, donc à proximité des zones qui peuvent générer des perturbations acoustiques importantes qui rendraient difficiles, voire impossibles des mesures de niveau sonore des brasseurs.

La réverbération moyenne est quant à elle de 1.65 secondes dans les bandes de tiers d'octave de 400 à 1250 Hz.

4.2.3. Synthèse et adéquation avec le protocole acoustique

La salle de test est à priori hors norme, dans le sens déjà où le volume de mesures est difficile à caractériser.

Il a été considéré les hypothèses suivantes pour la zone de test acoustique :

- Sol : 25m²
- Plafond : 100 m²
- Mur 1 : 25 m²
- Mur 2 : 25 m²
- Mur 3 : 90 m²
- Mur 4 : 90 m²
- Volume : 500 m³

En considérant donc ces 355m² de parois avec un coefficient type « Salle meublée ; salle de machines ou local industriel ayant la forme d'un cuboïde carré » soit 0.15, on obtient suivant l'approche normalisée un K2A de 3.1.

En tenant compte du Tr mesuré avec un volume de 500 m³, on obtient une K2A de 3.3.

Toutefois, il serait pertinent de valider ces hypothèses en mesurant les niveaux acoustiques d'une source étalon afin de valider cette valeur de K2A. Cela nous évitera de créer un biais entre le laboratoire EIFFEL et un autre, simplement à cause de ces hypothèses.

Le bruit de fond de l'ordre de 28.5 dB(A), dans cet espace, ne permet pas de mesurer des niveaux sonores dus aux brasseurs inférieurs à environ 32.5 dB(A). Compte tenues niveaux mesurés sur les brasseurs HUNTER DOUGLAS INDUSTRIE au laboratoire PIMENT, cela empêchera de réaliser les mesures pour les vitesses V1 et V2, voire V3.

Vu le bruit de fond élevé pour une salle de mesures acoustiques, on ne peut mesurer que des brasseurs générant un fort niveau sonore. Les brasseurs objet du projet BRASSE destiné principalement à un usage tertiaire ou résidentiel seront a priori plutôt silencieux.

Cela compromet la pertinence de ce local pour les mesures acoustiques. Toutefois, le volume disponible pourrait s'avérer utile pour les mesures aérauliques et acoustiques des brasseurs d'air de type BIG-FAN (grands brasseurs) impossibles à caractériser dans le laboratoire PIMENT.

Suites aux conclusions réalisées, une modification des deux salles d'essais a finalement été effectuée afin que les conditions de mesures respectent mieux les exigences de la norme, et une nouvelle série de mesures est réalisé dans les deux salles avec le même brasseur.

5. Comparaison des caractéristiques et des résultats des deux laboratoires Piment et Eiffel

5.1. Objet

Cette partie présente les résultats des mesures acoustiques réalisées sur le même brasseur dans la cellule du laboratoire PIMENT en mars 2022 et dans la cellule du laboratoire EIFFEL en avril 2022, après modifications dans les deux salles d'essaies.

Cette note permet de comparer les résultats obtenus et les qualités acoustiques des deux salles.

Ne pouvant toujours pas déterminer précisément le coefficient d'absorption des salles aux sens de la norme, des mesures de la durée de réverbération est effectuée et le K2A' est utilisée pour le calcul du niveau de puissance du brasseur

5.2. Modifications salle d'essai PIMENT

Suite aux essais réalisées en octobre 2021 qui avaient conduit entre autres à proposer l'ajout de matériau absorbants, des panneaux absorbants ont été ajoutés qui ont conduits à une modification de la réverbération.

Les caractéristiques et les performances du type de panneaux mis en œuvre est disponible en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

Ces panneaux ont été mis en œuvre entre les montants des châssis en polycarbonate sur 2 murs de la cellule d'essai

Les résultats de réverbération mesurées avant et après la pose de ces panneaux sont les suivants :

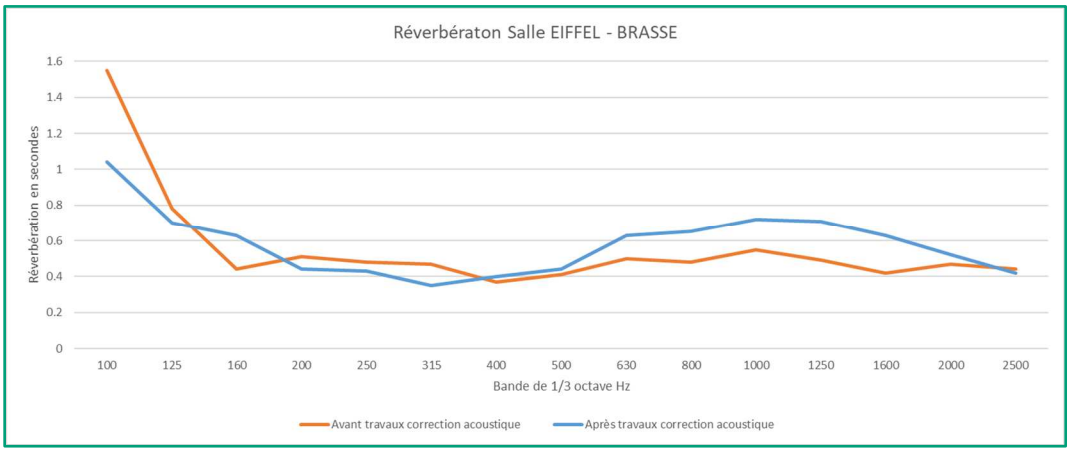


Figure 10 : Temps de réverbération dans la salle PIMENT avant et après les travaux de correction acoustique

Fréquence (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Avant modification (10/2021 - 21/01/2022) plafond à 2,50m															
Mesure 1 TR30 (s)	1.77	0.98	0.42	0.55	0.57	0.42	0.35	0.44	0.46	0.48	0.59	0.47	0.43	0.48	0.47
Mesure 2 TR30 (s)	1.33	0.57	0.46	0.46	0.39	0.52	0.39	0.37	0.53	0.48	0.5	0.51	0.4	0.45	0.4
TR moyen (s)	**1.55**	**0.78**	**0.44**	**0.51**	**0.48**	**0.47**	**0.37**	**0.41**	**0.50**	**0.48**	**0.55**	**0.49**	**0.42**	**0.47**	**0.44**
Après modification (31/01/2022 -) plafond 2,50m															
Mesure 2 (BK) TR30 (s)	1.32	0.67	0.74	0.42	0.45	0.36	0.41	0.43	0.64	0.62	0.76	0.66	0.53	0.44	0.43
Mesure 1 (BK) TR30 (s)	0.83	0.72	0.5	0.45	0.4	0.33	0.4	0.48	0.65	0.69	0.71	0.68	0.64	0.58	0.41
Mesure 2 (01dB) TR30 (s)	1.21	0.62	0.77	0.42	0.47	0.36	0.41	0.4	0.61	0.64	0.7	0.84	0.73	0.47	0.44
Mesure 1 (01dB) TR30 (s)	0.81	0.78	0.52	0.48	0.4	0.34	0.39	0.44	0.62	0.66	0.69	0.65	0.63	0.57	0.38
TR moyen (s)	**1.04**	**0.70**	**0.63**	**0.44**	**0.43**	**0.35**	**0.40**	**0.44**	**0.63**	**0.65**	**0.72**	**0.71**	**0.63**	**0.52**	**0.42**

Tableau 8 : Résultats des mesures de temps de réverbération avant et après les travaux de correction acoustique.

Commentaires :

On constate une augmentation de la durée de réverbération entre 500 et 2000 Hz jusqu'à 30% dans cette plage de fréquence ce qui est assez important.

2 modifications autre que l'ajout de ces panneaux sont intervenues qui peuvent avoir augmenter les valeurs de réverbération mesurée :

- Suppression de l'escalier d'accès à la cellule qui limite la diffusion des parois de la cellule et donc l'apport du plafond en termes d'absorption acoustique

- Suppression des panneaux de fibre de verre (surplus de dalles de faux plafonds réparties dans la cellule d'essai par LASA notamment lors des mesures d'octobre 2021)

Avec les valeurs de réverbération obtenues suite aux traitements définitifs, remplaçant les traitements provisoires des premières mesures, le terme K2A' dépasse la valeur normalisée de 7 dB(A) (K2A'=7.6) et donc la norme de mesures ne permet pas le calcul de l'incertitude associée à cette mesure.

5.3. Aménagement salle d'essai EIFFEL

Entre la première campagne de mesures réalisée fin octobre 2021 et la campagne de fin avril 2022, une cellule d'essai a été aménagée par EIFFEL ayant les mêmes dimensions que la salle d'essai du laboratoire PIMENT.

Figure 11 : Photographie de la cellule d'essai du laboratoire EIFFEL après aménagement

Les caractéristiques de la salle sont maintenant :

- Surface : 4*4 = 16 m²,
- Hauteur sous plafond suspendu de 2m50,
- Sol en béton,
- Plafond suspendu en dalle de polystyrène lisse,
- Murs en placo.

Pour commencer, il a été mesuré un bruit de fond de de 25.5 dB(A). Ce bruit de fond bas permet une mesure de bruit des brasseurs notamment à basse vitesse, toutefois le local peut être facilement perturbé par les bruits en provenance de la circulation ou de l'atelier mitoyens qui ne sont séparés de la salle de test que par une fine cloison peu performante acoustiquement

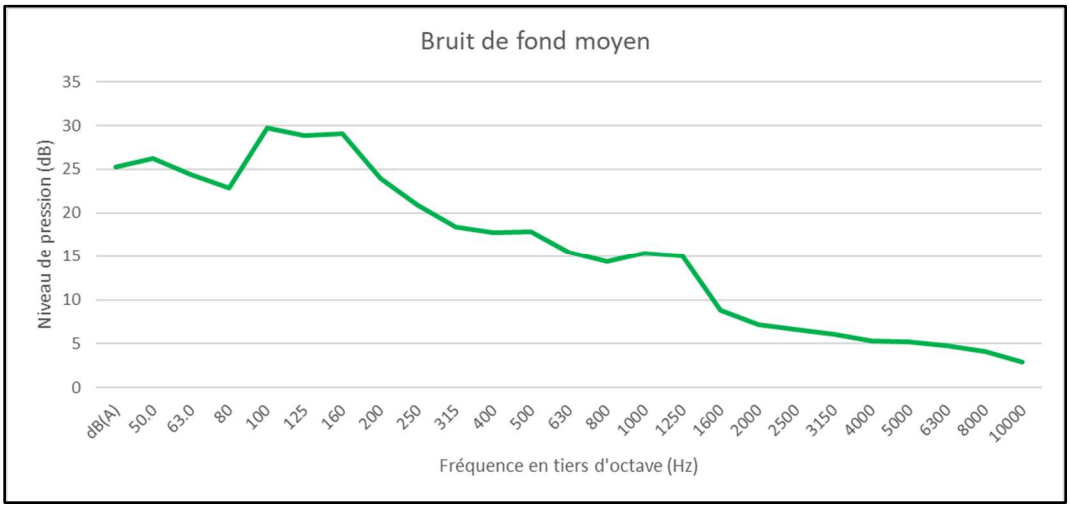


Figure 12 : Bruit de fond mesuré dans la salle après aménagement

Une mesure de la réverbération a aussi été effectué et la moyenne est de 1.4 seconde dans les bandes de tiers d'octave de 125 à 1250 Hz.

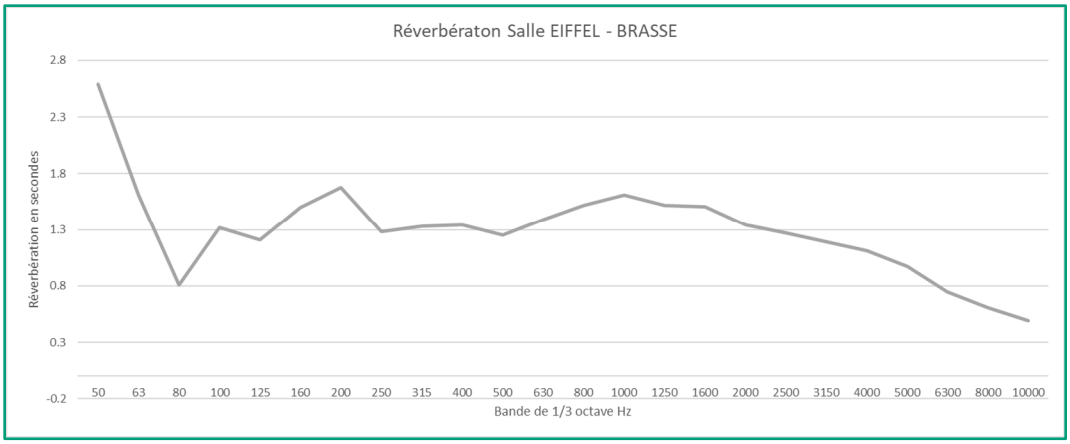


Figure 13 : Temps de réverbération mesuré dans la salle après aménagement

Les parois verticales, sol et plafond étant en matériaux lisses non absorbants acoustiquement, cela entraine un temps réverbération trop long ne permettant pas l'obtention d'un K2A normalisée (K2A' = 11.3).

5.4. Résultats Lw brasseurs d'air obtenus

Même avec un K2A' dépassant les valeurs de la norme, des mesures de puissance acoustique ont quand même été effectuée dans les deux salles avec le même modèle de brasseur.

Dans le tableau ci-dessous vous pouvez retrouver les résultats des mesures avec les comparaisons des différents paramètres. Pour rappel, les dimensions des deux salles sont identiques, seules les matériaux et l'environnement autour sont différents. Les fiches des mesures présentées est disponible en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

Salle tester	PIMENT	EIFFEL
Tr (400 – 1250 Hz)	0.6	1.4
Bruit de fond dB(A)	22.5	25.3
K2A'	7.6	11.3
Incertitude	K2A' trop important → incertitude non présentées et supérieur à +/- 4 dB(A)	K2A' trop important → incertitude non présentées et supérieur à +/- 4 dB(A)
Equipement	Brasseur Hunter Industrie II	Brasseur Hunter Industrie II
LwA (V1) (80 RPM) dB(A)	34.7	35.8
LwA (V2) (100 RPM) dB(A)	//	39.0
LwA (V3) (120 RPM) dB(A)	//	42.6
LwA (V4) (150 RPM) dB(A)	42.4	44.2

Tableau 9 : Résultats des mesures effectuées dans les deux salles après modifications des traitements acoustique

Si on considère que l'incertitude est supérieure à 4 dB(A), même si la norme nous dit qu'on est dans une situation où l'incertitude n'est pas présentée (K2A > 7), on remarque que la différence de résultat entre les deux salles d'essais se situe dans la plage d'incertitude (+/- 4 dB(A)).

En considérant ces deux paramètres, on peut conclure que les résultats obtenus ne sont pas dénués de sens lorsqu'on les compare entre eux. En revanche, nous ne pouvons statuer sur le fait que les valeurs mesurées/calculées correspondent vraiment à la puissance du brasseur testé. Il est possible que les deux salles donnent des résultats erronés, car nous ne respectons pas les limites sur la valeur du K2A.

L'objectif à présent, serait de trouver un moyen pour réduire le temps de réverbération de la cellule PIMENT et EIFFEL afin d'obtenir un K2A inférieure à 7dB(A) dans les deux salles.

En ce qui concerne la cellule d'essai au laboratoire PIEMENT, il est possible que les panneaux en tôle perforés soient moins bons que laine nue qui était présente dans la salle avant. La cellule PIMENT actuelle manque très légèrement d'absorption en hautes fréquences, les traitements suivants peuvent être apportés :

- Moquette/tapis au sol
- Panneaux muraux en laine de roche + laine de bois type ORGANIC de 25+25mm ou VERTIQ ou WALL PANEL ou TEXAA
- Remplacement des dalles du plafond par des dalles avec Alphaw = 1.00, y compris les dalles de luminaires (éclairage géré par spots ou éclairage sur les murs)

Pour la salle EIFFEL, La cellule est trop petite, avec des parois non absorbantes. Il convient de prévoir :

- Moquette/tapis au sol
- Panneaux muraux en laine de roche + laine de bois type ORGANIC de 25+25mm ou VERTIQ ou WALL PANEL ou TEXAA sur une surface minimum de 20 m2 répartis sur les 4 murs de préférence

Concernant les mesures de puissances des brasseurs, tous les paramètres intéressants ont pu être testés dans différentes conditions et le protocole semble cohérent. Lors de la création des zones d'essai, il est important à prendre toutes les caractéristiques présentées précédemment afin d'obtenir une salle conforme.

Pour la suite de l'étude, de nombreuses mesures sonores effectuées dans des cas réels (brasseurs montés dans une pièce quelconque) sont présentées, ainsi qu'une étude visant à prédire et pré-dimensionner l'installation de brasseurs dans une pièce pour respecter un objectif de niveau sonore.

6. Mesures acoustiques réalisées dans différents locaux existants équipés de brasseur d'air

6.1. Objet

Cette partie présente les résultats des mesures acoustiques réalisées dans différents locaux en exploitation équipés de brasseurs d'air. Les locaux ont été choisis parmi différentes typologies et ont également faire l'objet de mesures aérauliques et thermiques en parallèle. Des enquêtes de ressenti des utilisateurs ont également été menées.

Ces mesures acoustiques in situ seront dans la phase suivante complétée par des modélisations acoustiques des locaux et des brasseurs.

6.2. Description des locaux retenus

Des photos des salles où les essais ont été effectués sont disponibles en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

6.2.1. Locaux dans le laboratoire PIMENT à la Réunion

6.2.1.1. IUT ESIROI

Mesures réalisées dans :

- Le hall (zone cafétaria) → deux « big fan »
- Une salle de TD → brasseurs d'air en plafond, ventilateur aux murs et climatisation solaire
- Une salle projet (A313) → Brasseur non allumé
- Un bureau d'enseignement. → 4 brasseurs au-dessus des 4 bureaux

Le nombre et la position des mesures dépendent de la situation.

6.2.1.2. CIRBAT

Le CIRBAT, Centre d'Innovation et de Recherche du Bâti Tropical, a pour objectif de mettre à disposition des acteurs de la construction une offre cohérente et pertinente en termes d'études techniques, de diffusion des connaissances, de formations techniques et d'accompagnement à l'innovation. Il dépend de la chambre des métiers et de l'artisanat de la Réunion.

- Salle réunion → 2 brasseurs en plafond
- ORLAT (Bureau) → 2 brasseurs en plafond

6.2.1.3. Chambre des métiers et de l'artisanat

- Bureau intendant → un brasseur

6.2.2. Locaux à Marseille

6.2.2.1. Ecole Jean MOULIN MIRAMAS (13)

- Mesures réalisées dans les classes 3 et 4 de l'école Jean Moulin à MIRAMAS.
- Chaque classe est équipée de 4 brasseurs.
- 3 positions de mesures ont été retenues dans chaque classe.

6.2.2.2. Bureaux INDIGGO MARSEILLE (13)

- Mesures réalisées dans 2 bureaux équipés de 2 brasseurs et 1 bureau équipé d'un seul brasseur.
- 2 à 3 positions de mesures ont été retenues dans les locaux.

6.2.2.3. Bureaux GERES AUBAGNE (13)

- Mesures réalisées dans 3 espaces : open-space (1 brasseur), bureau (1 brasseur), salle de réunion (2 brasseurs)
- 2 à 3 positions de mesures ont été retenues dans les locaux.

6.2.2.4. EHPAD Soubeiran - Saint Jean du Gard (30)

- Mesures réalisées dans 2 espaces : salle de rééducation (1 brasseur) et chambre (1 brasseur)

- 4 et 3 positions de mesures ont été retenues dans les locaux.

6.2.2.5. Logement privé à Marseille (13)

- Mesures réalisées dans 3 pièces du logement :
  - Cuisine
  - Salon
  - Chambre

6.3. Résultats des mesures

Afin de comparer nos résultats avec des objectifs visés de textes réglementaires courants, nous allons considérer toutes les valeurs limites faisant référence aux bruits d'équipements - $L_{nA,T}$ - dans des locaux.

Les valeurs limites auxquels seront comparées nos résultats correspondent aux valeurs énoncées dans :

- L'arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les hôtels
  - Valeur limite (pour un équipement dans la chambre) LnAT = 35 dB(A)
- L'arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement
  - Valeur limite (en fonctionnement continu) LnAT = 33 dB(A) à 38 dB(A)
- L'arrêté du 30 juin 1999 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation
  - Valeur limite L_{nAT} = 30 dB(A)
  - *Pour des chambres, le niveau sonore de 25 dB(A) pour un brasseur d'air est un objectif à viser pour assurer un confort suffisant pour les phases de sommeil*
- Bureau individuel selon le *Référentiel Bâtiment durable CERTIVEA (juin 2022)*
  - Valeur limite L_{nAT} de 30 dB(A) (Classe A) et 46 dB(A) (Classe F)

Soit en synthèse le tableau suivant (donné à titre informatif sur la base des textes ci-dessous et de l'expertise de LASA) :

Niveau sonore en dB(A) dans le local :	Logement (nuit-sommeil)	Logement (jour)	Bureau	Enseignement
< 20	😊	😊	😊	😊
20-25	😐	😊	😊	😊
25-30	☹	😐	😊	😊
30-33	☹	☹	😐	😊
33-38	☹	☹	😐	😐
38-40	☹	☹	😐	☹
> 40	☹	☹	☹	☹

Tableau 10 : Synthèse de l'ambiance sonore dans différents locaux en fonction du niveau sonore provoqué par un brasseur d'air

8. 😊	9. Confortable, pas de nuisance ressentie pour une majorité de personnes
10. 😐	11. Acceptable, pas de plainte exprimée pour une majorité de personnes
12. ☹	3. Désagréable, des nuisances sont ressenties par des personnes, des plaintes peuvent être exprimées

Tableau 11 : Signification des smileys utilisaient pour décrire l'ambiance sonore

Pour tous les résultats qui sont présentée ci-dessous, des détails sont disponibles en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

Local	Vitesse	Distance brasseur	Lp en dB(A)	Aspect réglementaire	Commentaire
Patio Central Sous brasseur	Vitesse maximale	2m	55.5	Enseignement /	Brasseur type Hunter Industrie big fan
Salle de TD IUT Sous brasseur	V1	1.5m	26.5	Enseignement :	Niveau sonore $L_{A,eq}$ en ambiance Tp = 62.5 dB(A) ; niveau dépassant largement le niveau des brasseurs. Influence imperceptible des brasseurs sur le niveau sonore du local en utilisation normale.
	V2	1.5m	33	Enseignement :	
	V3	1.5m	40	Enseignement :	
	V4	1.5m	42.8	Enseignement :	
	V5	1.5m	49.3	Enseignement :	
Salle projet A313	*Brasseurs à l'arrêt. N.B. : le bruit en provenance de l'extérieur via les jalousies impacte fortement le bruit de fond dans la salle située au-dessus de l'entrée du bâtiment.*				
Bureau enseignement Sous brasseur	V1	1.5m	24.0	Bureau :	Hunter Industrie II
	V2	1.5m	34.0	Bureau :	
	V3	1.5m	40.5	Bureau :	
Salle réunion Sous brasseur	V1	1.5m	17.0	Bureau :	Hunter Industrie II
	V2	1.5m	21.5	Bureau :	
	V3	1.5m	29.5	Bureau :	
ORLAT	Local trop impacté par le bruit extérieur				
Bureau Intendant Sous brasseur	V1	1.5m	52.5	Bureau :	Brasseur mal fixé, bruit anormal
Bureau 1 Indiggo Sous brasseur	V1 (79rpm)	1.7m	29	Bureau :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	1.7m	39.5	Bureau :	Pb variateur
	V3 (157rpm)	1.7m	42.9	Bureau :	Pb variateur
Bureau 1 Indiggo Décalé brasseur	V1 (79rpm)	2.4m	< BDF	Bureau :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	2.4m	32.7	Bureau :	Pb variateur
	V3 (157rpm)	2.4m	36.1	Bureau :	Pb variateur
Bureau 2 Indiggo Centre 2 brasseurs	V1 (79rpm)	2.4m/2.4m	25.1	Bureau :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	2.4m/2.4m	33.7	Bureau :	Pb variateur
	V3 (157rpm)	2.4m/2.4m	38.5	Bureau :	Pb variateur
Bureau 2 Indiggo	V1 (79rpm)	1.7/2.94m	30.7	Bureau :	Hunter Industrie II

Local	Vitesse	Distance brasseur	Lp en dB(A)	Aspect réglementaire	Commentaire
Sous 1 des 2 brasseurs					
	V2 (127rpm)	1.7/2.94m	40.5	Bureau :	Pb variateur
	V3 (157rpm)	1.7/2.94m	45.6	Bureau :	Pb variateur
Bureau 2 Indiggo Décalé des 2 brasseurs	V1 (79rpm)	2.2/3.26m	22.8	Bureau :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	2.2/3.26m	31.1	Bureau :	Pb variateur
	V3 (157rpm)	2.2/3.26m	36.6	Bureau :	Pb variateur
Bureau 3 Indiggo Sous brasseur	V1	1.2m	24.4	Bureau :	Valeurs incohérentes
	V2	1.2m	15.7	Bureau :	
	V3	1.2m	< BDF	Bureau :	
	V4	1.2m	30.8	Bureau :	
	V5	1.2m	38	Bureau :	
	V6	1.2m	42.3	Bureau :	
Bureau 3 Indiggo décalé brasseur	V1	1.84m	< BDF	Bureau :	
	V2	1.84m	< BDF	Bureau :	
	V3	1.84m	< BDF	Bureau :	
	V4	1.84m	28.1	Bureau :	
	V5	1.84m	37	Bureau :	
	V6	1.84m	41.1	Bureau :	
EHPAD Salle rééduc 1 Sous brasseur	V1 (79rpm)	0.80m	17.6	Enseignement :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	0.80m	29	Enseignement :	
	V3 (157rpm)	0.80m	41.6	Enseignement :	
EHPAD Salle rééduc 2 Décalé brasseur	V1 (79rpm)	1.70m	23.7	Enseignement :	Hunter Industrie II Perturbations
	V2 (127rpm)	1.70m	25.5	Enseignement :	
	V3 (157rpm)	1.70m	36.4	Enseignement :	

Local	Vitesse	Distance brasseur	Lp en dB(A)	Aspect réglementaire	Commentaire
EHPAD Salle rééduc 3 Décalé brasseur	V1 (79rpm)	3.10m	< BDF	Enseignement :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	3.10m	20.8	Enseignement :	
	V3 (157rpm)	3.10m	32.9	Enseignement :	
EHPAD Salle rééduc 4 Décalé brasseur	V1 (79rpm)	9.72m	< BDF	Enseignement :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	9.72m	16	Enseignement :	
	V3 (157rpm)	9.72m	30	Enseignement :	
EHPAD Chambre 1 Sous brasseur	V1 (79rpm)	1.30m	12.9	Logement :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	1.30m	29.7	Logement :	
	V3 (157rpm)	1.30m	39.6	Logement :	
EHPAD Chambre 2 Décalé brasseur	V1 (79rpm)	2.14m	< BDF	//	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	2.14m	28	Logement :	
	V3 (157rpm)	2.14m	37.4	Logement :	
EHPAD Chambre 3 Décalé brasseur	V1 (79rpm)	4.11m	13.6	Logement :	Hunter Industrie II
	V2 (127rpm)	4.11m	21.8	Logement :	
	V3 (157rpm)	4.11m	32.5	Logement :	
GERES Open space 1 Décalé brasseur	V1 (79rpm)	1.90m	< BDF	Logement :	
	V2 (127rpm)	1.90m	25.2	Bureau :	
	V3 (157rpm)	1.90m	40.1	Bureau :	
GERES Open space 2 Décalé brasseur	V1	1.92m	25.6	Bureau :	Mesures au-dessus ventilo Bruit ne varie pas avec la vitesse
	V2	1.92m	24.7	Bureau :	
	V3	1.92m	24.7	Bureau :	
GERES Bureau 1 Sous brasseur	V1	1.50m	29.7	Bureau :	*« Casto » 1er prix*
	V2	1.50m	36.8	Bureau :	
	V3	1.50m	37.0	Bureau :	
GERES Bureau 2 Décalé brasseur	V1	1.60m	27.6	Bureau :	*« Casto » 1er prix*
	V2	1.60m	33.7	Bureau :	
	V3	1.60m	36.6	Bureau :	

Local	Vitesse	Distance brasseur	Lp en dB(A)	Aspect réglementaire	Commentaire
GERES Réu 1 Milieu 2 brasseurs	V1	1.90m	28.2	Bureau :	*« Casto » 1er prix*
	V2	1.90m	32.4	Bureau :	
	V3	1.90m	46.8	Bureau :	
GERES Réu 2 Décalé brasseur	V1	0.9/2.10m	23.9	Bureau :	*« Casto » 1er prix*
	V2	0.9/2.10m	28.5	Bureau :	
	V3	0.9/2.10m	45	Bureau :	
GERES Réu 3 Décalé brasseur	V1	1.6/2.48m	31.6	Bureau :	*« Casto » 1er prix*
	V2	1.6/2.48m	34.6	Bureau :	
	V3	1.6/2.48m	45.6	Bureau :	
ECOLE Classe 3 1 4 brasseurs	V1	//	24.3	Enseignement :	Hunter Industrie II 152cm
	V2	//	27.7	Enseignement :	
	V3	//	33.4	Enseignement :	
ECOLE Classe 3 2 4 brasseurs	V1	//	22.5	Enseignement :	Hunter Industrie II 154cm
	V2	//	28	Enseignement :	
	V3	//	31.1	Enseignement :	
ECOLE Classe 3 3 4 brasseurs	V1	//	24.9	Enseignement :	Hunter Industrie II 154cm
	V2	//	33.3	Enseignement :	
	V3	//	37.7	Enseignement :	
ECOLE Classe 4 1 4 brasseurs	V1	//	24.1	Enseignement :	Hunter Industrie II 154cm
	V2	//	28.5	Enseignement :	
	V3	//	34.5	Enseignement :	
ECOLE Classe 4 2 4 brasseurs	V1	//	< BDF	Enseignement :	Hunter Industrie II 154cm
	V2	//	< BDF	Enseignement :	
	V3	//	33.4	Enseignement :	

Local	Vitesse	Distance brasseur	Lp en dB(A)	Aspect réglementaire	Commentaire
ECOLE Classe 4 3 4 brasseurs	V1	//	< BDF	Enseignement :	Hunter Industrie II 154cm
	V2	//	29.2	Enseignement :	
	V3	//	35.7	Enseignement :	
Logement cuisine	V1	1m	27.5	Logement :	Hunter Industrie II 132cm (bruit de fond VMC élevé)
	V2	1m	34.5	Logement :	
	V3	1m	42	Logement :	
Logement séjour	V1	1m	< 24 (BDF)	Logement :	Hunter Industrie II 132cm
	V2	1m	27.5	Logement :	
	V3	1m	39	Logement :	
Logement chambre	V1	1m	< 19 (BDF)	Logement :	Hunter Industrie II 132cm
	V2	1m	29.5	Logement :	
	V3	1m	40.5	Logement :	

Tableau 12 : Paramètres et résultats de toutes les mesures effectuées dans des locaux équipés de brasseur d'air

6.4. Commentaires sur l'impact des bruits extérieurs

Les stratégies de ventilation naturelle des bâtiments visités à la Réunion (c'est le cas également aux Antilles mais d'une manière générale dans les régions tropicales chaudes et exposées aux alizés) sont basées sur la mise en œuvre de façade poreuses équipés en général de jalousies souvent ouvertes en permanence.

De nombreux projets y compris dans les régions historiquement tempérées sont conçus aujourd'hui avec des systèmes de ventilation naturelle en façade.

Ces ouvertures peuvent être spécifiquement étudiées pour limiter le passage du bruit en provenance de l'extérieur du bâtiment, mais d'une manière générale il s'agit simplement d'éléments ouvrants ne présentant pas d'atténuation acoustique.

Cette situation favorise l'entrée de bruit en provenance de l'extérieur. Des bruits de voix, de véhicules, de chantier, d'animaux notamment les oiseaux ou les cigales par exemples peuvent avoir un impact non négligeable sur le bruit de fond dans les locaux.

Cette élévation du bruit de fond peut entraîner une gêne pour les occupants des locaux et la stratégie de ventilation naturelle des locaux doit tenir compte de cette problématique.

Cette élévation du bruit de fond peut aussi permettre de créer un effet de masquage sonore du bruit des brasseurs dont le fonctionnement même en vitesse plus élevée serait aussi acceptable qu'en vitesse minimale.

6.5. Masquage sonore du au brasseur d'air

L'utilisation d'un brasseur peut aussi avoir une utilité de masquage sonore. Des gênes sonores entre occupants peuvent être ressenties dans bureaux type open-space. En effet, avec un bruit de fond faible, la perception des bruits provoqués par d'autres personnes lorsqu'on essaie de se concentrer sur son travail peut constituer une réelle gêne. Le fait d'augmenter le bruit de fond de la pièce permet de moins entendre tous ces bruits et ainsi se sentir plus dans une bulle même si on se trouve dans un open-space. Le bruit provoqué par un brasseur d'air étant surtout composé de basses fréquences et un bruit assez agréable qui peut très bien jouer ce rôle de masquage.

6.6. Analyse et commentaires

Cette campagne de mesures in situ a permis de réaliser un échantillonnage rapide de mesures de niveaux sonores en conditions réelles afin de quantifier les niveaux sonores de brasseurs en fonctionnement sur des bâtiments existants.

Différents types de brasseurs ont pu être testés selon les locaux (HUNTER INDUSTRIE, CSATORAMA, ou autre).

Les résultats de mesures présentés correspondent à des installations particulières avec les caractéristiques spécifiques des différents locaux rencontrés

Pour des usages en tertiaire (bureaux, santé, enseignement), avec un niveau maximum attendu de l'ordre de 40 dB(A), les brasseurs sont utilisables sauf quelques cas en vitesse maximale qui dépassent franchement 40 dB(A) et peuvent présenter un gêne sonore évidente.

Pour un usage en logement, l'usage en vitesse 1 est en général adapté, et parfois la vitesse 2, alors que la vitesse 3 entraine quasiment tout le temps des niveaux sonores trop élevés pour un confort admissible dans une chambre ou un séjour de logements.

7. Modélisations acoustiques des locaux où des mesures ont été effectuées

7.1. Objet

À la suite des campagnes réalisées in situ dans différentes typologies de locaux, des modélisations acoustiques de certains de ces locaux ont été réalisées.

Cette partie présente les comparaisons des résultats obtenus par calcul/par mesures et les hypothèses de calage des modèles effectuées.

Cette première approche par modélisation aidera à la réalisation des modèles de locaux génériques qui seront utilisés pour le prédimensionnement acoustiques des sélections de brasseurs d'air.

7.2. Méthodologie

Le logiciel de modélisation d'acoustique interne des salles CATT ACOUSTIC a été utilisé pour ces calculs. Le principe de ce logiciel est de réaliser des calculs de propagation acoustique intérieur par tirs de rayon entre une ou des sources et un ou des récepteurs. Cette propagation dans un espace fermé tient compte de l'ensemble des phénomènes acoustiques rencontrés dans une salle telle que l'absorption acoustique, la diffusion/diffraction et l'atténuation avec la distance de propagation.

Les brasseurs d'air ont été modélisés comme des sources ponctuelles omnidirectionnelles et positionnés selon les relevés faits dans les différents locaux.

Les locaux et leurs aménagements ont été modélisés selon les relevés faits sur place.

Les coefficients d'absorption des différents matériaux ont été saisis en fonction des observations réalisées sur place en puisant dans les bases de données LASA et avec recalage sur les durées de réverbération modélisées et mesurées in situ.

Tous les détails sur les matériaux des salles et sur les recalages effectués sont disponibles en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

7.3. Description des locaux retenus dans l'école Jean MOULIN à MIRAMAS (13)

7.3.1. Salle de classe

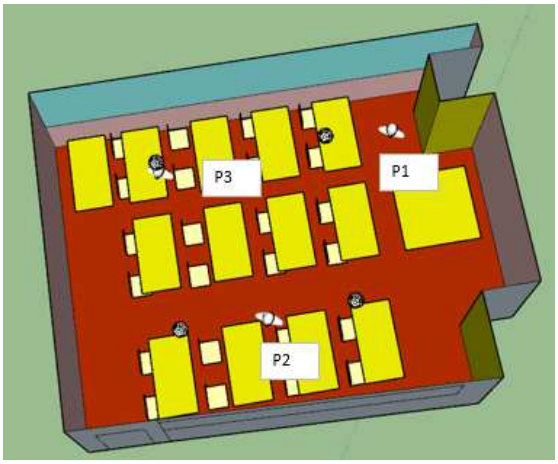


Figure 14 : Représentation de la salle de classe modélisée

Niveau sonore SPL en dB										Aspect réglementaire (Enseignement)
Fréquence		125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	
Point 1	Mesure	50.8	33.6	25.6	22	17.5	15.9	15.3	**29.1**	☺
	Modèle		36.5	28.5	23.4	16.7	16.9	15.4	**31.3**	☺
Point 2	Mesure	44.2	35.8	26.4	22.2	17.3	16.1	15.4	**30.3**	☺
	Modèle		35.3	29.2	22.7	16.2	15.5	14.6	**30.8**	☺
Point 3	Mesure	55.1	36.9	30.4	25.3	19.5	17.9	16.7	**32.6**	☺
	Modèle		36.8	30.3	23.7	17.4	17.0	16.2	**32.1**	☺

Tableau 13 : Résultats mesurés et modélisés dans la salle de classe

7.3.2. Bureau 1 INDIGO

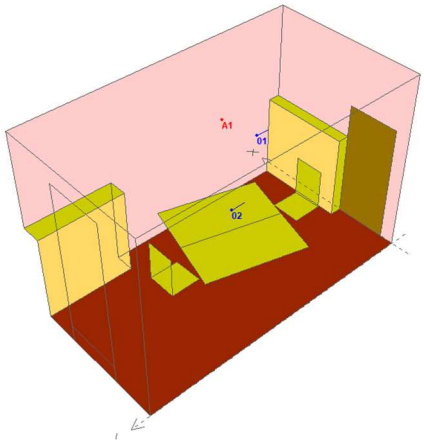


Figure 15 : Représentation du bureau 1 INDIGO modélisé

Niveau sonore SPL en dB										Aspect réglementaire (Bureau)
Fréquence		125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	
Point 1	Mesure	61.4	37.4	33.2	27.3	21.7	17.2		**34.2**	😐
	Modèle		36.3	32.4	27.0	21.4	16.9		**33.4**	😐
Point 2	Mesure	51	38	33.5	27	21.9	17.3		**37.7**	😐
	Modèle	51.4	37.9	33.8	28.2	22.5	17.3		**38.1**	😐

Tableau 14 : Résultats mesurés et simulés dans le bureau 1 INDIGO

7.3.3. Bureau 2 INDIGO

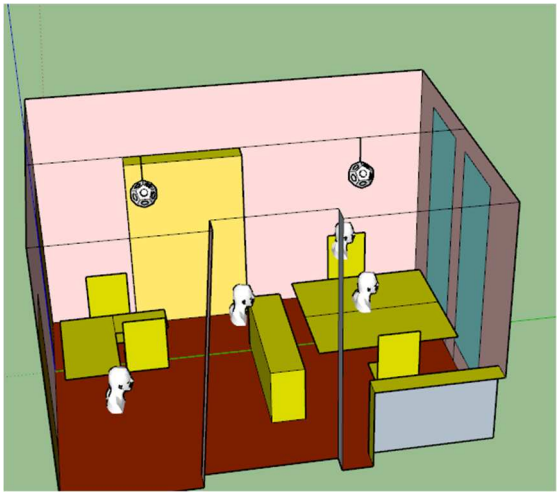


Figure 16 : Représentation du bureau 2 INDIGO modélisé

Niveau sonore SPL en dB										Aspect réglementaire (Bureau)
Fréquence		125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	
Point 1	Mesure	55.5	39.0	31.5	28.2	21.5	21.2	20.0	**38.7**	
	Modèle	54.4	38.6	31.0	28.1	20.8	21.0	19.6	**39.8**	
Point 2	Mesure		39.3	33.1	28.2	21.1	21.3	20.2	**35.2**	
	Modèle		38.1	31.3	28.1	20.9	21.0	19.4	**34.2**	
Point 3	Mesure	52.4	37.6	30.5	28.2	20.3	20.7	19.3	**36.9**	
	Modèle	53.6	38.1	30.9	28.2	20.9	21	19.6	**39.2**	

Tableau 15 : Résultats mesurés et simulés dans le bureau 2 INDIGO

7.3.4. Chambre EHPAD

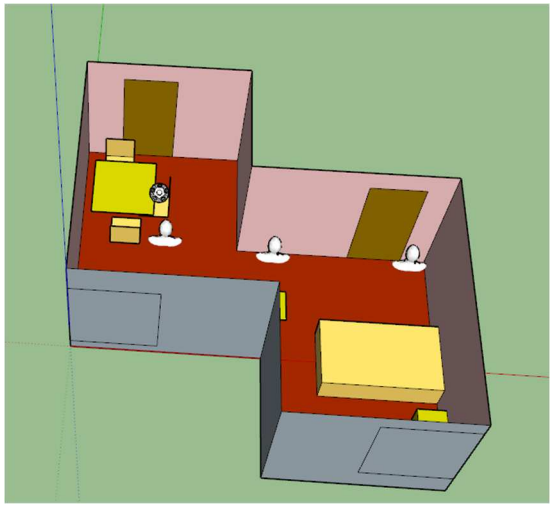


Figure 17 : Représentation de la chambre d'EHPAD modélisé

Niveau sonore SPL en dB										Aspect réglementaire (Logement)
Fréquence		125	250	500	1000	2000	4000	8000	A	
Point 1	Mesure	44.5	42.4	38.6	34.0	27.3	20.2	18.3	**40.1**	☹
	Modèle			39.0	34.1	26.9	20.2	18.7	**40.2**	☹
Point 2	Mesure	40.8	39.8	36.5	30.8	25.7	19.9	17.9	**37.1**	☹
	Modèle			37.3	31.9	26.5	19.5	18.0	**38.2**	☹

Tableau 16 : Résultats mesurés et simulés dans la chambre d'EHPAD

7.4. Analyses et commentaires

Ces premières modélisations permettent d'envisager les perspectives suivantes :

- Utilisation de modèle numérique de simulation pour prévoir les niveaux sonores générés par les brasseurs et anticiper sur les positions précises de ces derniers ainsi que sur les aménagements et matériaux absorbants nécessaires pour l'atteinte d'objectifs donnés sur un projet spécifique (situation d'étude acoustique de projet)
- Utilisation de ce principe pour concevoir des modèles génériques de locaux et permettre de définir des principes des solutions d'intégration des brasseurs d'air dans différents locaux types : salle de classe, chambre à coucher, bureau individuel, espace tertiaire ouvert.
- Outil de calcul de la puissance acoustique d'un brasseur à partir de la modélisation acoustique afin de valider les données d'entrée du fabricant par exemple ou tester la robustesse du protocole de mesures des puissances acoustiques.
- Les extrapolations sur les puissances acoustiques des brasseurs type HUNTER INDUSTRIE 2 en V3 donnent des valeurs comprises entre 40 et 49 dB(A), soit 43.4 +/- 3 dB(A), ce qui compte tenu de la méthodologie rapide utilisée reste dans les tolérances habituelles en acoustiques. Une plus grande précision dans la saisie de la géométrie des locaux ainsi que des coefficients d'absorption des matériaux serait nécessaire. Toutefois, l'intérêt des modélisations est de réaliser des études paramétriques en ne faisant varier qu'un paramètre, par exemple la hauteur d'un brasseur, ou la nature d'un plafond acoustique pour quantifier les impacts sur les niveaux sonores du brasseur dans la pièce. Entre les différentes modélisations présentées dans ce rapport, tout change et y compris les brasseurs en termes de vitesse de rotation par exemple (qui varie avec la qualité du courant d'alimentation par exemple)

8. Etude paramétrique du niveau sonore d'un brasseur type dans différentes salles en fonction du nombre de brasseurs et matériaux acoustiques en parois

8.1. Objet

Après les validations du principe de modélisation acoustique des locaux réels équipés de brasseurs, le principe a été de modélise des locaux type et cette partie présente les différents locaux modélises ainsi que les résultats des niveaux sonores simulés et provoqués par un ou des brasseurs d'air.

Les salles testées ont été sélectionnées afin de représenter les principaux locaux où peuvent être utilisées des brasseurs.

Les locaux suivants ont été retenus :

- Bureau individue
- Bureau type « open-space »
- Chambre
- Classe

Les différentes configurations testées dans chaque local font varier le nombre de brasseurs et les traitements acoustique des sols et plafonds.

8.2. Méthodologie

Le logiciel de modélisation d'acoustique des salles CATT ACOUSTIC a été utilisé pour ces calculs. Le principe de ce logiciel est de réaliser des calculs de propagation acoustique intérieur par tirs de rayon inverse récepteur vers source. Cette propagation dans un espace fermé tient compte de l'ensemble des phénomènes acoustiques rencontrés dans une salle tels que notamment l'absorption acoustique des matériaux et de l'air, la diffusion/diffraction et l'atténuation avec la distance de propagation.

Les brasseurs d'air ont été modélisés comme des sources ponctuelles omnidirectionnelles positionnés à 0.4 m du plafond et répartis de manière homogène dans le local selon le nombre de brasseurs présents.

La puissance du brasseur provient d'une mesure effectuée par LASA le 20 octobre 2021 selon la norme NF EN ISO 3746. Le modèle du brasseur est un Hunter Industrie II et la vitesse V2 est sélectionnée, car elle représente la vitesse d'utilisation courante.

A noter, que les niveaux sonores qui aurait été obtenus en vitesse V1 et V3 sont extrapolées à partir de la différence observée sur les niveaux de puissances acoustiques mesurés en labo entre V1, V2 et V3.

Pour les modélisations réalisées, les différences prises en compte sont les suivantes :

Lw(V1) – Lw(V2) = -9 dB(A)

Lw(V3) – Lw(V2) = +7 dB(A)

Les locaux et leurs aménagements ont été modélisés pour être représentatif d'une situation standard.

Les coefficients d'absorption des différents matériaux ont été saisis en fonction des mesures et modélisations réalisées sur des locaux semblables.

Les propositions de calepinage qui suivent ne prennent pas en compte des contraintes aérauliques définies dans les règles de calepinage présentées dans les autres rapports du projet BRASSE. Ces propositions ont une valeur exclusivement informatives afin d'observer l'impact de différentes configurations sur le confort acoustiques des occupants.

8.3. Description des hypothèses retenues

Toutes les hypothèses effectuées concernant le coefficient d'absorption des différents matériaux modélisées, des traitements appliquées sur les locaux, de la puissance acoustique des brasseurs et des paramètres de calcul utilisait sont disponible en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

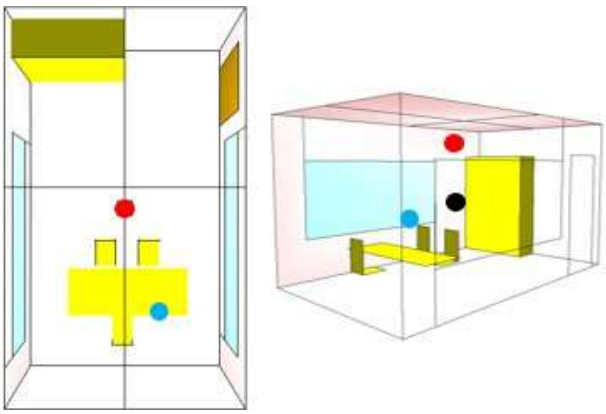
8.4. Résultants des modélisations

Pour tous les résultats présentés, une fiche détaillée est disponible en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**. La valeur qui est comparée aux réglementations dans les analyses, correspond au niveau sonore le plus élevé entre les deux points de réception pour chaque configuration.

8.4.1. Bureau de 15 m²

Pour la simulation d'un bureau simple, le choix de salle correspond à une surface de 15 m² avec une porte, deux fenêtres, trois chaises, un bureau et une armoire. La hauteur considérée est de 2.70 m.

8.4.1.1. Simulation avec 1 brasseur



Légende :

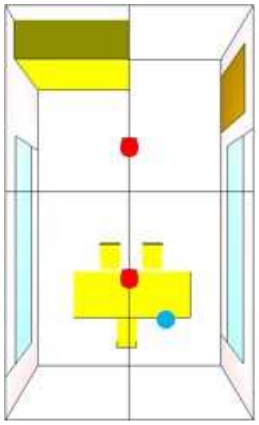
- : Source omnidirectionnelle (brasseur)
- : Point récepteur 1 toujours situé à 1 mètre en dessous d'un brasseur
- : Point récepteur 2 toujours situé dans le coin en bas à droite de la salle, à 1 mètre des murs
- L : Sol et plafond lisse
- L-M : Sol moquette et plafond lisse
- PFA50-L : 50% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA50-M : 50% de plafond absorbant avec sol moquette
- PFA100-L : 100% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA100-M : 100% de plafond absorbant avec sol moquette

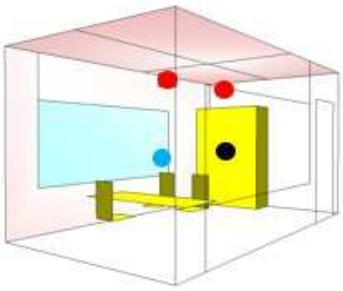
Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	31.0	30.0	30.5	25.5	23.5	20.0	18.0	36.0	**32.0**
	Point 2	31.5	30.0	29.5	24.5	22.5	19.5	17.0	36.0	**31.0**
L - M	**Point 1**	30.0	27.5	28.0	23.5	22.5	19.5	17.5	34.5	**30.0**
	Point 2	28.0	26.0	27.0	23.0	21.0	18.0	16.0	33.0	**29.0**
PFA50-L	**Point 1**	27.0	25.0	24.0	20.5	19.0	16.5	16.0	31.5	**27.0**
	Point 2	27.0	24.5	21.5	18.5	17.0	13.5	12.5	30.5	**24.5**
PFA50-M	**Point 1**	27.5	24.5	24.0	19.5	19.0	15.5	15.0	31.5	**26.5**
	Point 2	25.0	24.0	22.0	17.0	17.0	13.5	12.5	29.5	**24.5**
PFA100-L	**Point 1**	27.5	24.0	23.0	18.0	16.5	13.5	13.5	31.0	**25.0**
	Point 2	27.0	23.0	20.0	17.0	14.5	11.5	11.0	29.5	**23.0**
PFA100-M	**Point 1**	26.5	25.0	22.5	16.5	16.5	13.5	13.0	30.5	**24.5**
	Point 2	24.5	20.0	19.0	16.0	13.5	11.0	10.0	27.5	**22.0**

Bureau 15 m²/1 BRASSEUR - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	**Plafond**	**V1**	**V2**	**V3**
Lisse	**Lisse**	😊	😑	😑
Moquette	**Lisse**	😊	😑	😑
Lisse	**Ilot 50%**	😊	😊	😑
Moquette	**Ilot 50%**	😊	😊	😑
Lisse	**Plafond 100%**	😊	😊	😑
Moquette	**Plafond 100%**	😊	😊	😑

Figure 18 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 15 m² avec un brasseur

8.4.1.2. Simulation avec 2 brasseurs





Légende :

- : Source omnidirectionnelle (brasseur)
- : Point récepteur 1 toujours situé à 1 mètre en dessous d'un brasseur
- : Point récepteur 2 toujours situé dans le coin en bas à droite de la salle, à 1 mètre des murs

L : Sol et plafond lisse
L-M : Sol moquette et plafond lisse
PFA50-L : 50% de plafond absorbant avec sol lisse
PFA50-M : 50% de plafond absorbant avec sol moquette
PFA100-L : 100% de plafond absorbant avec sol lisse
PFA100-M : 100% de plafond absorbant avec sol moquette

Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	34.5	32.5	32.0	28.0	26.0	23.0	21.0	39.0	**34.0**
	Point 2	33.5	32.0	32.0	27.0	26.0	22.0	19.5	38.0	**33.5**
L - M	**Point 1**	33.0	30.0	30.5	26.5	24.5	21.5	19.5	37.0	**32.5**
	Point 2	31.0	28.0	29.5	25.5	24.0	20.5	19.0	35.5	**31.5**
PFA50-L	**Point 1**	28.5	26.0	26.5	22.5	20.5	18.5	17.5	33.0	**29.0**
	Point 2	27.0	26.5	25.0	20.5	19.0	17.0	15.5	32.0	**27.5**
PFA50-M	**Point 1**	28.5	27.5	27.0	22.5	20.5	18.0	17.0	33.5	**29.0**
	Point 2	27.5	24.5	26.0	19.0	18.0	16.0	15.0	31.5	**27.0**
PFA100-L	**Point 1**	29.0	26.5	25.0	21.0	19.0	15.5	15.0	33.0	**27.5**
	Point 2	26.5	24.5	23.0	17.5	17.5	14.0	13.5	30.5	**25.5**
PFA100-M	**Point 1**	29.5	27.0	24.5	21.5	18.5	15.5	15.0	33.0	**27.5**
	Point 2	27.5	26.0	24.0	17.0	17.0	14.0	13.5	31.5	**25.5**

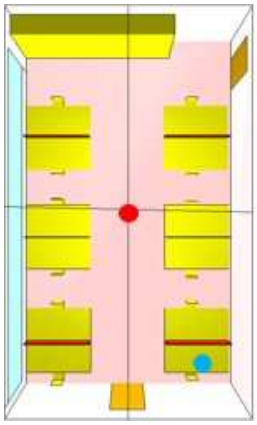
Bureau 15 m²/2 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	**Plafond**	**V1**	**V2**	**V3**
Lisse	**Lisse**			
Moquette	**Lisse**			
Lisse	**Ilot 50%**			
Moquette	**Ilot 50%**			
Lisse	**Plafond 100%**			
Moquette	**Plafond 100%**			

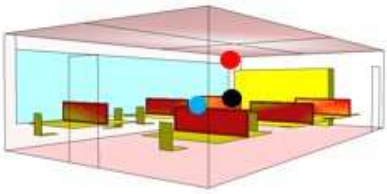
Figure 19 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 15 m² avec deux brasseurs

8.4.2. Bureau de 60 m²

Pour la simulation d'un bureau type « open space », le choix de salle correspond à une surface de 60 m²avec deux portes, une fenêtre, 12 chaises / 12 bureaux et une armoire. La hauteur considérée est de 2.70 m.

8.4.2.1. Simulation avec 1 brasseur





Légende :

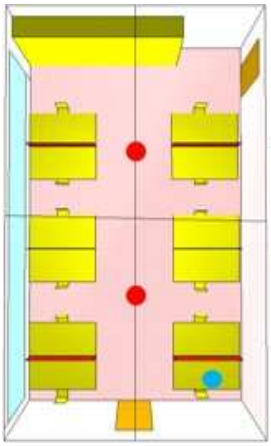
- : Source omnidirectionnelle (brasseur)
- : Point récepteur 1 toujours situé à 1 mètre en dessous d'un brasseur
- : Point récepteur 2 toujours situé dans le coin en bas à droite de la salle, à 1 mètre des murs
- L : Sol et plafond lisse
- L-M : Sol moquette et plafond lisse
- PFA50-L : 50% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA50-M : 50% de plafond absorbant avec sol moquette
- PFA100-L : 100% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA100-M : 100% de plafond absorbant avec sol moquette

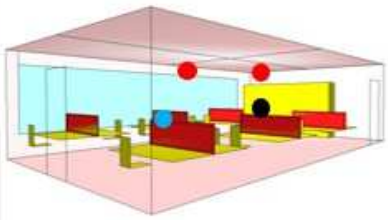
Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	27.5	25.5	25.5	21.0	18.5	16.0	14.0	32.0	**27.0**
	Point 2	25.0	24.0	24.5	19.5	17.5	14.0	11.0	30.0	**25.5**
L - M	**Point 1**	27.0	23.5	23.5	19.5	17.5	15.0	13.5	31.0	**26.0**
	Point 2	23.0	21.5	22.0	17.5	15.0	12.0	9.5	28.0	**23.5**
PFA50-L	**Point 1**	24.0	20.0	21.0	17.0	15.0	13.0	12.5	28.0	**23.5**
	Point 2	20.0	17.0	16.5	9.5	8.5	6.0	4.5	23.5	**17.5**
PFA50-M	**Point 1**	23.5	19.5	20.5	17.0	15.0	12.5	12.0	27.5	**23.0**
	Point 2	19.5	16.5	14.5	9.0	8.5	5.5	4.5	22.5	**16.5**
PFA100-L	**Point 1**	24.5	20.5	16.5	14.0	12.5	10.5	9.5	27.0	**20.5**
	Point 2	21.0	16.5	15.5	10.0	8.0	4.5	3.5	23.5	**17.0**
PFA100-M	**Point 1**	24.0	20.0	16.5	14.0	12.0	10.5	9.5	26.5	**20.5**
	Point 2	18.5	16.0	14.5	8.5	6.0	3.5	2.0	22.0	**15.5**

Bureau 60 m²/1 BRASSEUR - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	**Plafond**	**V1**	**V2**	**V3**
Lisse	**Lisse**	🙂	🙂	😐
Moquette	**Lisse**	🙂	🙂	😐
Lisse	**Ilot 50%**	🙂	🙂	😐
Moquette	**Ilot 50%**	🙂	🙂	😐
Lisse	**Plafond 100%**	🙂	🙂	🙂
Moquette	**Plafond 100%**	🙂	🙂	🙂

Figure 20 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 60 m² avec un brasseur

8.4.2.2. Simulation avec 2 brasseurs





Légende :

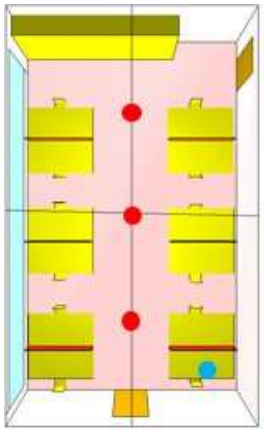
- : Source omnidirectionnelle (brasseur)
- : Point récepteur 1 toujours situé à 1 mètre en dessous d'un brasseur
- : Point récepteur 2 toujours situé dans le coin en bas à droite de la salle, à 1 mètre des murs
- L : Sol et plafond lisse
- L-M : Sol moquette et plafond lisse
- PFA50-L : 50% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA50-M : 50% de plafond absorbant avec sol moquette
- PFA100-L : 100% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA100-M : 100% de plafond absorbant avec sol moquette

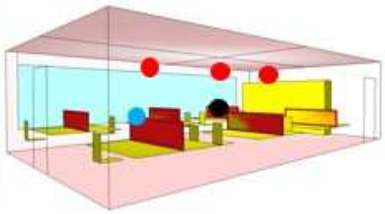
Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	30.0	27.0	27.5	23.5	21.5	18.5	16.0	34.0	**29.5**
	Point 2	28.5	26.0	26.5	22.0	20.5	17.0	13.5	33.0	**28.5**
L - M	**Point 1**	29.0	25.5	26.0	21.5	19.5	17.5	15.5	33.0	**28.0**
	Point 2	26.5	25.0	25.0	19.5	18.5	15.0	12.5	31.0	**26.5**
PFA50-L	**Point 1**	27.0	22.0	22.0	19.0	17.0	14.5	14.0	30.0	**25.0**
	Point 2	23.5	20.5	19.0	14.0	11.5	9.5	7.5	27.0	**20.5**
PFA50-M	**Point 1**	25.0	20.5	22.0	19.0	16.5	14.5	13.5	29.0	**24.5**
	Point 2	21.0	21.0	18.5	14.0	12.5	9.5	7.5	26.0	**20.5**
PFA100-L	**Point 1**	25.5	23.5	20.0	16.0	14.0	12.5	11.0	29.0	**23.0**
	Point 2	22.5	20.0	17.5	12.5	11.0	8.5	6.5	26.0	**19.5**
PFA100-M	**Point 1**	25.5	22.5	21.5	16.5	13.5	12.0	11.0	29.0	**23.0**
	Point 2	21.0	20.5	16.0	12.0	10.0	7.5	6.5	25.0	**19.0**

Bureau 60 m²/2 BRASSEURs - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	**Plafond**	**V1**	**V2**	**V3**
Lisse	**Lisse**			
Moquette	**Lisse**			
Lisse	**Ilot 50%**			
Moquette	**Ilot 50%**			
Lisse	**Plafond 100%**			
Moquette	**Plafond 100%**			

Figure 21 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 60 m² avec deux brasseurs

8.4.2.3. Simulation avec 3 brasseurs





Légende :

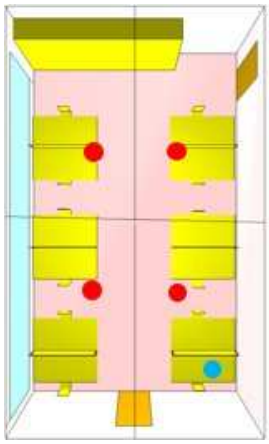
- : Source omnidirectionnelle (brasseur)
- : Point récepteur 1 toujours situé à 1 mètre en dessous d'un brasseur
- : Point récepteur 2 toujours situé dans le coin en bas à droite de la salle, à 1 mètre des murs
- L : Sol et plafond lisse
- L-M : Sol moquette et plafond lisse
- PFA50-L : 50% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA50-M : 50% de plafond absorbant avec sol moquette
- PFA100-L : 100% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA100-M : 100% de plafond absorbant avec sol moquette

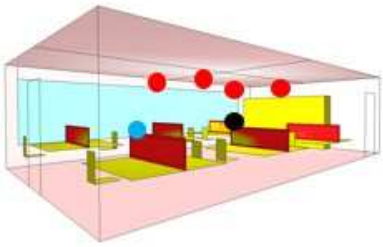
Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	32.0	30.0	29.5	25.5	23.5	20.5	18.5	36.5	**31.5**
	Point 2	30.0	28.5	28.0	24.5	22.5	18.5	15.5	34.5	**30.5**
L - M	**Point 1**	31.0	27.0	27.5	24.0	22.0	19.5	18.0	34.5	**30.0**
	Point 2	27.5	25.5	25.5	21.5	20.5	17.0	14.5	32.0	**28.0**
PFA50-L	**Point 1**	28.0	25.0	24.0	22.0	19.5	17.0	16.0	32.0	**27.5**
	Point 2	25.0	21.5	20.0	15.0	13.5	11.0	9.5	28.0	**22.0**
PFA50-M	**Point 1**	28.5	25.0	24.0	22.0	19.5	17.0	16.0	32.0	**27.5**
	Point 2	23.5	21.0	19.5	15.0	14.0	10.5	10.0	27.5	**22.0**
PFA100-L	**Point 1**	28.5	24.5	23.0	19.0	16.0	14.5	13.5	31.5	**25.5**
	Point 2	25.0	22.0	20.0	14.0	12.5	10.0	8.0	28.0	**21.5**
PFA100-M	**Point 1**	27.5	24.0	23.0	18.5	16.0	14.5	13.0	31.0	**25.0**
	Point 2	23.5	20.0	18.5	14.0	11.5	9.0	8.0	26.5	**20.5**

Bureau 60 m²/3 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	**Plafond**	**V1**	**V2**	**V3**
Lisse	**Lisse**			
Moquette	**Lisse**			
Lisse	**Ilot 50%**			
Moquette	**Ilot 50%**			
Lisse	**Plafond 100%**			
Moquette	**Plafond 100%**			

Figure 22 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 60 m² avec trois brasseurs

8.4.2.4. Simulation avec 4 brasseurs





Légende :

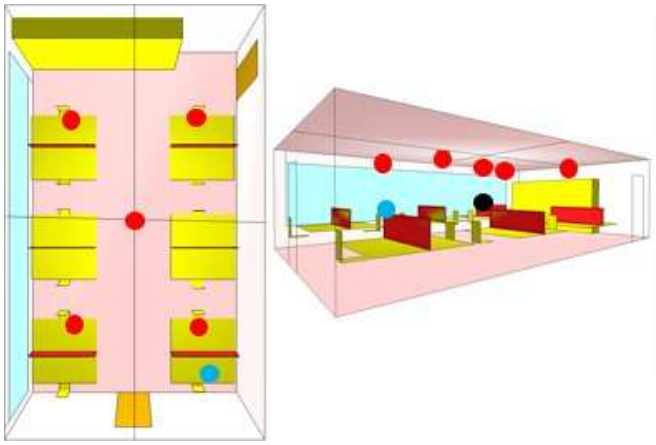
- : Source omnidirectionnelle (brasseur)
- : Point récepteur 1 toujours situé à 1 mètre en dessous d'un brasseur
- : Point récepteur 2 toujours situé dans le coin en bas à droite de la salle, à 1 mètre des murs
- L : Sol et plafond lisse
- L-M : Sol moquette et plafond lisse
- PFA50-L : 50% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA50-M : 50% de plafond absorbant avec sol moquette
- PFA100-L : 100% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA100-M : 100% de plafond absorbant avec sol moquette

Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	33.0	30.0	30.0	25.5	24.0	20.5	17.5	36.5	**32.0**
	Point 2	33.0	30.0	29.5	26.0	23.5	20.0	17.0	36.5	**31.5**
L - M	**Point 1**	30.0	27.5	28.0	24.0	22.5	19.5	17.0	34.5	**30.0**
	Point 2	29.5	27.5	26.5	23.0	21.5	18.5	16.0	34.0	**29.5**
PFA50-L	**Point 1**	25.5	24.5	25.0	19.5	16.5	14.5	13.0	30.5	**26.0**
	Point 2	26.0	23.5	21.5	17.5	15.0	12.5	11.5	29.5	**23.5**
PFA50-M	**Point 1**	28.0	25.0	24.5	19.0	16.5	14.5	13.0	31.5	**25.5**
	Point 2	26.0	22.0	22.0	17.0	14.5	12.0	11.0	29.5	**23.5**
PFA100-L	**Point 1**	28.5	25.0	24.0	18.5	15.5	14.0	12.5	31.5	**25.5**
	Point 2	25.5	21.5	21.0	16.5	13.0	11.5	10.5	28.5	**22.5**
PFA100-M	**Point 1**	27.5	25.0	23.5	18.0	15.5	13.5	12.5	31.0	**25.0**
	Point 2	23.5	23.0	20.5	16.0	13.5	11.5	10.0	28.0	**22.5**

Bureau 60 m²/4 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	**Plafond**	**V1**	**V2**	**V3**
Lisse	**Lisse**			
Moquette	**Lisse**			
Lisse	**Ilot 50%**			
Moquette	**Ilot 50%**			
Lisse	**Plafond 100%**			
Moquette	**Plafond 100%**			

Figure 23 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 60 m² avec quatre brasseurs

8.4.2.5. Simulation avec 5 brasseurs



Légende :

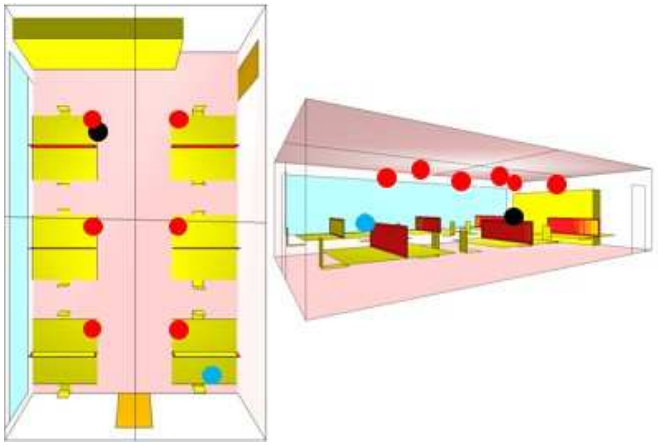
- : Source omnidirectionnelle (brasseur)
- : Point récepteur 1 toujours situé à 1 mètre en dessous d'un brasseur
- : Point récepteur 2 toujours situé dans le coin en bas à droite de la salle, à 1 mètre des murs
- L : Sol et plafond lisse
- L-M : Sol moquette et plafond lisse
- PFA50-L : 50% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA50-M : 50% de plafond absorbant avec sol moquette
- PFA100-L : 100% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA100-M : 100% de plafond absorbant avec sol moquette

Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	34.5	32.5	31.5	27.5	25.5	22.5	20.5	38.5	**33.5**
	Point 2	32.5	31.5	31.0	26.5	24.5	21.0	18.0	37.0	**32.5**
L - M	**Point 1**	33.0	31.0	29.5	26.5	24.5	21.5	20.0	37.0	**32.5**
	Point 2	30.5	28.0	29.0	24.5	23.0	20.0	17.0	35.0	**30.5**
PFA50-L	**Point 1**	31.0	27.5	26.5	23.0	20.5	18.0	17.5	34.0	**29.0**
	Point 2	25.5	22.5	22.5	19.0	17.0	13.5	12.5	29.5	**25.0**
PFA50-M	**Point 1**	29.5	27.5	26.0	22.5	20.0	17.5	17.0	33.5	**28.5**
	Point 2	25.5	23.5	22.5	18.0	16.5	13.5	12.0	29.5	**24.5**
PFA100-L	**Point 1**	30.0	27.0	25.5	21.5	18.5	16.5	16.0	33.5	**28.0**
	Point 2	26.0	22.0	21.5	17.0	15.0	12.5	11.5	29.0	**23.5**
PFA100-M	**Point 1**	30.5	28.0	24.5	21.0	18.5	17.0	16.0	33.5	**27.5**
	Point 2	27.0	24.5	22.0	17.0	15.0	12.5	11.5	30.5	**24.0**

Bureau 60 m²/5 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	**Plafond**	**V1**	**V2**	**V3**
Lisse	**Lisse**			
Moquette	**Lisse**			
Lisse	**Ilot 50%**			
Moquette	**Ilot 50%**			
Lisse	**Plafond 100%**			
Moquette	**Plafond 100%**			

Figure 24 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 60 m² avec cinq brasseurs

8.4.2.6. Simulation avec 6 brasseurs



Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	34.5	32.5	31.5	27.5	25.5	22.0	19.0	38.5	**33.5**
	Point 2	32.5	31.5	31.5	27.0	25.0	22.0	19.0	37.5	**33.0**
L - M	**Point 1**	31.0	30.0	30.0	25.5	23.5	20.5	18.5	36.0	**32.0**
	Point 2	30.0	29.5	29.5	25.5	23.0	20.0	18.0	35.5	**31.5**
PFA50-L	**Point 1**	29.0	27.5	25.0	19.0	18.0	16.0	15.0	32.5	**27.0**
	Point 2	27.0	23.5	21.5	19.0	17.0	14.5	13.0	30.5	**25.0**
PFA50-M	**Point 1**	27.5	25.0	24.0	19.0	17.5	16.0	14.5	31.5	**26.0**
	Point 2	24.0	23.0	23.5	19.0	16.5	14.0	13.0	29.5	**25.5**
PFA100-L	**Point 1**	29.0	25.0	24.0	19.0	17.5	15.0	13.5	32.0	**26.0**
	Point 2	29.0	25.5	22.5	18.5	16.0	13.5	12.5	32.0	**25.0**
PFA100-M	**Point 1**	28.5	25.5	24.5	18.5	16.5	14.5	13.5	32.0	**26.0**
	Point 2	27.5	24.5	23.0	18.5	16.0	13.5	12.5	31.0	**25.0**

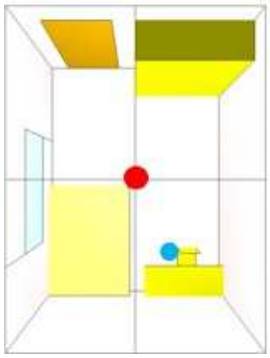
Bureau 60 m²/6 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	**Plafond**	**V1**	**V2**	**V3**
Lisse	**Lisse**			
Moquette	**Lisse**			
Lisse	**Ilot 50%**			
Moquette	**Ilot 50%**			
Lisse	**Plafond 100%**			
Moquette	**Plafond 100%**			

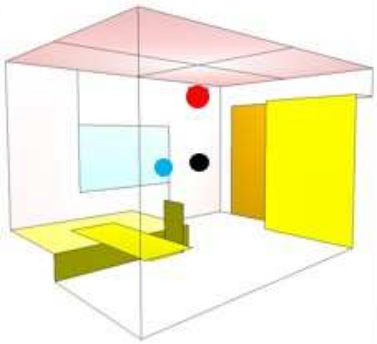
Figure 25 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour un bureau de 60 m² avec six brasseurs

8.4.3. Chambre 12 m²

Pour la simulation d'une chambre, le choix de salle correspond à une surface de 12 m² avec une porte, une fenêtre, une chaise / un bureau, une armoire et un lit composé d'un sommier et d'un matelas absorbant(mobilier absorbant). La hauteur considérée est de 2.50 m.

8.4.3.1. Simulation avec 1 brasseur





Légende :

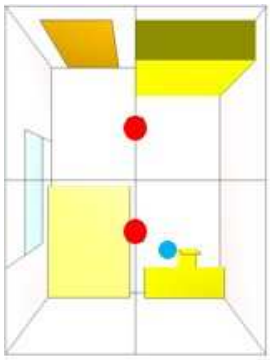
- : Source omnidirectionnelle (brasseur)
- : Point récepteur 1 toujours situé à 1 mètre en dessous d'un brasseur
- : Point récepteur 2 toujours situé dans le coin en bas à droite de la salle, à 1 mètre des murs
- L : Sol et plafond lisse
- L-M : Sol moquette et plafond lisse
- PFA50-L : 50% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA50-M : 50% de plafond absorbant avec sol moquette
- PFA100-L : 100% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA100-M : 100% de plafond absorbant avec sol moquette

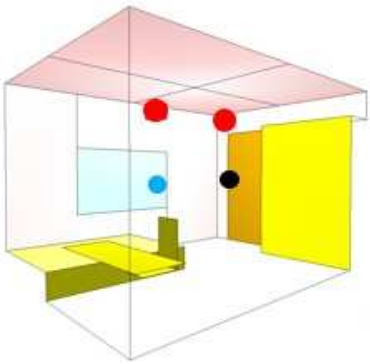
Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Fréquence		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	33.5	30.5	31.0	25.5	24.0	21.5	20.5	37.5	**32.5**
	Point 2	32.5	30.0	29.5	24.5	22.5	19.5	17.5	36.5	**31.0**
L - M	**Point 1**	33.0	30.0	29.5	25.0	23.5	21.0	20.0	36.5	**31.5**
	Point 2	29.5	27.0	28.0	23.0	22.0	18.5	17.0	34.0	**29.5**

Chambre 12 m²/1 BRASSEUR - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3extrapolées)							
Sol	**Plafond**	**V1**		**V2**		**V3**	
		Sommeil	**Logement (jour)**	**Sommeil**	**Logement (jour)**	**Sommeil**	**Logement (jour)**
Lisse	**Lisse**	😑	🙂	☹	☹	☹	☹
Moquette	**Lisse**	😑	🙂	☹	☹	☹	☹

Figure 26 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour une chambre de 12 m² avec un brasseur

8.4.3.2. Simulation avec 2 brasseurs





Légende :

- : Source omnidirectionnelle (brasseur)
- : Point récepteur 1 toujours situé à 1 mètre en dessous d'un brasseur
- : Point récepteur 2 toujours situé dans le coin en bas à droite de la salle, à 1 mètre des murs
- L : Sol et plafond lisse
- L-M : Sol moquette et plafond lisse
- PFA50-L : 50% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA50-M : 50% de plafond absorbant avec sol moquette
- PFA100-L : 100% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA100-M : 100% de plafond absorbant avec sol moquette

Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	35.0	33.0	33.0	27.5	26.5	23.0	21.0	39.5	**34.5**
	Point 2	35.0	33.0	32.0	27.0	25.0	22.0	20.5	39.0	**33.5**
L - M	**Point 1**	34.5	33.0	32.0	26.5	25.5	22.5	20.5	39.0	**33.5**
	Point 2	34.0	31.0	31.0	26.5	24.5	21.5	19.5	38.0	**33.0**

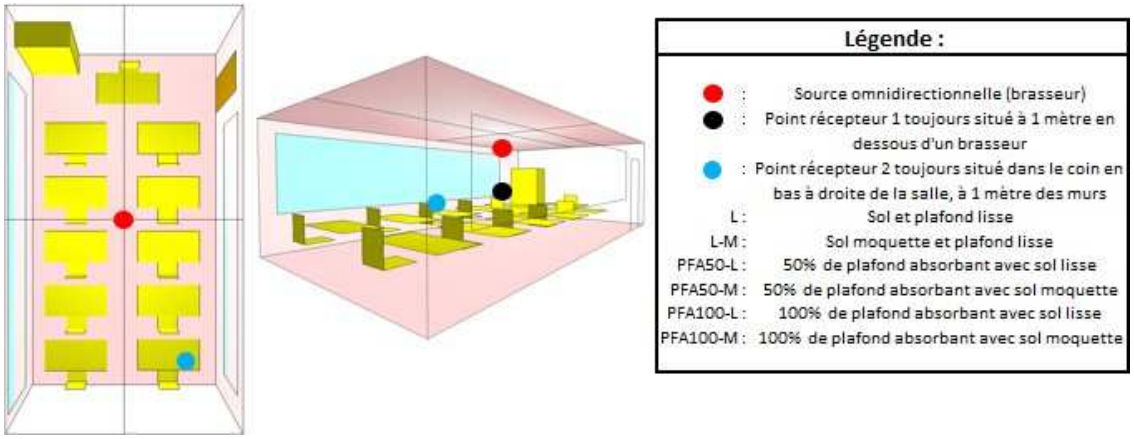
Chambre 12 m²/2 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3extrapolées)							
Sol	**Plafond**	**V1**		**V2**		**V3**	
		Sommeil	**Logement (jour)**	**Sommeil**	**Logement (jour)**	**Sommeil**	**Logement (jour)**
Lisse	**Lisse**	😑	😑	☹	☹	☹	☹
Moquette	**Lisse**	😑	🙂	☹	☹	☹	☹

Figure 27 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour une chambre de 12 m² avec deux brasseurs

8.4.4. Classe de 45 m² (Enseignement)

Pour la simulation d'une classe, le choix de salle correspond à une surface de 45 m² avec une porte, deux fenêtres, 11 chaises / 11 bureaux et une armoire. La hauteur considérée est de 2.70 m.

8.4.4.1. Simulation avec 1 brasseur

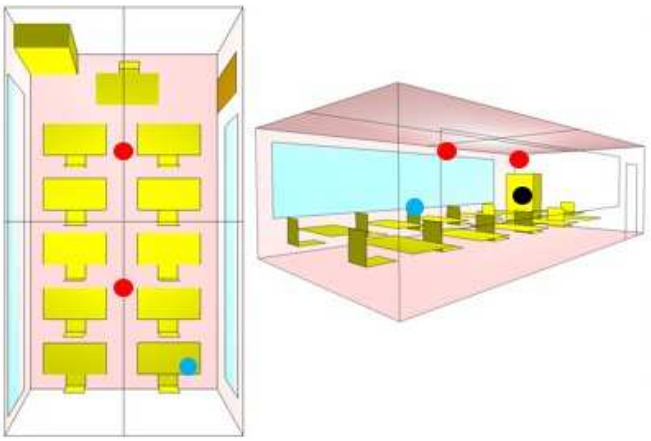


Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	29.0	26.5	27.0	23.0	21.5	18.5	17.5	33.5	**29.5**
	Point 2	26.0	25.0	25.0	21.0	18.5	14.5	12.5	31.0	**26.5**
L - M	**Point 1**	28.5	26.0	26.0	22.5	20.5	18.0	17.0	33.0	**28.5**
	Point 2	24.5	22.0	22.5	18.5	16.5	13.5	11.5	29.0	**24.5**
PFA50-L	**Point 1**	28.0	24.0	24.5	20.5	19.0	16.5	16.0	31.5	**27.0**
	Point 2	19.5	18.5	17.5	12.5	10.5	8.0	7.0	24.0	**19.0**
PFA50-M	**Point 1**	27.5	24.0	24.5	20.5	18.5	16.5	16.0	31.5	**27.0**
	Point 2	20.0	19.0	17.0	12.0	9.5	8.5	7.0	24.5	**19.0**
PFA100-L	**Point 1**	25.5	23.0	19.5	16.5	14.5	12.0	11.5	29.0	**23.0**
	Point 2	20.5	19.5	16.0	11.0	10.0	7.0	6.0	24.5	**18.5**
PFA100-M	**Point 1**	26.0	22.5	18.5	16.5	14.0	12.0	11.0	29.0	**22.5**
	Point 2	20.5	16.5	16.5	10.0	9.0	7.5	6.0	23.5	**18.0**

Classe 45 m²/1 BRASSEUR - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	**Plafond**	**V1**	**V2**	**V3**
Lisse	**Lisse**	😊	😊	😐
Moquette	**Lisse**	😊	😊	😐
Lisse	**Ilot 50%**	😊	😊	😐
Moquette	**Ilot 50%**	😊	😊	😐
Lisse	**Plafond 100%**	😊	😊	😊
Moquette	**Plafond 100%**	😊	😊	😊

Figure 28 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour une classe de 45 m² avec un brasseur

8.4.4.2. Simulation avec 2 brasseurs



Légende :

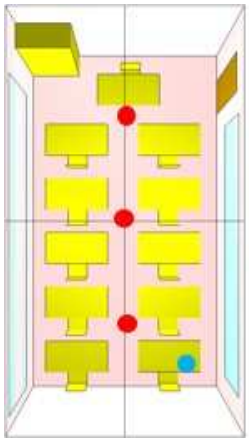
- : Source omnidirectionnelle (brasseur)
- : Point récepteur 1 toujours situé à 1 mètre en dessous d'un brasseur
- : Point récepteur 2 toujours situé dans le coin en bas à droite de la salle, à 1 mètre des murs
- L : Sol et plafond lisse
- L-M : Sol moquette et plafond lisse
- PFA50-L : 50% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA50-M : 50% de plafond absorbant avec sol moquette
- PFA100-L : 100% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA100-M : 100% de plafond absorbant avec sol moquette

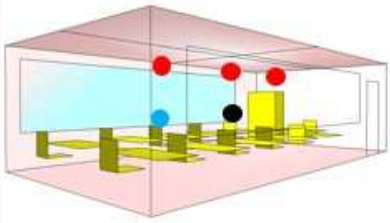
Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	30.5	28.0	28.5	24.0	22.5	19.5	17.0	35.0	**30.5**
	Point 2	29.5	28.0	27.5	23.0	22.0	18.0	15.0	34.0	**29.5**
L - M	**Point 1**	29.0	27.0	27.0	23.0	21.5	18.5	16.5	33.5	**29.5**
	Point 2	28.0	25.5	24.5	21.5	20.0	17.0	14.5	32.0	**27.5**
PFA50-L	**Point 1**	27.5	24.5	24.0	21.0	18.0	16.0	15.0	31.5	**26.5**
	Point 2	24.0	21.5	20.0	16.0	14.5	12.0	11.0	27.5	**22.5**
PFA50-M	**Point 1**	26.5	23.5	24.0	20.5	18.0	15.5	15.0	31.0	**26.5**
	Point 2	23.5	20.5	20.5	16.0	14.5	11.5	10.0	27.5	**22.5**
PFA100-L	**Point 1**	28.0	24.5	20.0	18.5	16.0	13.5	13.0	31.0	**24.5**
	Point 2	24.0	22.0	21.0	14.5	13.0	11.0	9.5	28.0	**22.0**
PFA100-M	**Point 1**	27.0	24.5	20.5	18.0	15.5	14.0	13.0	30.0	**24.0**
	Point 2	22.5	22.0	20.5	14.0	13.5	10.5	9.5	27.0	**22.0**

Classe 45 m²/2 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	**Plafond**	**V1**	**V2**	**V3**
Lisse	**Lisse**	🙂	🙂	😑
Moquette	**Lisse**	🙂	🙂	😑
Lisse	**Ilot 50%**	🙂	🙂	😑
Moquette	**Ilot 50%**	🙂	🙂	😑
Lisse	**Plafond 100%**	🙂	🙂	🙂
Moquette	**Plafond 100%**	🙂	🙂	🙂

Figure 29 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour une classe de 45 m² avec deux brasseurs

8.4.4.3. Simulation avec 3 brasseurs





Légende :

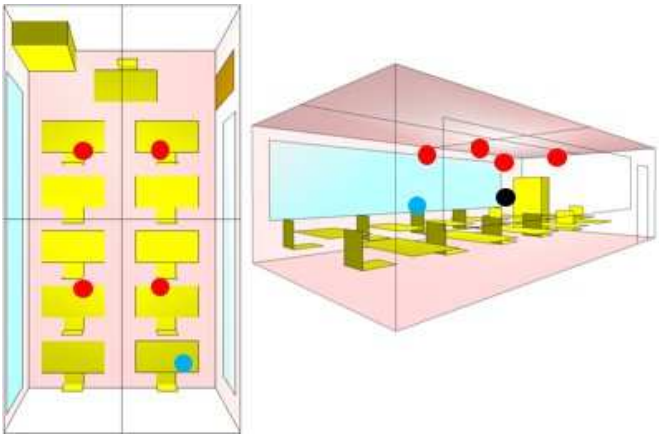
- : Source omnidirectionnelle (brasseur)
- : Point récepteur 1 toujours situé à 1 mètre en dessous d'un brasseur
- : Point récepteur 2 toujours situé dans le coin en bas à droite de la salle, à 1 mètre des murs
- L : Sol et plafond lisse
- L-M : Sol moquette et plafond lisse
- PFA50-L : 50% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA50-M : 50% de plafond absorbant avec sol moquette
- PFA100-L : 100% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA100-M : 100% de plafond absorbant avec sol moquette

Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	33.5	31.5	31.0	27.0	25.0	22.5	20.5	38.0	**33.0**
	Point 2	31.0	29.5	29.5	24.5	23.5	19.5	17.0	35.5	**31.0**
L - M	**Point 1**	31.5	30.0	30.0	26.0	24.0	21.5	20.5	36.5	**32.5**
	Point 2	29.0	28.0	28.0	23.5	21.5	18.5	16.0	34.0	**30.0**
PFA50-L	**Point 1**	29.5	26.0	27.0	24.0	22.0	19.5	19.0	34.0	**30.0**
	Point 2	28.5	26.5	23.0	18.0	16.0	14.0	13.0	32.0	**25.0**
PFA50-M	**Point 1**	29.5	26.0	27.0	24.5	22.0	19.5	19.0	34.0	**30.0**
	Point 2	26.0	24.0	22.5	17.5	15.5	14.0	12.5	30.0	**24.5**
PFA100-L	**Point 1**	30.0	27.0	24.5	21.0	18.5	16.5	15.5	33.0	**27.5**
	Point 2	28.0	27.0	22.5	15.5	15.0	13.0	11.0	31.5	**24.5**
PFA100-M	**Point 1**	29.5	27.0	24.0	21.0	18.5	16.5	15.5	33.0	**27.5**
	Point 2	26.0	25.5	23.0	16.0	14.5	12.5	11.5	30.5	**24.5**

Classe 45 m²/3 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	**Plafond**	**V1**	**V2**	**V3**
Lisse	**Lisse**	🙂	😐	☹
Moquette	**Lisse**	🙂	🙂	☹
Lisse	**Ilot 50%**	🙂	🙂	😐
Moquette	**Ilot 50%**	🙂	🙂	😐
Lisse	**Plafond 100%**	🙂	🙂	😐
Moquette	**Plafond 100%**	🙂	🙂	😐

Figure 30 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour une classe de 45 m² avec trois brasseurs

8.4.4.4. Simulation avec 4 brasseurs



Légende :

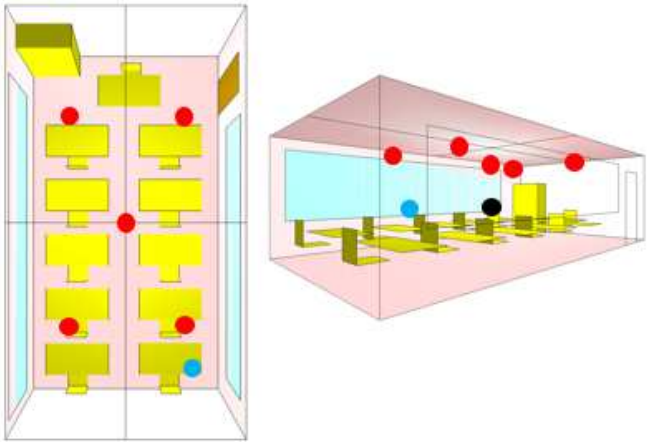
- : Source omnidirectionnelle (brasseur)
- : Point récepteur 1 toujours situé à 1 mètre en dessous d'un brasseur
- : Point récepteur 2 toujours situé dans le coin en bas à droite de la salle, à 1 mètre des murs
- L : Sol et plafond lisse
- L-M : Sol moquette et plafond lisse
- PFA50-L : 50% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA50-M : 50% de plafond absorbant avec sol moquette
- PFA100-L : 100% de plafond absorbant avec sol lisse
- PFA100-M : 100% de plafond absorbant avec sol moquette

Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**Lin**	**A**
L	**Point 1**	32.5	31.0	31.0	26.5	25.0	22.0	19.0	37.5	**33.0**
	Point 2	32.5	31.0	30.5	26.0	24.5	21.0	18.5	37.0	**32.5**
L - M	**Point 1**	32.0	29.5	29.0	25.0	23.0	20.0	19.0	36.0	**31.0**
	Point 2	30.5	29.5	28.5	24.0	22.5	20.0	17.5	35.5	**30.5**
PFA50-L	**Point 1**	30.0	28.5	24.0	20.5	18.5	15.5	15.5	33.5	**27.5**
	Point 2	28.5	26.0	23.0	18.5	16.5	14.0	13.5	31.5	**25.5**
PFA50-M	**Point 1**	29.5	26.5	25.0	19.5	18.5	15.5	15.5	32.5	**27.0**
	Point 2	27.0	25.5	23.0	18.0	16.5	14.0	13.0	31.0	**25.0**
PFA100-L	**Point 1**	29.0	27.5	25.0	19.5	18.0	15.0	15.0	33.0	**27.0**
	Point 2	28.0	25.0	23.5	17.5	16.0	13.5	13.0	31.5	**25.0**
PFA100-M	**Point 1**	29.5	27.5	24.5	20.0	17.5	15.0	14.5	33.0	**27.0**
	Point 2	28.0	25.5	24.5	17.0	15.5	13.5	12.5	31.5	**25.5**

Classe 45 m²/4 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	**Plafond**	**V1**	**V2**	**V3**
Lisse	**Lisse**			
Moquette	**Lisse**			
Lisse	**Ilot 50%**			
Moquette	**Ilot 50%**			
Lisse	**Plafond 100%**			
Moquette	**Plafond 100%**			

Figure 31 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour une classe de 45 m² avec quatre brasseurs

8.4.4.5. Simulation avec 5 brasseurs



Niveau sonore SPL en dB en octave et en dB(A)										
Configuration		125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lin	A
L	Point 1	36.0	34.0	33.0	29.0	28.0	24.0	23.0	40.5	**35.5**
	Point 2	33.5	31.5	32.0	27.0	25.5	21.5	19.5	38.0	**33.5**
L - M	Point 1	34.5	33.0	31.5	28.0	26.5	23.5	22.5	39.0	**34.5**
	Point 2	33.5	30.0	29.5	25.0	24.0	21.0	19.0	37.0	**31.5**
PFA50-L	Point 1	32.5	30.0	28.5	24.5	23.5	21.0	20.0	36.5	**31.5**
	Point 2	27.5	24.5	24.0	20.0	18.5	15.5	14.5	31.5	**26.5**
PFA50-M	Point 1	33.0	30.0	28.5	25.0	23.5	21.0	20.5	36.5	**31.5**
	Point 2	30.0	26.5	25.0	19.5	18.0	15.0	14.5	33.0	**27.0**
PFA100-L	Point 1	34.0	30.0	27.5	22.5	22.0	19.5	18.5	36.5	**30.0**
	Point 2	29.5	27.0	24.0	17.5	17.5	14.5	14.0	32.5	**26.0**
PFA100-M	Point 1	33.5	30.5	27.0	23.0	22.0	19.5	18.5	36.5	**30.0**
	Point 2	28.0	24.5	23.5	18.5	17.0	15.0	14.0	31.5	**25.5**

Classe 45 m²/5 BRASSEURS - Niveau sonore max en dB(A) (V2 simulée, V1 et V3 extrapolées)				
Sol	Plafond	V1	V2	V3
Lisse	Lisse	🙂	😑	☹
Moquette	Lisse	🙂	😑	☹
Lisse	Ilot 50%	🙂	🙂	☹
Moquette	Ilot 50%	🙂	🙂	☹
Lisse	Plafond 100%	🙂	🙂	😑
Moquette	Plafond 100%	🙂	🙂	😑

Figure 32 : Représentation, résultats simulées et niveaux sonores extrapolés pour une classe de 45 m² avec cinq brasseurs

8.5. Synthèse

Ces modélisations ont permis de mettre en évidence les commentaires suivants pour ce modèle debrasseur :

- En vitesse 1 (soit Lw = 24.5 dB(A)), le niveau de bruit dans le local est confortable pour quasimenttoutes les configurations quel que soit le nombre de brasseurs et les traitements des parois
- En vitesse 2 (Lw = 33.5 dB(A)), dès lors que le plafond est traité acoustiquement, le niveau de bruitdans le local est confortable
- En vitesse 3 (Lw = 40.5 dB(A)), le niveau de bruit dans le local est élevé et potentiellement gênantmême avec des traitements acoustiques de parois.

Dans une chambre, seule la vitesse V1 permet de maintenir un niveau sonore confortable en journée et acceptable pour la pièce de sommeil en période nocturne.

Dans un bureau individuel de 15 m², le niveau sonore confortable ou acceptable avec 1 seul brasseur. L'ajout d'un deuxième brasseur, entraîne un niveau sonore désagréable en V3 en l'absence de traitement absorbant suffisants dans le local.

Dans un open space de 60 m², le niveau sonore confortable ou acceptable avec 1 à 4 brasseurs. L'ajout d'un 5ème ou d'un 6ème, entraîne un niveau sonore désagréable en V3 en l'absence de traitement absorbant suffisants dans le local.

Dans une salle de classe de 45 m², le niveau sonore confortable ou acceptable avec 1 ou 2 brasseurs. L'ajout d'un 3ème, 4ème ou d'un 5ème, entraîne un niveau sonore désagréable en V3 en l'absence de traitement absorbant suffisants dans le local.

Cette première analyse a pour objectif de permettre la création d'un outil de prédimensionnement des brasseurs d'air en termes de puissance acoustique en fonction des paramètres suivants :

- Type de local
- Traitements absorbants des parois
- Objectif de niveau sonore
- Nombre de brasseurs

En fonction de cette puissance acoustique, la base de données fabricant permettra de choisir lesbraseurs compatibles. La base pourra aussi permettre de lister les brasseurs compatibles avec une configuration donnée.

9. OUTIL de PREDIMENSIONNEMENT

9.1. Objet

Sur la base des modélisations réalisées, les résultats obtenus permettent le paramétrage d'une feuille de calcul type EXCEL qui va constituer l'outil de prédimensionnement. De plus, les nombreuses mesures de puissance acoustique réalisées au laboratoire PIMENT permettent d'alimenter cette feuille de données.

La présente partie du rapport de synthèse décrit cette feuille EXCEL créée afin de traiter les données de prédimensionnement.

9.2. Description de la feuille de prédimensionnement

Pour commencer, la feuille demande quelques informations sur le type de local où le brasseur doit être installer. Les choix sont limités et correspondent à toutes les différentes configurations simulés et explicités dans la partie précédente.

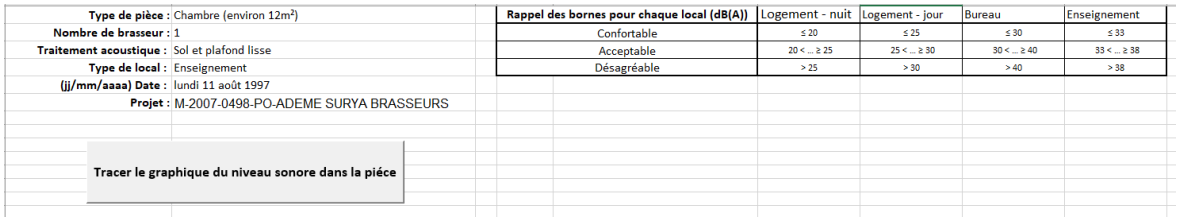


Figure 33 : Représentation de la page d'accueil de la feuille de prédimensionnement

Ci-dessous, exemple de configuration :

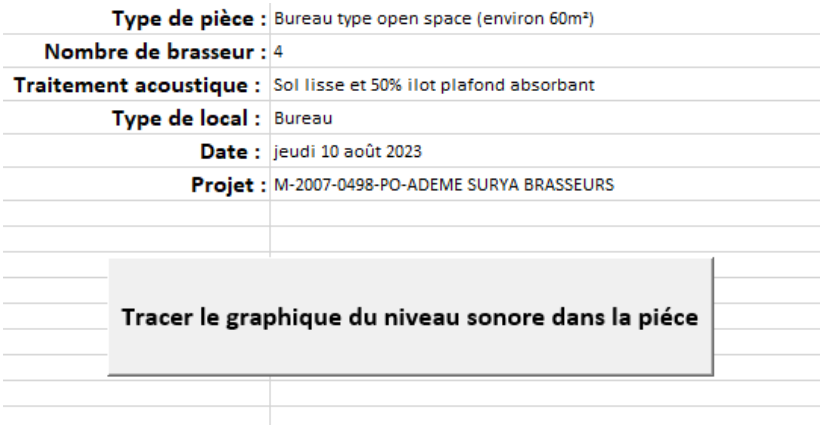


Figure 34 : Exemple de configuration disponible

Une fois les paramètres sélectionnés, le bouton permet d'afficher les résultats sur une seconde feuille :

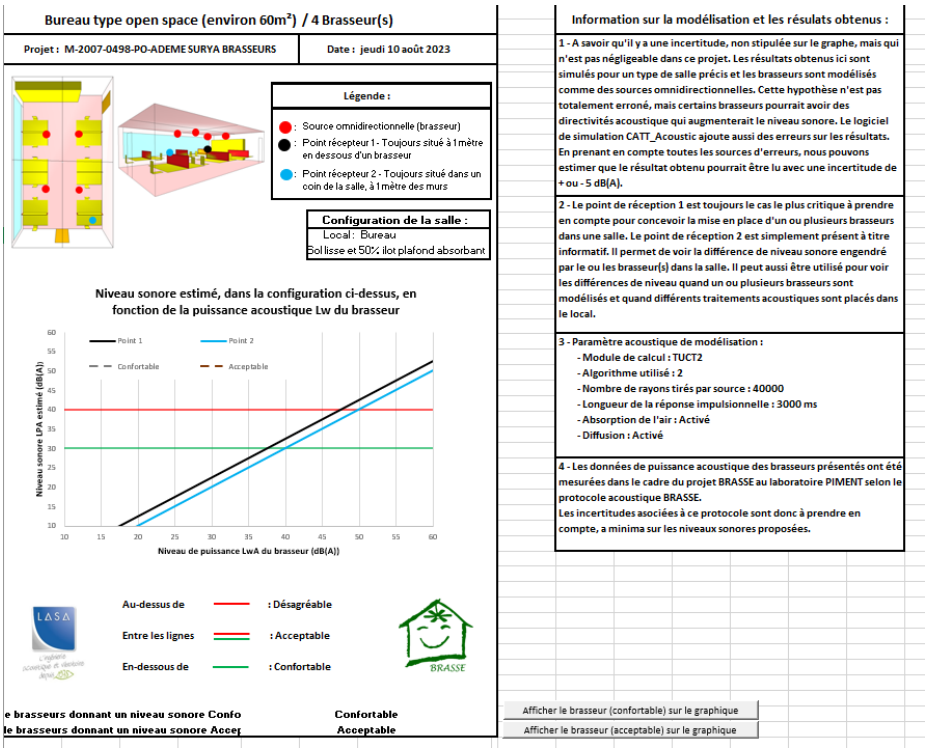


Figure 35 : Représentation de la page de présentation des données simulées

On y retrouve toutes les informations de la configuration sélectionnée, le graphique avec le niveau sonore simulé (en deux points de la pièce) en fonction du niveau de puissance du ou des brasseurs et des informations importantes à connaître afin de lire correctement les résultats.

Sur ce graphique, on retrouve les limites de niveau sonore afin d'obtenir une ambiance acoustiques confortable, acceptable ou désagréable en fonction du type de local sélectionné. La détermination d'une plage de niveau de puissance du brasseur, qui donnerait un niveau sonore confortable ou acceptable est donc réalisable. Deux listes situées en bas de la page sont mis à disposition dans ce but. Elles regroupent tous les brasseurs dont le niveau sonore provoqué, dans la configuration donnée, serait confortable ou acceptable. A côté de ces listes, deux boutons sont mis à dispositions afin de tracer le brasseur sélectionner sur le graphique. Un exemple vous est fourni sur la l'image ci-dessous.

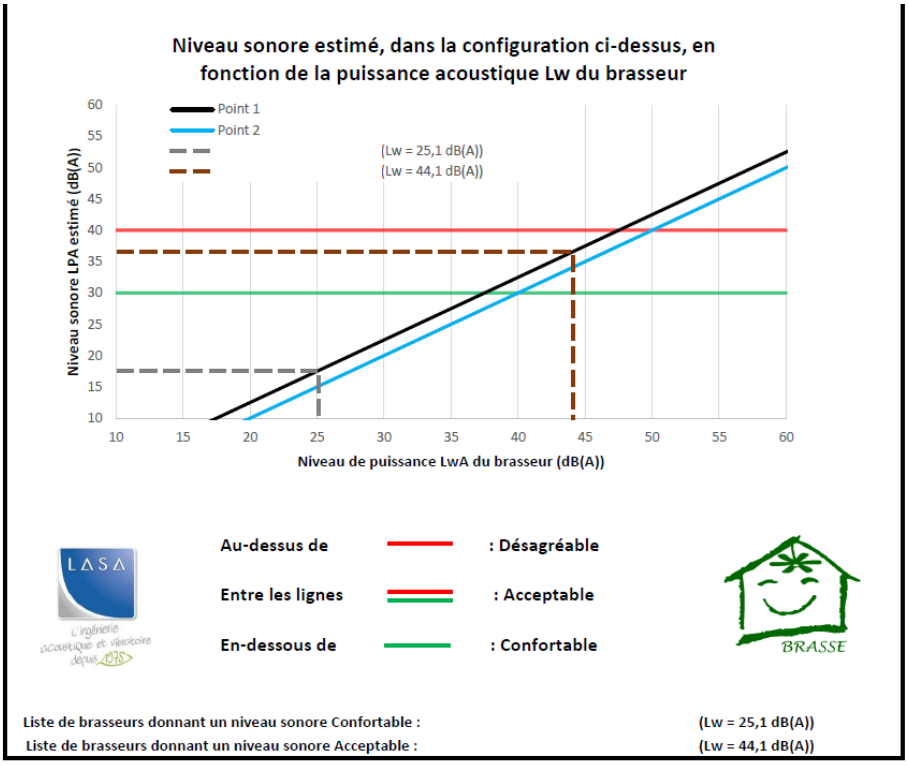
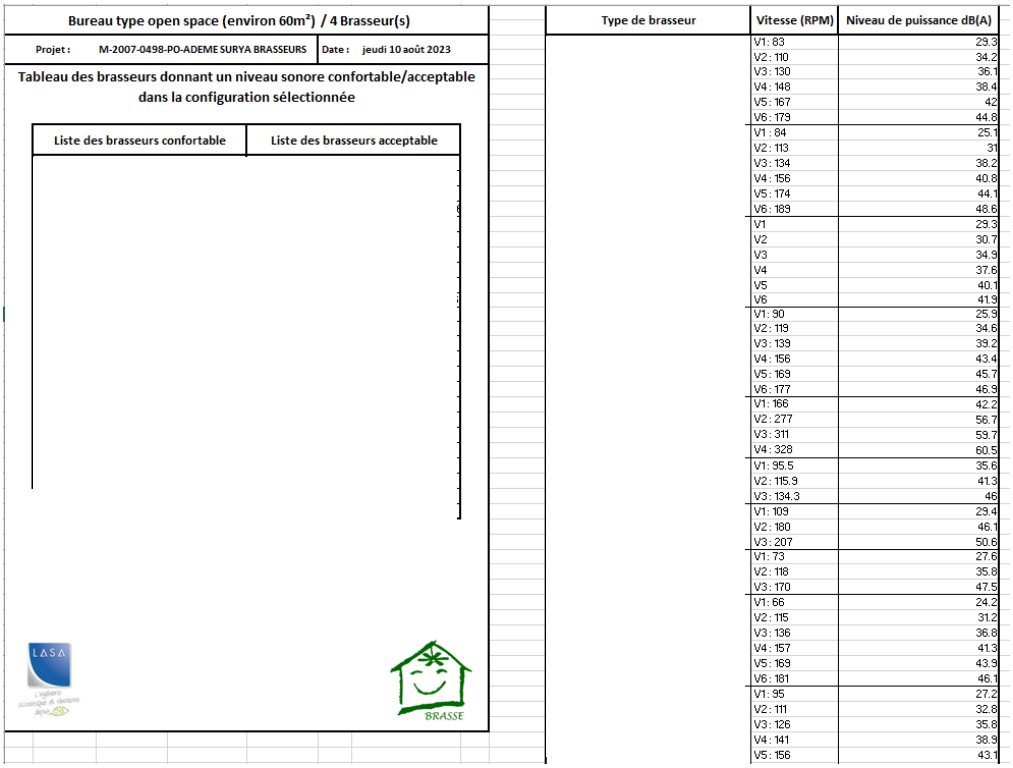


Figure 36 : Exemple d'utilisation des listes de brasseur mis à disposition

Une seconde page, avec un tableau regroupant tous les brasseurs des deux listes vous est données. On y retrouve la marque du brasseur ainsi que les vitesses utilisables pour rester dans l'ambiance sonore définie. Un tableau regroupant toutes les niveaux de puissances acoustiques des brasseurs en fonction de la vitesse est mis à disposition.



Bureau type open space (environ 60m²) / 4 Brasseur(s)

Projet : M-2007-0498-PO-ADEME SURYA BRASSEURS | Date : jeudi 10 août 2023

Tableau des brasseurs donnant un niveau sonore confortable/acceptable dans la configuration sélectionnée

Liste des brasseurs confortable	Liste des brasseurs acceptable

BRASSE

Type de brasseur	Vitesse (RPM)	Niveau de puissance dB(A)
	V1 : 83	29.3
	V2 : 110	34.2
	V3 : 130	36.1
	V4 : 148	38.4
	V5 : 167	42
	V6 : 179	44.8
	V1 : 84	25.1
	V2 : 113	31
	V3 : 134	38.2
	V4 : 156	40.8
	V5 : 174	44.1
	V6 : 189	48.6
	V1	29.3
	V2	30.7
	V3	34.9
	V4	37.6
	V5	40.1
	V6	41.9
	V1 : 90	25.9
	V2 : 119	34.6
	V3 : 139	39.2
	V4 : 156	43.4
	V5 : 169	45.7
	V6 : 177	46.9
	V1 : 166	42.2
	V2 : 277	56.7
	V3 : 311	59.7
	V4 : 328	60.5
	V1 : 95.5	35.6
	V2 : 115.9	41.3
	V3 : 134.3	46
	V1 : 109	29.4
	V2 : 180	46.1
	V3 : 207	50.6
	V1 : 73	27.6
	V2 : 118	35.8
	V3 : 170	47.5
	V1 : 66	24.2
	V2 : 115	31.2
	V3 : 136	36.8
	V4 : 157	41.3
	V5 : 169	43.9
	V6 : 181	46.1
	V1 : 95	27.2
	V2 : 111	32.8
	V3 : 126	35.8
	V4 : 141	38.9
	V5 : 156	43.1

Figure 37 : Représentation de la liste de brasseur fourni donnant un niveau confortable ou acceptable

Pour finir, une analyse du niveau de puissance des brasseurs en fonction de leurs vitesses en RPM est effectuée. Ce graphique, visible ci-dessous, est disponible sur la troisième page de la feuille.

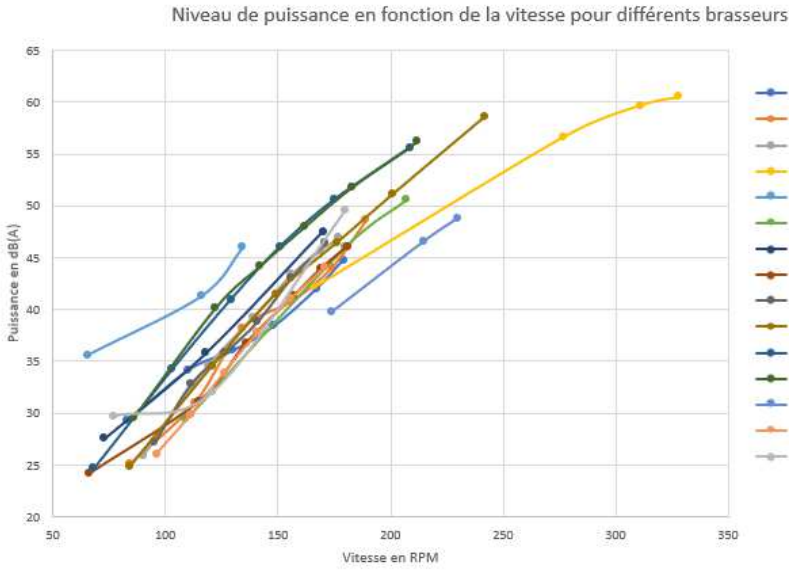


Figure 38 : Représentation du niveau de puissances sonores mesurés des brasseurs en fonction de la vitesse de rotation

Cette analyse nous a permis de constater un gabarit que presque tous les brasseurs suivent. Avec toutes les mesures réalisées, une droite linéaire est aussi extrapolée (graphique en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) et donne l'équation suivante :

$$y = 0.16x + 16.5$$

$$Soit\ Lw\ en\ dB(A) = 0.16 * RPM + 16.5$$

Cette équation empirique issu des mesures de Lw réalisées au laboratoire PIMENT permet de prédire un comportement « moyen » statistiquement du bruit généré par ces brasseurs. ⚠ Attention, en conséquence, aucun brasseur ne suit exactement cette formule qui permet simplement une estimation en toute première approche.

9.3. Synthèse

Cette feuille de traitement a pour objectif de simplifier le l'utilisation des données mesurées ainsi que d'aider les utilisateurs à sélectionner des brasseurs dans certaines conditions. Même si les résultats possèdent une incertitude plus ou moins importante, cela permet d'avoir une première approche sur les conséquences acoustique de l'utilisation d'un brasseur d'air pour ventiler une pièce. Comme on a pu le constater, certains brasseurs sont peu bruyants et peuvent être un bon compromis pour ventiler un local sans provoquer trop de bruit dans celui-ci.

Réaliser plus de mesure de puissance et d'autre simulation en prenant en considération de nouveau locaux pourraient être intéressant afin d'alimenter la base de données de cette feuille. Plus de cas différents seront étudiés avec des mesures, plus la feuille pourrait être utiliser dans des cas concrets.

Pour donner des exemples d'utilisations, des résultats obtenus avec la feuille sont présentés en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Plusieurs configurations qui pourraient être réelles sont réunis afin de se rendre compte de l'utilité que ces données pourraient avoir.

A ne pas oublier, naturellement, qu'il faut aussi ajouter à cela les contraintes thermiques afin de bien dimensionner un brasseur d'air dans un local.

10. Etiquette acoustique

L'étiquette acoustique doit permettre une visualisation rapide et simple du confort acoustique attendu avec l'utilisation d'un brasseur donné.

La définition des critères permettant de définir la classe acoustique d'un brasseur doit tenir compte de différentes situations qui influent sur le niveau sonore perçu par l'occupant, comme ce rapport le démontre.

La stratégie de définition d'une classe acoustique de brasseur s'est basée sur les niveaux prévisibles dans des cas types en fonction d'aménagements type et de la puissance acoustique du ou des brasseurs considérés. Le tableau ci-dessous permet de corréler les niveaux de puissance acoustique du brasseur considéré avec les niveaux sonores dans les locaux et les niveaux de confort correspondants.

Niveau sonore en dB(A) dans le local	Logement (nuit-sommeil) 1 brasseur Moquette Lw-Lp = +2 dB(A)	Bureau 15 m2 1 brasseur Moquette Plafond 50% Lw-Lp = +7 dB(A)	Enseignement 4 brasseurs Plafond 100% Sol lisse Lw-Lp = +6.5 dB(A)	LwA en dB(A) maximum du brasseur
≤ 20	🙂	🙂	🙂	≤ 22
< 25	😐	🙂	🙂	< 27
< 30	☹	🙂	🙂	< 32
< 33	☹	😐	🙂	< 35
< 38	☹	😐	😐	< 40
< 40	☹	😐	☹	< 42
≥ 40	☹	☹	☹	≥ 42

Tableau 17 : Corrélation des niveaux de puissances acoustique avec les niveaux sonores et les niveaux de confort correspondant

Les calculs précis des niveaux sonores résultants dans les locaux en fonction de ces classes peut être obtenu par les outils de prédimensionnement ou par une étude acoustique.

A noter que le niveau de puissance acoustique dépend de la vitesse de rotation du brasseur il convient donc de connaître la classe acoustique du brasseur pour une vitesse donnée.

Pour éviter toute confusion, cette classe acoustique pourrait être déterminée pour les vitesses les plus élevées de chaque brasseur.

En synthèse, il est proposé cette classification.

Classe acoustique BRASSE	Lw A en dB(A) maximum du brasseur
A	≤ 22
B	< 27
C	< 32
D	< 37
E	< 42
F	< 47
G	≥ 52

Tableau 18 : Classification acoustique des brasseurs d'air en fonction de leurs puissance acoustique

A noter que cette classification recouvre tous les usages en bâtiments d'hébergement ou tertiaire.

Cela veut dire qu'un brasseur de classe C ci-dessous est confortable dans des locaux tertiaires mais inconfortable dans une chambre la nuit.

11. Conclusion

Les brasseurs d'air deviennent un équipement incontournable dans de nombreuses régions du monde sous l'effet conjugué du réchauffement climatique et de la recherche de sobriété énergétique. Les brasseurs d'air doivent cependant être caractérisés pour leur permettre de répondre favorablement aux différents critères de qualité associés.

En premier lieu ils doivent répondre de manière pertinente aux enjeux qui motivent leur mise en œuvre. Le projet BRASSE avait donc pour ambition première de caractériser les efficacités en termes de rafraichissement et de limitation des consommations énergétiques.

Mais de nombreux autres aspects doivent donner satisfaction aux utilisateurs afin que cet équipement soit largement plébiscité. Un de ces aspect est notamment le bruit généré par l'équipement en particulier dans des espaces sensibles du point de vue du confort acoustique.

Les normes et réglementations définissent de manière assez précise les niveaux de bruit qui permettent l'absence de gêne exprimée en fonction des types de locaux. Les bâtiments de logements ou d'enseignement sont par exemple réglementés en France et les niveaux sonores que les équipements ne doivent pas dépasser sont définis. Les bâtiments tertiaires non réglementés sont en très large majorité conçus et construits en suivants les prescriptions des nombreux référentiels, guides et normes de qualité acoustique qui encadrent les performances de ce type de bâtiment.

La connaissance précise des caractéristiques acoustiques des équipements, tels que les brasseurs, est essentielle à globalisation de leur mise en œuvre. En effet, en l'absence de données précises et fiables, les prescripteurs et installateurs ne peuvent s'engager sur des résultats in situ.

Ce rapport a donc présenté en premier lieu le travail réalisé pour la mise au point d'un protocole de mesures de la puissance acoustique en dB(A) d'un brasseur à partir de la mesure de la pression sonore dans un local d'essai. Ce protocole a été testé dans deux laboratoires acoustiques afin de vérifier la robustesse de la méthodologie proposée.

Ce protocole a ensuite été utilisé pour la caractérisation de nombreux brasseurs et donne satisfaction. Il peut donc être utilisé par les fournisseurs pour proposer des données normalisées aux acteurs de terrain - en particulier les bureaux d'étude acoustique - afin qu'ils puissent mener les études acoustiques des projets sur la base de données fiables et comparables exprimées en **puissance acoustique - L_w.**

Le travail de mesures in situ et de recalage de modélisations acoustiques 3D de locaux types a également permis de définir des corrélations entre des niveaux de puissance acoustique de brasseur et les niveaux de bruit dans les locaux génériques étudiés. Cette approche a permis de proposer un outil de prédimensionnement ayant pour but de lister des modèles de brasseurs d'air compatibles pour des locaux et objectifs acoustiques donnés.

Une étiquette acoustique BRASSE est proposée afin de permettre un affichage simple et une comparaison des modèles de brasseurs.

Les pistes de poursuite de cette recherche pourront notamment porter sur la mise en relation des résultats issus des différentes études afin de permettre une sélection multicritère et la faisabilité concrète de la mise en place de brasseurs répondant simultanément aux diverses exigences du marché du bâtiment (bruit, rafraichissement, design, consommation électrique, ergonomie, encombrement, prix…).

Par ailleurs, la base de données débutée dans le cadre de BRASSE qui peut déjà être exploitée devra être étoffée afin que le critère de bruit soit discriminant et permette un sursaut d'innovation et d'appropriation par les acteurs du marché du bâtiment.

Toutefois, le brasseur d'air est un outil parmi d'autres pour lutter contre les effets de réchauffement climatique dans les bâtiments. Les évolutions des usages, des modes constructifs, des habitudes de travail, des réflexions urbanistiques (…) concourront toutes ensemble à l'atteinte de cet objectif incontournable permettant aux hommes et aux femmes d'occuper confortablement les bâtiments de demain.

ANNEXE 1 : FICHES MESURES PIMENT 2021

NE PAS DIFFUSER

Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746

Modèle :	HUNTER DOUGLAS INDUSTRIES ?	Vitesse :	V1		Fiche	Date
Lieu	ESIROI PIMENT	Opérateur :	PO		01-a	20-oct-21

Dimensions brasseur :
hauteur : 0.35 m
diamètre : 1.32 m
do = 0.75 m
r = 1.49 m
S (surface mesure) 14.0 m2

? Nb mesures **OK**

	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.5
2	-0.45	0.77	0.45	-0.7	1.2	0.7
3	-0.45	-0.77	0.45	-0.7	-1.2	0.7
4	0.89	0.00	0.45	1.3	0.0	0.7

Surface parois salle en m2

Sol	16
plafond	16
mur 1	10
mur 2	10
mur 3	10
mur 4	10

!BDF!

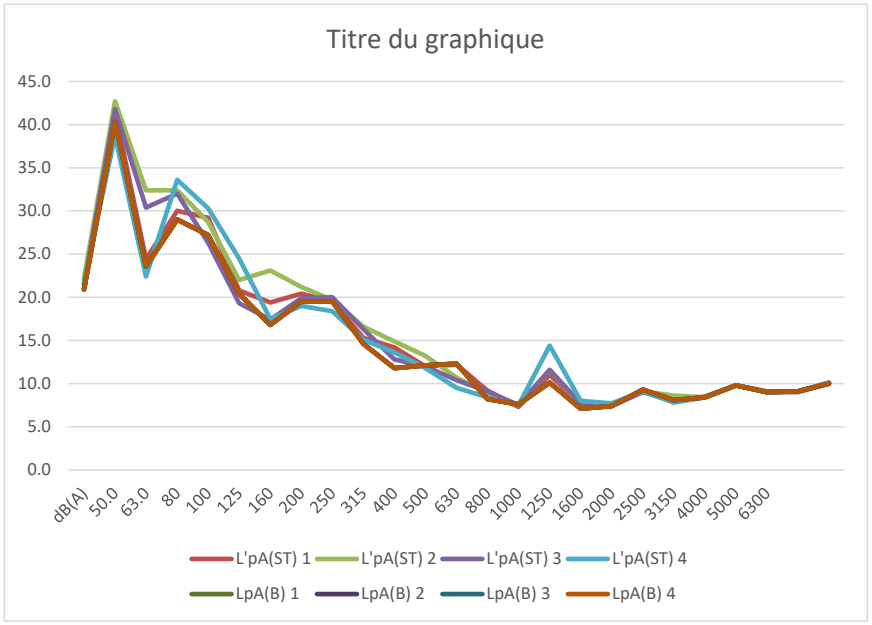
Alpha salle 0.30 — Salle à plafond absorbant, mais sans matériau absorbant sur les murs
A 21.6
Sp 72
K2A = 5.6
K1A = 3.0
V 40 m3 K2A'= 8.5

Visu LpA 13.2
LwA 24.6 +/- 4 dB(A)
Tr LpA 10.3
MAX LwA 21.7 +/- > 4 /!\ dB(A)

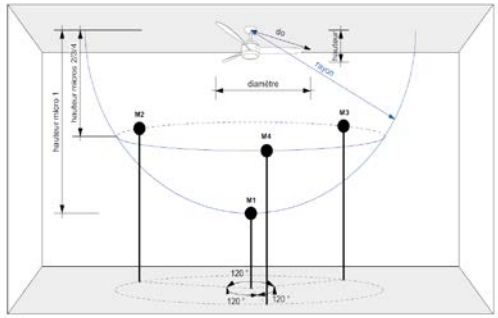
A	1.9	4.1	4.3	4.1	5.7	5.9	6.9	8.5	9.1	10.4	10.5	10.3	7.8	8.2	8.7	9.6	9.4	9.4	10.0	9.3	9.0	9.8	10.3	10.4
Tr	3.3	1.6	1.5	1.6	1.1	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6

L'pA(ST)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	21.5	41.5	24.4	30.0	29.2	20.8	19.4	20.4	19.5	15.3	14.2	12.0	12.2	9.2	7.3	11.0	7.7	7.5	9.1	7.9	8.4	9.8	9.1	9.1	10.1
2	22.2	42.7	32.4	32.4	28.7	22.0	23.1	21.2	19.7	16.6	14.9	13.2	10.7	8.9	7.5	11.6	7.6	7.4	9.1	8.6	8.4	9.8	9.1	9.1	10.0
3	21.4	41.8	30.4	32.0	26.3	19.3	17.4	19.9	20.0	16.3	12.8	12.0	10.4	9.1	7.5	11.6	7.7	7.4	9.0	8.0	8.5	9.8	9.0	9.0	10.0
4	21.8	38.7	22.4	33.6	30.3	24.5	17.5	19.0	18.4	15.1	13.6	11.8	9.5	8.4	7.5	14.4	8.0	7.7	9.1	7.8	8.4	9.8	9.0	9.1	10.1
Moy	21.7	41.4	29.1	32.2	28.9	22.1	20.0	20.2	19.4	15.9	13.9	12.3	10.8	8.9	7.5	12.4	7.8	7.5	9.1	8.1	8.4	9.8	9.1	9.1	10.1

LpA(B)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
2	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
3	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
4	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
Moy	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0



Remarques et commentaires :
Mesures réalisées à titre informatif dans le cadre de la validation du protocole de mesures acoustiques BRASSE.
Hauteur de plafond mobile : 250cm
Murs sans absorbants



MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Baillí de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

NE PAS DIFFUSER

NE PAS DIFFUSER

Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746

Modèle :	HUNTER DOUGLAS INDUSTRIES ?	Vitesse :	V2		Fiche	Date
Lieu	ESIROI PIMENT	Opérateur :	PO		01-b	20-oct-21

Dimensions brasseur :
hauteur : 0.35 m
diamètre : 1.32 m
do = 0.75 m
r = 1.49 m
S (surface mesure) 14.0 m2

? Nb mesures **OK**

	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.5
2	-0.45	0.77	0.45	-0.7	1.2	0.7
3	-0.45	-0.77	0.45	-0.7	-1.2	0.7
4	0.89	0.00	0.45	1.3	0.0	0.7

Surface parois salle en m2

Sol	16
plafond	16
mur 1	10
mur 2	10
mur 3	10
mur 4	10

Alpha salle **0.30** — Salle à plafond absorbant, mais sans matériau absorbant sur les murs

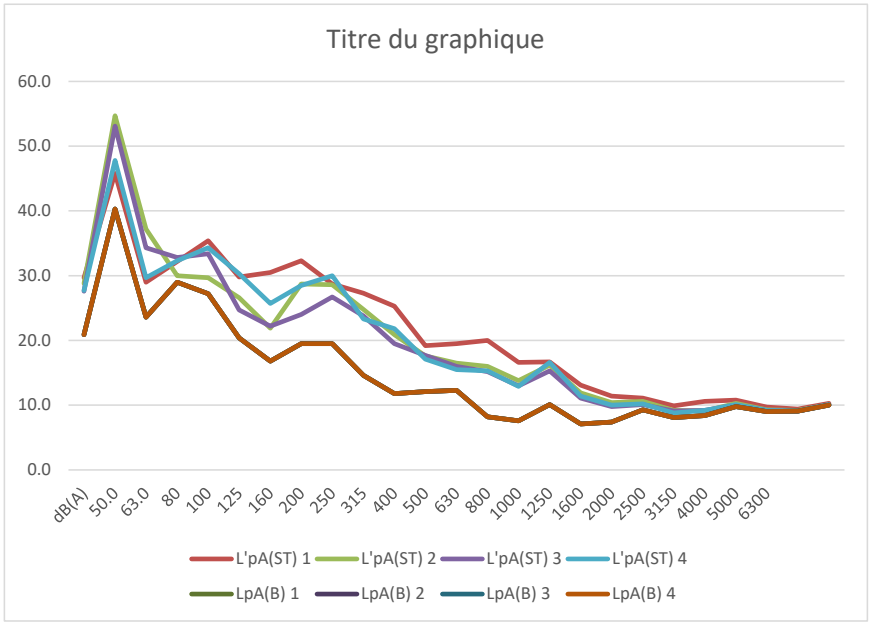
A **21.6**
Sp **72**
K2A = **5.6**
K1A = **0.8**
V 40 m3 K2A'= 8.5

Visu LpA 22.2 — LwA **33.6** +/- 4 dB(A)
Tr LpA 19.3 — LwA **30.7** +/- > 4 /!\ dB(A)

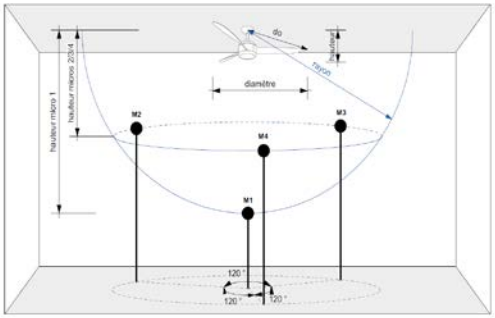
A	1.9	4.1	4.3	4.1	5.7	5.9	6.9	8.5	9.1	10.4	10.5	10.3	7.8	8.2	8.7	9.6	9.4	9.4	10.0	9.3	9.0	9.8	10.3	10.4
Tr	3.3	1.6	1.5	1.6	1.1	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6

L'pA(ST)		dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
	1	29.7	45.8	29.0	32.2	35.4	29.8	30.5	32.3	28.7	27.3	25.3	19.2	19.5	20.0	16.6	16.7	13.1	11.4	11.1	9.9	10.6	10.8	9.7	9.4	10.3
	2	28.8	54.7	37.2	30.0	29.7	26.6	21.9	28.7	28.6	24.8	20.9	17.6	16.5	16.0	13.8	16.2	11.9	10.4	10.6	9.2	9.1	10.3	9.3	9.2	10.1
	3	27.6	53.1	34.3	32.8	33.4	24.7	22.2	24.0	26.7	23.8	19.5	17.7	16.0	15.2	13.0	15.3	11.1	9.8	10.1	9.1	9.2	10.0	9.2	9.1	10.1
	4	27.7	47.8	29.7	32.3	34.3	30.3	25.7	28.5	30.0	23.3	21.8	17.1	15.5	15.3	12.9	16.6	11.4	10.0	10.2	8.8	9.2	10.1	9.2	9.1	10.1
	Moy	28.5	51.7	33.8	31.9	33.7	28.4	26.6	29.3	28.7	25.1	22.4	18.0	17.2	17.1	14.4	16.2	11.9	10.4	10.5	9.3	9.6	10.3	9.4	9.2	10.2

LpA(B)		dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
	1	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
	2	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
	3	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
	4	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
	Moy	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0



Remarques et commentaires :
Mesures réalisées à titre informatif dans le cadre de la validation du protocole de mesures acoustiques BRASSE.
Hauteur de plafond mobile : 250cm
Murs sans absorbants



MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

QUALIBAT N° 05 06 1736
BRASSE
ADEME
ISEA
envirobatbdm
surva CONSULTANTS

NE PAS DIFFUSER

NE PAS DIFFUSER

Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746

Modèle :	HUNTER DOUGLAS INDUSTRIES ?	Vitesse :	V3		Fiche	Date
Lieu	ESIROI PIMENT	Opérateur :	PO		01-c	20-oct-21

Dimensions brasseur :
hauteur : 0.35 m
diamètre : 1.32 m
do = 0.75 m
r = 1.49 m
S (surface mesure) 14.0 m2

? Nb mesures **OK**

	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.5
2	-0.45	0.77	0.45	-0.7	1.2	0.7
3	-0.45	-0.77	0.45	-0.7	-1.2	0.7
4	0.89	0.00	0.45	1.3	0.0	0.7

Surface parois salle en m2

Sol	16
plafond	16
mur 1	10
mur 2	10
mur 3	10
mur 4	10

Alpha salle **0.30** — Salle à plafond absorbant, mais sans matériau absorbant sur les murs

A **21.6**
Sp **72**
K2A = **5.6**
K1A = **0.2**
V 40 m3 — K2A'= **8.5**

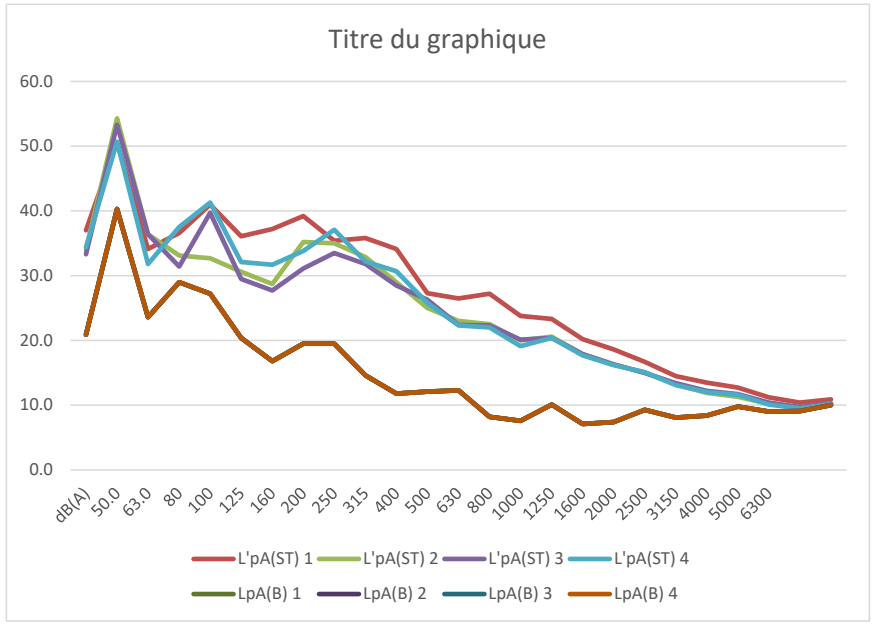
Visu LpA **29.2**
LwA **40.7** +/- **4** dB(A)

Tr LpA **26.3**
LwA **37.8** +/- **> 4 /!** dB(A)

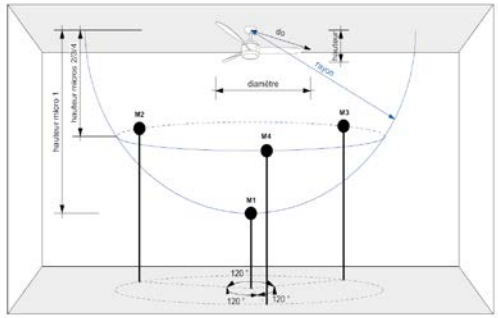
A	1.9	4.1	4.3	4.1	5.7	5.9	6.9	8.5	9.1	10.4	10.5	10.3	7.8	8.2	8.7	9.6	9.4	9.4	10.0	9.3	9.0	9.8	10.3	10.4
Tr	3.3	1.6	1.5	1.6	1.1	1.1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6

L'pA(ST)		dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
	1	37.0	50.6	34.1	36.6	41.0	36.1	37.2	39.2	35.4	35.8	34.1	27.3	26.5	27.2	23.8	23.3	20.2	18.6	16.7	14.5	13.5	12.7	11.2	10.4	10.9
	2	34.0	54.3	36.4	33.1	32.7	30.6	28.7	35.2	35.0	32.9	29.0	25.0	23.0	22.5	20.0	20.6	17.9	16.3	15.0	13.2	11.9	11.3	10.2	9.5	10.3
	3	33.3	53.3	36.4	31.4	39.7	29.5	27.7	31.1	33.5	31.8	28.5	26.3	22.4	22.3	20.1	20.4	17.9	16.3	15.0	13.4	12.2	11.7	10.4	9.7	10.3
	4	34.4	50.7	31.8	37.5	41.3	32.1	31.7	33.8	37.1	32.2	30.7	25.8	22.3	22.0	19.1	20.4	17.7	16.2	15.1	13.1	12.0	11.6	10.1	9.5	10.2
	Moy	34.9	52.5	35.1	35.3	39.7	32.9	33.0	35.8	35.4	33.5	31.2	26.2	23.9	24.1	21.2	21.4	18.6	17.0	15.5	13.6	12.5	11.9	10.5	9.8	10.4

LpA(B)		dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
	1	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
	2	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
	3	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
	4	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
	Moy	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0



Remarques et commentaires :
Mesures réalisées à titre informatif dans le cadre de la validation du protocole de mesures acoustiques BRASSE.
Hauteur de plafond mobile : 250cm
Murs sans absorbants



MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Baillí de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

QUALIBAT N° 05 06 1736
BRASSE
ADEME
UR LAB PIMENT
ISEA
envirobatbdm
surya CONSULTANTS

NE PAS DIFFUSER

NE PAS DIFFUSER

Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746

Modèle :	VENTILAFON 666	Vitesse :	V1		Fiche	Date
Lieu	ESIROI	Opérateur :	PO		01-a	20-oct-21

Dimensions brasseur :
hauteur : 0.35 m
diamètre : 1.32 m
do = 0.75 m
r = 1.49 m
S (surface mesure) 14.0 m2

? Nb mesures **OK**

	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.5
2	-0.45	0.77	0.45	-0.7	1.2	0.7
3	-0.45	-0.77	0.45	-0.7	-1.2	0.7
4	0.89	0.00	0.45	1.3	0.0	0.7

Surface parois salle en m2

Sol	16
plafond	16
mur 1	10.8
mur 2	10.8
mur 3	10.8
mur 4	10.8

!BDF!

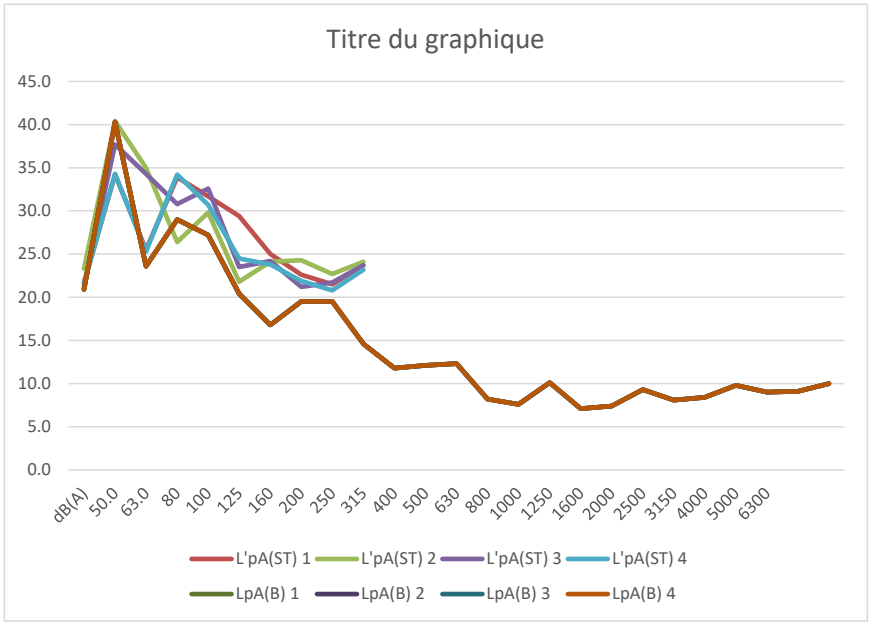
Alpha salle 0.30 — Salle à plafond absorbant, mais sans matériau absorbant sur les murs
A 22.56
Sp 75.2
K2A = 5.4
K1A = 3.0
V 43.2 m3 K2A'= 5.9

Visu	LpA	13.6			
	LwA	25.1	+/-	4	dB(A)
Tr	LpA	13.1			
MAX	LwA	24.6	+/-	4	dB(A)

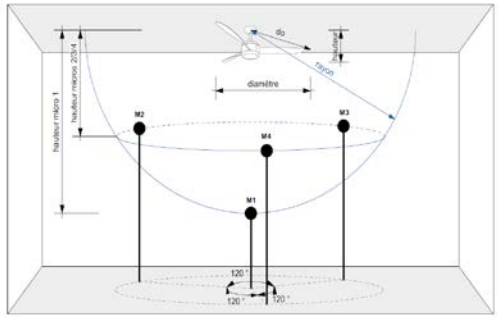
A	5.1	5.9	4.4	5.5	7.1	5.4	12.1	11.9	14.9	16.4	17.5	19.0	21.2	19.2	17.1	19.7	18.4	18.1	18.5	19.1	19.5	21.0	22.8	23.9
Tr	1.4	1.2	1.6	1.3	1.0	1.3	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3

L'pA(ST)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	21.7	34.2	25.5	33.9	31.7	29.4	25.0	22.6	21.5	23.7															
2	23.3	40.4	35.0	26.4	29.8	21.8	24.1	24.3	22.7	24.1															
3	21.2	37.7	34.3	30.8	32.6	23.5	24.2	21.2	21.7	23.7															
4	21.6	34.3	25.3	34.2	30.7	24.5	23.8	21.9	20.8	23.2															
Moy	22.0	37.4	32.1	32.3	31.3	25.8	24.3	22.7	21.7	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

LpA(B)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
2	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
3	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
4	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
Moy	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0



Remarques et commentaires :
Mesures réalisées à titre informatif dans le cadre de la validation du protocole de mesures acoustiques BRASSE.
Hauteur de plafond mobile : 270cm
Murs avec absorbants complémentaires
Valeurs au dessus de 400 Hz non indiquées car gamme de mesure du sonomètre trop élevée.



MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

QUALIBAT N° 05 06 1736
BRASSE
ADEME
UR PIMENT
ISEA
envirobatbdm
surya CONSULTANTS

NE PAS DIFFUSER

NE PAS DIFFUSER

Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746

Modèle :	VENTILAFON 666	Vitesse :	V2		Fiche	Date
Lieu	ESIROI	Opérateur :	PO		01-a	20-oct-21

Dimensions brasseur :
hauteur : 0.35 m
diamètre : 1.32 m
do = 0.75 m
r = 1.49 m
S (surface mesure) 14.0 m2

? Nb mesures **OK**

	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.5
2	-0.45	0.77	0.45	-0.7	1.2	0.7
3	-0.45	-0.77	0.45	-0.7	-1.2	0.7
4	0.89	0.00	0.45	1.3	0.0	0.7

Surface parois salle en m2

Sol	16
plafond	16
mur 1	10.8
mur 2	10.8
mur 3	10.8
mur 4	10.8

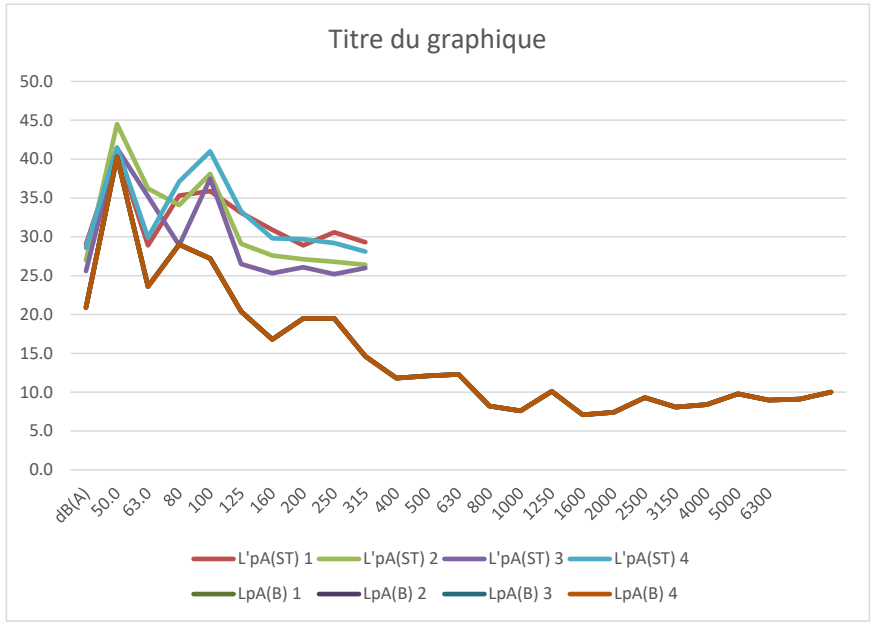
Alpha salle **0.30** — Salle à plafond absorbant, mais sans matériau absorbant sur les murs
A **22.56**
Sp **75.2**
K2A = **5.4**
K1A = **1.0**
V 43.2 m3 — K2A' = **6.1**

Visu	LpA	21.3			
	LwA	32.8	+/-	4	dB(A)
Tr	LpA	20.7			
	LwA	32.1	+/-	4	dB(A)

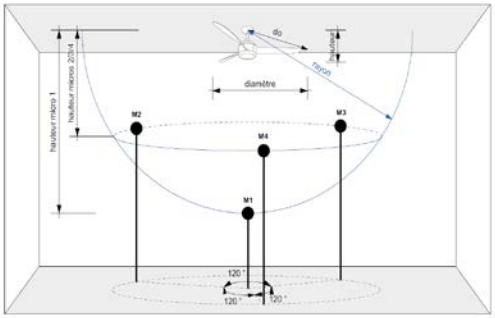
A	5.1	5.9	4.4	5.5	7.1	5.4	12.1	11.9	14.9	16.4	17.5	19.0	21.2	19.2	17.1	19.7	18.4	18.1	18.5	19.1	19.5	21.0	22.8	23.9
Tr	1.4	1.2	1.6	1.3	1.0	1.3	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3

L'pA(ST)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	29.0	41.1	28.9	35.3	35.9	33.1	30.9	28.9	30.6	29.3															
2	27.0	44.5	36.2	34.1	38.1	29.1	27.6	27.1	26.8	26.4															
3	25.6	41.4	35.2	28.9	37.5	26.5	25.3	26.1	25.2	26.0															
4	28.6	41.5	29.9	37.1	41.0	33.3	29.8	29.7	29.2	28.1															
Moy	27.8	42.4	33.6	34.7	38.5	31.3	28.9	28.2	28.4	27.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

LpA(B)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
2	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
3	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
4	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
Moy	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0



Remarques et commentaires :
Mesures réalisées à titre informatif dans le cadre de la validation du protocole de mesures acoustiques BRASSE.
Hauteur de plafond mobile : 270cm
Murs avec absorbants complémentaires
Valeurs au dessus de 400 Hz non indiquées car gamme de mesure du sonomètre trop élevée.



MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

QUALIBAT N° 05 06 1736
BRASSE
ADEME
UR PIMENT
ISEA
envirobatbdm
surya CONSULTANTS

NE PAS DIFFUSER

NE PAS DIFFUSER

Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746

Modèle :	HUNTER DOUGLAS	Vitesse :	V3		Fiche	Date
Lieu	ESIROI - PIMENT	Opérateur :	PO		01-a	20-oct-21

Dimensions brasseur :
hauteur : 0.35 m
diamètre : 1.55 m
do = 0.85 m
r = 1.70 m
S (surface mesure) 18.2 m2

? Nb mesures **OK**

	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.7
2	-0.45	0.77	0.45	-0.8	1.3	0.8
3	-0.45	-0.77	0.45	-0.8	-1.3	0.8
4	0.89	0.00	0.45	1.5	0.0	0.8

Surface parois salle en m2

Sol	16
plafond	16
mur 1	10.8
mur 2	10.8
mur 3	10.8
mur 4	10.8

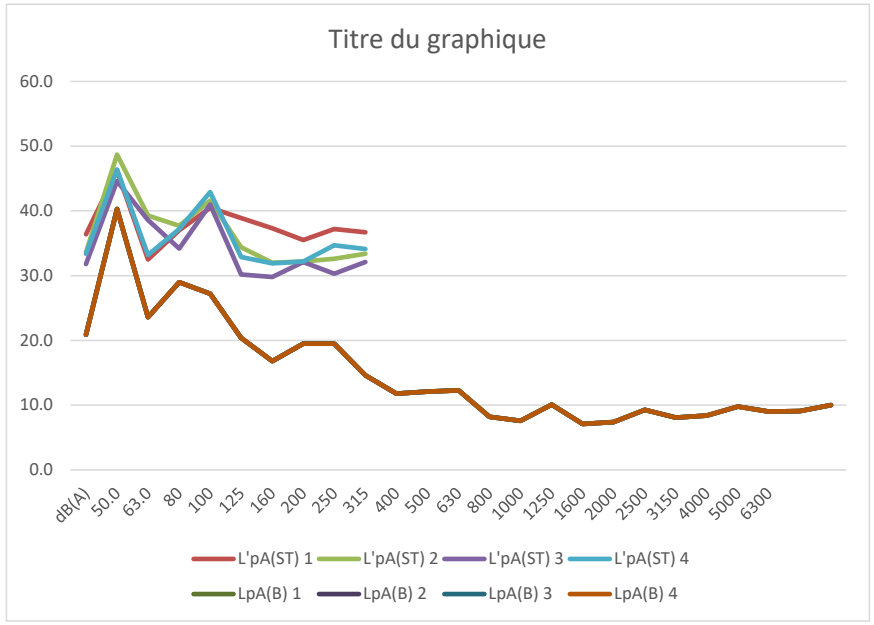
Alpha salle 0.30 — Salle à plafond absorbant, mais sans matériau absorbant sur les murs
A 22.56
Sp 75.2
K2A = 6.3
K1A = 0.2
V 43.2 m3 K2A'= 6.9

Visu	LpA	27.7			
	LwA	40.3	+/-	4	dB(A)
Tr	LpA	27.0			
	LwA	39.6	+/-	4	dB(A)

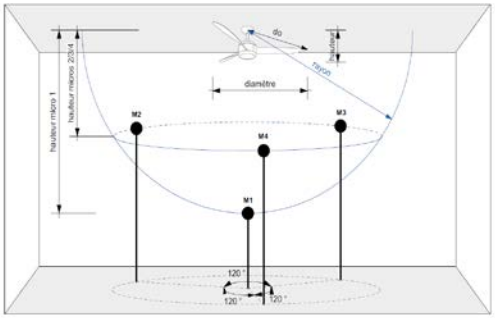
A	5.1	5.9	4.4	5.5	7.1	5.4	12.1	11.9	14.9	16.4	17.5	19.0	21.2	19.2	17.1	19.7	18.4	18.1	18.5	19.1	19.5	21.0	22.8	23.9
Tr	1.4	1.2	1.6	1.3	1.0	1.3	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3

L'pA(ST)		dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
	1	36.4	46.2	32.5	37.0	40.5	38.9	37.3	35.5	37.2	36.7															
	2	33.6	48.7	39.3	37.7	41.6	34.4	32.0	32.2	32.6	33.4															
	3	31.8	44.6	38.6	34.2	41.0	30.2	29.8	32.1	30.3	32.1															
	4	33.4	46.4	33.2	37.2	42.9	32.9	31.9	32.2	34.7	34.1															
	Moy	34.1	46.7	36.9	36.7	41.6	35.3	33.7	33.3	34.4	34.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

LpA(B)		dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
	1	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
	2	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
	3	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
	4	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0
	Moy	20.9	40.3	23.6	29.0	27.2	20.4	16.8	19.5	19.5	14.6	11.8	12.1	12.3	8.2	7.6	10.1	7.1	7.4	9.3	8.1	8.4	9.8	9.0	9.1	10.0



Remarques et commentaires :
Mesures réalisées à titre informatif dans le cadre de la validation du protocole de mesures acoustiques BRASSE.
Hauteur de plafond mobile : 270cm
Murs avec absorbants complémentaires
Valeurs au dessus de 400 Hz non indiquées car gamme de mesure du sonomètre trop élevée.



MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Baillí de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

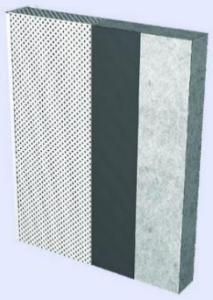
S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

QUALIBAT N° 05 06 1736
BRASSE
ADEME
UR LAB PIMENT
ISEA
envirobatbdm
surva CONSULTANTS

NE PAS DIFFUSER

ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES ET PERFORMANCES DES PANNEAUX INSTALLES DANS LA CELLULE D'ESSAI PIMENT

Acoustiroc®



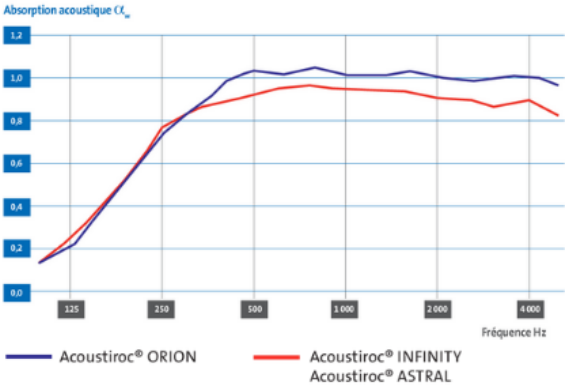
PERFORATIONS SUR ACIER

Acoustiroc® ORION : 25% Ø3 à 7 (rond, irrégulière) - α_w= 1 - NRC= 0,95
Acoustiroc® INFINITY : 11% Ø1,5 (rond, régulière) - α_w= 0,95 - NRC = 0,90
Acoustiroc® ASTRAL: 17% Ø2,5 (rond, régulière) - α_w= 0,95 - NRC = 0,90

PERFORATIONS

Caractéristiques et performances

ABSORPTION ACOUSTIQUE



- Perforation Orion : α_w = 1 NRC : 0,95
- Perforation Infinity : α_w = 0,95 NRC : 0,90
- Perforation Astral : α_w = 0,95 NRC : 0,90

ANNEXE 3 : FICHES MESURES PIMENT ET EIFFEL 2022

NE PAS DIFFUSER

Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746

Modèle :	HUNTER Industrie II Etalon BRASSE #1	Vitesse :	80RPM		Fiche	Date
Lieu	ESIROI	Opérateur :	Mathieu DAVID		01-b	08-mars-22

Dimensions brasseur :
hauteur : 0.3302 m
diamètre : 1.32 m
do = 0.74 m
r = 1.48 m
S (surface mesure) 13.7 m2

? Nb mesures **OK**

	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.5
2	-0.45	0.77	0.45	-0.7	1.1	0.7
3	-0.45	-0.77	0.45	-0.7	-1.1	0.7
4	0.89	0.00	0.45	1.3	0.0	0.7

Surface parois salle en m2

Sol	16
plafond	16
mur 1	10
mur 2	10
mur 3	10
mur 4	10

Alpha salle 0.35
A 25.2
Sp 72
K2A = 5.0
K1A = 1.0
V 40 m3 K2A'= 7.6

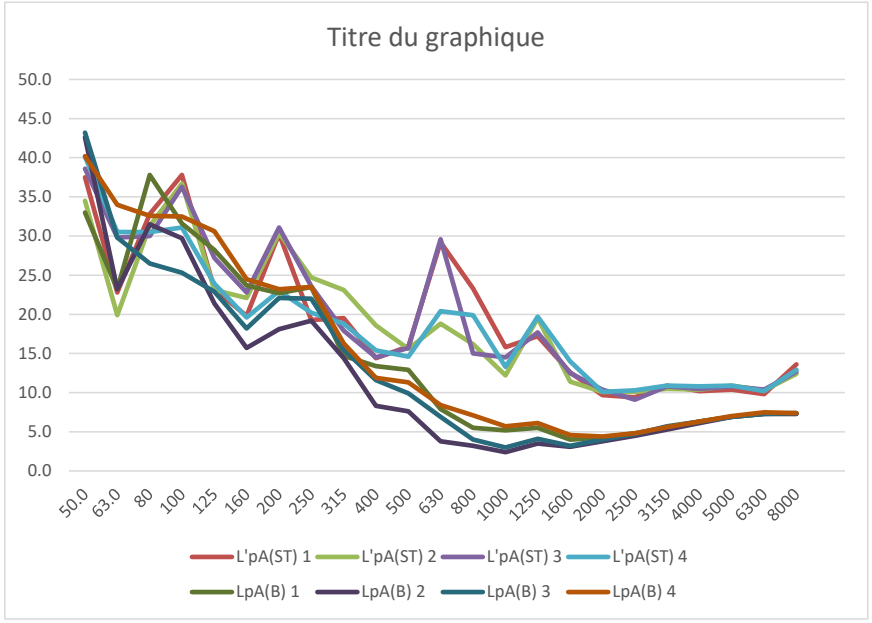
Salle à murs et plafond revêtus de matériau absorbant

Visu	LpA	23.3			
	LwA	34.7	+/-	4	dB(A)
Tr	LpA	20.7			
	LwA	32.1	+/-	/!\	dB(A)

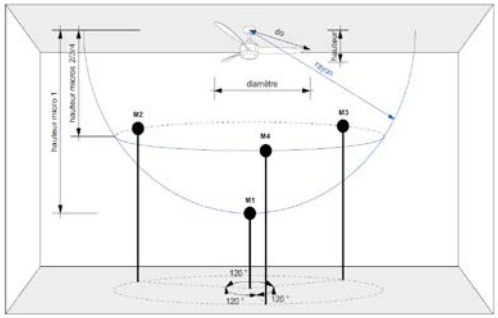
A	6.3	6.3	6.4	6.1	9.2	10.1	14.5	14.9	18.4	15.9	14.6	10.2	9.8	9.0	9.0	10.1	12.4	15.4	15.2	16.0	16.0	16.0	
Tr	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	

L'pA(ST)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
1	30.7	37.5	22.8	32.8	37.8	23.2	19.8	30.3	19.3	19.5	14.4	15.9	29.2	23.3	15.8	17.2	12.6	9.7	9.4	10.9	10.2	10.4	9.8	13.6
2	28.0	34.5	19.9	31.3	36.7	23.1	22.1	30.4	24.7	23.1	18.6	15.6	18.8	16.2	12.2	19.5	11.4	10.1	10.1	10.5	10.4	10.9	10.3	12.4
3	30.3	38.6	29.8	30.0	36.3	27.2	22.8	31.1	23.6	17.9	14.5	15.7	29.6	15.0	14.5	17.7	12.5	10.4	9.1	10.8	10.5	10.8	10.4	12.7
4	27.4	40.1	30.5	30.5	31.1	23.9	19.6	23.0	20.2	18.8	15.4	14.6	20.4	19.9	13.3	19.7	14.0	10.1	10.3	10.9	10.8	10.9	10.2	12.9
Moy	29.3	38.1	27.7	31.3	36.1	24.7	21.3	29.6	22.5	20.3	16.1	15.5	26.8	19.8	14.2	18.7	12.7	db	9.8	10.8	10.5	10.8	10.2	12.9

LpA(B)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
1	23.4	33.0	23.2	37.8	31.6	28.2	23.7	22.7	23.5	14.7	13.4	12.9	7.9	5.5	5.2	5.5	4.0	4.3	4.8	5.5	6.3	6.9	7.3	7.3
2	21.9	42.6	23.2	31.5	29.7	21.4	15.7	18.1	19.2	14.4	8.3	7.6	3.8	3.2	2.4	3.5	3.1	3.8	4.5	5.3	6.1	6.9	7.3	7.3
3	20.8	43.2	29.8	26.5	25.3	22.9	18.2	22.1	22.0	15.5	11.6	9.9	6.9	4.0	3.0	4.1	3.2	4.0	4.7	5.7	6.3	6.9	7.3	7.4
4	23.5	40.2	34.0	32.6	32.5	30.6	24.5	23.2	23.5	16.3	11.9	11.3	8.4	7.1	5.7	6.1	4.6	4.4	4.8	5.6	6.3	7.0	7.5	7.4
Moy	22.5	41.1	29.9	33.8	30.5	27.3	21.9	21.9	22.4	15.3	11.7	10.8	7.1	5.2	4.3	4.9	3.8	db	4.7	5.5	6.3	6.9	7.4	7.4



Remarques et commentaires :



MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L. au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

NE PAS DIFFUSER

NE PAS DIFFUSER

Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746

Modèle :	HUNTER Industrie II Etalon BRASSE #1	Vitesse :	150RPM		Fiche	Date
Lieu	ESIROI	Opérateur :	Mathieu DAVID		01-b	08-mars-22

Dimensions brasseur :

hauteur :	0.3302	m
diamètre :	1.32	m
do =	0.74	m
r =	1.48	m
S (surface mesure)	13.7	m2

? Nb mesures **OK**

	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.5
2	-0.45	0.77	0.45	-0.7	1.1	0.7
3	-0.45	-0.77	0.45	-0.7	-1.1	0.7
4	0.89	0.00	0.45	1.3	0.0	0.7

Surface parois salle en m2

Sol	16
plafond	16
mur 1	10
mur 2	10
mur 3	10
mur 4	10

Alpha salle **0.35**

A	25.2				
Sp	72				
K2A =	5.0				
K1A =	0.2				
V	40	m3	K2A'=	7.6	

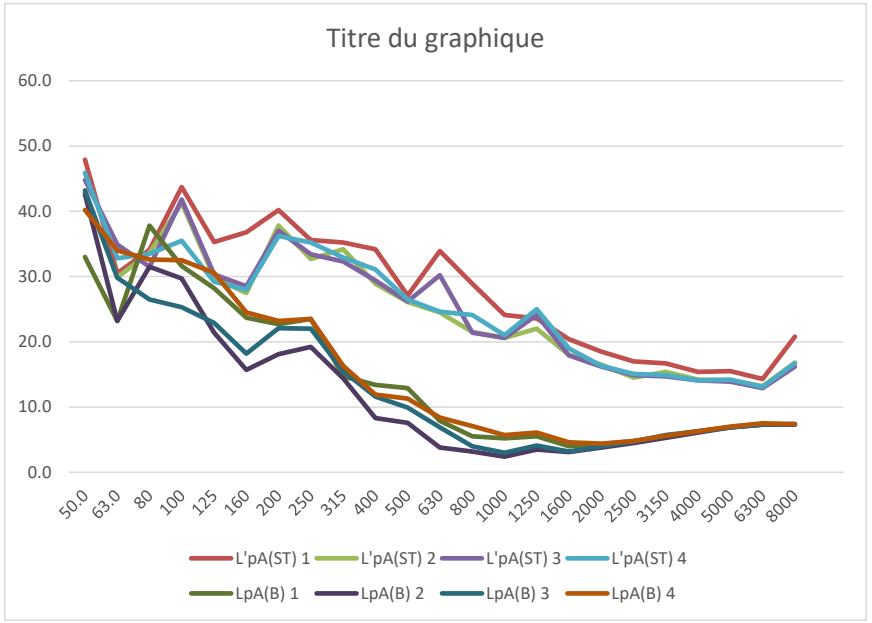
Salle à murs et plafond revêtus de matériau absorbant

Visu	LpA	31.0			
	LwA	42.4	+/-	4	dB(A)
Tr	LpA	28.4			
	LwA	39.8	+/-	/!\	dB(A)

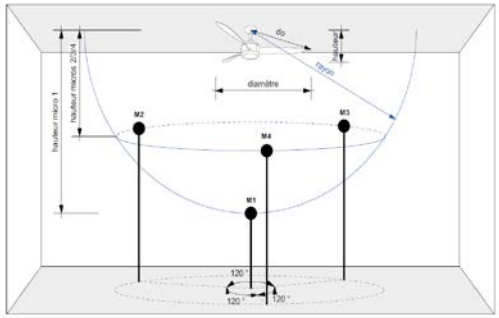
A	6.3	6.3	6.4	6.1	9.2	10.1	14.5	14.9	18.4	15.9	14.6	10.2	9.8	9.0	9.0	10.1	12.4	15.4	15.2	16.0	16.0	16.0		
Tr	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		

L'pA(ST)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
1	38.5	47.9	30.5	34.1	43.7	35.3	36.8	40.2	35.6	35.2	34.2	27.1	33.9	28.9	24.1	23.6	20.4	18.5	17.0	16.7	15.4	15.5	14.3	20.8
2	34.7	42.8	29.9	33.6	41.3	29.8	27.5	37.8	32.7	34.2	28.9	26.1	24.5	21.5	20.6	22.0	18.0	16.5	14.5	15.4	14.2	14.1	13.2	16.8
3	35.3	44.8	34.9	31.5	41.8	30.3	28.5	37.0	33.4	32.3	29.4	26.2	30.2	21.4	20.6	24.1	17.9	16.2	14.9	14.7	14.1	13.9	12.9	16.2
4	35.1	45.9	32.8	33.5	35.5	29.2	28.0	36.2	35.2	32.9	31.1	26.5	24.6	24.1	21.0	25.0	19.0	16.3	15.1	14.9	14.1	14.2	13.1	16.7
Moy	36.2	45.7	32.5	33.3	41.4	31.9	32.2	38.1	34.4	33.8	31.4	26.5	30.1	25.2	21.9	23.8	18.9	db	15.5	15.5	14.5	14.5	13.4	18.1

LpA(B)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
1	23.4	33.0	23.2	37.8	31.6	28.2	23.7	22.7	23.5	14.7	13.4	12.9	7.9	5.5	5.2	5.5	4.0	4.3	4.8	5.5	6.3	6.9	7.3	7.3
2	21.9	42.6	23.2	31.5	29.7	21.4	15.7	18.1	19.2	14.4	8.3	7.6	3.8	3.2	2.4	3.5	3.1	3.8	4.5	5.3	6.1	6.9	7.3	7.3
3	20.8	43.2	29.8	26.5	25.3	22.9	18.2	22.1	22.0	15.5	11.6	9.9	6.9	4.0	3.0	4.1	3.2	4.0	4.7	5.7	6.3	6.9	7.3	7.4
4	23.5	40.2	34.0	32.6	32.5	30.6	24.5	23.2	23.5	16.3	11.9	11.3	8.4	7.1	5.7	6.1	4.6	4.4	4.8	5.6	6.3	7.0	7.5	7.4
Moy	22.5	41.1	29.9	33.8	30.5	27.3	21.9	21.9	22.4	15.3	11.7	10.8	7.1	5.2	4.3	4.9	3.8	db	4.7	5.5	6.3	6.9	7.4	7.4



Remarques et commentaires :



MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

NE PAS DIFFUSER

NE PAS DIFFUSER

Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746

Modèle :	HUNTER DOUGLAS INDUSTRIES ?	Vitesse :	V1 : 80RPM		Fiche	Date
Lieu	Labo Eiffel Paris	Opérateur :	EAS		1	26-avr-22

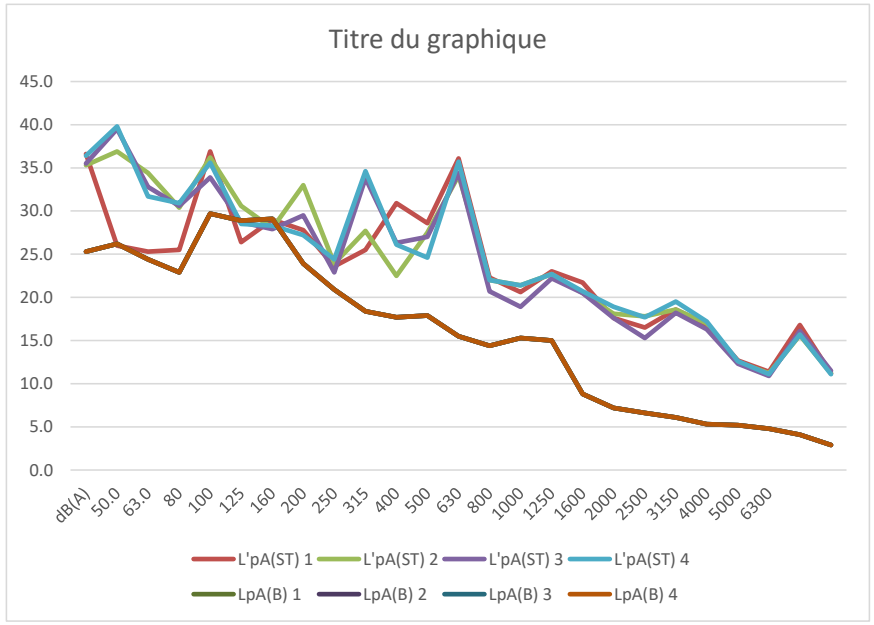
Dimensions brasseur :			? Nb mesures	OK				Surface parois salle en m2	
hauteur :	0.35	m						Sol	16
diamètre :	1.32	m		X	Y	Z	X	Y	Z	plafond	16
do =	0.75	m	1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.5	mur 1	10
r = 1.49		m	2	0.45	0.77	0.45	0.7	1.2	0.7	mur 2	10
S (surface mesure)			3	0.45	-0.77	0.45	0.7	-1.2	0.7	mur 3	10
14.0		m2	4	0.89	0.00	0.45	1.3	0.0	0.7	mur 4	10

Alpha salle	0.10				
A	7.2	Salle partiellement vide; salle à murs lisses			
Sp	72		Visu	LpA	26.2			
K2A =	9.4			LwA	37.6	+/-	/!\	dB(A)
K1A =	0.4							
V			Tr	LpA	24.3			
40	m3	K2A'= 11.3		LwA	35.8	+/-	> 4 /!\	dB(A)

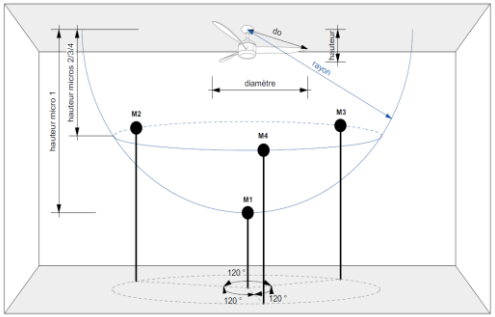
A	2.5	4.0	7.9	4.8	5.3	4.3	3.8	5.0	4.8	4.8	5.1	4.6	4.2	4.0	4.2	4.2	4.8	5.0	5.4	5.8	6.6	8.5	10.5	13.1
Tr	2.6	1.6	0.8	1.3	1.2	1.5	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.5	1.5	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	0.8	0.6	0.5

L'pA(ST)		dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
	1	36.6	26.0	25.3	25.5	36.9	26.4	29.0	27.8	23.6	25.5	30.9	28.6	36.1	22.3	20.6	23.0	21.7	17.6	16.5	18.6	16.8	12.7	11.4	16.8	11.2
	2	35.3	36.9	34.4	30.4	36.2	30.6	28.0	33.0	23.9	27.7	22.5	27.5	34.1	22.0	21.4	22.7	20.5	18.1	17.8	18.6	17.0	12.5	11.2	15.6	11.2
	3	35.5	39.5	32.8	30.6	33.9	28.7	27.9	29.5	22.9	33.8	26.3	27.0	34.4	20.7	18.9	22.2	20.5	17.6	15.3	18.2	16.3	12.3	10.9	16.1	11.5
	4	36.4	39.8	31.7	30.9	35.6	28.5	28.3	27.2	24.4	34.6	26.1	24.6	35.7	22.0	21.4	22.7	20.7	18.9	17.7	19.5	17.2	12.6	11.1	15.7	11.1
	Moy	36.0	37.7	32.1	29.8	35.8	28.8	28.3	30.0	23.7	31.9	27.5	27.2	35.2	21.8	20.7	22.7	20.9	18.1	16.9	18.8	16.8	12.5	11.2	16.1	11.3

LpA(B)		dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
	1	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
	2	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
	3	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
	4	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
	Moy	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9



Remarques et commentaires :
Mesures réalisées à titre informatif dans le cadre de la validation du protocole de mesures acoustiques BRASSE.
Hauteur de plafond mobile : 250cm
Murs sans absorbants



LASA
L'ingénierie acoustique et vibratoire depuis 1978
MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060
SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086
www.lasa.fr
S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

QUALIFIÉ N° 05 06 1736
BRASSE
ADEME
PIMENT
ISEA
envirobatbdm
surya CONSULTANTS

NE PAS DIFFUSER

NE PAS DIFFUSER

Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746

Modèle :	HUNTER DOUGLAS INDUSTRIES ?	Vitesse :	V2 : 100RPM		Fiche	Date
Lieu	Labo Eiffel Paris	Opérateur :	EAS		2	26-avr-22

Dimensions brasseur :
hauteur : 0.35 m
diamètre : 1.32 m
do = 0.75 m
r = 1.49 m
S (surface mesure) 14.0 m2

? Nb mesures **OK**

	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.5
2	0.45	0.77	0.45	0.7	1.2	0.7
3	0.45	-0.77	0.45	0.7	-1.2	0.7
4	0.89	0.00	0.45	1.3	0.0	0.7

Surface parois salle en m2

Sol	16
plafond	16
mur 1	10
mur 2	10
mur 3	10
mur 4	10

Alpha salle 0.10
A 7.2
Sp 72
K2A = 9.4
K1A = 0.2
V 40 m3 K2A'= 11.3

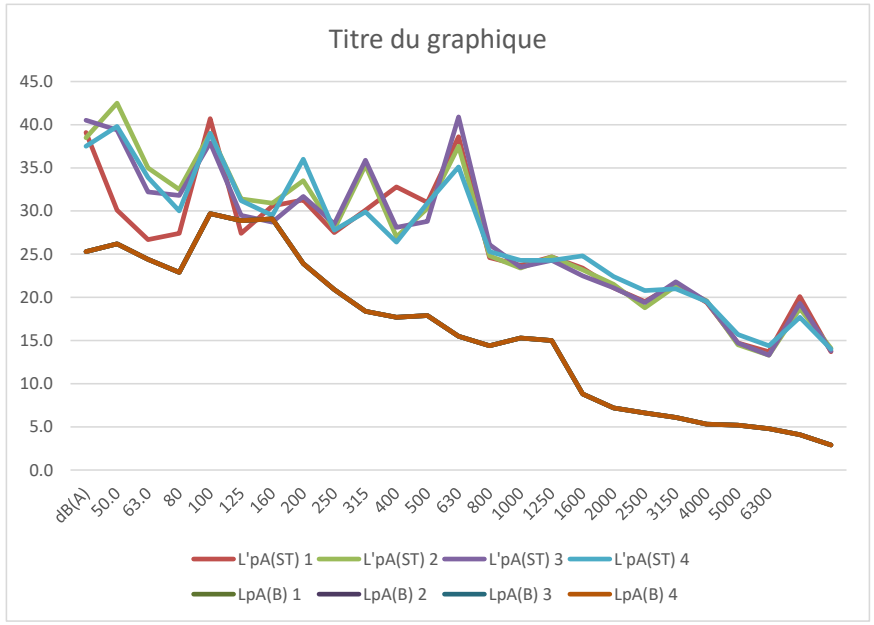
Salle partiellement vide; salle à murs lisses

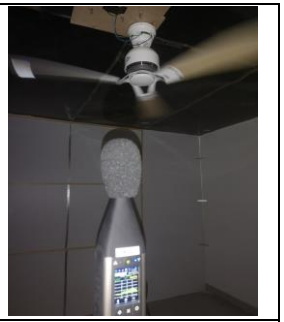
Visu	LpA	29.4			
	LwA	40.9	+/-	/!\	dB(A)
Tr	LpA	27.5			
	LwA	39.0	+/-	> 4 /!\	dB(A)

A	2.5	4.0	7.9	4.8	5.3	4.3	3.8	5.0	4.8	4.8	5.1	4.6	4.2	4.0	4.2	4.2	4.8	5.0	5.4	5.8	6.6	8.5	10.5	13.1
Tr	2.6	1.6	0.8	1.3	1.2	1.5	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.5	1.5	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	0.8	0.6	0.5

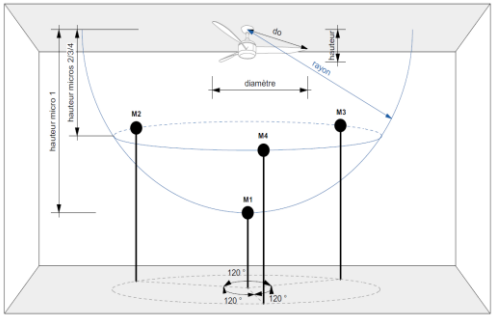
L'pA(ST)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	39.1	30.1	26.7	27.4	40.7	27.4	30.6	31.3	27.5	30.1	32.8	31.0	38.6	24.6	23.7	24.7	23.4	21.1	19.5	21.6	19.4	14.7	13.7	20.1	13.7
2	38.5	42.5	35.0	32.5	39.0	31.4	30.9	33.5	27.9	35.3	27.0	30.3	37.5	24.8	23.4	24.7	23.2	21.5	18.8	21.3	19.6	14.5	13.3	18.7	14.1
3	40.5	39.4	32.2	31.8	37.9	29.5	28.7	31.7	28.5	35.9	28.1	28.8	40.9	26.1	23.5	24.3	22.5	21.1	19.4	21.8	19.5	14.7	13.3	19.3	13.8
4	37.5	39.8	33.9	30.0	39.0	31.2	29.5	36.0	27.8	29.9	26.4	30.9	35.1	25.3	24.3	24.3	24.8	22.4	20.8	21.0	19.5	15.7	14.4	17.7	14.0
Moy	39.0	39.7	32.9	30.8	39.3	30.1	30.0	33.5	27.9	33.7	29.4	30.3	38.5	25.2	23.7	24.5	23.6	21.6	19.7	21.4	19.5	14.9	13.7	19.0	13.9

LpA(B)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
2	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
3	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
4	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
Moy	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9





Remarques et commentaires :
Mesures réalisées à titre informatif dans le cadre de la validation du protocole de mesures acoustiques BRASSE.
Hauteur de plafond mobile : 250cm
Murs sans absorbants



LASA
L'ingénierie acoustique et vibratoire depuis 1978

MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

QUALIFIÉ N° 05 06 1736
BRASSE
ADEME
PIMENT
ISEA
envirobatbdm
surya CONSULTANTS

NE PAS DIFFUSER

NE PAS DIFFUSER

Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746

Modèle :	HUNTER DOUGLAS INDUSTRIES ?	Vitesse :	V3 : 120RPM		Fiche	Date
Lieu	Labo Eiffel Paris	Opérateur :	EAS		3	26-avr-22

Dimensions brasseur :
hauteur : 0.35 m
diamètre : 1.32 m
do = 0.75 m
r = 1.49 m
S (surface mesure) 14.0 m2

? Nb mesures **OK**

	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.5
2	0.45	0.77	0.45	0.7	1.2	0.7
3	0.45	-0.77	0.45	0.7	-1.2	0.7
4	0.89	0.00	0.45	1.3	0.0	0.7

Surface parois salle en m2

Sol	16
plafond	16
mur 1	10
mur 2	10
mur 3	10
mur 4	10

Alpha salle 0.10
A 7.2
Sp 72
K2A = 9.4
K1A = 0.1
V 40 m3 K2A'= 11.3

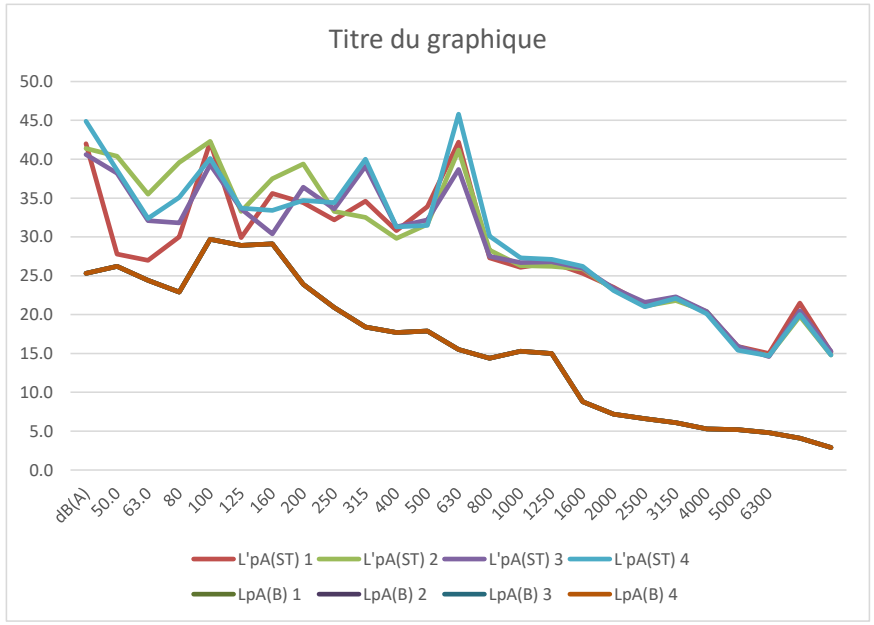
Salle partiellement vide; salle à murs lisses

Visu	LpA	33.0			
	LwA	44.5	+/-	/!\	dB(A)
Tr	LpA	31.2			
	LwA	42.6	+/-	> 4 /!\	dB(A)

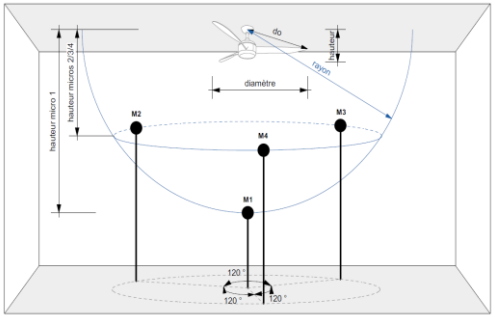
A	2.5	4.0	7.9	4.8	5.3	4.3	3.8	5.0	4.8	4.8	5.1	4.6	4.2	4.0	4.2	4.2	4.8	5.0	5.4	5.8	6.6	8.5	10.5	13.1
Tr	2.6	1.6	0.8	1.3	1.2	1.5	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.5	1.5	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	0.8	0.6	0.5

L'pA(ST)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	42.0	27.8	27.0	30.0	42.2	29.9	35.6	34.4	32.2	34.6	30.8	33.9	42.2	27.3	26.1	26.7	25.3	23.5	21.3	22.2	20.3	15.9	15.0	21.5	15.2
2	41.4	40.4	35.5	39.6	42.3	33.3	37.5	39.4	33.3	32.5	29.8	31.6	41.2	28.3	26.3	26.2	25.9	23.2	21.1	21.8	20.4	15.7	14.7	19.8	14.8
3	40.6	38.2	32.1	31.8	39.3	33.6	30.4	36.4	33.6	39.1	31.3	32.2	38.7	27.5	26.7	26.8	26.0	23.4	21.6	22.3	20.4	15.9	14.6	20.5	15.3
4	44.9	38.6	32.4	35.1	40.1	33.7	33.4	34.7	34.4	40.0	31.3	31.5	45.8	30.1	27.3	27.1	26.2	23.1	21.0	22.1	20.1	15.4	14.7	20.0	14.8
Moy	42.6	38.0	32.7	35.7	41.2	32.9	35.0	36.7	33.4	37.6	30.8	32.4	42.7	28.4	26.6	26.7	25.9	23.3	21.3	22.1	20.3	15.7	14.8	20.5	15.0

LpA(B)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
2	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
3	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
4	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
Moy	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9



Remarques et commentaires :
Mesures réalisées à titre informatif dans le cadre de la validation du protocole de mesures acoustiques BRASSE.
Hauteur de plafond mobile : 250cm
Murs sans absorbants



LASA
l'ingénierie acoustique et vibratoire depuis 1978
MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060
SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086
www.lasa.fr
S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480
OPQIBI L'INGÉNIERIE QUALIFIÉE N° 05 06 1736
BRASSE
ADEME AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE
UR LAB PIMENT
ISEA
envirobatbdm
surya CONSULTANTS

NE PAS DIFFUSER

NE PAS DIFFUSER

Puissance acoustique BRASSEUR - Selon NF EN ISO 3746

Modèle :	HUNTER DOUGLAS INDUSTRIES ?	Vitesse :	V4 : 150 RPM		Fiche	Date
Lieu	Labo Eiffel Paris	Opérateur :	EAS		4	26-avr-22

Dimensions brasseur :
hauteur : 0.35 m
diamètre : 1.32 m
do = 0.75 m
r = 1.49 m
S (surface mesure) 14.0 m2

? Nb mesures **OK**

	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.00	0.00	1.00	0.0	0.0	1.5
2	0.45	0.77	0.45	0.7	1.2	0.7
3	0.45	-0.77	0.45	0.7	-1.2	0.7
4	0.89	0.00	0.45	1.3	0.0	0.7

Surface parois salle en m2

Sol	16
plafond	16
mur 1	10
mur 2	10
mur 3	10
mur 4	10

Alpha salle 0.10
A 7.2
Sp 72
K2A = 9.4
K1A = 0.1
V 40 m3 K2A'= 11.3

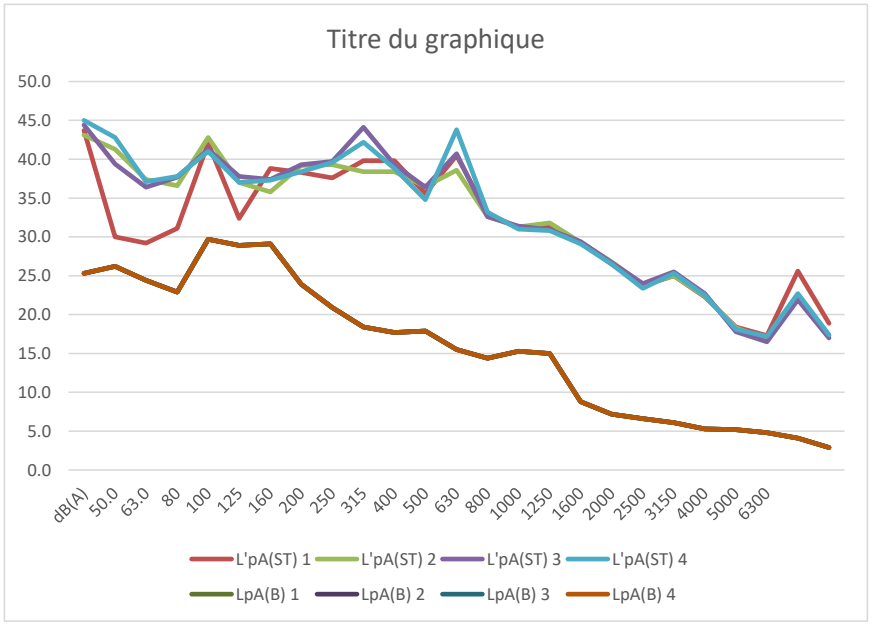
Salle partiellement vide; salle à murs lisses

Visu	LpA	34.6			
	LwA	46.1	+/-	/!\	dB(A)
Tr	LpA	32.7			
	LwA	44.2	+/-	> 4 /!\	dB(A)

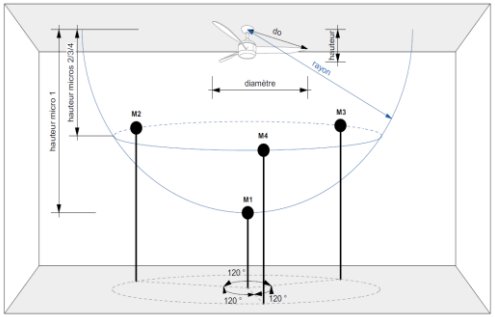
A	2.5	4.0	7.9	4.8	5.3	4.3	3.8	5.0	4.8	4.8	5.1	4.6	4.2	4.0	4.2	4.2	4.8	5.0	5.4	5.8	6.6	8.5	10.5	13.1
Tr	2.6	1.6	0.8	1.3	1.2	1.5	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.5	1.5	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	0.8	0.6	0.5

L'pA(ST)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	43.7	30.0	29.2	31.1	42.1	32.4	38.8	38.3	37.6	39.8	39.8	35.6	40.5	33.0	31.2	31.3	29.3	26.5	23.7	25.0	22.3	18.4	17.3	25.6	18.9
2	43.1	41.3	37.4	36.6	42.8	37.0	35.8	39.2	39.3	38.4	38.4	36.5	38.6	32.6	31.3	31.8	29.3	26.8	23.9	25.0	22.4	18.3	16.8	22.4	17.3
3	44.4	39.4	36.4	37.7	41.3	37.8	37.4	39.3	39.7	44.1	39.3	36.4	40.7	32.6	31.4	30.9	29.4	26.7	24.0	25.5	22.7	17.8	16.5	21.9	17.0
4	45.0	42.8	37.1	37.8	41.0	37.0	37.3	38.4	39.6	42.2	38.8	34.8	43.8	33.2	31.0	30.8	29.1	26.5	23.4	25.3	22.5	18.1	17.2	22.7	17.4
Moy	44.1	40.2	36.0	36.5	41.9	36.5	37.5	38.8	39.1	41.7	39.1	35.9	41.3	32.9	31.2	31.2	29.3	26.6	23.8	25.2	22.5	18.2	17.0	23.4	17.7

LpA(B)	dB(A)	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
1	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
2	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
3	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
4	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9
Moy	25.3	26.2	24.4	22.9	29.7	28.9	29.1	23.9	20.9	18.4	17.7	17.9	15.5	14.4	15.3	15.0	8.8	7.2	6.6	6.1	5.3	5.2	4.8	4.1	2.9



Remarques et commentaires :
Mesures réalisées à titre informatif dans le cadre de la validation du protocole de mesures acoustiques BRASSE.
Hauteur de plafond mobile : 250cm
Murs sans absorbants



LASA
L'ingénierie acoustique et vibratoire depuis 1978

MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

OPQIBI L'INGÉNIERIE QUALIFIÉE N° 05 06 1736
BRASSE
ADEME AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE
UR LAB PIMENT
ISEA
envirobatbdm
surya CONSULTANTS

NE PAS DIFFUSER

ANNEXE 4 : PHOTOGRAPHIES DES SALLES

Locaux dans le laboratoire PIMENT à la Réunion :

- **Patio central ESIROI :**

- **Salle de TD IUT :**

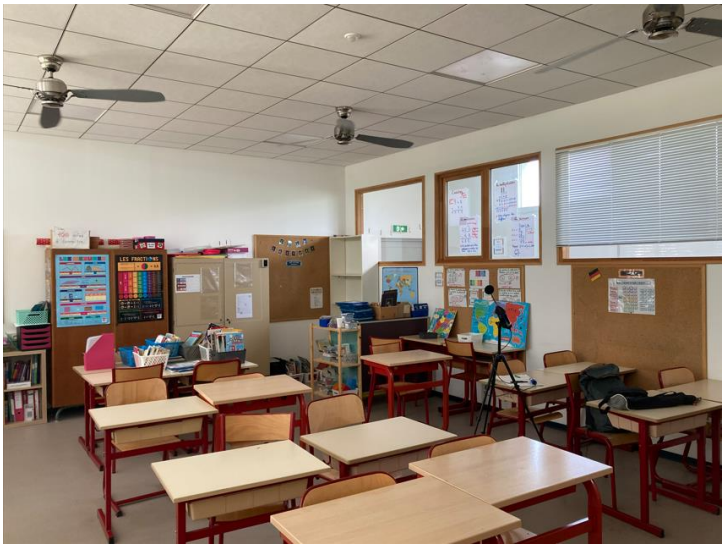
- **Bureau enseignant ESIROI :**

- **Salle réunion CIRBAT :**

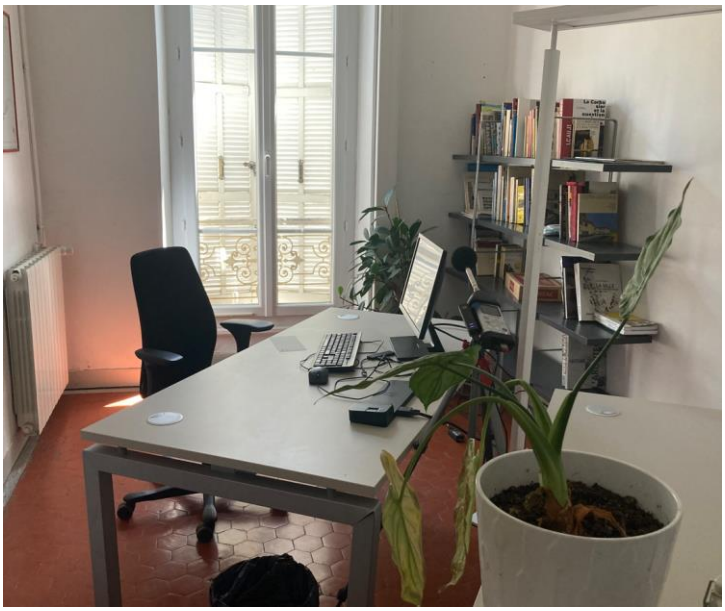
- **Bureau intendant**

Locaux à MARSEILLE :

- **Salle de classe MIRAMAS :**



- **Bureau 1 INDIGO**



- **Bureau 2 INDIGO**

- **Chambre EHPAD**

ANNEXE 5 : FICHES MESURES DES BRASSEURS D'AIR MESURES DANS DES LOCAUX

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 1 (INDIGGO)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1	4	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.7	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.2	m
Surface local	13.5	m2			
Volume local	43.2	m3			

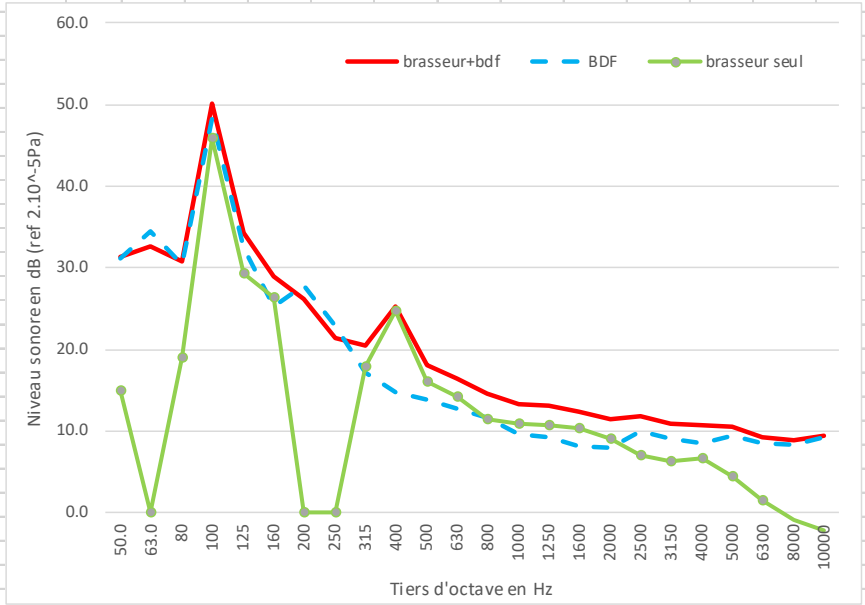
Lp = 33.2 dB(A)

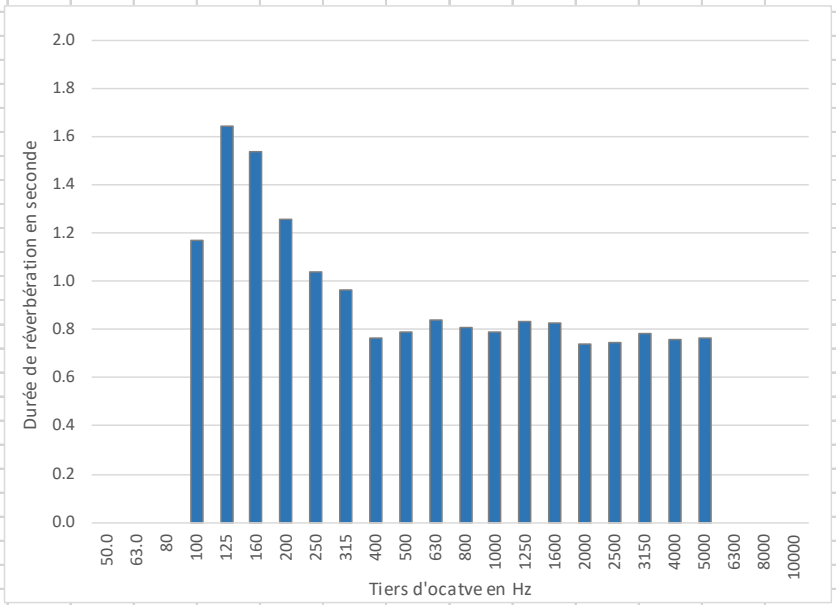
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.2	1.6	1.5	1.3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	33.2	31.3	32.6	30.8	50.2	34.2	28.9	26.1	21.3	20.5	25.2	18.1	16.5	14.6	13.3	13.1	12.4	11.5	11.8	10.9	10.7	10.6	9.2	8.8	9.5

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	31.1	31.2	34.5	30.5	48.2	32.5	25.3	27.9	22.8	17.1	14.8	13.8	12.7	11.7	9.6	9.3	8.1	7.9	10.0	9.1	8.5	9.4	8.4	8.3	9.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	29.0	14.9	######	19.0	45.9	29.3	26.4	######	######	17.8	24.8	16.1	14.2	11.5	10.9	10.8	10.4	9.0	7.1	6.2	6.7	4.4	1.5	-0.8	-2.3
			!BDF					!BDF	!BDF																





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 1 (INDIGGO)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V2(émergence en basse fréquence (probablement due à un problème de conder	5	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.7	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.2	m
Surface local	13.5	m2			
Volume local	43.2	m3			

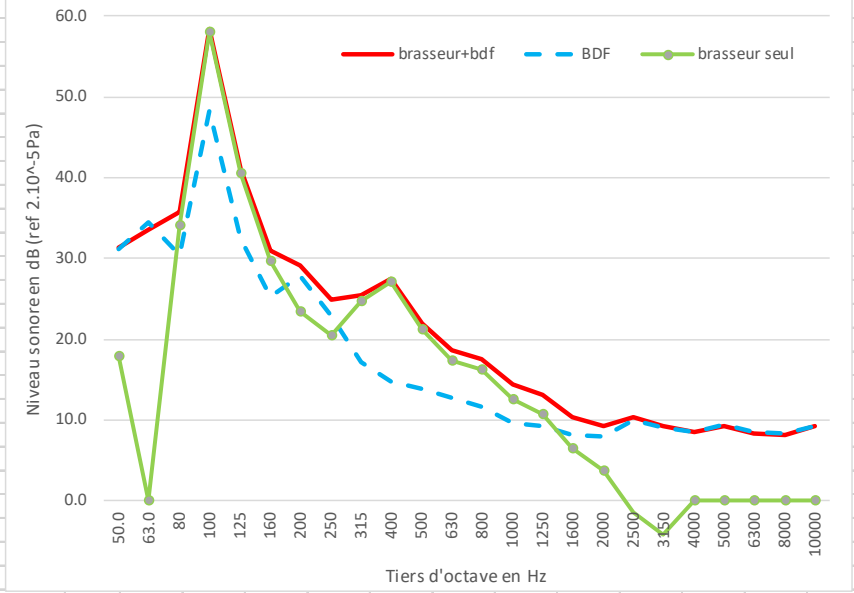
Lp = 40.1 dB(A)

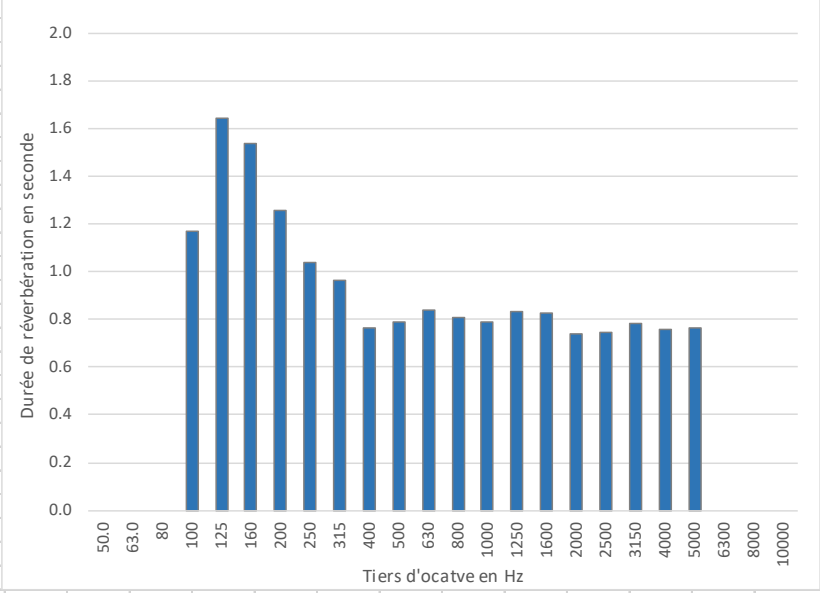
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.2	1.6	1.5	1.3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	40.1	31.4	33.6	35.7	58.4	41.1	31.0	29.2	24.8	25.4	27.4	22.0	18.6	17.6	14.3	13.1	10.4	9.3	10.3	9.3	8.4	9.3	8.3	8.2	9.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	31.1	31.2	34.5	30.5	48.2	32.5	25.3	27.9	22.8	17.1	14.8	13.8	12.7	11.7	9.6	9.3	8.1	7.9	10.0	9.1	8.5	9.4	8.4	8.3	9.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	39.5	17.9	######	34.1	58.0	40.5	29.6	23.3	20.5	24.7	27.2	21.3	17.3	16.3	12.5	10.8	6.5	3.7	-1.5	-4.2	######	######	######	######	######
			!BDF																		!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 1 (INDIGGO)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V3(émergence en basse fréquence (probablement due à un problème de conder	6	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.7	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.2	m
Surface local	13.5	m2			
Volume local	43.2	m3			

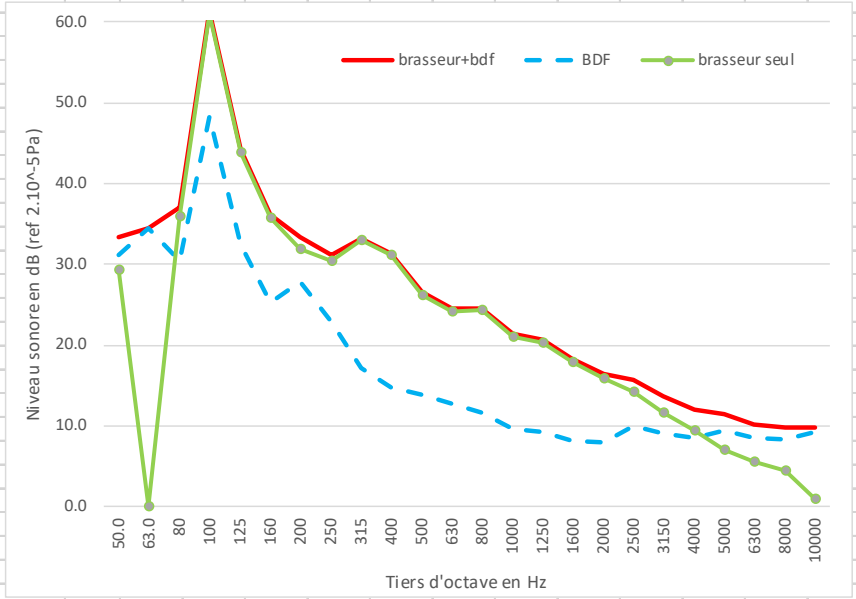
Lp = 43.2 dB(A)

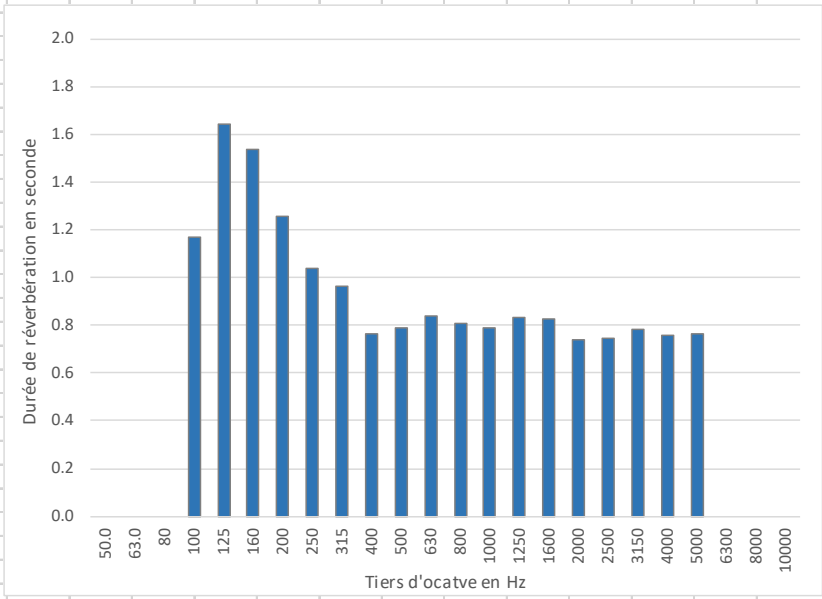
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.2	1.6	1.5	1.3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	43.2	33.4	34.4	37.1	61.3	44.2	36.1	33.3	31.1	33.1	31.3	26.5	24.5	24.5	21.4	20.6	18.3	16.5	15.6	13.6	12.0	11.4	10.2	9.8	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	31.1	31.2	34.5	30.5	48.2	32.5	25.3	27.9	22.8	17.1	14.8	13.8	12.7	11.7	9.6	9.3	8.1	7.9	10.0	9.1	8.5	9.4	8.4	8.3	9.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	42.9	29.4	######	36.0	61.1	43.9	35.7	31.8	30.4	33.0	31.2	26.3	24.2	24.3	21.1	20.3	17.9	15.9	14.2	11.7	9.4	7.1	5.5	4.5	0.9
			!BDF																						





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR52 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 1 (INDIGGO)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V1	7	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	2.4	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.2	m
Surface local	13.5	m2			
Volume local	43.2	m3			

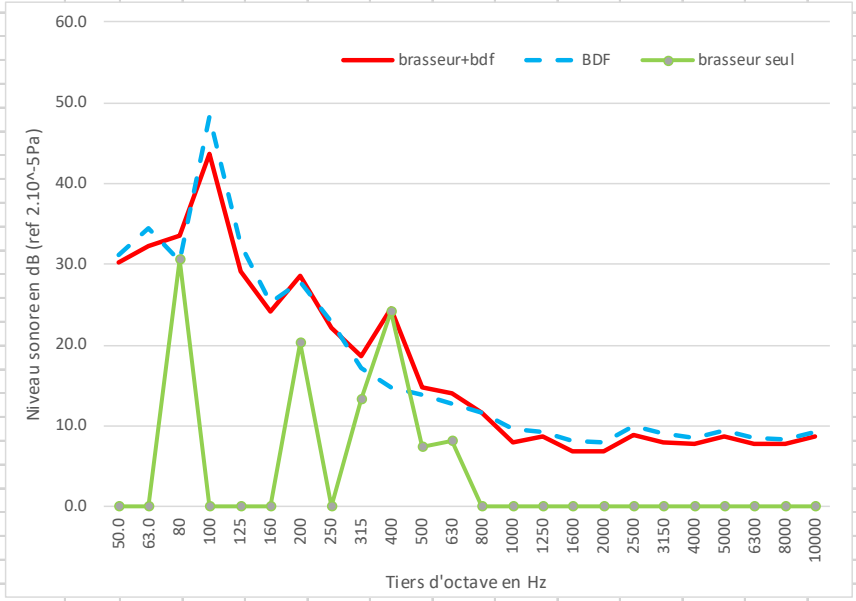
Lp = 27.7 dB(A)

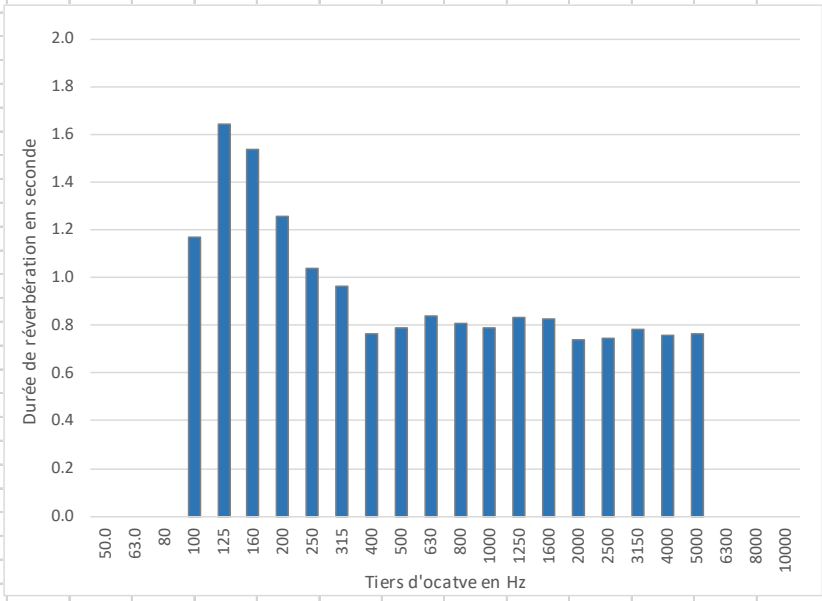
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.2	1.6	1.5	1.3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	27.7	30.2	32.2	33.6	43.7	29.1	24.2	28.6	22.2	18.6	24.6	14.7	14.0	11.7	8.0	8.6	6.8	6.8	8.8	8.0	7.7	8.7	7.7	7.7	8.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	31.1	31.2	34.5	30.5	48.2	32.5	25.3	27.9	22.8	17.1	14.8	13.8	12.7	11.7	9.6	9.3	8.1	7.9	10.0	9.1	8.5	9.4	8.4	8.3	9.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	######	######	######	30.7	######	######	######	20.3	######	13.3	24.1	7.4	8.1	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######
		!BDF	!BDF		!BDF	!BDF	!BDF		!BDF						!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR52 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 1 (INDIGGO)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V2(émergence en basse fréquence (probablement due à un problème de conder	8	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	2.4	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.2	m
Surface local	13.5	m2			
Volume local	43.2	m3			

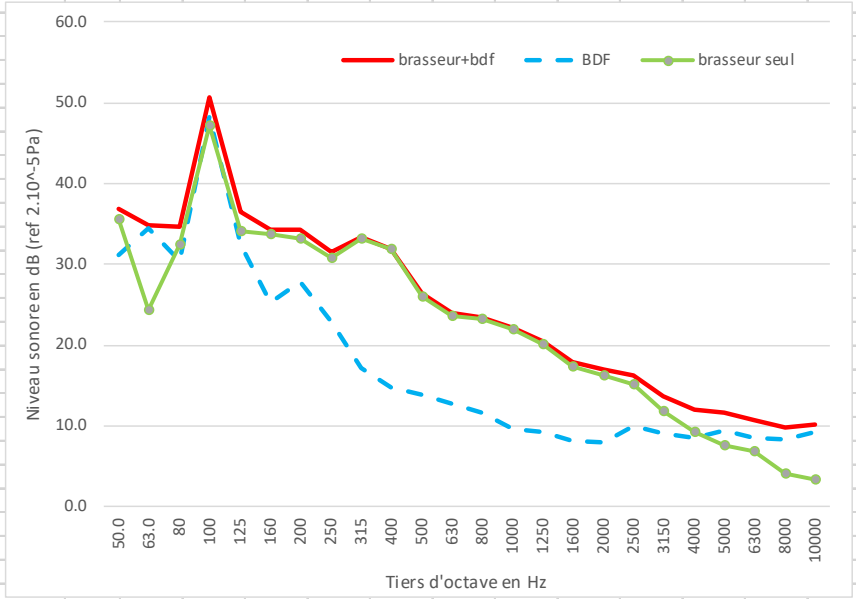
Lp = 35.0 dB(A)

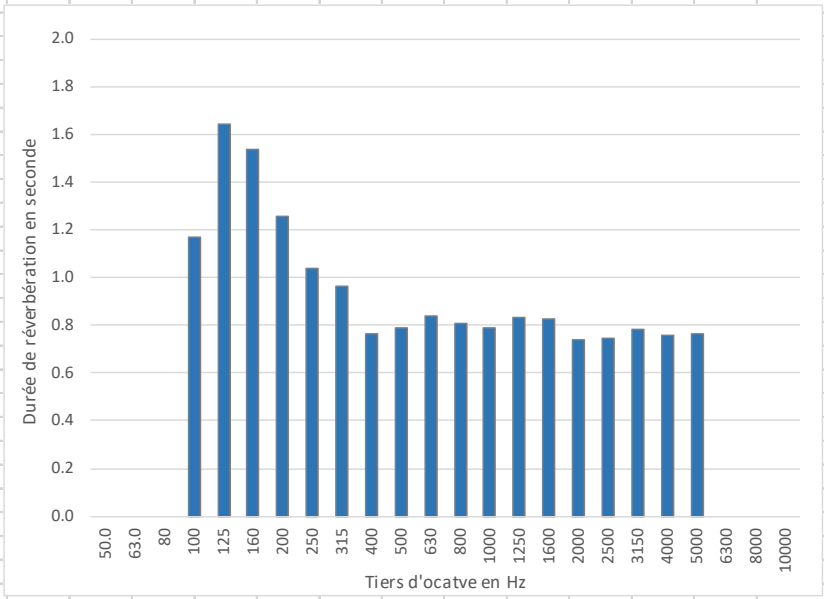
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.2	1.6	1.5	1.3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	35.0	36.9	34.9	34.6	50.7	36.4	34.3	34.3	31.5	33.3	31.9	26.3	23.9	23.5	22.2	20.5	17.9	16.9	16.3	13.7	11.9	11.6	10.7	9.7	10.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	31.1	31.2	34.5	30.5	48.2	32.5	25.3	27.9	22.8	17.1	14.8	13.8	12.7	11.7	9.6	9.3	8.1	7.9	10.0	9.1	8.5	9.4	8.4	8.3	9.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	32.7	35.5	24.3	32.5	47.1	34.1	33.7	33.2	30.9	33.2	31.8	26.0	23.6	23.2	22.0	20.2	17.4	16.3	15.1	11.9	9.2	7.6	6.8	4.1	3.3





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR52 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 1 (INDIGGO)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V3(émergence en basse fréquence (probablement due à un problème de conder	9	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	2.4	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.2	m
Surface local	13.5	m2			
Volume local	43.2	m3			

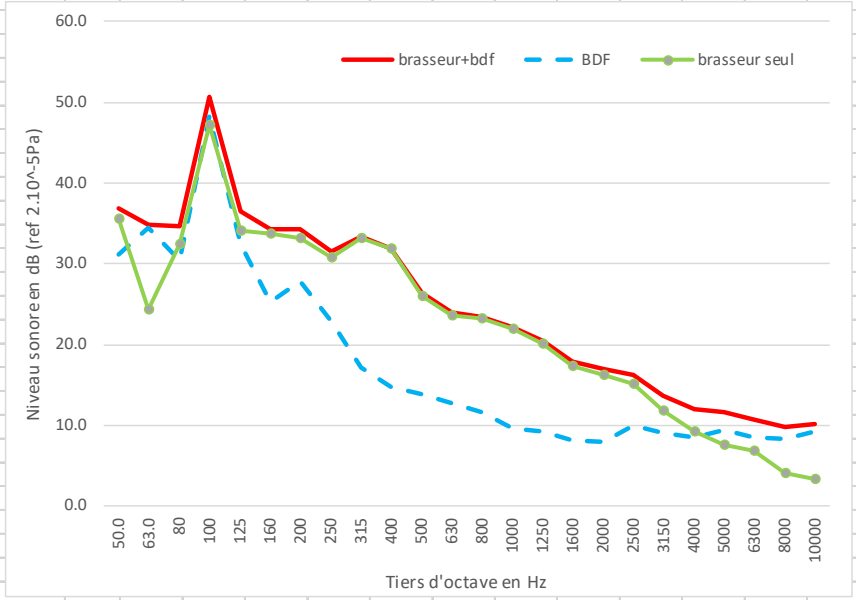
Lp = 37.3 dB(A)

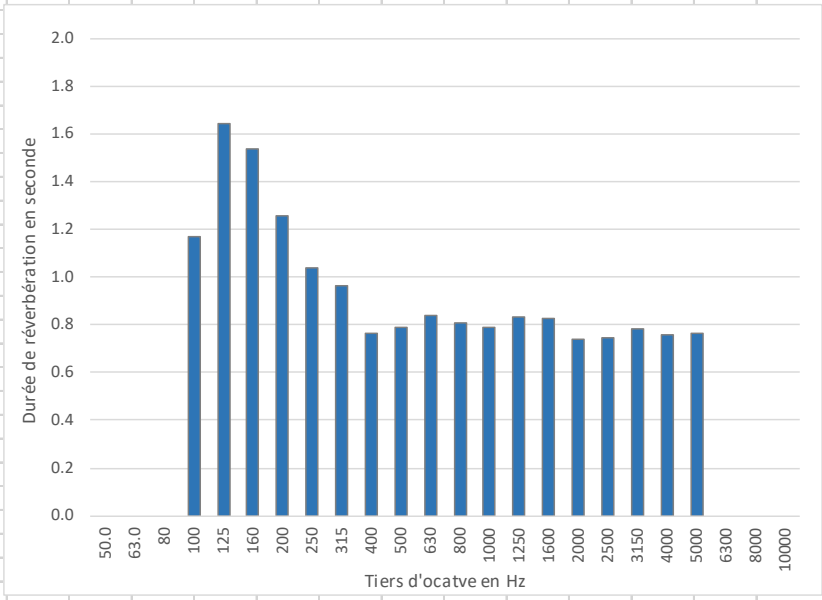
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.2	1.6	1.5	1.3	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	37.3	36.9	34.9	34.6	50.7	36.4	34.3	34.3	31.5	33.3	31.9	26.3	23.9	23.5	22.2	20.5	17.9	16.9	16.3	13.7	11.9	11.6	10.7	9.7	10.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	31.1	31.2	34.5	30.5	48.2	32.5	25.3	27.9	22.8	17.1	14.8	13.8	12.7	11.7	9.6	9.3	8.1	7.9	10.0	9.1	8.5	9.4	8.4	8.3	9.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	36.1	35.5	24.3	32.5	47.1	34.1	33.7	33.2	30.9	33.2	31.8	26.0	23.6	23.2	22.0	20.2	17.4	16.3	15.1	11.9	9.2	7.6	6.8	4.1	3.3





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 2 (INDIGGO)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1	10	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	2.4	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.5	m
Surface local	19.5	m2			
Volume local	62.4	m3			

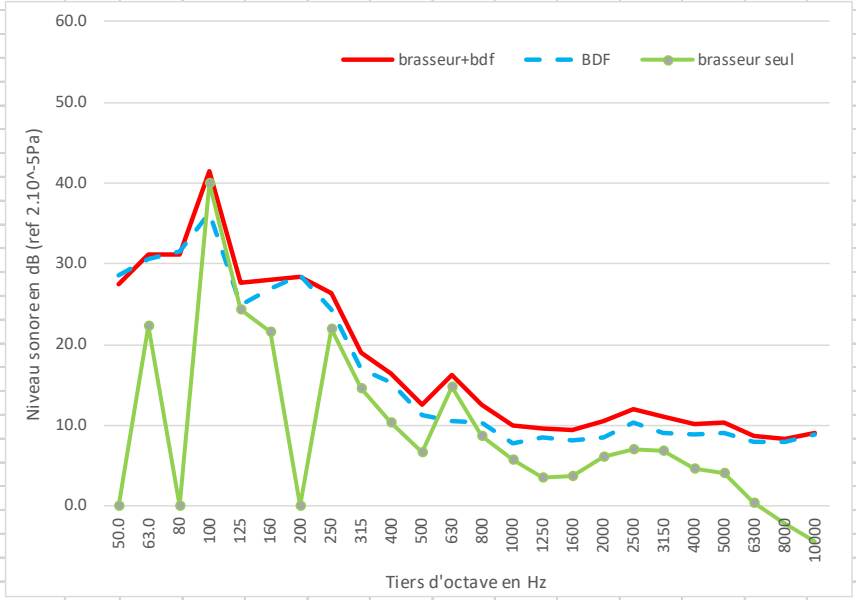
Lp = 28.0 dB(A)

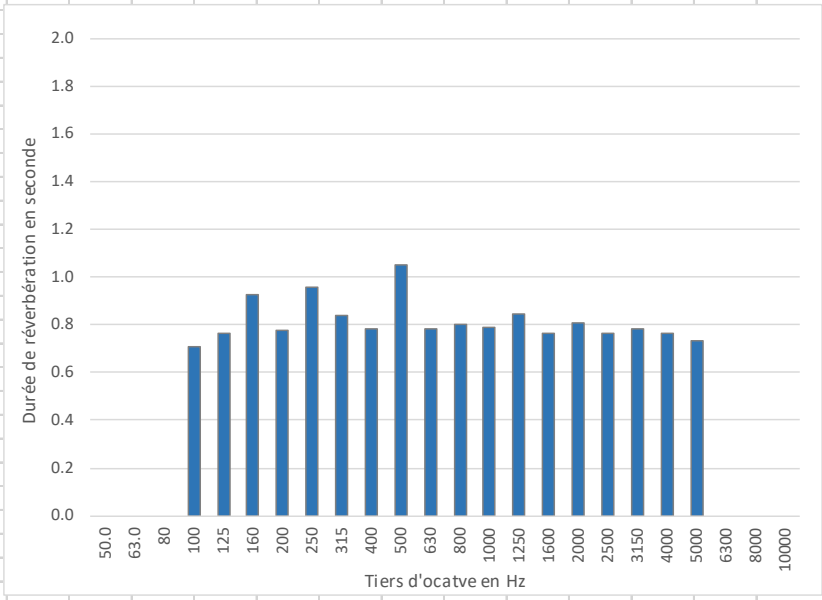
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	28.0	27.4	31.2	31.2	41.5	27.6	28.1	28.3	26.3	18.9	16.5	12.5	16.2	12.6	9.9	9.6	9.5	10.5	12.0	11.1	10.2	10.3	8.7	8.3	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	24.9	28.5	30.6	31.6	36.3	24.8	27.0	28.5	24.3	16.9	15.3	11.2	10.6	10.3	7.8	8.4	8.2	8.5	10.3	9.1	8.8	9.1	8.0	7.9	8.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	25.1	######	22.3	######	39.9	24.4	21.6	######	22.0	14.6	10.3	6.6	14.8	8.7	5.7	3.4	3.6	6.2	7.1	6.8	4.6	4.1	0.4	-2.3	-4.4
		!BDF		!BDF				!BDF																	





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 2 (INDIGGO)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V2(émergence en basse fréquence (probablement due à un problème de conder	11	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	2.4	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.5	m
Surface local	19.5	m2			
Volume local	62.4	m3			

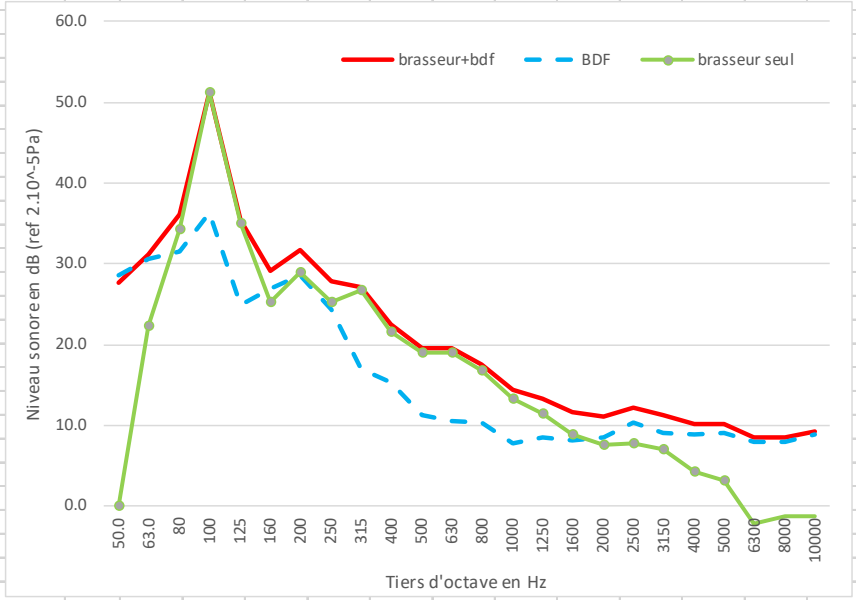
Lp = 34.2 dB(A)

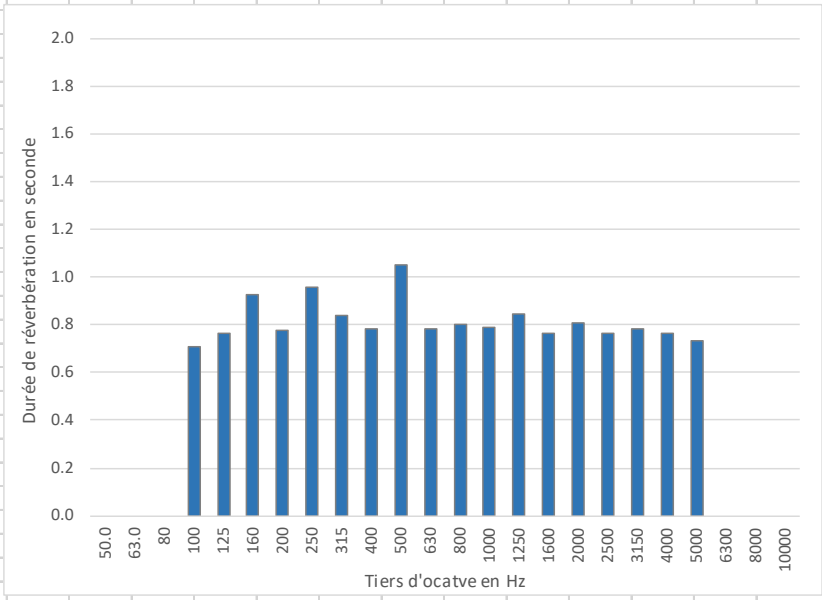
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	34.2	27.6	31.2	36.1	51.3	35.4	29.2	31.7	27.8	27.1	22.5	19.6	19.6	17.6	14.4	13.2	11.6	11.1	12.2	11.2	10.1	10.1	8.4	8.4	9.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	0	28.5	30.6	31.6	36.3	24.8	27.0	28.5	24.3	16.9	15.3	11.2	10.6	10.3	7.8	8.4	8.2	8.5	10.3	9.1	8.8	9.1	8.0	7.9	8.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	34.2	######	22.3	34.2	51.2	35.0	25.2	28.9	25.2	26.7	21.6	18.9	19.0	16.7	13.3	11.5	8.9	7.6	7.7	7.0	4.2	3.2	-2.2	-1.2	-1.3
		!BDF																							





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

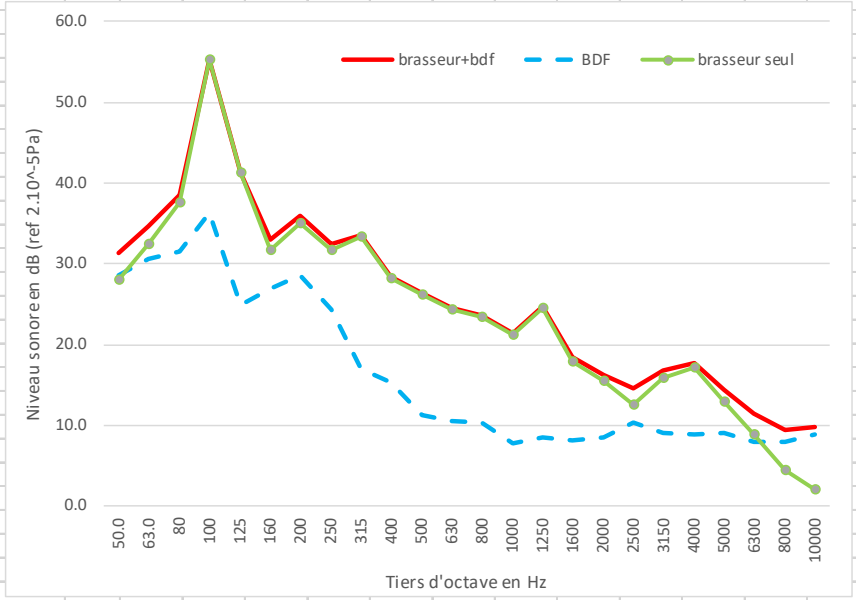
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

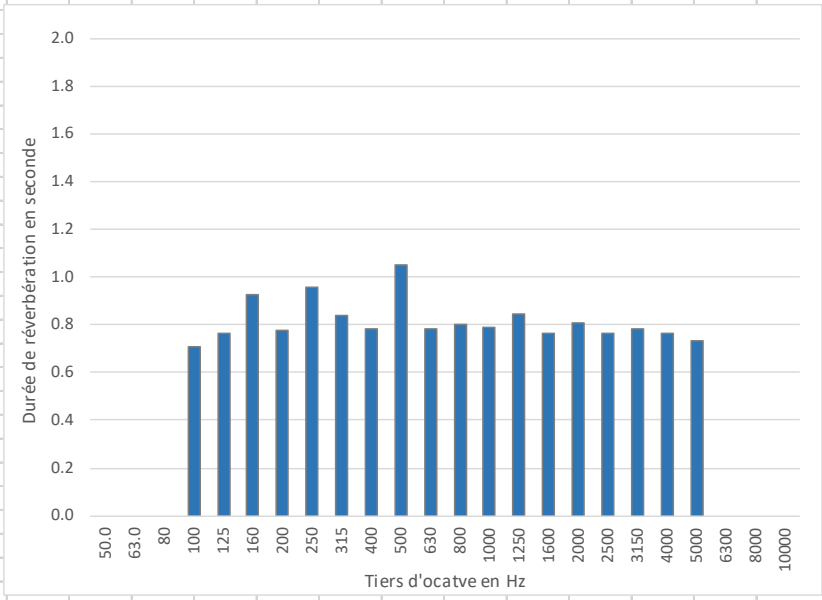
Lieu :	Bureau 2 (INDIGGO)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V3(émergence en basse fréquence (probablement due à un problème de conder	12	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	2.4	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.5	m
Surface local	19.5	m2			
Volume local	62.4	m3			

Lp = 38.7 dB(A)

		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	38.7	31.3	34.6	38.6	55.3	41.3	32.9	35.9	32.5	33.5	28.4	26.3	24.5	23.6	21.4	24.7	18.4	16.3	14.6	16.7	17.7	14.4	11.5	9.5	9.7
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	0	28.5	30.6	31.6	36.3	24.8	27.0	28.5	24.3	16.9	15.3	11.2	10.6	10.3	7.8	8.4	8.2	8.5	10.3	9.1	8.8	9.1	8.0	7.9	8.9
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	38.7	28.1	32.4	37.6	55.2	41.2	31.6	35.0	31.8	33.4	28.2	26.2	24.3	23.4	21.2	24.6	18.0	15.5	12.6	15.9	17.1	12.9	8.9	4.4	2.0





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

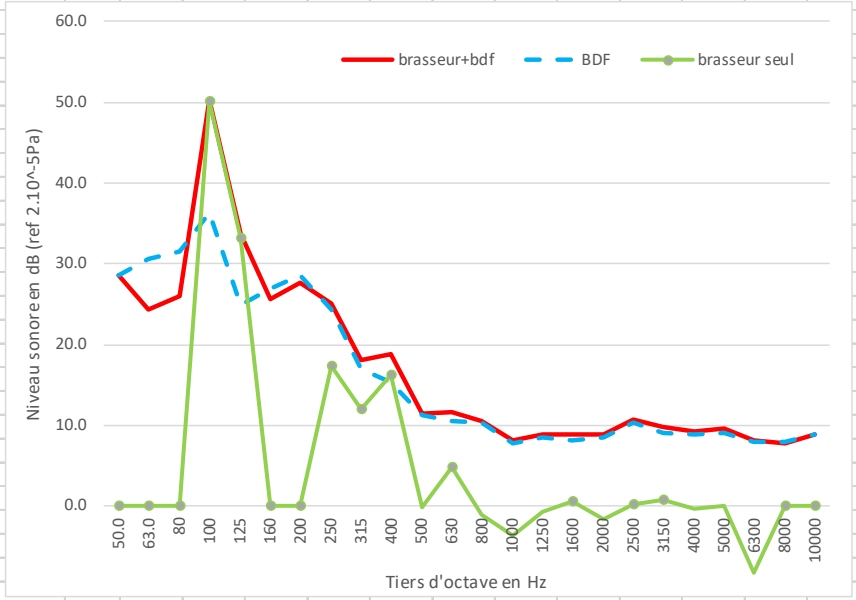
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

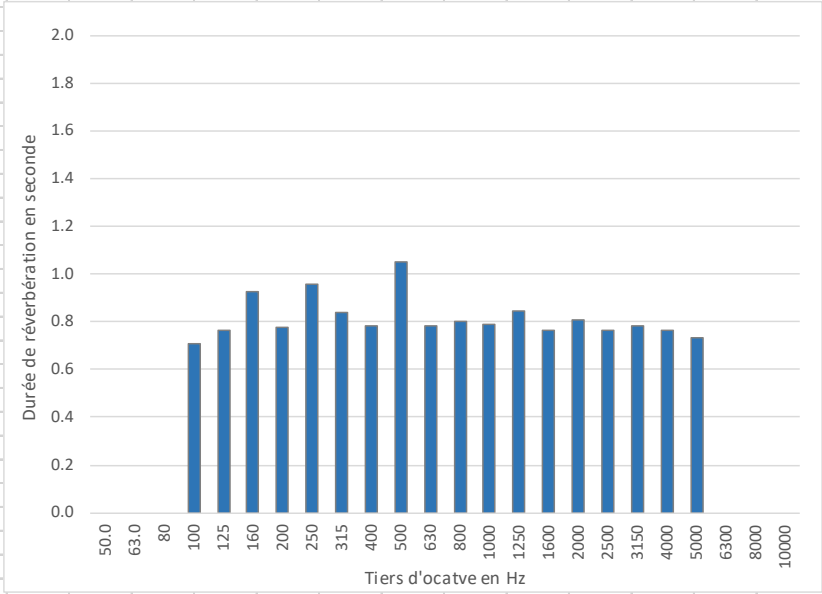
Lieu :	Bureau 2 (INDIGGO)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm		Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1		13	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.72.94	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.5	m
Surface local	19.5	m2			
Volume local	62.4	m3			

Lp = 31.7 dB(A)

		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	31.7	28.5	24.3	26.0	50.3	33.7	25.7	27.6	25.1	18.1	18.8	11.5	11.6	10.6	8.1	8.9	8.9	8.9	10.7	9.7	9.3	9.6	8.1	7.7	8.8
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	24.9	28.5	30.6	31.6	36.3	24.8	27.0	28.5	24.3	16.9	15.3	11.2	10.6	10.3	7.8	8.4	8.2	8.5	10.3	9.1	8.8	9.1	8.0	7.9	8.9
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	30.7	######	######	######	50.1	33.1	######	######	17.4	11.9	16.2	-0.3	4.7	-1.2	-3.7	-0.7	0.6	-1.7	0.1	0.8	-0.3	0.0	-8.3	######	######
			!BDF	!BDF			!BDF	!BDF																!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 2 (INDIGGO)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2(émergence en basse fréquence (probablement due à un problème de conder	14	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.5	m
Surface local	19.5	m2			
Volume local	62.4	m3			

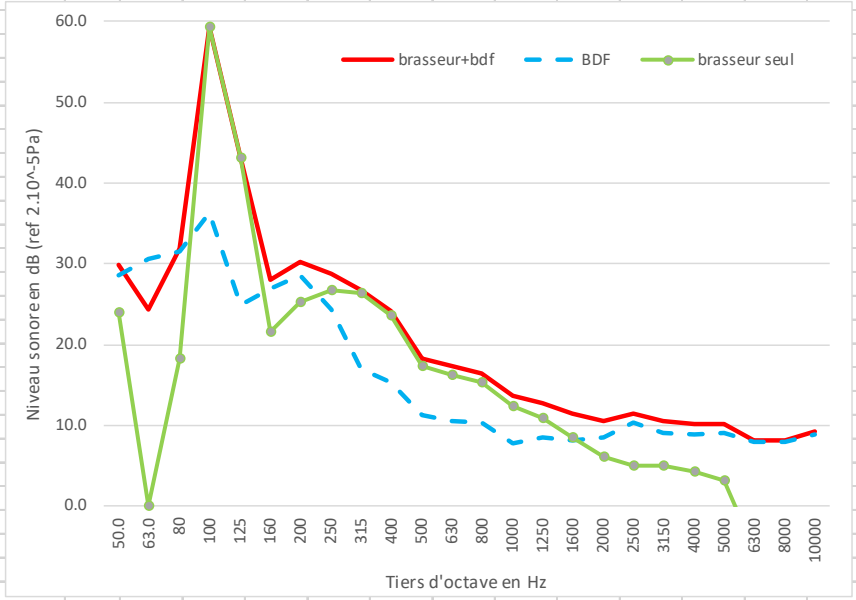
Lp = 40.6 dB(A)

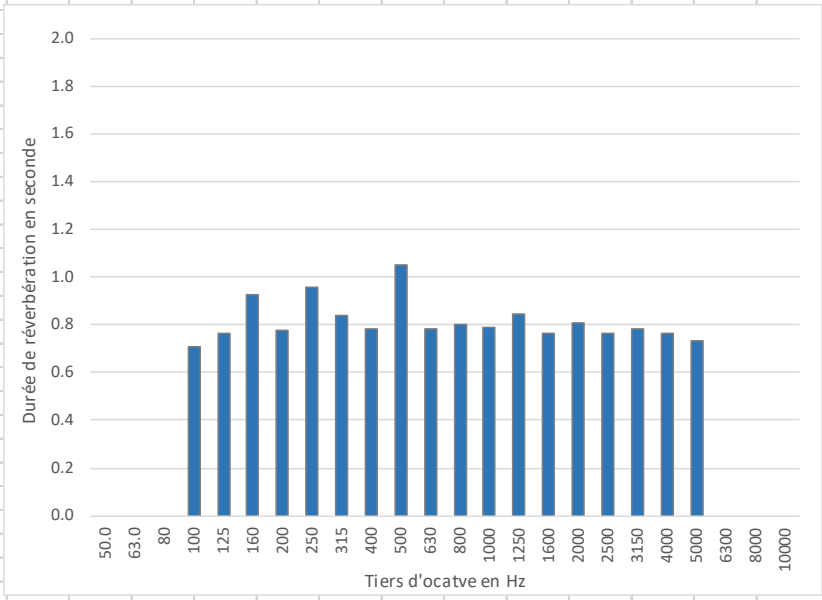
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	40.6	29.8	24.3	31.8	59.3	43.2	28.1	30.2	28.7	26.8	24.2	18.3	17.3	16.5	13.6	12.8	11.4	10.5	11.4	10.5	10.1	10.1	8.2	8.2	9.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	0	28.5	30.6	31.6	36.3	24.8	27.0	28.5	24.3	16.9	15.3	11.2	10.6	10.3	7.8	8.4	8.2	8.5	10.3	9.1	8.8	9.1	8.0	7.9	8.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	40.6	23.9	######	18.3	59.3	43.1	21.6	25.3	26.7	26.3	23.6	17.4	16.3	15.3	12.3	10.8	8.6	6.2	4.9	4.9	4.2	3.2	-5.3	-3.6	-2.6
			!BDF																						





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 2 (INDIGGO)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V3(émergence en basse fréquence (probablement due à un problème de conder	15	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.5	m
Surface local	19.5	m2			
Volume local	62.4	m3			

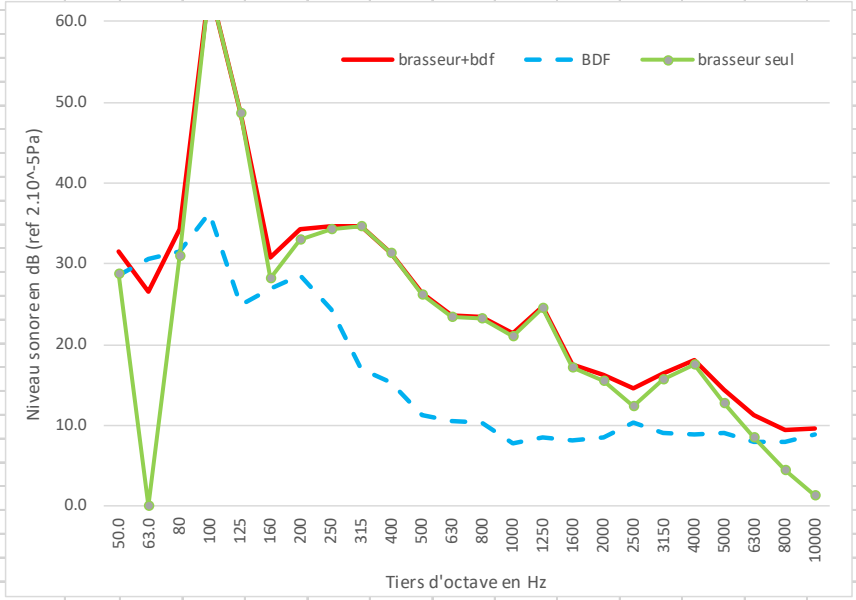
Lp = 45.6 dB(A)

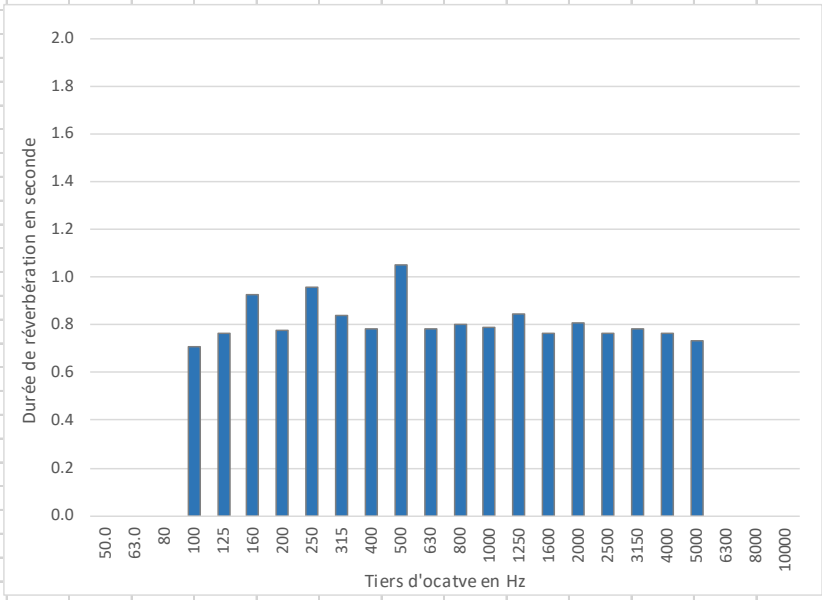
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	45.6	31.6	26.5	34.3	64.3	48.6	30.7	34.3	34.7	34.7	31.4	26.3	23.6	23.5	21.3	24.7	17.6	16.3	14.5	16.5	18.1	14.3	11.3	9.5	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	0	28.5	30.6	31.6	36.3	24.8	27.0	28.5	24.3	16.9	15.3	11.2	10.6	10.3	7.8	8.4	8.2	8.5	10.3	9.1	8.8	9.1	8.0	7.9	8.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	45.6	28.7	######	31.0	64.3	48.6	28.3	33.0	34.3	34.6	31.3	26.2	23.4	23.3	21.1	24.6	17.1	15.5	12.4	15.6	17.6	12.7	8.6	4.4	1.3
			!BDF																						





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

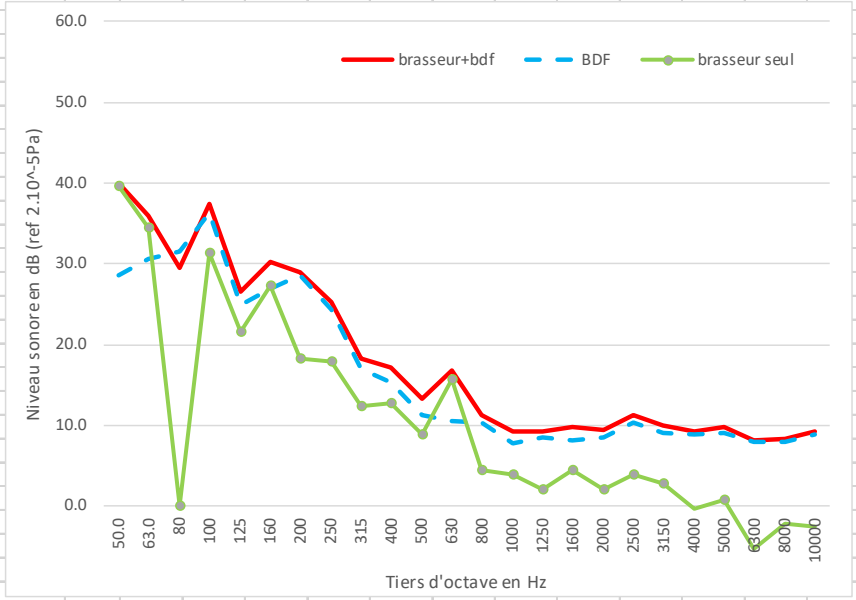
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

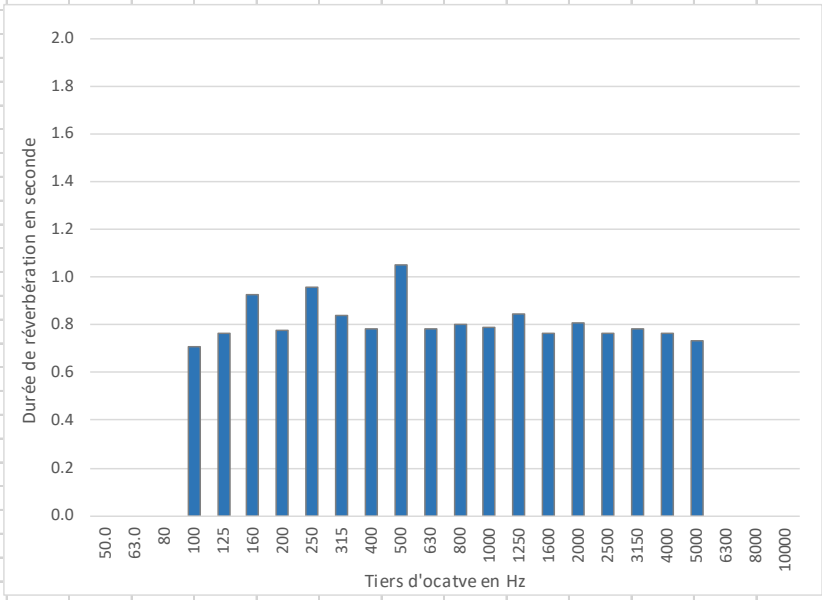
Lieu :	Bureau 2 (INDIGGO)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm		Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1		16	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	2.23.26	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.5	m
Surface local	19.5	m2			
Volume local	62.4	m3			

Lp = 27.0 dB(A)

		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	27.0	39.9	35.9	29.4	37.5	26.5	30.2	28.9	25.2	18.2	17.2	13.2	16.8	11.3	9.3	9.3	9.7	9.4	11.2	10.0	9.3	9.7	8.2	8.3	9.2
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	24.9	28.5	30.6	31.6	36.3	24.8	27.0	28.5	24.3	16.9	15.3	11.2	10.6	10.3	7.8	8.4	8.2	8.5	10.3	9.1	8.8	9.1	8.0	7.9	8.9
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	22.8	39.6	34.4	######	31.3	21.6	27.4	18.3	17.9	12.3	12.7	8.9	15.6	4.4	4.0	2.0	4.4	2.1	3.9	2.7	-0.3	0.8	-5.3	-2.3	-2.6
				!BDF																					





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 2 (INDIGGO)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2(émergence en basse fréquence (probablement due à un problème de conder	17	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.5	m
Surface local	19.5	m2			
Volume local	62.4	m3			

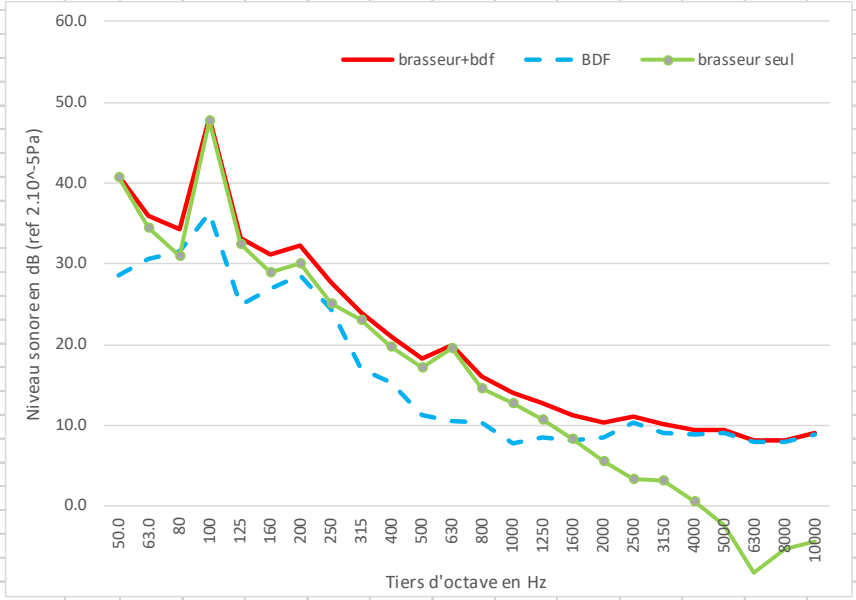
Lp = 32.0 dB(A)

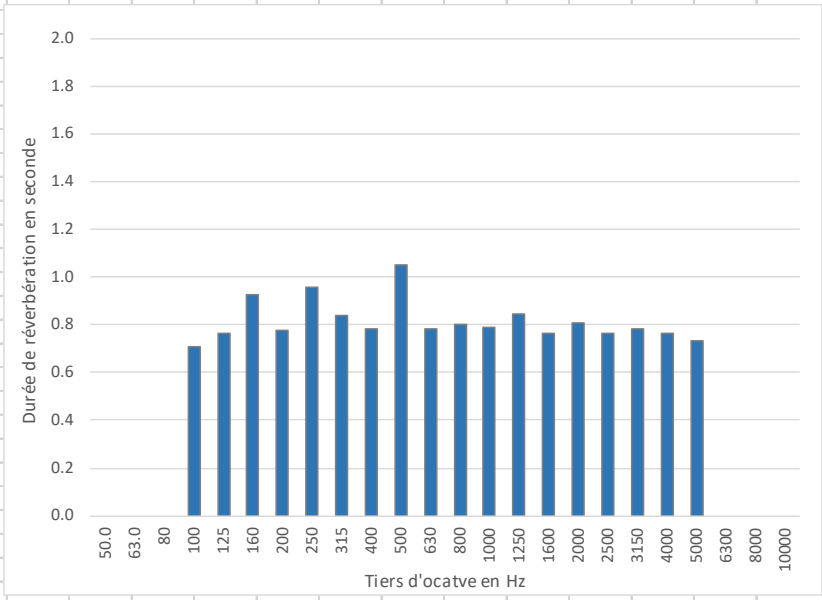
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	32.0	41.0	36.0	34.3	48.1	33.2	31.1	32.3	27.7	24.0	21.0	18.2	20.0	16.0	14.0	12.7	11.3	10.3	11.1	10.1	9.4	9.4	8.1	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	0	28.5	30.6	31.6	36.3	24.8	27.0	28.5	24.3	16.9	15.3	11.2	10.6	10.3	7.8	8.4	8.2	8.5	10.3	9.1	8.8	9.1	8.0	7.9	8.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	32.0	40.7	34.5	31.0	47.8	32.5	29.0	30.0	25.0	23.1	19.6	17.2	19.5	14.6	12.8	10.7	8.4	5.6	3.4	3.2	0.5	-2.4	-8.3	-5.4	-4.4





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

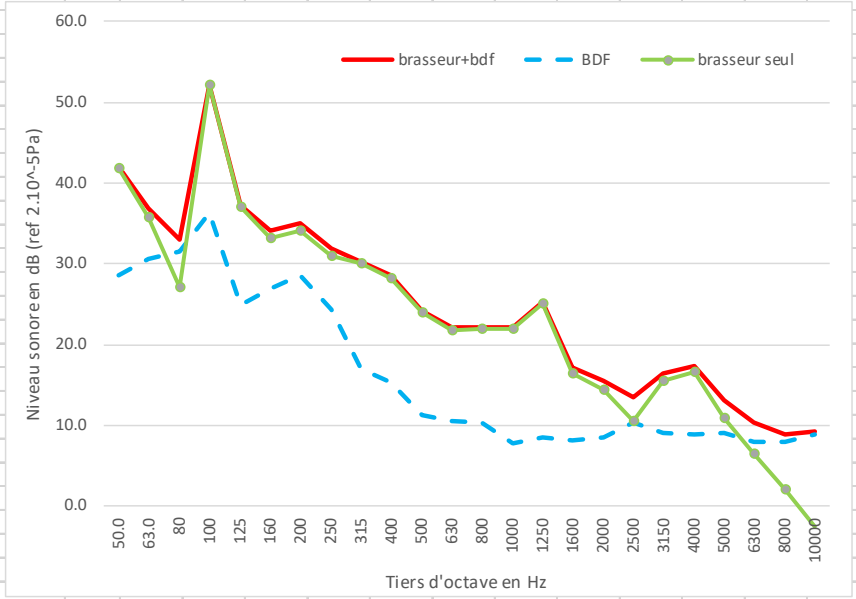
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

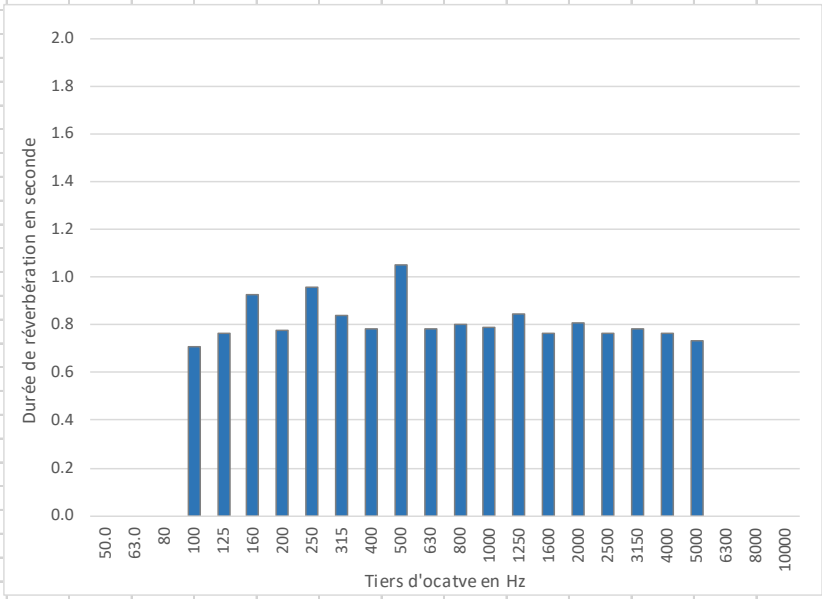
Lieu :	Bureau 2 (INDIGGO)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V3(émergence en basse fréquence (probablement due à un problème de conder	18	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.5	m
Surface local	19.5	m2			
Volume local	62.4	m3			

Lp = 36.9 dB(A)

		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.7	0.8	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.0	0.0	0.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	36.9	42.1	36.9	32.9	52.2	37.3	34.1	35.1	31.8	30.3	28.5	24.2	22.1	22.2	22.1	25.2	17.1	15.4	13.4	16.4	17.3	13.1	10.3	8.9	9.2
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	0	28.5	30.6	31.6	36.3	24.8	27.0	28.5	24.3	16.9	15.3	11.2	10.6	10.3	7.8	8.4	8.2	8.5	10.3	9.1	8.8	9.1	8.0	7.9	8.9
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	36.9	41.9	35.7	27.0	52.1	37.0	33.2	34.0	30.9	30.1	28.3	24.0	21.8	21.9	21.9	25.1	16.5	14.4	10.5	15.5	16.6	10.9	6.4	2.0	-2.6





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 3 (INDIGGO)	Brasseur :	Modèlé 4 pâles inconnu	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1	19	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.2	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	#####	m
Surface local	8.8	m2			
Volume local	22.88	m3			

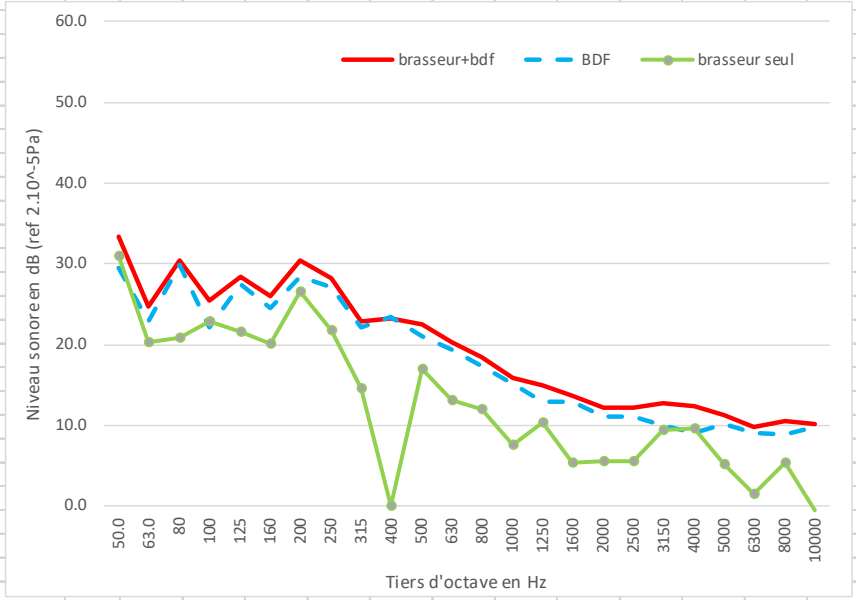
Lp = 30.3 dB(A)

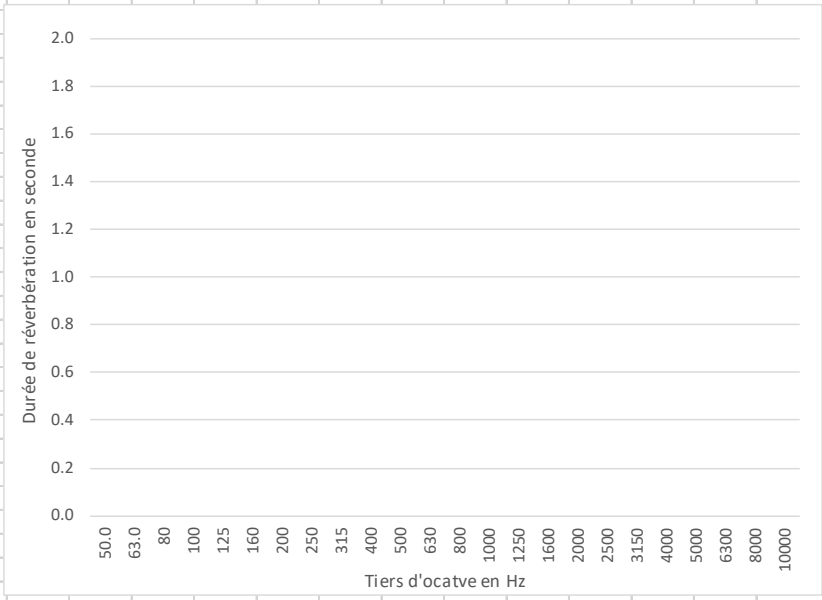
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	30.3	33.3	24.7	30.4	25.5	28.4	25.9	30.5	28.2	22.8	23.3	22.5	20.3	18.5	15.8	14.9	13.7	12.1	12.1	12.7	12.4	11.3	9.8	10.5	10.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29	29.4	22.8	29.9	22.1	27.4	24.6	28.3	27.1	22.1	23.4	21.1	19.4	17.4	15.1	13.0	13.0	11.0	11.0	10.0	9.1	10.1	9.1	8.9	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	24.4	31.0	20.2	20.8	22.8	21.5	20.0	26.5	21.7	14.5	######	16.9	13.0	12.0	7.5	10.4	5.4	5.6	5.6	9.4	9.7	5.1	1.5	5.4	-0.5
											!BDF														





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

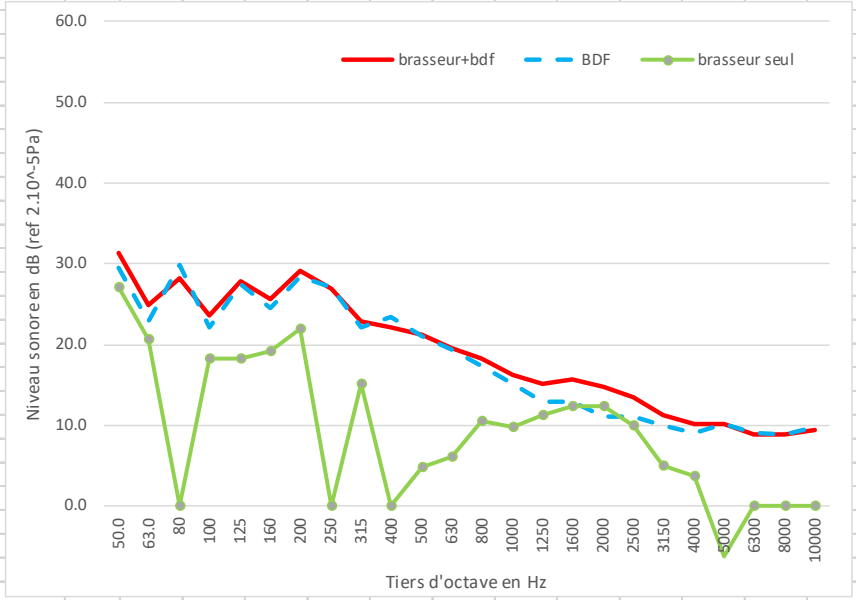
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

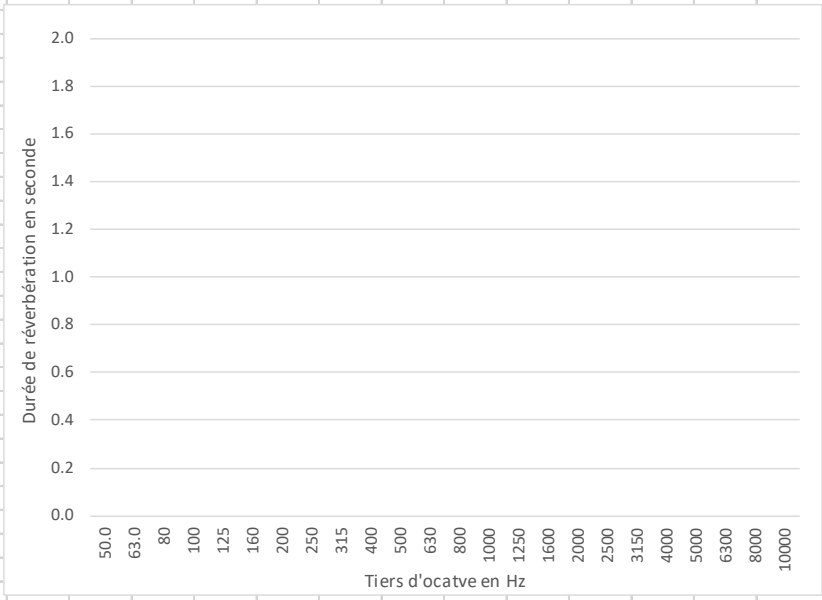
Lieu :	Bureau 3 (INDIGGO)	Brasseur :	Modèlé 4 pâles inconnu	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2	20	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.2	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	#####	m
Surface local	8.8	m2			
Volume local	22.88	m3			

Lp = 29.2 dB(A)

A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	29.2	31.4	24.9	28.2	23.6	27.9	25.7	29.2	26.9	22.9	22.2	21.2	19.6	18.2	16.2	15.2	15.7	14.7	13.5	11.2	10.2	10.2	8.9	8.9	9.4
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29	29.4	22.8	29.9	22.1	27.4	24.6	28.3	27.1	22.1	23.4	21.1	19.4	17.4	15.1	13.0	13.0	11.0	11.0	10.0	9.1	10.1	9.1	8.9	9.7
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	15.7	27.1	20.7	######	18.3	18.3	19.2	21.9	######	15.2	######	4.8	6.1	10.5	9.7	11.2	12.4	12.3	9.9	5.0	3.7	-6.2	######	######	######
				!BDF					!BDF		!BDF												!BDF		!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 3 (INDIGGO)	Brasseur :	Modèlé 4 pâles inconnu	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V3	21	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.2	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	#####	m
Surface local	8.8	m2			
Volume local	22.88	m3			

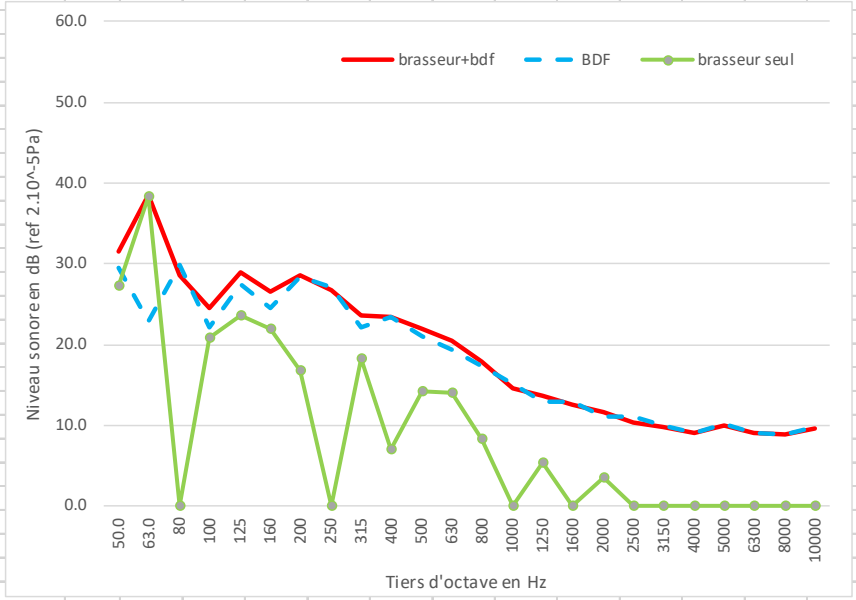
Lp = 28.5 dB(A)

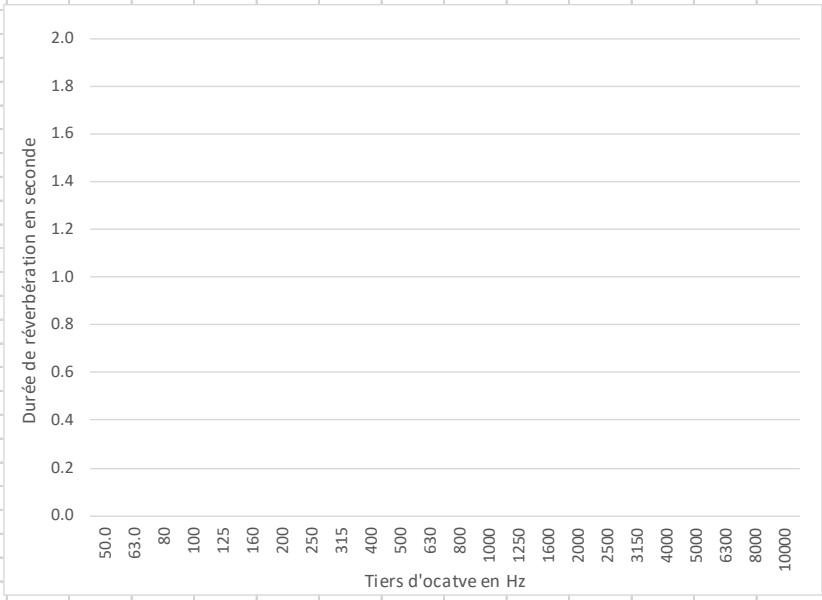
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	28.5	31.5	38.5	28.5	24.5	28.9	26.5	28.6	26.7	23.6	23.5	21.9	20.5	17.9	14.6	13.7	12.5	11.7	10.4	9.7	9.1	9.9	9.1	8.9	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29	29.4	22.8	29.9	22.1	27.4	24.6	28.3	27.1	22.1	23.4	21.1	19.4	17.4	15.1	13.0	13.0	11.0	11.0	10.0	9.1	10.1	9.1	8.9	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	#####	27.3	38.4	######	20.8	23.6	22.0	16.8	######	18.3	7.1	14.2	14.0	8.3	######	5.4	######	3.4	######	######	######	######	######	######	######
				!BDF					!BDF						!BDF		!BDF		!BDF	!BDF		!BDF			!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

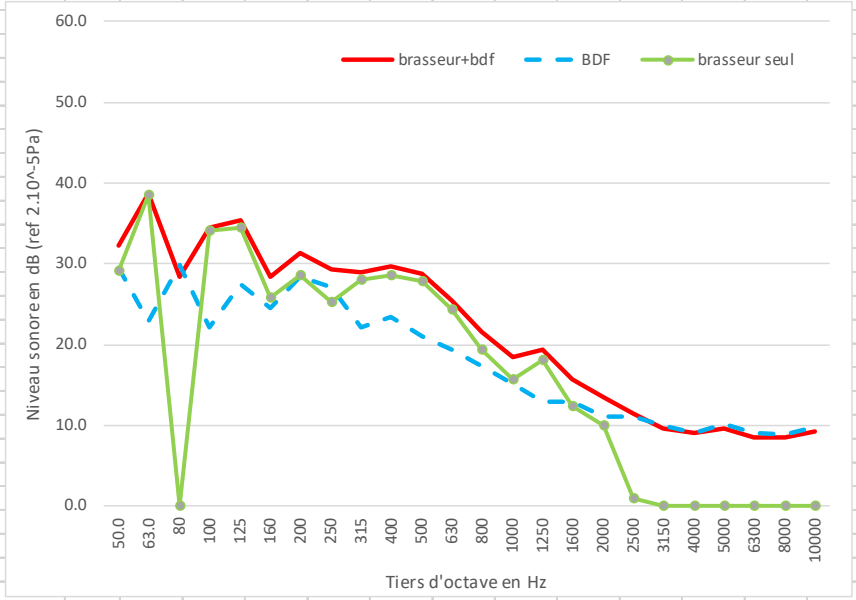
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

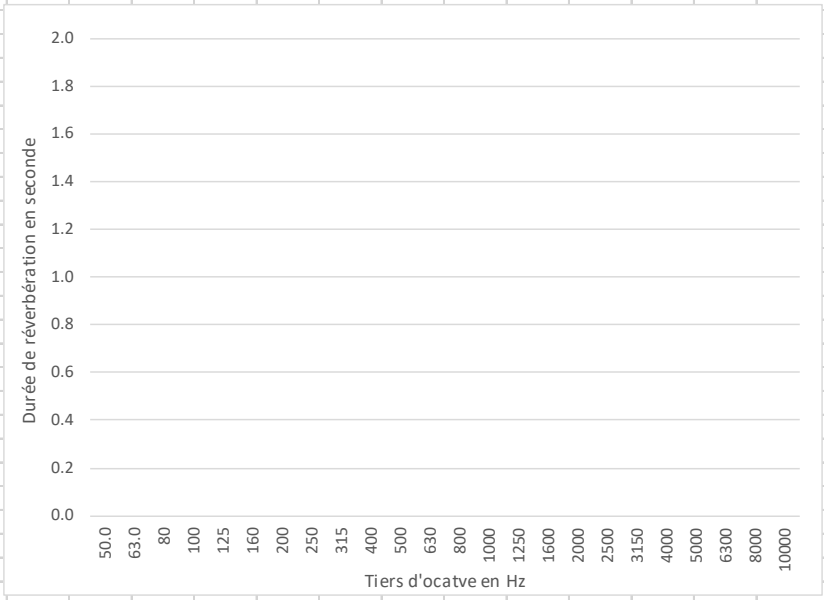
Lieu :	Bureau 3 (INDIGGO)	Brasseur :	Modèlé 4 pâles inconnu	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V4	22	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.2	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	#####	m
Surface local	8.8	m2			
Volume local	22.88	m3			

Lp = 33.0 dB(A)

A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	33.0	32.3	38.7	28.3	34.4	35.3	28.3	31.4	29.3	29.0	29.7	28.7	25.5	21.5	18.4	19.3	15.7	13.5	11.4	9.6	9.0	9.6	8.4	8.4	9.3
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29	29.4	22.8	29.9	22.1	27.4	24.6	28.3	27.1	22.1	23.4	21.1	19.4	17.4	15.1	13.0	13.0	11.0	11.0	10.0	9.1	10.1	9.1	8.9	9.7
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	30.8	29.2	38.6	######	34.1	34.5	25.9	28.5	25.3	28.0	28.5	27.9	24.3	19.4	15.7	18.1	12.4	9.9	0.8	######	######	######	######	######	######
				!BDF																!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 3 (INDIGGO)	Brasseur :	Modèlé 4 pâles inconnu	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V5	23	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.2	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	#####	m
Surface local	8.8	m2			
Volume local	22.88	m3			

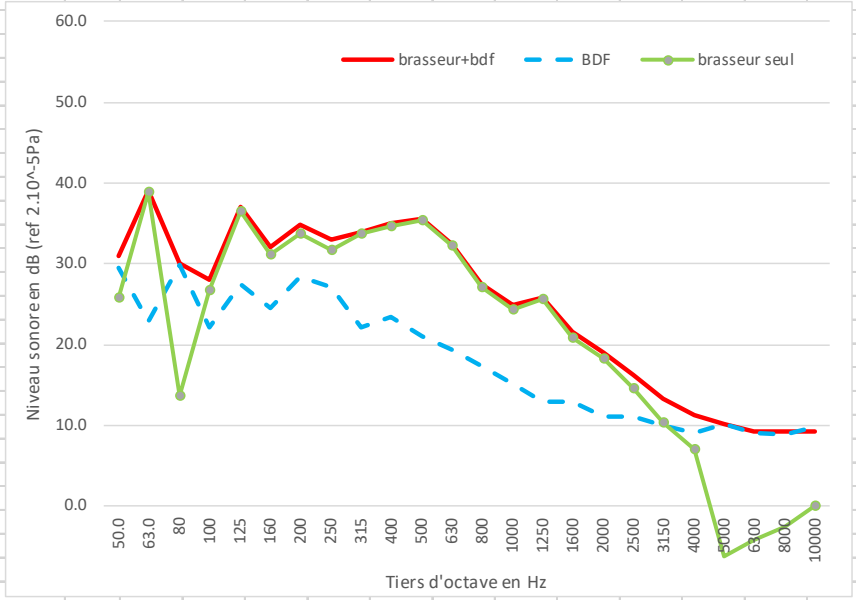
Lp = 38.5 dB(A)

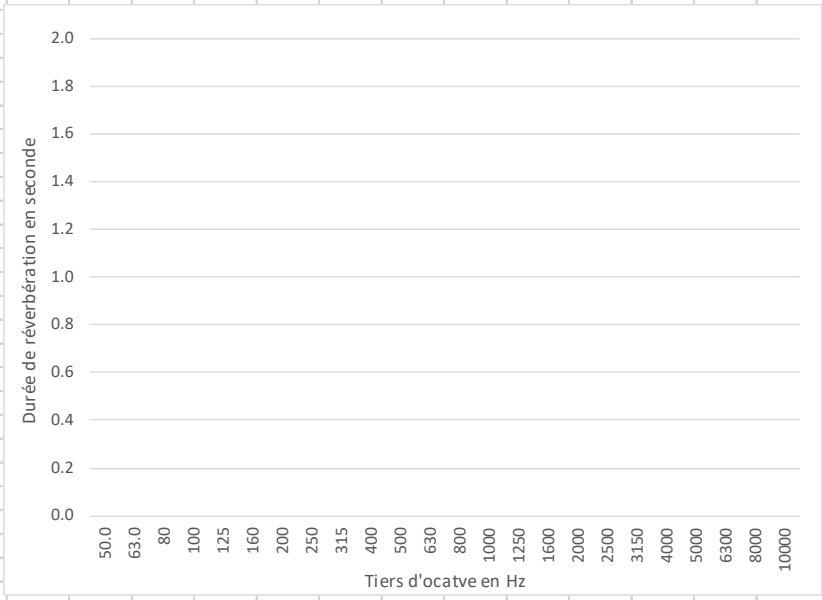
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	38.5	31.0	39.0	30.0	28.0	37.0	32.0	34.8	33.0	34.0	35.0	35.5	32.5	27.5	24.8	25.8	21.5	19.0	16.2	13.2	11.2	10.2	9.3	9.2	9.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29	29.4	22.8	29.9	22.1	27.4	24.6	28.3	27.1	22.1	23.4	21.1	19.4	17.4	15.1	13.0	13.0	11.0	11.0	10.0	9.1	10.1	9.1	8.9	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	38.0	25.9	38.9	13.6	26.7	36.5	31.1	33.7	31.7	33.7	34.7	35.3	32.3	27.1	24.3	25.6	20.8	18.3	14.6	10.4	7.0	-6.2	-4.2	-2.6	#######
																									!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 3 (INDIGGO)	Brasseur :	Modèlé 4 pâles inconnu	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V6	24	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.2	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	#####	m
Surface local	8.8	m2			
Volume local	22.88	m3			

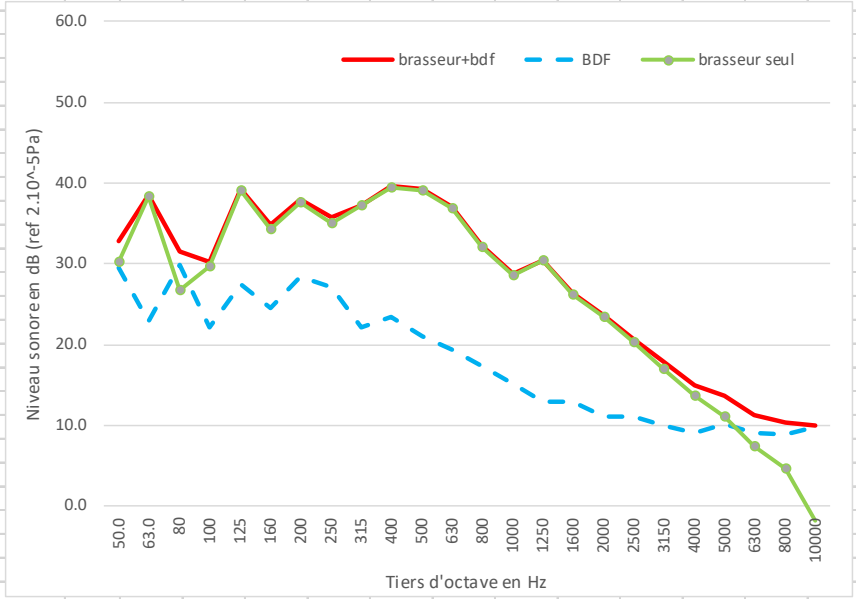
Lp = 42.5 dB(A)

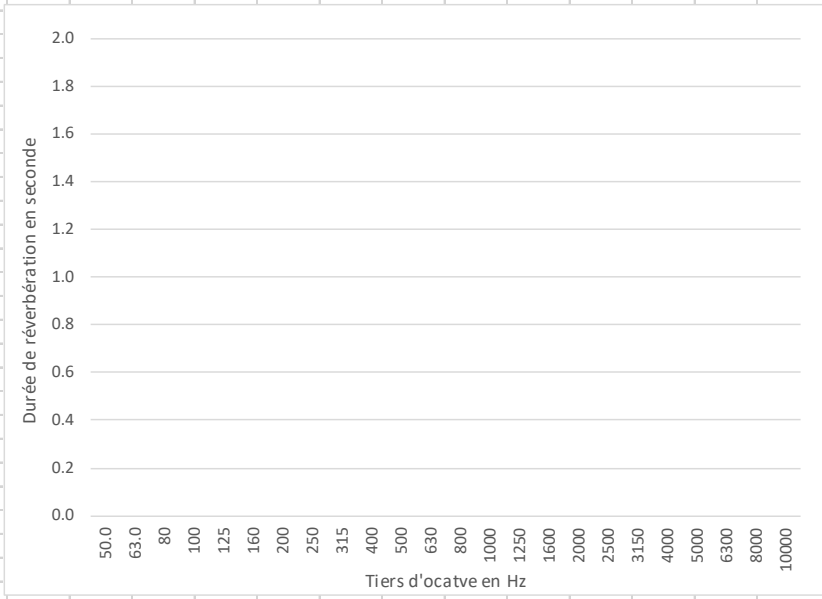
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	42.5	32.8	38.5	31.6	30.3	39.3	34.8	38.0	35.7	37.3	39.6	39.2	37.0	32.3	28.8	30.5	26.3	23.6	20.7	17.8	15.0	13.6	11.3	10.3	10.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29	29.4	22.8	29.9	22.1	27.4	24.6	28.3	27.1	22.1	23.4	21.1	19.4	17.4	15.1	13.0	13.0	11.0	11.0	10.0	9.1	10.1	9.1	8.9	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	42.3	30.1	38.4	26.7	29.6	39.0	34.4	37.5	35.1	37.2	39.5	39.1	36.9	32.2	28.6	30.4	26.1	23.4	20.2	17.0	13.7	11.0	7.3	4.7	-1.8





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 3 (INDIGGO)	Brasseur :	Modèlé 4 pâles inconnu	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1	25	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	#####	m
Surface local	8.8	m2			
Volume local	22.88	m3			

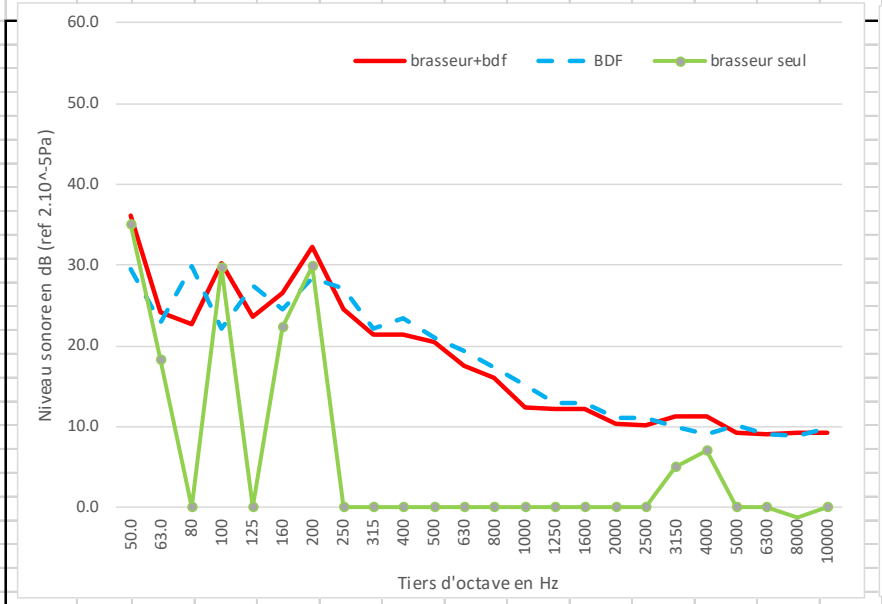
Lp = 27.3 dB(A)

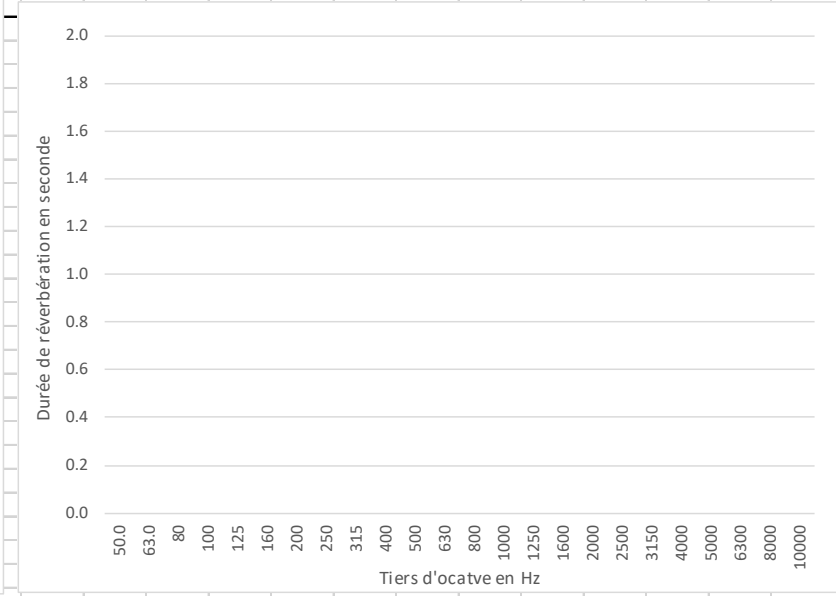
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	27.3	36.1	24.1	22.6	30.3	23.6	26.6	32.2	24.6	21.4	21.3	20.4	17.6	16.1	12.4	12.1	12.2	10.3	10.1	11.2	11.2	9.3	9.1	9.3	9.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29	29.4	22.8	29.9	22.1	27.4	24.6	28.3	27.1	22.1	23.4	21.1	19.4	17.4	15.1	13.0	13.0	11.0	11.0	10.0	9.1	10.1	9.1	8.9	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	#####	35.1	18.2	######	29.6	######	22.3	29.9	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	5.0	7.0	######	######	-1.3	######
				!BDF		!BDF			!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF			!BDF			!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 3 (INDIGGO)	Brasseur :	Modèlé 4 pâles inconnu	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2	26	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	#####	m
Surface local	8.8	m2			
Volume local	22.88	m3			

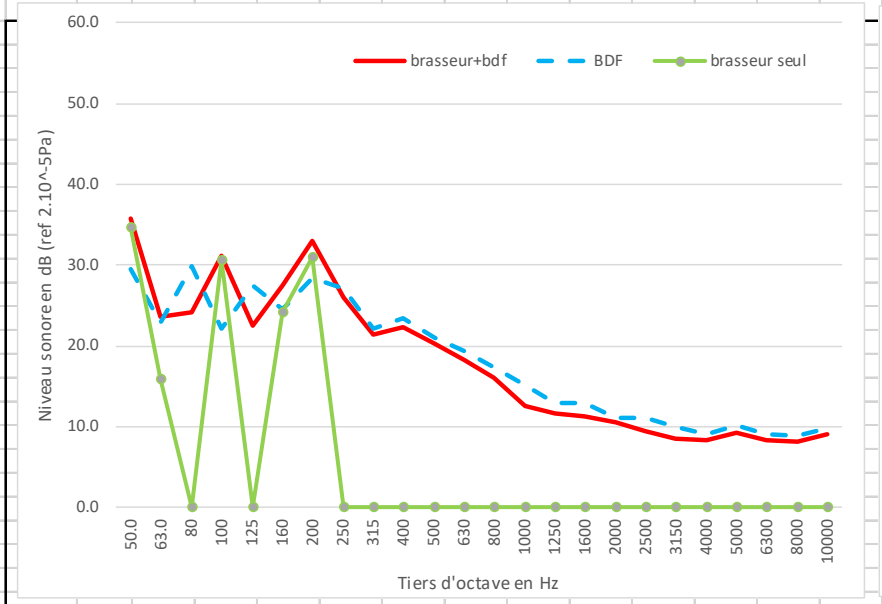
Lp = 27.4 dB(A)

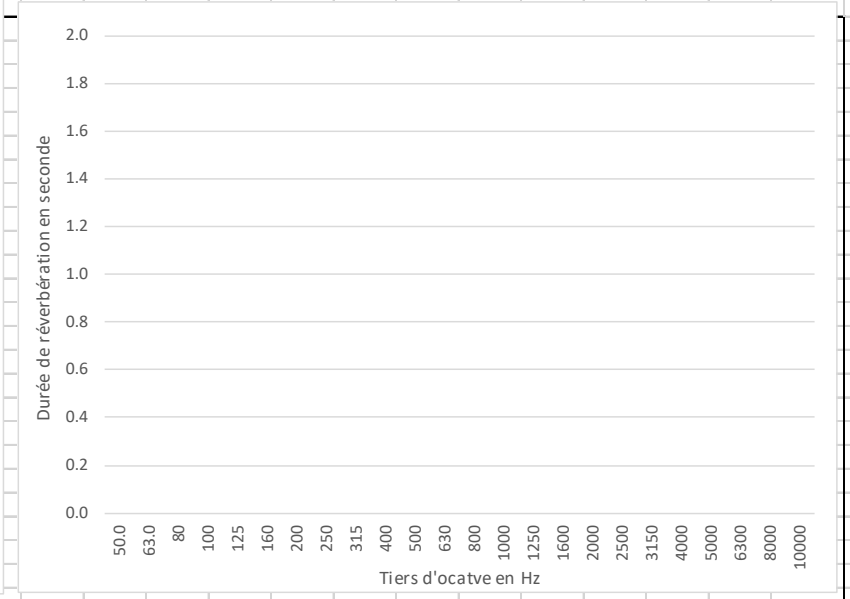
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	27.4	35.8	23.6	24.2	31.2	22.4	27.4	32.9	25.9	21.3	22.3	20.3	18.3	16.1	12.6	11.6	11.2	10.6	9.4	8.4	8.3	9.2	8.3	8.2	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29	29.4	22.8	29.9	22.1	27.4	24.6	28.3	27.1	22.1	23.4	21.1	19.4	17.4	15.1	13.0	13.0	11.0	11.0	10.0	9.1	10.1	9.1	8.9	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	#####	34.7	15.9	######	30.6	######	24.2	31.1	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######
				!BDF		!BDF			!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

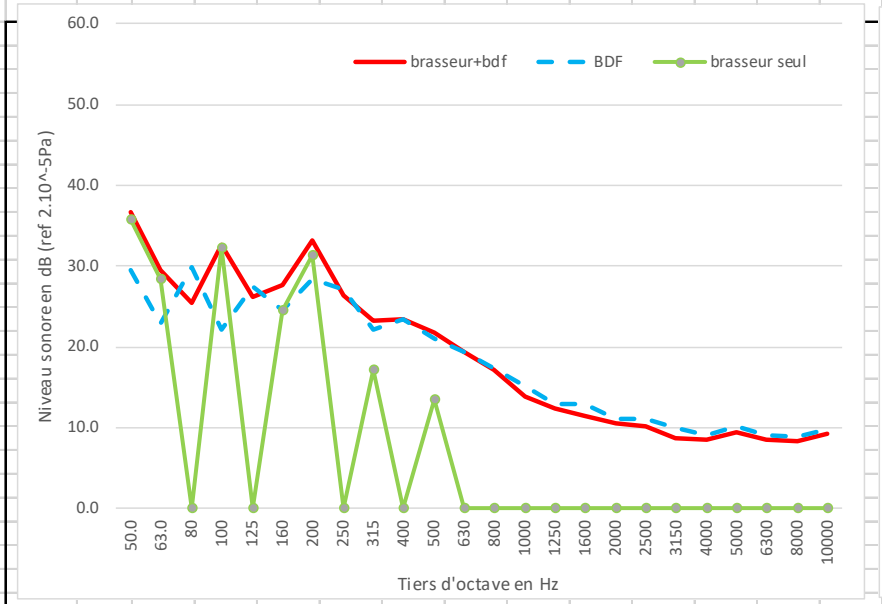
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

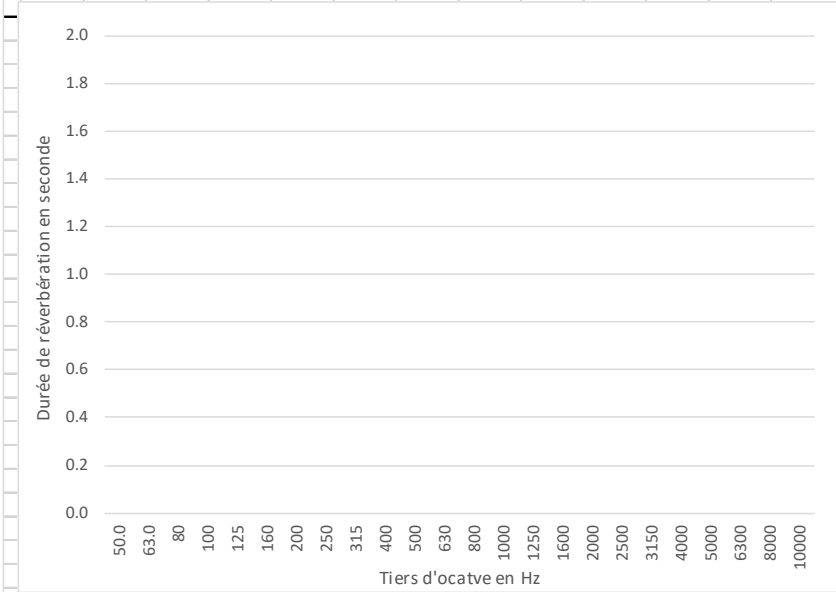
Lieu :	Bureau 3 (INDIGGO)	Brasseur :	Modèlé 4 pâles inconnu	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V3	27	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	#####	m
Surface local	8.8	m2			
Volume local	22.88	m3			

Lp = **28.4** dB(A)

		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	28.4	36.6	29.5	25.4	32.6	26.2	27.6	33.1	26.4	23.3	23.4	21.8	19.3	17.1	13.8	12.4	11.4	10.6	10.1	8.6	8.5	9.4	8.4	8.3	9.2
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29	29.4	22.8	29.9	22.1	27.4	24.6	28.3	27.1	22.1	23.4	21.1	19.4	17.4	15.1	13.0	13.0	11.0	11.0	10.0	9.1	10.1	9.1	8.9	9.7
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	#####	35.7	28.5	######	32.2	######	24.6	31.4	######	17.1	######	13.5	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######
				!BDF		!BDF			!BDF				!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

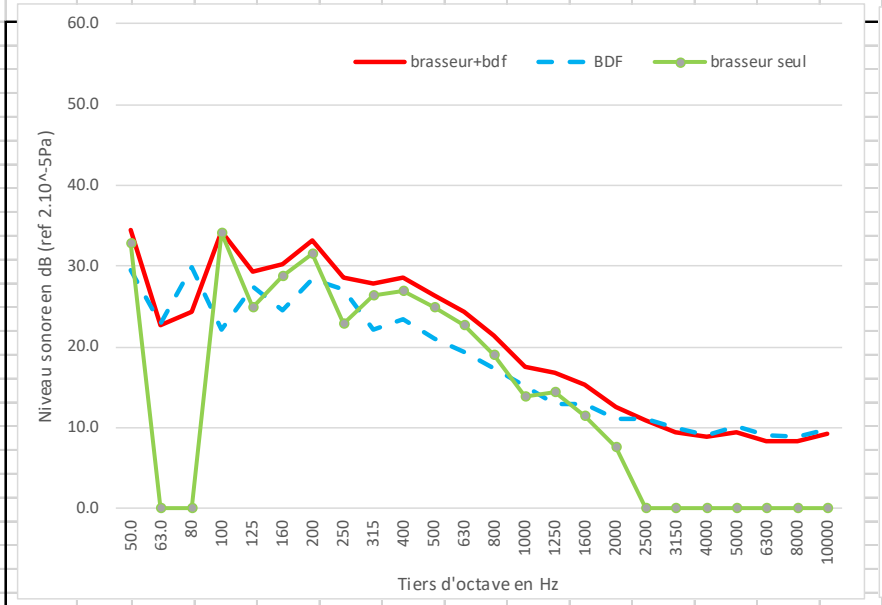
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

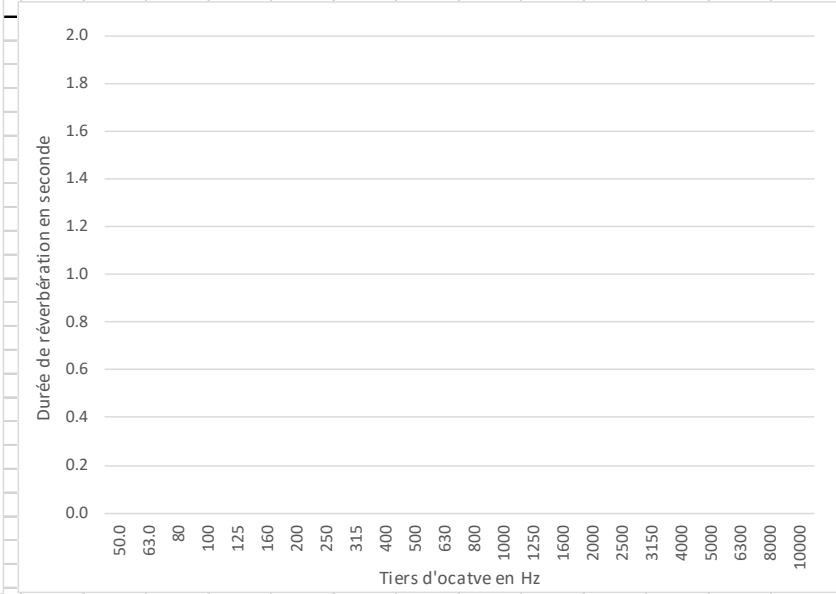
Lieu :	Bureau 3 (INDIGGO)	Brasseur :	Modèlé 4 pâles inconnu	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V4	28	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	#####	m
Surface local	8.8	m2			
Volume local	22.88	m3			

Lp = **31.6** dB(A)

		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	31.6	34.4	22.6	24.3	34.3	29.3	30.2	33.2	28.5	27.8	28.5	26.4	24.3	21.3	17.5	16.8	15.3	12.6	10.8	9.4	8.8	9.4	8.3	8.3	9.3
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29	29.4	22.8	29.9	22.1	27.4	24.6	28.3	27.1	22.1	23.4	21.1	19.4	17.4	15.1	13.0	13.0	11.0	11.0	10.0	9.1	10.1	9.1	8.9	9.7
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	28.1	32.7	######	######	34.0	24.8	28.8	31.5	22.9	26.4	26.9	24.9	22.6	19.0	13.8	14.5	11.4	7.5	######	######	######	######	######	######	######
			!BDF	!BDF															!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 3 (INDIGGO)	Brasseur :	Modèlé 4 pâles inconnu	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V5	29	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	#####	m
Surface local	8.8	m2			
Volume local	22.88	m3			

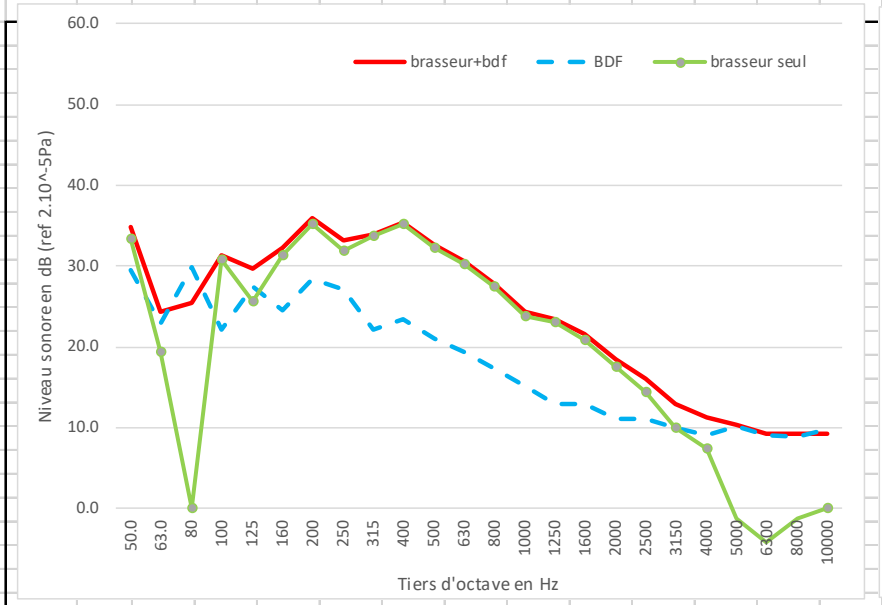
Lp = 37.6 dB(A)

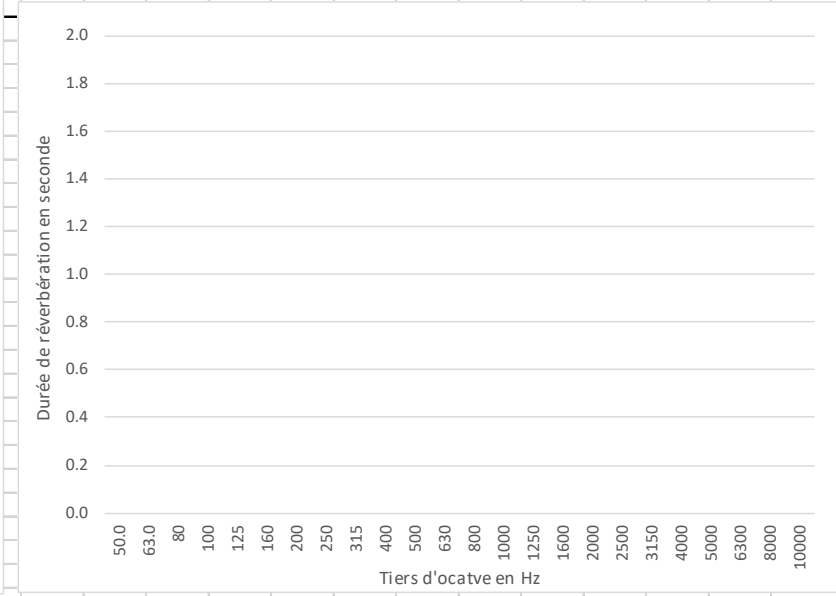
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	37.6	34.8	24.4	25.4	31.3	29.6	32.2	36.0	33.2	34.0	35.4	32.6	30.6	27.8	24.3	23.5	21.5	18.4	16.0	13.0	11.3	10.4	9.3	9.3	9.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29	29.4	22.8	29.9	22.1	27.4	24.6	28.3	27.1	22.1	23.4	21.1	19.4	17.4	15.1	13.0	13.0	11.0	11.0	10.0	9.1	10.1	9.1	8.9	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	37.0	33.3	19.3	######	30.7	25.6	31.4	35.2	32.0	33.7	35.1	32.3	30.3	27.4	23.7	23.1	20.8	17.5	14.3	10.0	7.3	-1.4	-4.2	-1.3	#######
				!BDF																					!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau 3 (INDIGGO)	**Brasseur :**	Modèlé 4 pâles inconnu	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V6	30	21-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	#####	m
Surface local	8.8	m2			
Volume local	22.88	m3			

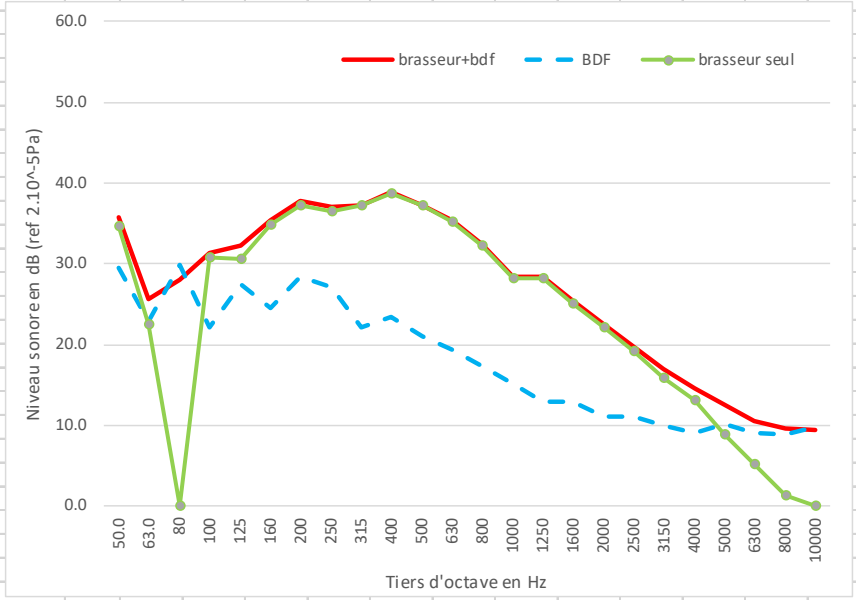
Lp = 41.4 dB(A)

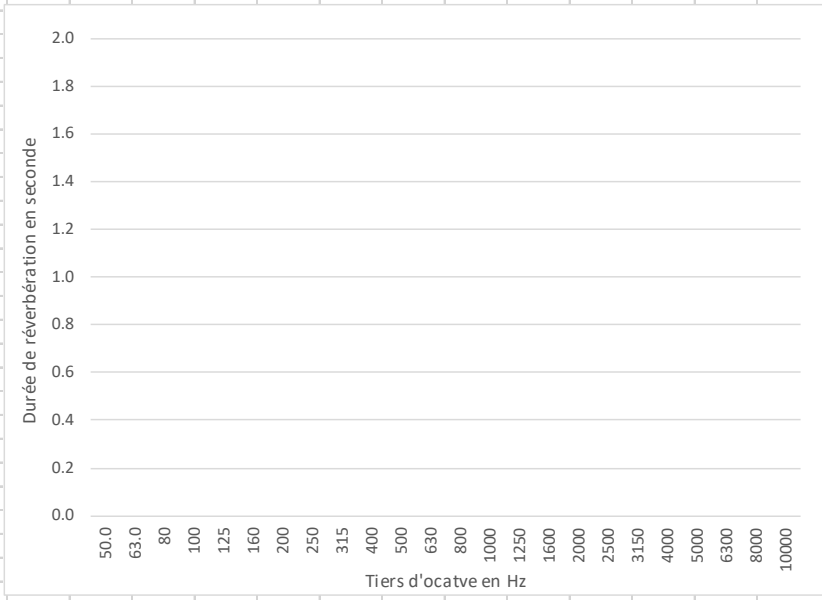
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	41.4	35.8	25.7	28.0	31.3	32.3	35.3	37.8	37.0	37.3	38.8	37.3	35.3	32.4	28.4	28.3	25.4	22.5	19.8	16.9	14.5	12.5	10.6	9.6	9.4

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29	29.4	22.8	29.9	22.1	27.4	24.6	28.3	27.1	22.1	23.4	21.1	19.4	17.4	15.1	13.0	13.0	11.0	11.0	10.0	9.1	10.1	9.1	8.9	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	41.1	34.7	22.6	######	30.7	30.6	34.9	37.3	36.5	37.2	38.7	37.2	35.2	32.3	28.2	28.2	25.1	22.2	19.2	15.9	13.0	8.8	5.3	1.3	#######
				!BDF																					!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle rééduc(Maison de retraite SOUBEIRAN)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V1	31	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	79.33	m2			
Volume local	182.5	m3			

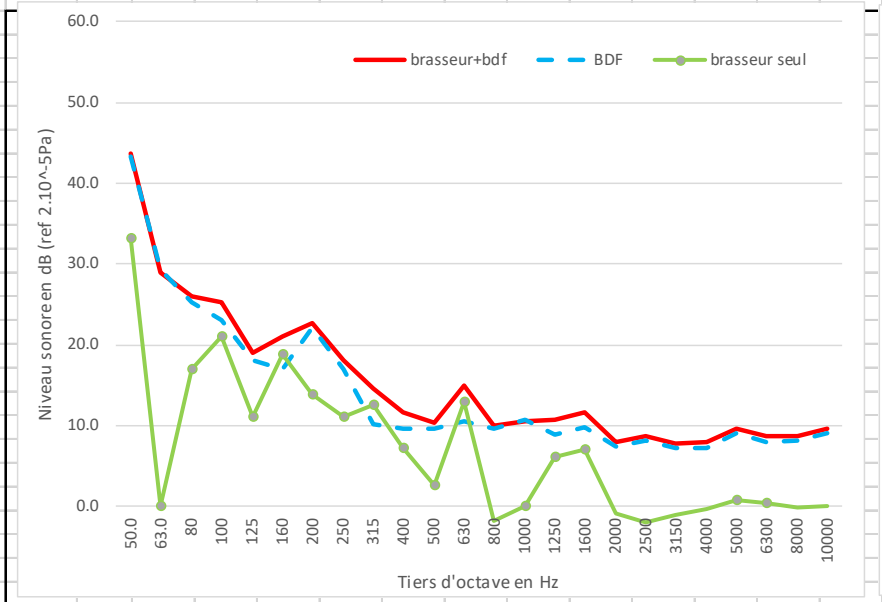
Lp = 22.9 dB(A)

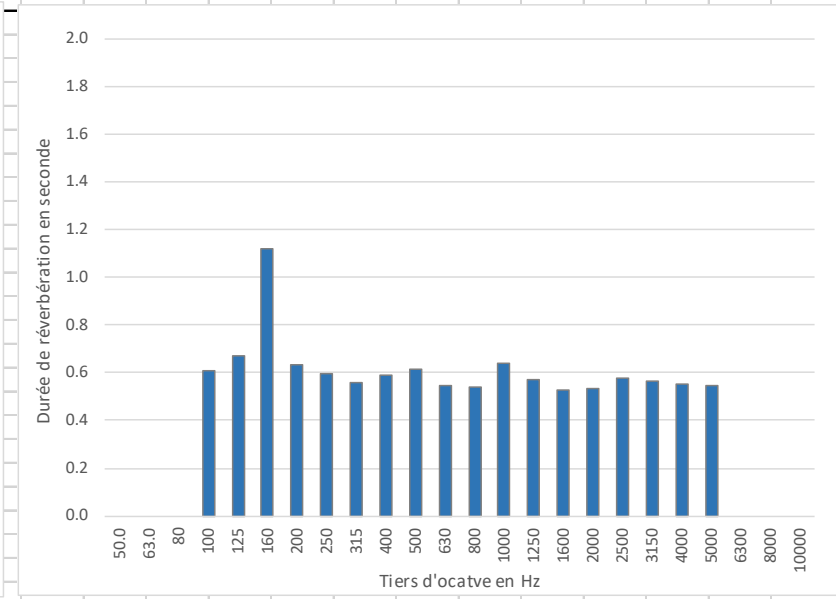
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	22.9	43.7	29.0	25.9	25.2	18.9	21.0	22.7	18.0	14.5	11.6	10.4	14.9	9.9	10.6	10.7	11.6	7.9	8.6	7.8	7.9	9.6	8.7	8.7	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.4	43.3	29.3	25.3	23.1	18.1	16.9	22.1	17.0	10.2	9.6	9.6	10.6	9.6	10.7	8.9	9.7	7.3	8.2	7.2	7.2	9.0	8.0	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	17.6	33.1	######	17.0	21.0	11.2	18.9	13.8	11.1	12.5	7.3	2.7	12.9	-1.9	######	6.0	7.1	-1.0	-2.0	-1.1	-0.4	0.7	0.4	-0.2	0.0
			!BDF												!BDF										





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle rééduc(Maison de retraite SOUBEIRAN)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V2	32	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	79.33	m2			
Volume local	182.5	m3			

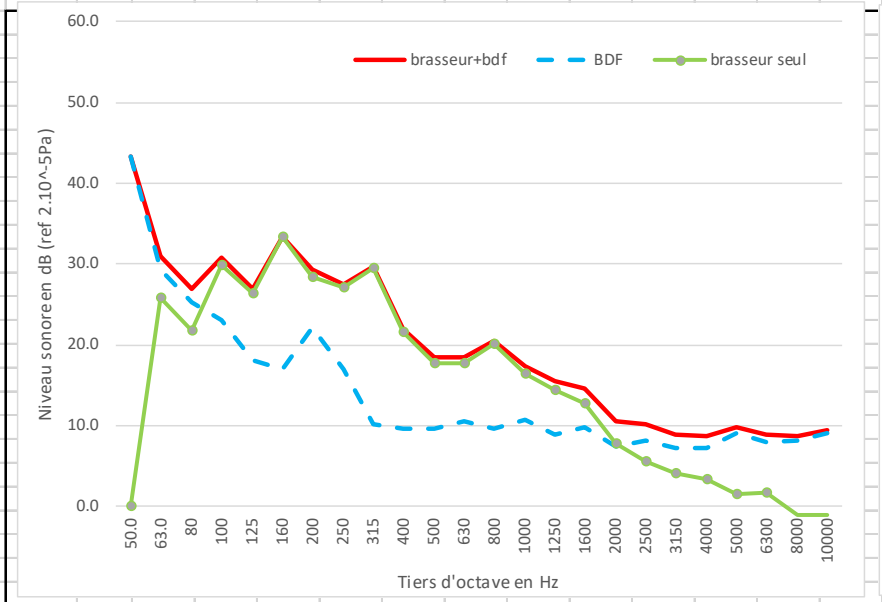
Lp = 29.7 dB(A)

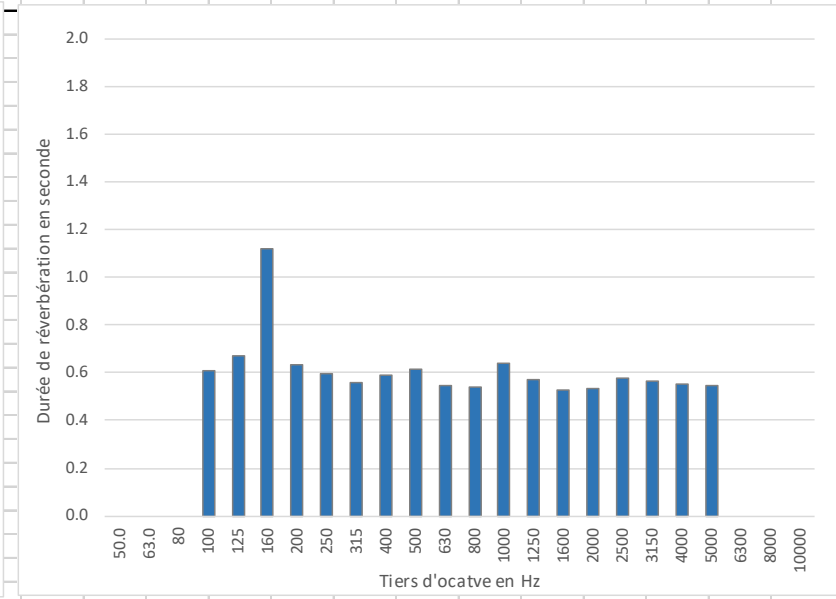
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	29.7	43.3	30.9	26.9	30.7	26.9	33.4	29.3	27.5	29.6	21.9	18.4	18.5	20.4	17.4	15.4	14.5	10.5	10.1	8.9	8.7	9.7	8.9	8.6	9.5

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.4	43.3	29.3	25.3	23.1	18.1	16.9	22.1	17.0	10.2	9.6	9.6	10.6	9.6	10.7	8.9	9.7	7.3	8.2	7.2	7.2	9.0	8.0	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	29.0	######	25.8	21.8	29.9	26.3	33.3	28.4	27.1	29.5	21.6	17.8	17.7	20.0	16.4	14.3	12.8	7.7	5.6	4.0	3.4	1.4	1.6	-1.0	-1.1





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle rééduc(Maison de retraite SOUBEIRAN)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V3	33	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	79.33	m2			
Volume local	182.5	m3			

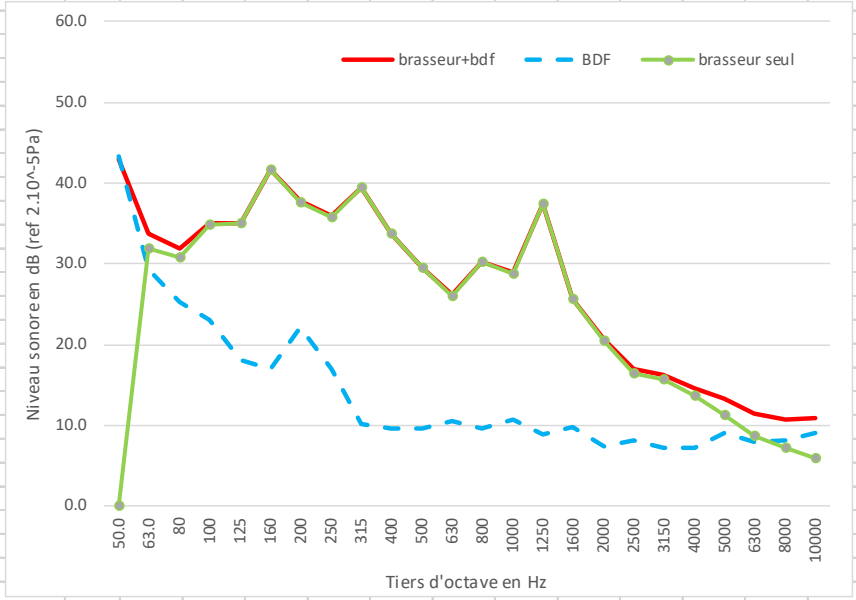
Lp = 41.6 dB(A)

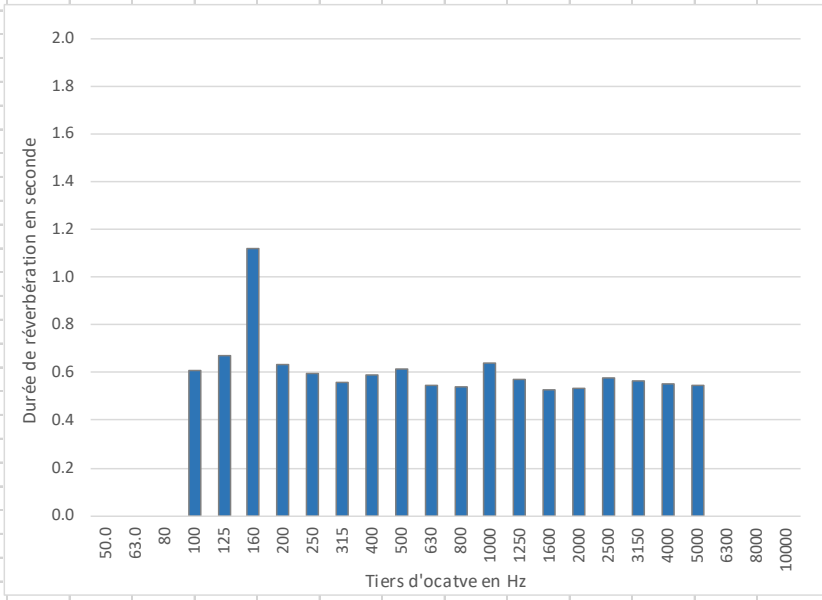
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	41.6	43.0	33.8	31.9	35.1	35.1	41.7	37.7	35.9	39.5	33.8	29.5	26.2	30.2	28.9	37.5	25.7	20.7	17.0	16.2	14.5	13.3	11.4	10.7	10.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.4	43.3	29.3	25.3	23.1	18.1	16.9	22.1	17.0	10.2	9.6	9.6	10.6	9.6	10.7	8.9	9.7	7.3	8.2	7.2	7.2	9.0	8.0	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	41.6	######	31.9	30.8	34.8	35.0	41.7	37.6	35.8	39.5	33.8	29.5	26.1	30.2	28.8	37.5	25.6	20.5	16.4	15.6	13.6	11.3	8.7	7.2	5.9
		!BDF																							





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle rééduc(Maison de retraite SOUBEIRAN)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V1	34	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.7	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	79.33	m2			
Volume local	182.5	m3			

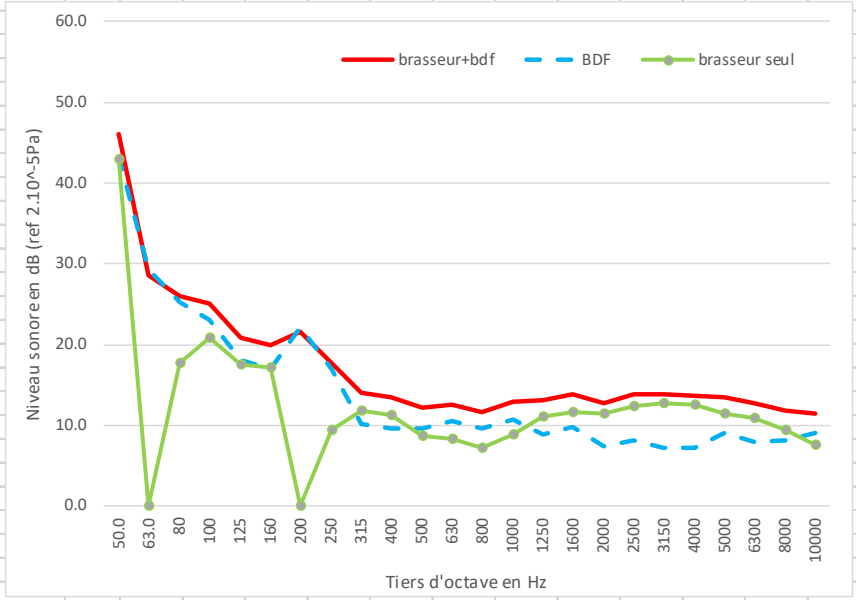
Lp = 25.7 dB(A)

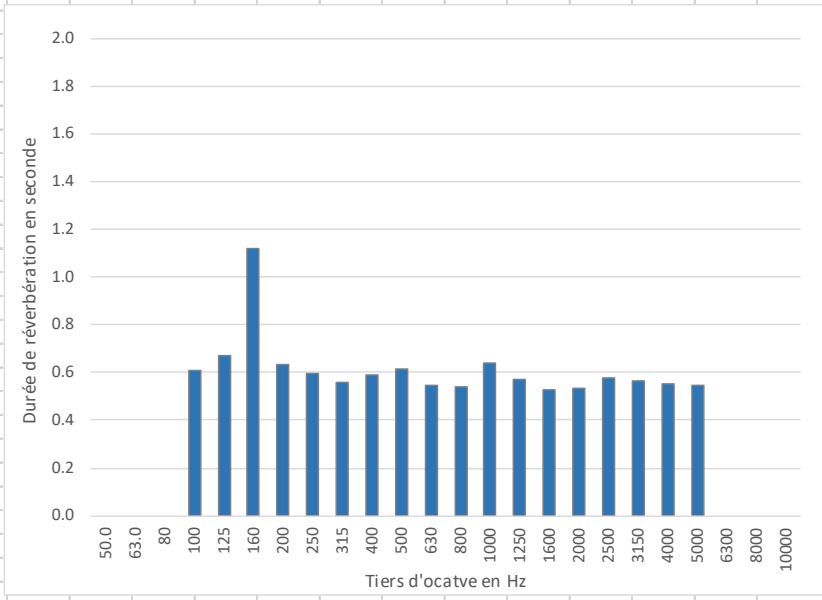
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	25.7	46.1	28.6	26.0	25.1	20.8	20.0	21.6	17.7	14.1	13.5	12.2	12.6	11.6	12.9	13.1	13.8	12.8	13.8	13.8	13.6	13.4	12.7	11.8	11.4

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.4	43.3	29.3	25.3	23.1	18.1	16.9	22.1	17.0	10.2	9.6	9.6	10.6	9.6	10.7	8.9	9.7	7.3	8.2	7.2	7.2	9.0	8.0	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	23.7	42.9	######	17.7	20.8	17.5	17.1	######	9.4	11.8	11.2	8.7	8.3	7.3	8.9	11.0	11.7	11.4	12.4	12.7	12.5	11.4	10.9	9.4	7.5
			!BDF					!BDF																	





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle rééduc(Maison de retraite SOUBEIRAN)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2	35	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	79.33	m2			
Volume local	182.5	m3			

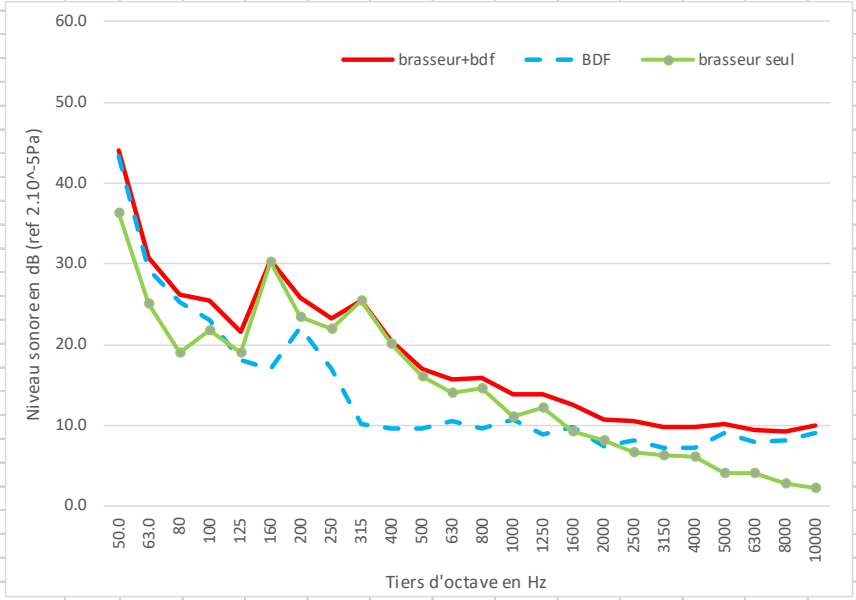
Lp = 26.9 dB(A)

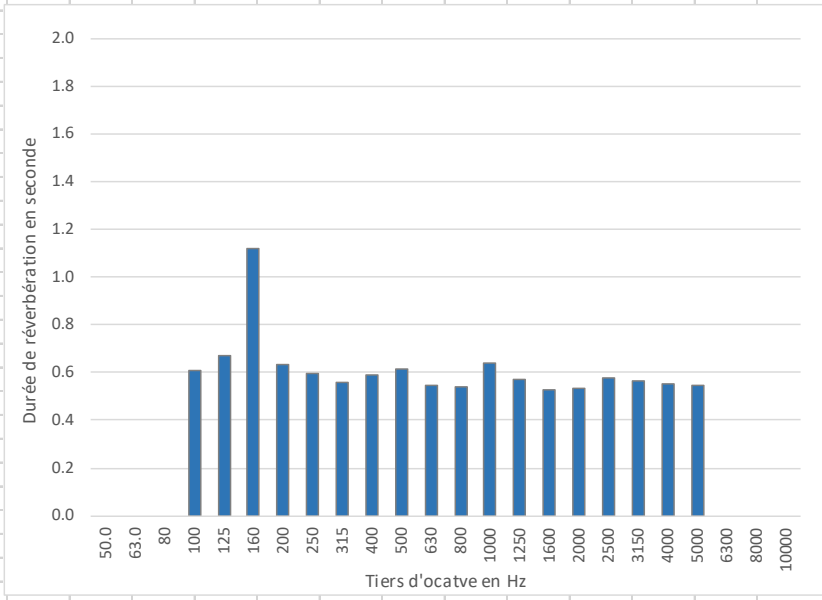
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	26.9	44.1	30.7	26.2	25.5	21.6	30.5	25.8	23.2	25.5	20.5	16.9	15.6	15.8	13.9	13.9	12.5	10.7	10.5	9.8	9.7	10.2	9.5	9.2	9.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.4	43.3	29.3	25.3	23.1	18.1	16.9	22.1	17.0	10.2	9.6	9.6	10.6	9.6	10.7	8.9	9.7	7.3	8.2	7.2	7.2	9.0	8.0	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	25.5	36.4	25.1	18.9	21.8	19.0	30.3	23.4	22.0	25.4	20.1	16.0	13.9	14.6	11.1	12.2	9.3	8.0	6.6	6.3	6.1	4.0	4.2	2.7	2.2





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle rééduc(Maison de retraite SOUBEIRAN)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V3	36	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	79.33	m2			
Volume local	182.5	m3			

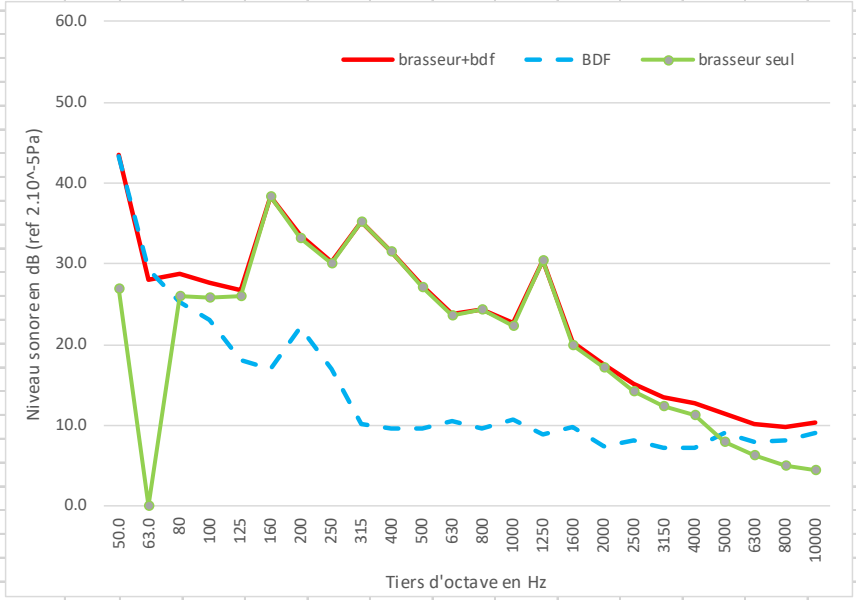
Lp = 36.5 dB(A)

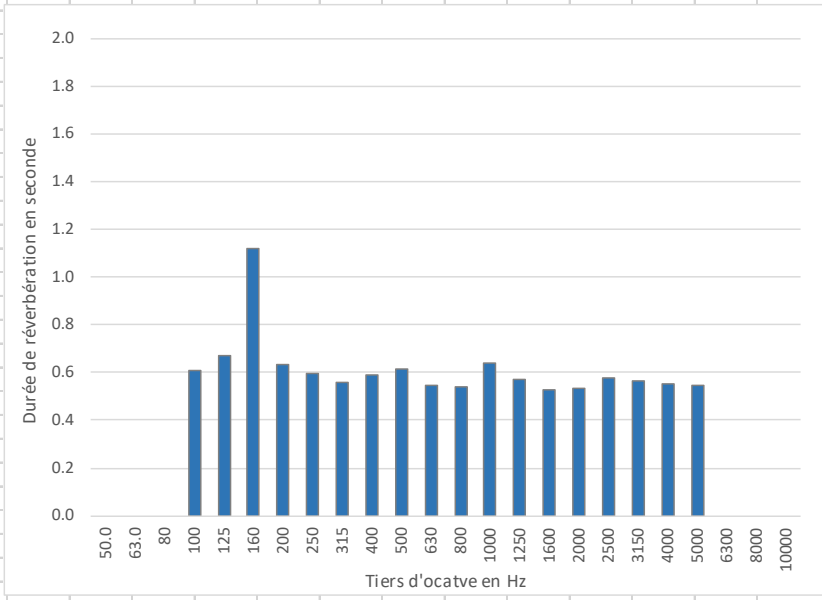
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	36.5	43.4	28.1	28.7	27.7	26.7	38.3	33.5	30.2	35.2	31.5	27.2	23.8	24.4	22.6	30.5	20.3	17.6	15.2	13.5	12.7	11.5	10.2	9.8	10.4

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.4	43.3	29.3	25.3	23.1	18.1	16.9	22.1	17.0	10.2	9.6	9.6	10.6	9.6	10.7	8.9	9.7	7.3	8.2	7.2	7.2	9.0	8.0	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	36.4	27.0	######	26.0	25.9	26.1	38.3	33.2	30.0	35.2	31.5	27.1	23.6	24.3	22.3	30.5	19.9	17.2	14.2	12.3	11.3	7.9	6.2	4.9	4.5
			!BDF																						





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle rééduc(Maison de retraite SOUBEIRAN)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1	37	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	3.1	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	79.33	m2			
Volume local	182.5	m3			

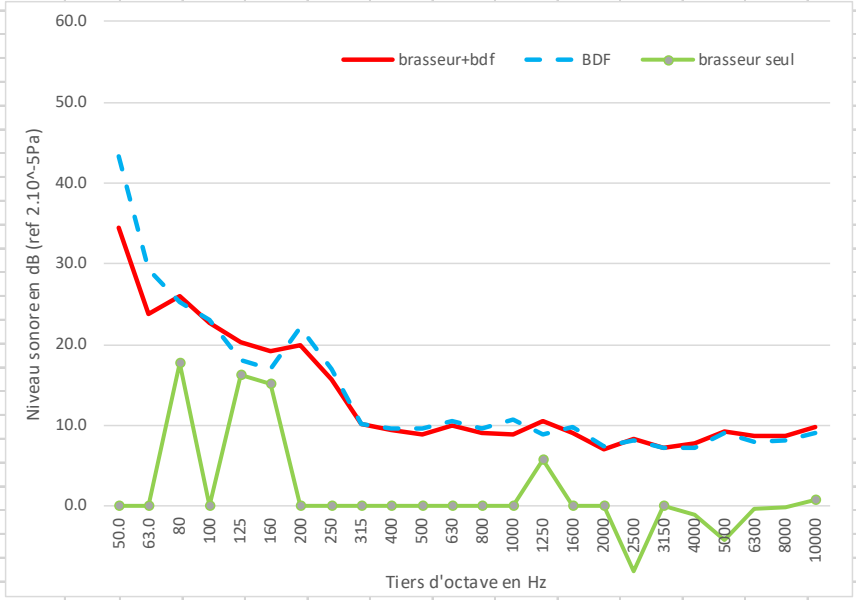
Lp = 20.7 dB(A)

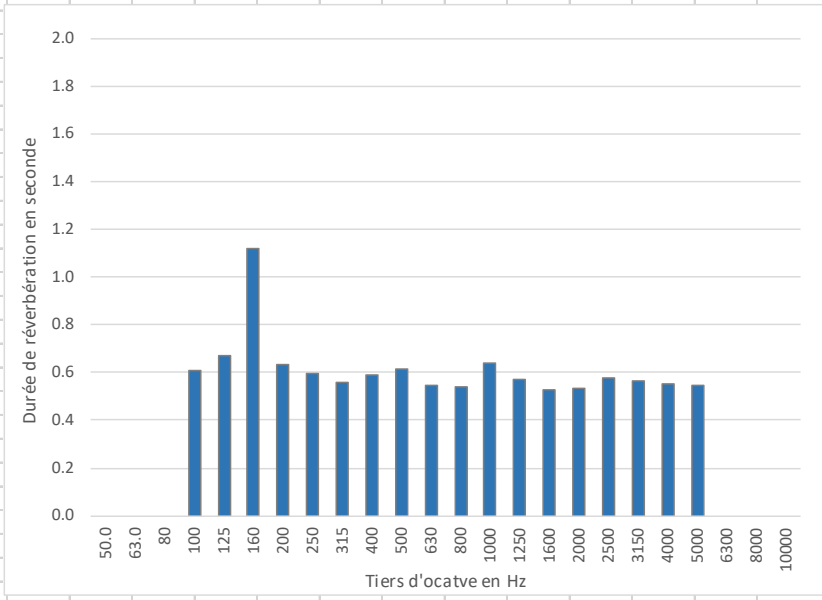
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	20.7	34.5	23.8	26.0	22.7	20.3	19.1	20.0	15.6	10.2	9.4	8.8	10.0	9.1	8.9	10.6	9.0	7.1	8.3	7.2	7.8	9.2	8.6	8.7	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.4	43.3	29.3	25.3	23.1	18.1	16.9	22.1	17.0	10.2	9.6	9.6	10.6	9.6	10.7	8.9	9.7	7.3	8.2	7.2	7.2	9.0	8.0	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	######	######	######	17.7	######	16.3	15.1	######	######	######	######	######	######	######	######	5.7	######	######	-8.1	######	-1.1	-4.3	-0.3	-0.2	0.8
		!BDF	!BDF		!BDF			!BDF	!BDF		!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF		!BDF	!BDF							





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle rééduc(Maison de retraite SOUBEIRAN)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V2	38	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	79.33	m2			
Volume local	182.5	m3			

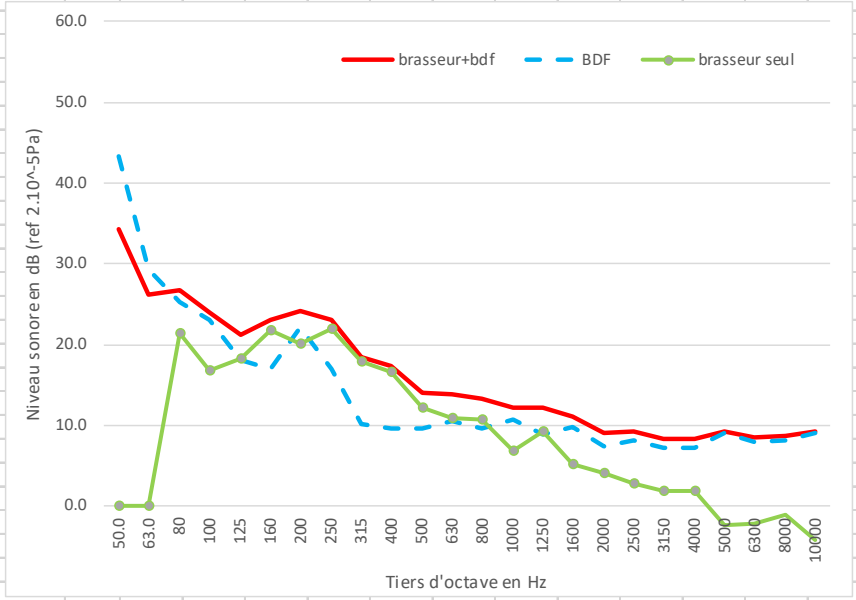
Lp = 24.1 dB(A)

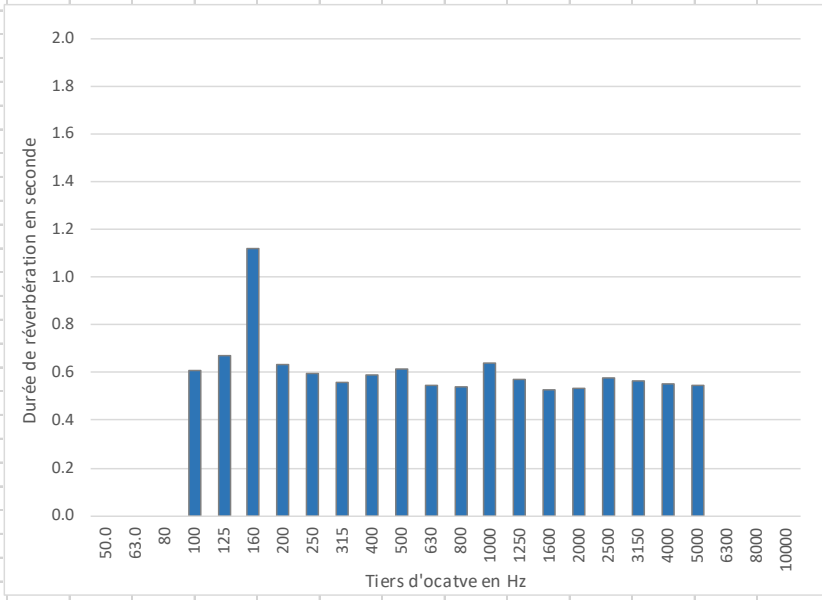
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	24.1	34.3	26.2	26.8	24.0	21.2	23.0	24.2	23.1	18.5	17.4	14.1	13.8	13.2	12.2	12.1	11.0	9.0	9.3	8.3	8.3	9.3	8.4	8.6	9.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.4	43.3	29.3	25.3	23.1	18.1	16.9	22.1	17.0	10.2	9.6	9.6	10.6	9.6	10.7	8.9	9.7	7.3	8.2	7.2	7.2	9.0	8.0	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	20.8	######	######	21.5	16.7	18.3	21.8	20.0	21.9	17.8	16.6	12.2	11.0	10.7	6.9	9.3	5.1	4.1	2.8	1.8	1.8	-2.5	-2.2	-1.0	-4.2
		!BDF	!BDF																						





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle rééduc(Maison de retraite SOUBEIRAN)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V3	39	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	79.33	m2			
Volume local	182.5	m3			

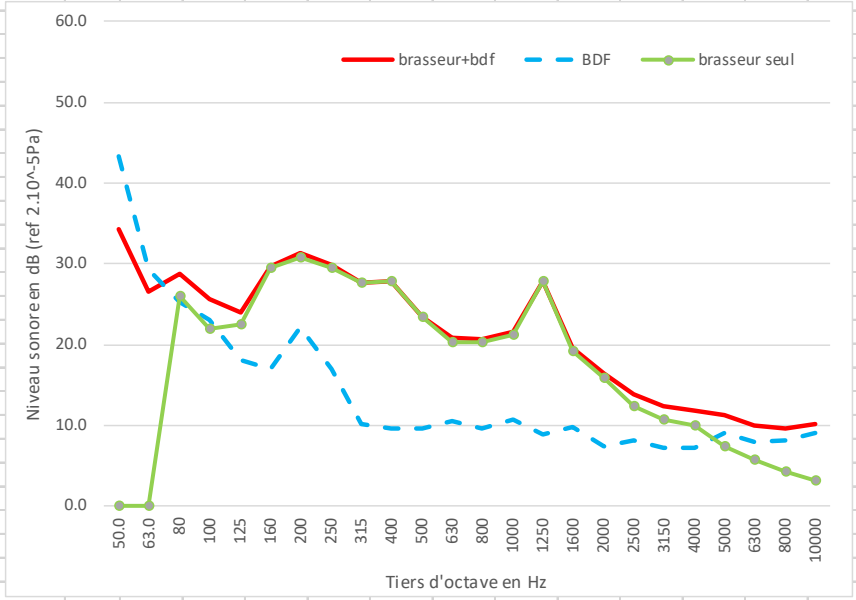
Lp = 33.2 dB(A)

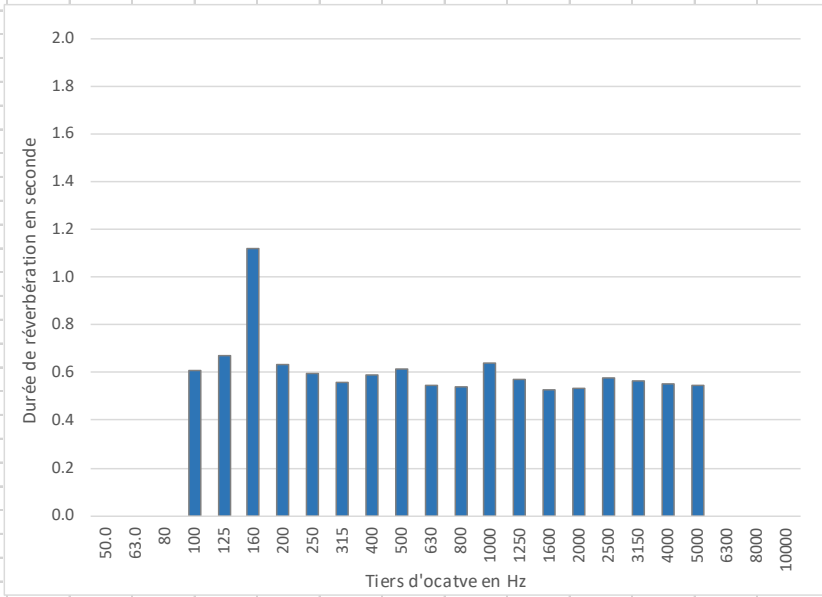
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	33.2	34.3	26.6	28.7	25.6	23.9	29.7	31.4	29.8	27.7	27.9	23.5	20.8	20.7	21.5	27.8	19.6	16.4	13.8	12.3	11.8	11.3	10.0	9.6	10.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.4	43.3	29.3	25.3	23.1	18.1	16.9	22.1	17.0	10.2	9.6	9.6	10.6	9.6	10.7	8.9	9.7	7.3	8.2	7.2	7.2	9.0	8.0	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	32.9	######	######	26.0	22.0	22.6	29.5	30.9	29.6	27.6	27.8	23.3	20.4	20.3	21.1	27.7	19.1	15.8	12.4	10.7	10.0	7.4	5.7	4.3	3.2
		!BDF	!BDF																						





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle rééduc(Maison de retraite SOUBEIRAN)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V1	40	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	9.7	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	79.33	m2			
Volume local	182.5	m3			

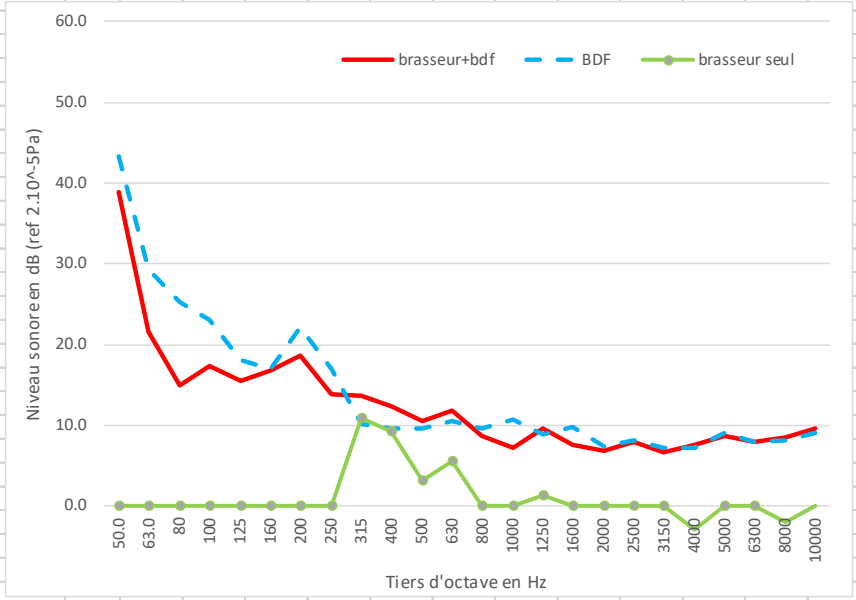
Lp = 20.2 dB(A)

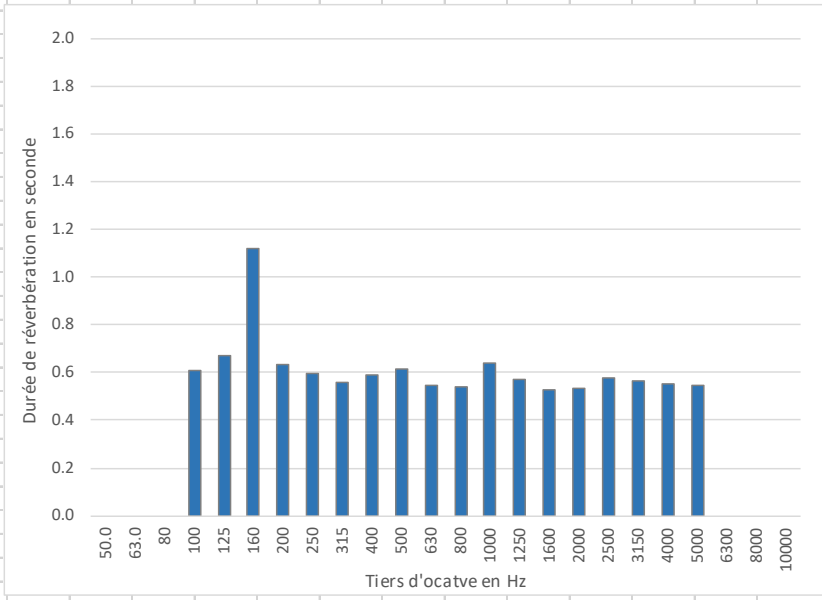
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	20.2	38.8	21.6	14.9	17.4	15.4	16.8	18.7	13.9	13.6	12.4	10.5	11.8	8.6	7.2	9.6	7.5	6.8	8.0	6.7	7.6	8.6	8.0	8.5	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.4	43.3	29.3	25.3	23.1	18.1	16.9	22.1	17.0	10.2	9.6	9.6	10.6	9.6	10.7	8.9	9.7	7.3	8.2	7.2	7.2	9.0	8.0	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	######	######	######	######	######	######	######	######	######	10.9	9.2	3.2	5.6	######	######	1.3	######	######	######	######	-3.0	######	######	-2.1	0.0
		!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF					!BDF	!BDF		!BDF	!BDF	!BDF	!BDF		!BDF			





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle rééduc(Maison de retraite SOUBEIRAN)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2	41	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	79.33	m2			
Volume local	182.5	m3			

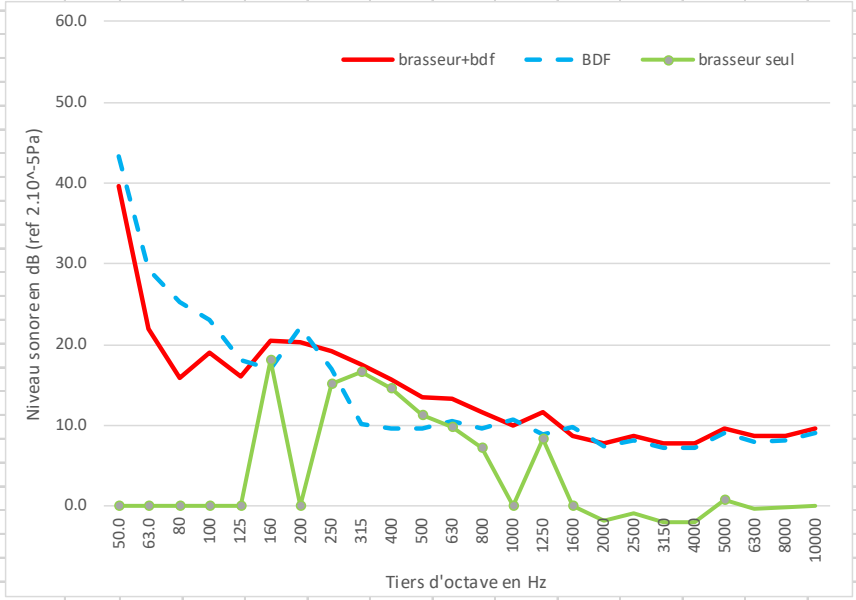
Lp = 22.5 dB(A)

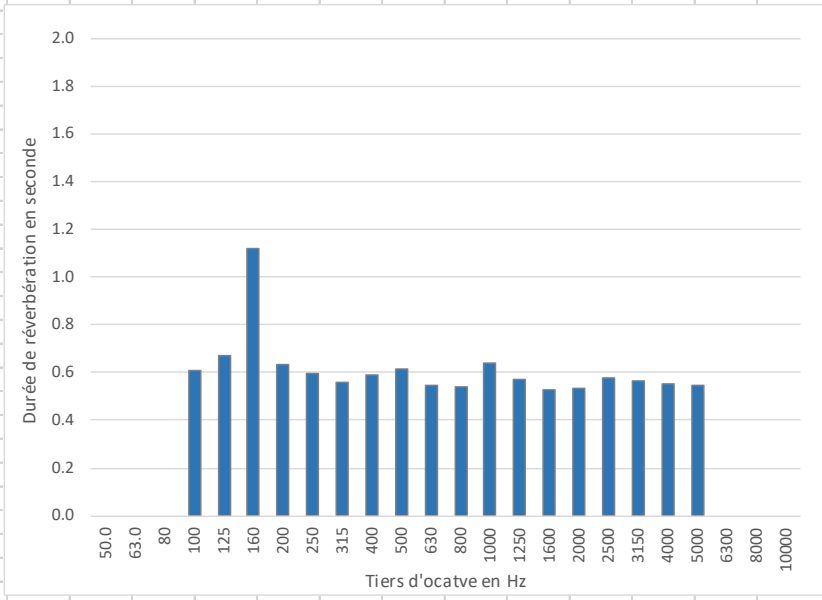
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	22.5	39.6	21.9	15.8	18.9	16.0	20.5	20.2	19.2	17.5	15.7	13.5	13.2	11.6	10.0	11.6	8.7	7.8	8.7	7.7	7.7	9.6	8.6	8.7	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.4	43.3	29.3	25.3	23.1	18.1	16.9	22.1	17.0	10.2	9.6	9.6	10.6	9.6	10.7	8.9	9.7	7.3	8.2	7.2	7.2	9.0	8.0	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	16.0	######	######	######	######	######	18.0	######	15.2	16.6	14.5	11.2	9.7	7.3	######	8.3	######	-1.8	-0.9	-1.9	-1.9	0.7	-0.3	-0.2	0.0
		!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF		!BDF							!BDF		!BDF								





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle rééduc(Maison de retraite SOUBEIRAN)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V3	42	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.8	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	79.33	m2			
Volume local	182.5	m3			

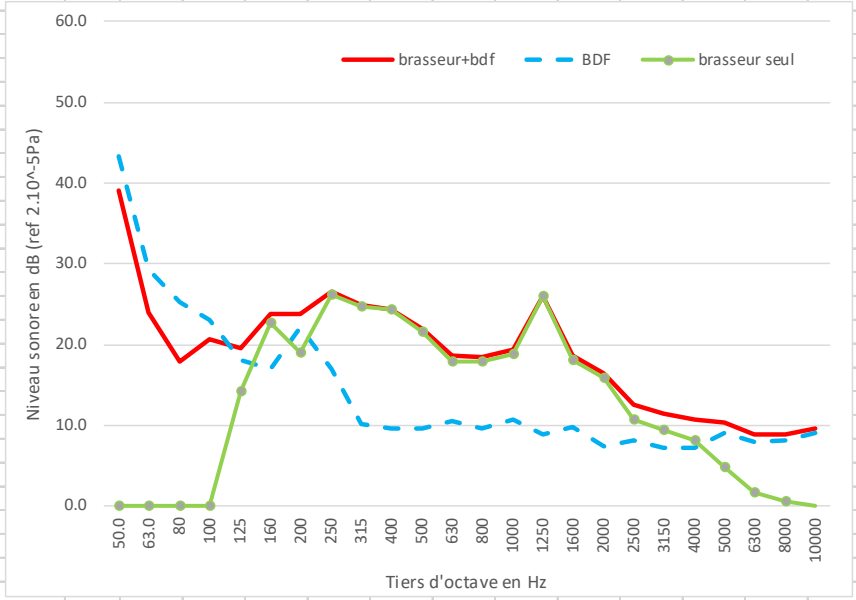
Lp = 30.6 dB(A)

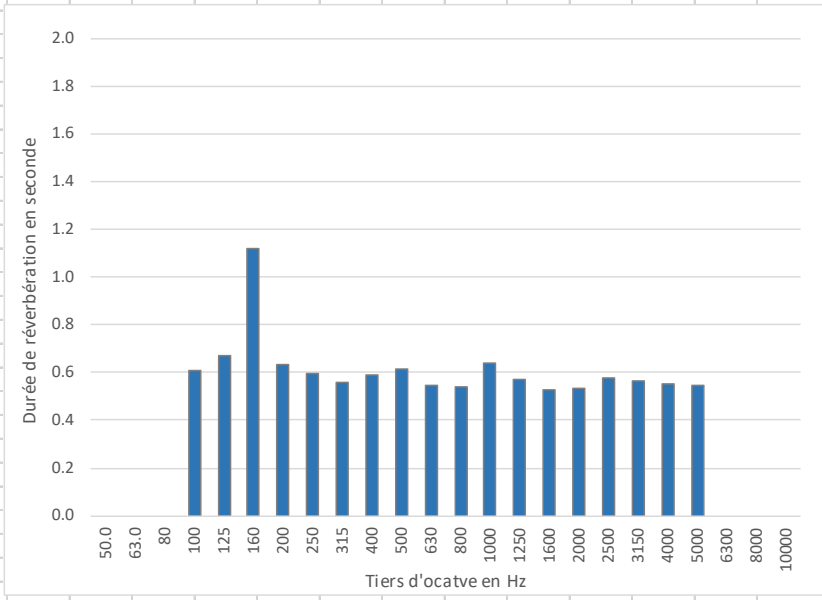
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	30.6	39.0	23.9	17.9	20.7	19.6	23.7	23.8	26.6	24.8	24.4	21.9	18.7	18.5	19.4	26.0	18.6	16.4	12.6	11.5	10.7	10.4	8.9	8.8	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.4	43.3	29.3	25.3	23.1	18.1	16.9	22.1	17.0	10.2	9.6	9.6	10.6	9.6	10.7	8.9	9.7	7.3	8.2	7.2	7.2	9.0	8.0	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	30.0	######	######	######	######	14.3	22.7	18.9	26.1	24.6	24.3	21.6	18.0	17.9	18.8	25.9	18.0	15.8	10.6	9.5	8.1	4.8	1.6	0.5	0.0
		!BDF	!BDF	!BDF	!BDF																				





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Chambre(Maison de retraite SOUBEIRAN)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1	43	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.3	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	24.7	m2			
Volume local	61.75	m3			

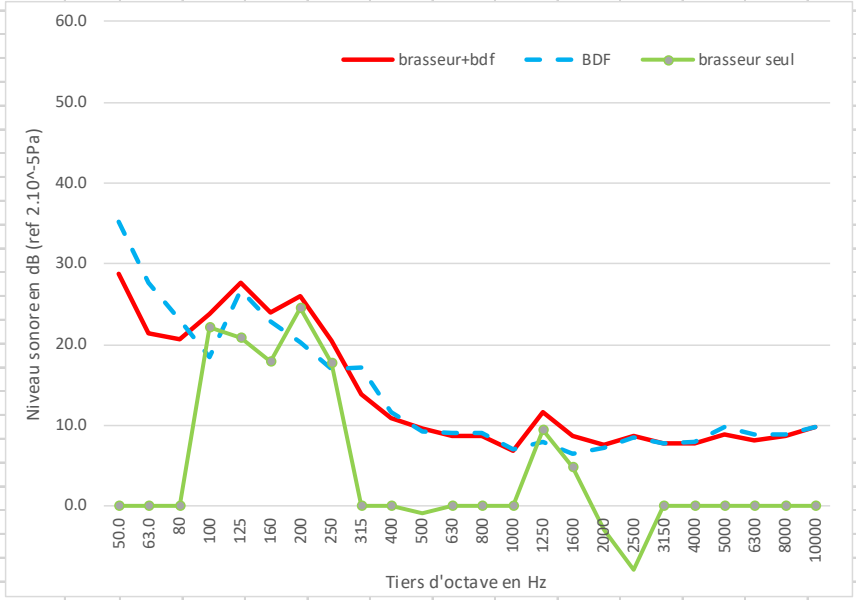
Lp = 21.8 dB(A)

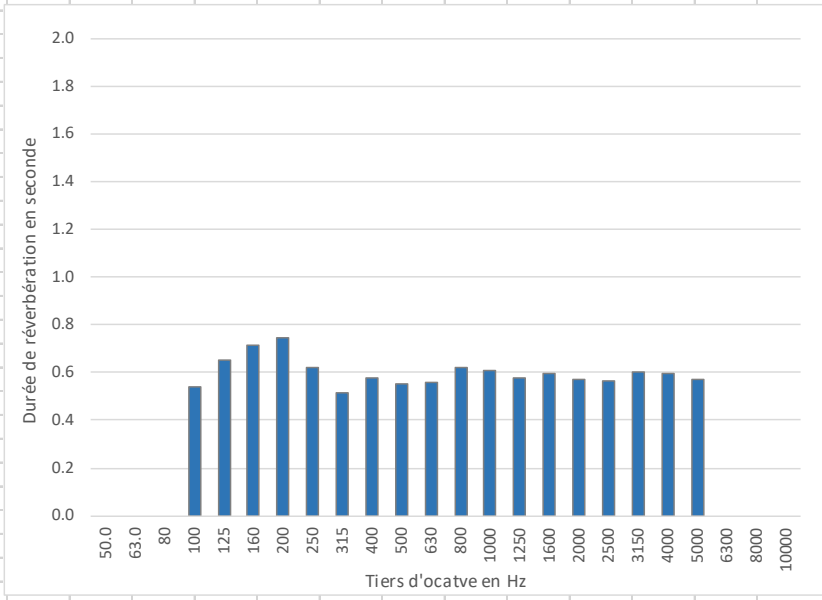
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	21.8	28.8	21.3	20.6	23.7	27.7	24.0	25.9	20.4	13.8	10.9	9.6	8.7	8.6	6.8	11.7	8.7	7.6	8.6	7.7	7.7	8.8	8.1	8.6	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.2	35.2	27.6	23.0	18.4	26.7	22.8	20.3	17.0	17.2	11.7	9.2	9.0	9.1	7.0	7.9	6.4	7.2	8.5	7.7	8.0	9.7	8.8	8.9	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	12.9	######	######	######	22.2	20.8	17.8	24.5	17.7	######	######	-1.0	######	######	######	9.4	4.8	-3.0	-7.8	######	######	######	######	######	######
		!BDF	!BDF	!BDF						!BDF	!BDF		!BDF	!BDF	!BDF						!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Chambre(Maison de retraite SOUBEIRAN)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2	44	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.3	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	24.7	m2			
Volume local	61.75	m3			

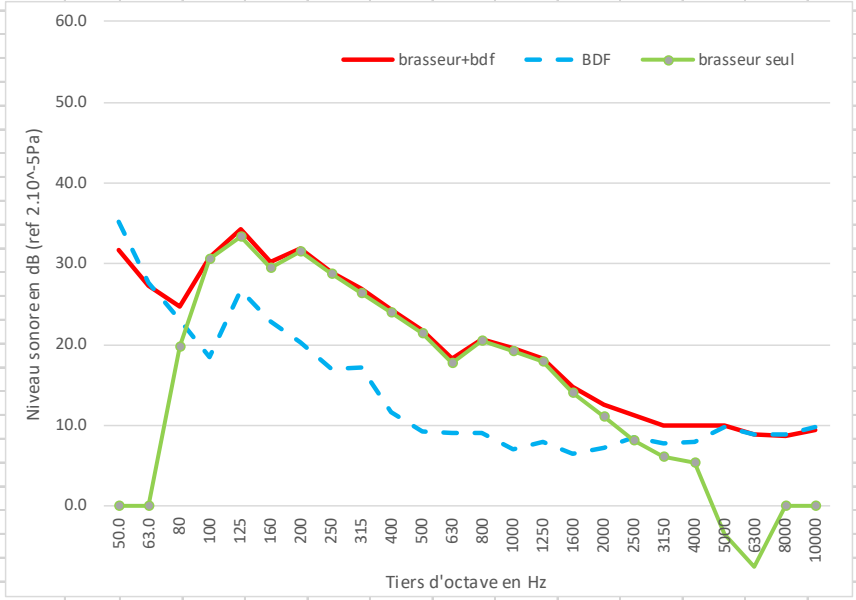
Lp = 30.3 dB(A)

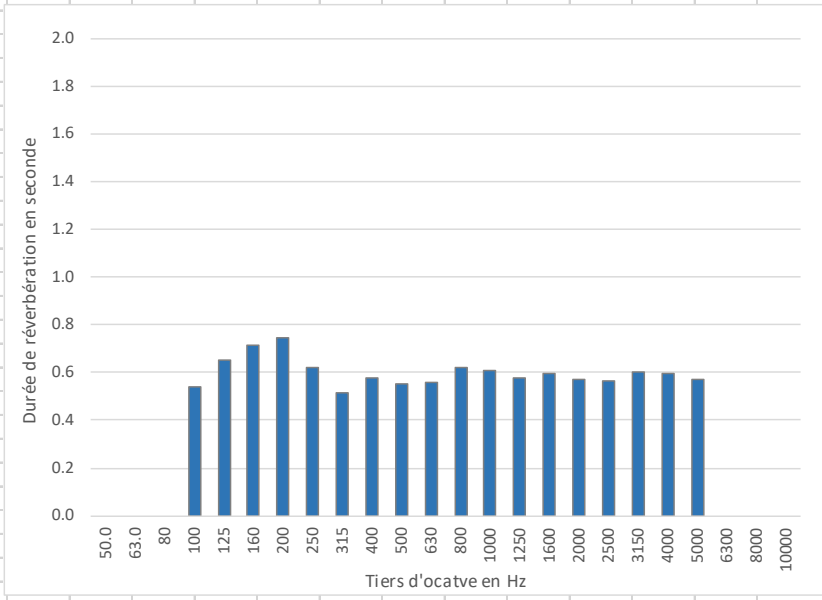
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	30.3	31.7	27.3	24.7	30.8	34.2	30.3	31.8	29.0	26.9	24.3	21.7	18.3	20.7	19.5	18.3	14.7	12.5	11.3	10.0	9.9	9.9	8.9	8.7	9.5

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.2	35.2	27.6	23.0	18.4	26.7	22.8	20.3	17.0	17.2	11.7	9.2	9.0	9.1	7.0	7.9	6.4	7.2	8.5	7.7	8.0	9.7	8.8	8.9	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	29.7	######	######	19.8	30.5	33.3	29.4	31.5	28.7	26.4	24.1	21.4	17.8	20.4	19.2	17.9	14.0	11.0	8.1	6.1	5.4	-3.6	-7.5	######	######
		!BDF	!BDF																					!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Chambre(Maison de retraite SOUBEIRAN)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V3	45	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.3	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	24.7	m2			
Volume local	61.75	m3			

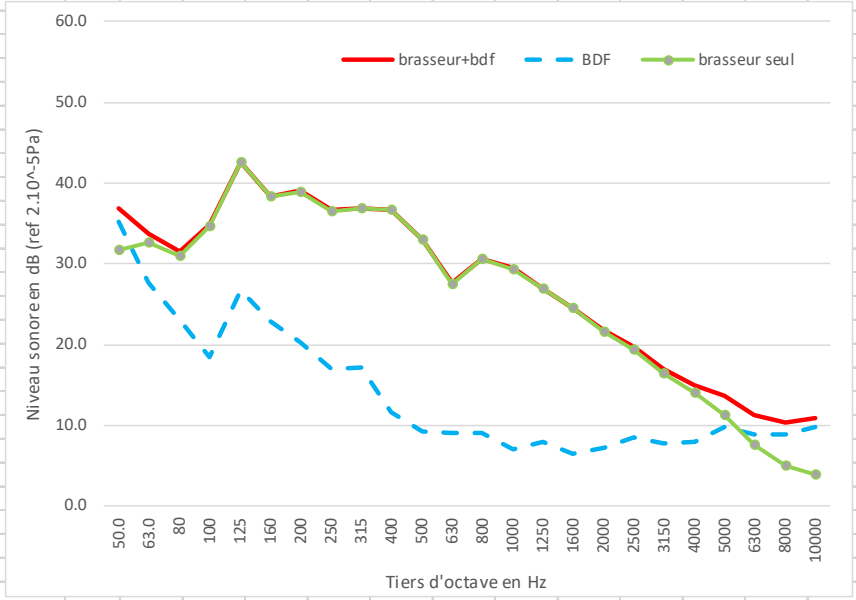
Lp = 39.7 dB(A)

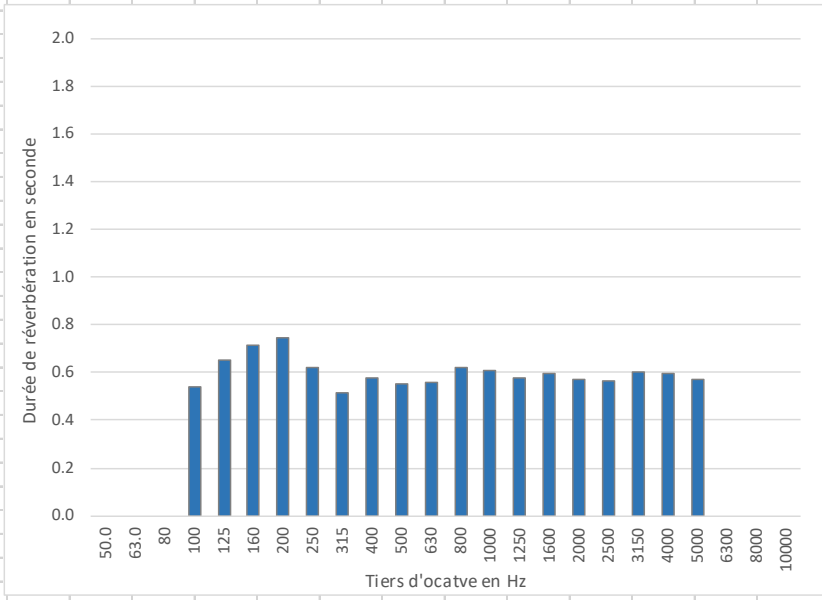
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	39.7	36.8	33.8	31.6	34.8	42.6	38.4	39.0	36.6	36.9	36.7	33.0	27.6	30.6	29.4	27.0	24.6	21.8	19.7	17.0	15.0	13.6	11.2	10.4	10.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.2	35.2	27.6	23.0	18.4	26.7	22.8	20.3	17.0	17.2	11.7	9.2	9.0	9.1	7.0	7.9	6.4	7.2	8.5	7.7	8.0	9.7	8.8	8.9	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	39.6	31.7	32.6	31.0	34.7	42.5	38.3	38.9	36.6	36.9	36.7	33.0	27.5	30.6	29.4	26.9	24.5	21.6	19.4	16.5	14.0	11.3	7.5	5.1	3.9





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Chambre(Maison de retraite SOUBEIRAN)	**Brasseur :**	Hunter industrie II 132cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V1	46	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	2.1	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	24.7	m2			
Volume local	61.75	m3			

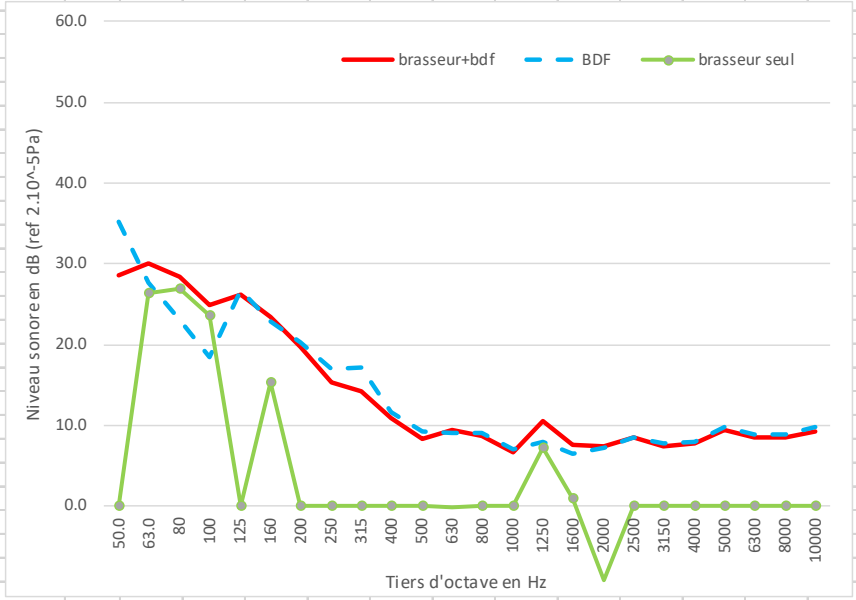
Lp = 21.0 dB(A)

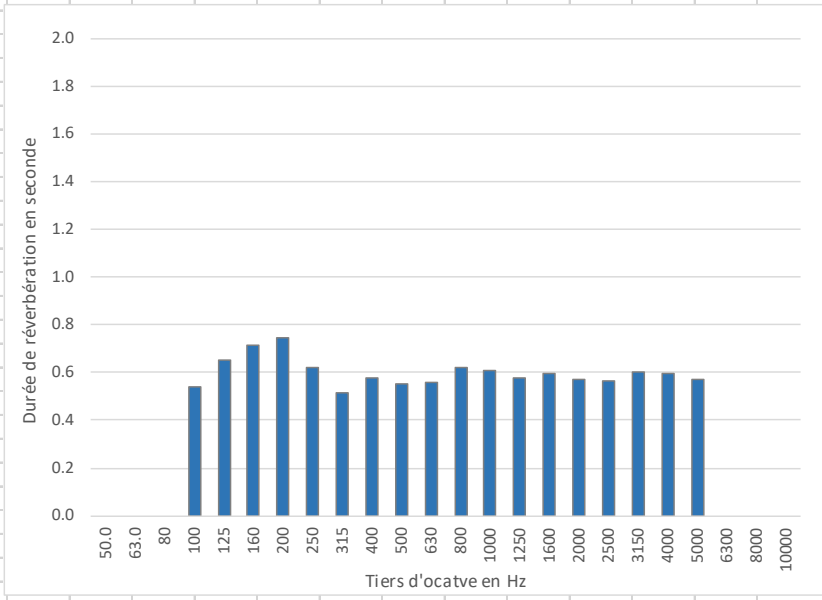
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	21.0	28.6	30.0	28.4	24.8	26.2	23.5	19.7	15.3	14.2	10.8	8.3	9.5	8.6	6.6	10.6	7.5	7.3	8.4	7.4	7.8	9.4	8.4	8.4	9.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.2	35.2	27.6	23.0	18.4	26.7	22.8	20.3	17.0	17.2	11.7	9.2	9.0	9.1	7.0	7.9	6.4	7.2	8.5	7.7	8.0	9.7	8.8	8.9	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	######	######	26.3	26.9	23.7	######	15.2	######	######	######	######	######	-0.1	######	######	7.3	1.0	-9.1	######	######	######	######	######	######	######
		!BDF				!BDF		!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF		!BDF	!BDF				!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Chambre(Maison de retraite SOUBEIRAN)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2	47	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.3	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	24.7	m2			
Volume local	61.75	m3			

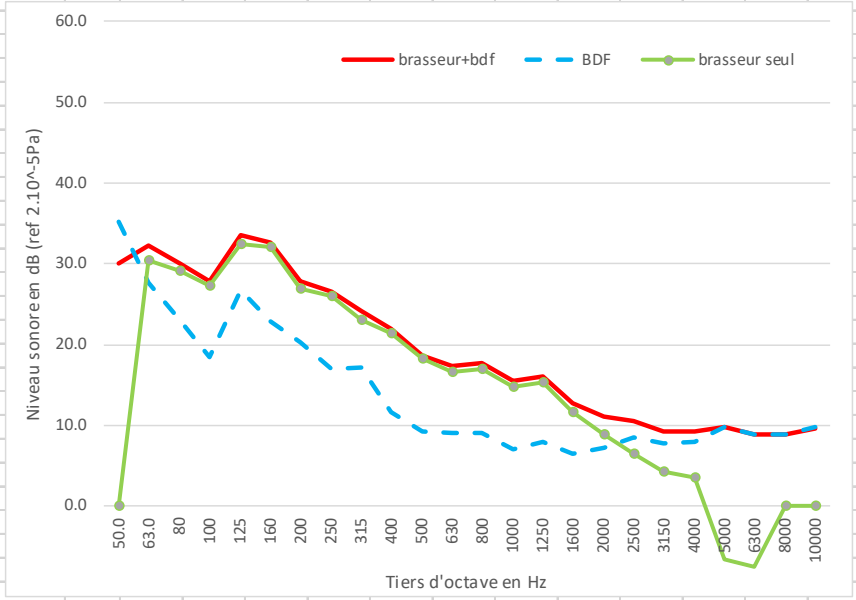
Lp = 28.8 dB(A)

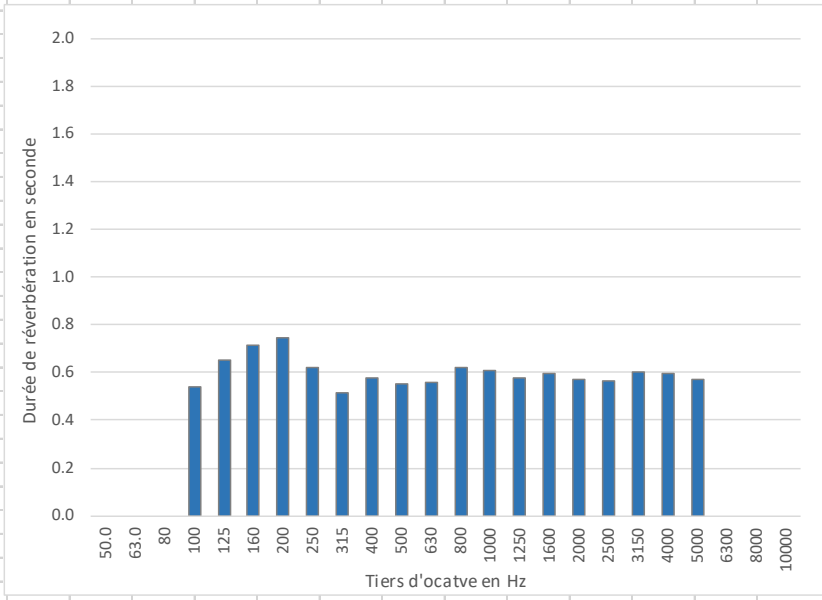
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	28.8	30.0	32.3	30.1	27.8	33.5	32.6	27.8	26.5	24.1	21.9	18.7	17.3	17.7	15.5	16.1	12.8	11.1	10.6	9.3	9.3	9.8	8.9	8.8	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.2	35.2	27.6	23.0	18.4	26.7	22.8	20.3	17.0	17.2	11.7	9.2	9.0	9.1	7.0	7.9	6.4	7.2	8.5	7.7	8.0	9.7	8.8	8.9	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	28.0	######	30.5	29.2	27.3	32.5	32.1	26.9	26.0	23.1	21.5	18.2	16.6	17.1	14.8	15.4	11.7	8.8	6.4	4.2	3.4	-6.6	-7.5	######	######
		!BDF																						!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Chambre(Maison de retraite SOUBEIRAN)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V3	48	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.3	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	24.7	m2			
Volume local	61.75	m3			

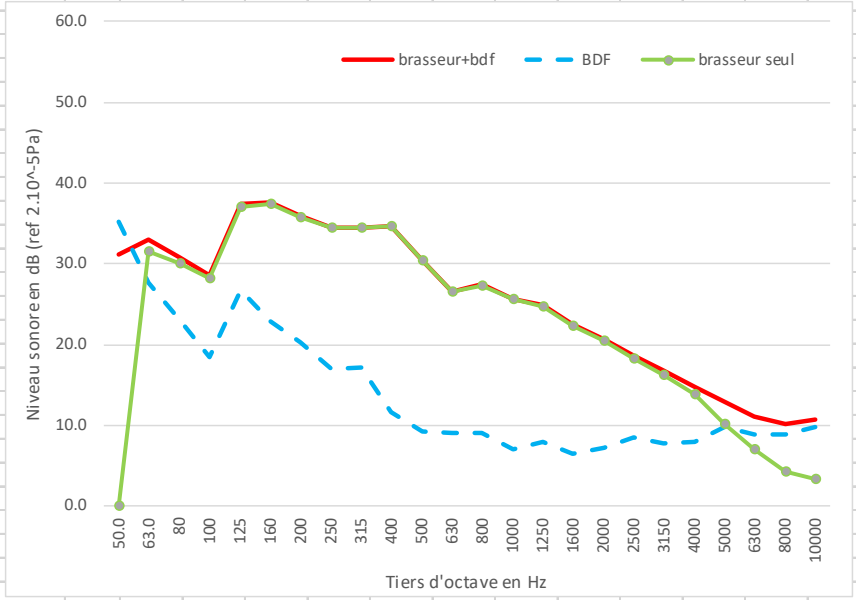
Lp = 37.5 dB(A)

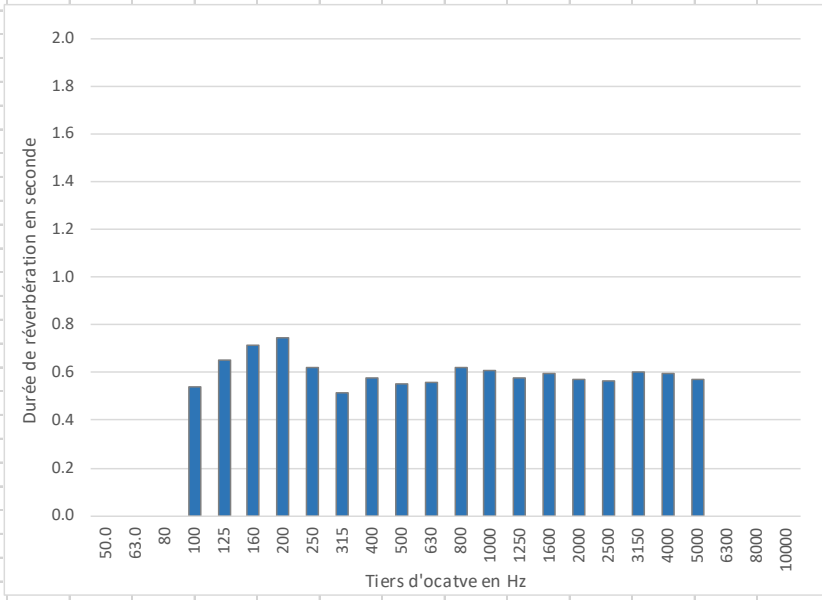
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	37.5	31.1	33.0	30.8	28.6	37.5	37.6	35.9	34.5	34.5	34.6	30.4	26.6	27.4	25.6	24.8	22.5	20.7	18.7	16.8	14.8	12.9	11.0	10.2	10.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.2	35.2	27.6	23.0	18.4	26.7	22.8	20.3	17.0	17.2	11.7	9.2	9.0	9.1	7.0	7.9	6.4	7.2	8.5	7.7	8.0	9.7	8.8	8.9	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	37.4	######	31.5	30.0	28.2	37.1	37.5	35.8	34.4	34.4	34.6	30.4	26.5	27.3	25.5	24.7	22.4	20.5	18.3	16.2	13.8	10.1	7.0	4.3	3.4
		!BDF																							





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Chambre(Maison de retraite SOUBEIRAN)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1	49	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	4.1	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	24.7	m2			
Volume local	61.75	m3			

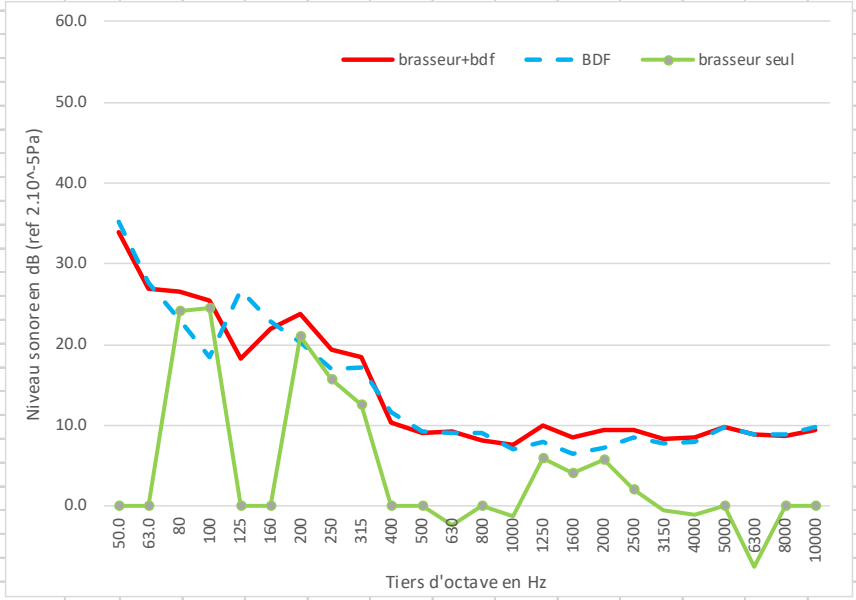
Lp = 21.9 dB(A)

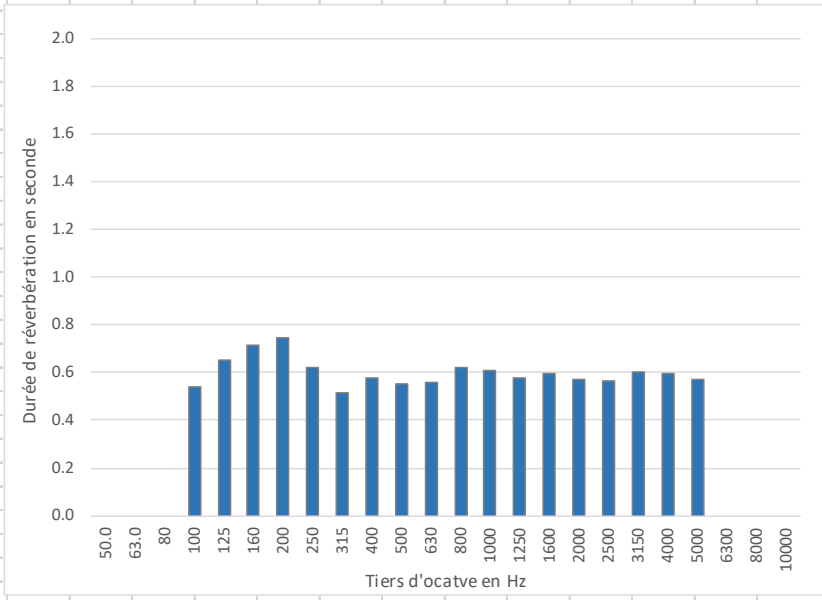
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	21.9	33.9	26.9	26.6	25.4	18.2	22.0	23.7	19.4	18.5	10.4	9.0	9.3	8.2	7.6	10.0	8.4	9.5	9.4	8.3	8.5	9.7	8.9	8.7	9.5

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.2	35.2	27.6	23.0	18.4	26.7	22.8	20.3	17.0	17.2	11.7	9.2	9.0	9.1	7.0	7.9	6.4	7.2	8.5	7.7	8.0	9.7	8.8	8.9	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	13.6	######	######	24.1	24.4	######	######	21.0	15.7	12.6	######	######	-2.5	######	-1.3	5.8	4.1	5.6	2.1	-0.6	-1.1	######	-7.5	######	######
		!BDF	!BDF			!BDF	!BDF				!BDF	!BDF		!BDF										!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Chambre(Maison de retraite SOUBEIRAN)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2	50	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.3	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	24.7	m2			
Volume local	61.75	m3			

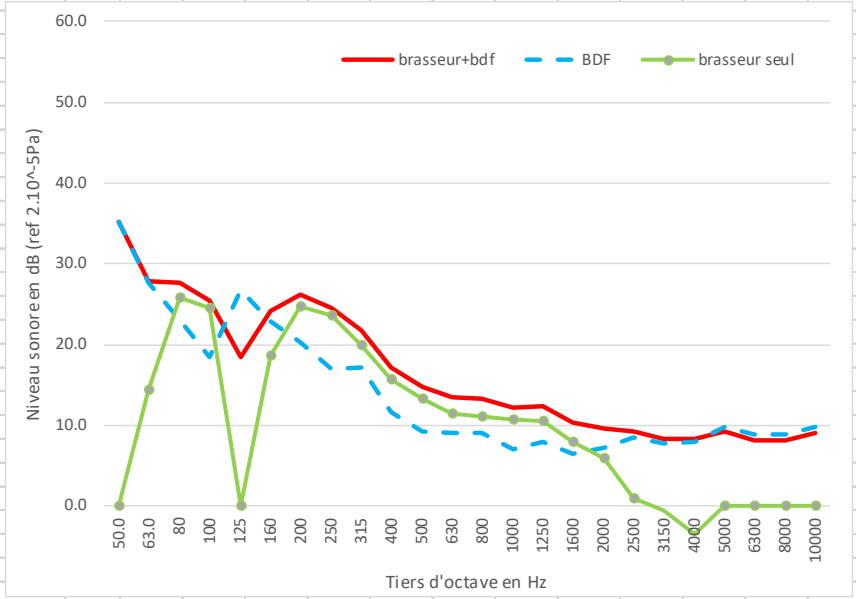
Lp = 24.5 dB(A)

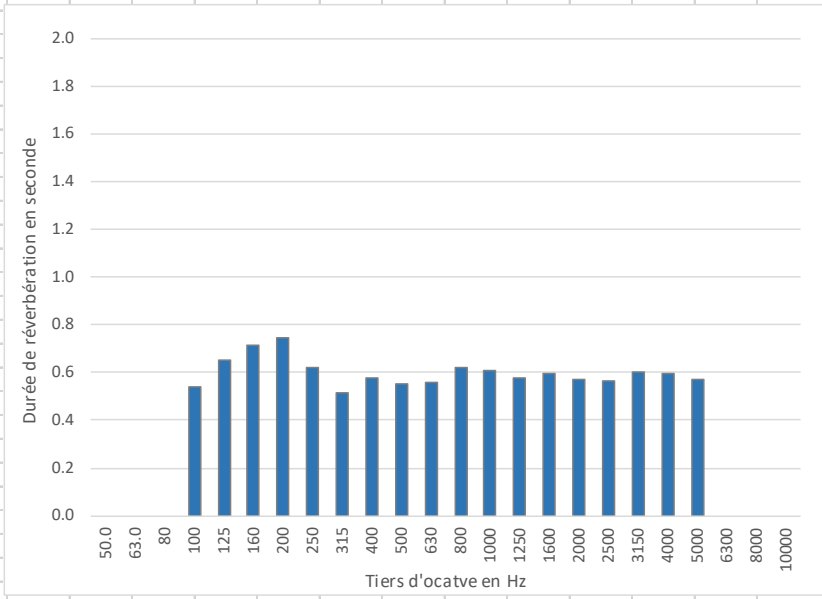
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	24.5	35.2	27.8	27.6	25.4	18.4	24.2	26.1	24.5	21.8	17.2	14.7	13.4	13.2	12.2	12.4	10.3	9.6	9.2	8.3	8.3	9.2	8.2	8.1	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.2	35.2	27.6	23.0	18.4	26.7	22.8	20.3	17.0	17.2	11.7	9.2	9.0	9.1	7.0	7.9	6.4	7.2	8.5	7.7	8.0	9.7	8.8	8.9	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	21.8	######	14.3	25.8	24.4	######	18.6	24.8	23.6	20.0	15.8	13.3	11.4	11.1	10.6	10.5	8.0	5.9	0.9	-0.6	-3.5	######	######	######	######
						!BDF																!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Chambre(Maison de retraite SOUBEIRAN)	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V3	51	04-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.3	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	24.7	m2			
Volume local	61.75	m3			

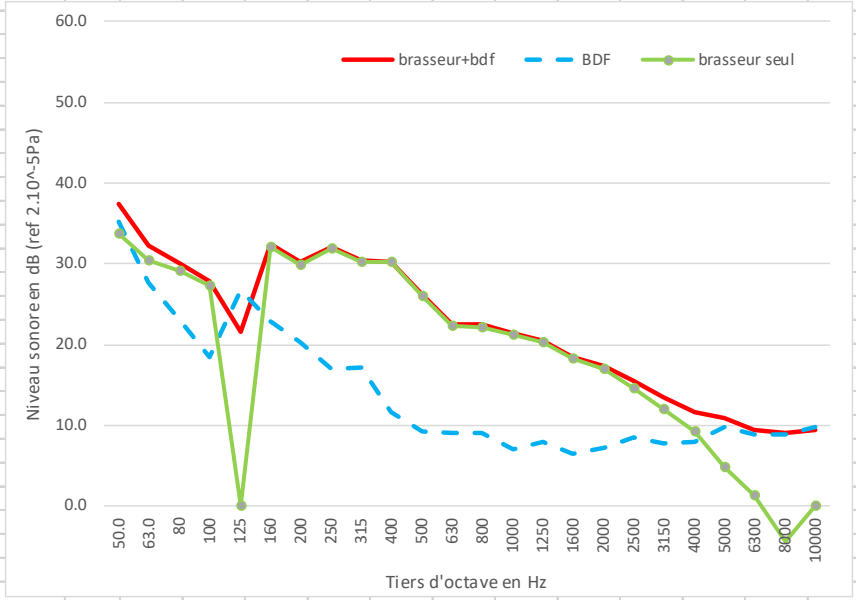
Lp = 32.8 dB(A)

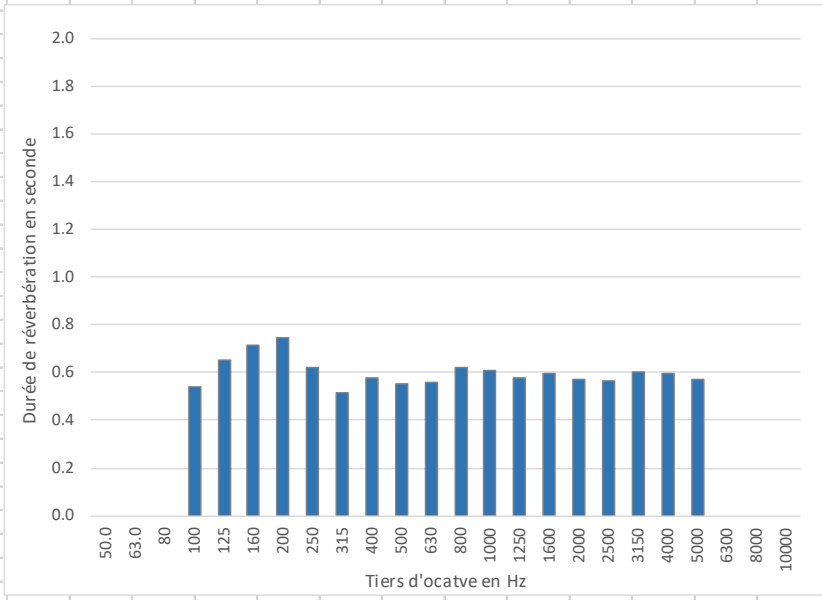
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	32.8	37.5	32.2	30.0	27.8	21.5	32.5	30.3	32.0	30.4	30.2	26.1	22.5	22.4	21.4	20.5	18.5	17.4	15.5	13.4	11.7	10.9	9.5	9.1	9.5

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.2	35.2	27.6	23.0	18.4	26.7	22.8	20.3	17.0	17.2	11.7	9.2	9.0	9.1	7.0	7.9	6.4	7.2	8.5	7.7	8.0	9.7	8.8	8.9	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	32.5	33.6	30.4	29.0	27.3	######	32.0	29.8	31.9	30.2	30.1	26.0	22.3	22.2	21.2	20.3	18.2	17.0	14.5	12.0	9.3	4.7	1.2	-4.4	#######
						!BDF																			!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

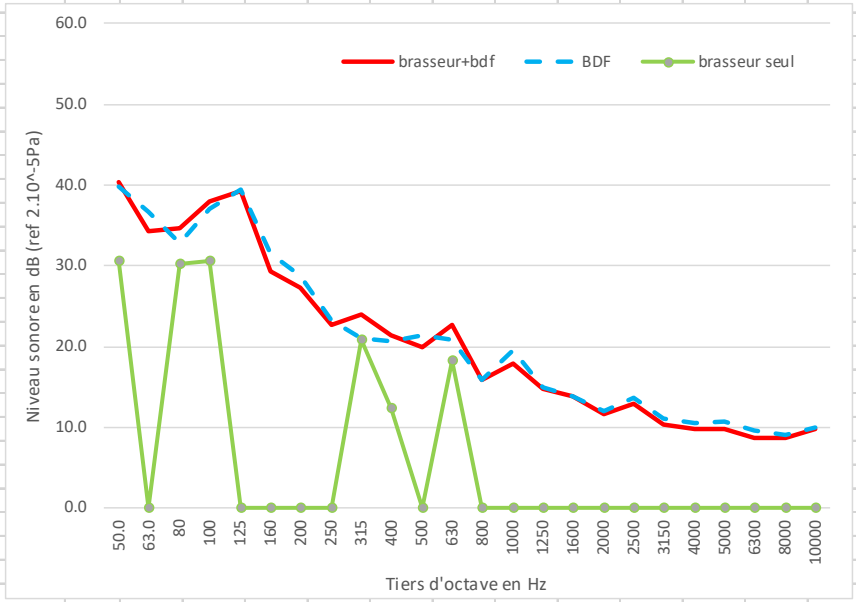
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

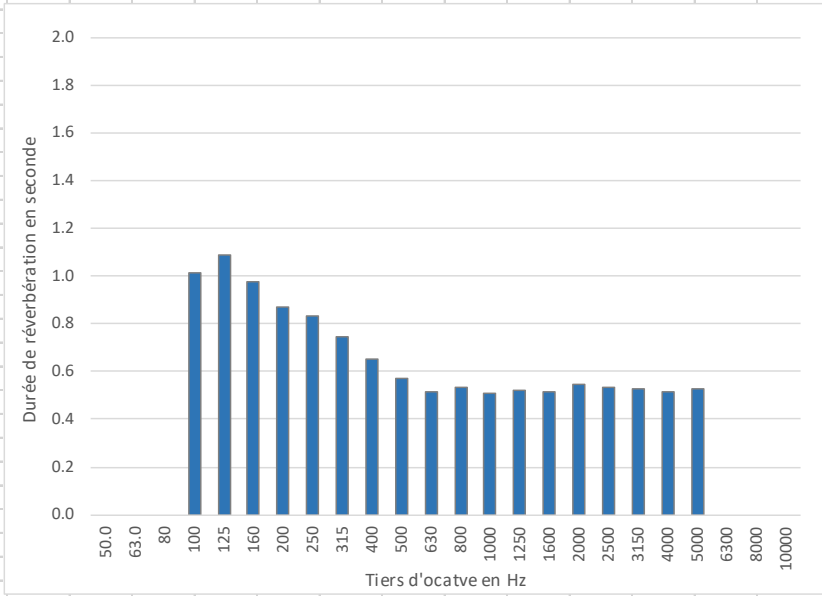
Lieu :	Open space (GERES)	**Brasseur :**	Casto 1er prix modèle 1	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V1	52	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.1	m
Surface local	26.8	m2			
Volume local	101.8	m3			

Lp = 29.7 dB(A)

		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	29.7	40.3	34.3	34.7	37.9	39.3	29.3	27.3	22.7	23.9	21.3	19.9	22.7	15.8	17.9	14.7	13.8	11.7	12.9	10.3	9.7	9.7	8.7	8.7	9.7
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.6	39.8	36.6	32.8	37.0	39.4	31.6	28.8	23.2	21.0	20.7	21.4	20.8	15.9	19.6	14.9	13.9	11.9	13.7	11.0	10.6	10.7	9.6	9.1	10.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	#####	30.7	######	30.2	30.6	######	######	######	######	20.8	12.4	######	18.2	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######
			!BDF			!BDF	!BDF	!BDF	!BDF			!BDF		!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Open space (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 1	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2	53	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.1	m
Surface local	26.8	m2			
Volume local	101.8	m3			

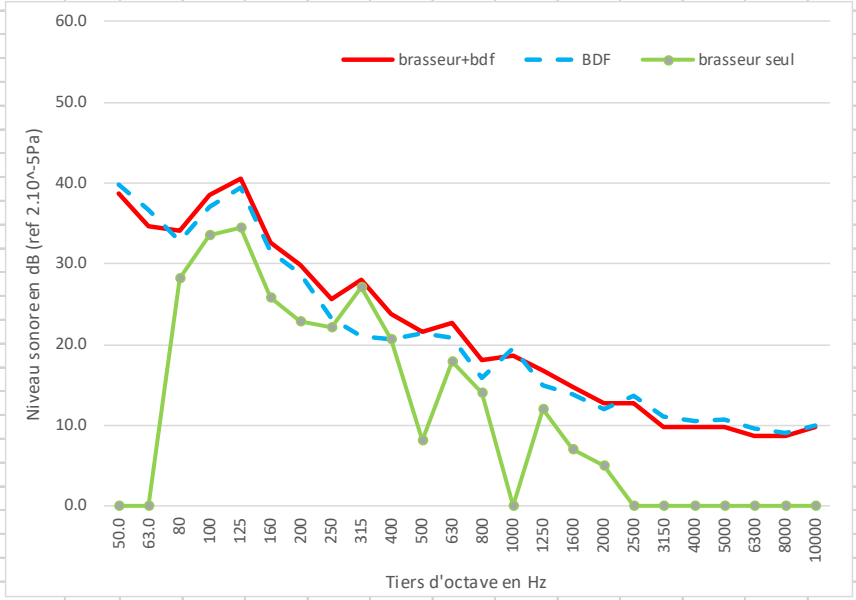
Lp = 31.7 dB(A)

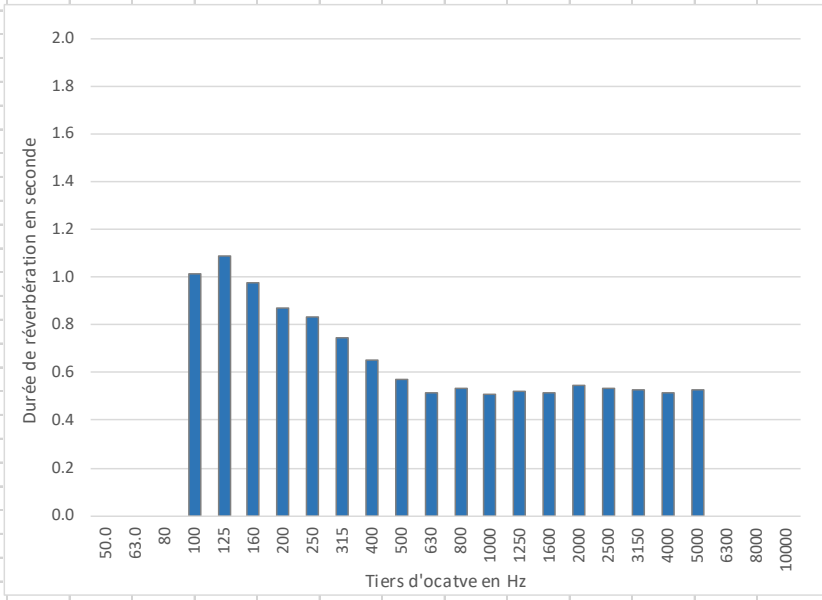
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	31.7	38.7	34.6	34.1	38.6	40.6	32.6	29.8	25.7	28.1	23.7	21.6	22.6	18.1	18.7	16.7	14.7	12.7	12.7	9.8	9.7	9.7	8.7	8.7	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.6	39.8	36.6	32.8	37.0	39.4	31.6	28.8	23.2	21.0	20.7	21.4	20.8	15.9	19.6	14.9	13.9	11.9	13.7	11.0	10.6	10.7	9.6	9.1	10.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	25.2	######	######	28.2	33.5	34.4	25.7	22.9	22.1	27.2	20.7	8.1	17.9	14.1	######	12.0	7.0	5.0	######	######	######	######	######	######	######
		!BDF	!BDF												!BDF				!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Open space (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 1	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V3	54	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.1	m
Surface local	26.8	m2			
Volume local	101.8	m3			

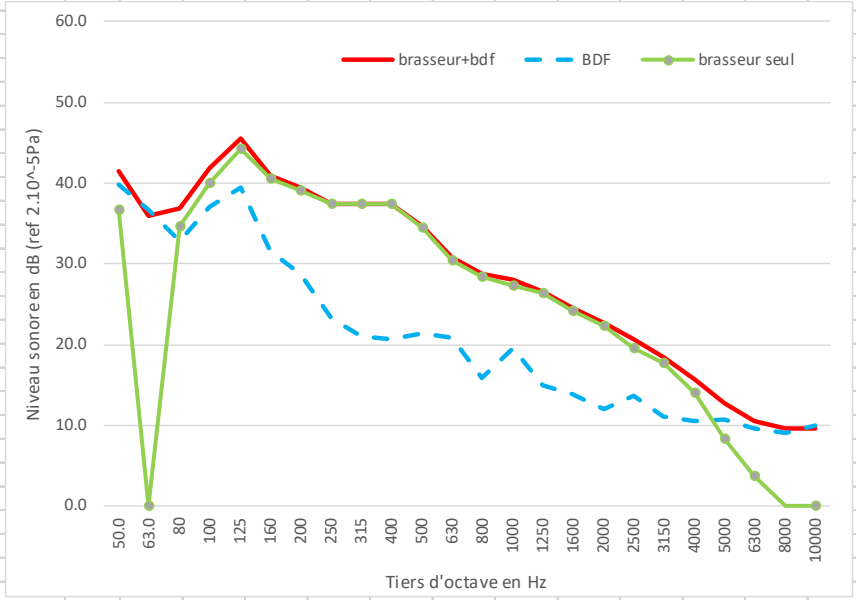
Lp = 40.6 dB(A)

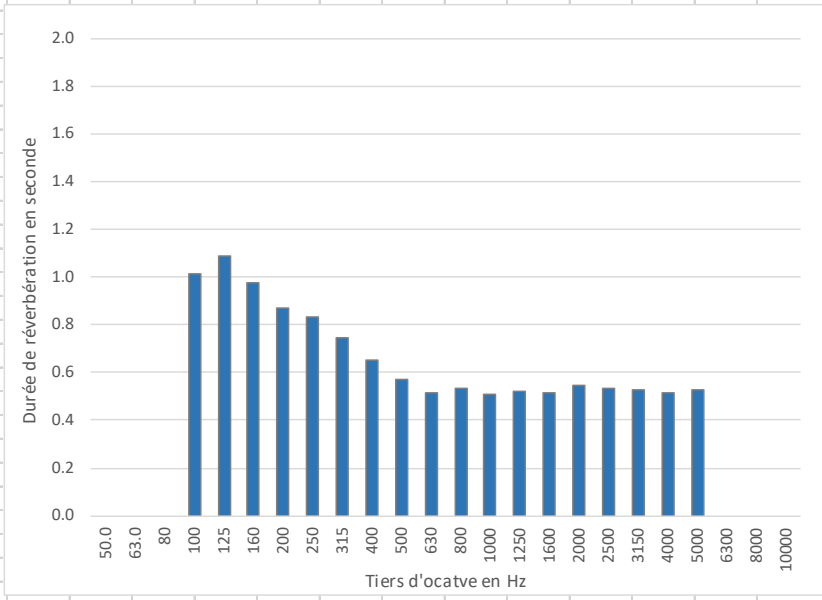
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	40.6	41.5	36.0	36.8	41.8	45.5	41.0	39.5	37.5	37.5	37.5	34.7	30.8	28.7	28.0	26.6	24.6	22.6	20.6	18.5	15.6	12.7	10.6	9.6	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.6	39.8	36.6	32.8	37.0	39.4	31.6	28.8	23.2	21.0	20.7	21.4	20.8	15.9	19.6	14.9	13.9	11.9	13.7	11.0	10.6	10.7	9.6	9.1	10.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	40.1	36.6	######	34.6	40.1	44.3	40.5	39.1	37.3	37.4	37.4	34.5	30.3	28.5	27.3	26.3	24.2	22.2	19.6	17.6	13.9	8.4	3.7	0.0	########
			!BDF																						!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Open space (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 1	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1 (reception plus haut que le ventil)	55	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.1	m
Surface local	26.8	m2			
Volume local	101.8	m3			

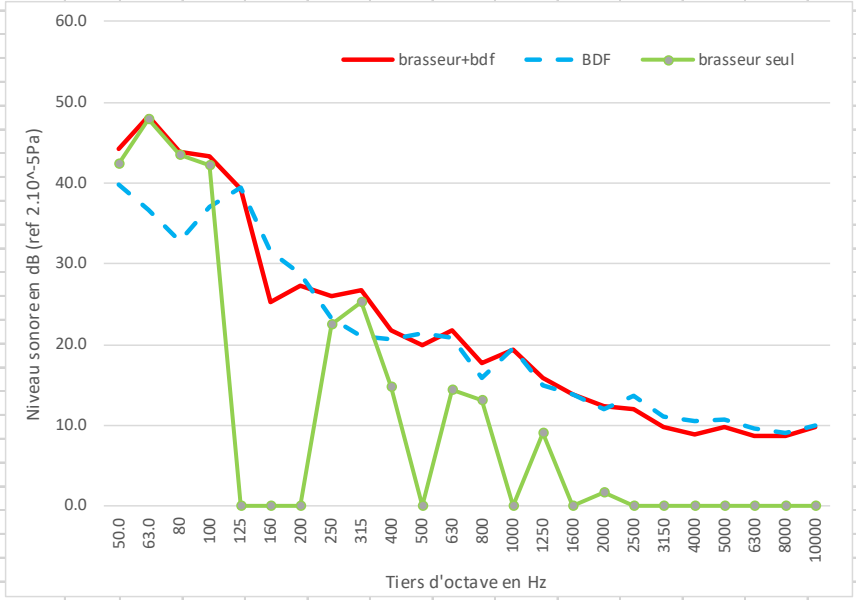
Lp = **31.8** dB(A)

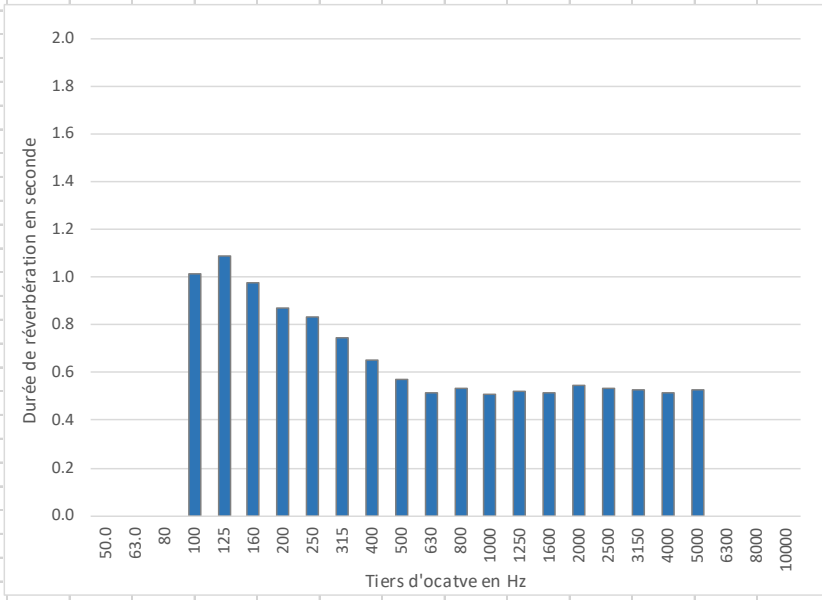
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	31.8	44.3	48.3	43.9	43.3	39.3	25.3	27.3	25.9	26.7	21.7	19.9	21.7	17.7	19.3	15.9	13.9	12.3	11.9	9.7	8.9	9.7	8.7	8.7	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.6	39.8	36.6	32.8	37.0	39.4	31.6	28.8	23.2	21.0	20.7	21.4	20.8	15.9	19.6	14.9	13.9	11.9	13.7	11.0	10.6	10.7	9.6	9.1	10.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	25.6	42.4	48.0	43.5	42.1	######	######	######	22.6	25.3	14.8	######	14.4	13.0	######	9.0	######	1.7	######	######	######	######	######	######	######
						!BDF	!BDF	!BDF				!BDF			!BDF				!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Open space (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 1	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2 (reception plus haut que le ventil)	56	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.1	m
Surface local	26.8	m2			
Volume local	101.8	m3			

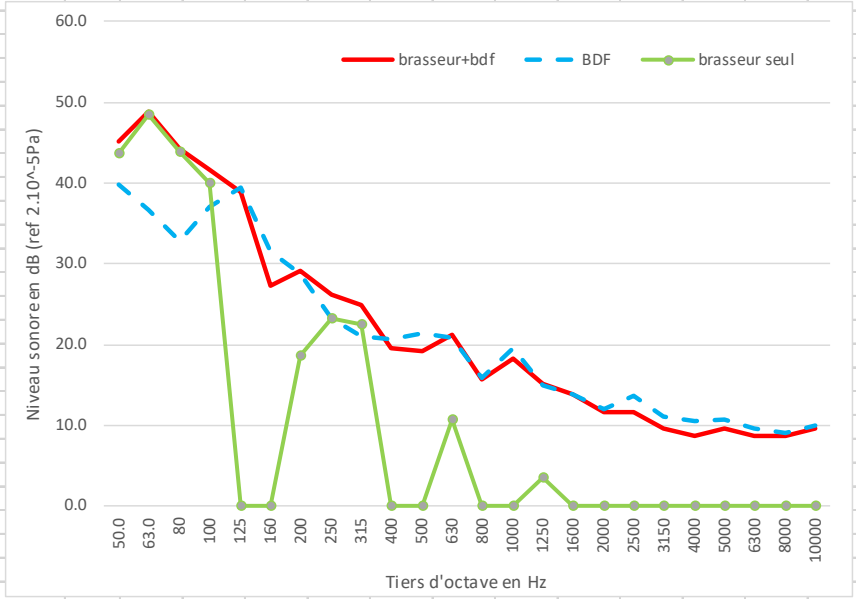
Lp = **31.6** dB(A)

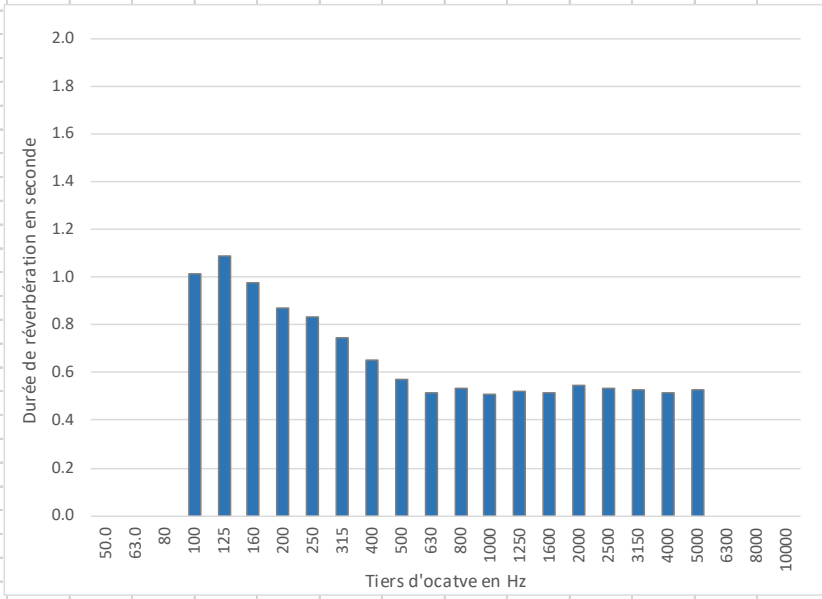
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	31.6	45.2	48.8	44.2	41.7	38.8	27.2	29.2	26.2	24.8	19.6	19.2	21.2	15.6	18.2	15.2	13.8	11.6	11.6	9.6	8.6	9.6	8.6	8.6	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.6	39.8	36.6	32.8	37.0	39.4	31.6	28.8	23.2	21.0	20.7	21.4	20.8	15.9	19.6	14.9	13.9	11.9	13.7	11.0	10.6	10.7	9.6	9.1	10.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	24.7	43.7	48.5	43.9	39.9	######	######	18.6	23.2	22.5	######	######	10.6	######	######	3.4	######	######	######	######	######	######	######	######	######
						!BDF	!BDF				!BDF	!BDF		!BDF	!BDF		!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Open space (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 1	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2 (reception plus haut que le ventil)	57	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.1	m
Surface local	26.8	m2			
Volume local	101.8	m3			

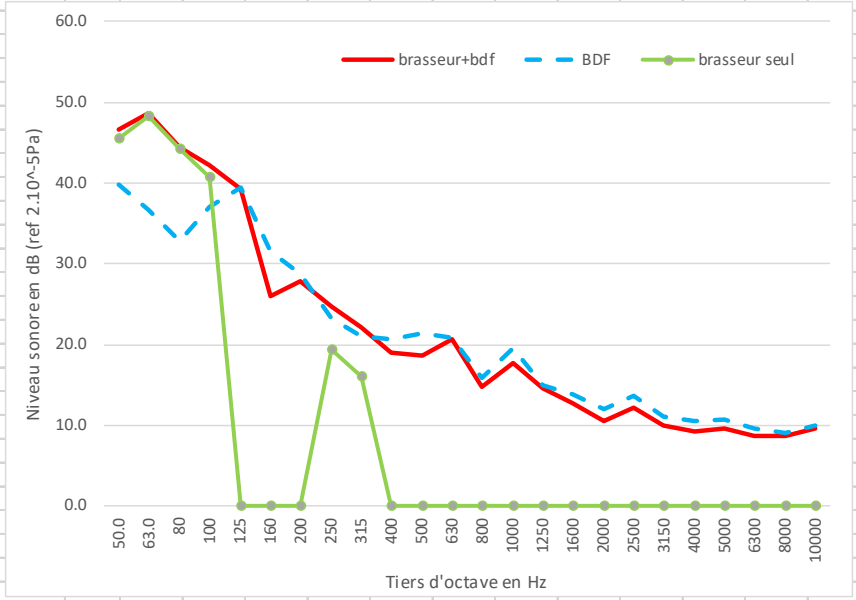
Lp = **31.6** dB(A)

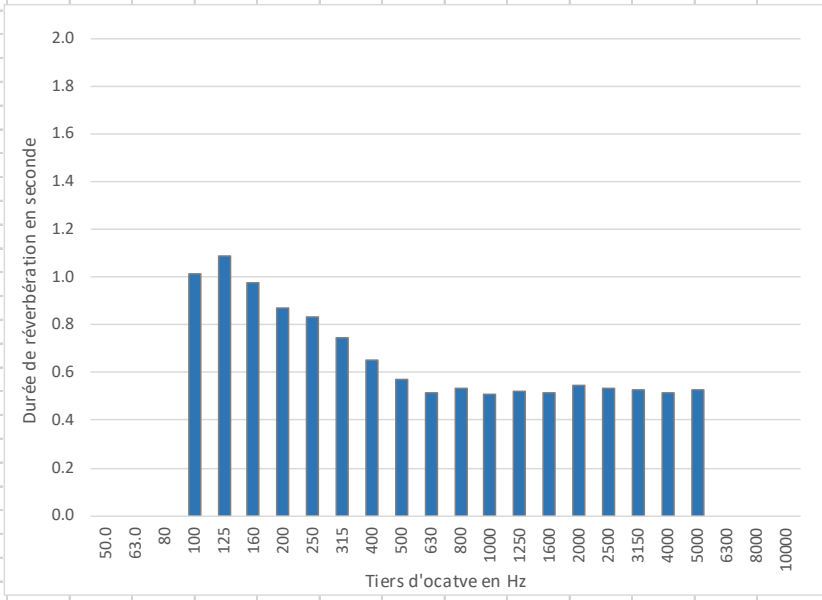
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	31.6	46.6	48.6	44.5	42.2	39.2	25.9	27.9	24.7	22.2	18.9	18.7	20.6	14.7	17.7	14.6	12.7	10.6	12.2	9.9	9.2	9.6	8.6	8.6	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.6	39.8	36.6	32.8	37.0	39.4	31.6	28.8	23.2	21.0	20.7	21.4	20.8	15.9	19.6	14.9	13.9	11.9	13.7	11.0	10.6	10.7	9.6	9.1	10.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	24.7	45.6	48.3	44.2	40.6	######	######	######	19.4	16.0	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######	######
						!BDF	!BDF	!BDF			!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 2	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1	58	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.5	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	13.2	m2			
Volume local	39.6	m3			

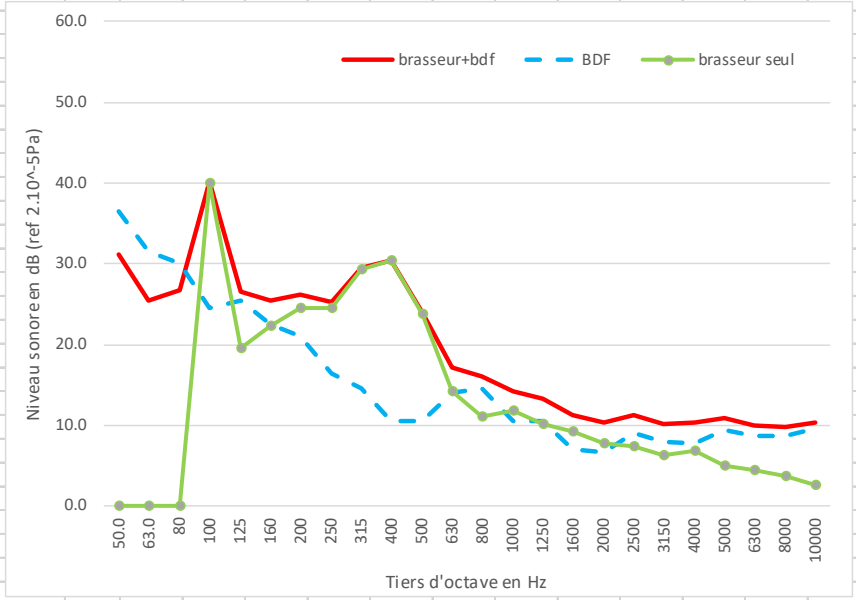
Lp = 30.6 dB(A)

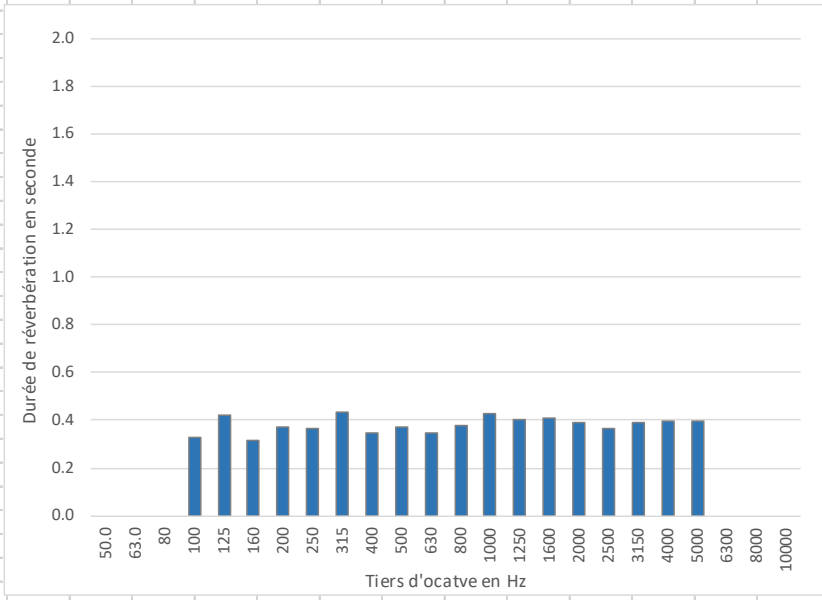
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	30.6	31.1	25.5	26.7	40.1	26.5	25.4	26.1	25.2	29.4	30.5	24.0	17.1	16.1	14.2	13.3	11.3	10.3	11.3	10.2	10.3	10.8	10.0	9.8	10.4

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	23.5	36.5	31.5	30.0	24.5	25.5	22.5	21.0	16.5	14.5	10.5	10.5	14.0	14.5	10.5	10.5	7.0	6.7	9.0	8.0	7.7	9.5	8.6	8.6	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	29.7	######	######	######	40.0	19.6	22.3	24.5	24.6	29.3	30.5	23.8	14.2	11.0	11.8	10.1	9.3	7.8	7.4	6.2	6.8	4.9	4.4	3.6	2.7
		!BDF	!BDF	!BDF																					





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 2	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2	59	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.5	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	13.2	m2			
Volume local	39.6	m3			

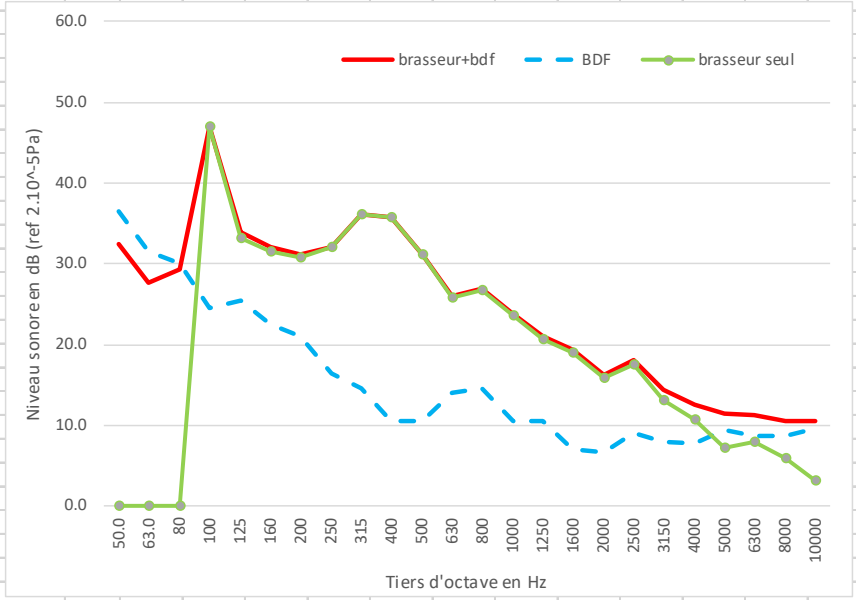
Lp = **37.0** dB(A)

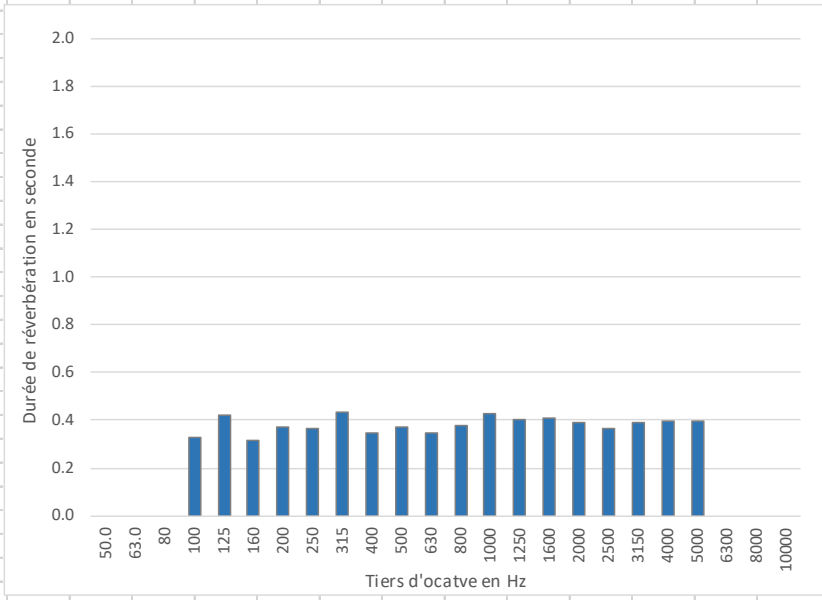
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	37.0	32.5	27.7	29.3	47.0	33.9	32.0	31.2	32.1	36.1	35.8	31.2	26.0	27.0	23.8	21.1	19.3	16.3	18.1	14.3	12.5	11.5	11.3	10.5	10.5

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	23.5	36.5	31.5	30.0	24.5	25.5	22.5	21.0	16.5	14.5	10.5	10.5	14.0	14.5	10.5	10.5	7.0	6.7	9.0	8.0	7.7	9.5	8.6	8.6	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	36.8	######	######	######	47.0	33.2	31.5	30.8	32.0	36.1	35.8	31.2	25.7	26.7	23.6	20.7	19.0	15.8	17.5	13.1	10.8	7.2	8.0	6.0	3.2
		!BDF	!BDF	!BDF																					





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 2	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V3	60	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.5	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	13.2	m2			
Volume local	39.6	m3			

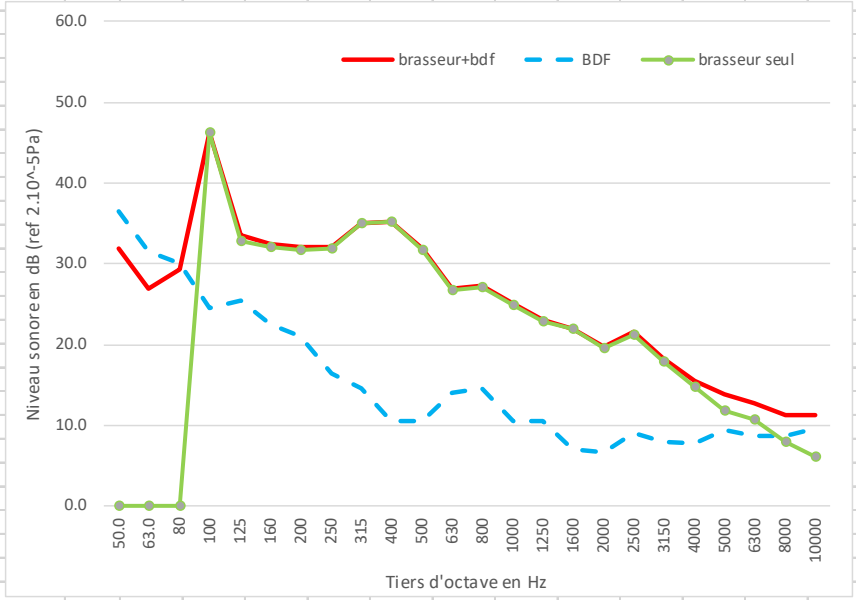
Lp = 37.2 dB(A)

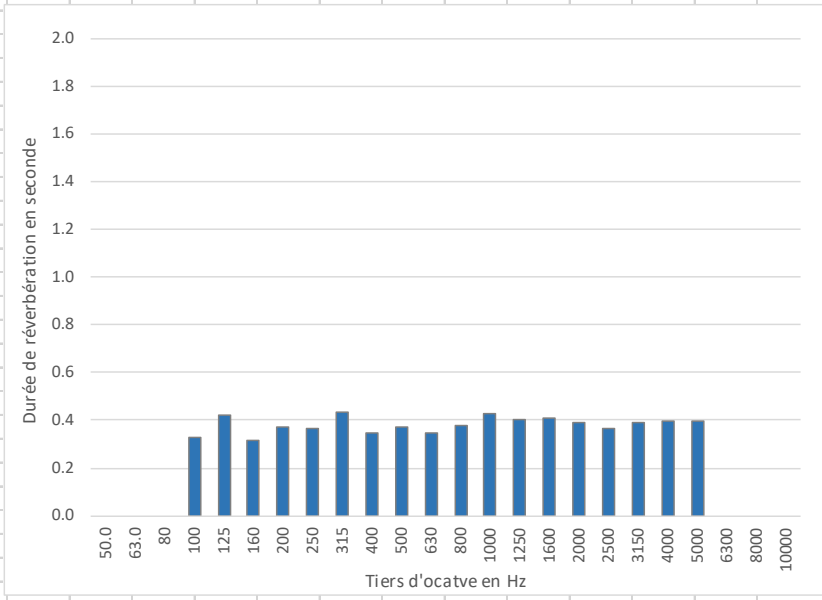
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	37.2	31.8	27.0	29.3	46.3	33.5	32.5	32.0	32.0	35.0	35.2	31.8	26.9	27.3	25.0	23.1	22.0	19.8	21.5	18.3	15.5	13.8	12.8	11.3	11.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	23.5	36.5	31.5	30.0	24.5	25.5	22.5	21.0	16.5	14.5	10.5	10.5	14.0	14.5	10.5	10.5	7.0	6.7	9.0	8.0	7.7	9.5	8.6	8.6	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	37.0	######	######	######	46.3	32.8	32.0	31.6	31.9	35.0	35.2	31.8	26.7	27.1	24.8	22.9	21.9	19.6	21.2	17.9	14.7	11.8	10.7	8.0	6.1
		!BDF	!BDF	!BDF																					





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 2	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1	61	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.5	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	13.2	m2			
Volume local	39.6	m3			

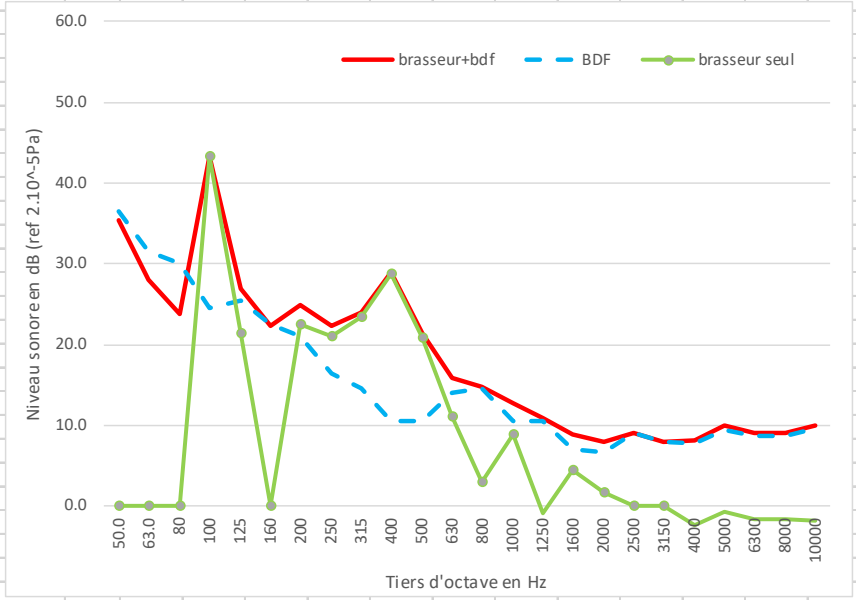
Lp = **29.0** dB(A)

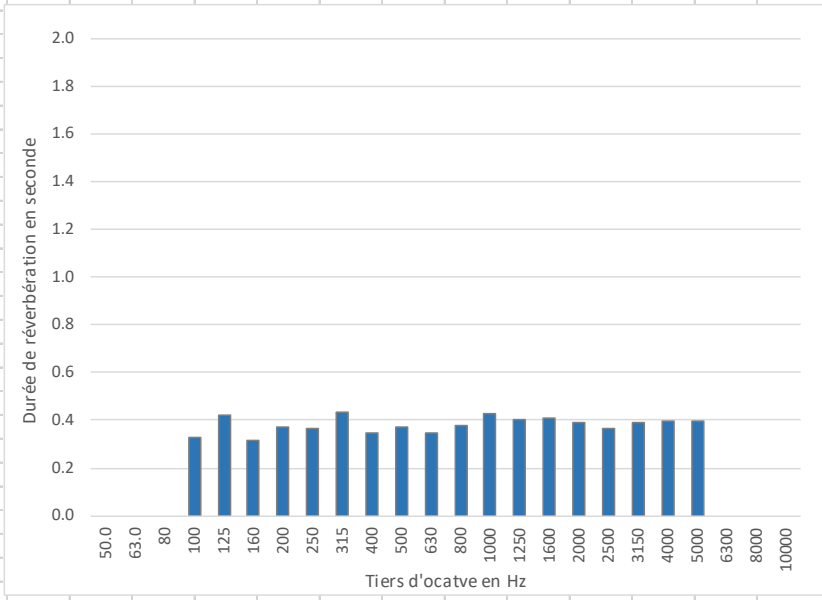
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	29.0	35.3	28.1	23.8	43.3	26.9	22.3	24.8	22.3	23.9	28.9	21.3	15.8	14.8	12.8	10.8	8.9	7.9	9.0	7.9	8.1	9.9	9.0	9.0	9.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	23.5	36.5	31.5	30.0	24.5	25.5	22.5	21.0	16.5	14.5	10.5	10.5	14.0	14.5	10.5	10.5	7.0	6.7	9.0	8.0	7.7	9.5	8.6	8.6	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	27.6	######	######	######	43.2	21.3	######	22.5	21.0	23.4	28.8	20.9	11.1	3.0	8.9	-1.0	4.4	1.7	######	######	-2.5	-0.7	-1.6	-1.6	-1.9
		!BDF	!BDF	!BDF			!BDF													!BDF					





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

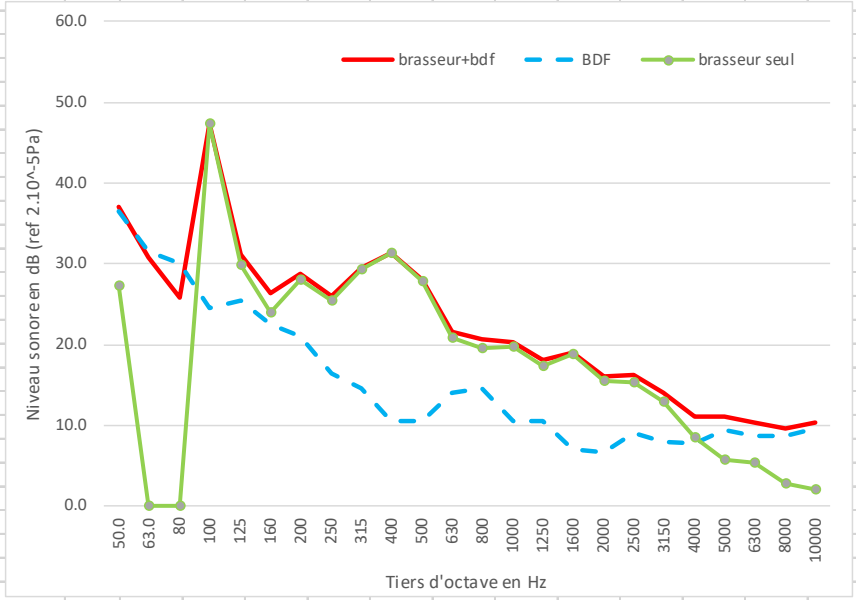
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

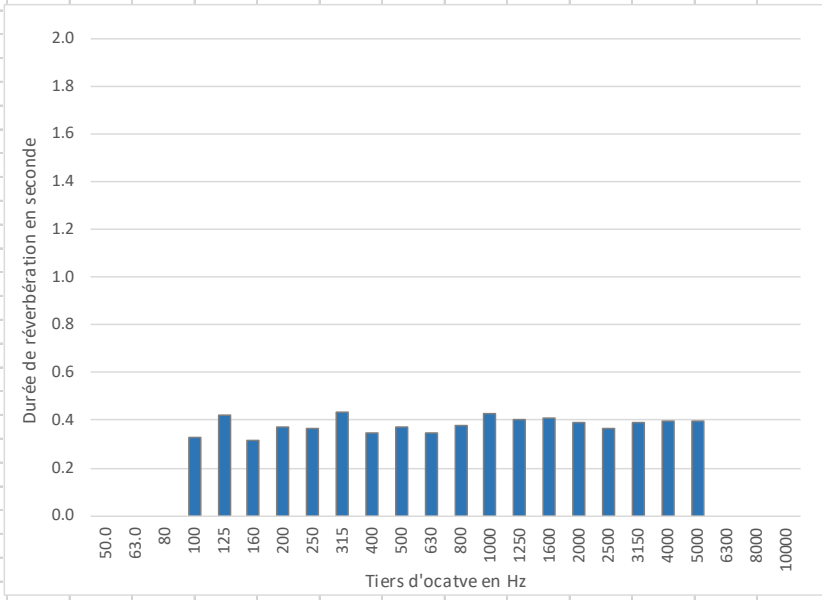
Lieu :	Bureau (GERES)	**Brasseur :**	Casto 1er prix modèle 2	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V2	62	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.5	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	13.2	m2			
Volume local	39.6	m3			

Lp = 34.1 dB(A)

		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	34.1	37.0	30.7	25.8	47.4	31.2	26.3	28.8	26.0	29.4	31.4	28.0	21.6	20.7	20.2	18.1	19.0	16.1	16.2	14.1	11.1	11.0	10.3	9.6	10.3
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	23.5	36.5	31.5	30.0	24.5	25.5	22.5	21.0	16.5	14.5	10.5	10.5	14.0	14.5	10.5	10.5	7.0	6.7	9.0	8.0	7.7	9.5	8.6	8.6	9.6
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	33.7	27.4	######	######	47.4	29.8	24.0	28.0	25.5	29.3	31.4	27.9	20.8	19.5	19.7	17.3	18.7	15.6	15.3	12.9	8.4	5.7	5.4	2.7	2.0
			!BDF	!BDF																					





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Bureau (GERES)	**Brasseur :**	Casto 1er prix modèle 2	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V3	63	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.5	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.8	m
Surface local	13.2	m2			
Volume local	39.6	m3			

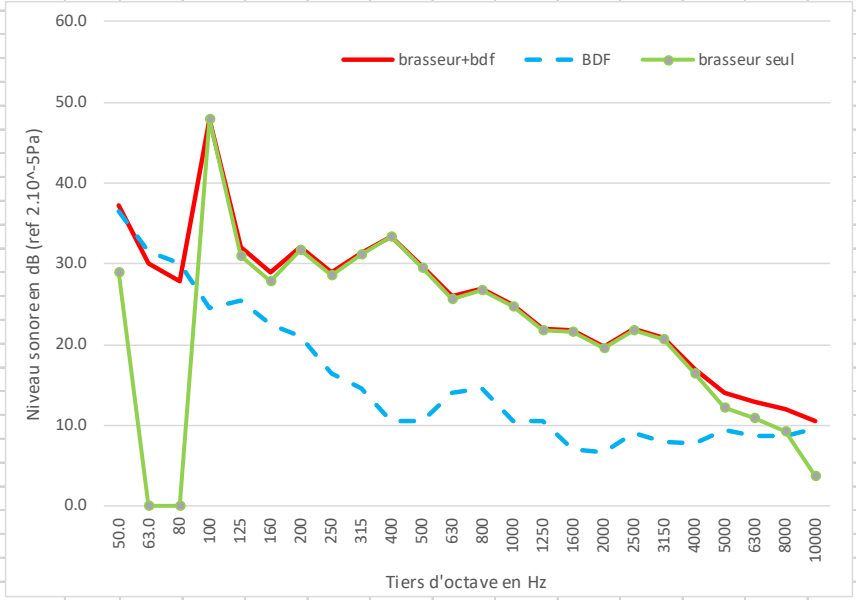
Lp = 36.8 dB(A)

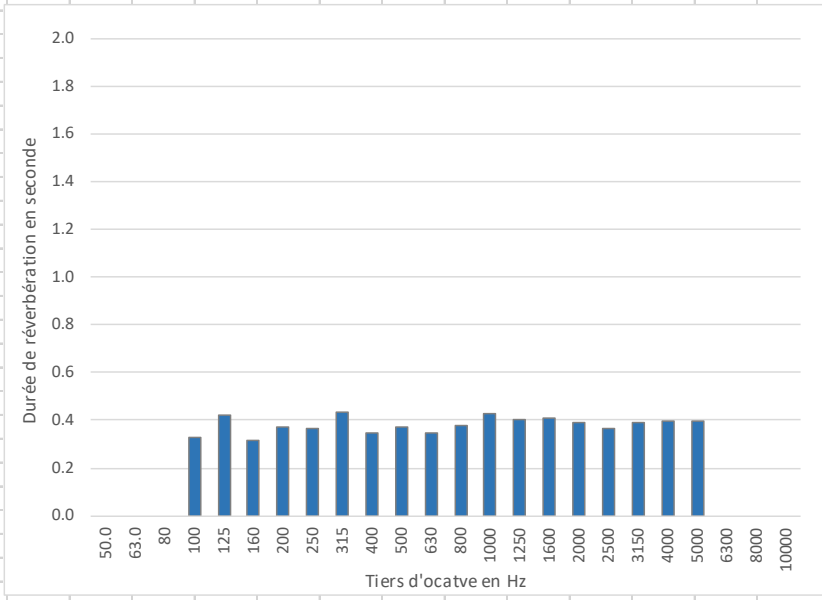
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	36.8	37.2	30.1	27.9	47.9	32.0	28.9	32.0	28.9	31.3	33.3	29.6	25.9	27.0	24.9	22.0	21.8	19.8	22.0	20.8	16.9	14.0	12.9	11.9	10.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	23.5	36.5	31.5	30.0	24.5	25.5	22.5	21.0	16.5	14.5	10.5	10.5	14.0	14.5	10.5	10.5	7.0	6.7	9.0	8.0	7.7	9.5	8.6	8.6	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	36.6	28.9	######	######	47.9	30.9	27.8	31.6	28.6	31.2	33.3	29.5	25.6	26.7	24.7	21.7	21.7	19.6	21.8	20.6	16.3	12.1	10.9	9.2	3.7
			!BDF	!BDF																					





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle de réu (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 3	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1	64	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.9	m
Surface local	23.42	m2			
Volume local	79.63	m3			

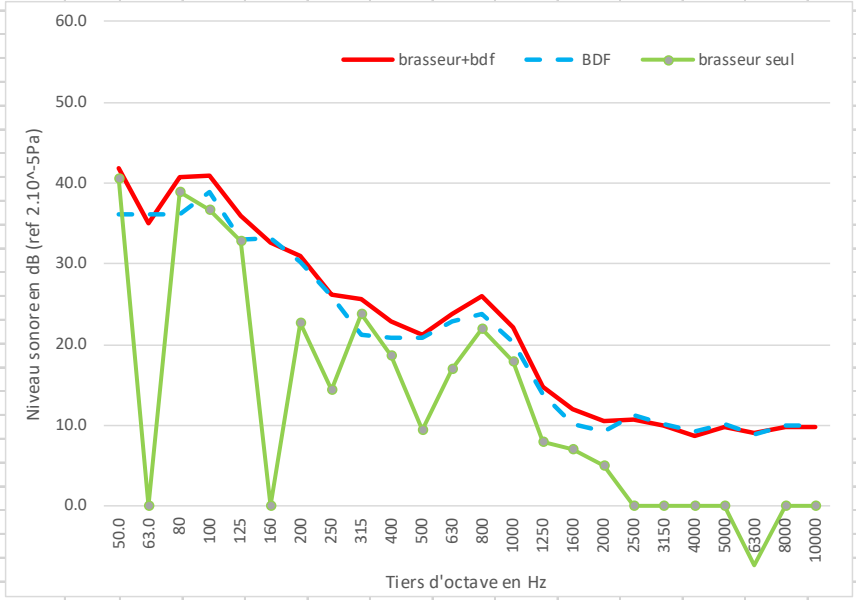
Lp = 32.7 dB(A)

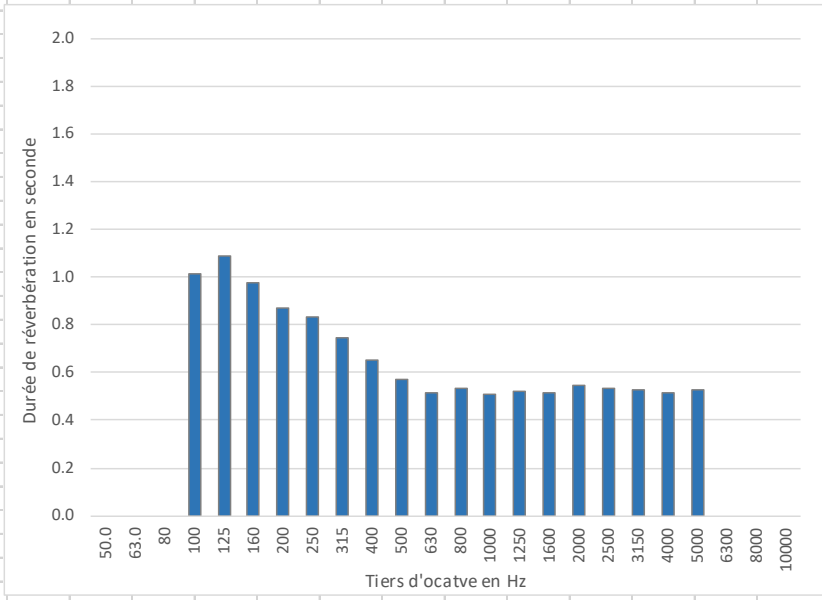
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	32.7	41.9	35.0	40.7	40.9	35.9	32.6	30.9	26.2	25.7	22.9	21.2	23.8	26.0	22.2	14.8	11.9	10.6	10.7	9.9	8.7	9.7	9.0	9.7	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.8	36.2	36.2	36.2	38.8	32.9	33.2	30.2	25.9	21.2	20.9	20.9	22.8	23.8	20.2	13.8	10.2	9.2	11.2	10.2	9.2	10.2	8.9	9.9	9.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	28.2	40.5	######	38.8	36.7	32.9	######	22.6	14.4	23.8	18.6	9.4	16.9	22.0	17.9	7.9	7.0	5.0	######	######	######	######	-7.4	######	######
			!BDF				!BDF												!BDF	!BDF	!BDF	!BDF		!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

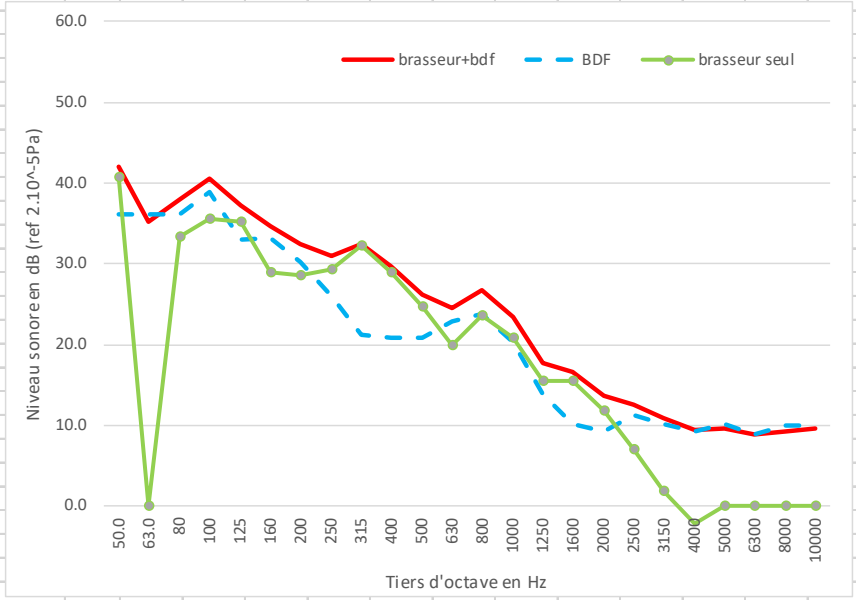
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

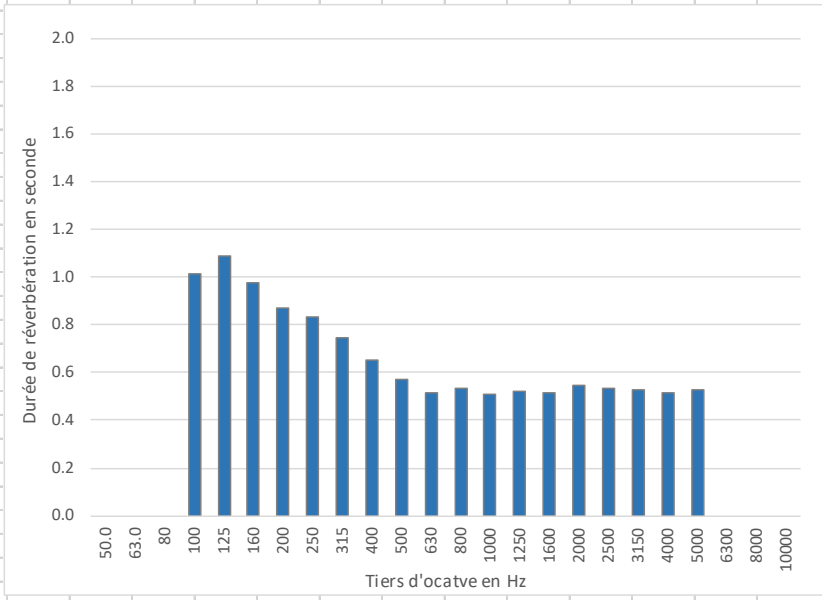
Lieu :	Salle de réu (GERES)	**Brasseur :**	Casto 1er prix modèle 3	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V2	65	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.9	m
Surface local	23.42	m2			
Volume local	79.63	m3			

Lp = 34.7 dB(A)

		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	34.7	42.0	35.2	38.0	40.5	37.2	34.6	32.5	30.9	32.5	29.6	26.2	24.6	26.7	23.5	17.7	16.6	13.7	12.6	10.8	9.5	9.6	8.8	9.2	9.6
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.8	36.2	36.2	36.2	38.8	32.9	33.2	30.2	25.9	21.2	20.9	20.9	22.8	23.8	20.2	13.8	10.2	9.2	11.2	10.2	9.2	10.2	8.9	9.9	9.9
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	32.4	40.7	######	33.3	35.6	35.2	29.0	28.6	29.2	32.2	29.0	24.7	19.9	23.6	20.8	15.4	15.5	11.8	7.0	1.9	-2.3	######	######	######	########
			!BDF																			!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle de réu (GERES)	**Brasseur :**	Casto 1er prix modèle 3	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V3	66	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.9	m
Surface local	23.42	m2			
Volume local	79.63	m3			

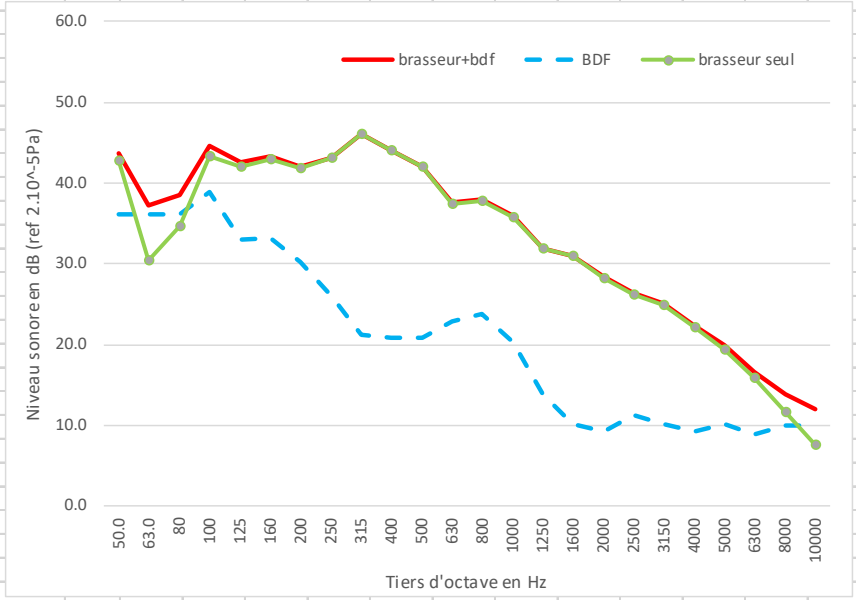
Lp = 46.9 dB(A)

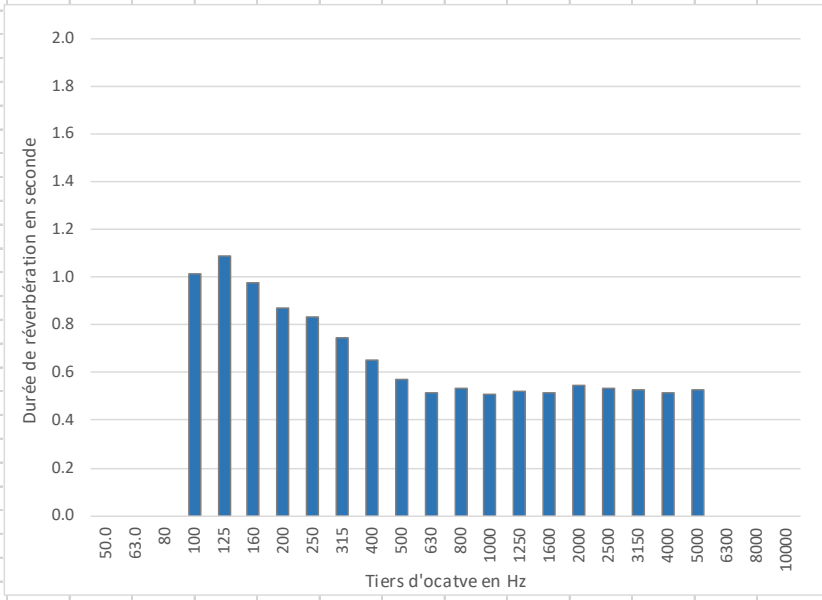
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	46.9	43.6	37.2	38.5	44.6	42.6	43.3	42.1	43.2	46.0	44.0	42.1	37.6	37.9	35.9	31.9	31.0	28.3	26.3	25.0	22.3	19.9	16.6	13.9	11.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.8	36.2	36.2	36.2	38.8	32.9	33.2	30.2	25.9	21.2	20.9	20.9	22.8	23.8	20.2	13.8	10.2	9.2	11.2	10.2	9.2	10.2	8.9	9.9	9.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	46.8	42.7	30.3	34.6	43.3	42.1	42.9	41.8	43.1	46.0	44.0	42.1	37.5	37.7	35.8	31.8	31.0	28.2	26.2	24.9	22.1	19.4	15.8	11.7	7.6





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle de réu (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 3	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1	67	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.9	m
Surface local	23.42	m2			
Volume local	79.63	m3			

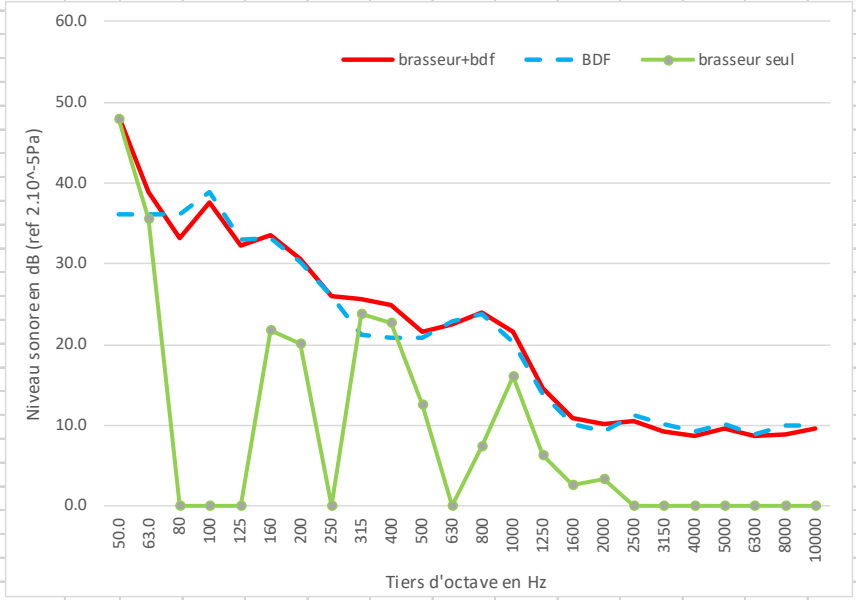
Lp = 31.6 dB(A)

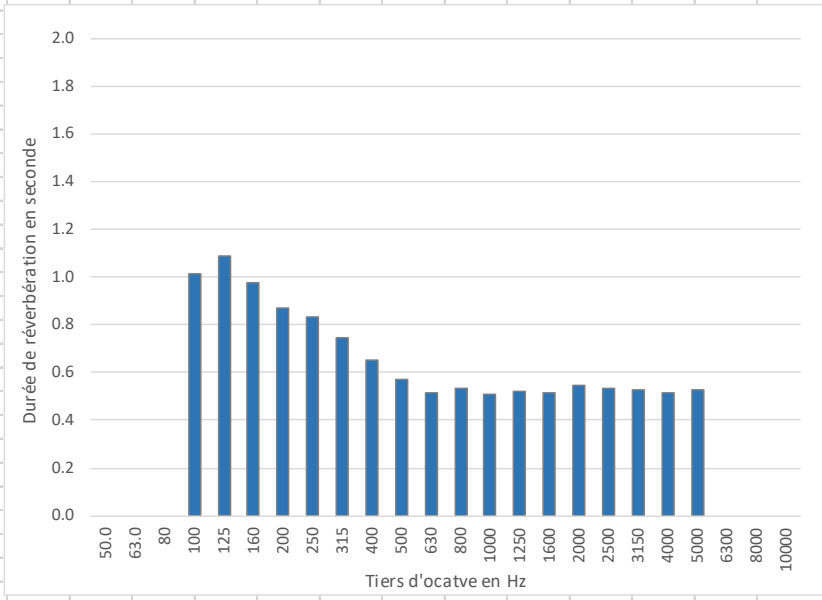
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	31.6	48.2	38.9	33.2	37.6	32.2	33.5	30.6	25.9	25.7	24.9	21.5	22.5	23.9	21.6	14.5	10.9	10.2	10.5	9.2	8.6	9.6	8.7	8.9	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.8	36.2	36.2	36.2	38.8	32.9	33.2	30.2	25.9	21.2	20.9	20.9	22.8	23.8	20.2	13.8	10.2	9.2	11.2	10.2	9.2	10.2	8.9	9.9	9.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	23.9	47.9	35.6	######	######	######	21.7	20.0	######	23.8	22.7	12.6	######	7.5	16.0	6.2	2.6	3.3	######	######	######	######	######	######	######
				!BDF	!BDF	!BDF							!BDF						!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle de réu (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 3	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2	68	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.9	m
Surface local	23.42	m2			
Volume local	79.63	m3			

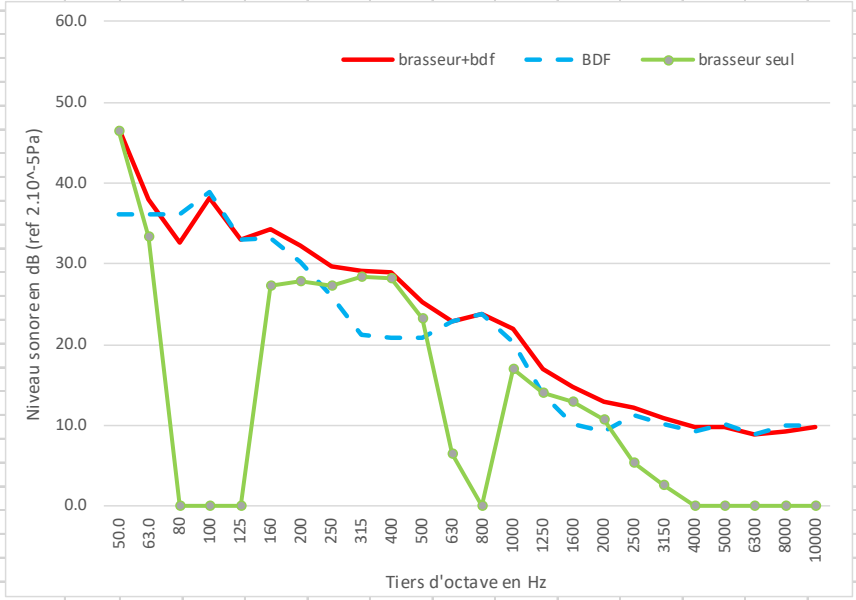
Lp = **32.8** dB(A)

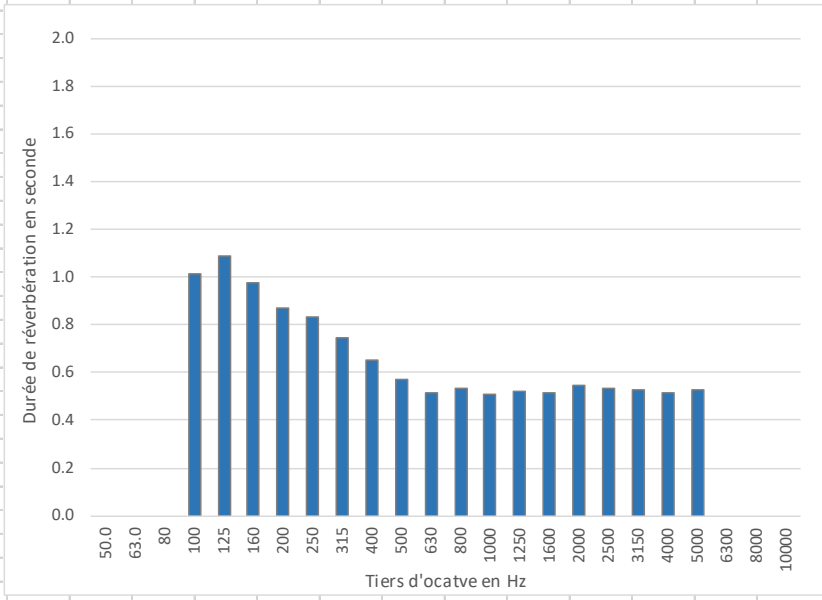
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	32.8	46.8	38.0	32.7	38.2	32.9	34.2	32.2	29.7	29.2	29.0	25.2	22.9	23.8	21.9	16.9	14.8	13.0	12.2	10.9	9.7	9.8	8.9	9.2	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.8	36.2	36.2	36.2	38.8	32.9	33.2	30.2	25.9	21.2	20.9	20.9	22.8	23.8	20.2	13.8	10.2	9.2	11.2	10.2	9.2	10.2	8.9	9.9	9.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	28.5	46.4	33.3	######	######	######	27.3	27.9	27.4	28.5	28.3	23.2	6.5	######	17.0	14.0	13.0	10.7	5.3	2.6	0.1	######	######	######	######
				!BDF	!BDF																	!BDF		!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle de réu (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 3	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V3	69	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.9	m
Surface local	23.42	m2			
Volume local	79.63	m3			

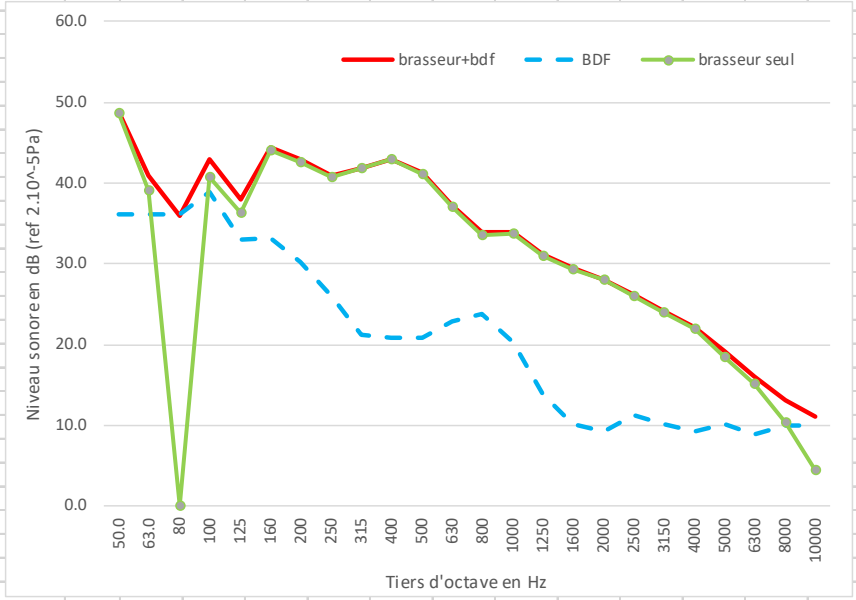
Lp = 45.2 dB(A)

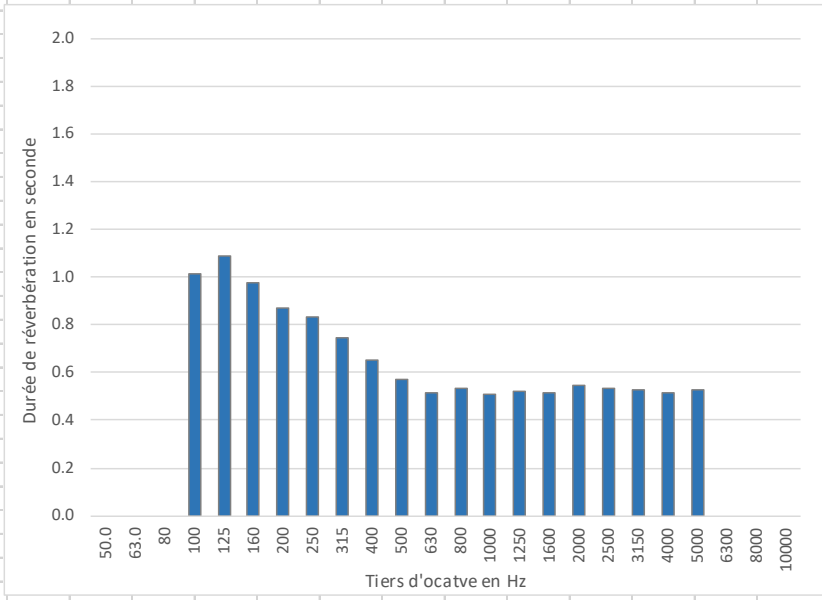
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	45.2	48.9	40.9	35.9	42.9	37.9	44.4	42.9	40.9	41.9	42.9	41.2	37.2	34.0	34.0	31.1	29.4	28.0	26.1	24.1	22.1	19.1	16.0	13.1	11.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.8	36.2	36.2	36.2	38.8	32.9	33.2	30.2	25.9	21.2	20.9	20.9	22.8	23.8	20.2	13.8	10.2	9.2	11.2	10.2	9.2	10.2	8.9	9.9	9.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	45.0	48.7	39.1	######	40.8	36.2	44.1	42.7	40.8	41.9	42.9	41.2	37.0	33.6	33.8	31.0	29.3	27.9	26.0	23.9	21.9	18.5	15.1	10.3	4.5
				!BDF																					





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle de réu (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 3	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V1	70	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	2.5	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.9	m
Surface local	23.42	m2			
Volume local	79.63	m3			

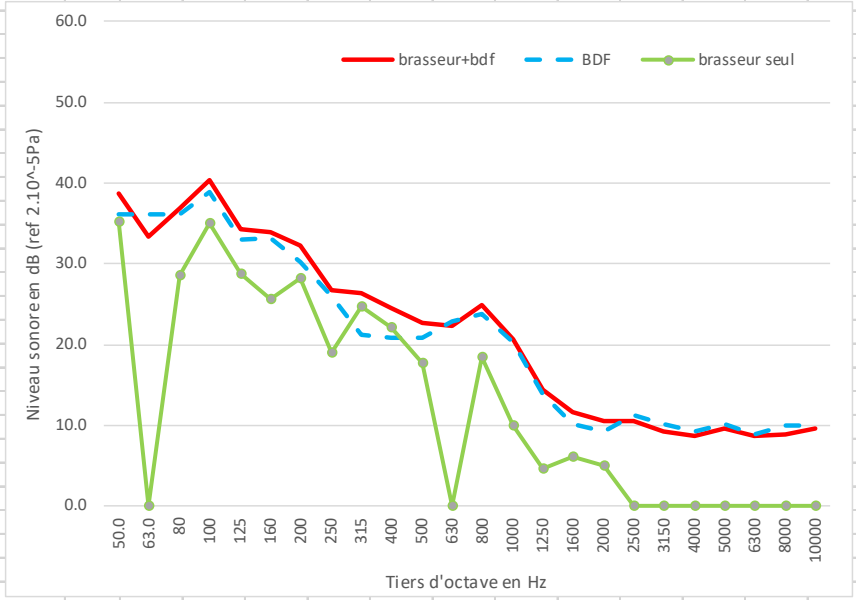
Lp = 31.6 dB(A)

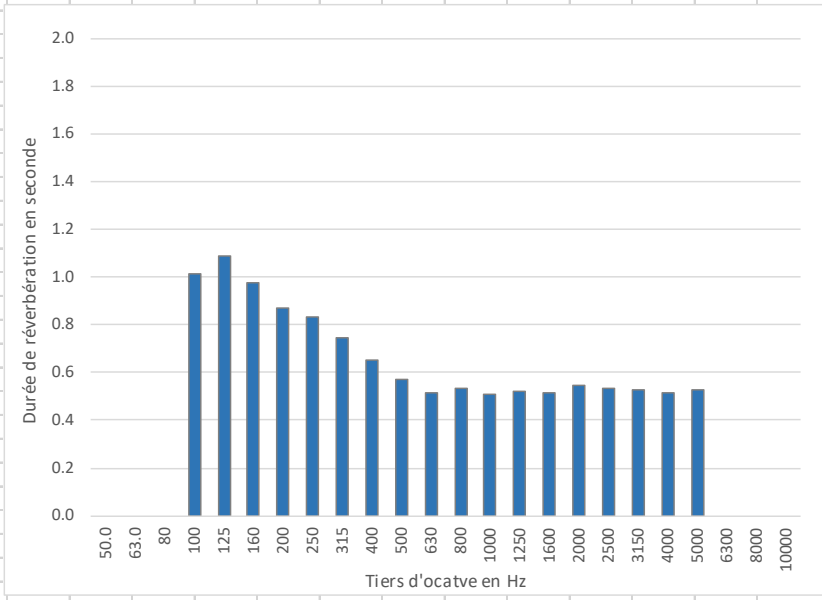
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	31.6	38.7	33.3	36.9	40.3	34.3	33.9	32.3	26.7	26.3	24.6	22.6	22.3	24.9	20.6	14.3	11.6	10.6	10.6	9.3	8.6	9.6	8.7	8.9	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.8	36.2	36.2	36.2	38.8	32.9	33.2	30.2	25.9	21.2	20.9	20.9	22.8	23.8	20.2	13.8	10.2	9.2	11.2	10.2	9.2	10.2	8.9	9.9	9.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	23.9	35.1	######	28.6	35.0	28.7	25.6	28.1	19.0	24.7	22.2	17.7	######	18.4	10.0	4.7	6.0	5.0	######	######	######	######	######	######	######
			!BDF										!BDF						!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

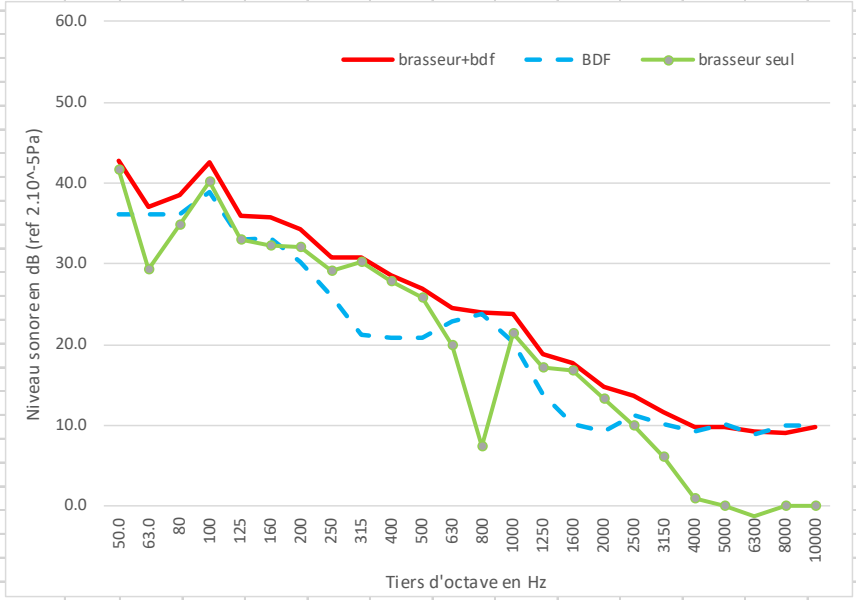
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

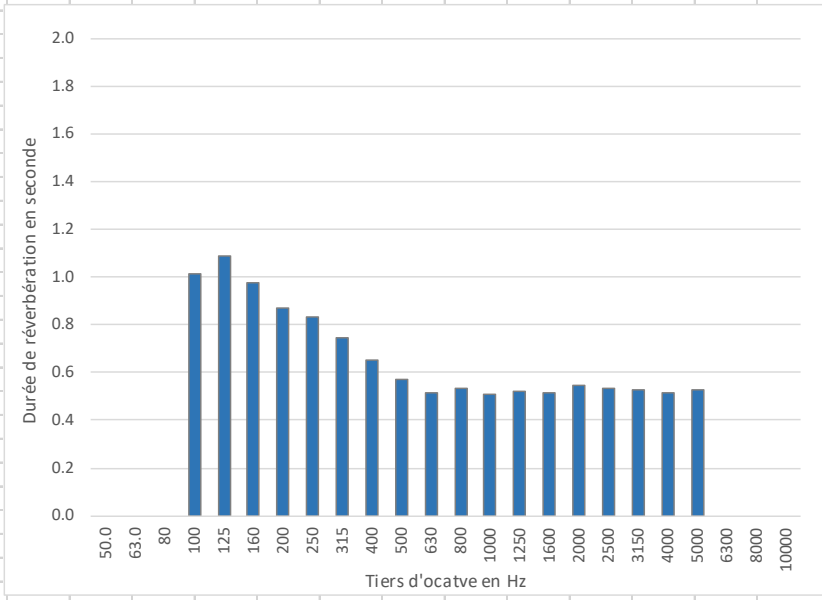
Lieu :	Salle de réu (GERES)	Brasseur :	Casto 1er prix modèle 3	Fiche	Date
Op.-sono :	LB & SV957	Vitesse :	V2	71	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.9	m
Surface local	23.42	m2			
Volume local	79.63	m3			

Lp = 34.6 dB(A)

		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	34.6	42.8	37.0	38.6	42.6	36.0	35.8	34.3	30.8	30.8	28.6	27.0	24.6	23.9	23.8	18.8	17.7	14.7	13.6	11.6	9.8	9.8	9.3	9.0	9.7
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.8	36.2	36.2	36.2	38.8	32.9	33.2	30.2	25.9	21.2	20.9	20.9	22.8	23.8	20.2	13.8	10.2	9.2	11.2	10.2	9.2	10.2	8.9	9.9	9.9
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	32.3	41.7	29.3	34.9	40.3	33.1	32.3	32.2	29.1	30.3	27.8	25.8	19.9	7.5	21.3	17.1	16.8	13.3	9.9	6.0	0.9	######	-1.3	######	######
																						!BDF		!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Salle de réu (GERES)	**Brasseur :**	Casto 1er prix modèle 3	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	LB & SV957	**Vitesse :**	V3	72	05-août-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.9	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	2	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.9	m
Surface local	23.42	m2			
Volume local	79.63	m3			

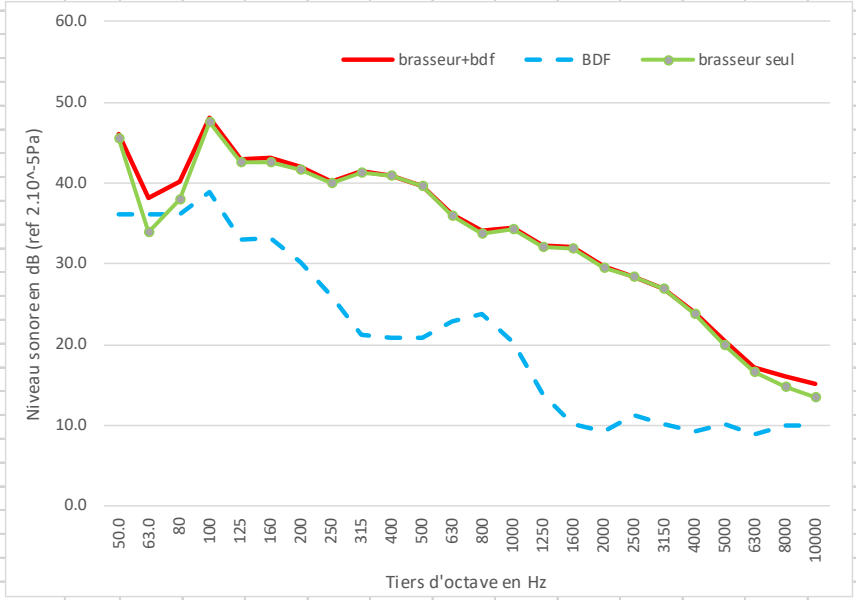
Lp = 45.6 dB(A)

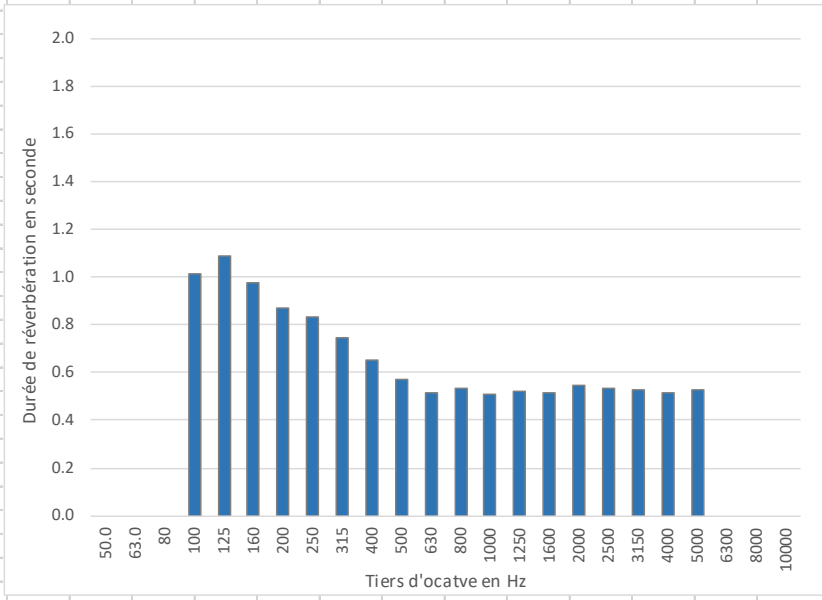
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	1.0	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	45.6	46.0	38.2	40.2	48.1	43.0	43.1	42.0	40.1	41.4	41.0	39.6	36.1	34.1	34.4	32.2	32.0	29.6	28.4	27.0	24.0	20.4	17.2	16.0	15.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	30.8	36.2	36.2	36.2	38.8	32.9	33.2	30.2	25.9	21.2	20.9	20.9	22.8	23.8	20.2	13.8	10.2	9.2	11.2	10.2	9.2	10.2	8.9	9.9	9.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	45.5	45.5	33.9	38.0	47.6	42.6	42.6	41.7	39.9	41.4	41.0	39.5	35.9	33.7	34.2	32.1	32.0	29.6	28.3	26.9	23.9	20.0	16.5	14.8	13.5





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 3	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V1	73	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	?	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	55.85	m2			
Volume local	167.6	m3			

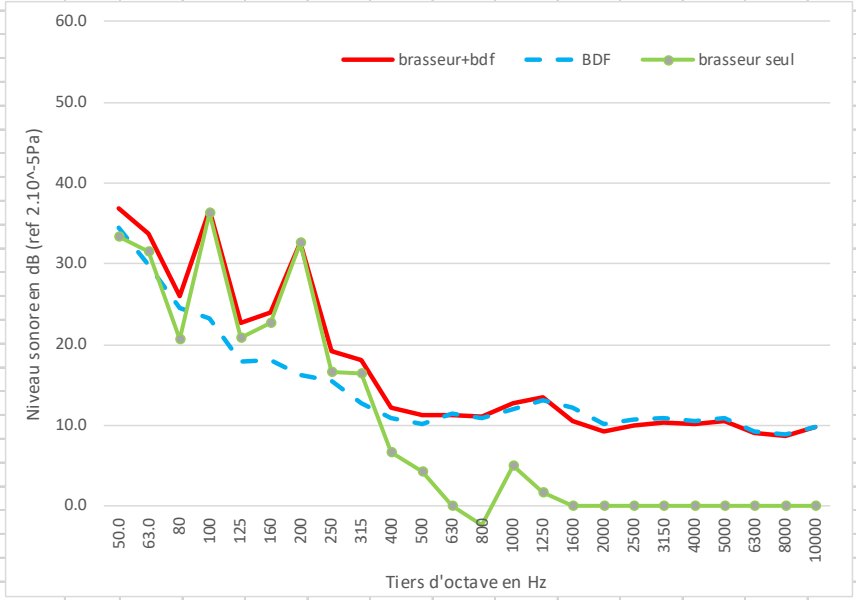
Lp = 26.6 dB(A)

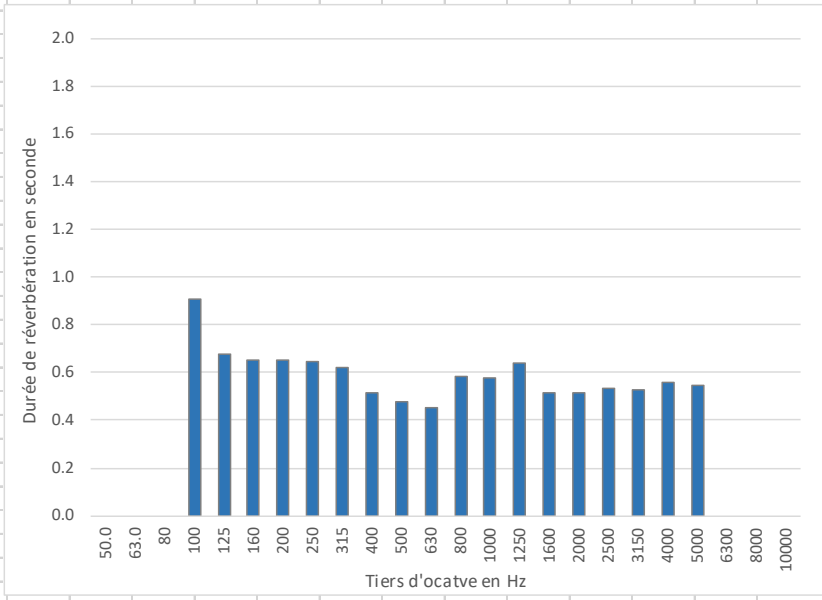
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.9	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	26.6	36.9	33.8	26.0	36.6	22.6	24.0	32.7	19.1	18.0	12.2	11.2	11.3	11.1	12.8	13.4	10.6	9.3	10.0	10.4	10.2	10.6	9.0	8.7	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	22.8	34.4	29.8	24.5	23.2	17.8	18.1	16.2	15.5	12.8	10.8	10.2	11.5	10.9	12.0	13.1	12.1	10.2	10.7	10.8	10.5	10.9	9.2	8.8	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	24.3	33.3	31.6	20.7	36.4	20.9	22.7	32.6	16.6	16.4	6.6	4.3	######	-2.4	5.1	1.6	######	######	######	######	######	######	######	######	######
													!BDF				!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 3	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V2	74	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	55.85	m2			
Volume local	167.6	m3			

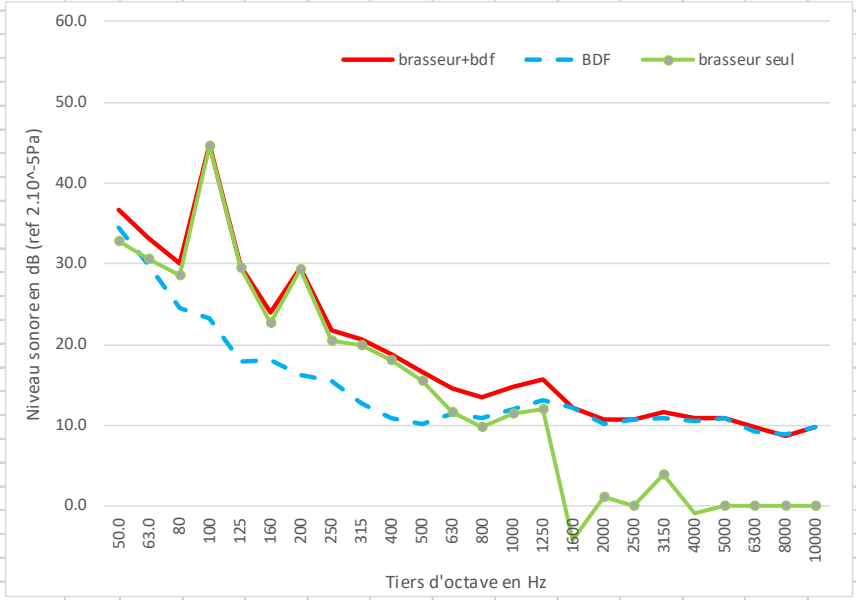
Lp = 28.9 dB(A)

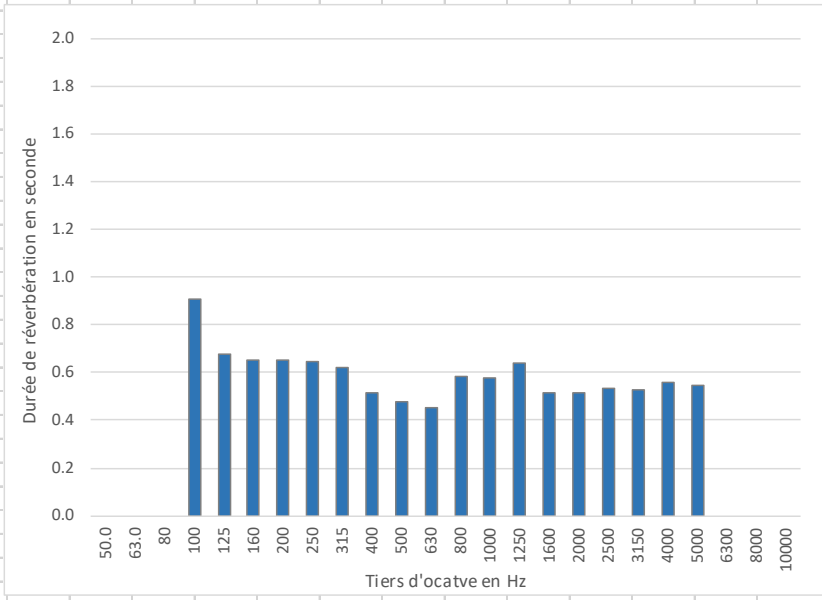
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.9	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	28.9	36.7	33.2	30.0	44.7	29.7	24.0	29.5	21.7	20.7	18.8	16.6	14.6	13.4	14.7	15.6	12.2	10.7	10.7	11.6	10.8	10.9	9.7	8.7	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	22.8	34.4	29.8	24.5	23.2	17.8	18.1	16.2	15.5	12.8	10.8	10.2	11.5	10.9	12.0	13.1	12.1	10.2	10.7	10.8	10.5	10.9	9.2	8.8	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	27.7	32.8	30.5	28.6	44.7	29.4	22.7	29.3	20.5	19.9	18.1	15.5	11.7	9.8	11.4	12.0	-4.2	1.1	######	3.9	-1.0	######	0.1	######	#######
																								!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 3	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V3	75	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	55.85	m2			
Volume local	167.6	m3			

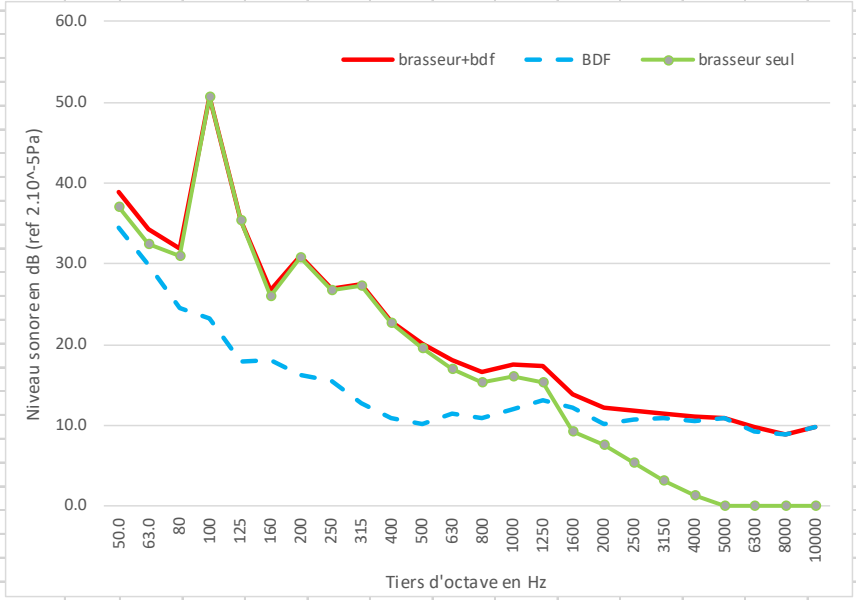
Lp = 33.8 dB(A)

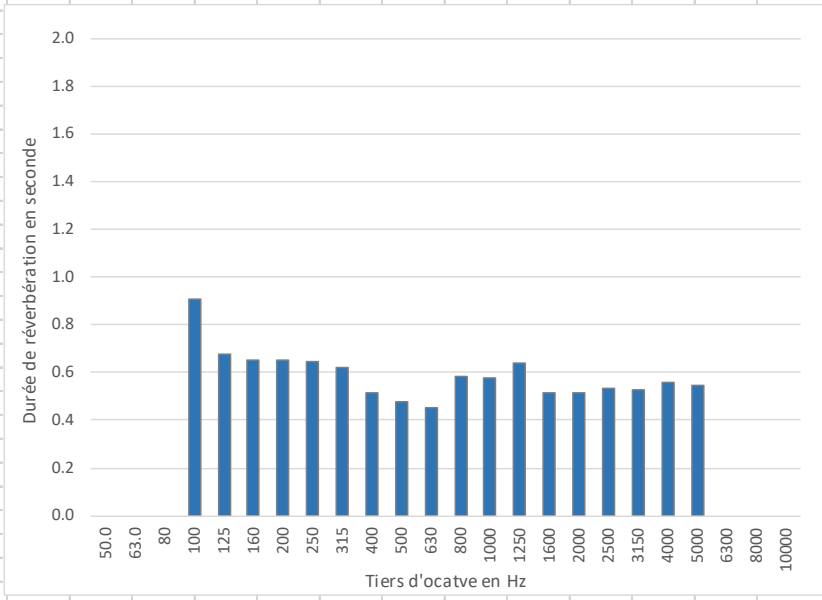
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.9	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	33.8	38.9	34.3	31.8	50.7	35.4	26.7	31.0	27.0	27.4	22.9	20.1	18.0	16.6	17.5	17.4	13.9	12.1	11.8	11.5	11.0	10.9	9.7	8.8	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	22.8	34.4	29.8	24.5	23.2	17.8	18.1	16.2	15.5	12.8	10.8	10.2	11.5	10.9	12.0	13.1	12.1	10.2	10.7	10.8	10.5	10.9	9.2	8.8	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	33.4	37.0	32.4	30.9	50.7	35.3	26.1	30.9	26.7	27.2	22.6	19.6	16.9	15.2	16.1	15.4	9.2	7.6	5.3	3.2	1.4	######	0.1	######	########





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 3	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V1	76	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	?	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	55.85	m2			
Volume local	167.6	m3			

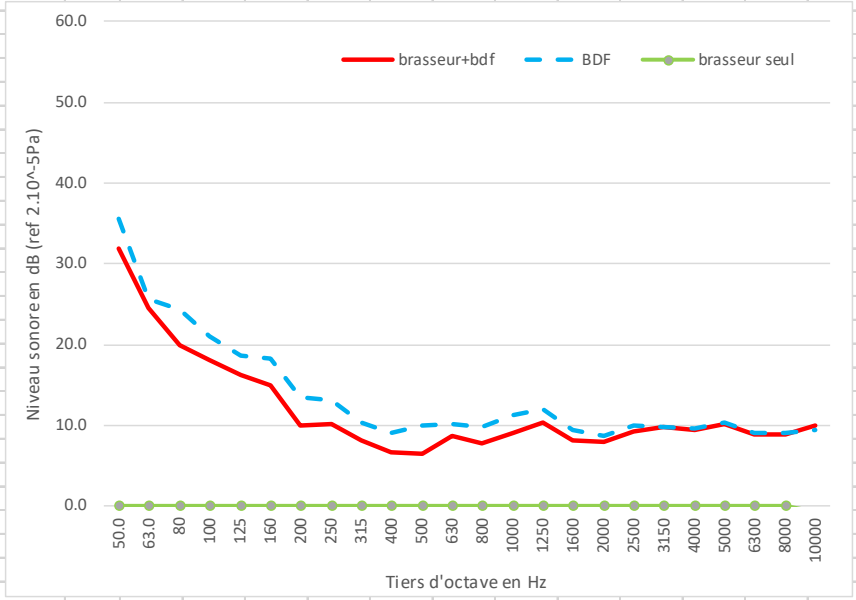
Lp = 25.1 dB(A)

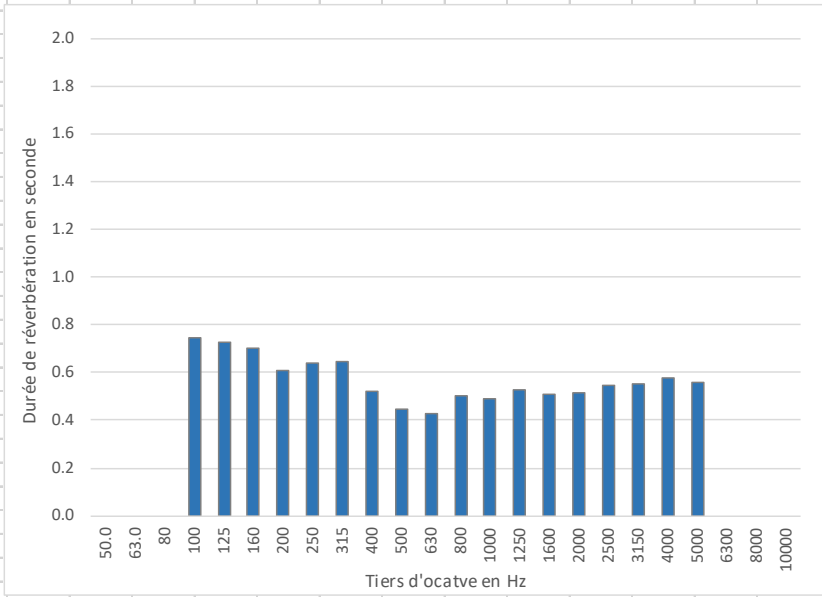
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	25.1	31.9	24.6	19.9	18.0	16.2	14.9	10.0	10.2	8.2	6.7	6.5	8.7	7.7	9.1	10.3	8.2	8.0	9.3	9.7	9.5	10.2	8.9	8.9	9.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.6	35.5	25.6	24.3	21.1	18.7	18.3	13.5	13.1	10.3	9.1	10.0	10.2	9.7	11.2	12.0	9.4	8.7	10.0	9.8	9.6	10.3	9.1	9.0	9.5

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	22.5	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	#######	-0.7
		!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 3	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm		Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V2		77	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	55.85	m2			
Volume local	167.6	m3			

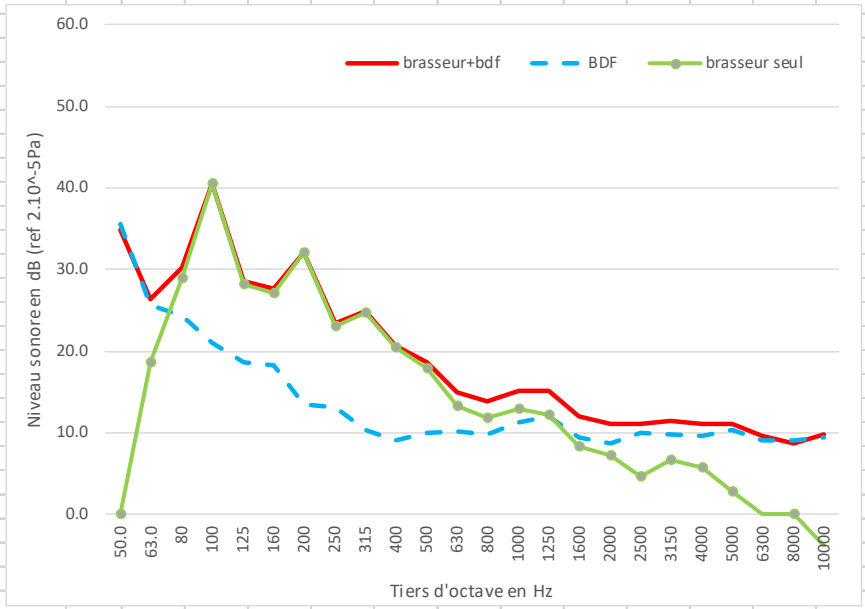
Lp = 28.9 dB(A)

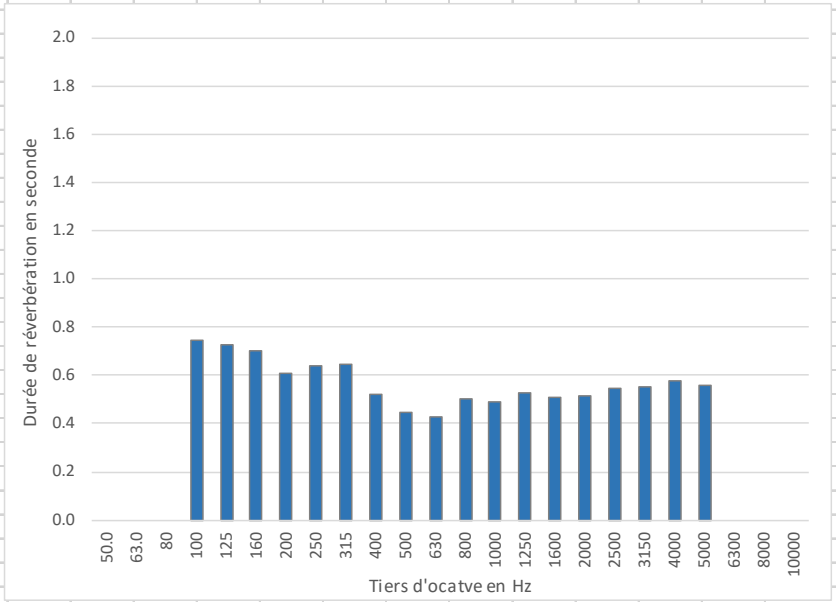
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	28.9	34.9	26.4	30.2	40.6	28.6	27.7	32.1	23.5	24.8	20.7	18.6	15.0	13.9	15.1	15.1	11.9	11.0	11.1	11.5	11.1	11.0	9.6	8.7	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.6	35.5	25.6	24.3	21.1	18.7	18.3	13.5	13.1	10.3	9.1	10.0	10.2	9.7	11.2	12.0	9.4	8.7	10.0	9.8	9.6	10.3	9.1	9.0	9.5

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	28.0	######	18.7	28.9	40.6	28.1	27.2	32.0	23.1	24.6	20.4	18.0	13.3	11.8	12.8	12.2	8.3	7.1	4.6	6.6	5.8	2.7	0.0	######	-3.8
		!BDF																						!BDF	





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 3	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V3	78	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	55.85	m2			
Volume local	167.6	m3			

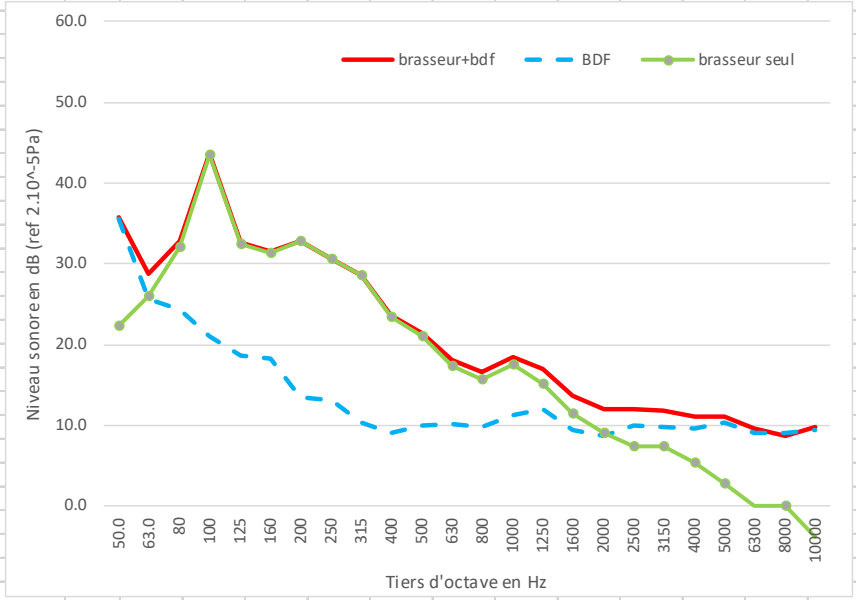
Lp = 31.6 dB(A)

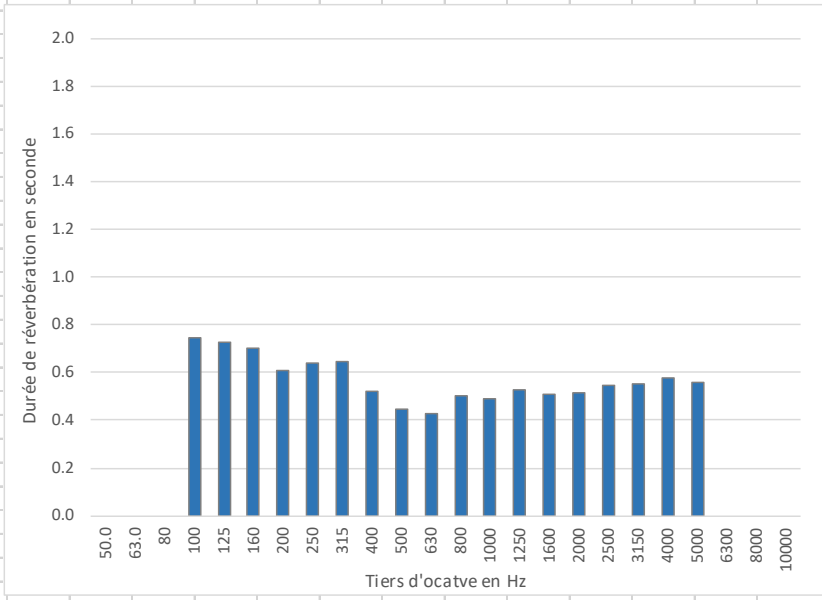
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	31.6	35.7	28.8	32.8	43.6	32.7	31.5	32.8	30.6	28.6	23.6	21.4	18.1	16.6	18.5	16.9	13.6	11.9	11.9	11.8	11.0	11.0	9.6	8.7	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	21.6	35.5	25.6	24.3	21.1	18.7	18.3	13.5	13.1	10.3	9.1	10.0	10.2	9.7	11.2	12.0	9.4	8.7	10.0	9.8	9.6	10.3	9.1	9.0	9.5

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	31.1	22.2	26.0	32.1	43.6	32.5	31.3	32.7	30.5	28.5	23.4	21.1	17.3	15.6	17.6	15.2	11.5	9.1	7.4	7.5	5.4	2.7	0.0	######	-3.8
																								!BDF	





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 3	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V1	79	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	?	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	55.85	m2			
Volume local	167.6	m3			

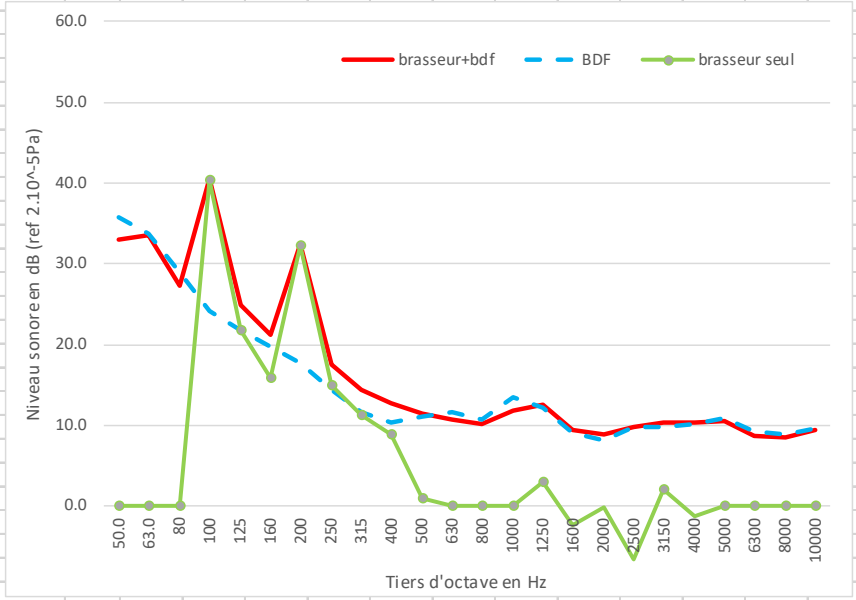
Lp = 26.8 dB(A)

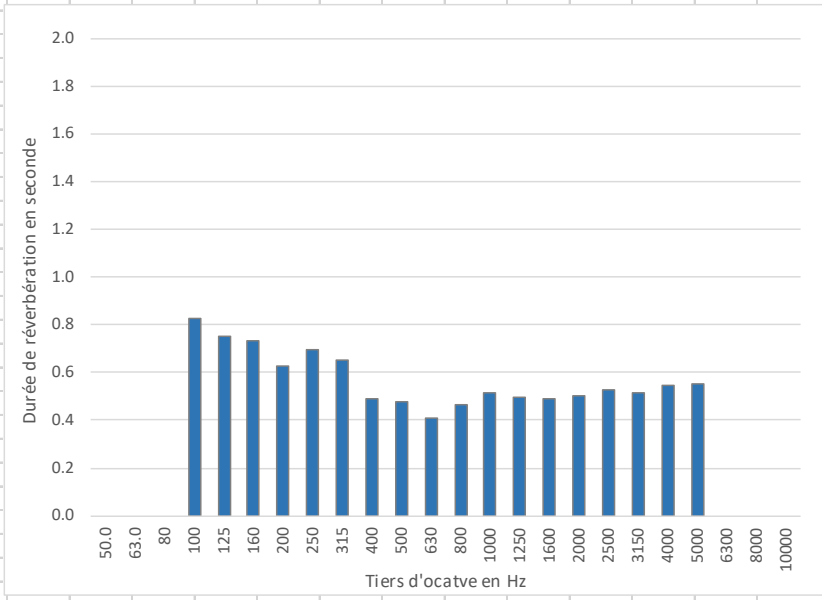
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	26.8	33.0	33.5	27.3	40.5	24.8	21.2	32.4	17.6	14.4	12.7	11.5	10.7	10.2	11.8	12.6	9.4	8.8	9.8	10.4	10.4	10.5	8.7	8.5	9.4

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	22.3	35.8	33.7	28.9	24.2	21.8	19.7	17.7	14.3	11.6	10.4	11.1	11.6	10.7	13.4	12.1	9.1	8.2	9.7	9.7	10.1	10.9	9.2	8.8	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	24.9	######	######	######	40.4	21.8	15.9	32.3	14.9	11.2	8.8	0.9	######	######	######	3.0	-2.4	-0.1	-6.6	2.1	-1.4	######	######	######	######
		!BDF	!BDF	!BDF									!BDF	!BDF	!BDF							!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 3	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V2	80	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	55.85	m2			
Volume local	167.6	m3			

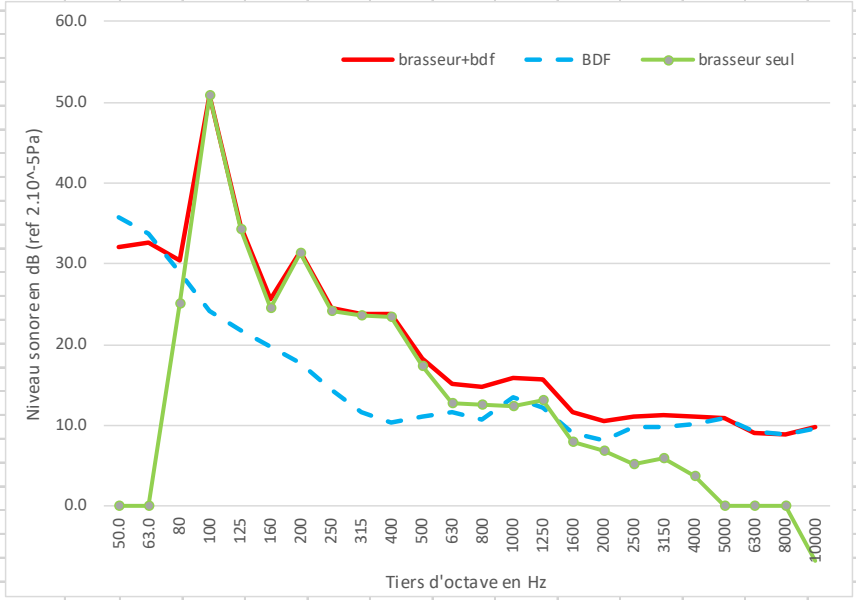
Lp = 33.6 dB(A)

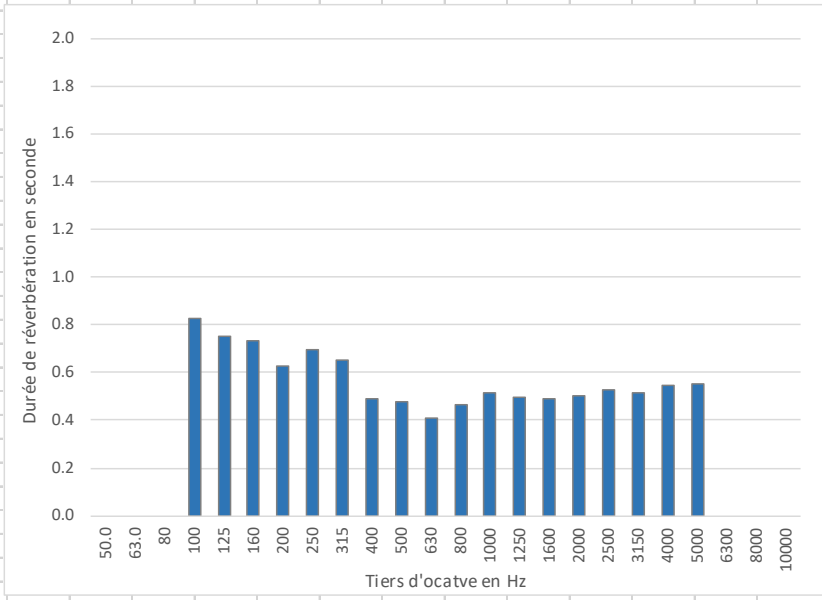
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	33.6	32.0	32.7	30.4	50.8	34.6	25.7	31.6	24.6	23.8	23.7	18.2	15.2	14.7	15.9	15.6	11.6	10.6	11.0	11.2	11.0	10.9	9.1	8.8	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	22.3	35.8	33.7	28.9	24.2	21.8	19.7	17.7	14.3	11.6	10.4	11.1	11.6	10.7	13.4	12.1	9.1	8.2	9.7	9.7	10.1	10.9	9.2	8.8	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	33.3	######	######	25.1	50.8	34.4	24.4	31.4	24.2	23.5	23.5	17.3	12.7	12.5	12.3	13.0	8.0	6.9	5.1	5.9	3.7	######	######	######	-6.7
		!BDF	!BDF																				!BDF		





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 3	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V3	81	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	3.0	m
Surface local	55.85	m2			
Volume local	167.6	m3			

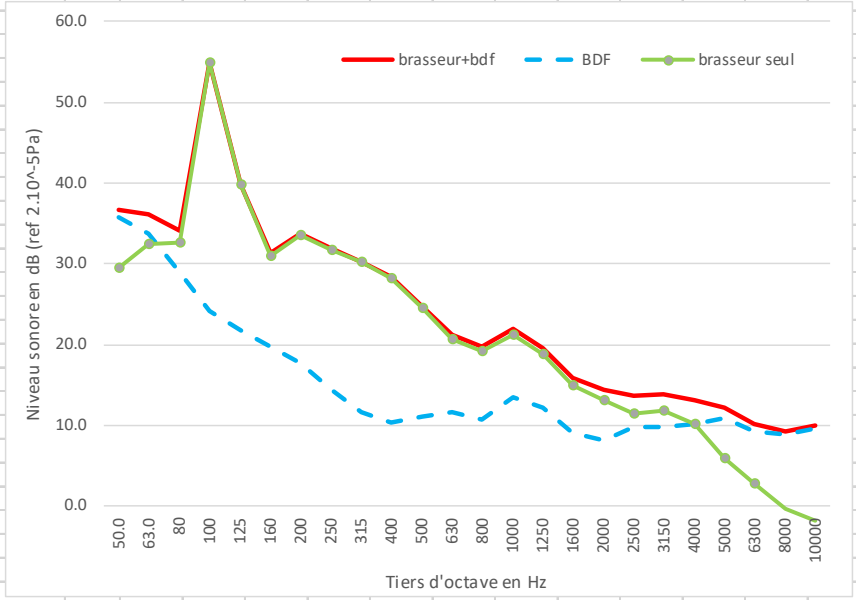
Lp = 37.8 dB(A)

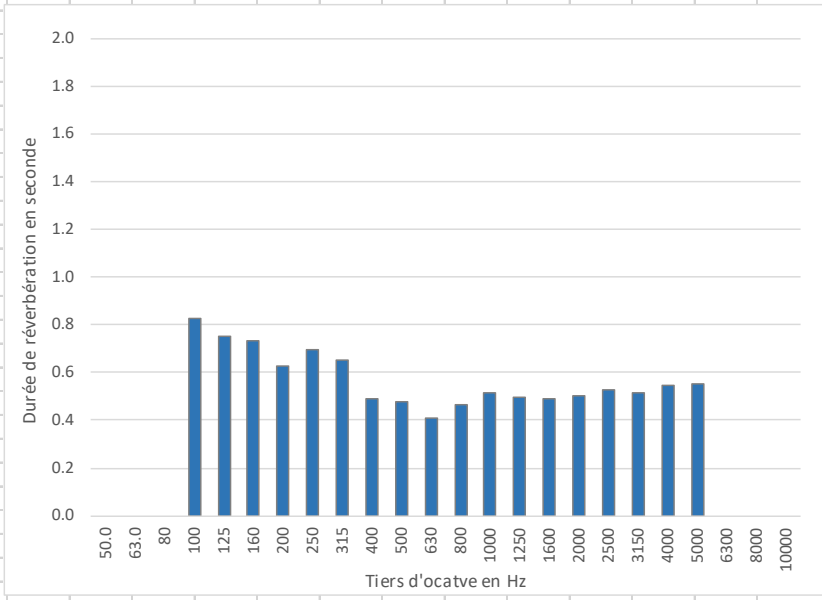
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	37.8	36.7	36.1	34.1	54.9	39.8	31.3	33.7	31.8	30.3	28.3	24.7	21.2	19.7	21.9	19.6	15.9	14.3	13.7	13.9	13.1	12.1	10.1	9.3	9.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	22.3	35.8	33.7	28.9	24.2	21.8	19.7	17.7	14.3	11.6	10.4	11.1	11.6	10.7	13.4	12.1	9.1	8.2	9.7	9.7	10.1	10.9	9.2	8.8	9.6

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	37.7	29.4	32.4	32.5	54.9	39.7	31.0	33.6	31.7	30.2	28.2	24.5	20.7	19.1	21.2	18.7	14.9	13.1	11.5	11.8	10.1	5.9	2.8	-0.3	-1.9





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 4	**Brasseur :**	Hunter industrie II 154cm	**Fiche**	**Date**
Op.-sono :	JA & SV957	**Vitesse :**	V1	82	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.0	m
Surface local	55	m2			
Volume local	165	m3			

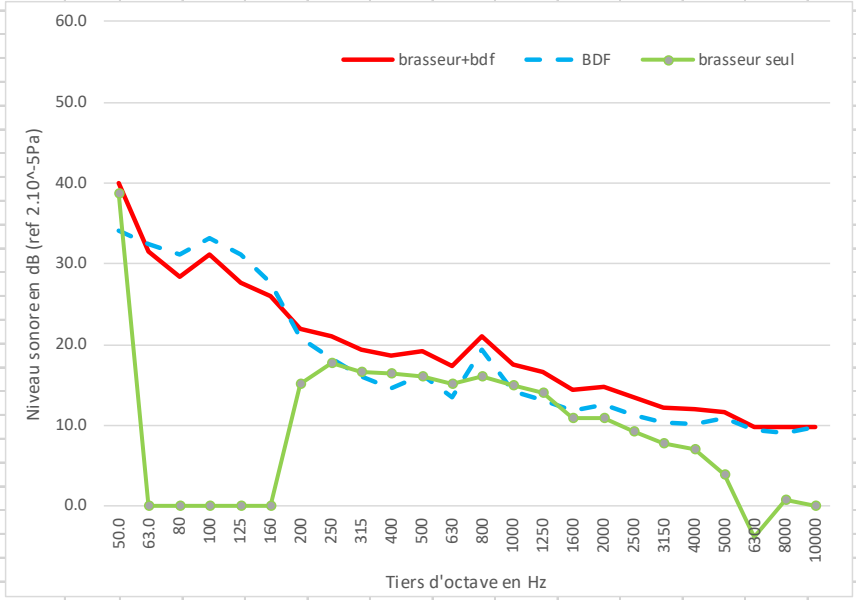
Lp = 28.8 dB(A)

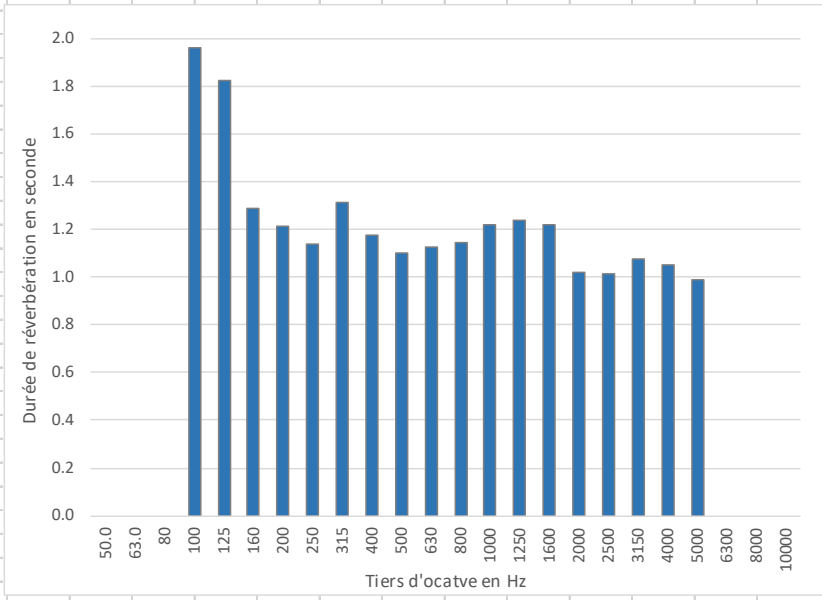
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	2.0	1.8	1.3	1.2	1.1	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	28.8	40.0	31.6	28.3	31.2	27.6	26.0	21.9	21.0	19.3	18.6	19.1	17.4	21.0	17.6	16.6	14.4	14.8	13.4	12.2	11.9	11.6	9.7	9.7	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	27	34.1	32.4	31.1	33.1	31.2	27.7	20.9	18.3	16.0	14.5	16.2	13.5	19.3	14.2	13.1	11.8	12.5	11.3	10.3	10.2	10.8	9.5	9.1	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	24.1	38.7	######	######	######	######	######	15.0	17.7	16.6	16.5	16.0	15.1	16.1	14.9	14.0	10.9	10.9	9.2	7.7	7.0	3.9	-3.8	0.8	#######
			!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF																		





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 4	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V2	83	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.0	m
Surface local	55	m2			
Volume local	165	m3			

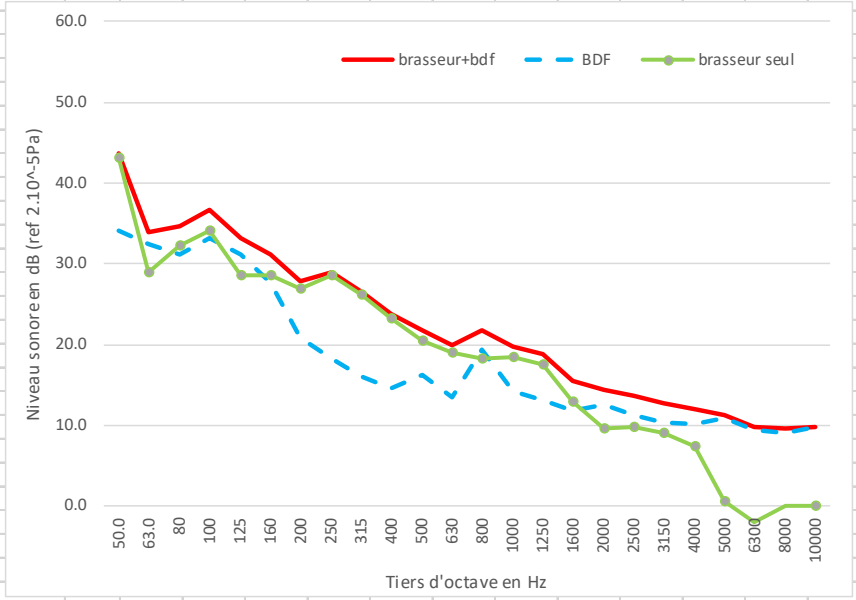
Lp = 30.8 dB(A)

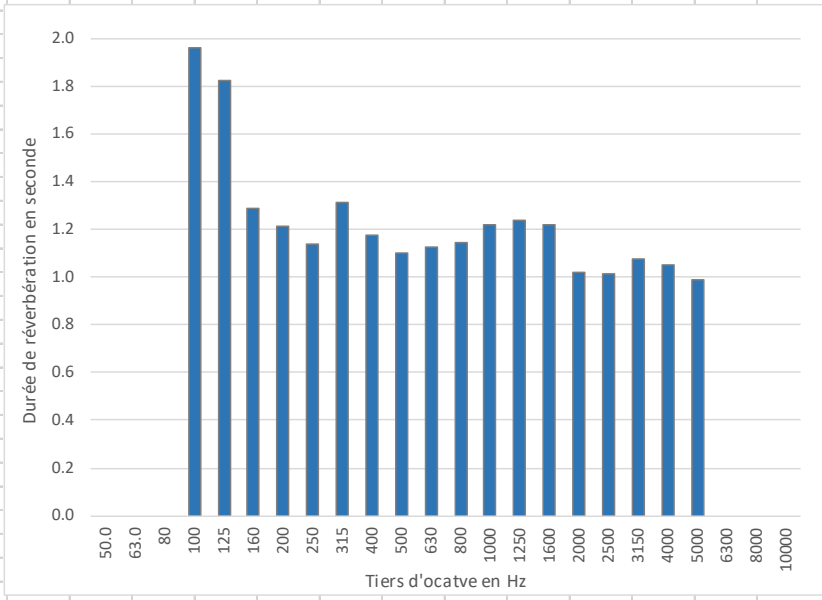
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	2.0	1.8	1.3	1.2	1.1	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	30.8	43.7	34.0	34.7	36.6	33.1	31.2	27.9	28.9	26.6	23.8	21.8	20.0	21.8	19.8	18.8	15.4	14.3	13.6	12.7	12.0	11.2	9.8	9.6	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	27	34.1	32.4	31.1	33.1	31.2	27.7	20.9	18.3	16.0	14.5	16.2	13.5	19.3	14.2	13.1	11.8	12.5	11.3	10.3	10.2	10.8	9.5	9.1	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	28.5	43.2	28.9	32.2	34.0	28.6	28.6	26.9	28.5	26.2	23.3	20.4	18.9	18.2	18.4	17.4	12.9	9.6	9.7	9.0	7.3	0.6	-2.0	0.0	########





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 4	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V3	84	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.0	m
Surface local	55	m2			
Volume local	165	m3			

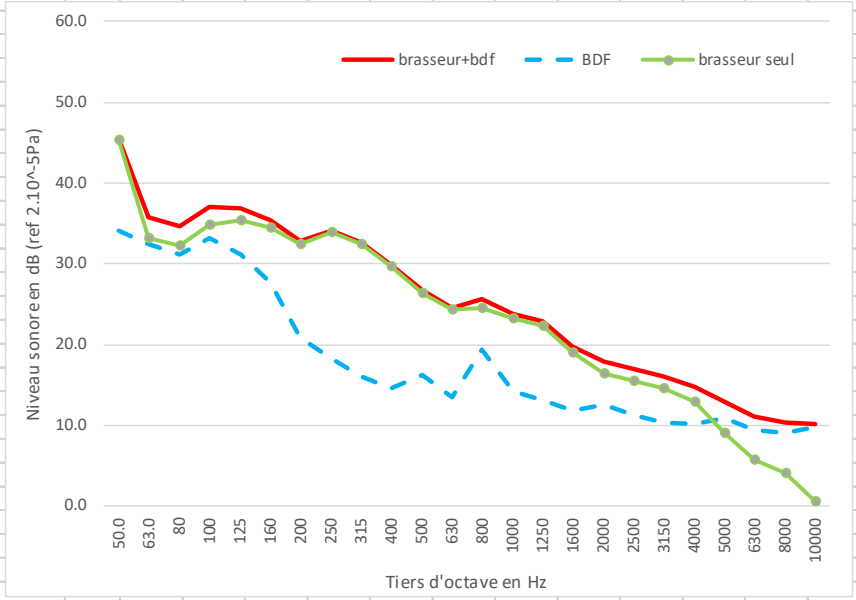
Lp = 35.2 dB(A)

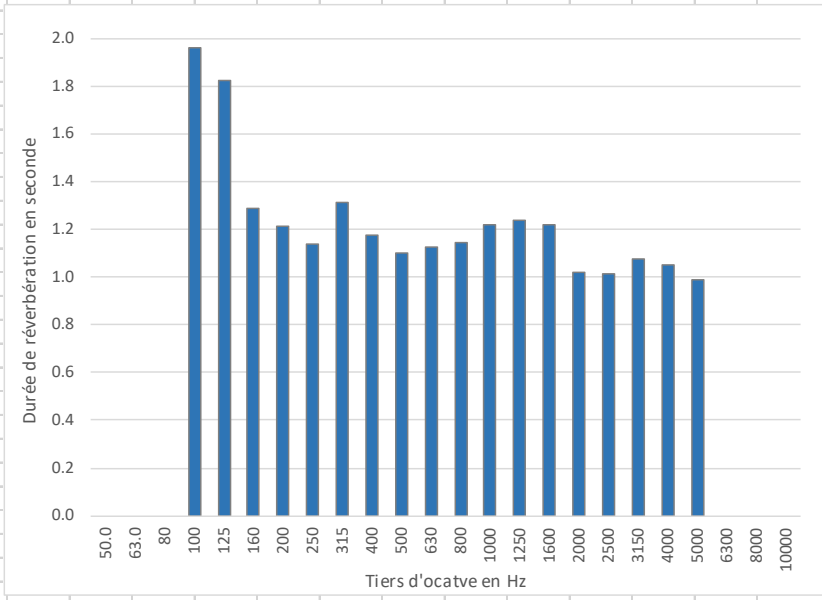
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	2.0	1.8	1.3	1.2	1.1	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	35.2	45.6	35.8	34.7	37.1	36.8	35.3	32.8	34.1	32.6	29.8	26.8	24.6	25.7	23.8	22.8	19.8	17.9	16.9	16.0	14.8	13.0	11.0	10.3	10.2

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	27	34.1	32.4	31.1	33.1	31.2	27.7	20.9	18.3	16.0	14.5	16.2	13.5	19.3	14.2	13.1	11.8	12.5	11.3	10.3	10.2	10.8	9.5	9.1	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	34.5	45.3	33.1	32.2	34.9	35.4	34.5	32.5	34.0	32.5	29.7	26.4	24.2	24.6	23.3	22.3	19.1	16.4	15.5	14.6	13.0	9.0	5.7	4.1	0.6





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 4	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V1	85	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.0	m
Surface local	55	m2			
Volume local	165	m3			

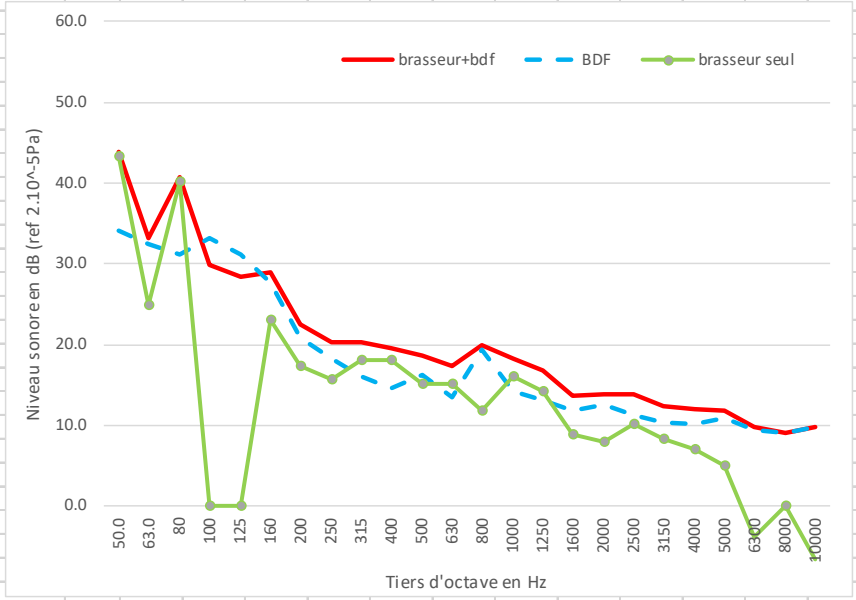
Lp = 28.8 dB(A)

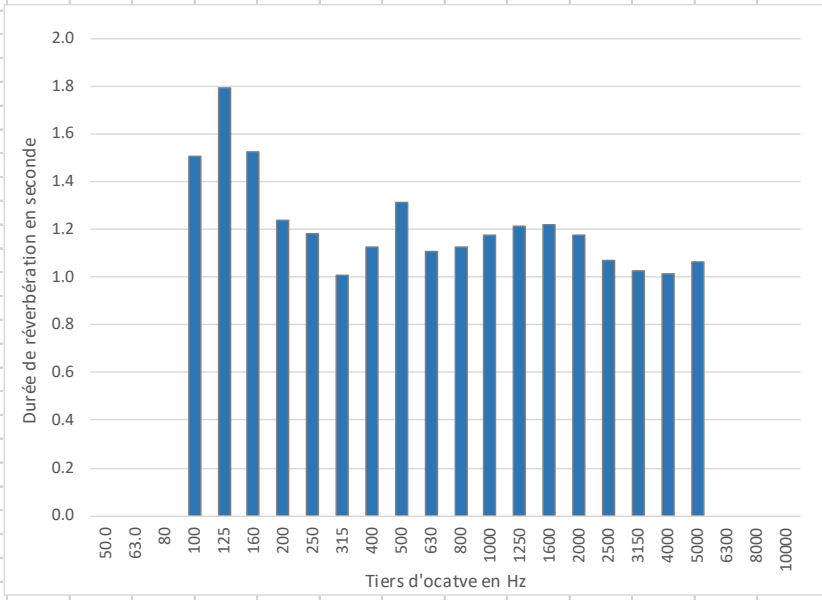
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.5	1.8	1.5	1.2	1.2	1.0	1.1	1.3	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	28.8	43.8	33.1	40.7	29.9	28.4	29.0	22.5	20.2	20.2	19.6	18.7	17.4	20.0	18.2	16.7	13.6	13.8	13.8	12.4	11.9	11.8	9.7	9.1	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	27	34.1	32.4	31.1	33.1	31.2	27.7	20.9	18.3	16.0	14.5	16.2	13.5	19.3	14.2	13.1	11.8	12.5	11.3	10.3	10.2	10.8	9.5	9.1	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	24.1	43.3	24.8	40.2	######	######	23.1	17.4	15.7	18.1	18.0	15.1	15.1	11.7	16.0	14.2	8.9	7.9	10.2	8.2	7.0	4.9	-3.8	######	-6.6
					!BDF	!BDF																			





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 4	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V2	86	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.0	m
Surface local	55	m2			
Volume local	165	m3			

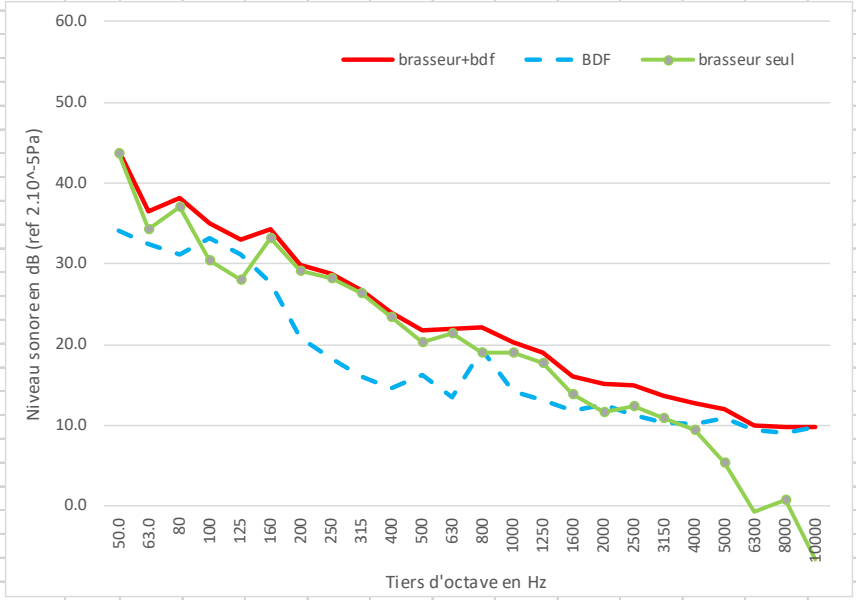
Lp = 31.8 dB(A)

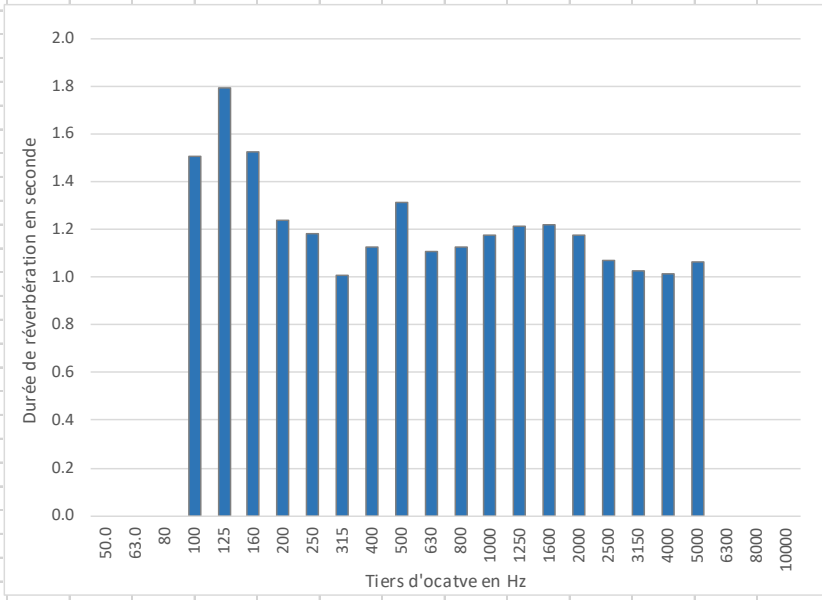
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	1.5	1.8	1.5	1.2	1.2	1.0	1.1	1.3	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	31.8	44.1	36.4	38.1	35.0	32.9	34.3	29.8	28.7	26.8	24.0	21.7	22.0	22.2	20.2	19.0	16.0	15.1	14.9	13.6	12.8	11.9	9.9	9.7	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	27	34.1	32.4	31.1	33.1	31.2	27.7	20.9	18.3	16.0	14.5	16.2	13.5	19.3	14.2	13.1	11.8	12.5	11.3	10.3	10.2	10.8	9.5	9.1	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	30.1	43.6	34.2	37.1	30.5	28.0	33.2	29.2	28.3	26.4	23.5	20.3	21.3	19.1	18.9	17.7	13.9	11.6	12.4	10.9	9.3	5.4	-0.7	0.8	-6.6





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 4	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V3	87	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.0	m
Surface local	55	m2			
Volume local	165	m3			

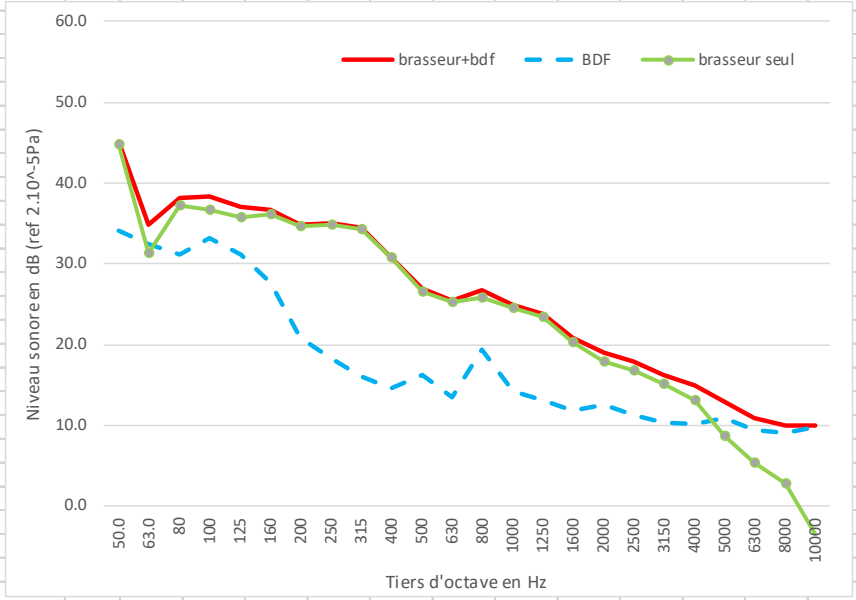
Lp = 36.1 dB(A)

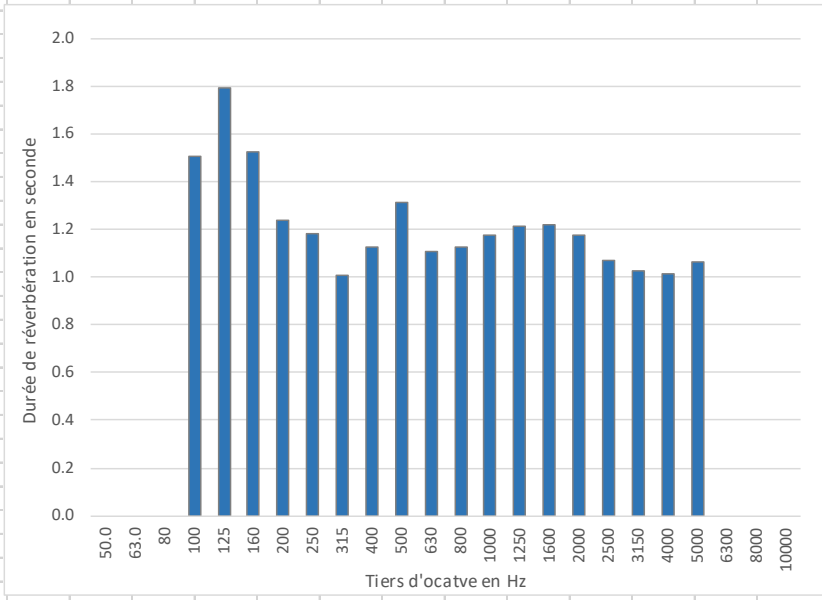
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.5	1.8	1.5	1.2	1.2	1.0	1.1	1.3	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	36.1	45.1	34.9	38.2	38.3	37.0	36.7	34.9	35.0	34.4	30.8	26.9	25.5	26.7	24.9	23.8	20.9	19.0	17.8	16.3	14.9	12.9	10.9	10.0	9.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	27	34.1	32.4	31.1	33.1	31.2	27.7	20.9	18.3	16.0	14.5	16.2	13.5	19.3	14.2	13.1	11.8	12.5	11.3	10.3	10.2	10.8	9.5	9.1	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	35.5	44.7	31.3	37.3	36.7	35.7	36.1	34.7	34.9	34.3	30.7	26.5	25.2	25.8	24.5	23.4	20.3	17.9	16.7	15.0	13.1	8.7	5.3	2.7	-3.6





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 4	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V1	88	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.0	m
Surface local	55	m2			
Volume local	165	m3			

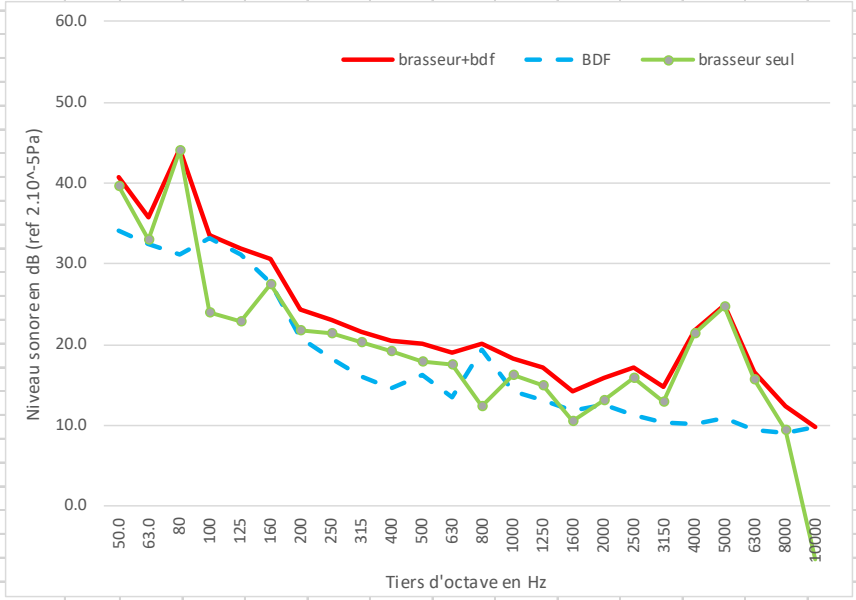
Lp = 32.4 dB(A)

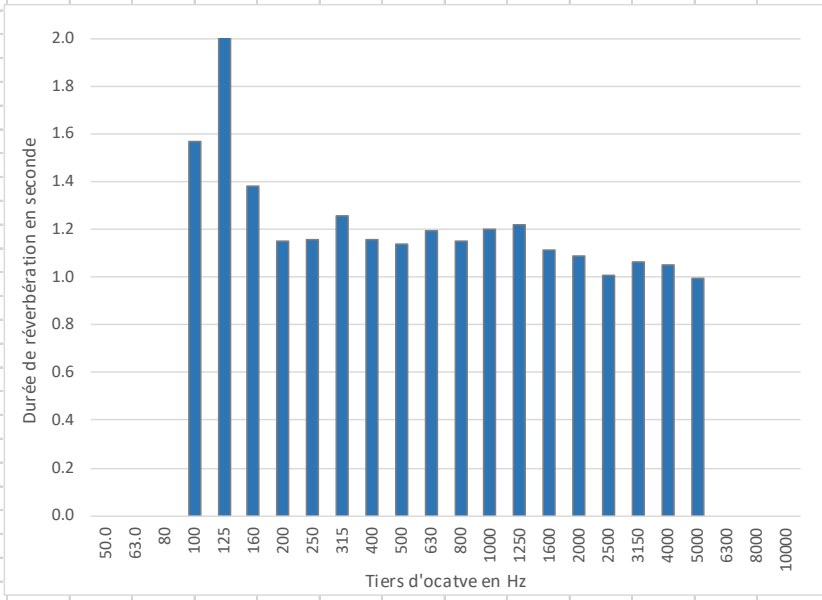
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.6	2.2	1.4	1.1	1.2	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	32.4	40.7	35.7	44.3	33.6	31.8	30.6	24.4	23.1	21.6	20.4	20.1	19.0	20.1	18.3	17.1	14.2	15.8	17.2	14.8	21.7	24.9	16.6	12.3	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	27	34.1	32.4	31.1	33.1	31.2	27.7	20.9	18.3	16.0	14.5	16.2	13.5	19.3	14.2	13.1	11.8	12.5	11.3	10.3	10.2	10.8	9.5	9.1	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	30.9	39.6	33.0	44.1	24.0	22.9	27.5	21.8	21.4	20.2	19.1	17.8	17.6	12.4	16.2	14.9	10.5	13.1	15.9	12.9	21.4	24.7	15.7	9.5	-6.6





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 4	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V2	89	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.0	m
Surface local	55	m2			
Volume local	165	m3			

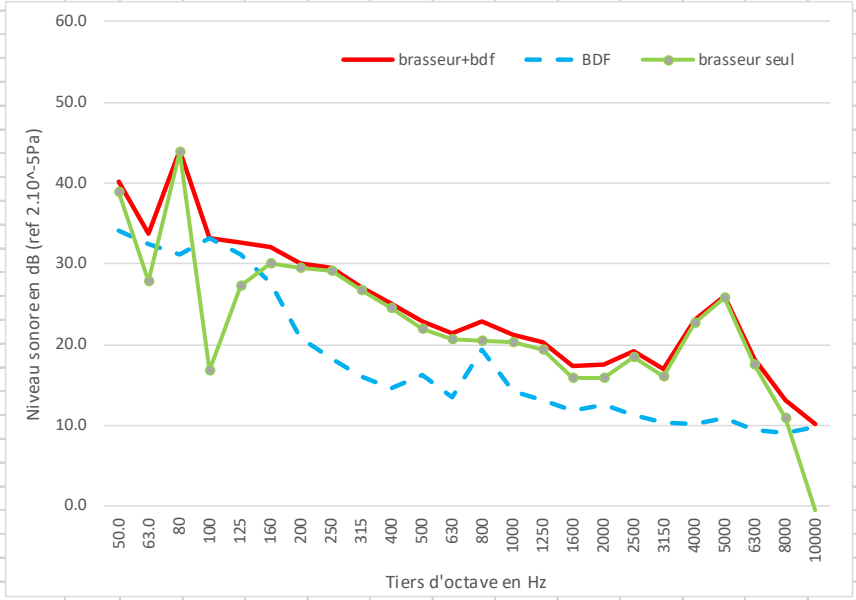
Lp = 34.1 dB(A)

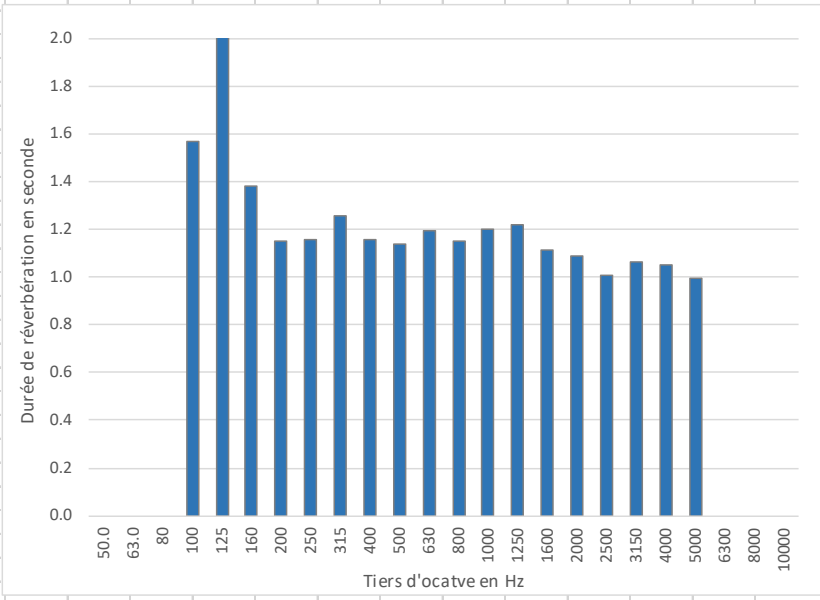
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.0	0.0	0.0	1.6	2.2	1.4	1.1	1.2	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	34.1	40.2	33.7	44.1	33.2	32.7	32.0	30.0	29.4	27.1	25.0	22.9	21.4	22.9	21.2	20.3	17.3	17.5	19.2	17.0	23.0	26.0	18.2	13.1	10.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	27	34.1	32.4	31.1	33.1	31.2	27.7	20.9	18.3	16.0	14.5	16.2	13.5	19.3	14.2	13.1	11.8	12.5	11.3	10.3	10.2	10.8	9.5	9.1	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	33.2	39.0	27.8	43.9	16.8	27.4	30.0	29.4	29.0	26.7	24.6	21.9	20.6	20.4	20.2	19.4	15.9	15.8	18.4	16.0	22.8	25.9	17.6	10.9	-0.5





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	R+1Classe 4	Brasseur :	Hunter industrie II 154cm	Fiche	Date
Op.-sono :	JA & SV957	Vitesse :	V3	90	06-juil-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	0.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	4	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.0	m
Surface local	55	m2			
Volume local	165	m3			

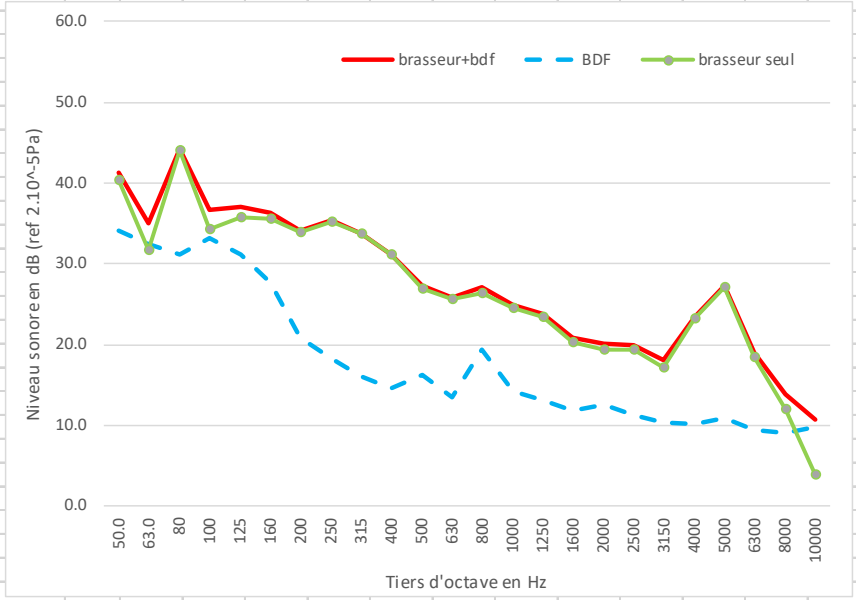
Lp = 37.4 dB(A)

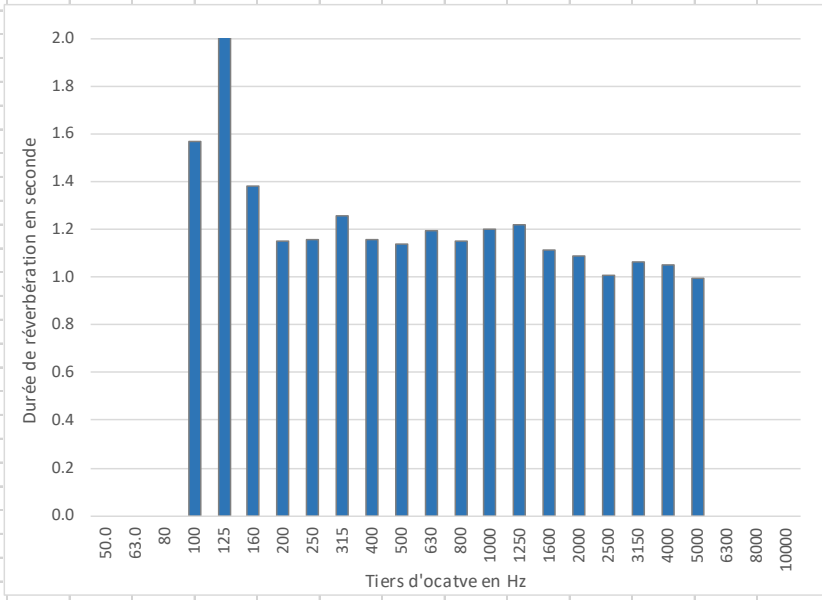
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.0	0.0	0.0	1.6	2.2	1.4	1.1	1.2	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	0.0	0.0	0.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	37.4	41.3	35.1	44.2	36.7	37.0	36.3	34.1	35.3	33.8	31.2	27.2	25.8	27.1	24.9	23.8	20.9	20.1	20.0	18.0	23.5	27.2	18.9	13.8	10.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	27	34.1	32.4	31.1	33.1	31.2	27.7	20.9	18.3	16.0	14.5	16.2	13.5	19.3	14.2	13.1	11.8	12.5	11.3	10.3	10.2	10.8	9.5	9.1	9.7

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	37.0	40.4	31.8	44.0	34.2	35.7	35.7	33.9	35.2	33.7	31.1	26.8	25.5	26.3	24.5	23.4	20.3	19.3	19.4	17.2	23.3	27.1	18.4	12.0	3.8





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Logement - cuisine	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	PO & SV979	Vitesse :	V1	91	27-oct-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.4	m
Surface local	10.5	m2			
Volume local	26.25	m3			

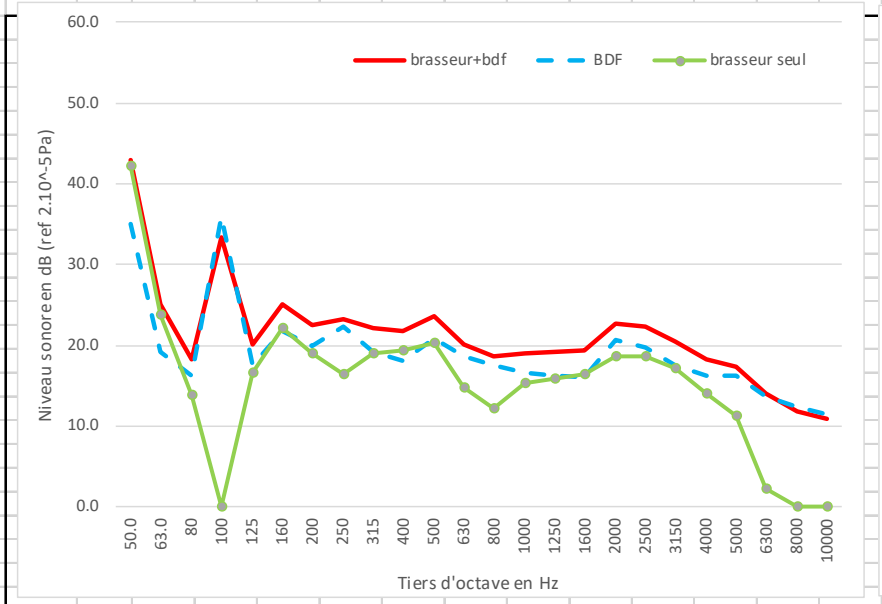
Lp = 31.7 dB(A)

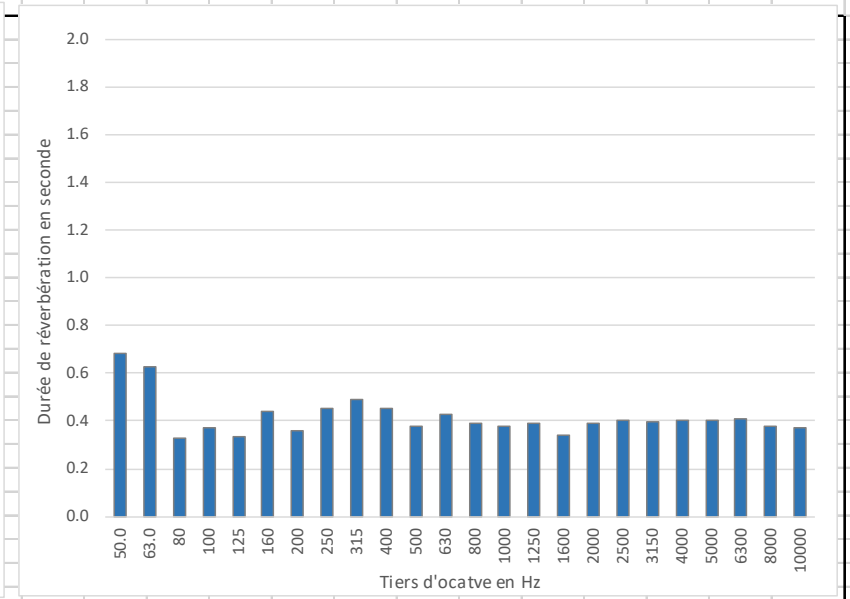
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.7	0.6	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	31.7	43.0	25.1	18.2	33.3	20.1	25.0	22.5	23.3	22.1	21.8	23.6	20.1	18.6	19.0	19.1	19.3	22.7	22.3	20.4	18.3	17.4	14.0	11.8	10.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29.6	35.1	19.1	16.2	35.9	17.5	21.8	19.9	22.3	19.2	18.1	20.9	18.6	17.5	16.6	16.3	16.1	20.6	19.8	17.6	16.3	16.2	13.7	12.3	11.4

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	27.5	42.2	23.8	13.9	######	16.6	22.2	19.0	16.4	19.0	19.4	20.3	14.8	12.1	15.3	15.9	16.5	18.5	18.7	17.2	14.0	11.2	2.2	######	#######
					!BDF																			!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Logement - cuisine	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	PO & SV980	Vitesse :	V2	92	27-oct-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.4	m
Surface local	10.5	m2			
Volume local	26.25	m3			

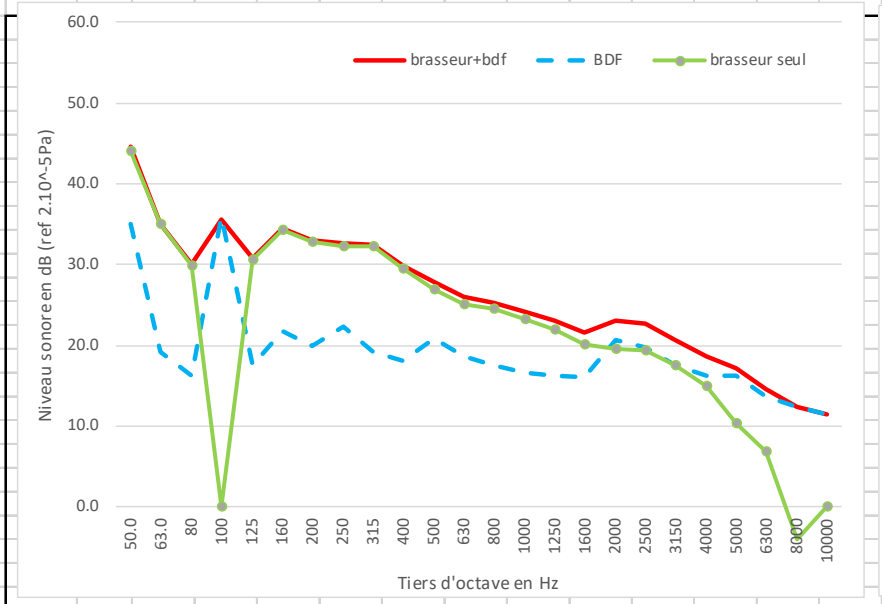
Lp = 35.6 dB(A)

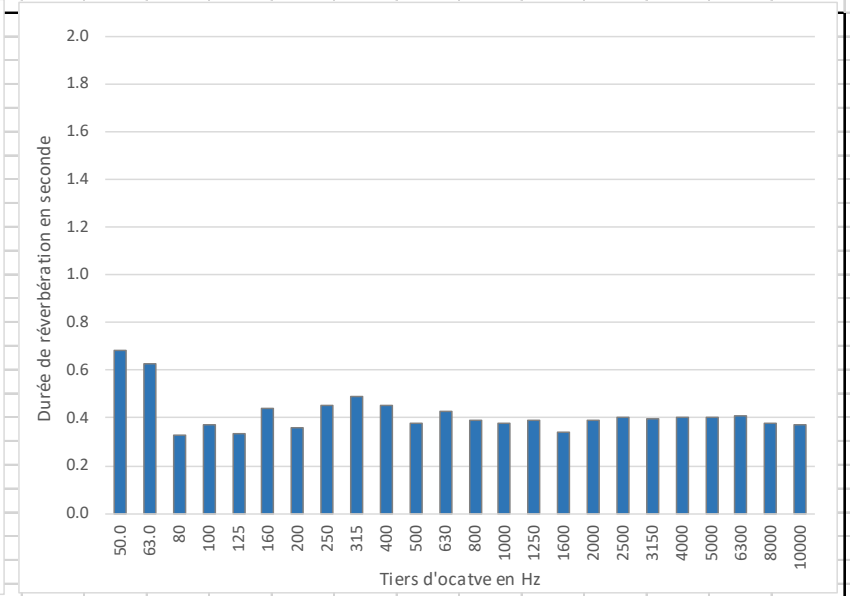
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.7	0.6	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	35.6	44.6	35.1	30.1	35.6	30.8	34.5	33.0	32.7	32.4	29.8	27.9	26.0	25.3	24.1	23.0	21.6	23.1	22.6	20.6	18.7	17.2	14.5	12.4	11.4

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29.6	35.1	19.1	16.2	35.9	17.5	21.8	19.9	22.3	19.2	18.1	20.9	18.6	17.5	16.6	16.3	16.1	20.6	19.8	17.6	16.3	16.2	13.7	12.3	11.4

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	34.3	44.1	35.0	29.9	######	30.6	34.3	32.8	32.3	32.2	29.5	26.9	25.1	24.5	23.2	22.0	20.2	19.5	19.4	17.6	15.0	10.3	6.8	-4.0	#######
					!BDF																				





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Logement - cuisine	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	PO & SV981	Vitesse :	V3	93	27-oct-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.4	m
Surface local	10.5	m2			
Volume local	26.25	m3			

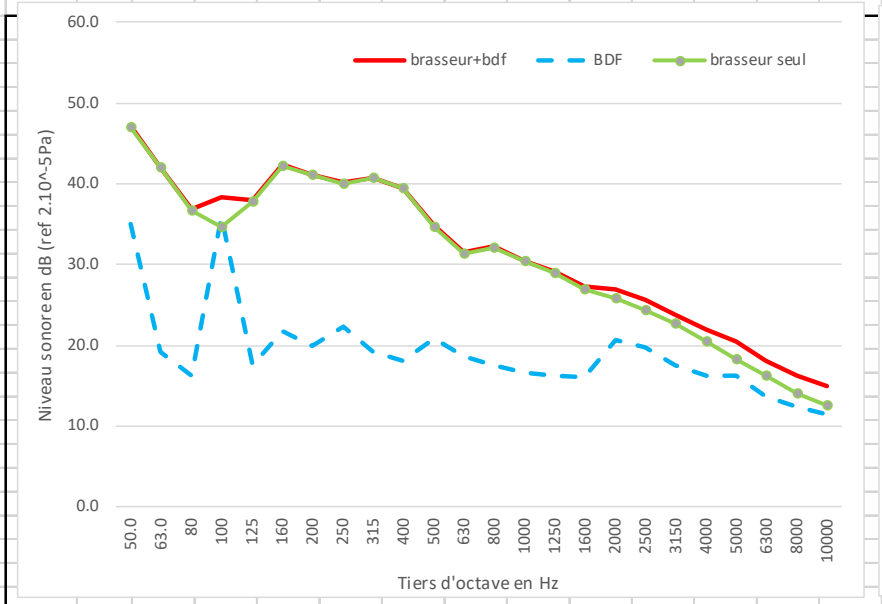
Lp = 42.3 dB(A)

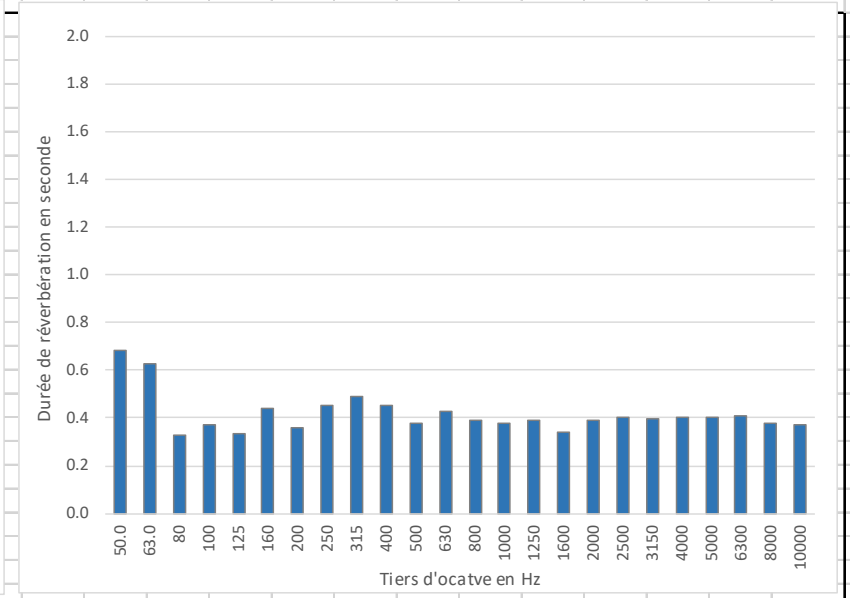
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.7	0.6	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	42.3	47.2	42.0	36.8	38.3	37.9	42.3	41.1	40.1	40.7	39.5	34.8	31.6	32.3	30.5	29.1	27.3	26.9	25.6	23.8	21.9	20.4	18.1	16.2	15.0

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	29.6	35.1	19.1	16.2	35.9	17.5	21.8	19.9	22.3	19.2	18.1	20.9	18.6	17.5	16.6	16.3	16.1	20.6	19.8	17.6	16.3	16.2	13.7	12.3	11.4

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	42.1	46.9	42.0	36.8	34.6	37.9	42.3	41.1	40.0	40.7	39.5	34.6	31.4	32.2	30.3	28.9	27.0	25.7	24.3	22.6	20.5	18.3	16.1	13.9	12.5





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Logement - séjour	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	PO & SV982	Vitesse :	V1	94	27-oct-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.1	m
Surface local	20.25	m2			
Volume local	51	m3			

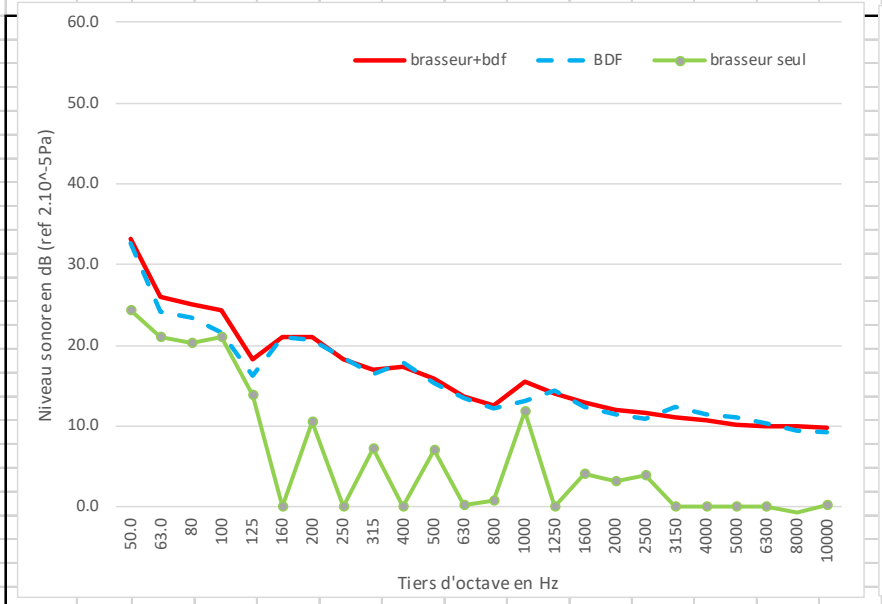
Lp = 24.7 dB(A)

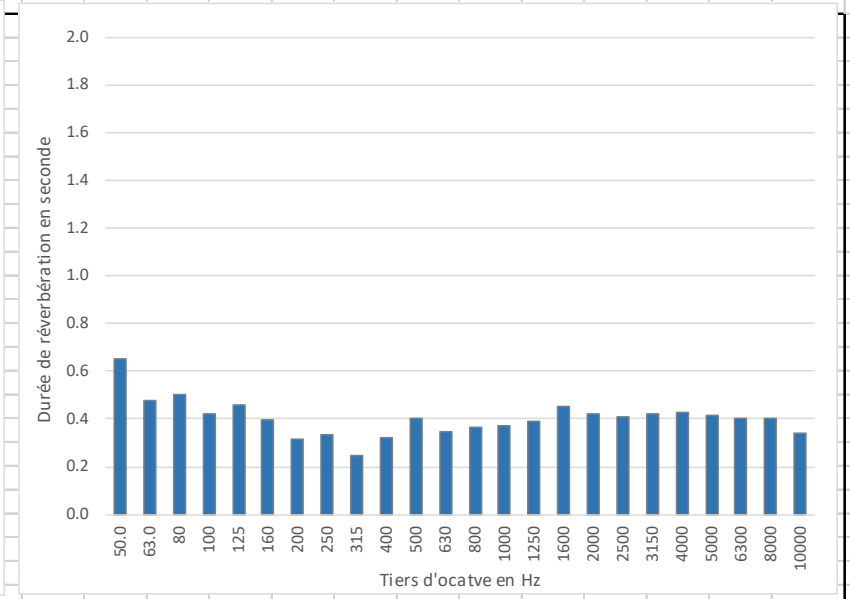
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.7	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	24.7	33.2	25.9	25.1	24.3	18.2	21.0	21.0	18.3	16.9	17.4	15.9	13.6	12.5	15.5	14.0	13.0	12.0	11.7	11.1	10.7	10.2	9.9	9.9	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	24.4	32.6	24.2	23.4	21.5	16.2	21.0	20.6	18.5	16.4	17.9	15.3	13.4	12.2	13.1	14.3	12.4	11.4	10.9	12.3	11.4	11.0	10.3	9.5	9.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	12.9	24.3	21.0	20.2	21.1	13.9	######	10.4	######	7.3	######	7.0	0.1	0.7	11.8	######	4.1	3.1	4.0	######	######	######	######	-0.7	0.2
									!BDF		!BDF					!BDF				!BDF	!BDF	!BDF	!BDF		





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Logement - séjour	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	PO & SV983	Vitesse :	V2	95	27-oct-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.1	m
Surface local	20.25	m2			
Volume local	51	m3			

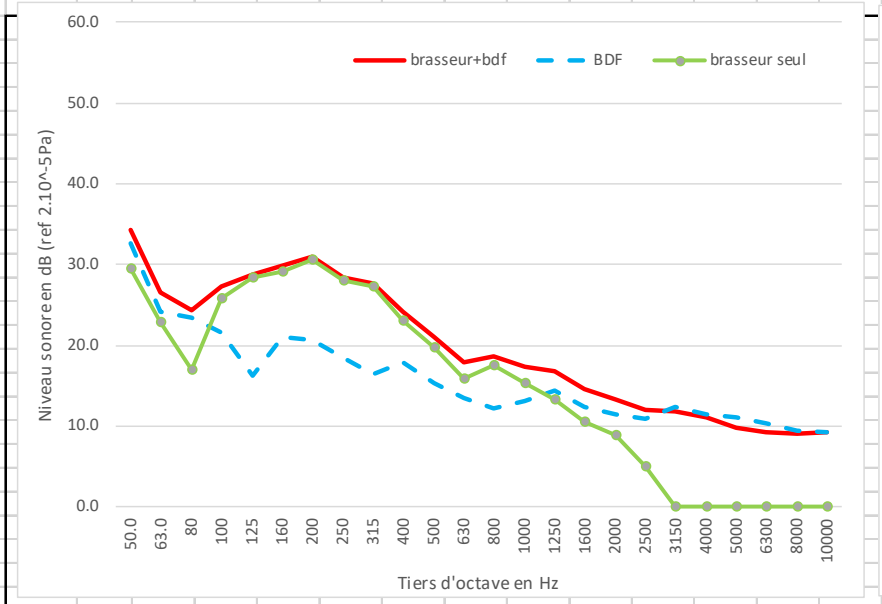
Lp = 29.4 dB(A)

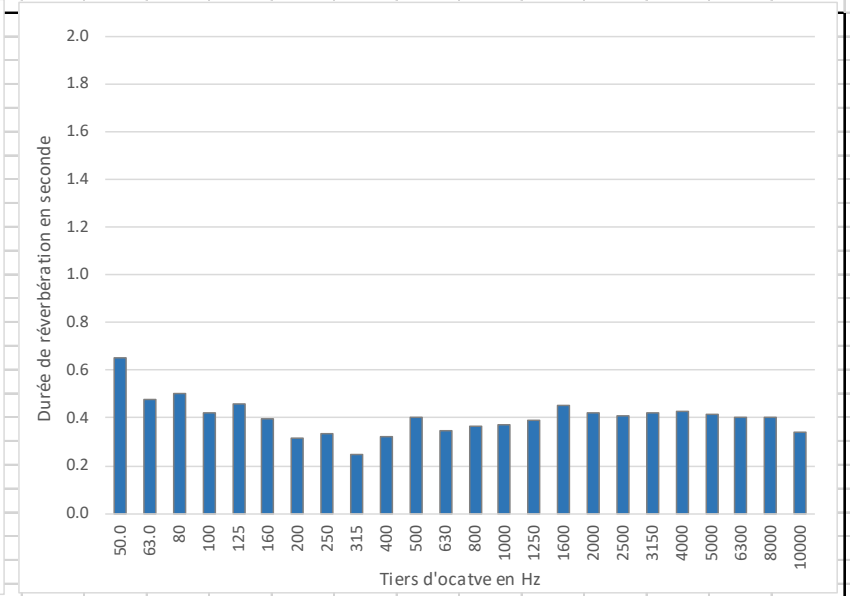
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.7	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	29.4	34.3	26.6	24.3	27.2	28.7	29.8	31.0	28.4	27.6	24.2	21.1	17.8	18.7	17.4	16.8	14.6	13.3	11.9	11.8	11.1	9.8	9.3	9.1	9.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	24.4	32.6	24.2	23.4	21.5	16.2	21.0	20.6	18.5	16.4	17.9	15.3	13.4	12.2	13.1	14.3	12.4	11.4	10.9	12.3	11.4	11.0	10.3	9.5	9.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	27.7	29.4	22.9	17.0	25.8	28.4	29.2	30.6	27.9	27.3	23.0	19.8	15.8	17.6	15.4	13.2	10.6	8.8	5.0	######	######	######	######	######	######
																				!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	!BDF	





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Logement - séjour	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm		Fiche	Date
Op.-sono :	PO & SV984	Vitesse :	V3		96	27-oct-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	2.1	m
Surface local	20.25	m2			
Volume local	51	m3			

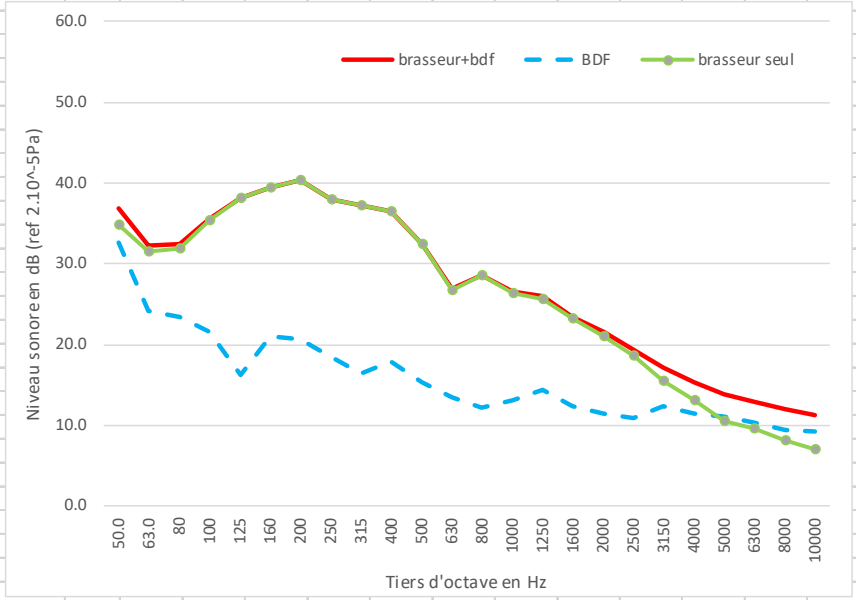
Lp = 39.1 dB(A)

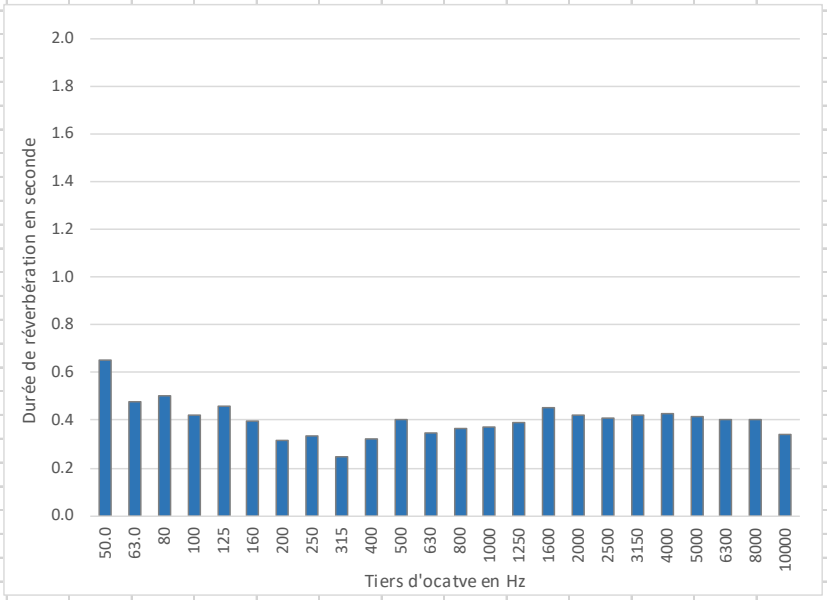
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.7	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	39.1	36.9	32.2	32.5	35.5	38.2	39.5	40.4	38.0	37.2	36.5	32.5	27.0	28.6	26.6	26.0	23.5	21.5	19.3	17.2	15.3	13.8	13.0	11.9	11.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	24.4	32.6	24.2	23.4	21.5	16.2	21.0	20.6	18.5	16.4	17.9	15.3	13.4	12.2	13.1	14.3	12.4	11.4	10.9	12.3	11.4	11.0	10.3	9.5	9.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	39.0	34.9	31.5	31.9	35.3	38.2	39.4	40.4	38.0	37.2	36.4	32.4	26.8	28.5	26.4	25.7	23.1	21.1	18.6	15.5	13.0	10.6	9.7	8.2	7.0





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Logement - chambre	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm		Fiche	Date
Op.-sono :	PO & SV985	Vitesse :	V1		97	27-oct-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.5	m
Surface local	13	m2			
Volume local	32	m3			

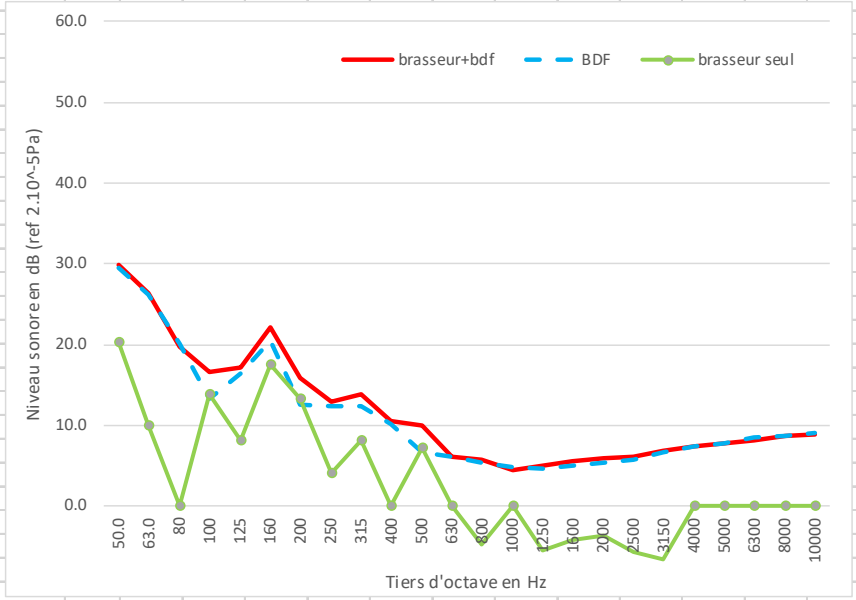
Lp = 19.3 dB(A)

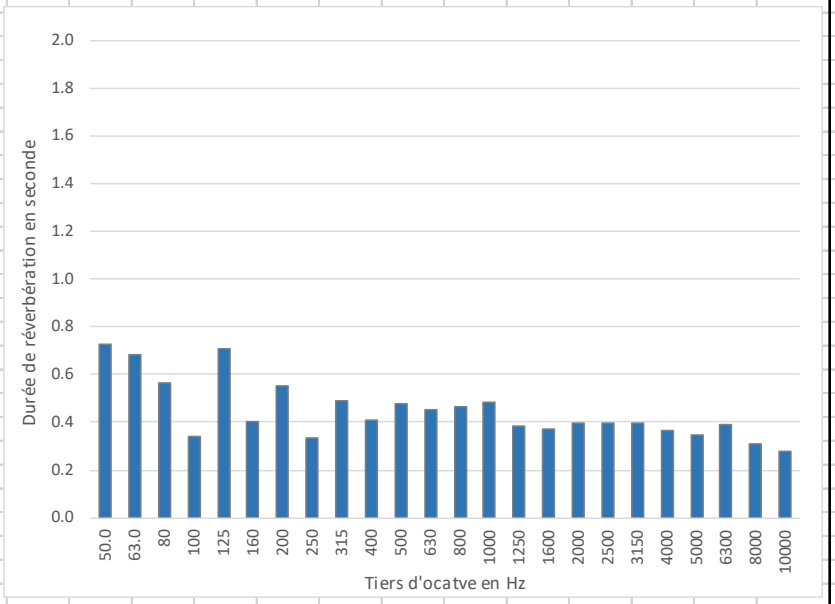
		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.7	0.7	0.6	0.3	0.7	0.4	0.6	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	19.3	29.9	26.3	19.7	16.6	17.1	22.2	15.9	13.0	13.8	10.6	9.9	6.1	5.8	4.4	5.0	5.5	5.9	6.1	6.8	7.4	7.7	8.1	8.6	8.9

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	18.8	29.4	26.2	20.1	13.3	16.5	20.4	12.5	12.4	12.4	10.2	6.6	6.1	5.4	4.8	4.6	5.0	5.4	5.8	6.6	7.4	7.8	8.5	8.7	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	9.7	20.3	9.9	######	13.9	8.2	17.5	13.2	4.1	8.2	0.0	7.2	######	-4.8	######	-5.6	-4.1	-3.7	-5.7	-6.7	######	######	######	######	######
				!BDF											!BDF							!BDF	!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

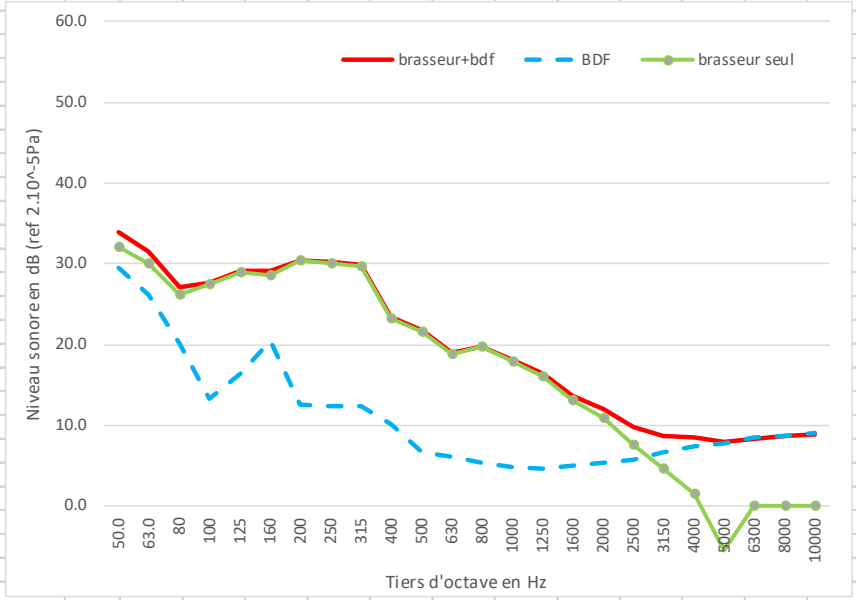
Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

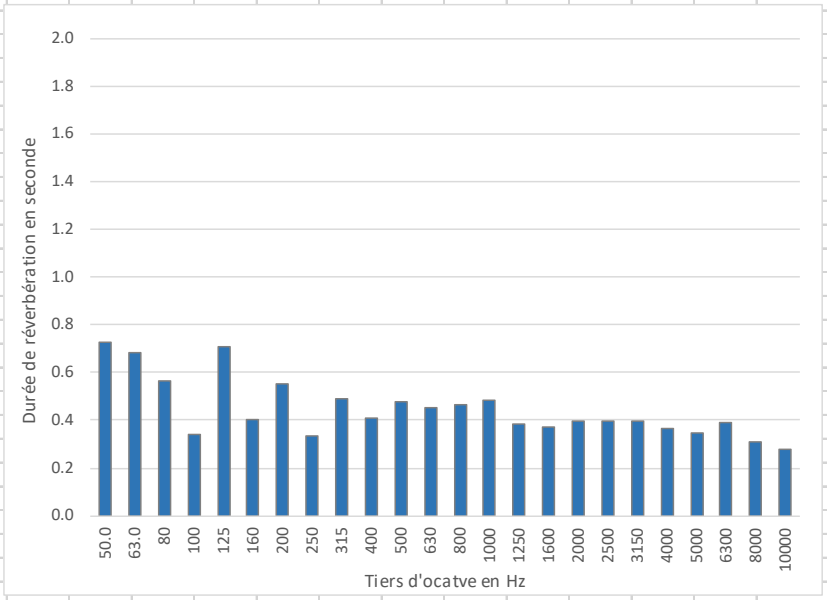
Lieu :	Logement - chambre	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	PO & SV986	Vitesse :	V2	98	27-oct-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.5	m
Surface local	13	m2			
Volume local	32	m3			

Lp = 29.9 dB(A)

		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
A																									
Tr		0.7	0.7	0.6	0.3	0.7	0.4	0.6	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	29.9	33.9	31.5	27.1	27.7	29.1	29.2	30.4	30.2	29.8	23.4	21.7	19.0	19.8	18.1	16.4	13.7	12.0	9.8	8.7	8.4	8.0	8.3	8.6	8.9
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	18.8	29.4	26.2	20.1	13.3	16.5	20.4	12.5	12.4	12.4	10.2	6.6	6.1	5.4	4.8	4.6	5.0	5.4	5.8	6.6	7.4	7.8	8.5	8.7	9.1
Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	29.5	32.0	30.0	26.1	27.5	28.9	28.6	30.3	30.1	29.7	23.2	21.6	18.8	19.6	17.9	16.1	13.1	10.9	7.6	4.5	1.5	-5.5	#######	#######	#######
																							!BDF	!BDF	!BDF





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

S.A.R.L au capital de 235 698€
R.C.S PARIS B 302 506 480
APE 7112B
TVA FR62 302 506 480

Niveau sonore mesuré in situ - Projet BRASSE

Lieu :	Logement - chambre	Brasseur :	Hunter industrie II 132cm	Fiche	Date
Op.-sono :	PO & SV987	Vitesse :	V3	99	27-oct-22

Dimensions brasseur			Distance de mesures	1.0	m
hauteur :	0.35	m	Nombre de brasseurs	1	
diamètre :	1.32	m	Rayon critique local	1.5	m
Surface local	13	m2			
Volume local	32	m3			

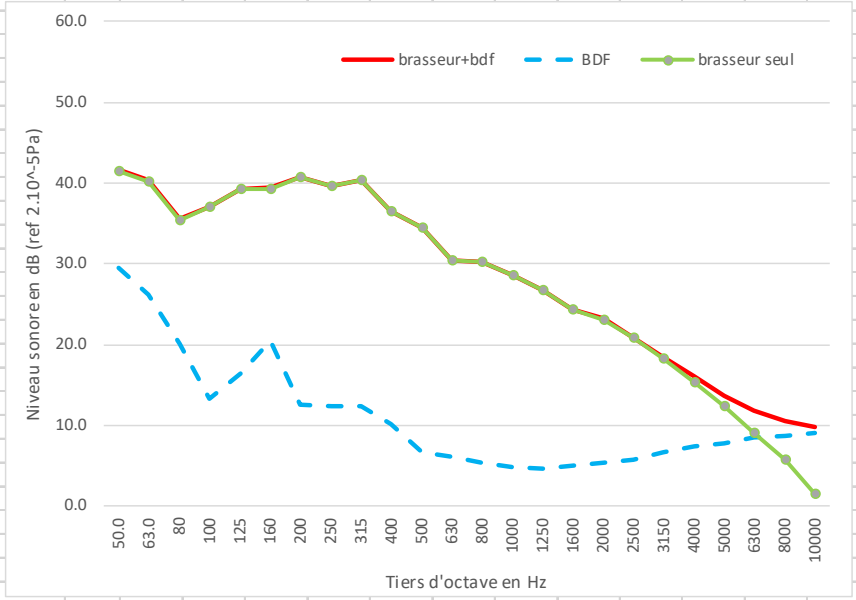
Lp = 40.6 dB(A)

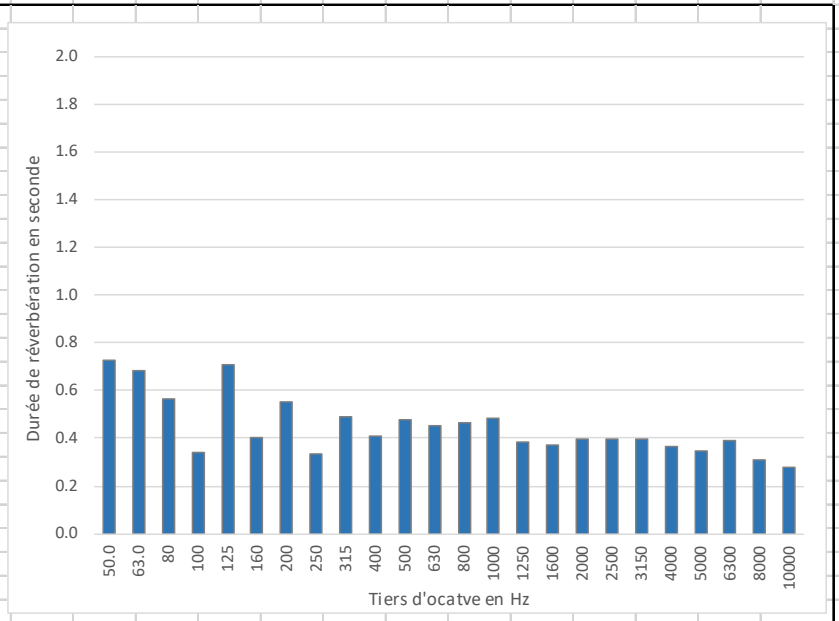
A		50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
Tr		0.7	0.7	0.6	0.3	0.7	0.4	0.6	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur+bdf	40.6	41.7	40.3	35.6	37.0	39.3	39.4	40.8	39.6	40.3	36.5	34.5	30.4	30.3	28.6	26.8	24.3	23.2	20.9	18.5	16.0	13.7	11.8	10.5	9.8

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
BDF	18.8	29.4	26.2	20.1	13.3	16.5	20.4	12.5	12.4	12.4	10.2	6.6	6.1	5.4	4.8	4.6	5.0	5.4	5.8	6.6	7.4	7.8	8.5	8.7	9.1

Hz	A	50.0	63.0	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
brasseur seul	40.6	41.4	40.1	35.5	37.0	39.3	39.3	40.8	39.6	40.3	36.5	34.5	30.4	30.3	28.6	26.8	24.2	23.1	20.8	18.2	15.4	12.4	9.1	5.8	1.5





MARSEILLE
Agence Méditerranée
7, rue Bailli de Suffren
13001 MARSEILLE
Tél. +33(0) 4 91 55 66 31
mediterranee@lasa.fr
Siret 302 506 480 00060

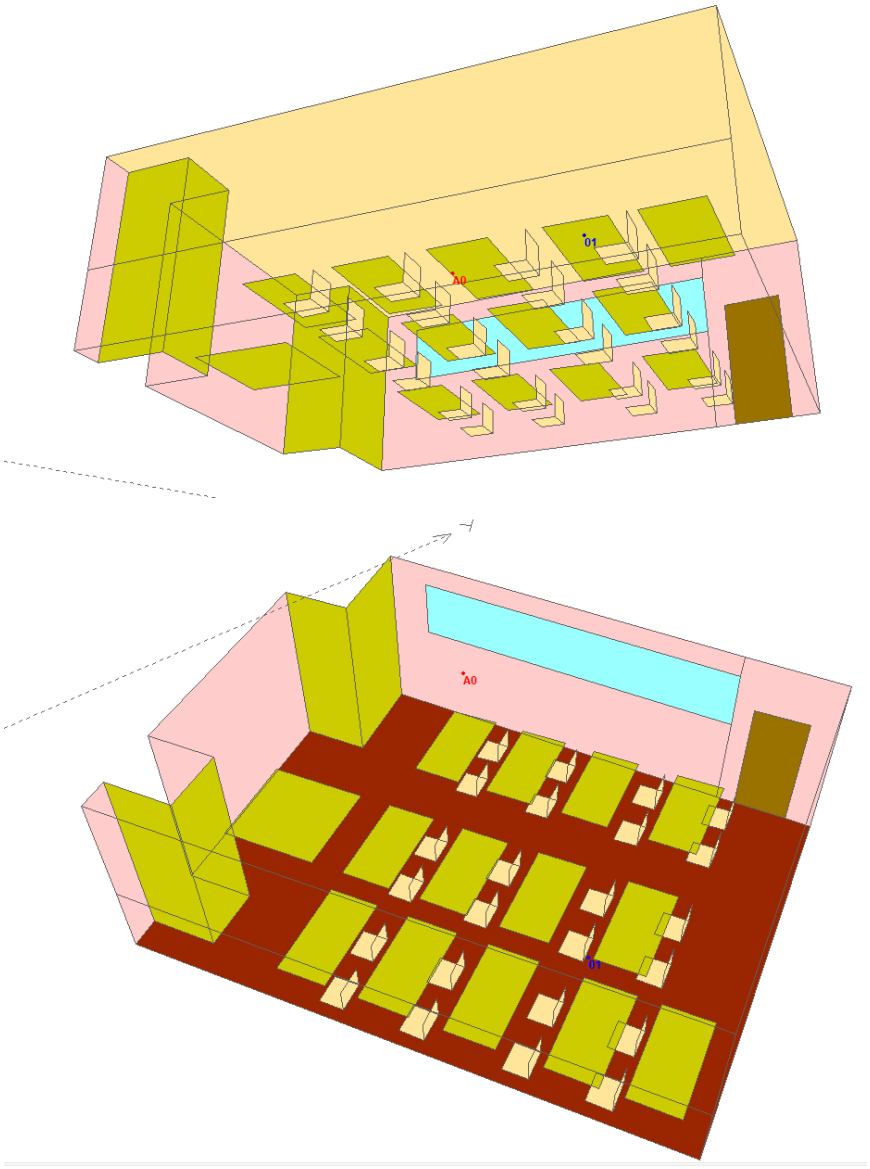
SIÈGE SOCIAL
26, rue Bénard
75014 PARIS
Tél. +33(0) 1 43 13 34 00
contact@lasa.fr
Siret 302 506 480 00086

www.lasa.fr

ANNEXE 6 : INFORMATIONS SUR LES SALLES ET RESULTATS MODELISES

Salle de classe MIRAMAS

Matériau	Coefficient d'absorption En % de 125 à 4kHz	Coefficient diffusion (CATT) En % de 125 à 4kHz d'énergie du rayon diffusé aléatoirement
Murs en plaques de plâtre	15 10 06 02 02 02	20 20 20 20 20 20
Fenêtres	15 10 06 02 02 02	20 20 20 20 20 20
Sol	03 03 03 04 04 04	20 20 20 20 20 20
Panneau absorbant	4 8 12 25 32 38	20 20 20 20 20 20
Mobilier	03 03 03 02 02 02	20 25 30 40 55 70
Porte	15 10 06 02 02 02	20 20 20 20 20 20
Plafond absorbant	35 55 80 90 90 90	20 20 20 20 20 20



Ces coefficients réalistes par rapport au local considéré ont été ajustés pour permettre le calage de la durée de réverbération

Durées de réverbération :

Freq	TR mesuré	TR catt	TR diff %
125	0.75	0.7	15
250	0.64	0.6	11
500	0.48	0.6	17
1000	0.60	0.7	15
2000	0.52	0.6	8
4000	0.54	0.5	6
Tr125-4000	**0.6**	**0.6**	2

Le calage obtenu en valeur globale moyennée 125-4000 est bon à 0.01s près et le calage en fréquence satisfaisant à 0.1s près.

Ces niveaux sont ceux qui ont été saisis dans le logiciel pour chaque brasseur afin de permettre un bon calage des résultats de calculs par rapports aux niveaux mesurés in situ.

Freq	Lp CATT
125	48.2
250	31.3
500	26.3
1000	19.7
2000	13.6
4000	13.2
8000	
dB(A)	33.3

Le niveau de puissance estimée par cette méthode est donc de 33.3+11 = 44.3 dB(A) en vitesse 3.

Commentaires :

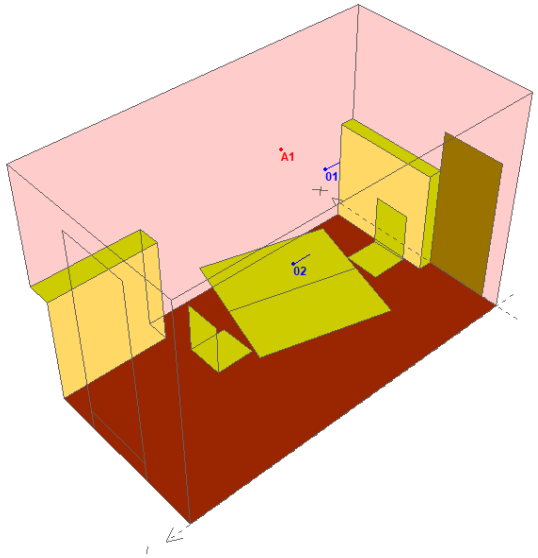
On constate une très bonne adéquation entre les résultats de calcul et les niveaux mesurés dans la salle de classe tant en niveau global dB(A) qui par bandes d'octaves.

Ce calage a été obtenu pour le niveau de puissance acoustique du brasseur de 44 dB(A).

Ce résultat peut être comparé à une mesure de puissance acoustique d'un brasseur Hunter Industrie II de 132cm de diamètre fait à titre expérimental (validation du protocole BRASSE) au laboratoire PIMENT qui conduisait à 38-39 dB(A) en octobre 2021.

Celui de l'école fait 154 cm de diamètre ce qui peut expliquer la puissance acoustique plus élevée obtenu.

Bureau 1 INDIGO



Matériau	Coefficient d'absorption En % de 125 à 4kHz	Coefficient diffusion (CATT) En % de 125 à 4kHz d'énergie du rayon diffusé aléatoirement
Murs/plafond	2 10 12 7 5 2>	30 30 40 50 50 65
Fenêtres	15 8 06 02 02 02>	30 30 40 50 50 65
Sol	2 10 10 7 5 3	30 30 40 50 50 65
élément absorbant	2 20 25 40 60 70	30 50 60 70 80 90
Mobilier	2 10 15 15 20 25	30 50 60 70 80 90
Porte	15 10 06 02 02 02	30 50 60 70 80 90

Ces coefficients réalistes par rapport au local considéré ont été ajustés pour permettre le calage de la durée de réverbération

Calage des durées de réverbération

Durées de réverbération :

Freq	TR mesuré	TR catt	TR diff %
125	1.45	1.4	3.47
250	1.09	1.2	11.61
500	0.80	0.8	3.93
1000	0.81	0.9	4.71
2000	0.77	0.8	2.55
4000	0.77	0.8	2.93
Tr125-4000	**0.9**	**1.0**	3.57

Le calage obtenu en valeur globale moyennée 125-4000 est bon à 4% près et le calage en fréquence satisfaisant à 11% près maximum

Niveaux sonores modélisés

Point 1

Point 1			
Freq	Lp mesuré (V3)	Lp modélisé	Δ
125	61.4		
250	37.4	36.3	1.1
500	33.2	32.4	0.8
1000	27.3	27.0	0.3
2000	21.7	21.4	0.4
4000	17.2	16.9	0.3
dB(A)	**34.2**	**33.4**	**0.8**

Point 2

Point 2			
Freq	Lp mesuré (V3)	Lp modélisé	Δ
125	51.0	51.4	-0.4
250	38.0	37.9	0.0
500	33.5	33.8	-0.4
1000	27.0	28.2	-1.2
2000	21.9	22.5	-0.7
4000	17.3	17.3	0.0
dB(A)	**37.7**	**38.1**	**-0.4**

Estimation du niveau sonore Lp à 1m d'un brasseur

Ces niveaux sont ceux qui ont été saisis dans le logiciel pour chaque brasseur afin de permettre un bon calage des résultats de calculs par rapports aux niveaux mesurés in situ.

Freq	Lp CATT
125	44.7
250	32.8
500	28.5
1000	21.5
2000	16.5
4000	10.4
8000	
dB(A)	29.1

Le niveau de puissance estimée par cette méthode est donc de 29.1+11 = 40.1 dB(A) en vitesse 3.

Commentaires

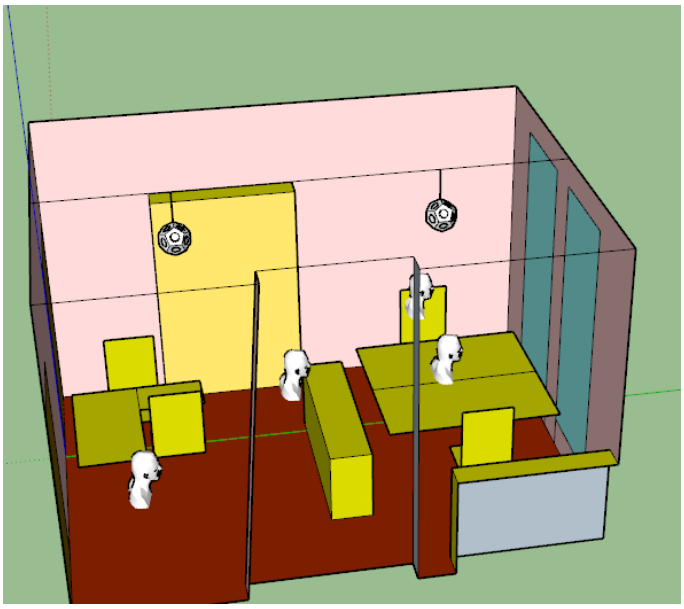
On constate une très bonne adéquation entre les résultats de calcul et les niveaux mesurés dans la salle de classe tant en niveau global dB(A) qui par bandes d'octaves.

Ce calage a été obtenu pour le niveau de puissance acoustique du brasseur de 44 dB(A).

Ce résultat peut être comparé à une mesure de puissance acoustique d'un brasseur Hunter Industrie II de 132cm de diamètre faite à titre expérimental au laboratoire PIMENT qui conduisait à 38-39 dB(A) en octobre 2021.

Celui de l'école fait 154 cm de diamètre ce qui peut expliquer la puissance acoustique plus élevée obtenu.

Bureau 2 INDIGO



Matériau	Coefficient d'absorption En % de 125 à 4kHz	Coefficient diffusion (CATT) En % de 125 à 4kHz d'énergie du rayon diffusé aléatoirement
Murs/plafond	9 10 6 7 5 3	30 30 40 50 50 65
Fenêtres	15 8 06 02 02 02>	30 30 40 50 50 65
Sol	9 10 6 7 5 3	30 30 40 50 50 65
élément absorbant	10 20 25 40 60 70	30 50 60 70 80 90
Mobilier	10 10 15 20 20 25	30 50 60 70 80 90
Porte	15 10 06 02 02 02	30 50 60 70 80 90

Ces coefficients réalistes par rapport au local considéré ont été ajustés pour permettre le calage de la durée de réverbération

Calage des durées de réverbération

Durées de réverbération :

Freq	TR mesuré	TR catt	TR diff %
125	0.88	0.9	0.01
250	0.89	0.9	2.45
500	0.89	1.0	10.26
1000	0.79	0.9	7.98
2000	0.81	0.8	2.75
4000	0.77	0.8	1.29
Tr125-4000	**0.8**	**0.9**	3.93

Le calage obtenu en valeur globale moyennée 125-4000 est bon à 4% près et le calage en fréquence satisfaisant à 11% près maximum

Niveaux sonores modélisés

Point 1

Point 1			
Freq	Lp mesuré (V3)	Lp modélisé	Δ
125	55.5	54.4	1.1
250	39.0	38.6	0.4
500	31.5	31.0	0.4
1000	28.2	28.1	0.1
2000	21.5	20.8	0.6
4000	21.2	21.0	0.2
8000	20.0	19.6	0.4
dB(A)	**38.7**	**39.8**	**-1.1**

Point 2

Point 2			
Freq	Lp mesuré (V3)	Lp modélisé	Δ
125			0.0
250	39.3	38.1	1.2
500	33.1	31.3	1.8
1000	28.2	28.1	0.1
2000	21.1	20.9	0.2
4000	21.3	21.0	0.4
8000	20.2	19.4	0.8
dB(A)	**35.2**	**34.2**	**1.0**

Point 3

Point 3			
Freq	Lp mesuré (V3)	Lp modélisé	Δ
125	52.4	53.6	-1.2
250	37.6	38.1	-0.5
500	30.5	30.9	-0.4
1000	28.2	28.2	0.0
2000	20.3	20.9	-0.6
4000	20.7	21.0	-0.3
8000	19.3	19.6	-0.4
dB(A)	**36.9**	**39.2**	**-2.3**

Estimation du niveau sonore Lp à 1m d'un brasseur

Ces niveaux sont ceux qui ont été saisis dans le logiciel pour chaque brasseur afin de permettre un bon calage des résultats de calculs par rapports aux niveaux mesurés in situ.

Freq	Lp CATT
125	53.7
250	28.7
500	21.2
1000	14.7
2000	7.7
4000	9.4
8000	
dB(A)	37.8

Le niveau de puissance estimée par cette méthode est donc de 37.8+11 = 48.8 dB(A) en vitesse 3.

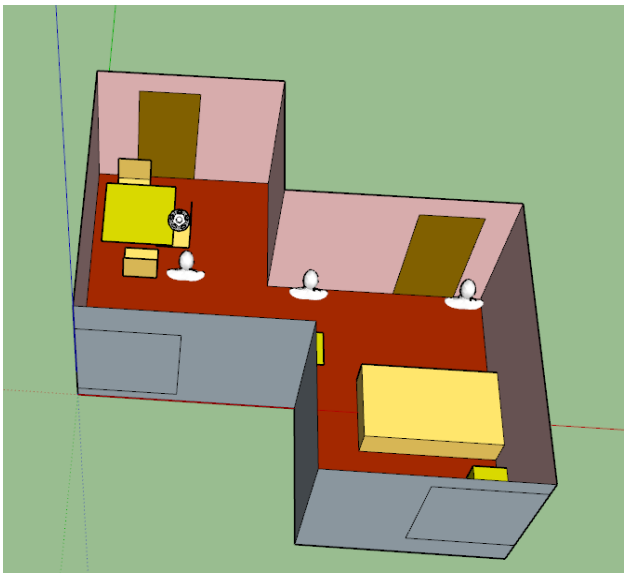
Commentaires

On constate une très bonne adéquation entre les résultats de calcul et les niveaux mesurés dans le bureau 2 tant en niveau global dB(A) qui par bandes d'octaves.

Ce calage a été obtenu pour le niveau de puissance acoustique du brasseur de 48.8 dB(A).

Ce résultat peut être comparé à une mesure de puissance acoustique d'un brasseur Hunter Industrie II de 132cm de diamètre faite à titre expérimental (validation du protocole BRASSE) au laboratoire PIMENT qui conduisait à 38-39 dB(A) en octobre 2021.

Chambre EHPAD



Matériau	Coefficient d'absorption En % de 125 à 4kHz	Coefficient diffusion (CATT) En % de 125 à 4kHz d'énergie du rayon diffusé aléatoirement
Murs en plaques de plâtre	15 10 10 15 10 10	20 20 30 40 50 60
Fenêtres	15 10 06 02 02 02	20 20 30 40 50 60
Sol	10 15 20 15 08 12	20 20 30 40 50 60
0.Panneau absorbant	1.10 20 25 40 60 70	2.30 50 60 70 80 90
3.Mobilier	4.10 10 15 15 20 25	5.30 50 60 70 80 90
6.Porte	7.15 10 06 02 02 02	8.30 50 60 70 80 90
9.Plafond absorbant	0.35 55 80 90 90 90	1.20 20 30 40 50 60

Ces coefficients réalistes par rapport au local considéré ont été ajustés pour permettre le calage de le durée de réverbération

Calage des durées de réverbération

Durées de réverbération :

Freq	TR mesuré	TR catt	TR diff %
125	0.63	0.7	2.39
250	0.63	0.7	8.95
500	0.56	0.6	7.63
1000	0.60	0.5	15.77
2000	0.58	0.6	1.98
4000	0.59	0.5	17.46
Tr125-4000	**0.6**	**0.6**	0.95

Le calage obtenu en valeur globale moyennée 125-4000 est bon à 1% près et le calage en fréquence satisfaisant à 18% près.

Niveaux sonores modélisés

Point 1

Point 1			
Freq	Lp mesuré (V3)	Lp modélisé	Δ
125	44.5		
250	42.4		
500	38.6	39.0	-0.4
1000	34.0	34.1	-0.1
2000	27.3	26.9	0.4
4000	20.2	20.2	0.0
8000	18.3	18.7	-0.3
dB(A)	**40.1**	**40.2**	**-0.1**

Point 2

Point 2			
Freq	Lp mesuré (V3)	Lp modélisé	Δ
125	40.8		
250	39.8		
500	36.5	37.3	-0.8
1000	30.8	31.9	-1.0
2000	25.7	26.5	-0.8
4000	19.9	19.5	0.4
8000	17.9	18.0	-0.1
dB(A)	**37.1**	**38.2**	**-1.1**

Estimation du niveau sonore Lp à 1m d'un brasseur

Ces niveaux sont ceux qui ont été saisis dans le logiciel pour chaque brasseur afin de permettre un bon calage des résultats de calculs par rapports aux niveaux mesurés in situ.

Freq	Lp CATT
125	38.2
250	39.1
500	32.9
1000	29.2
2000	22.0
4000	16.7
8000	
dB(A)	35.0

Le niveau de puissance estimée par cette méthode est donc de 35+11 = 46 dB(A) en vitesse 3.

Commentaires

On constate une très bonne adéquation entre les résultats de calcul et les niveaux mesurés dans la chambre tant en niveau global dB(A) qui par bandes d'octaves.

Ce calage a été obtenu pour le niveau de puissance acoustique du brasseur de 46 dB(A).

Ce résultat peut être comparé à une mesure de puissance acoustique d'un brasseur Hunter Industrie II de 132cm de diamètre faite à titre expérimental (validation du protocole BRASSE) au laboratoire PIMENT qui conduisait à 38-39 dB(A) en octobre 2021.

ANNEXE 7 : INFORMATIONS SUR LES PARAMETRES DES MODELISATIONS

Matériaux en parois

Pour tous les locaux étudiés dans la suite de ce rapport, les matériaux utilisées et les coefficientsd'absorption associées, visibles ci-dessous, sont identiques.

Matériau	oefficient d'absorption En % de 125 à 4kHz	Coefficient diffusion (CATT) En % de 125 à 4kHz d'énergie du rayon incident diffusé aléatoirement après réflexion sur la paroi
Murs et sol en béton lisse	03 03 03 04 04 04	20 20 20 20 20 20
Fenêtres	15 10 06 02 02 02	20 20 20 20 20 20
Sol en moquette	15 15 15 15 15 15	20 20 20 20 20 20
Mobilier absorbant	4 8 12 25 32 38	20 20 20 20 20 20
Mobilier	03 03 03 02 02 02	20 25 30 40 55 70
Porte	15 10 06 02 02 02	20 20 20 20 20 20
Plafond absorbant	35 55 80 90 90 90	20 20 20 20 20 20

Types de traitements

Quatre types de locaux sont étudiés et sont présentés dans les parties suivantes. Pour la salle declasse et les deux différents bureaux, 6 configurations de salles sont testées :

112. Murs, sol et plafond en béton lisse.
113. Murs et plafond en béton lisse, sol en moquette.
114. Murs, sol et plafond en béton lisse avec 50% de faux plafond absorbant positionné à 0.3 m duplafond.
115. Murs et plafond en béton lisse avec 50% de faux plafond absorbant positionné à 0.3 m duplafond, sol en moquette.
116. Murs, sol et plafond en béton lisse avec 100% de faux plafond absorbant positionné à 0.3 m duplafond.
117. Murs et plafond en béton lisse avec 100% de faux plafond absorbant positionné à 0.3 m duplafond, sol en moquette.

Pour la chambre, seules les deux premières configurations seront étudiées.

De plus, plusieurs dispositions de brasseurs ont été effectuées pour chaque configuration décrite précédemment. Pour tous les locaux, les simulations ont été effectuées avec un brasseur pour commencer, puis avec un ratio de1 brasseur pour 10 m² de surface.

Puissance acoustique en V2

La puissance acoustique suivante a été prise en compte. D'après mesures faites au laboratoire PIMENT.

Une marge d'incertitude de 3 dB a été ajoutée dans les calculs.

Niveau de puissance acoustique en V2									
Fréquence	**63**	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**	**8000**	**A**
Hunter Industrie en V2	39	22.5	27.5	24.5	24	20	18.5	16.5	**33.5**

Pour mémoire, les niveaux de puissance acoustique en V1 et V3 sont les suivants :

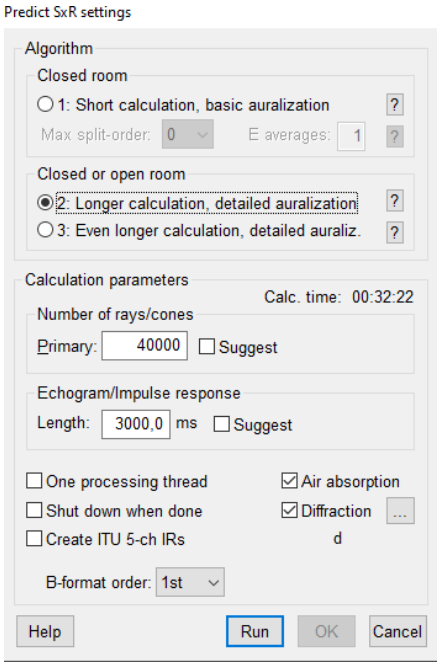
V1 Lw(V1) = 24.5 dB(A) donc -9 dB(A) / Lw(V2)

V3 Lw(V3) = 40.5 dB(A) donc +7 dB(A) / Lw(V2)

PARAMETRES DE MODELISATION CATT

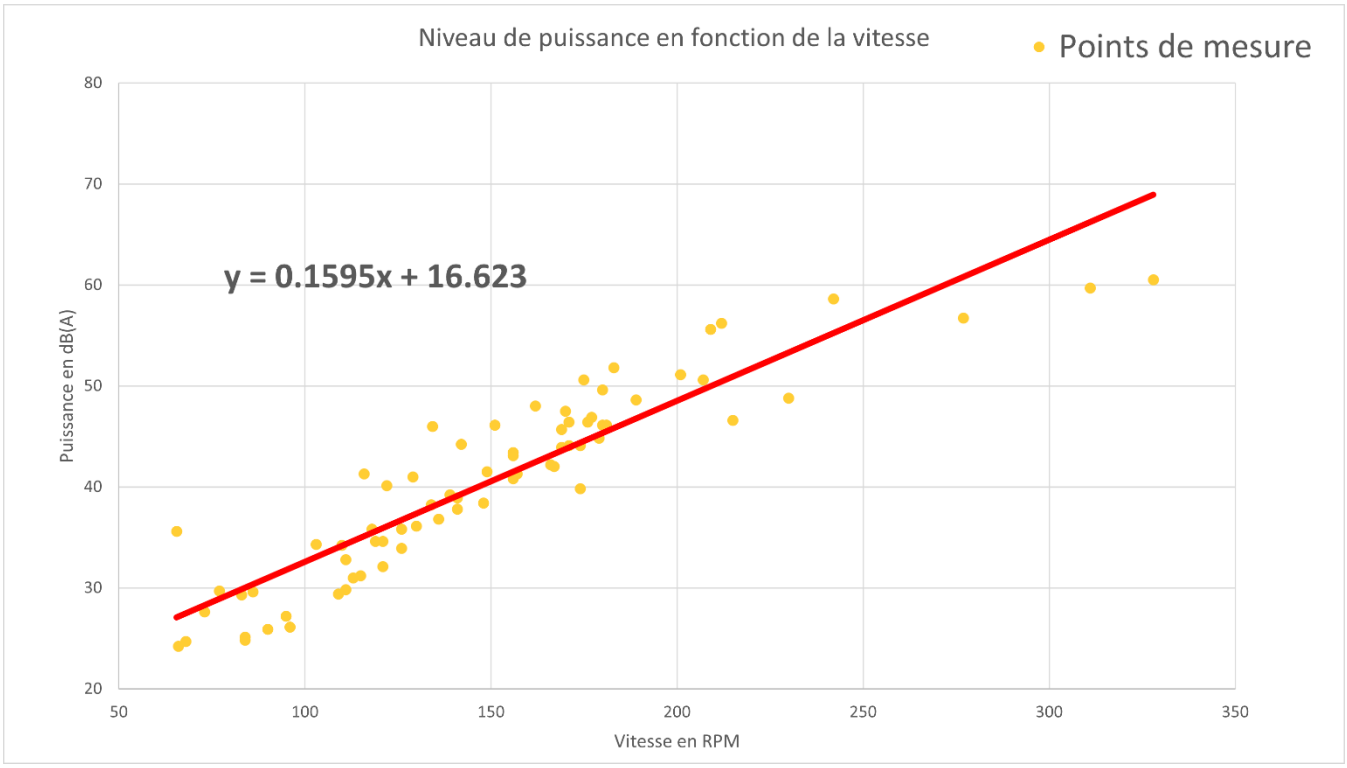
Les paramètres de calcul CATT ACOUSTIC choisis pour toutes les modélisations sont présentés dans le tableau suivant :

Module de calcul	TUCT2
Algorithme utilisé	2
Nombre de rayons tirés par source	40000
Longueur de la réponse impulsionnelle	3000 ms
Absorption de l'air	Activé
Diffusion	Activé



ANNEXE 8 : FICHES RESULTATS DES MODELISATIONS EFFECTUEES

ANNEXE 9 : DONNEES EXPLOITEES POUR EVALUER L'EQUATION


Niveau de puissance en fonction de la vitesse
Points de mesure
y = 0.1595x + 16.623
Puissance en dB(A)
Vitesse en RPM
80
70
60
50
40
30
20
50
100
150
200
250
300
350

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIETE ET D'EFFICACITE

BRASSE
BRASSEUR D'AIR :
UNE SOLUTION
DE SOBRIÉTÉ
ET D'EFFICACITÉ

Etude 3 – Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers

Rapport 3.1 – Analyse des protocoles de mesures de vitesse d'air

RAPPORT FINAL

FAITS & CHIFFRES

surya CONSULTANTS

UR | LAB PIMENT

AÉRODYNAMIQUE

Sept. 2023

BRASSE
Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité

Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques

Les brasseurs d'air en plafond permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement de locaux. Ils sont par conséquent une solution permettant de **s'adapter au changement climatique**. Mais ces équipements sont peu préconisés par les équipes de conception de bâtiment. D'un point de vue technique, cela est dû à un **manque de connaissance** sur ces équipements, leurs **performances** et leur **effet sur la qualité des ambiances intérieures**. Cela pourrait également être dû à des **raisons socio-économiques** non encore identifiées.

Ces constats ont fait naître le programme de recherche : BRASSE[1].

Ce projet de recherche vise principalement à **enrichir** le secteur du bâtiment de connaissances sur ces équipements, de développer des **méthodes** et outils d'aide à l'intégration et à **diffuser** cette connaissance.

Les axes de recherche :

- Performances des brasseurs
- Effets sur la qualité des ambiances intérieures
- Outil d'aide à la conception
- Identification des freins sociologiques
- Diffusion des connaissances

Les ambitions du projet sont :

- Réaliser un important **retour d'expérience** à travers 4 approches :
    1. Retour d'expérience technique préliminaire
    2. Analyse en sciences sociales
    3. Mesure sur site pour la validation de la méthodologie
    4. POE

- Établir un **protocole standardisé** de détermination des performances des brasseurs d'air présents sur le marché et **approfondir l'étude** de brasseurs d'air.
- Définir une **méthode** permettant de proposer une **conception de locaux équipés** de plusieurs brasseurs d'air (calepinage) prenant en compte les principaux paramètres : thermiques, acoustiques et aérauliques.
- **Comprendre le rapport des utilisateurs et des professionnels** aux brasseurs d'air quels que soient leurs profils, le climat ou le territoire dans lequel ils évoluent.
- **Diffuser l'information** pour faire monter en compétence l'ensemble de la filière bâtiment sur ces sujets.

Ce programme de recherche rassemble six entités regroupant des compétences pluridisciplinaires :

- **Surya consultants :** bureau d'études, recherches et développement/ Thermique – énergie – environnement – modélisation (pilote du projet)
- **LASA :** laboratoire privé en acoustique
- **ISEA :** cabinet de recherche et de conseil en sciences sociales – spécialisé en analyse et intervention comportementale
- **Laboratoire PIMENT – Université publique de la Réunion :** Génie de l'Habitat et génie thermique
- **Laboratoire Eiffel aérodynamique, filiale du groupe CSTB :** aérodynamique - expérimentation
- **EnvirobatBDM :** centre de ressources et démarche bâtiments durables méditerranéens – retour d'expérience

Le programme BRASSE est lauréat de l'appel à projets de recherche **Bâtiments responsables 2020** géré par l'Ademe.

[1] BRasseur d'Air : une Solution de Sobriété et d'Efficacité

CITATION DE CE RAPPORT

LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., DAVID M., BLANCHARD B., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers - Analyse des protocoles de mesures de vitesse d'air - Projet BRASSE

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de convention : 2004C0018

Appel à projets de recherche Vers des Bâtiments Responsables à l'horizon 2020"

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Pierre-Erwan LE MAREC (Surya Consultants), Tangi LE BERIGOT (Surya Consultants), Frédéric BŒUF (Surya Consultants), Mathieu DAVID (Laboratoire PIMENT) et Benoit BLANCHARD (Eiffel Aérodynamique)

Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline - Direction/Service : DVTD/SB

EVALUATION DE L'IMPACT DES BRASSEURS D'AIR SUR LE CONFORT DES USAGERS

PARTIE 1 : MESURE DE VITESSE D'AIR

Pierre-Erwan LE MAREC[1], Tangi LE BERIGOT[1], Frédéric BŒUF[1], Mathieu DAVID[2], Benoît BLANCHARD[3]

[1]Surya Consultants, France,
[2]Laboratoire PIMENT, Université de la Réunion, France,
[3]Eiffel Aérodynamique, France

Mots clés : brasseur d'air, vitesse d'air, essais, protocole

Cette synthèse s'inscrit dans le programme de recherche « BRASSE : Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques. ». Projet lauréat de l'appel à projets de recherche Bâtiments responsables 2020 géré par l'ADEME.

1. Introduction

La consommation d'énergie liée au refroidissement des bâtiments augmente plus rapidement que par le passé et cette tendance devrait se poursuivre jusqu'à la fin du XXIe siècle [1]. À l'heure actuelle, la consommation d'énergie pour le refroidissement peut atteindre jusqu'à 9,3 % de la consommation mondiale totale d'énergie dans les bâtiments commerciaux [1] et pourrait être intensifiée en raison des problèmes de réchauffement de la planète [2, 3]. Bien que différentes stratégies d'économie d'énergie soient utilisées dans le bâtiment pour réduire cette demande de refroidissement, elles peuvent être coûteuses et/ou complexes [4, 5]. Par conséquent, l'utilisation d'une solution simple et abordable et la modification des paradigmes actuels de traitement de l'ambiance thermique dans les bâtiments modernes peuvent être suggérées comme urgentes.

Le brasseur d'air est un dispositif mécanique à faible consommation d'énergie qui peut être une solution d'amélioration de confort thermique appropriée répondant à l'ensemble des enjeux actuels [6]. Il n'a pas pour objectif, à l'inverse du climatiseur beaucoup plus énergivore, de refroidir et de maintenir la température d'ambiance. Il s'agit d'un dispositif de circulation d'air peu coûteux et pratique qui peut améliorer la sensation thermique des occupants en faisant circuler l'air dans une zone intérieure [7, 8].

S'il existe de nombreux avantages potentiels à l'application des brasseurs d'air, leur taux de pénétration sur le marché est encore limité ce qui est dû au manque d'informations concises sur les impacts des brasseurs d'air et les méthodologies d'évaluation des impacts [9, 10].

Le but du protocole BRASSE est de caractériser les performances des brasseurs d'air commerciaux dans leur configuration standard (celle recommandée par les fabricants) afin de les comparer en termes d'impact sur le confort des usagers et d'efficacité énergétique. L'ambition du projet BRASSE est de développer le bon usage du brasseur d'air dans le secteur du bâtiment comme adaptation frugale aux changements climatiques. Il convient ici de rappeler que le projet BRASSE n'a pas vocation à proposer des solutions d'optimisation de conception des brasseurs pour les fabricants et que ces objectifs techniques sont de définir :

- des indicateurs de performance orientés confort (thermique et acoustique) ;
- des indicateurs physiques permettant une bonne prise en compte des brasseurs en conception ;
- un protocole de mesures en laboratoire permettant d'obtenir ces indicateurs ;
- des règles de calepinage pour les utilisateurs (bureaux d'étude, etc.).

La sensation de confort induite par le brasseur d'air étant principalement liée à la vitesse d'air générée par le brasseur, il est absolument essentiel de la mesurer de façon répétable et reproductible afin d'évaluer l'impact de ces dispositifs sur le confort thermique des usagers. L'étude, sujet de ce présent article, a été réalisée afin d'**évaluer la qualité métrologique (exactitude, répétabilité et reproductibilité) de la mesure de vitesse d'air** obtenue en laboratoires et suivant la version 0 du protocole Brasse [11] et le faire évoluer si besoin.

2. Matériel et méthodes

Afin d'évaluer la reproductibilité du protocole, les essais ont été réalisés dans deux laboratoires différents : le laboratoire PIMENT (Le Tampon- La Réunion) et le laboratoire EIFFEL (Paris).

Les deux laboratoires possédant une longue expérience dans les mesures de performances de brasseurs d'air, ils ont conservé dans un premier temps leurs propres méthodes de mesure de la vitesse d'air plutôt que d'adopter un protocole commun. Les nombreux points de divergence entre les deux protocoles ont dû être discutés afin de garantir la qualité métrologique de la mesure. Nous présenterons donc dans cette partie les deux protocoles Eiffel et Piment tel qu'ils ont été mis en place et leurs évolutions éventuelles au cours de ce travail d'évaluation.

2.1 Brasseur

Lors de cette phase de validation, un seul modèle de brasseur (HUNTER Industrie II) a été utilisé comme étalon (1 machine différente du même modèle dans chaque laboratoire). Des légères différences de performances peuvent être constatées d'une machine à l'autre malgré le fait que le modèle soit identique. Pour prendre en compte cette variabilité, il était prévu d'échanger les machines en cours de projet. Cette action n'a pas pu été effectuée. Les caractéristiques principales données par le constructeur sont regroupées dans le tableau 1.

Figure 1 : Hunter Industrie II [12]

Tableau 1 : Caractéristiques du brasseur d'après les fiches techniques [12, 13]

Diamètre (cm)	132
Nombre de pales	3
Moteur	AC, 240 V, 50 Hz
Poids (kg)	7,1
Nombre de vitesses	3
Puissance électrique absorbée 1/2/3 (W)	16 / 39 / 65
Vitesse 1/2/3 (tr/min)	79 / 127 / 157
Débit 1/2/3 (m3/h)	5134 / 7524 / 8902
Efficacité 1/2/3 (m3/h/W)	321 / 191 / 139
Niveau de puissance acoustique 1/2/3 (dB(A))	26,3 / 32,8 / 39
Distance de montage au plafond (cm)	36
Diamètre du corps du brasseur (cm)	19

Afin de maitriser parfaitement la vitesse de rotation du brasseur, il a été décidé d'utiliser un potentiomètre plutôt que la commande normale des brasseurs lors de la phase de validation du protocole. Deux vitesses sont étudiées : 80 tr/min et 150 tr/min ; ce qui correspond approximativement aux vitesses 1 et 3 de la commande du brasseur. Dans le protocole final, ce sera le dispositif de commande du brasseur qui sera utilisé afin de se placer dans les conditions d'utilisation envisagées par le constructeur.

2.2 Chambres de mesure

Deux chambres de mesure différentes ont été étudiées :

- Une chambre « fermée » de 4 m x 4 m avec le brasseur fixé en son centre (Figure 2). Cette configuration a été testée dans les deux laboratoires. Au laboratoire PIMENT, le plafond est un plafond mobile permettant d'obtenir une hauteur sous plafond (HSP) variant entre 2,5m et 2,7m.
- Une chambre « ouverte » où le brasseur est placé à 2 m d'une cloison (Figure 3). Cette configuration a été testée uniquement dans le laboratoire Eiffel. Les distances aux autres parois étant beaucoup plus importantes, il n'a pas été jugé nécessaire de les prendre en compte. Le banc est équipé d'un plafond à 2,5m de hauteur d'une surface de 4 m x 4 m au centre de laquelle est fixé le brasseur. Au-delà de cette surface, la hauteur du plafond (variant et toujours au-dessus de 2,5 m) et la présence de mobilier à des distances supérieures à 2 m du centre du brasseur sont également considérées, initialement, négligeables.

Figure 2 : Configuration des chambres « fermées » : (a) laboratoire Piment et (b) laboratoire Eiffel

Figure 3 : Configuration de la chambre « ouverte » du laboratoire Eiffel

Lors de l'évaluation du protocole, la hauteur sous plafond a été fixée à 2,50 m. Une seule hauteur a été choisie afin de permettre une comparaison entre les résultats. Le choix de 2,5 m a été fait puisqu'il correspond à la hauteur sous plafond standard dans les logements et s'applique aussi bien aux constructions neuves qu'à la rénovation. La distance de montage entre le plafond et les pales du brasseur étant de 36 cm, la hauteur sous le brasseur est de 2,14 m. Une analyse critique de ces dimensions sera proposée dans la suite de cette étude.

2.3 Mesures de vitesse d'air

Au laboratoire PIMENT, les mesures de vitesse d'air dans la chambre de mesure sont réalisées avec des anémomètres omnidirectionnels à boule chaude (SensoAnemo 5100LSF, Sensor Electronic, Pologne) reliés à une centrale d'acquisition (AirDistSys 5000, Sensor Electronic). La plage de mesure des capteurs varie de 0,05 m/s à 5 m/s avec une précision relative de 2% de la valeur mesurée à laquelle il faut ajouter ± 0,02 m/s (ce qui donne une précision qui varie entre ±0,02 et ±0,06 m/s pour les vitesses d'air observées dans cette étude). La sensibilité des capteurs en fonction de la direction du flux d'air est donnée par la figure 4. On peut constater que le maximum de sensibilité du capteur est atteint lorsque le capteur est positionné perpendiculairement au flux d'air.

Figure 4 : Anémomètre SensoAnemo 5100 LSF [14]

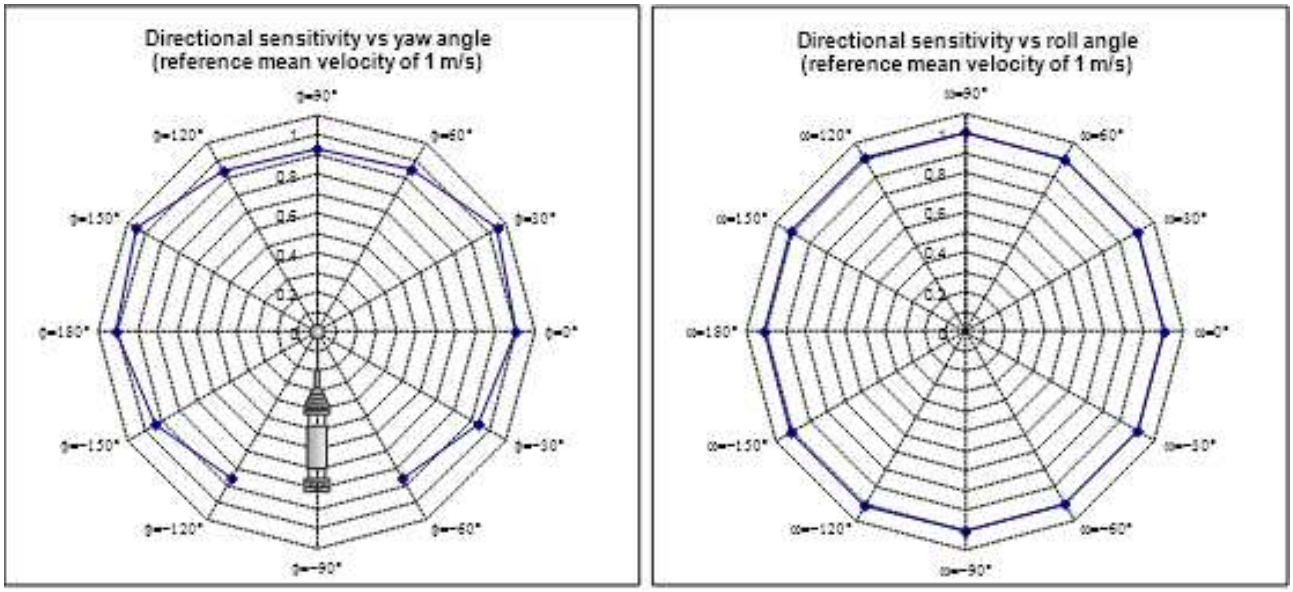


Figure 5 : Sensibilité directionnelle des anémomètres [14]

Les capteurs ont été calibrés à l'aide d'une soufflerie de calibration StreamLine Pro commercialisée par DANTEC. Les 14 sondes sont calibrées suivant deux angles d'incidence de l'air : perpendiculairement au flux d'air (90°) et parallèlement au flux d'air (0°). La Figure 6 donne un aperçu du résultat de la calibration réalisée en mai 2022 [15]. Après application du facteur de correction n'excédant pas 3% de la mesure initiale, plus de 95% des points de mesures sont compris dans l'incertitude annoncée par le fabricant.

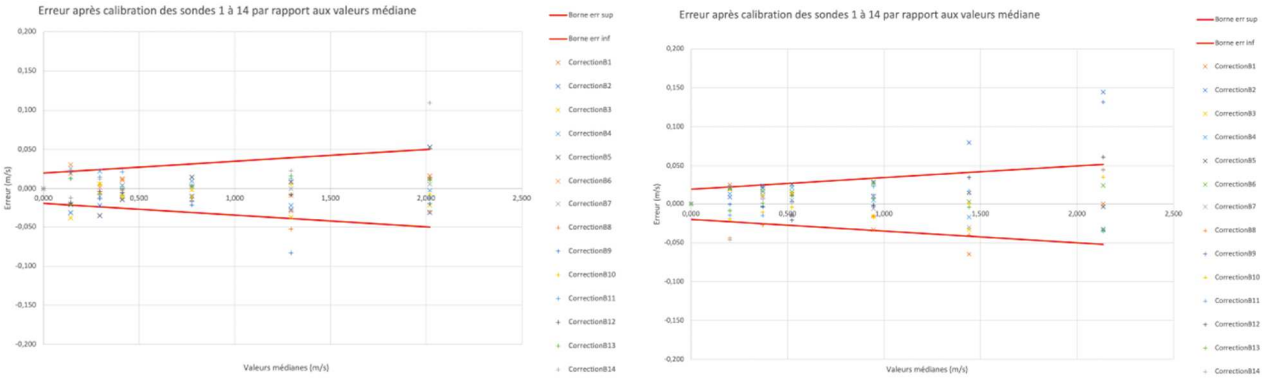


Figure 6 : Résultat de la calibration des anémomètre SensoAnemo 5100LSF pour une incidence (a) perpendiculaire du flux d'air (90°) et (b) parallèle du flux d'air (0°). Les lignes rouges indiquent l'incertitude de mesure annoncée par le fabricant [15].

Pour les essais au laboratoire PIMENT, 14 anémomètres sont positionnés verticalement ou horizontalement selon les essais sur un banc horizontal avec un espacement de 10 cm entre chaque capteur. La mesure est effectuée selon trois axes faisant un angle de 120° les uns par rapport aux autres (Figure 9a). Sur chaque axe, une première mesure est effectuée pour les distances par rapport au centre du brasseur allant de 0 à 130 cm. Dans le but d'observer les flux de recirculation le long des parois, une seconde mesure est effectuée à 150 tr/min avec les 5 derniers capteurs du banc pour les distances allant de 140 à 180 cm sur les trois axes et une troisième mesure avec un unique capteur positionné sur un pied vertical le long du mur sur l'axe 240°.

Pour les essais au laboratoire Eiffel, un unique anémomètre télescopique à boule chaude (Testo 0635 1051, Testo, Allemagne) relié à une centrale d'acquisition (Testo 400) et positionné horizontalement sur un support vertical. La plage de mesure des capteurs varie de 0 à 10 m/s avec une précision relative de 5 % de la valeur mesurée à laquelle il faut ajouter ± 0,03 m/s (ce qui donne une précision qui varie entre ±0,04 et ±0,13 m/s pour les vitesses d'air observées dans cette étude). Il a été calibré en soufflerie à différentes vitesses dans toutes les directions (Figure 8).

Figure 7 : Anémomètre télescopique à boule chaude Testo 0635 1051 [16]

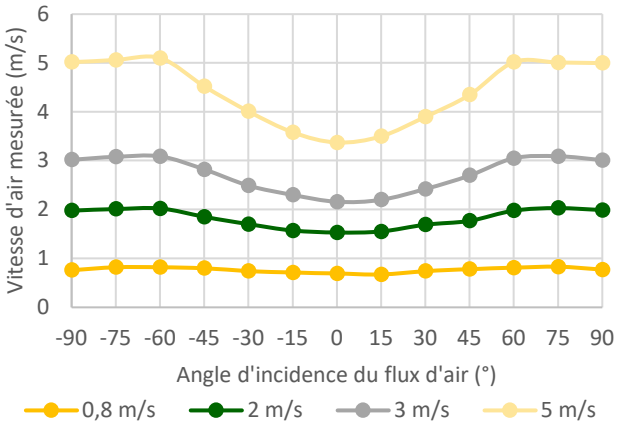


Figure 8 : Vitesses d'air mesurées à différentes vitesses d'air en fonction de l'angle d'incidence du flux d'air -Eiffel Aérodynamique

Pour les mesures de vitesse, l'anémomètre a été placé avec un angle de 90° par rapport au flux incident et déplacé selon trois axes à 90° (Figure 9b). Lors de essais en chambre ouverte, la cloison est située au bout de l'axe X-.

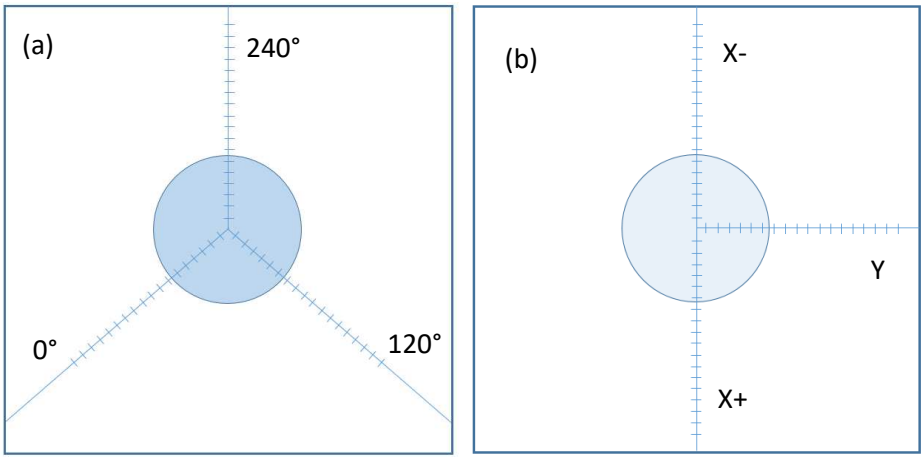


Figure 9 : Référencement des axes et positionnement des points de mesures dans les chambres de mesures : (a) laboratoire Piment et (b) laboratoire Eiffel

Au laboratoire PIMENT, la vitesse d'air est mesurée à une fréquence de 8 Hz. La valeur moyenne sur un intervalle de 10 s est enregistrée toutes les 2 s pendant les 3 min que durent l'essai. Après toute intervention d'un opérateur dans la chambre de mesure ou modification de la vitesse de rotation, un temps de stabilisation de 3 min a été respecté avant le démarrage de chaque mesure.

Au laboratoire Eiffel, la vitesse d'air est mesurée à une fréquence de 2 Hz et une vitesse moyenne était initialement calculée sur trois périodes disjointes de 30 s puis, afin de se rapprocher des conditions d'essais de PIMENT, sur une période de 3 min. Un temps de stabilisation de 1 min a été respectée avant chaque mesure, l'opérateur restant dans la pièce pendant la mesure et se plaçant en un point le plus éloigné possible du capteur. Les mesures temporelles n'étant pas enregistrées, il n'a pas été possible de conduire l'ensemble des analyses sur les données issues du protocole Eiffel.

Dans les deux laboratoires, les hauteurs de mesures ont été fixées à 36 cm, 60 cm, 100 cm, 120 cm, 132 cm, 150 cm et 170 cm. Les hauteurs de 60 cm et 170 cm sont issues de la norme ASHRAE 55 [17]. Cette norme propose également une mesure à 10 cm de hauteur mais elle n'a pas pu être mise en œuvre pour des raisons techniques, une hauteur minimale atteignable de 36 cm a été utilisée à la place. Les autres hauteurs correspondent aux hauteurs utilisées par les laboratoires dans leurs précédentes études. Une analyse critique de ces hauteurs sera proposée dans la seconde partie de l'étude.

2.4 Mesures de vitesse de rotation

Au laboratoire PIMENT, la mesure de la vitesse de rotation est effectuée avec un tachymètre optique (CTA, Kimo Instruments) dont le faisceau se réfléchit sur un ruban réfléchissant placé sur une des pales du brasseur. La précision relative du tachymètre est de ±0,3 % de la valeur mesurée à laquelle il faut ajouter ±1 tr/min (ce qui donne une précision de l'ordre de 1 tr/min pour les vitesses de rotation choisies dans cette étude).

Au laboratoire Eiffel, la mesure de la vitesse de rotation est effectuée avec un tachymètre optique (PCE-DT-65, PCE instruments, Allemagne). La précision relative du tachymètre est de ±0,05 % de la valeur mesurée à laquelle il faut ajouter ±1 tr/min (ce qui donne une précision de l'ordre de 1 tr/min pour les vitesses de rotation choisies dans cette étude).

Figure 10 : Tachymètre optique : (a) CTA [18] et (b) PCE-DT-65 [19]

2.5 Mesures de température ambiante et d'humidité relative

Au laboratoire PIMENT, les températures et humidités relatives sont relevées manuellement en court de mesure sur l'écran d'un enregistreur Testo 174H positionné dans l'enceinte de test. Sur la température, ces enregistreurs annoncent une précision de ±0,5 °C et sur l'humidité relative de ±3 %.

Au laboratoire EIFFEL, les températures et humidités relatives sont relevées manuellement en court de mesure sur l'écran d'une station météo Excelvan. Sur la température, cet équipement annonce une précision de ±1 °C et sur l'humidité relative de ±5 %.

Figure 11 : Capteurs de température et d'humidité : (a) Testo 174H [20] et (b) Excelvan [21]

3. Résultats

3.1 Dimensions de la chambre de mesure

Le premier point sur lequel il faut statuer est la configuration de la chambre de mesure retenue. La Figure 12 donne les profils de vitesses sur les trois axes à une hauteur de 120 cm et une vitesse de rotation de 150 tr/min pour les deux chambres de mesures du laboratoire Eiffel (ouverte et fermée).

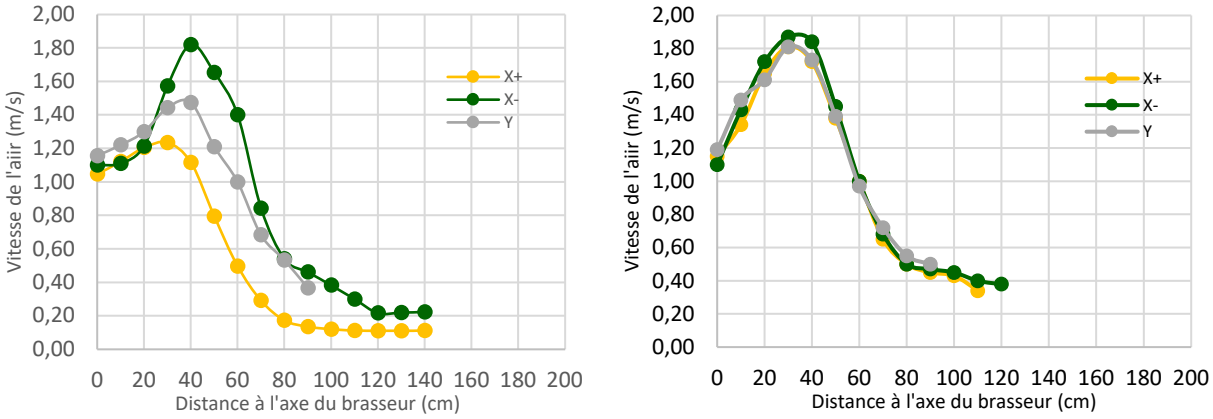


Figure 12 : Comparaison des profils de vitesse en (a) chambre ouverte et (b) chambre fermée à 150 tr/min et 120 cm de hauteur

On constate que les vitesses d'air diminuent fortement sur les côtés « ouverts » (axes X+ et Y). Ce résultat a également été observé souvent dans la littérature [22-29] et notamment par Raftery et al. [26] qui montre que la vitesse de l'air dans la zone de recirculation varie proportionnellement au rapport D/X (où D est le diamètre du brasseur et X la distance entre le centre du brasseur et la paroi) Par conséquent, étant donné que dans la configuration ouverte la paroi est jugée éloignée, le rapport D/X diminue donc la vitesse dans cette zone sera plus faible. Il montre également que dans une configuration symétrique (configuration fermée) la vitesse de l'air sous le brasseur n'est pas impactée par les dimensions de la pièce. La dissymétrie du pic de vitesse observée dans la configuration « ouverte » est donc due à la dissymétrie de la chambre de mesure, ce qui est également observé dans la littérature [22-24, 30-32]. La chambre de mesure « ouverte » n'est en effet pas réellement ouverte mais seulement jugée hypothétiquement suffisamment large sur certains axes pour que l'impact des parois devienne négligeable. D'autres mesures pourraient être envisagées pour comprendre l'impact des dissymétries de configuration sur le champ de vitesse d'air mais n'apparaissent pas pertinentes dans cette partie de l'étude.

L'absence de symétrie de la configuration ouverte ne permettant pas d'obtenir une distribution radiale de la vitesse d'air et étant trop complexe pour pouvoir appréhender tous les phénomènes mis en jeu, il a été décidé de ne plus utiliser cette configuration.

Résultat n°1 : La configuration fermée symétrique (i.e. avec le brasseur placé au centre) est la seule configuration ayant permis d'obtenir un champ de vitesse symétrique indépendant de la distance aux parois.

Dans le cas de la chambre fermée, il faut noter que les dimensions « finies » de la pièce imposent des limitations sur la taille des brasseurs pouvant être caractérisés. Les différentes réglementations américaines (NEC – électricité, NFPA – incendie, IRC - bâtiment) ne précisent pas de distances minimales par rapport au mur ou au sol mais imposent de suivre les règles de montage données par les constructeurs. A titre d'exemple, le

Tableau 2 présente des distances minimales requises par le constructeur Big Ass Fans [33] pour ces différents modèles. On constate que la distance minimale requise par ce constructeur entre le bout des pales et les murs est égale au rayon du brasseur. Dans ces conditions, la chambre d'essai de 4 m x 4m permettrait de tester des brasseurs **jusqu'à 2 m de diamètre**.

Tableau 2 : Distances de montages requises pour les différents modèles de la gamme Big Ass Fans [33]

Diamètre	Distance pales/plafond	Distance pales/sol	Distance bout de pales/murs
1,32 m	30,5 cm	2,1 m	66 cm
1,52 m	30,5 cm	2,1 m	76 cm
1,82 m	30,5 cm	2,4 m	91 cm
2,13 m	30,5 cm	2,4 m	107 cm
2,4 m	60 cm – 1,2 m	3 m	1,2 m
3 m	60 cm – 1,2 m	3 m	1,5 m
3,7 m	60 cm – 1,5 m	3 m	1,8 m
4,3 m	60 cm – 1,8 m	3 m	2,1 m
4,9 m	1,8 m	3 m	2,4 m
5,5 m	1,8 m – 2,1 m	3 m	2,7 m
6,1 m	2,1 m	3 m	3,0 m
6,7 m	2,4 m	3 m	3,4 m
7,3 m	2,1 m – 2,4 m	3 m	3,7 m

Le label Energy Star [34] impose aux constructeurs de préconiser une distance minimale entre le bout des pales du brasseur et les murs qui doit être supérieure à 46 cm (18'') pour des brasseurs de taille inférieurs à 213 cm (7') de diamètre, une distance de 91 cm (3') étant recommandée pour permettre un flux d'air correct. Pour les brasseurs plus grands, la distance minimale requise est de 91 cm. En respectant la distance recommandée de 91 cm, il apparait que la chambre d'essai fermée de 4 x 4 m permet de caractériser des brasseurs **jusqu'à un diamètre de 218 cm (85'')**. Au-delà de ce diamètre, il faudrait envisager une dimension de chambre de mesure plus grande.

Dans le rapport du laboratoire Eiffel « Mise au point d'un banc d'essai pour la caractérisation des brasseurs d'air » [35, 36], les auteurs observent également cette dissymétrie du champ de vitesse. Ils ont observé qu'en éloignant le brasseur du mur le plus proche, cette dissymétrie s'atténuait et ont conclu sur des distances minimales requises pour l'utilisation optimum des brasseurs. Or ces essais complémentaires (en chambre ouverte et fermée) ainsi que la littérature internationale [22-29] démontrent que la dissymétrie du champ de vitesse est expliquée par la dissymétrie de la configuration (configuration symétrique = pièce carrée avec brasseurs au centre). Ce n'est donc pas la grande proximité du mur qui est à l'origine de la dissymétrie du champ de vitesse mais bien l'absence de murs positionnés de façon symétrique sur les axes opposés. Les recommandations issues de ce rapport [36] sur les distances minimales à respecter entre le bout de pales de brasseur et les parois donc ne seront pas retenues dans le projet BRASSE.

Le guide de conception des brasseurs d'air [37] proposé par le CBE (Centre for Building Environment – Université de Berkeley) indique que le diamètre d'un brasseur d'air doit être compris entre 0,2 et 0,4 fois la taille de la pièce pour garantir un flux d'air optimum. Une taille de pièce trop petite ou trop grande induirait d'autres phénomènes pouvant affecter les performances du brasseur. Cette contrainte limite cette fois le **diamètre du brasseur à 160 cm** dans la chambre de 4 m x 4 m en considérant le ratio de 0,4. Lors d'échanges que nous avons eus avec lui au sujet de ces recommandations, Paul Raftery, responsable des études sur les brasseurs d'air au CBE et auteur de ce guide de conception, nous a indiqué que :

> « *Lorsque le diamètre du brasseur commence à dépasser la moitié de la largeur de la pièce, le brasseur s'étouffe, i.e. le courant de recirculation retournant vers l'entrée du brasseur commence à être affecté par le courant de sortie, ce qui affecte les performances*. *La recommandation du guide est issue de cette observation ainsi que d'autres aspects pratiques observés par les concepteurs et les installateurs. Lorsque la taille dépasse 0,4x la taille de la pièce, il devient alors difficile d'installer d'autres appareils au plafond (éclairage, sécurité incendie…). Par ailleurs, lorsque que les distances aux parois sont trop petites, les occupants de la pièce trouvent cela « troublant » et le risque de dommage en cas de tremblement de terre devient important. »*

Par ailleurs, d'après le guide de conception du CBE Berkeley et toujours dans le but de ne pas observer un effet d'étouffement du brasseur, il faut également respecter une distance entre les pales et le plafond qui doit être supérieure à 0,2 fois le diamètre [37], soit 32 cm si on se limite aux brasseurs de 160 cm de diamètre ou 40 cm pour les brasseurs de 200 cm. Cette distance sera approfondie dans le rapport 3.4 du projet BRASSE.

Le label Energy Star [34] impose quant à lui une hauteur minimale sous les pales de 2,13 m (7') pour des brasseurs de diamètre inférieur à 213 cm et de 3,05 m (10') pour des brasseurs plus grands. Les brasseurs jusqu'à **un diamètre de 185 cm** pourraient ainsi être utilisés avec une hauteur sous plafond de 2,50 m. On constate par ailleurs que Big Ass Fan [33] recommande des hauteurs sous plafond supérieures à 2,70 m pour ses modèles de plus 1,80 m de diamètre afin que la hauteur de pales soit supérieure à 2,40 m.

La Figure 13 montre l'évolution du ratio entre la distance au plafond et le diamètre du brasseur préconisé par Big Ass Fan ainsi que la hauteur sous plafond requise pour utiliser ces brasseurs. On observe que, selon les modèles, ce constructeur peut préconiser des distances au plafond qui peut être soit inférieures, soit supérieures au ratio de 0,2. Pour les modèles de diamètre inférieurs à 2 m, les ratios utilisés sont toutefois proches de la valeur de 0,2, alors que, à quelques exceptions près, pour les brasseurs plus grands, le ratio utilisé est plutôt de l'ordre de 0,4.

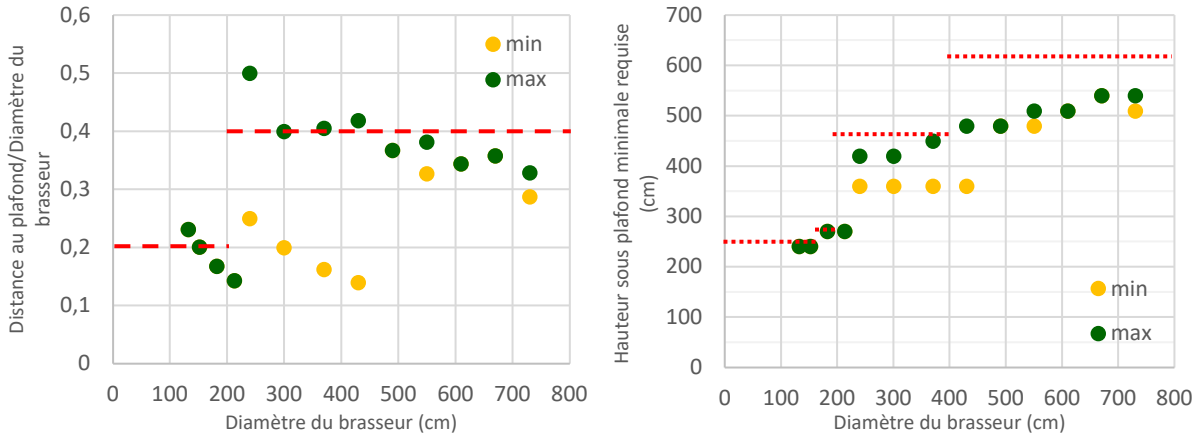


Figure 13 : Evolution du ratio Distance au plafond/diamètre du brasseur et de la hauteur sous plafond minimale requise pour les brasseurs de la gamme Big Ass Fans, d'après [33]. En pointillés rouge, les limites retenues dans le cadre du projet BRASSE pour dimensionner la chambre de mesure.

La norme NF EN CEI 60335-2-80 [38] recommandant d'avoir une distance supérieure à 2,30 m entre le sol et les pales du brasseur, il faut une hauteur sous plafond pouvant aller jusqu'à 2,62 m ou 2,74 m selon le diamètre maximum choisi. Cette hauteur minimale sera également influencée par la longueur de la tige de fixation du brasseur. Dans le cas du Hunter Industrie II, par exemple, la distance pales/plafond est de 36 cm, ce qui nécessiterait de monter le plafond à 2,66 m de façon à respecter cette recommandation de la norme européenne. Une hauteur sous plafond standard de 2,50 m limitant l'utilisation des brasseurs à ceux inférieurs à 1 m de diamètre, cette recommandation de la norme européenne est donc trop restrictive pour permettre une utilisation à grande échelle des brasseurs d'air et ne sera pas suivie dans le projet BRASSE pour les brasseurs de diamètre inférieur à 160 cm.

En considérant l'ensemble de ces éléments, les trois critères que nous recommandons de retenir sont donc :

- Diamètre du brasseur inférieur à 0,4 fois la taille de la pièce ;
- Distance minimale entre les pales et le plafond de 0,2 fois le diamètre pour les diamètres inférieurs à 200 cm et de 0,4 fois le diamètre pour les brasseurs plus grands ;
- Hauteur de pales supérieure à 2,13 m pour les diamètres inférieurs à 160 cm, supérieure à 2,30 m pour les diamètres compris entre 160 cm et 200 cm, et supérieure à 3 m pour les brasseurs plus grands.

Selon les trois hypothèses que nous avons présentées ici, les dimensions de nos chambres de mesure sont suffisantes pour les dimensions de brasseurs inférieures à 160 cm telles que celles envisagées dans le projet BRASSE. La Figure 14 montre que cette limite n'exclue qu'un très petit nombre de brasseur parmi les modèles commerciaux et que l'usage de ces grands brasseurs est particulièrement rare pour des locaux ayant des HSP de 2,5m.

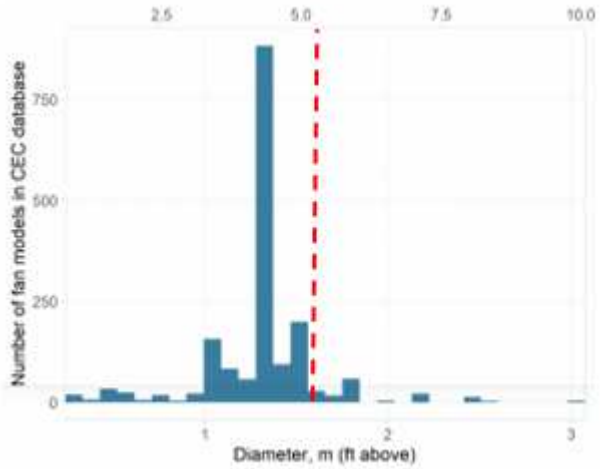


Figure 14 : Distribution de diamètre de brasseur dans un échantillon aléatoire de brasseurs dans la base de données CEC [37]. L'axe vertical en pointillés représente la limite à 1,60 m de diamètre imposée par nos chambres de mesure.

Résultat n°2 : Selon ces critères, les dimensions des chambres de mesure actuelles (4 x 4 x 2,5 m) permettent de caractériser des brasseurs jusqu'à 160 cm de diamètre.

Résultat n°3 : Selon ces critères, les brasseurs jusqu'à 185 cm pourraient être utilisés avec une hauteur sous plafond de 2,50 m.

En prenant en compte les différentes règles, selon le diamètre du brasseur, les dimensions de la chambre devront être :

Tableau 3 : Dimensions de la chambre de mesure selon le diamètre du brasseur

Diamètre max du brasseur	Largeur de la chambre	Hauteur sous plafond
160 cm	4 m	2,50 m
200 cm	5 m	2,70 m
300 cm	7,5 m	4,20 m
400 cm	10 m	4,60 m
600 cm	15 m	5,40 m
800 cm	20 m	6,20 m

RECOMMANDATION N°1 :

Dans le cas des brasseurs pouvant être utilisés avec une hauteur sous plafond de 2,50 m, c'est-à-dire ayant un diamètre inférieur à 160 cm, les dimensions de la chambre de mesure du protocole BRASSE doivent être de 4 m x 4 m x 2,5 m.

Pour les brasseurs de taille supérieure à 160 cm, il convient de définir également dans le protocole des tailles de chambres de mesure permettant leur évaluation. A partir des valeurs du tableau 3, nous recommandons trois tailles de chambre de mesure supplémentaires :

- 5 m x 5 m x 2,7 m pour les brasseurs dont le diamètre est compris entre 160 cm et 200 cm
- 10 m x 10 m x 4,6 m pour les brasseurs dont le diamètre est compris entre 200 cm et 400 cm
- 20 m x 20 m x 6,2 m pour les brasseurs dont le diamètre est compris entre 400 cm et 800 cm

3.2 Positionnement des capteurs

Plusieurs configurations de positionnement des capteurs ont été testées : 14 capteurs positionnés horizontalement ou verticalement sur un support horizontal (PIMENT) et 1 capteur positionné horizontalement sur un support vertical (PIMENT + EIFFEL). Les capteurs du laboratoire PIMENT ont été calibrés pour chacune des deux positions utilisées. La Figure 15 montre qu'il n'y a pas d'influence significative du support, du nombre de capteurs utilisés ou de l'orientation de capteur choisie.

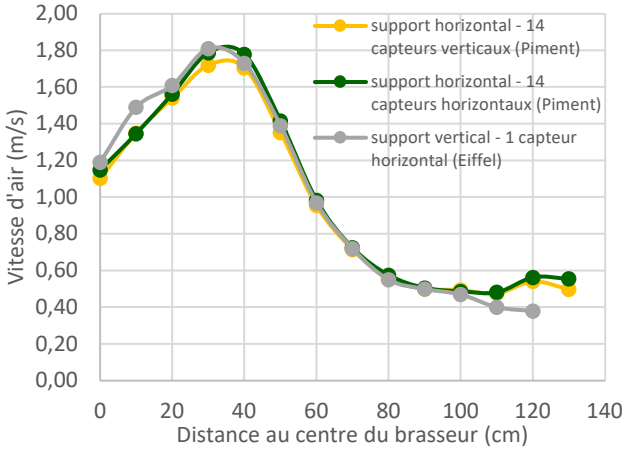


Figure 15 : Influence du positionnement des capteurs sur les profils de vitesse d'air

Résultat n°4 : Le choix du support et de l'orientation des capteurs n'a pas d'impact significatif sur la mesure, il sera déterminé selon des critères pratiques qui restent à définir.

Il conviendra donc de choisir un dispositif en fonction de critères pratiques tels que la facilité (voire la possibilité) de mise en place par l'opérateur. Il est par exemple impossible de mesurer la vitesse à une hauteur inférieure à 36 cm avec le banc d'essai horizontal du laboratoire PIMENT alors qu'une mesure à 10 cm a été envisagée pour évaluer le risque de courant d'air au niveau des chevilles. Afin de pouvoir évaluer cet effet, il serait préférable d'utiliser un support à tige verticale tel que celui utilisé par Eiffel.

Un essai avec un espacement de 5 cm entre les capteurs a également été réalisé par le laboratoire PIMENT pour évaluer la nécessité d'avoir plus de positions de mesures. La Figure 16**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montrent les profils de vitesse à 150 tr/min et 120 cm de hauteur pour des espacements entre capteurs différents. On peut constater que la présence de capteurs supplémentaires ne perturbe pas le flux d'air. Toutefois, les points supplémentaires ne semblent apporter aucune information supplémentaire utile. Il n'apparait donc pas pertinent d'utiliser un espacement inférieur à 10 cm tant que l'analyse des résultats obtenus réalisée en seconde partie de cette étude ne le requiert pas.

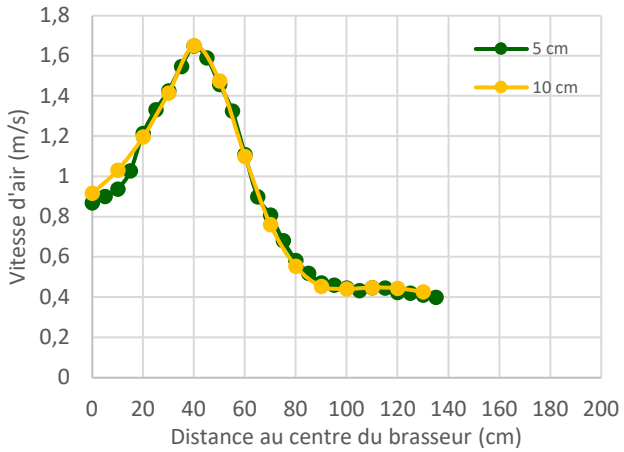


Figure 16 : Influence de l'espacement entre les capteurs sur les profils de vitesse moyenne

Résultat n°5 : L'espacement de 10 cm entre les positions de mesures peut être conservé.

Les hauteurs et les distances maximales de mesure choisies ne sont pas discutées ici puisqu'elles dépendront de l'analyse des résultats qui sera effectuée dans une prochaine partie.

3.3 Temps de stabilisation avant la mesure

Avant de démarrer la mesure, il convient de connaitre le temps nécessaire à l'établissement d'un régime permanent d'écoulement d'air dans la chambre de mesure après le démarrage du brasseur ou après l'intervention d'un opérateur dans la chambre de mesure. Pour cela, un essai particulier a été réalisé au laboratoire PIMENT. Il a été jugé représentatif du phénomène et appliqué aux deux laboratoires. Ici, la mesure (120 cm de hauteur sur l'axe 240°) commence avant le démarrage du brasseur et dure 25 min.

La Figure 17 montre l'évolution de la vitesse de rotation du brasseur sur les 5 premières minutes. On observe que la vitesse de rotation est établie au bout de 30 s. La vitesse de rotation moyenne entre 30 s et 3 min 30 s est de 149,5 tr/min avec un écart type de 1,3 tr/min (ce qui inférieur à la précision annoncée par le fabricant du capteur : 1,45 tr/min à 150 tr/min). On retrouve exactement les mêmes valeurs entre 3 min et 6 min, ce qui indique que la stabilisation de la vitesse de rotation est atteinte dès 30 s et qu'il n'est pas nécessaire d'attendre jusqu'à 3 min comme cela était prévu initialement par le protocole.

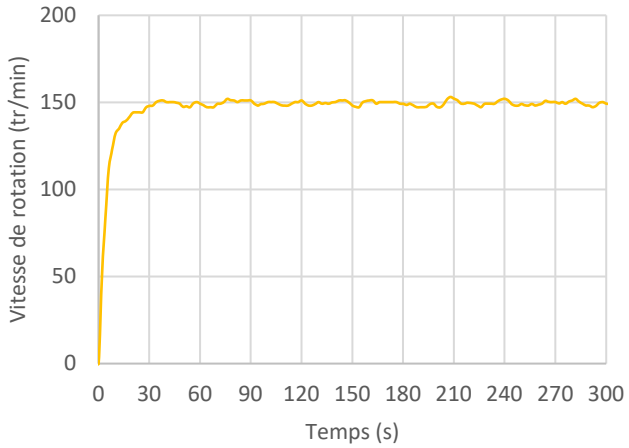


Figure 17 : Evolution de la vitesse de rotation après le démarrage du brasseur

La Figure 18 montre l'évolution de la vitesse d'air à différentes distances du centre du brasseur pendant les 6 premières minutes après le démarrage du brasseur. On observe que les vitesses augmentent pendant les 30 premières secondes. Après cette phase d'établissement de la vitesse, on constate qu'elle ne se stabilise pas particulièrement avec le temps.

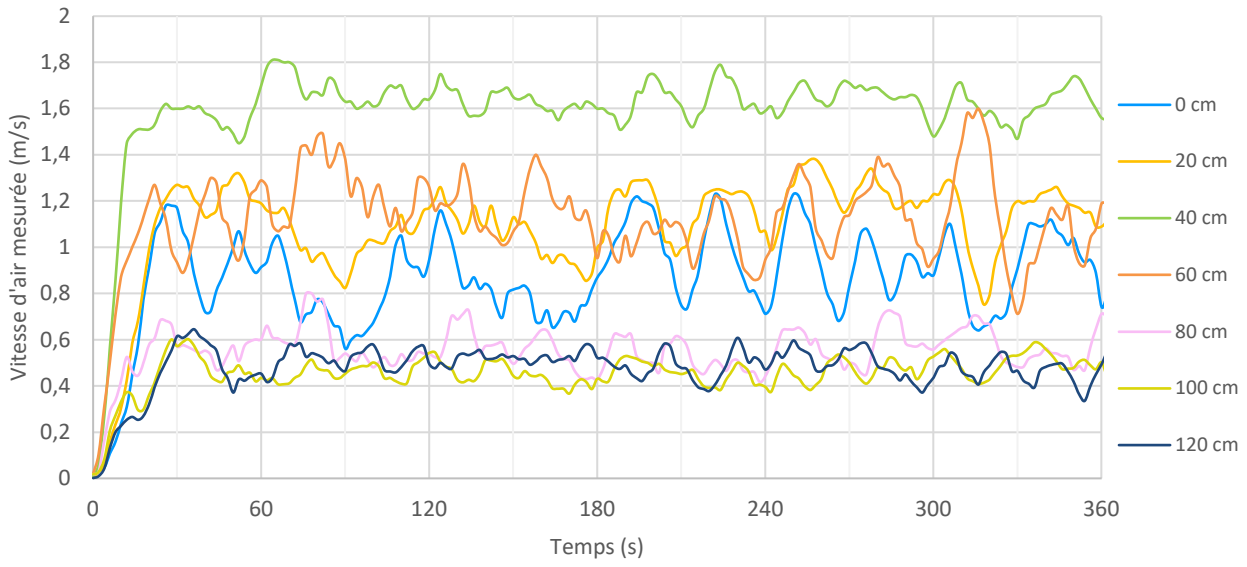


Figure 18 : Evolution des vitesses d'air à différentes positions après le démarrage du brasseur

La Figure 19 présente les profils de vitesse d'air moyenne sur un intervalle de 3 min aux différentes positions pour des temps de stabilisation (i.e. temps à partir duquel on commence la mesure) de 30 s, 3 min, 5 min et 10 min. On observe qu'augmenter le temps de stabilisation n'a pas d'influence sur les valeurs de vitesse moyenne.

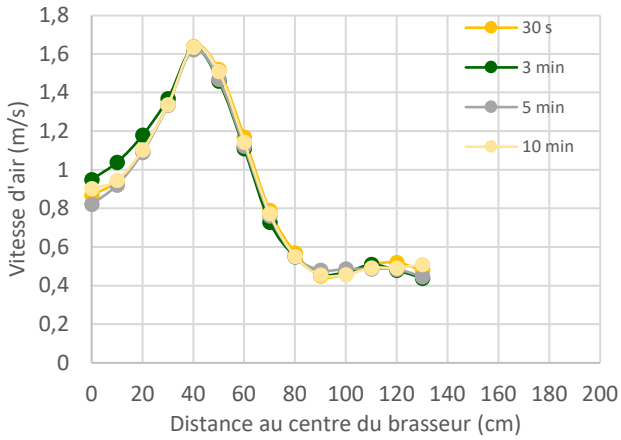


Figure 19 : Profils de vitesse moyenne après différents temps de stabilisation

On peut donc convenir qu'il ne semble pas utile d'avoir un temps de stabilisation de 3 min mais qu'un temps de 30 s pourrait suffire, ce qui est conforme à d'autres protocoles de mesures rencontrés dans la littérature [29, 39], bien que des temps supérieurs soient aussi rencontrés (2 min [26]).

Résultat n°6 : Dans le cas du brasseur témoin, un temps de stabilisation de 3 min est suffisamment long pour considérer un champ de vitesse en régime permanent.

Cependant l'étude sur un unique brasseur témoin est trop limitante pour conclure définitivement sur le temps de stabilisation car il n'est pas évident que ce temps soit suffisant dans le cas d'autres brasseurs (pales plus lourdes, moteur moins puissant, diamètre plus important, etc.). C'est pourquoi nous ne pouvons pas faire de recommandation sur un temps minimal de stabilisation sur la base de ces mesures.

La norme ASHRAE 216 [40], dont l'objectif est également de mesurer le profil de vitesse d'air pour déterminer des indicateurs de confort thermique et de performances énergétique, recommande un temps minimal de stabilisation de stabilisation de 3 min et y ajoute un test permettant de vérifier que le régime permanent est atteint lors de la mesure. Ce test vérifie que l'écart entre la valeur moyenne de vitesse mesurée sur la première moitié de la durée du test et celle mesurée sur la seconde moitié de la durée est inférieur à 10 % ou à 0,05 m/s. Si le régime permanent n'est pas atteint, la mesure est invalidée et le temps de stabilisation doit être incrémenté de 3 min jusqu'à un maximum de 12 min. Nous recommandons donc d'utiliser la même méthode. Cette recommandation a été vérifiée lors des essais en laboratoire dans la suite du projet BRASSE.

RECOMMANDATION N°2 :

Le temps de stabilisation minimal avant chaque mesure (vitesse d'air et vitesse de rotation) est fixé à 3 min.

Un test doit être réalisé après chaque mesure pour vérifier que le régime permanent est atteint. L'écart entre la valeur moyenne de vitesse mesurée sur la première moitié de la durée du test et celle mesurée sur la seconde moitié de la durée doit être inférieur à 10 % ou à 0,05 m/s.

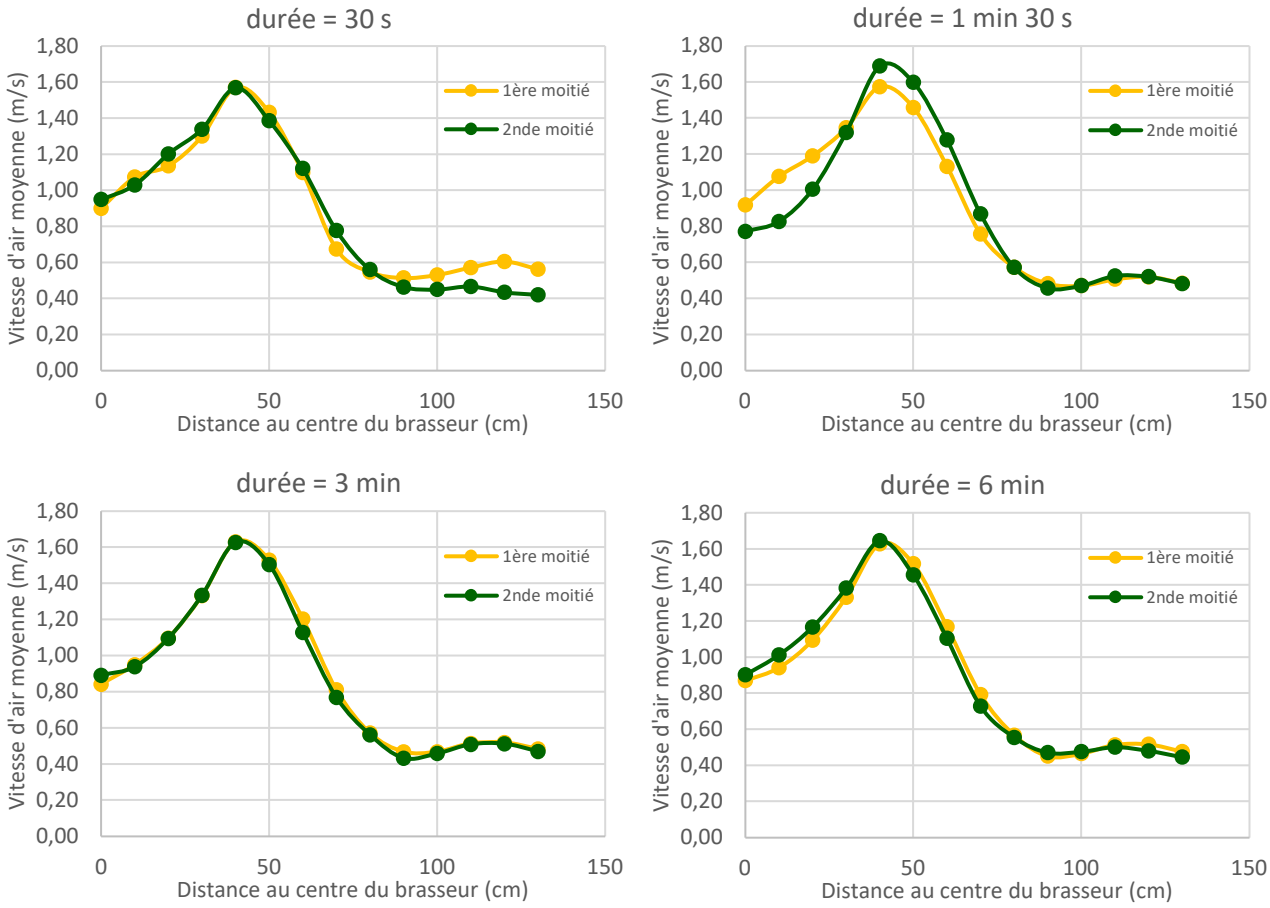
Si le régime permanent n'est pas atteint, la mesure est invalidée et le temps de stabilisation doit être incrémenté de 3 min jusqu'à un maximum de 12 min.

3.4 Echantillonnage et exactitude de la mesure

Pour cette partie, on étudie les résultats du même essai que dans la partie précédente (150 tr/min, 120 cm de hauteur et durée de 25 min) afin de de valider la pertinence de la durée de mesure et de l'intervalle de temps entre deux mesures définies par la version 0 du protocole.

Afin de vérifier que le régime permanent est atteint, la Figure 20 montre la différence entre la vitesse d'air moyenne calculée sur la première moitié de la durée de l'essai et la vitesse d'air moyenne calculée sur la seconde moitié en utilisant différentes durées d'essai. On constate que l'écart relatif entre les deux moitiés de l'essai est inférieur à 10 % pour des durées d'essai supérieures à 3 min.

Résultat n°7 : Une durée d'essai de 3 min est suffisante pour vérifier l'établissement du régime permanent.



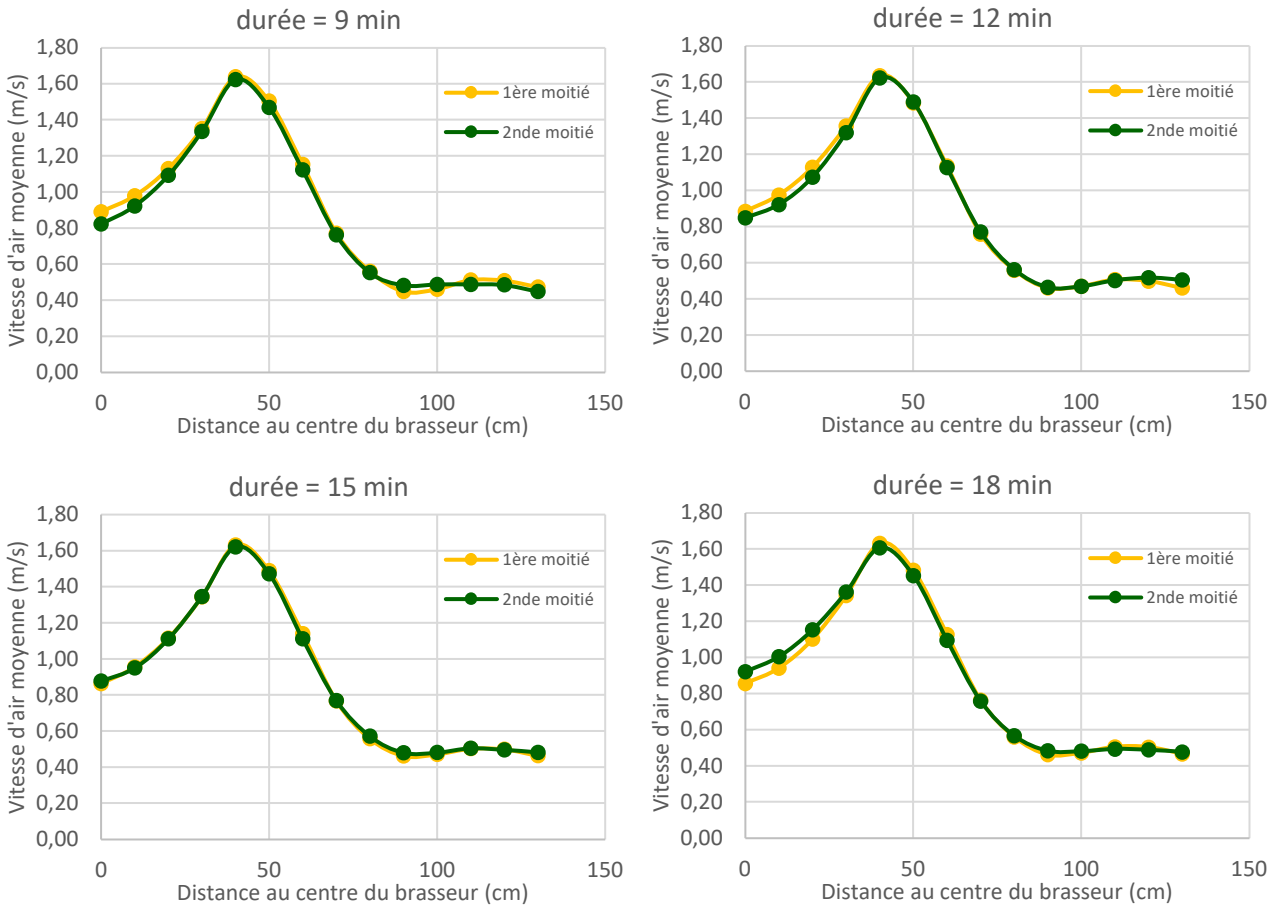


Figure 20 : Profil de vitesse obtenus sur les deux moitiés de l'essai en fonction de la durée de l'essai

La Figure 21 montre l'évolution du profil de vitesse en fonction de la durée d'essai. Plus la durée d'essai est importante, plus les valeurs de moyenne estimées convergent vers une valeur « exacte » de la moyenne. On observe que cette convergence est plus lente (de l'ordre de 9 min) dans les zones de fortes turbulences situées en bout de pales (entre 50 et 70 cm). Il conviendra donc de définir un temps de mesure adapté à chaque position de mesure afin de s'assurer de l'exactitude de la mesure.

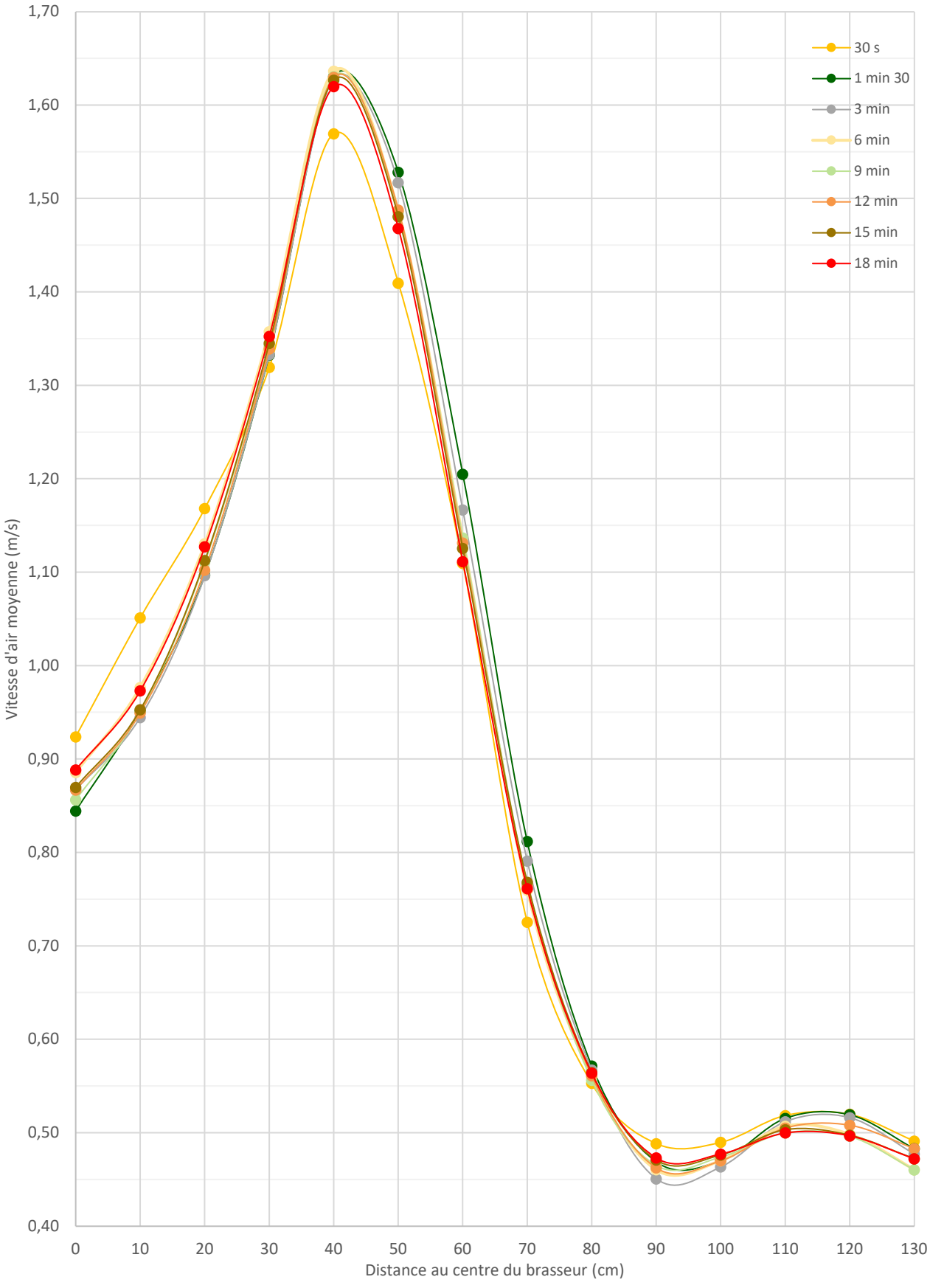


Figure 21 : Profils de vitesse obtenus en fonction des différentes durées d'essai

Afin de déterminer une durée optimum de l'essai pour obtenir une moyenne exacte, il est nécessaire de faire un test statistique en utilisant un intervalle de confiance souhaité (95% par exemple). Pour cela, il faut d'abord connaitre la distribution des mesures autour de la moyenne. La Figure 22 présente les distributions de mesures pour les essais à 150 tr/min et 120 cm de hauteur. On observe que la modélisation de ces distributions par une loi normale donne une bonne corrélation.

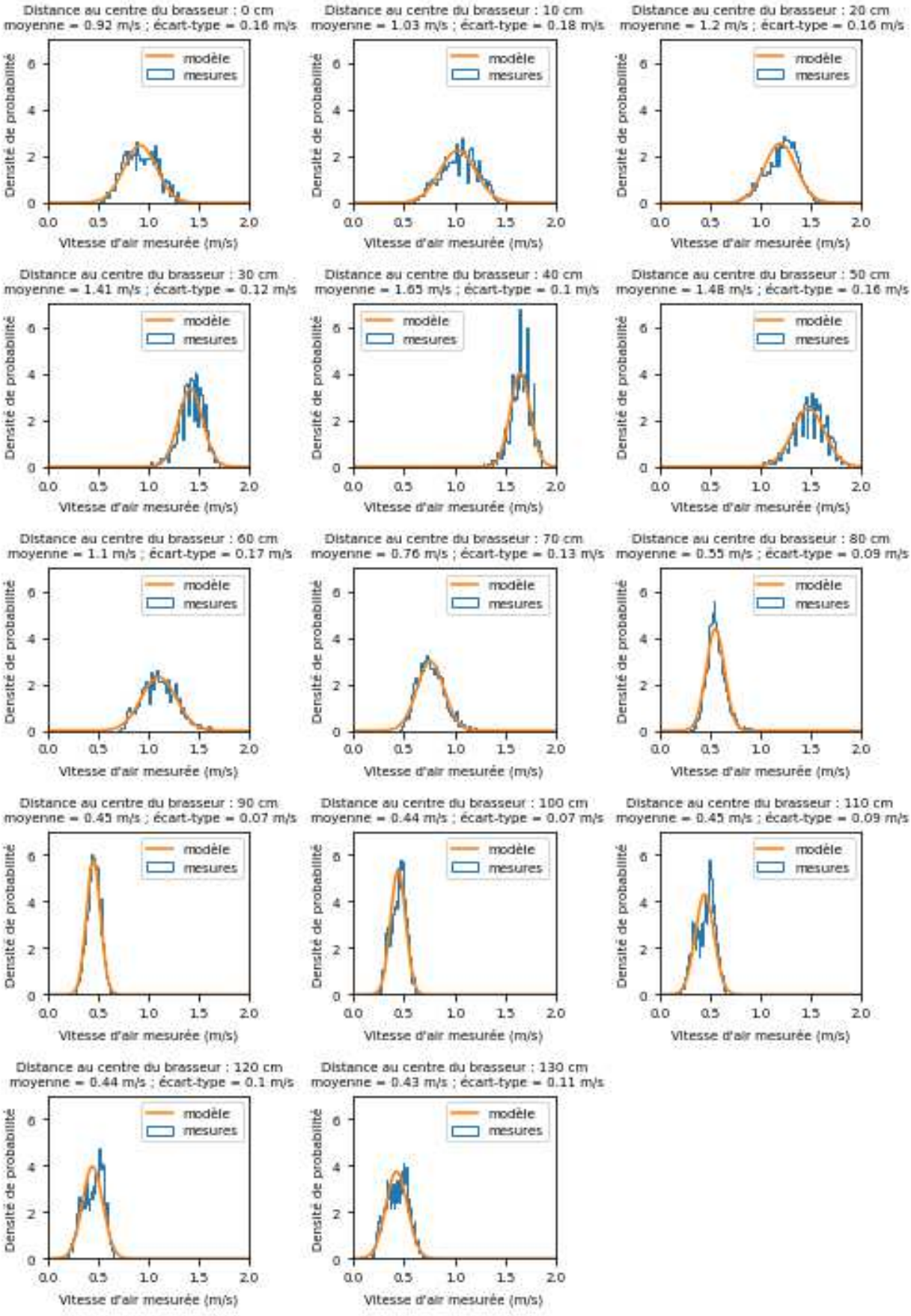


Figure 22 : Distribution des mesures de vitesse d'air à 150 tr/min et 120 cm de hauteur

Pour la loi normale, l'inégalité de concentration avec un intervalle de confiance de 95 % permettant d'obtenir une moyenne de l'échantillon M_n comprise dans un intervalle autour de l'espérance μ de la loi normale inférieur à l'incertitude de mesure $u(v_{air})$ s'écrit :

$$P\left(|M_n - \mu| \geq u(v_{air})\right) = \frac{\sigma^2}{n\left(u(v_{air})\right)^2} \leq (1 - 95\%)$$

$$n \geq \frac{\sigma^2}{\left(u(v_{air})\right)^2 (1 - 95\%)}$$

En appliquant cette démarche à l'ensemble des mesures effectuées sur une durée de 3 min à toutes les hauteurs pour les deux vitesses de rotation, on obtient les temps minimaux d'acquisition indiqués par la Figure 23:

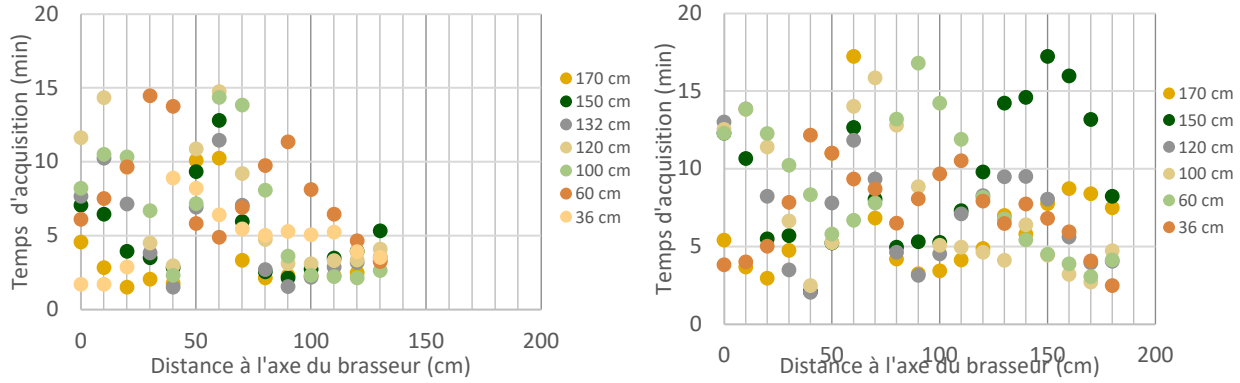


Figure 23 : Temps d'acquisition minimal pour chaque position à (a) 80 tr/min et (b) 150 tr/min (ici le calcul prend en compte l'incertitude de chaque mesure)

On constate que pour obtenir une valeur moyenne respectant les critères définis précédemment, le temps d'acquisition avec le protocole PIMENT doit être augmenté à 18 min. Il est également possible de fixer l'erreur de détermination de la valeur moyenne à l'incertitude de mesure maximale observée lors de la campagne d'essai (ici 0,06 m/s). La Figure 24 présente les temps d'acquisition minimaux avec ce critère et le temps d'acquisition maximal est réduit à 9 min.

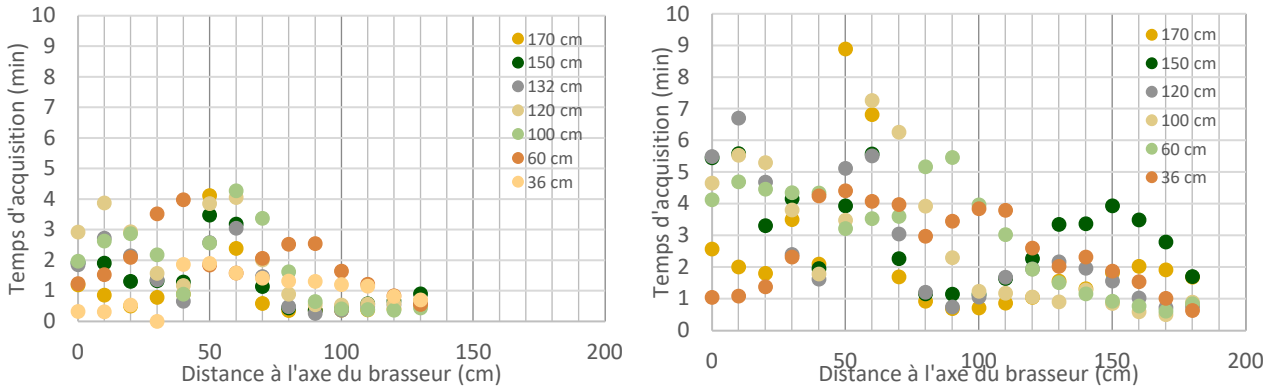


Figure 24 : Temps d'acquisition minimal pour chaque position à (a) 80 tr/min et (b) 150 tr/min (ici le calcul prend en compte une incertitude de 0,06 m/s)

Le second critère présente l'inconvénient de maximiser l'erreur aux faibles vitesses alors que l'incertitude de mesure y est moins élevée. L'étude sur l'effet de rafraichissement induit par la vitesse d'air (présentée dans le rapport 3.2 du projet brasse) a montré l'importance de la prise en compte de la vitesse d'air dès les faibles vitesses (à partir de 0,2 m/s) que l'on peut rencontrer dans les zones de recirculation. Dans cette gamme de vitesse, la variation de l'effet ressenti avec la vitesse est très élevée et il convient donc de mesurer au mieux la vitesse d'air. En effet, pour donner un exemple, une vitesse de 0,3 ± 0,06 m/s donnera un effet rafraichissant compris entre 1 et 1,7 °C alors qu'une vitesse de 0,3 ± 0.026 m/s donnera un effet rafraichissant compris entre 1,2 et 1,5 °C. Cette observation faite, nous recommandons plutôt l'usage du premier critère qui utilise l'incertitude la plus faible possible.

Cependant, pour ne pas augmenter la durée d'une campagne d'essai dans des proportions déraisonnables, il est possible de convenir d'une incertitude minimale et d'une durée d'essai maximale. Par exemple, la norme ASHRAE 216 [40] fixe une limite basse d'incertitude à 0,05 m/s et une durée maximale d'essai de 12 min. La Figure 25 montre les temps d'acquisition minimaux en utilisant le critère défini par cette norme. On constate que pour l'ensemble des points de mesure, le temps d'acquisition reste inférieur à 12 min, ce qui permet d'obtenir une exactitude de mesure satisfaisante sans voir à dépasser la durée maximale de mesure.

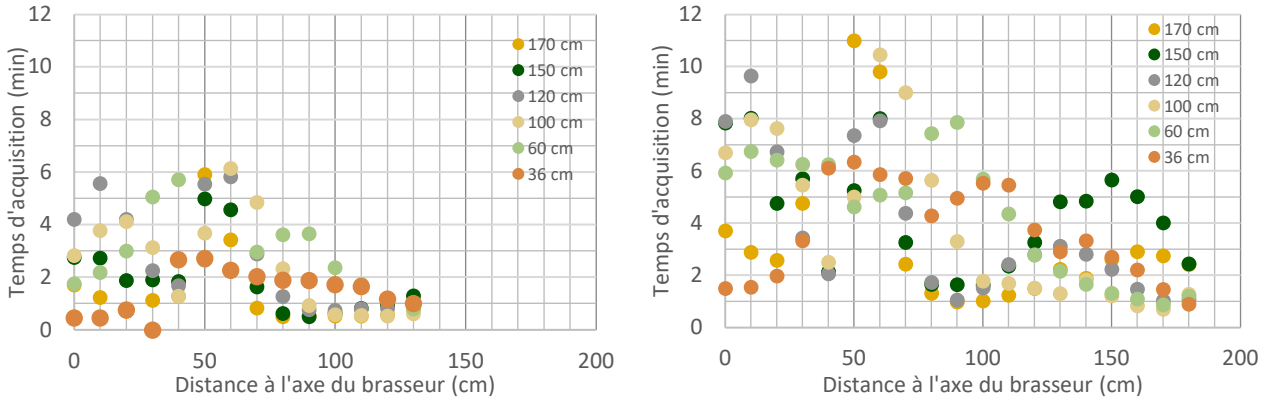


Figure 25 : Temps d'acquisition minimal pour chaque position à (a) 80 tr/min et (b) 150 tr/min
(ici le calcul prend en compte le maximum entre l'incertitude de chaque mesure et une incertitude minimale de 0,05 m/s)

La Figure 26 montre les temps minimaux d'acquisition obtenus en abaissant la valeur minimale d'incertitude à 0,04 m/s. On constate que cette fois la durée maximale de 12 min est dépassée pour un petit nombre de point de mesure à 150 tr/min, ce qui entraine une diminution de l'exactitude de la mesure.

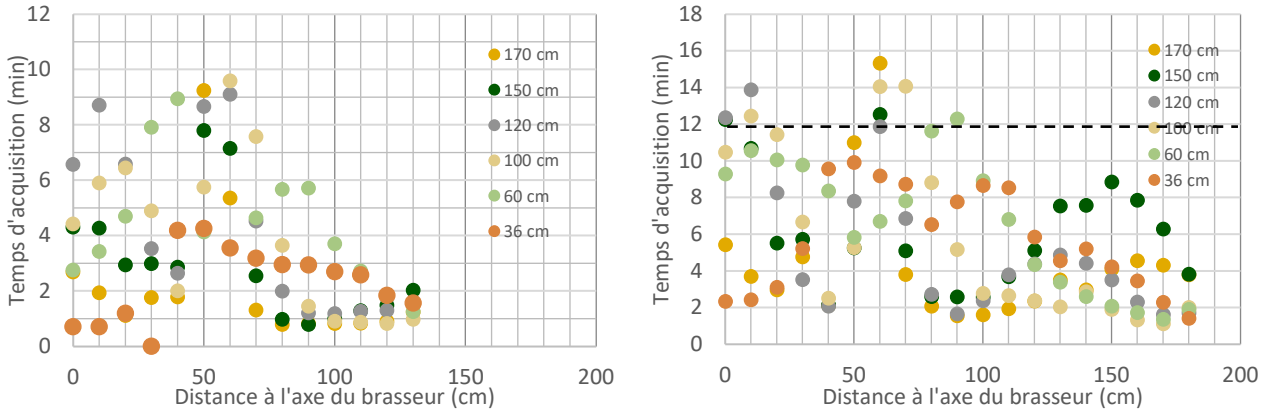


Figure 26 : Temps d'acquisition minimal pour chaque position à (a) 80 tr/min et (b) 150 tr/min
(ici le calcul prend en compte le maximum entre l'incertitude de chaque mesure et une incertitude minimale de 0,04 m/s)

Afin de minimiser la durée d'essai maximale et l'incertitude de mesure minimale, on pourrait également utiliser les mesures instantanées des capteurs (mode INST qui renvoie les mesures à une fréquence de 8 Hz) et obtenir un nombre plus élevé de points sur une durée plus courte, l'écart-type serait toutefois plus important puisque les mesures ne seraient pas moyennées sur un intervalle de 10 s. Lors d'essais réalisés avec des mesures instantanées avec à une fréquence de 5 Hz (dispositif utilisé par Surya Consultants lors des essais in-situ), nous avons constaté que l'écart-type était multiplié par un facteur 2 comparé aux essais avec une moyenne mobile sur un intervalle de 2 s. En supposant que l'écart-type soit également doublé avec une mesure instantanée à une fréquence de 8 Hz, on pourrait espérer obtenir un temps de mesure divisé par 4, soit environ 5 min sans avoir à définir de limite basse d'incertitude.

Résultat n°8 : Avec la méthode d'échantillonnage choisie par le laboratoire PIMENT, la durée de la mesure devra être augmentée jusqu'à 18 min pour avoir une erreur inférieure à l'incertitude de mesure du capteur avec un intervalle de confiance à 95 %.

Les mesures réalisées au laboratoire Eiffel n'étant pas enregistrée par la centrale d'acquisition, il n'a pas été possible de réaliser la même analyse avec leur méthode d'échantillonnage.

RECOMMANDATION N°3 :

La durée minimale d'acquisition est fixée à 3 min.

Tous les essais devront être validés en vérifiant que le temps d'acquisition est suffisant pour obtenir à la fois le régime permanent et une vitesse moyenne considérée exacte, c'est-à-dire en faisant une erreur inférieure à 0,05 m/s avec un intervalle de confiance à 95 %.

Si ce test n'est pas vérifié, le temps d'acquisition pourra être augmenté par incréments de 3 min jusqu'à un maximum de 12 min.

3.5 Répétabilité de la mesure

Six essais de répétabilité ont été effectués au laboratoire PIMENT à une hauteur de 120 cm et une vitesse de rotation de 150 tr/min sur chacun des trois axes. Ces essais ont été réalisés à des dates différentes et, pour certains, après démontage et remontage du brasseur et du banc de mesure. La Figure 27 montre les profils de vitesse moyenne et les écarts-type pour chaque répétition sur les différents axes. On observe une répétabilité satisfaisante entre les différents essais pour l'obtention des profils de vitesse bien qu'il y ait de variations sensibles pour les écarts-types dont les valeurs restent toutefois cohérentes avec la littérature [29]. On observe par ailleurs que l'écart type varie essentiellement dans les zones de fortes turbulences au centre du brasseur et en bout de pales, confirmant ainsi la nécessité d'ajuster le temps d'acquisition dans ces zones selon les principes énoncés dans la partie précédente.

Résultat n°9 : Le protocole PIMENT permet la répétabilité de la mesure.

Les tests de répétabilité n'ayant pas pu être réalisés au laboratoire Eiffel, il n'a pas été possible de réaliser la même analyse.

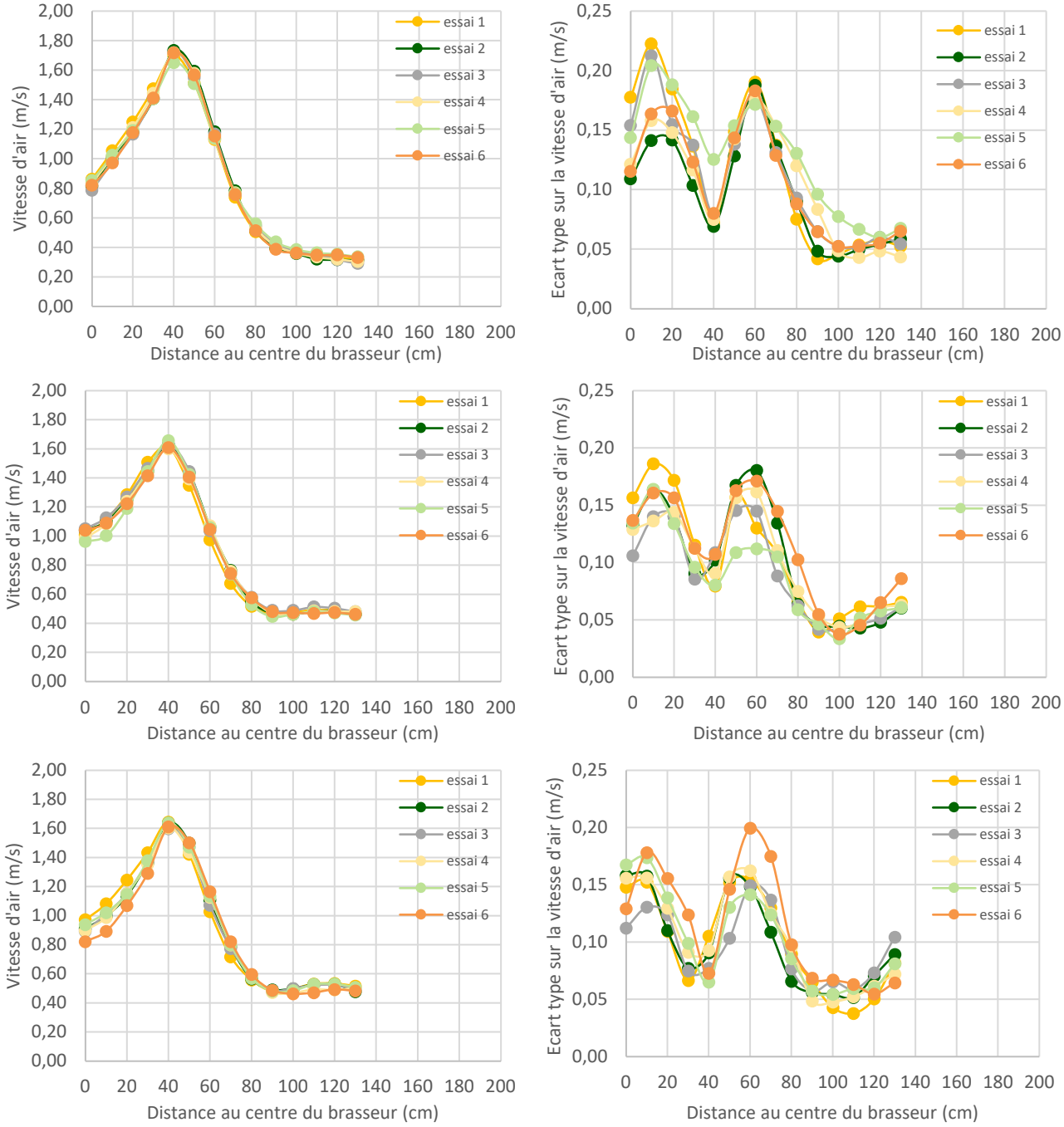


Figure 27 : Profils de vitesse et écarts-type pour les différentes répétitions à 150 tr/min et une hauteur de 120 cm : (a) axe 0°, (b) axe 120° et (c) axe 240°

3.6 Hypothèse de distribution radiale de la vitesse d'air

La géométrie de la chambre de mesure a été choisie de façon à obtenir des symétries suffisantes pour que la vitesse d'air ne dépende que de la distance au brasseur (distribution radiale). Les Figure 28 et 26 montrent les profils de vitesse mesurés sur les trois axes de la chambre du laboratoire PIMENT aux différentes hauteurs et vitesses de rotation. Hormis quelques petites divergences sur certains essais qui restent toutefois inférieurs aux écarts-type, on constate que l'hypothèse de distribution radiale de la vitesse d'air est vérifiée. Il est donc possible de calculer un profil de vitesse moyen ne dépendant pas de la position de l'axe de mesure. La validité de cette hypothèse permettra également de n'effectuer les mesures que sur un seul axe. Afin de pouvoir relier la vitesse moyenne dans la zone se situant entre le brasseur et les murs avec la distance qui les sépare [26], il est préférable de mesurer le profil de vitesse entre le centre du brasseur et la paroi la plus proche. Cela conduit à réaliser la mesure sur un des axes allant vers le centre d'une paroi.

Résultat n°10 : L'hypothèse de distribution radiale de la vitesse d'aire est vérifiée dans la chambre de mesure fermée

RECOMMANDATION N°4 :

La mesure est effectuée sur un seul axe radial allant du centre du brasseur vers le centre de l'une des parois (point le plus proche du brasseur).

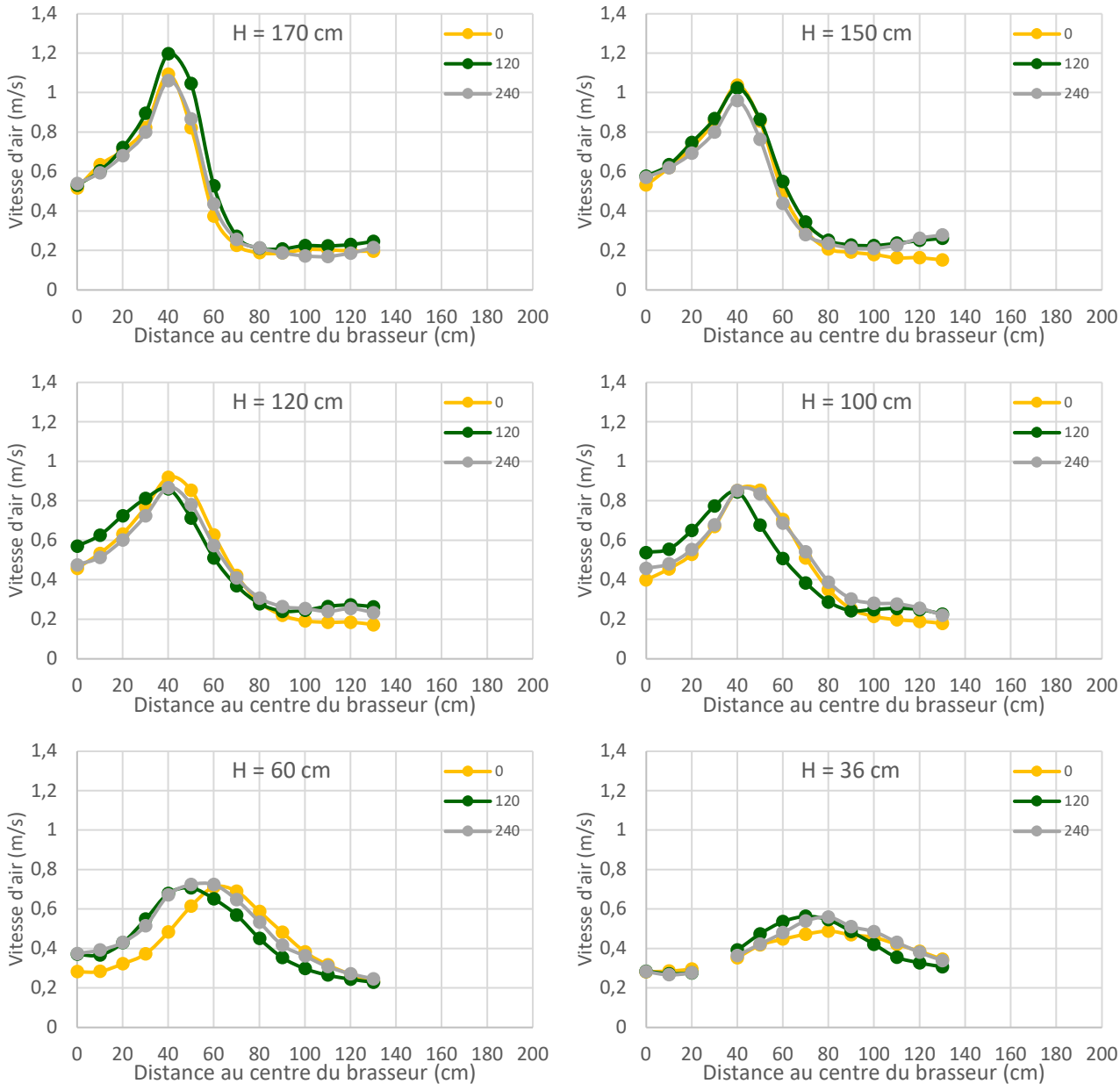


Figure 28 : Profils de vitesse à 80 tr/min

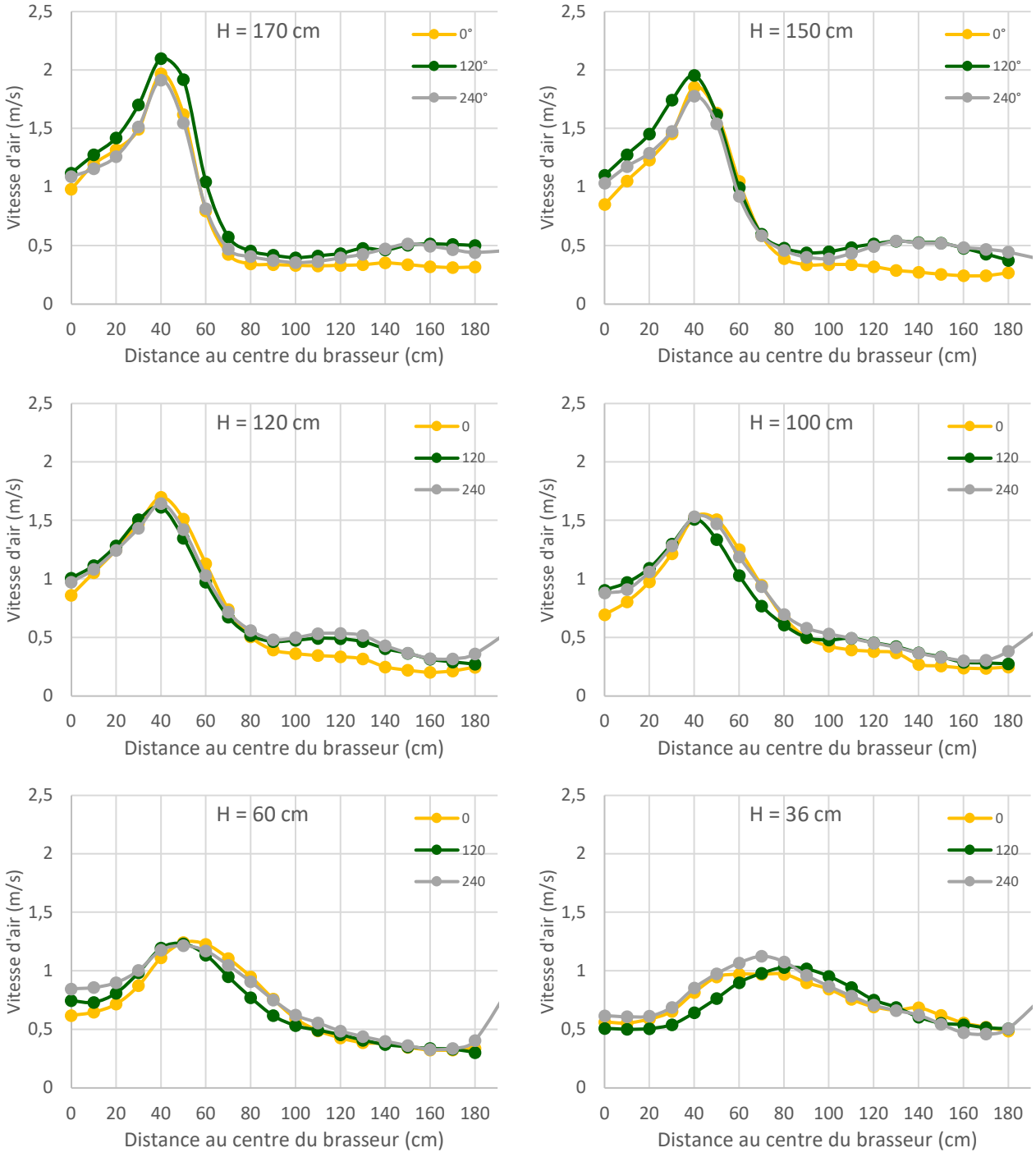


Figure 29 : Profils de vitesse à 150 tr/min

Sur la Figure 29, on peut observer la mesure du courant ascendant le long de la paroi (mesurée à 2 cm du mur). Cette observation est cohérente avec le fonctionnement attendu d'un brasseur et son impact sur les courants dans un local notamment à proximité d'une paroi. La littérature scientifique prouve par ailleurs que la valeur de la vitesse d'air en ce point n'impacte pas les valeurs des vitesses sous le brasseur et dans la zone de recirculation, s'y tenté que la distance brasseur d'air/mur respecte les préconisations énoncées précédemment [33]. De plus, la mesure de ce courant d'air particulier ne semble pas utile puisque la surface concernée par ce phénomène est trop petite pour qu'un usager puisse s'y placer dans le but ressentir un éventuel effet rafraichissant. Nous recommandons donc de ne pas effectuer de mesure de vitesse pour des points situés à moins de 20 cm de la paroi.

3.7 Reproductibilité de la mesure entre les deux laboratoires

Afin d'étudier la reproductibilité du protocole expérimental en configuration fermée entre les deux laboratoires, il a été décidé de refaire des essais à 120 cm de hauteur et 150 tr/min au laboratoire PIMENT en utilisant le système d'axes du laboratoire Eiffel. La Figure 30 montre que le profil de vitesse obtenu sur les axes X- et Y sont similaires. On observe toutefois une différence importante entre les deux profils obtenus sur l'axe X+, ce qui infirme cette fois l'hypothèse d'une distribution radiale des profils de vitesse. Des essais supplémentaires sont nécessaires afin de comprendre l'origine de cette dissymétrie obtenue lors de cette série d'essais au laboratoire PIMENT qui pourrait s'expliquer par un certain nombre de modifications comparé aux séries précédentes (changement d'opérateur, nouvelle calibration des anémomètres, conditions climatiques).

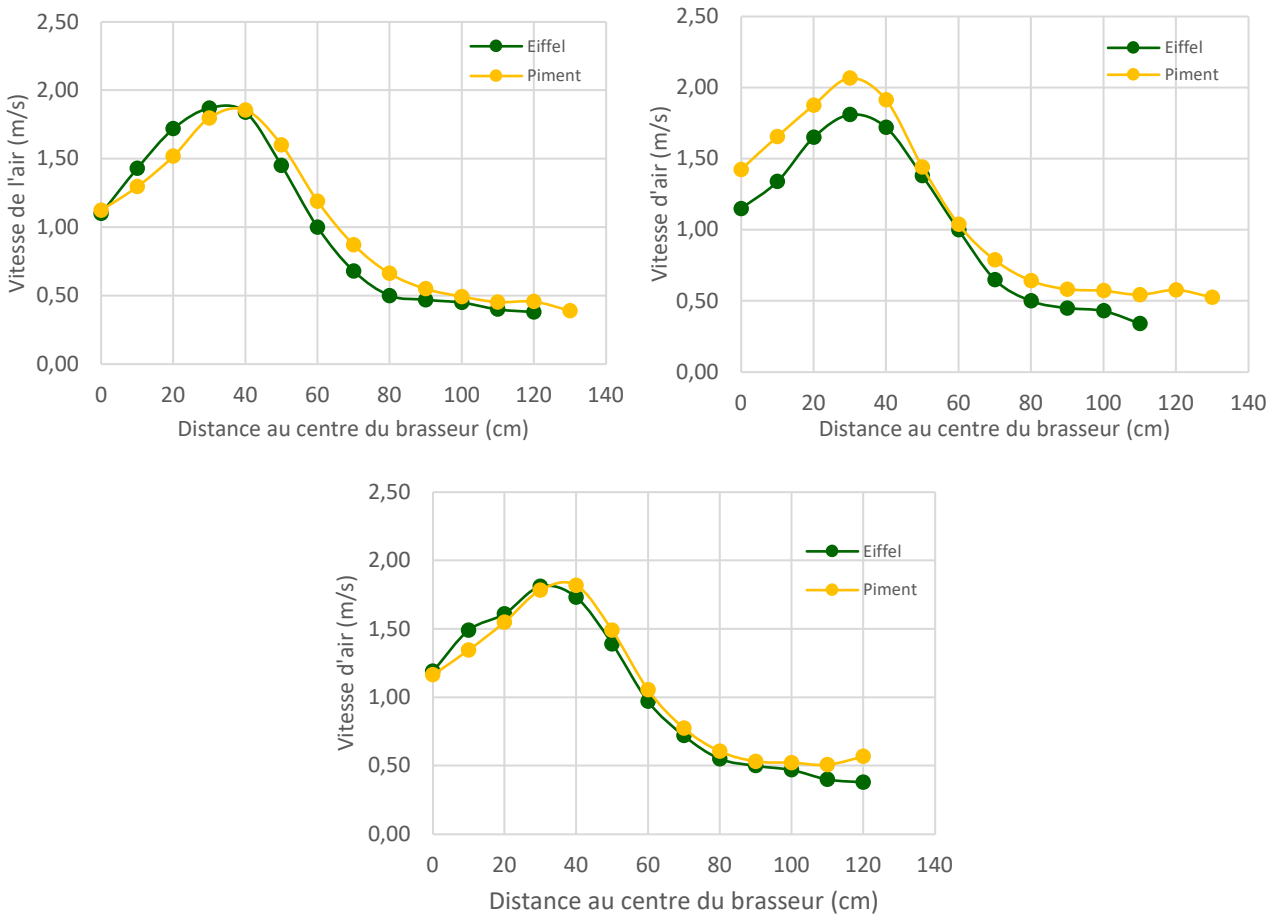


Figure 30 : Reproductibilité du protocole entre les deux laboratoires : (a) axe X-, (b) axe X+ et (c) axe Y

Les valeurs obtenues lors de cette campagne sont également très supérieures (écart supérieur à 10%) aux valeurs obtenues lors de la campagne précédente avec l'autre système d'axe.

La Figure 31 montre les profils de vitesse obtenus sur l'axe X- (ou 240° selon l'autre nomenclature) lors des deux campagnes d'essais. Ces deux campagnes ont été réalisées à des saisons différentes et la différence de température entre ces deux périodes était en moyenne de 5 °C. Ces deux campagnes ont également été menées par deux opérateurs différents. Ces expériences devraient être répétées afin de mieux comprendre l'origine de ces différences et notamment l'influence particulière de la température dans la chambre de mesure en la contrôlant avec un système de climatisation.

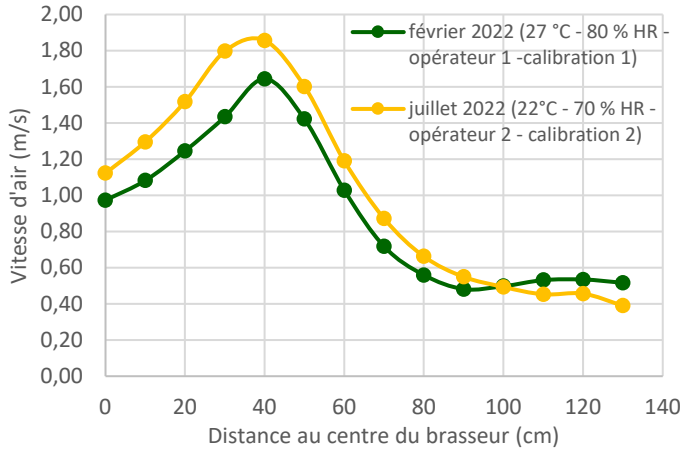


Figure 31 : Profils de vitesse à 120 cm de hauteur et 150 tr/min sur l'axe X- (240°) obtenus lors des deux campagnes différentes

Résultat n°11 : La reproductibilité entre les deux laboratoires et avec des opérateurs différents n'est pas encore pleinement satisfaisante, il faudra de nouveaux essais pour comprendre la raison de ces différences.

4. Conclusion

Dans le cadre du projet BRASSE, des essais en laboratoire ont été réalisés dans deux laboratoires différents : le laboratoire PIMENT (Le Tampon- La Réunion) et le laboratoire EIFFEL (Paris). L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité métrologique (exactitude, répétabilité et reproductibilité) de la mesure de vitesse d'air à la fois au sein de chaque laboratoire mais également entre les deux laboratoires.

L'étude de deux configurations différentes (« ouverte » et « fermée ») a permis de conclure que la configuration fermée symétrique (i.e. avec le brasseur placé au centre de 4 murs) est la seule configuration permettant d'obtenir un champ de vitesse à symétrie radiale.

Les essais en laboratoire ainsi que l'analyse de littérature technique et scientifique et les échanges que nous avons eu avec Paul Raftery (CBE Berkeley) ont permis d'établir un certain nombre de contraintes sur la chambre de mesure et les dimensions des brasseurs associées. Ainsi, selon les critères que nous avons retenus, les dimensions des chambres de mesure actuelles (4 x 4 x 2,5 m) permettent de caractériser des brasseurs jusqu'à 160 cm de diamètre. Pour les brasseurs de taille supérieure à 160 cm, trois tailles de chambre de mesure supplémentaires sont recommandées.

Les analyses des essais réalisés ont permis de conclure que le choix du support et l'orientation des capteurs n'a pas d'impact significatif sur la mesure, qu'un espacement de 10 cm entre les positions de mesures peut être conservé et que la mesure peut être effectuée sur un seul axe radial allant du centre du brasseur vers le centre de l'une des parois.

Dans le cas du brasseur témoin, il a été prouvé qu'un temps de stabilisation de 30 secondes est suffisamment long pour obtenir le régime permanent. Dans l'impossibilité de vérifier cette durée pour un grand nombre de brasseur, nous recommandons, en accord avec la littérature, d'utiliser une durée minimale de 3 min et un test de vérification de l'établissement du régime permanent.

Il a été établi que, selon les critères d'exactitude utilisé, une durée d'essai de 3 min est insuffisante pour la plupart des points de mesure et en particulier pour ceux où le niveau de turbulence est important. Nous recommandons donc valider tous les essais par un test vérifiant que le temps d'acquisition choisi est suffisant pour obtenir une vitesse moyenne considérée exacte, c'est-à-dire en faisant une erreur inférieure à l'incertitude de mesure de 0,05 m/s avec un intervalle de confiance à 95 %.

Il est également montré que, d'après les résultats issus du laboratoire PIMENT, le protocole permet la répétabilité de la mesure mais que la reproductibilité avec des opérateurs différents et entre les deux laboratoires n'est pas encore pleinement satisfaisante. Sur ce dernier point, il faudra de nouveaux essais pour comprendre la raison de ces différences.

Des essais complémentaires permettant de confirmer ou de préciser certaines de ces conclusions pourraient être nécessaires. Par exemple, une série d'essais réalisés par le laboratoire PIMENT montrent une dissymétrie. Des essais supplémentaires seront nécessaires afin de comprendre l'origine de cette dissymétrie qui pourrait s'expliquer par un certain nombre de modifications comparé aux séries précédentes (changement d'opérateur, nouvelle calibration des anémomètres, conditions climatiques). Il faudrait également étudier l'impact d'autres fréquences d'échantillonnage sur la durée de mesure nécessaire pour obtenir l'exactitude souhaitée.

La plupart des conclusions de cette étude a été tiré à partir des essais réalisés au sein du Laboratoire PIMENT. En effet, l'exactitude de mesure, la méthode d'échantillonnage et le test de répétabilité par exemple n'ont pas pu être étudié sur les résultats des essais d'Eiffel par manque de données.

Le protocole défini ici sera appliqué sur un panel d'une dizaine de brasseurs entre 100 et 160 cm dans le but d'établir les premiers éléments de la base de données BRASSE, ce qui permettra de vérifier s'il est généralisable à l'ensemble des brasseurs dans cette gamme de dimensions.

Cet article a donc permis de confirmer, d'ajuster et d'infirmer les éléments liés à la partie mesure du protocole d'essais en laboratoire du projet BRASSE. Pour finaliser le protocole, il est désormais nécessaire de valider la partie analyse des résultats et détermination des indicateurs de confort et de performances. Ceci est l'objet de la partie 2 : détermination des indicateurs de confort et de performances.

Bibliographie :

[1] Santamouris M. (2016) Cooling the buildings – past, present and future, Energy and Buildings, vol. 128, p. 617-638

[2] Santamouris M., Cartalis C., Synnefa A. (2015) On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review, Energy and Buildings, vol. 98, p. 119-124

[3] Bamdad K., Cholette M. E., Omrani S., Bell J. (2021) Future energy-optimised buildings — Addressing the impact of climate change on buildings, Energy and Buildings, vol. 231, p. 110610

[4] Bamdad K., Cholette M. E., Guan L. (2017) Ant colony algorithm for building energy optimisation problems and comparison with benchmark algorithms, Energy and Buildings, vol. 154, p. 404-414

[5] Bamdad K., Cholette M. E., Guan L. (2018) Building energy optimisation under uncertainty using ACOMV algorithm, Energy and Buildings, vol. 167, p. 322-333

[6] Yang B., Wang F. (2018) Supplementary opinions on alternative cooling technologies in hot climate, International Journal of Biometeorology, vol. 62, p. 1927-1928

[7] Sadripour S., Mollamahdi M., Sheikhzadeh G. A. (2017) Providing thermal comfort and saving energy inside the buildings using a ceiling fan in heating systems, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, vol. 39, p. 4219-4230

[8] Mihara K., Sekhar C., Takemasa Y. (2019) Thermal comfort and energy performance of a dedicated outdoor air system with ceiling fans in hot and humid climate, Energy and Buildings, vol. 203, p. 109-118

[9] He Y., Chen W., Wang Z., Zhang H. (2019) Review of fan-use rates in field studies and their effects on thermal comfort, energy conservation, and human productivity, Energy and Buildings, vol. 194, p. 140-162

[10] Litvine D., De Laage R., Hoarau S. (2022) Analyse de l'acceptabilité et des conditions de déploiement des brasseurs d'air : Une étude qualitative de l'offre et de la demande. Tache 4 du Projet BRASSE – Pour le compte de l'ADEME

[11] Le Berigot T, Bœuf F, Ossakowsky P, David M, Garde F, Litvine D, De Laage R, Vasquez C (2021) Rapport d'avancement du projet BRASSE : Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques. 32 pages.

[12] Hunter Industrie II, Product specification sheet,
https://cdn.shopify.com/s/files/1/0542/0698/8471/files/24545_Industrie_II.pdf?v=1618334700

[13] Hunter Industrie II, Fiche technique,
https://www.construction21.org/france/data/sources/users/1438/annexe-7---fiche-brasseur-dair.pdf

[14] Anémomètre SensoAnemo 5100 LSF, fiche technique,
http://www.sensor-electronic.pl/pdf/MAN_AirDistSys5000.pdf

[15] Gueux L, Travaux sur les méthodes de mesures des performances des brasseurs d'air dans le cadre du projet BRASSE, rapport de stage d'ingénieur au Laboratoire PIMENT, ENSI Poitiers.

[16] Anémomètre télescopique à boule chaude Testo 0635 1051, fiche technique,
https://static-int.testo.com/media/4a/93/e679058284a3/testo-Sondes-climatiques-cble-fixe-Mode-d'emploi.pdf

[17] ASHRAE Standard 55 (2020), Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

[18] Tachymètre CTA, Kimo instruments, fiche technique
https://www.testoon.com/Fichier/A/FICHIER_LIE_A_55173.pdf

[19] Tachymètre PCE-DT-65, PCE-instruments, fiche technique
https://www.pce-instruments.com/french/api/getartfile?_fnr=948573&_dsp=inline

[20] Station météo Testo 174H, Fiche technique,
https://static-int.testo.com/media/c2/71/81a18d3b30d1/Doc-174H-200982-3823.pdf

[21] Station météo Excelvan, Fiche technique,
https://fr.aliexpress.com/i/32986031206.html

[22] Chen W., Liu S., Gao Y., Zhang H., Arens E., Zhao L., Liu J. (2017) Experimental and numerical investigations of indoor air movement distribution with an office ceiling fan, Building and Environment, vol. 130, p. 14-26.

[23] Gao Y., Zhang H., Arens E., Present E., Ning B., Zhai Y., Pantelic J., Luo M., Zhao L., Raftery P., Liu S. (2017) Ceiling fan air speeds around desks and office partitions, Building and Environment, vol. 124, p. 412-440.

[24] Liu S., Lipczynska A., Schiavon S., Arens E. (2018) Detailed experimental investigation of air speed field induced by ceiling fans. Building and Environment, vol. 142, p. 342-360.

[25] Wang H., Zhang H., Hu X., Luo M., Wang G., Li X., Zhu Y. (2019) Measurement of airflow pattern induced by ceiling fan with quad-view colour sequence particle streak velocimetry, Building and Environment, vol. 152, p. 122-134.

[26] Raftery P., Fizer J., Chen W., He Y., Zhang H., Arens E., Schiavon S., Paliaga G. (2019) Ceiling fans: Predicting indoor air speeds based on full scale laboratory measurements, Building and Environment, vol. 155, p. 210-223.

[27] Raftery P., Brager G., Graham L. (2019) Ceiling Fans in Commercial Buildings: In Situ Airspeeds & Practitioner Experience. Building and Environment, vol. 147, p. 241-257

[28] Zhai Y., Elsworth C., Zhang H., Arens E., Zhang Y., Zhao L. (2015) Using air movement for comfort during moderate exercise, Building and Environment, vol. 94, p. 344-352

[29] Luo M., Zhang H., Raftery P., Zhou L., Parkinson T., Arens E., He Y., Present E. (2021) Detailed measured air speed distribution in four commercial buildings with ceiling fans, Building and environment, 200, p. 107979

[30] Babich F., Cook M., Loveday D., Rawal R., Shukla Y. (2017), Transient three-dimensional CFD modelling of ceiling fans, Building and Environment, vol. 123, p. 37-49

[31] Faria L.C.d., Romero M.d.A., Porras-Amores C., Pirró L.F.d.S., Saez P.V. (2022) Prediction of the impact of air speed produced by a mechanical fan and operative temperature on the thermal sensation, Buildings, vol. 12, p. 101

[32] Momoi, Y., Sagara K., Yamanaka T., Kotani H., Kuise M. (2005) Modeling of ceiling fan based on velocity measurement for CFD simulation of airflow in large room, Journal of environmental engineering, vol. 595, p 41-48

[33] Big Ass Fans, Fan distance guidelines,
https://tbcsupply.com/wp-content/uploads/2022/06/Fan-Distance-Guidelines.pdf

[34] Energy Star, Ceiling fan Basics,
https://www.energystar.gov/products/lighting_fans/ceiling_fans/ceiling_fan_basics

[35] Blanchard B. (2019) Mise au point d'un banc d'essais pour la caractérisation des brasseurs d'air, rapport d'étude EDF-ADEME n° Aé - 19-123, Eiffel Aérodynamique.

[36] Gandemer J. (2018) Etude méthodologique de qualification aéraulique des Brasseurs d'Air dans leur contexte d'utilisation-Caractérisation et critères d'efficacités aérodynamiques, rapport d'étude EDF-ADEME n° Aé - 19-123, Eiffel Aérodynamique.

[37] Raftery P., Douglass-Jaimes D. (2020), Ceiling Fan Design Guide, First Edition, CBE Berkeley.

[38] NF EN CEI 60335-2-80 (2002), Appareils électrodomestiques et analogues – Sécurité – Partie 2-80 : Règles particulières pour les ventilateurs

[39] ASHRAE. Performance Measurement Protocols for Commercial Buildings. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Atlanta (2012)

[40] ASHRAE Standard 216 (2020), Methods of test for determining application data of overhead circulator fans

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIETE ET D'EFFICACITE

BRASSE
BRASSEUR D'AIR :
UNE SOLUTION
DE SOBRIÉTÉ
ET D'EFFICACITÉ

Etude 3 – Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers

Rapport 3.2 – Indicateurs de performance des brasseurs

RAPPORT FINAL

FAITS & CHIFFRES

surya CONSULTANTS

UR | LAB PIMENT

Sept. 2023

BRASSE
Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité

Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques

Les brasseurs d'air en plafond permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement de locaux. Ils sont par conséquent une solution permettant de **s'adapter au changement climatique**. Mais ces équipements sont peu préconisés par les équipes de conception de bâtiment. D'un point de vue technique, cela est dû à un **manque de connaissance** sur ces équipements, leurs **performances** et leur **effet sur la qualité des ambiances intérieures**. Cela pourrait également être dû à des **raisons socio-économiques** non encore identifiées.

Ces constats ont fait naître le programme de recherche : BRASSE[1].

Ce projet de recherche vise principalement à **enrichir** le secteur du bâtiment de connaissances sur ces équipements, de développer des **méthodes** et outils d'aide à l'intégration et à **diffuser** cette connaissance.

Les axes de recherche :

- Performances des brasseurs
- Effets sur la qualité des ambiances intérieures
- Outil d'aide à la conception
- Identification des freins sociologiques
- Diffusion des connaissances

Les ambitions du projet sont :

- Réaliser un important **retour d'expérience** à travers 4 approches :
    1. Retour d'expérience technique préliminaire
    2. Analyse en sciences sociales
    3. Mesure sur site pour la validation de la méthodologie
    4. POE
- Établir un **protocole standardisé** de détermination des performances des brasseurs d'air présents sur le marché et **approfondir l'étude** de brasseurs d'air.
- Définir une **méthode** permettant de proposer une **conception de locaux équipés** de plusieurs brasseurs d'air (calepinage) prenant en compte les principaux paramètres : thermiques, acoustiques et aérauliques.
- **Comprendre le rapport des utilisateurs et des professionnels** aux brasseurs d'air quels que soient leurs profils, le climat ou le territoire dans lequel ils évoluent.
- **Diffuser l'information** pour faire monter en compétence l'ensemble de la filière bâtiment sur ces sujets.

Ce programme de recherche rassemble six entités regroupant des compétences pluridisciplinaires :

- **Surya consultants :** bureau d'études, recherches et développement/ Thermique – énergie – environnement – modélisation (pilote du projet)
- **LASA :** laboratoire privé en acoustique
- **ISEA :** cabinet de recherche et de conseil en sciences sociales – spécialisé en analyse et intervention comportementale
- **Laboratoire PIMENT – Université publique de la Réunion :** Génie de l'Habitat et génie thermique
- **Laboratoire Eiffel aérodynamique, filiale du groupe CSTB :** aérodynamique - expérimentation
- **EnvirobatBDM :** centre de ressources et démarche bâtiments durables méditerranéens – retour d'expérience

Le programme BRASSE est lauréat de l'appel à projets de recherche **Bâtiments responsables 2020** géré par l'Ademe.

[1] BRasseur d'Air : une Solution de Sobriété et d'Efficacité

CITATION DE CE RAPPORT

LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., DAVID M., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers - Indicateurs de performance des brasseurs - Projet BRASSE

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de convention : 2004C0018

Appel à projets de recherche Vers des Bâtiments Responsables à l'horizon 2020"

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Pierre-Erwan LE MAREC (Surya Consultants), Tangi LE BERIGOT (Surya Consultants), Frédéric BŒUF (Surya Consultants) et Mathieu DAVID (Laboratoire PIMENT)

Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline

Direction/Service : DVTD/SB

EVALUATION DE L'IMPACT DES BRASSEURS D'AIR SUR LE CONFORT DES USAGERS

PARTIE 2 : DETERMINATION DES INDICATEURS DE CONFORT ET DE PERFORMANCES

Pierre-Erwan LE MAREC[1], Tangi LE BERIGOT[1], Frédéric BŒUF [1], Mathieu DAVID[2]

[1]*Surya Consultants, France,*

[2]*Laboratoire PIMENT, Université de la Réunion, France,*

Mots clés : brasseur d'air, vitesse d'air, essais, protocole

Cet article s'inscrit dans le programme de recherche « BRASSE : Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques. ». Projet lauréat de l'appel à projets de recherche Bâtiments responsables 2020 géré par l'ADEME.

1. Introduction

La consommation d'énergie liée au refroidissement des bâtiments augmente plus rapidement que par le passé et cette tendance devrait se poursuivre jusqu'à la fin du XXIe siècle [1]. À l'heure actuelle, la consommation d'énergie pour le refroidissement peut atteindre jusqu'à 9,3 % de la consommation mondiale totale d'énergie dans les bâtiments commerciaux [1] et pourrait être intensifiée en raison des problèmes de réchauffement de la planète [2, 3]. Bien que différentes stratégies d'économie d'énergie soient utilisées dans le bâtiment pour réduire cette demande de refroidissement, elles peuvent être coûteuses et/ou complexes [4, 5]. Par conséquent, l'utilisation d'une solution simple et abordable et la modification des paradigmes actuels de traitement de l'ambiance thermique dans les bâtiments modernes peuvent être suggérées comme urgentes.

Le brasseur d'air est un dispositif mécanique à faible consommation d'énergie qui peut être une solution d'amélioration de confort thermique appropriée répondant à l'ensemble des enjeux actuels [6]. Il n'a pas pour objectif, à l'inverse du climatiseur beaucoup plus énergivore, de refroidir et de maintenir la température d'ambiance. Il s'agit d'un dispositif de circulation d'air peu coûteux et pratique qui peut améliorer la sensation thermique des occupants en faisant circuler l'air dans une zone intérieure [7, 8].

S'il existe de nombreux avantages potentiels à l'application des brasseurs d'air, leur taux de pénétration sur le marché est encore limité ce qui est dû au manque d'informations concises sur les impacts des brasseurs d'air et les méthodologies d'évaluation des impacts [9, 10].

Le but du protocole BRASSE est de caractériser les performances des brasseurs d'air commerciaux dans leur configuration standard (celle recommandée par les fabricants) afin de les comparer en termes d'impact sur le confort des usagers et d'efficacité énergétique. L'ambition du projet BRASSE est de développer le bon usage du brasseur d'air dans le secteur du bâtiment comme adaptation frugale aux changements climatiques. Il convient ici de rappeler que le projet BRASSE n'a pas vocation à proposer des solutions d'optimisation de conception des brasseurs pour les fabricants et que ces objectifs techniques sont de définir :

- des indicateurs de performance orientés confort (thermique et acoustique) ;
- des indicateurs physiques permettant une bonne prise en compte des brasseurs en conception ;
- un protocole de mesures en laboratoire permettant d'obtenir ces indicateurs ;
- des règles de calepinage pour les utilisateurs (bureaux d'étude, etc.).

Le présent article ne traitera pas le confort acoustique et se limitera au confort thermique.

La sensation de confort thermique induite par le brasseur d'air étant liée à la vitesse d'air générée par le brasseur, nous avons étudié dans la première partie de cette étude [14] le protocole de mesure de vitesse d'air en laboratoire dans sa version 0 et nous avons évalué la qualité métrologique des essais (exactitude, répétabilité et reproductibilité). Cette partie de l'étude a permis de faire évoluer la partie « prise de mesure » du protocole.

Dans cette seconde partie, les mesures de vitesses d'air issues de la précédente étude sont analysées afin de vérifier que le protocole fourni toutes les informations requises pour la **détermination des indicateurs de confort et de performances** choisis pour le projet BRASSE.

Nous distinguons deux types différents d'indicateurs : les indicateurs de conception et les indicateurs de performances.

Un indicateur de conception est un indicateur ayant pour vocation à être utilisé dans la démarche de conception de bâtiments ou d'aménagement d'espaces intérieurs par des bureaux d'études de façon à décrire et simuler l'impact d'un brasseur d'air sur le confort thermique.

En phase de conception, il est possible de prendre en compte l'impact d'un brasseur d'air de deux façons. La première consiste à modéliser les flux d'air induits par l'usage du brasseur à l'aide de la CFD. Cette approche permet une conception au plus juste des besoins et donc de s'assurer de vitesses d'air perçues sur l'ensemble de l'espace considéré. En revanche, cet outil nécessite des compétences et des outils conséquents et ne correspond pas à la réalité de la majorité des projets de conception. La seconde façon de prendre en compte un brasseur d'air est d'intégrer l'impact du brasseur dans l'évaluation du confort réalisée sur tout projet ayant une ambition sur cette thématique. Pour répondre à cette ambition, une simulation thermique dynamique (STD) est réalisée. Celle-ci consiste à réaliser un modèle du bâtiment étudié en considérant l'ensemble de ses contraintes internes (compositions de parois, charges thermiques, etc.) et externes (météorologie extérieure, masque proche, etc.) et d'étudier en régime transitoire l'évolution de ses variables d'état. Il existe deux axes de recherche pour prendre en compte l'impact d'un brasseur d'air en STD : soit intégrer la physique du phénomène induit dans le modèle mathématique, soit le prendre en compte en considérant son impact en post-traitement. Deux les deux cas, ici aussi, c'est la vitesse d'air qui permettra d'évaluer l'impact du brasseur d'air sur le confort thermique.

Il sera donc étudié dans cette étude **un seul indicateur de conception : la vitesse d'air**.

Un indicateur de performance devra quant à lui permettre d'effectuer une comparaison de différents modèles de brasseurs permettant d'aider un acheteur/prescripteur (qu'il soit professionnel ou particulier) à orienter son choix. Le sondage BRASSE [11] a permis d'identifier quatre indicateurs qu'il serait pertinent de faire apparaitre sur **une étiquette performance à apposer sur les brasseurs** : une surface d'influence du brasseur, un indicateur de confort thermique, un indicateur d'efficacité énergétique et un indicateur de confort acoustique (qui est détaillé dans le rapport 2 du projet BRASSE). En se basant sur une description physique des phénomènes induits par le brasseur, notre étude a donc été conduite de façon à obtenir des indicateurs se rapprochant autant que possible des besoins exprimés lors du sondage. Les indicateurs que nous allons décrire dans cette étude seront donc :

- une **surface maximale de brassage efficace** exprimant la surface maximale de l'espace dans lequel le brasseur peut être utilisé pour générer un mouvement d'air garantissant une amélioration significative du confort thermique de l'occupant.
- un **indicateur d'amélioration du confort thermique** exprimant l'effet de rafraichissement induit par le brasseur.
- un **indicateur d'efficacité énergétique** rapportant l'amélioration du confort thermique à la consommation énergétique.

Le premier objectif de cet article est d'analyser les vitesses d'air obtenues en laboratoire et d'ajuster, si possible, le protocole de mesure en ayant pour objectif de limiter le nombre de points de mesure au strict nécessaire. Le second objectif est de définir de manière précise les indicateurs de conception et de performance en les illustrant à l'aide des données des essais en laboratoire.

2. Aspects théoriques préliminaires

2.1 Description de l'écoulement d'air induit par un brasseur soufflant vers le bas

La figure 1 décrit la nature de l'écoulement d'air créé par un brasseur soufflant vers le bas en distinguant les différentes zones suivantes [12, 13] :

- **La zone d'influence directe** : zone de courant descendant sous le brasseur. Cette zone est caractérisée par les vitesses les plus élevées (pouvant être supérieures à 1 m/s) et un écoulement très turbulent.
- **La zone de diffusion au sol :** situé au niveau du sol sur une hauteur d'environ 50 cm, elle est caractérisée par un flux radial avec des vitesses allant de 0,5 à 1 m/s et un niveau de turbulence moins élevé qu'en zone d'influence directe.
- **La zone de remontée murale :** située le long des murs sur une épaisseur d'environ 20 cm, elle correspond à la zone d'écoulement d'air ascendant à des vitesses de l'ordre de 0,5 m/s.
- **Les zones d'impact :** situées au niveau du sol sous le brasseur et en périphérie de la pièce, elles correspondent aux zones d'écoulement laminaire à faibles vitesses d'air où l'écoulement en zone d'influence directe rencontre le sol et où l'écoulement en zone de diffusion rencontre les murs.
- **La zone d'aspiration :** située au-dessus du niveau des pales du brasseur, elle correspond à la zone ou l'écoulement est radial et dirigé vers le centre du brasseur à des vitesse de l'ordre de 0,5 à 1 m/s.
- **La zone morte** : située au-dessus du centre du brasseur, cette zone est caractérisée par des vitesses d'air très faibles.
- **La zone d'influence par entrainement** : située entre toutes les zones précédemment décrites, il s'agit d'une zone de faibles vitesses induites par les écoulements dans les zones voisines. La vitesse dans cette zone dépend à la fois de la vitesse dans les autres zones et des distances qui les séparent, c'est-à-dire de la largeur entre la zone d'influence directe et la zone de remontée murale et de la hauteur entre la zone de diffusion au sol et la zone d'aspiration au plafond.

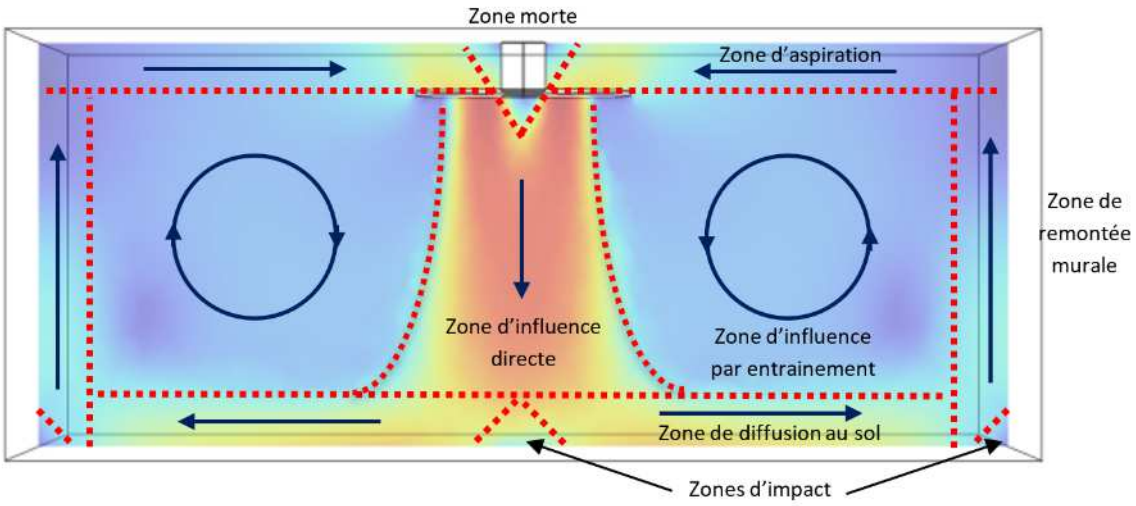


Figure 1 : Schéma de l'écoulement d'air induit par un brasseur d'air soufflant vers le bas

Afin de définir les vitesses servant d'indicateurs de confort en conception, il est nécessaire de simplifier la description de l'écoulement. Dans le cadre de cette étude, nous ne conserverons que deux zones, **la zone d'influence directe et la zone d'influence par entrainement**, telles qu'elles sont représentées sur la figure 2.

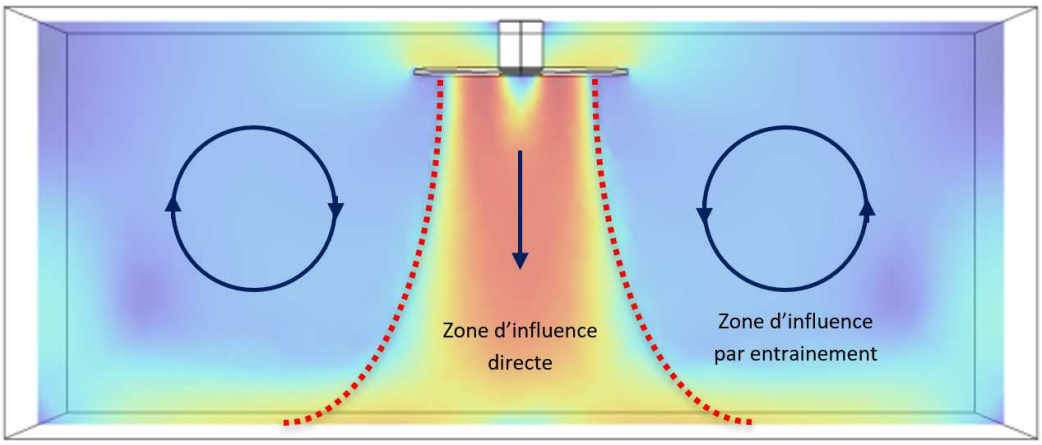


Figure 2 : Schéma de l'écoulement réduit à deux zones dans le cas d'un brasseur soufflant vers le bas

Les vitesses d'air mesurées selon le protocole BRASSE établi dans la première partie de cette étude vont donc devoir être analysées de façon à obtenir la vitesse moyenne dans chacune de ces zones. Pour cela, il faudra déterminer la limite entre les deux zones, appelée **rayon d'influence directe** et qui dépend de la hauteur, comme le montre la figure 2. Ce point sera traité en section 4.2.

Afin de s'affranchir de cette dépendance à la hauteur, les mesures de vitesses d'air réalisées à différentes hauteurs devront donc être préalablement pondérés en chaque position de mesure ce qui induira donc une simplification supplémentaire du schéma d'écoulement, présentée en figure 3. Ce point sera traité en section 4.3.

Ces deux étapes préliminaires accomplies, les vitesses moyennes en chaque position pourront être pondérées par rapport à la portion de surface auxquelles elles se rapportent afin d'obtenir la vitesse moyenne dans chaque zone, utilisable en conception pour définir le confort thermique. Ce point sera traité en section 4.4.

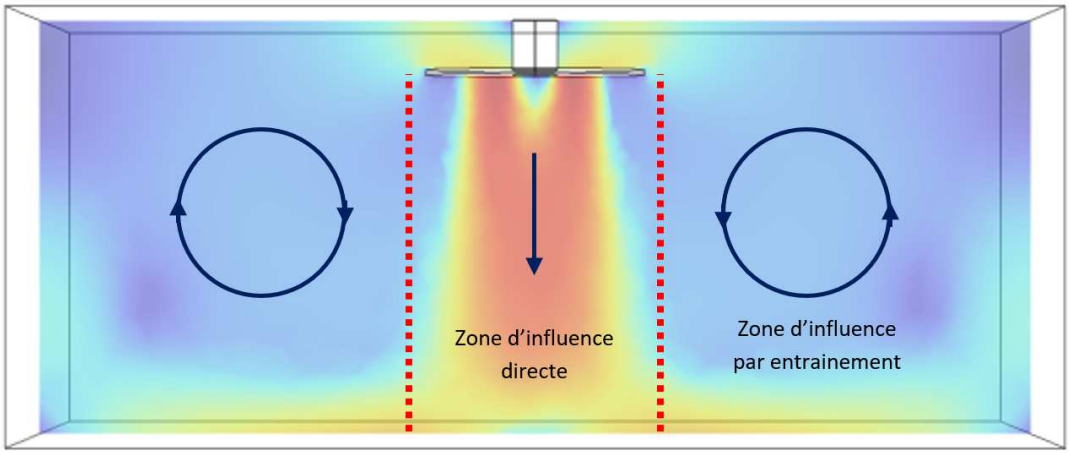


Figure 3 : Schéma de l'écoulement réduit à 2 zones et pondéré par la hauteur dans le cas d'un brasseur soufflant vers le bas

2.2 Modélisation de la vitesse en zone d'entrainement selon les dimensions de la pièce

Selon l'étude de l'écoulement proposée précédemment, et contrairement à l'idée communément répandue, la « surface de confort » d'un brasseur ne peut pas être définie par une limite jusqu'à laquelle l'effet du brasseur serait ressenti car la vitesse d'air en zone d'entrainement est constante quelle que soit la distance à laquelle on se situe par rapport au brasseur. Il n'existe donc pas physiquement de limite à l'intérieur de la zone d'entrainement entre une zone qui serait rafraichie et une autre qui ne le serait pas. Seuls les deux cas peuvent se produire :

- Soit la vitesse en zone d'entrainement est suffisante et l'ensemble de la zone est « confortable »
- Soit la vitesse en zone d'entrainement est insuffisante et cette zone n'est « confortable » en aucun point.

Pour un brasseur donné, tournant à une vitesse de rotation donnée, et si on ne fait pas varier la hauteur sous plafond, la vitesse de l'air en zone d'entrainement varie essentiellement en fonction de la distance entre le brasseur et les murs. Ce seront donc les dimensions de la pièce qui imposeront la vitesse en zone d'entrainement et si cette zone est « confortable ».

Dans leur étude à grande échelle sur 78 configurations différentes [14], Raftery et al. montrent que la vitesse de l'air dans la zone d'entrainement varie proportionnellement au rapport D/X (où D est le diamètre du brasseur et X la distance entre le centre du brasseur et les murs). N'ayant pas à notre disposition de chambres de mesures de différentes tailles, nous n'avons pas eu la possibilité de confirmer ou d'infirmer cette relation à cette étape du projet. L'étude des mesures in situ et les simulations numériques par CFD prévues dans d'autres tâches du projet BRASSE ont pour objectif d'apporter davantage d'éléments permettant de discuter sur ce point.

La vitesse moyenne en zone d'entrainement dans une pièce de dimension quelconque peut ainsi être déterminée à partir de la vitesse obtenue dans la chambre de mesure en utilisant la relation suivante :

$$v_{moy,ent,X} = \frac{D}{X}\left(\frac{v_{moy,ent,chambre}}{\frac{D}{X_{chambre}}}\right) = \frac{X_{chambre}}{X} \times v_{moy,ent,chambre}$$

Où $v_{moy,ent,X}$ est la vitesse en zone d'entrainement avec une distance X entre le centre du brasseur et le mur, D est le diamètre du brasseur et $v_{moy,ent,chambre}$ est la vitesse moyenne en zone d'entrainement dans la chambre de mesure de distance $X_{chambre}$ entre le brasseur et le mur. La figure 4 présente les variations de la vitesse d'air moyenne en zone d'entrainement en fonction de la dimension de la pièce pour différentes vitesses d'air moyenne en zone d'entrainement déterminées dans la chambre de mesure.

Cette approche permettrait donc de traiter aussi bien les pièces non carrées ou les pièces dans lesquelles le brasseur n'est pas centré en définissant plusieurs zones d'entrainement ayant des vitesses différentes. Le cas de brasseurs multiples pourrait également être pris en compte en définissant des « cellules » avec une limite à définir entre deux brasseurs. Ces cas particuliers sont également abordés dans les autres tâches du projet BRASSE relatives aux règles de calepinage des brasseurs.

Dans cette étude, nous proposons d'utiliser ce modèle pour définir l'indicateur de surface maximale de brassage comme la surface permettant d'obtenir une valeur minimale de vitesse d'air permettant d'assurer un effet rafraichissant sensible. Ce point sera traité en section 5.1.

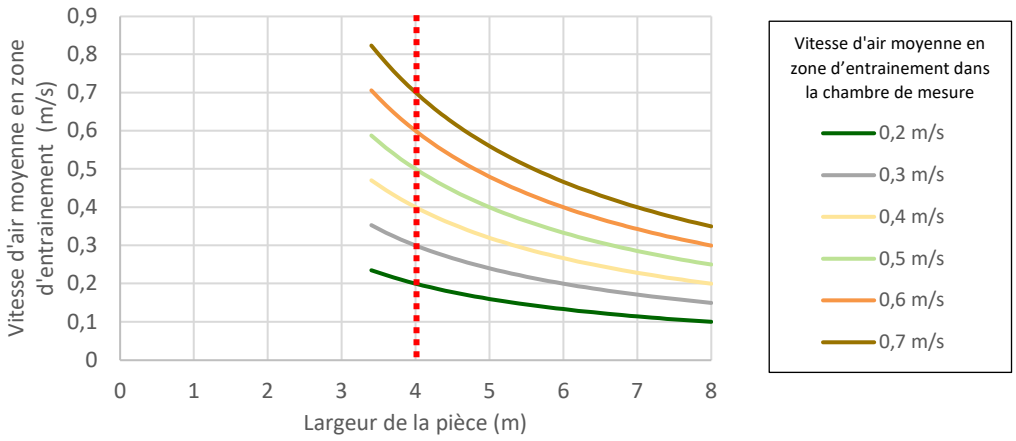


Figure 4 : Vitesses d'air moyenne en zone d'entrainement en fonction de la dimension de la pièce pour différentes vitesses d'air mesurées dans la chambre de mesure de 4 m x 4 m

2.3 Notion d'effet rafraichissant induit par la vitesse d'air

L'indicateur permettant de caractériser l'amélioration du confort thermique apportée par le brasseur doit traduire l'abaissement de la température ressentie en présence de vitesse d'air : c'est ce que l'on appelle l'effet rafraichissant. Il est nécessaire de réaliser un bilan thermique du corps humain pour le déterminer.

2.3.1 Influence de la vitesse d'air sur le bilan thermique humain

Le bilan thermique du corps humain [15] traduit l'équilibre qui doit se produire entre la variation d'énergie interne du corps humain et la puissance interne produite par le métabolisme et les flux échangés avec l'environnement (Φ_{ech}) :

$$m_b C_{p_b} \frac{dT_{bm}}{dt} = M_{tot} + \Phi_{ech}$$

Où mb est la masse du corps humain (kg), cpb est sa capacité thermique massique ($J.kg^{-1}.°C^{-1}$) et T_{bm} est la température moyenne du corps humain (°C), Mtot est la puissance interne produite par le métabolisme (W) et Φ_{ech} est la somme des flux échangés avec l'extérieur (W).

Il est considéré que le confort thermique ne peut être atteint qu'à neutralité thermo-physique, c'est-à-dire si l'astreinte thermique S du corps tend vers 0 (i.e. le corps est proche de l'équilibre thermique avec peu de réactions de thermorégulation) :

$$S = M_{tot} + \Phi_{ech} \rightarrow 0$$

Les flux échangés avec l'extérieur sont de différentes natures (figure 5) et on peut les exprimer ainsi :

$$\Phi_{ech} = W + \Phi_{resp} + \Phi_{evap} + \Phi_{conv} + \Phi_{rayIR} + \Phi_{raySol} + \Phi_{cond}$$

Où W est le travail externe, Φ_{resp} est le flux échangé par la respiration, Φ_{evap} est le flux échangé par évaporation, Φ_{conv} est le flux d'échange convectif, Φ_{rayIR} est le flux échangé par rayonnement de chaleur, Φ_{RaySo}l est le flux apporté par le rayonnement solaire et Φ_{cond} est le flux échangé par conduction. Ces flux s'expriment en watt.

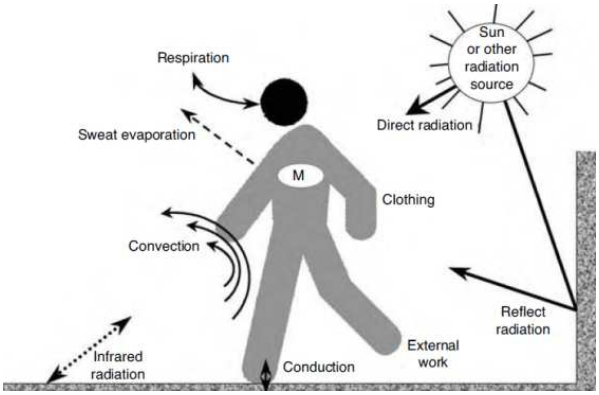


Figure 5 : Flux échangés avec l'extérieur par le corps humain [16]

La vitesse d'air a un impact sur deux de ces flux d'échanges : **le flux convectif et le flux évaporatif**. L'augmentation de la vitesse entrainant une augmentation de ces flux d'échanges, l'astreinte thermique du corps humain diminue, ce qui se traduit par une baisse de la température ressentie : c'est **l'effet rafraichissant.**

Afin de déterminer l'effet rafraichissant dû à la vitesse de l'air induite par un brasseur, il est nécessaire d'étudier séparément les parts de cet effet liées aux flux d'échange par convection et par évaporation.

La détermination de la part de cet effet rafraichissant lié au flux convectif se base sur la détermination d'une température de l'air équivalente $T_{air\ eq}$ sans brasseur (i.e. en considérant une vitesse de l'air V_{still} due à la seule convection naturelle) à la température de l'air mis en mouvement par le brasseur (i.e. à la vitesse d'air V_{air} imposant un échange en convection forcée due à la rotation du brasseur). Pour cela, il est supposé que le flux d'échange convectif à la température équivalente $\Phi_{conv\ eq\ still}$ est égal au flux d'échange convectif à la température de l'air en présence du brasseur $\Phi_{conv\ air}$:

$$\Phi_{conv\ eq\ still} = \Phi_{conv\ air}$$

L'expression de température de l'air équivalente $T_{air\ eq}$ obtenues à partir de cette égalité et ensuite intégrer à l'expression de la température opérative, ce qui permet d'obtenir **l'effet de rafraichissement convectif** [17] dû à la rotation des brasseurs, noté CE_{conv} (pour convective cooling effect) :

$$CE_{conv} = \frac{h_{c\ still}}{h_{c\ still} + h_r}\left[(T_{cl} - T_{air})\left(\left(\frac{v_{air}}{v_{still}}\right)^n - 1\right)\right]$$

Où $h_{c\ still}$ est le coefficient d'échange convectif sans brasseur, h_r est le coefficient d'échange radiatif, T_{cl} est la température de la surface d'échange entre le corps humain et l'ambiance (ici, on considère un corps habillé, l'indice cl signifiant clothed en anglais), T_{air} est la température de l'air, v_{air} est la vitesse d'air induite par le brasseur, v_{still} est la vitesse d'air quand le brasseur est à l'arrêt et n est l'indice de loi puissance traduisant l'effet de la vitesse d'air sur le coefficient de convection forcée ($h_{c,for} = K_{for} {v_{air}}^n$).

L'obtention de ce CE_{conv} est basée sur une approche physique générale et se traduit par une expression analytique ne nécessitant pas l'utilisation d'un code de calcul.

Il est à noter que cet effet de rafraichissement deviendra un « effet d'échauffement » si la température de l'air devient supérieure à la température vestimentaire. Pourtant, dans ce cas, le brasseur permettra tout de même d'améliorer le confort du fait de l'effet évaporatif qui deviendra prépondérant sur l'effet convectif.

La prise en compte de l'effet évaporatif est donc essentielle mais ne peut pas se faire avec la même méthode puisqu'il n'existe pas de solution analytique permettant d'exprimer la température équivalente à partir de l'expression couplant les effets convectif et évaporatif :

$$\Phi_{conv\ eq\ \ still} + \Phi_{evap\ eq\ \ still} = \Phi_{conv\ air} + \Phi_{evap\ air}$$

Par la suite, on obtient une expression de $T_{air\ eq}$ de la forme a*exp(-b/T) + T + c = 0 dont les solutions ne peuvent être trouvées que par des méthodes numériques (dichotomie par exemple), il faut donc utiliser un outil spécifique comme celui développé par le CBE de Berkeley [18] et intégré à la norme ASHRAE 55 [19] pour pouvoir exprimer le couplage entre les deux effets. Ce sera donc ce dernier qui sera utilisé dans la suite de cette étude.

2.3.2 Définition de l'effet rafraichissant selon la norme ASHRAE 55

Pour définir l'effet rafraichissant au sens la norme ASHRAE 55, il est d'abord nécessaire de définir la température effective standardisée (SET). Il s'agit d'un indicateur de confort développé par A.P Gagge [20] basé sur un bilan de flux de chaleur entre le corps humain et son environnement qui intègre les facteurs humains (activité et vêture) et qui prend en compte la réponse physiologique du corps humain à son environnement en décrivant les température et mouillure cutanées. Il correspond à une sensation thermique donnée dans des conditions de vêture et d'activité standardisées.

Depuis 2010, la norme ASHRAE 55 [19] définit l'effet rafraichissant (CE pour Cooling Effect) à vitesse d'air supérieure à 0,2 m/s (limite de perception de la vitesse d'air) comme la valeur qui, soustraite à la température d'air et la température moyenne radiative, conduit à la même valeur de température effective standardisée (SET) à air immobile (0,1 m/s) que la SET déterminée à la vitesse d'air mesurée :

$$SET(T_{air}, T_{mrt}, v_{air}, MET, clo, RH) = SET(T_{air} - CE, T_{mrt} - CE, v_{air} = 0{,}1, MET, clo, RH)$$

Où T_{air} est la température de l'air, T_{mrt} est la température moyenne radiative, v_{air} est la vitesse de l'air, MET est le métabolisme, Clo est le coefficient d'isolation vestimentaire et RH est l'humidité relative.
Le métabolisme est un paramètre qui dépend de l'activité de l'usager et le coefficient d'isolation vestimentaire est un paramètre qui dépend de sa vêture. Ici, les valeurs de coefficient d'isolation vestimentaire ont été choisies à 0,5 clo pour une tenue estivale (pantalon léger et chemise à manches courtes) et 1 clo pour une tenue hivernale (pantalon, chemise à manches longues et veste). Les valeurs de métabolisme ont été fixées à 1,2 met pour une personne travaillant (de façon active) assise à un bureau et à 1,4 met pour une personne travaillant debout (activité légère). Les températures T_{air} et T_{mrt} étant habituellement très proche l'une de l'autre (écart moyen de l'ordre 0,4 °C) [21], ces deux températures seront considérées égales dans la suite de cette étude.

La figure 6 montre les variations de l'effet rafraichissant CE dans différentes conditions d'ambiance, d'activité et de vêture :

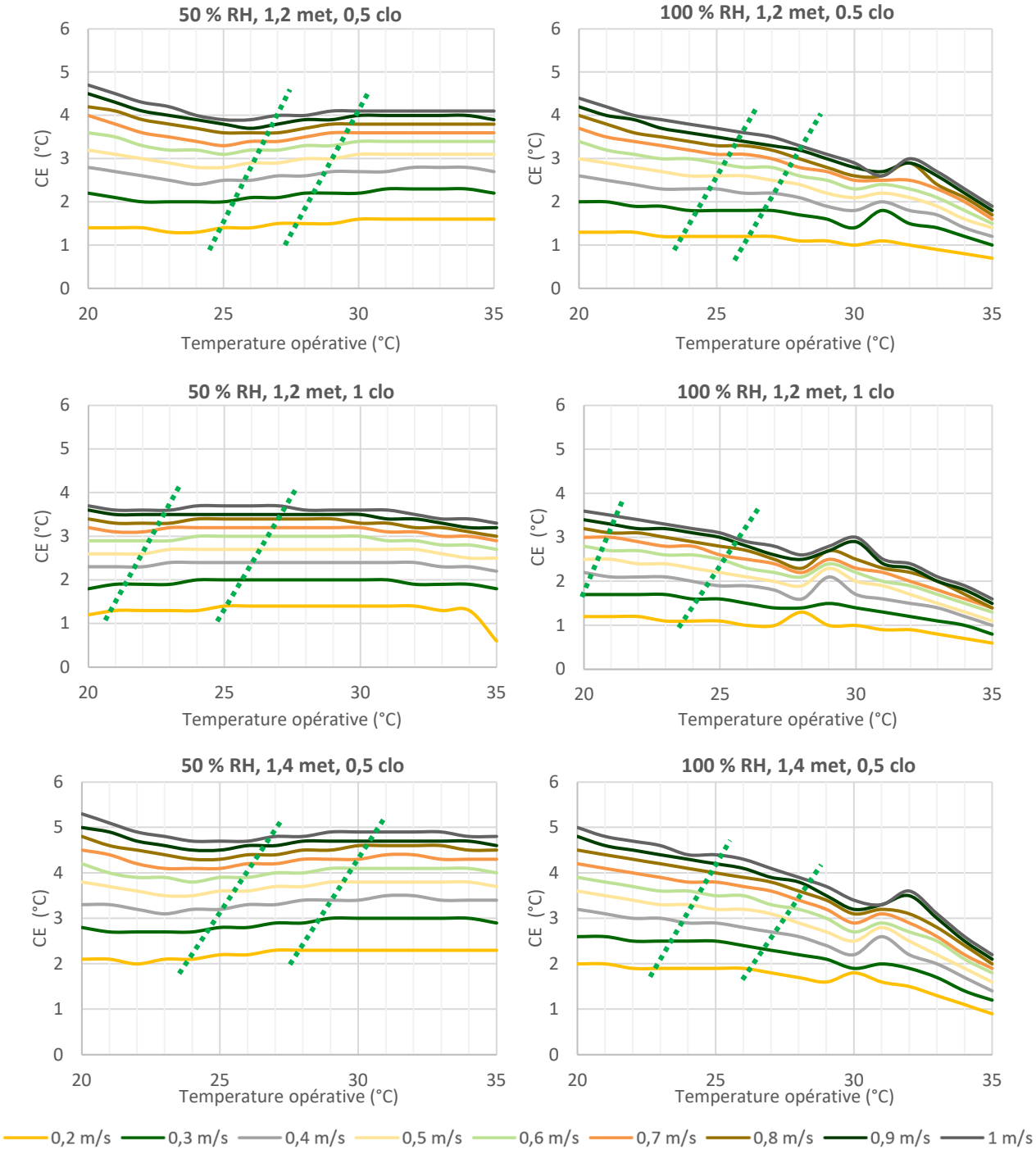


Figure 6 : Variation de l'effet rafraichissant en fonction des paramètres d'ambiance, de vêture et d'activité.
Les pointillées verts représentent les limites des zones de confort obtenus avec la méthode PMV (cf section 2.3.3)

On constate, à l'aide de la figure 6, que l'augmentation du taux d'humidité relative n'affecte l'effet rafraichissant que pour les températures supérieures à 25 °C. En dessous de cette température, seul l'échange convectif est influencé par la vitesse d'air et l'effet rafraichissant diminue quand la température augmente. En effet, à ces températures, le débit sudoral est très limité et l'échange évaporatif est donc quasiment nul. A partir de 25 °C, lorsque l'humidité relative est faible, l'échange évaporatif va augmenter et compenser la baisse de l'échange convectif, conduisant à un effet rafraichissant qui ne varie plus quand la température augmente. A contrario, lorsque que le taux d'humidité relative est élevé, l'échange évaporatif reste limité malgré l'apparition de sueur sur la peau et l'effet rafraichissant continue de diminuer. On observe toutefois un « sursaut » de l'effet rafraichissant lorsque la température opérative approche la température de la surface du corps habillé, ce qui provoque une réaction thermo-physiologique

conduisant à une augmentation sensible de la température cutanée et entrainant par suite une augmentation simultanée de l'échange évaporatif et de l'échange convectif.

On constate par ailleurs que le passage d'une vêture hivernale à une vêture estivale augmente l'effet rafraichissant (entre 0 et 0,5 °C de rafraichissement supplémentaire), ce qui s'explique par un échange plus important aussi bien par convection que par évaporation quand la peau est moins isolée de l'ambiance. Le passage d'une activité assise à une activité debout permet également d'augmenter l'effet rafraichissant car l'augmentation du métabolisme conduit à une augmentation de la température cutanée et donc à une augmentation des flux convectifs et évaporatifs.

La norme ASHRAE 216 [22], dont l'objet est de caractériser les performances d'un brasseur d'air, utilise le CE en se rapportant à sa définition par la norme ASHRAE 55. Il est toutefois précisé qu'il doit être calculé à l'aide de la régression logarithmique suivante :

$$CE = 1{,}53 \ln v_{air} + 3{,}444$$

Ce qui correspond approximativement aux conditions suivantes : T_{op} = 28 °C, RH = 50 %, M = 1,1 met (assis, calme) et I_{cl} = 0,5 clo (tenue estivale typique).

2.3.3 Prise en compte de l'impact de la vitesse d'air dans les modèles de confort thermique

Les trois principales méthodes de confort thermique pouvant prendre en compte la vitesse induite par les brasseurs sont :

- **Le PMV (Predicted Mean Vote) :** indice de sensation thermique variant de -3 (froid) à 3 (chaud) avec la neutralité thermique obtenue pour une valeur de 0. Les normes NF EN 16798-1 [23] et ASHRAE 55 stipule que la zone de confort thermique se situe entre -0,5 et +0,5. Cet indicateur a été développé en 1972 par P.O Fanger [24] en se basant sur le bilan thermique du corps humain et sur des relations empiriques permettant de déterminer certains paramètres.
- **La démarche adaptative :** dans cette méthode, également présente dans les normes EN 16798 et ASHRAE 55, une limite d'inconfort chaud est déterminée par rapport à une température neutre définie en fonction de la température extérieure moyenne sur un certain nombre de jours précédant le jour considéré.
- **Les zones de confort dites de Givoni :** dans cette méthode, quatre zones de confort correspondant à des vitesses d'air de 0 à 1,5 m/s sont représentées sur un diagramme psychrométrique et l'on vérifie si les conditions d'ambiance étudiées se situe dans ces zones ou non. Les limites de ces zones sont définies à partir de l'indicateur ITS (Index of Thermal Stress) introduit par Givoni en 1963 [25, 26]. Cet indicateur vérifie par un bilan thermique que le débit sudoral est suffisant pour que le refroidissement évaporatif compense les apports de chaleur. Les limites d'inconfort sont fixées à un débit sudoral de 50 g/h ou à une mouillure cutanée de 6 % en accord avec la littérature [27, 28]. Il est donc possible de recalculer les limites de ces zones pour s'adapter aux conditions particulières à étudier, mais, à notre connaissance, cela ne se fait pas en pratique et ce sont toujours les mêmes zones qui sont utilisées.

L'impact de la vitesse d'air sur le confort thermique va dépendre de la méthode utilisée :

2.3.3.1 PMV :

Dans la **norme ASHRAE 55**, depuis sa version de 2010, l'effet rafraichissant est utilisé pour déterminer un PMV corrigé en considérant les températures ajustées après soustraction de la valeur de CE et un air immobile, ce qui permet l'élargissement de la plage d'utilisation historique du PMV en incluant les vitesses supérieures à 0,2 m/s. Il est précisé que le confort ne peut pas être atteint pour les vitesses d'air supérieure à 0,8 m/s si les occupants n'ont pas le contrôle du dispositif générant la vitesse d'air. Les figures 6 (cf section 2.3.2) montre les limites d'inconfort obtenues à l'aide de cette méthode. On observe que :

- L'augmentation de la vitesse d'air de 0,2 m/s à 1 m/s a pour effet d'augmenter la limite d'inconfort chaud d'environ 3 °C quelle que soient les conditions (la limite d'inconfort froid étant affectée de la même variation) ;
- L'augmentation de l'humidité relative de 50 % à 100% a pour effet d'abaisser la limite d'inconfort chaud d'environ 1 °C (la limite d'inconfort froid étant affectée de la même variation) ;
- L'augmentation de la vêture de 0,5 clo à 1 clo a pour effet d'abaisser la limite d'inconfort chaud d'environ 2 °C (la limite d'inconfort froid étant abaissée d'environ 4°C) ;
- L'augmentation de l'activité de 1,2 met à 1,4 met a pour effet d'augmenter la limite d'inconfort chaud d'environ 0,5 °C (la limite d'inconfort froid étant diminuée d'environ 1°C).

La figure 7 montre la représentation des zones de confort obtenues grâce à l'outil en ligne du CBE Berkeley [29] avec cette méthode sur un diagramme psychrométrique :

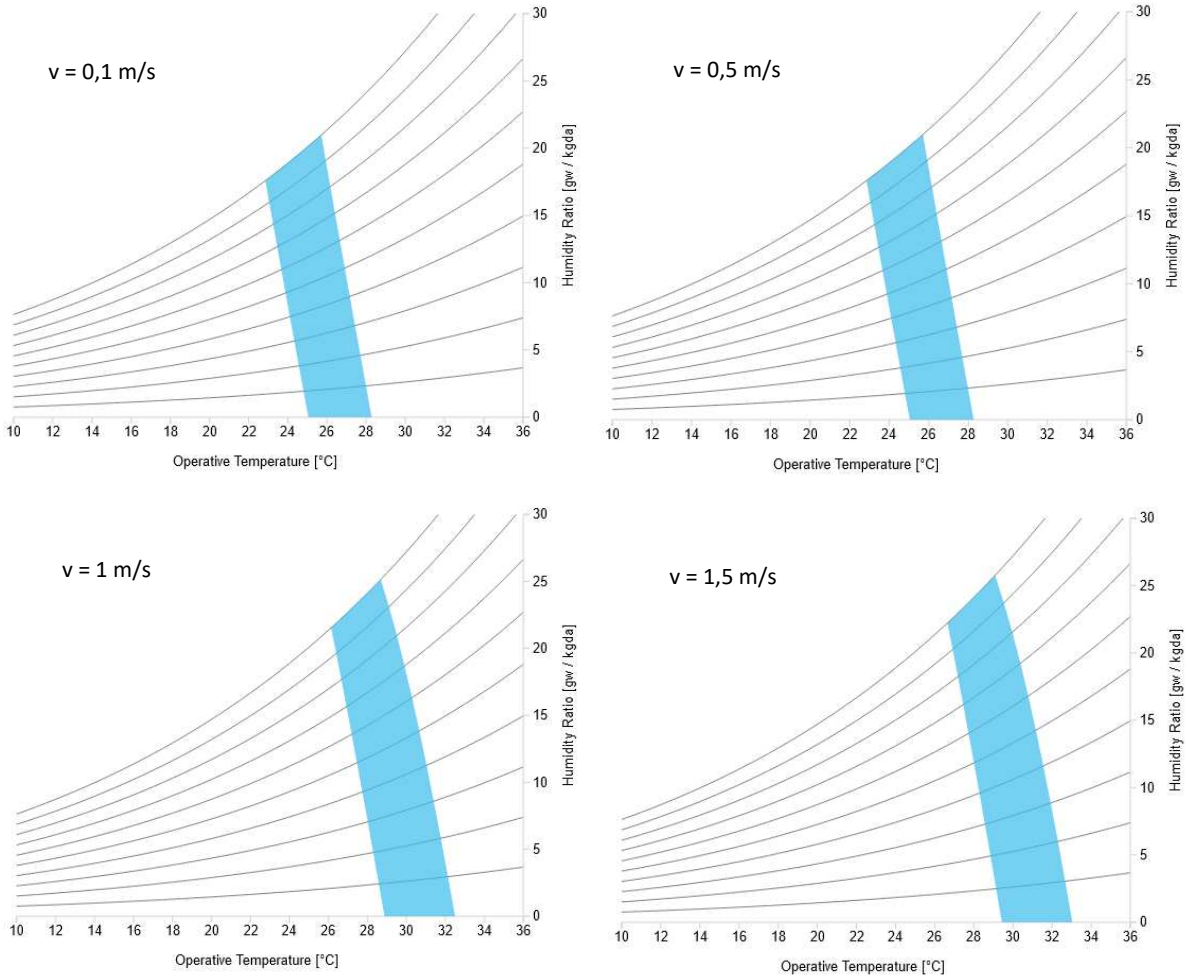


Figure 7 : Zone de confort obtenues à différentes vitesses d'air selon la méthode PMV de la norme ASHRAE 55 (met = 1,1 et clo = 0,5) (images générées à l'aide de l'outil en ligne CBE Comfort Tool développé par le CBE Berkeley [29])

Dans la **norme EN 16798**, le PMV n'est pas affecté par l'effet rafraichissant, il n'est donc pas possible d'évaluer le confort thermique en présence d'une vitesse d'air supérieure à 0,2 m/s.

2.3.3.2 Démarche adaptative :

Dans les **normes ASHRAE 55 et EN 16798**, la température neutre peut être augmentée par des valeurs dépendant de la vitesse d'air (voir tableau 2) uniquement si cette vitesse d'air est sous le contrôle des occupants.

Tableau 1 : Correction de la température neutre en présence de vitesse d'air dans la norme EN 16798

$\mathbf{V_{air}}$	0,6 m/s	0,9 m/s	1,2 m/s
$\mathbf{\Delta T_{neutre}}$	1,2 °C	1,8 °C	2,2 °C

Dans l'ancienne **norme EN 15251** [30] (remplacé en 2019 par la norme EN 16798), un modèle simplifié d'effet rafraichissant, développé en 1970 par Humphreys [31], donne l'augmentation de la température neutre en se basant sur un bilan thermique simplifié :

$$\Delta T_{neutre} = 7 - \frac{50}{4 + 10\sqrt{v_{air}}}$$

Il est précisé que pour pouvoir utiliser cet incrément, l'utilisateur doit avoir le contrôle du dispositif générant la vitesse d'air.

Dans la **RE2020** [32], un ajustement logarithmique a été déterminé pour augmenter la limite d'inconfort chaud en présence de brasseurs d'air :

$$\Delta T_{inc-chaud} = 1{,}8322\, e^{0{,}0361\,(T_{mrt}-T_{air})}\, \ln v_{air} + 3{,}0498\, e^{0{,}0368\,(T_{mrt}-T_{air})}$$

Aucune limitation de cet incrément n'est imposée par le système de gestion des brasseurs (manuelle ou auto)

2.3.3.3 Zones de confort de Givoni :

Les zones de confort de Givoni ne sont intégrées à aucune norme nationale ou internationale. Il nous semble important de préciser que ces zones ont été initialement développé par Givoni pour orienter les choix de conception architecturaux et non pour vérifier l'obtention d'une situation de confort et c'est dans sa version originelle que l'outil est répandu à travers le monde (Figure 8). L'usage de ces zones comme outil d'évaluation du confort est un outil qui utilisé de façon courante dans les bureaux d'études français mais qui, à notre connaissance, ne s'est pas répandu à l'échelle internationale.

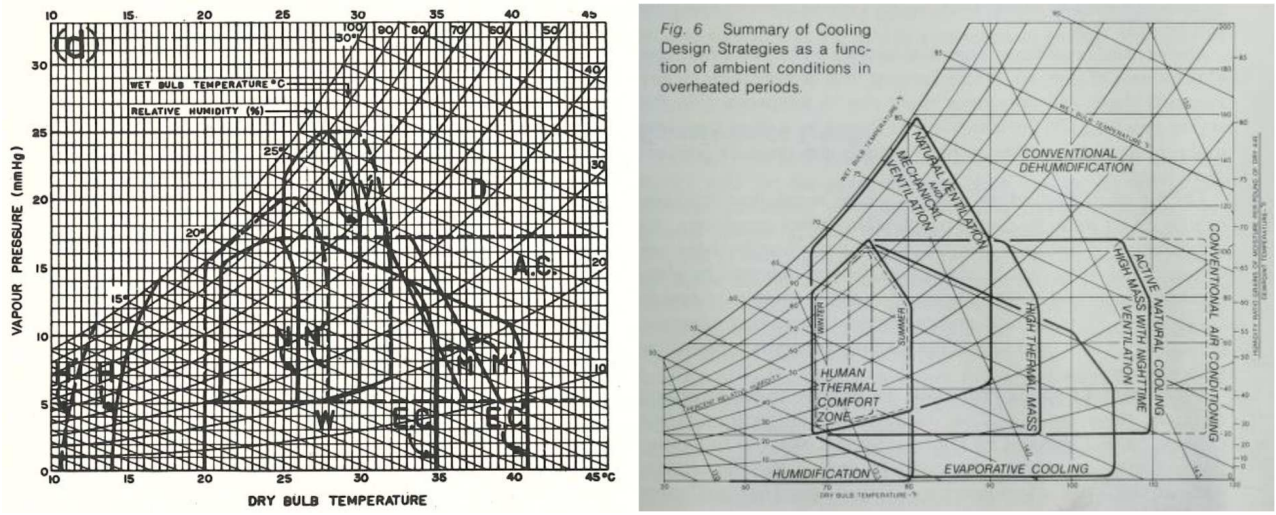


Figure 8 : Diagramme Bioclimatique du Batiment :
(a) version originelle de Baruch Givoni (1968) [26] et (b) seconde version proposée par Milne et Givoni (1978) [33]

Si la méthode développée par Givoni permet en théorie de définir la zone de confort sur un diagramme psychrométrique pour des conditions données de vitesse d'air, de métabolisme, de vêture et d'irradiation solaire, elle n'est pas utilisée de cette manière par les bureaux d'études, la méthode consistant à vérifier si les conditions d'ambiances se trouve dans les zones de confort obtenues pour un métabolisme de 100 kcal/h (1,1 met) et une tenue d'été légère (supposée proche de 0,5 clo) et pour des vitesse d'air de 0 m/s, 0,5 m/s, 1 m/s et 1,5 m/s (Figure 9).

Le calcul de l'indicateur ITS et l'application des limites d'inconfort proposées originellement par Givoni ne permettent pas de retrouver exactement les limites des zones utilisées habituellement. Les zones calculées à partir du modèle historique de Givoni sont présentées à titre indicatif sur la figure 9. La zone à 0 m/s n'est pas calculable avec l'indicateur ITS puisqu'il ne peut prendre en compte que des vitesses supérieures à 0,1 m/s, c'est donc cette vitesse que nous avons utilisée pour calculer la zone à « air immobile ». Par ailleurs, Givoni considérant que le confort peut être obtenu pour des vitesses allant jusqu'à 2 m/s, nous avons également représenté cette vitesse. Malgré d'importants travaux de recherche bibliographique, les origines des zones utilisées actuellement n'ont pas encore pu être déterminées.

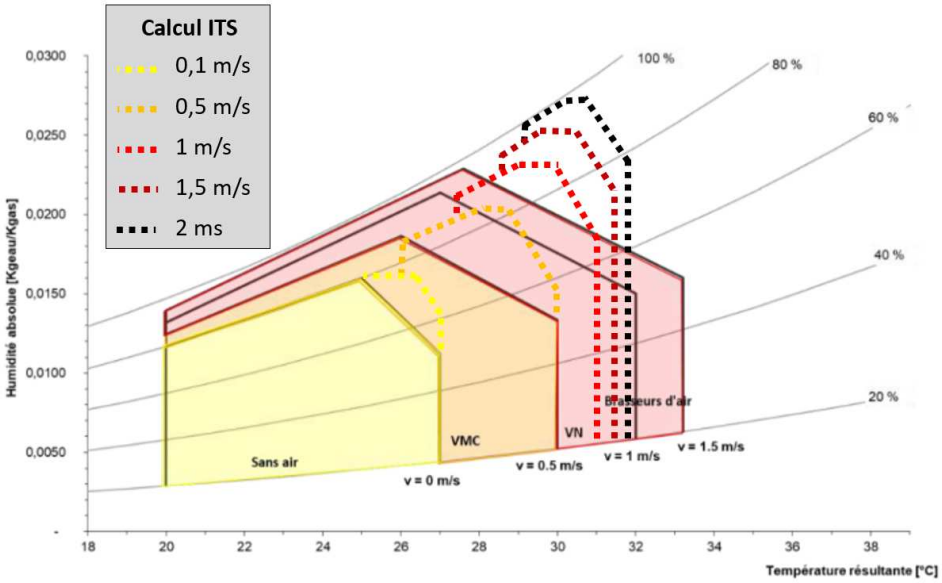


Figure 9 : Adaptation du diagramme bioclimatique du bâtiment de Givoni pour l'évaluation du confort en présence de vitesse d'air [34]. Les lignes pointillées représentent les zones calculées à partir du modèle historique développé par Givoni.

2.3.4 Synthèse des modèles existants pour traduire l'effet des vitesses élevées sur le confort thermique

La Figure 10 montre comment les différentes normes prennent en compte l'effet de la vitesse soit en intégrant un effet rafraichissant sur la température ressentie, soit en augmentant la température à laquelle l'inconfort commence à être ressenti. On constate que les deux modèles utilisés par les normes EN 15251 et ASHRAE 216 correspondent à l'effet rafraîchissant obtenu selon la norme ASHRAE 55 avec des conditions de 1,1 met et 0,5 clo. Le modèle proposé par la RE2020 considère que l'effet rafraîchissant est nul jusqu'à 0,2 m/s contrairement aux autres modèles qui considère que l'effet rafraichissant commence dès 0,1 m/s (ce qui correspond approximativement à la vitesse d'air de convection naturelle autour d'un corps humain). Il minimise donc l'effet rafraîchissant aux faibles vitesses qui sont pourtant celles rencontrées dans le cas des brasseurs. Le modèle incrémental proposé pour la démarche adaptative dans les normes EN 16798 et ASHRAE 55 donne une influence de la vitesse inférieure de 2°C aux autres modèles sur toute la gamme de vitesse d'air. Cette observation pourrait s'expliquer par le fait qu'une partie de l'effet rafraichissant est comprise dans la plage d'adaptabilité inhérente à cette méthode.

L'étude approfondie des différentes méthodes a permis de conclure que la seule méthode traduisant la globalité du phénomène physique et permettant de prendre en compte les effets couplés de la température, de l'humidité, de la vêture et du métabolisme est le « cooling effect » CE décrit par la norme ASHRAE 55. Ce sera donc cet indicateur que nous retiendrons par la suite comme indicateur de performance (cf section 5.2).

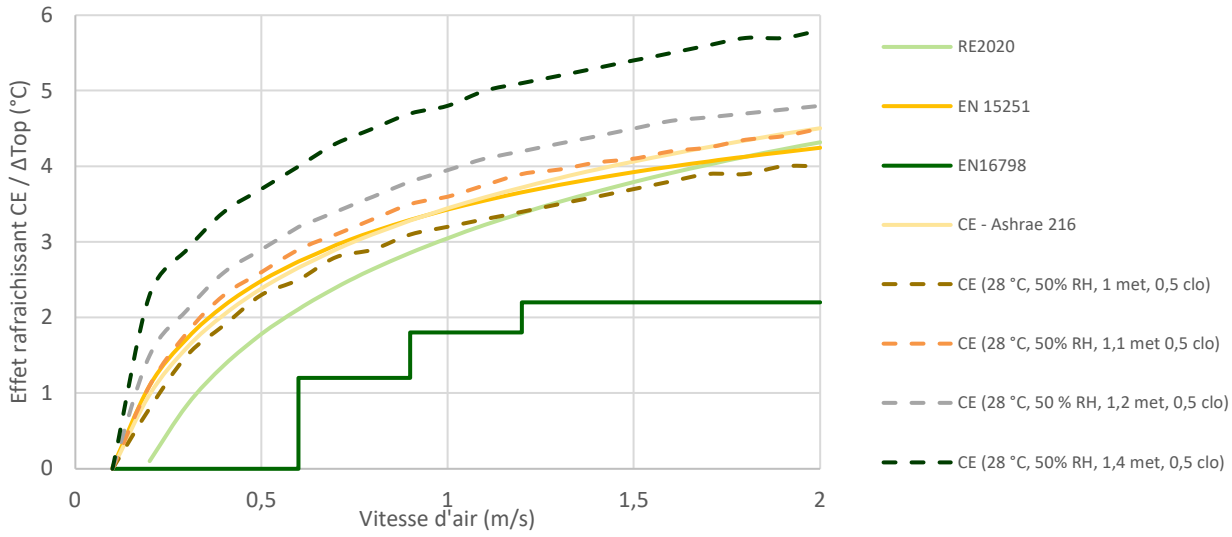


Figure 10 : Représentation graphique de la prise en compte de la vitesse d'air dans les différentes normes.

Au-delà de la détermination de l'effet rafraichissant, chaque méthode propose une manière d'évaluer les conforts induits par une vitesse d'air. La figure 11 présente une comparaison sur un diagramme psychrométrique des zones de confort obtenues à différentes vitesses d'air par différentes méthodes d'évaluation du confort. On constate que, malgré certaines différences, ces zones sont assez cohérentes entre elles pour des hypothèses d'entrée identiques. Il reviendra donc aux concepteurs de choisir la ou les méthodes qu'ils préfèrent tout en ayant conscience des conditions d'usage de chacune des méthodes.

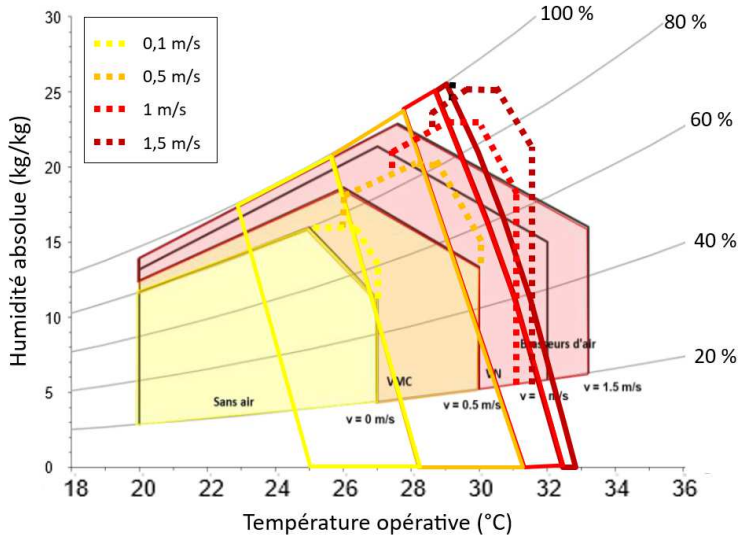


Figure 11 : Représentations des zones de confort à différentes vitesses obtenues selon les différentes méthodes :
Givoni « usuelle » (zone en couleur) – Givoni « originelle » (contours pointillés) – PMV selon ASHRAE 55 (contour pleins).
Les valeurs de métabolisme et de vêture utilisés sont respectivement de 1,1 met et 0,5 clo.

Quelle que soit la méthode utilisée par les bureaux d'études pour évaluer le niveau de confort dans un bâtiment, la donnée d'entrée nécessaire à traduire l'influence des brasseurs d'air est la vitesse d'air. Cette observation confirme donc le propos introductif de cette étude en justifiant la vitesse d'air comme unique indicateur de conception utile.

3. Matériel et méthodes

Cette partie intègre des rappels qui sont détaillés dans la partie 1.

3.1 Brasseur

Un seul modèle de brasseur (HUNTER Industrie II) a été utilisé. Les caractéristiques principales données par le constructeur sont regroupées dans le tableau 1. Afin de maitriser parfaitement la vitesse de rotation du brasseur, il a été décidé d'utiliser un potentiomètre plutôt que la commande normale des brasseurs. Deux vitesses sont étudiées : 80 tr/min et 150 tr/min ; ce qui correspond approximativement aux vitesses 1 et 3 de la commande du brasseur.

Tableau 2 : Caractéristiques du brasseur d'après les fiches techniques [35, 36]

Diamètre (cm)	132
Nombre de pales	3
Moteur	AC, 240 V, 50 Hz
Poids (kg)	7,1
Nombre de vitesses	3
Puissance électrique absorbée 1/2/3 (W)	16 / 39 / 65
Vitesse 1/2/3 (tr/min)	79 / 127 / 157
Débit 1/2/3 (m3/h)	5134 / 7524 / 8902
Efficacité 1/2/3 (m3/h/W)	321 / 191 / 139
Niveau de puissance acoustique 1/2/3 (dB(A))	26,3 / 32,8 / 39
Distance de montage au plafond (cm)	36
Diamètre du corps du brasseur (cm)	19

3.2 Mesures de vitesse d'air

Les mesures de vitesse d'air utilisées pour cette étude ont été réalisées au laboratoire PIMENT (La Réunion) dans une chambre de 4 m x 4 m x 2,5 m avec le brasseur fixé en son centre (hauteur sous les pales : 2,14 m) avec des anémomètres omnidirectionnels à boule chaude (SensoAnemo 5100LSF, Sensor Electronic, Pologne) reliés à une centrale d'acquisition (AirDistSys 5000, Sensor Electronic).

Les 14 anémomètres sont positionnés verticalement sur un banc horizontal avec un espacement de 10 cm entre chaque capteur. La mesure est effectuée selon trois axes faisant un angle de 120° les uns par rapport aux autres. Sur chaque axe, une première mesure est effectuée pour les distances par rapport au centre du brasseur allant de 0 à 180 cm.

La vitesse d'air est mesurée à une fréquence de 8 Hz. La valeur moyenne sur un intervalle de 10 s est enregistrée toutes les 2 s pendant les 3 min que dure l'essai. Après toute intervention d'un opérateur dans la chambre de mesure ou modification de la vitesse de rotation, un temps de stabilisation de 3 min a été respecté avant le démarrage de chaque mesure.

Les hauteurs de mesures par rapport au sol ont été fixées à 36 cm, 60 cm, 100 cm, 120 cm, 132 cm, 150 cm et 170 cm.

3.3 Mesures de la température ambiante et de l'humidité relative

A chaque essai, la température et l'humidité relative de l'ambiance sont relevés manuellement sur l'écran d'un enregistreur Testo 174H positionné dans l'enceinte de test. Ces enregistreurs annoncent une précision de ±0,5 °C sur la température, et de ±3 % sur l'humidité relative.

3.4 Mesure de la puissance absorbée

La mesure des données relative à la puissance électrique appelée par les brasseurs d'air se fait par lecture directe à l'aide d'un compteur d'énergie VOLTCRAFT Energy-Logger 4000 FR. Cet enregistreur permet aussi de stocker les indicateurs caractérisant la qualité du signal électrique fournit par le réseau (tension et fréquence notamment). Les principales caractéristiques du compteur d'énergie sont données dans le tableau 3 ci-après.

Tableau 3 : Principales caractéristiques du compteur d'énergie VOLTCRAFT Energy-Logger 4000 FR

Caractéristiques	Valeurs
Grandeurs mesurées	Consommation électrique, puissance active et apparente, facteur de puissance, tension nominale, intensité et fréquence
Plage de mesure de la consommation	De 0 à 999,9 kWh
Plage de mesure du courant	De 0,01 à 15 A
Plage de mesure de la puissance active	De 0,1 à 3500W
Tension de fonctionnement	230V (AC)
Précision	1%

4. Indicateur de conception : la vitesse d'air

4.1 Profils de vitesses d'air

Les essais en laboratoire réalisés dans le cadre de BRASSE permettent de définir des profils de vitesse d'air induits par un brasseur. Ces profils permettent de comprendre l'impact du brasseur sur les flux d'air d'un local. La figure 12 montre les profils de vitesse d'air moyenne en fonction de la distance au centre du brasseur à différentes hauteurs pour des vitesses de rotation de 80 tr/min et 150 tr/min obtenus dans la première partie de cette étude. On peut identifier clairement les deux zones de comportement de l'écoulement simplifié tel qu'il a été défini à la section 2.1 :

- Au centre sous le brasseur, la zone d'influence directe avec un pic de vitesse se situant approximativement aux deux tiers de la longueur des pales et qui s'élargie en se rapprochant du sol ;
- Autour de cette zone d'influence, la zone d'influence par entrainement où la vitesse est constante quelle que soit la position. On remarque que la vitesse à 36 cm est plus élevée qu'aux autres hauteurs puisqu'elle se situe dans la zone de diffusion au sol, mais cette distinction n'est pas retenue pour notre étude.

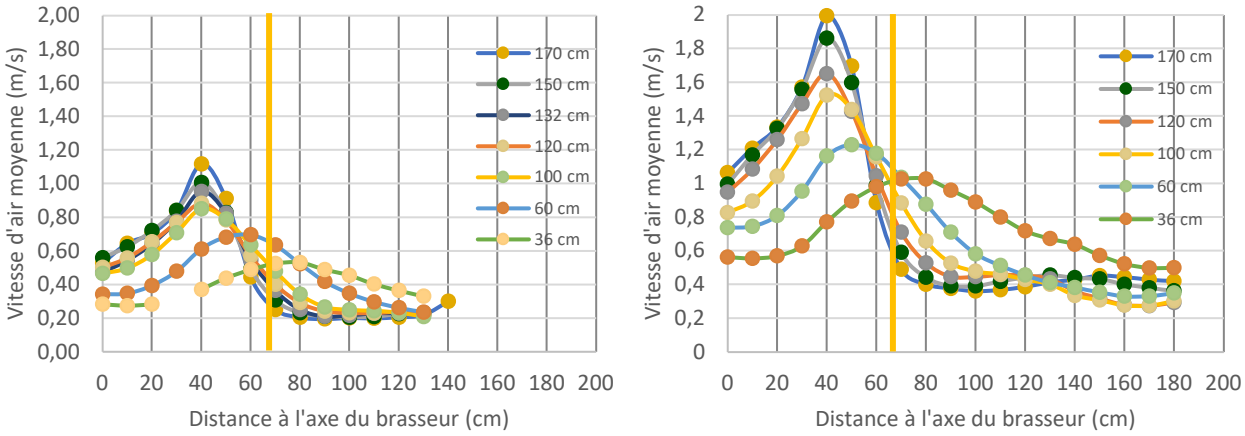


Figure 12 : Profils de vitesses d'air moyenne à différentes hauteurs par rapport au sol : (a) N = 80 tr/min et (b) N = 150 tr/min (la barre jaune correspond au rayon du brasseur)

La distinction des deux zones est essentielle puisqu'on observe deux comportements très différents. Leur bonne connaissance permettra de connaître la vitesse moyenne obtenue dans chacune des zones sans surestimation en zone de d'entrainement ni sous-estimation en zone directe. Leur usage lors du calepinage sera détaillé ultérieurement.

4.2 Détermination du rayon d'influence directe du brasseur

Afin de déterminer le rayon d'influence directe du brasseur, c'est-à-dire la limite entre la zone d'influence directe et la zone d'influence par entrainement, il faut un critère permettant de séparer les deux zones. Le changement de comportement apparait lorsque la variation de vitesse (ce n'est pas une accélération car c'est la variation en fonction de la distance) dans la portion décroissante après le pic de vitesse s'infléchit pour se stabiliser à sa valeur de palier. Le point d'inflexion de la variation de vitesse correspond au maximum de la dérivée seconde du profil de vitesse.

A titre d'exemple, la figure 13 montre le profil de vitesse mesurée à 170 cm de hauteur et une vitesse de rotation de 150 tr/min et la dérivée seconde calculée à partir de celui-ci. Les mesures de vitesse d'air étant réalisées avec un espacement de 10 cm entre les capteurs, la détermination du rayon d'influence directe ne peut être effectuée avec une résolution inférieure à ± 5 cm.

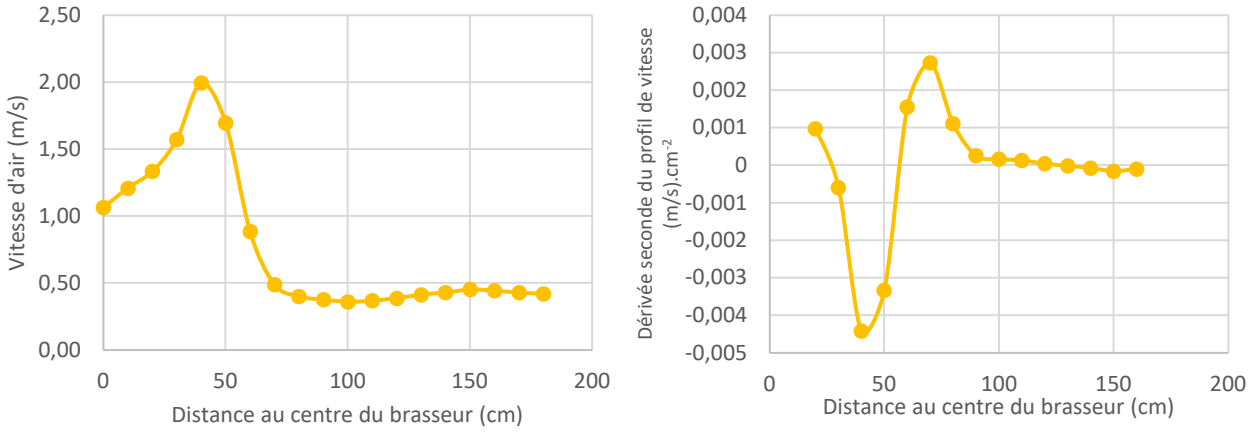


Figure 13 : (a) Profil de vitesse d'air moyenne et (b) sa dérivée seconde en fonction de la distance au centre du brasseur pour une hauteur de mesure de 170 cm au-dessus du sol et une vitesse de rotation de 150 tr/min

La figure 14 montre l'évolution du rayon d'influence directe du brasseur en fonction de la hauteur pour les deux vitesses de rotation étudiées. On observe que, pour les hauteurs de mesures qui sont supérieures à 1 m du sol, le rayon d'influence directe du brasseur ne dépend ni de la vitesse de rotation ni de la hauteur de mesure. Pour les hauteurs de mesures égales et inférieures, la zone d'influence commence à s'élargir et ce d'autant plus que la vitesse de rotation est élevée. Afin de s'affranchir de cette dépendance à la hauteur quand le flux d'air s'approche du sol, il est nécessaire de pondérer les différentes hauteurs entre elles pour ensuite être en mesure de déterminer un rayon d'influence direct moyen ne dépendant plus de la hauteur.

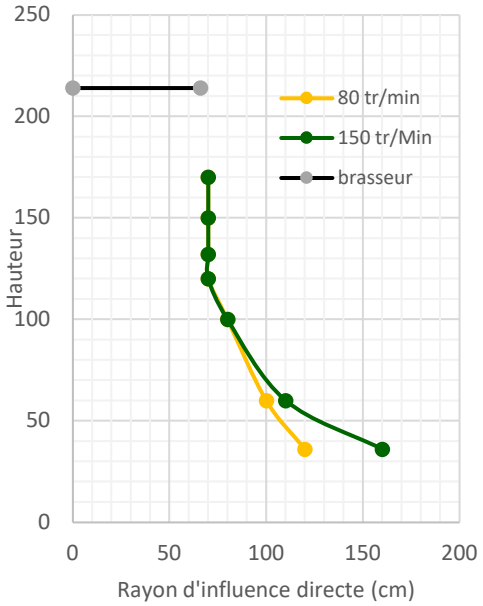


Figure 14 : Rayon d'influence directe aux différentes hauteurs

4.3 Vitesses d'air moyennes et rayons d'influence directe moyens selon la posture

Les normes ISO 7726 [37]et norme ASHRAE 55 [19] donne 4 hauteurs à respecter pour la mesure de vitesse d'air dans le but d'évaluer le confort thermique des occupants : 10 cm (cheville, en position debout et assise), 60 cm (ventre en position assise), 110 cm (ventre en position debout et tête en position assise) et 170 cm (tête en position debout).

Les vitesses d'air moyennes en position assise et en position debout peuvent être estimées en faisant la moyenne des vitesses d'air entre les trois hauteurs caractéristiques de chacune des positions :

- En position assise :

$$v_{air,moy,assis} = \frac{1}{3}(v_{0.1} + v_{0.6} + v_{1.1})$$

- En position debout :

$$v_{air,moy,debout} = \frac{1}{3}(v_{0.1} + v_{1.1} + v_{1.7})$$

En utilisant ces expressions, on peut déterminer les profils de vitesses moyens et les rayons d'influence directe moyens correspondant pour chacune des positions (figure 15). Les hauteurs à 10 cm et 110 cm n'ayant pas été mesurés dans la partie précédente de notre étude, nous utilisons ici les données obtenues à 36 cm pour la hauteur à 10 cm et une moyenne entre les mesures à 100 cm et 120 cm pour la hauteur à 110 cm. On constate que les rayons d'influence directe moyens ne dépendent plus que de la posture de l'usager.

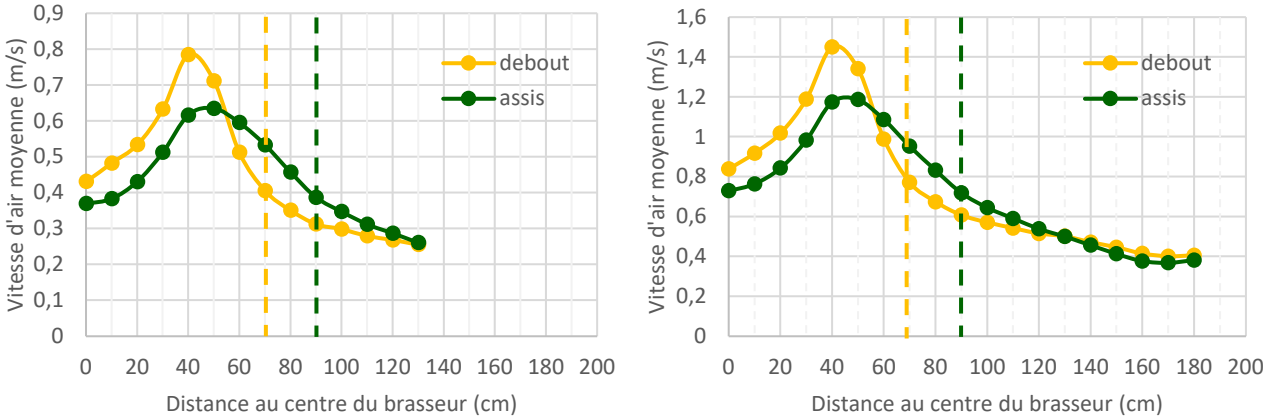


Figure 15 : Profils de vitesse moyen selon la position à (a) 80 tr/min et (b) 150 tr/min. Les lignes en pointillés représentent les rayons d'influence moyens.

4.4 Vitesses d'air moyennes dans les différentes zones

Les vitesses moyennes dans la zone d'influence directe et dans la zone d'entrainement sont définies comme la somme des vitesses mesurées à chaque position et en considérant un facteur de pondération calculé comme le rapport entre la surface de l'anneau concentrique situé autour du capteur considéré et la surface de l'ensemble des anneaux de chacune des zones (voir figure 16).

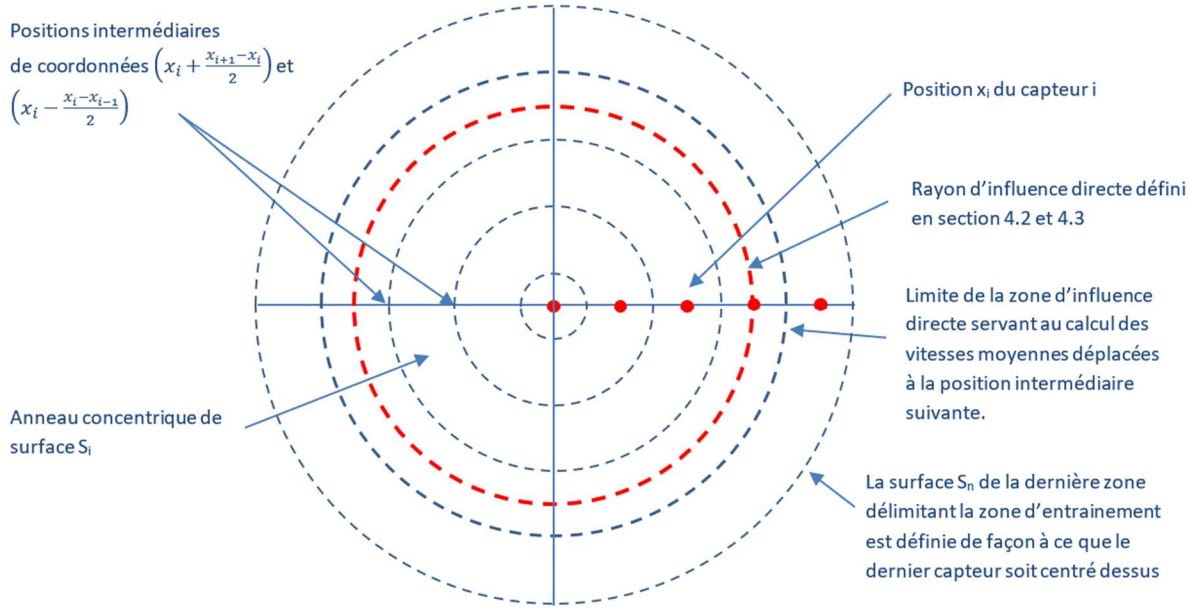


Figure 16 : Schématisation de la méthode de calcul des vitesses moyennes en zone d'influence direct et en zone d'entrainement

Leurs expressions sont données respectivement par :

$$v_{air,moy,dir} = \frac{1}{\pi\left(\frac{x_{influ}+x_{influ+1}}{2}\right)^2}\left[\pi\left(\frac{x_1}{2}\right)^2 v_{air,moy,0} + \sum_{i=1}^{i_{influ}} \pi\left[\left(x_i + \frac{x_{i+1}-x_i}{2}\right)^2 - \left(x_i - \frac{x_i - x_{i-1}}{2}\right)^2\right] v_{air,moy,i}\right]$$

$$= \frac{{x_1}^2}{\left(x_{influ}+x_{influ+1}\right)^2} v_{air,moy,0} + \sum_{i=1}^{i_{influ}} \left[\frac{(x_i+x_{i+1})^2 - (x_i+x_{i-1})^2}{\left(x_{influ}+x_{influ+1}\right)^2}\right] v_{air,moy,i}$$

$$v_{air,moy,entr} = \frac{1}{\pi\left[\left(x_n + \frac{x_n - x_{n-1}}{2}\right)^2 - \left(\frac{x_{influ}+x_{influ+1}}{2}\right)^2\right]}\left[\sum_{i=i_{influ}+1}^{n-1} \pi\left[\left(x_i + \frac{x_{i+1}-x_i}{2}\right)^2 - \left(x_i - \frac{x_i-x_{i-1}}{2}\right)^2\right] v_{air,moy,i} + \pi\left[\left(x_n + \frac{x_n - x_{n-1}}{2}\right)^2 - \left(x_n - \frac{x_n - x_{n-1}}{2}\right)^2\right] v_{air,moy,n}\right]$$

$$= \sum_{i=i_{influ}+1}^{n-1}\left[\frac{(x_i+x_{i+1})^2 - (x_i+x_{i-1})^2}{(3x_n - x_{n-1})^2 - \left(x_{influ}+x_{influ+1}\right)^2}\right] v_{air,moy_i} + \frac{(3x_n - x_{n-1})^2 - (x_n + x_{n-1})^2}{(3x_n - x_{n-1})^2 - \left(x_{influ}+x_{influ+1}\right)^2} v_{air,moy,n}$$

Où x_{influ} est le rayon de la zone d'influence directe du brasseur, x_i est la distance entre le centre du brasseur et le point de mesure i et $v_{air,moy,i}$ la vitesse d'air moyenne mesurée au point i.

La figure 17 donne les vitesses d'air moyennes calculées pour chaque hauteur en zone d'influence directe et en zone d'entrainement pour des vitesses de rotation de 80 tr/min et 150 tr/min. On constate que la vitesse d'air moyenne dans la zone d'entrainement est

plus élevée pour les hauteurs les plus proches du sol (H < 60 cm) et qu'elle reste constante pour les hauteurs supérieures à 1 m. Dans la zone d'influence directe du brasseur, la vitesse moyenne augmente avec la hauteur jusqu'à 120 cm puis devient constante pour les hauteurs plus élevées.

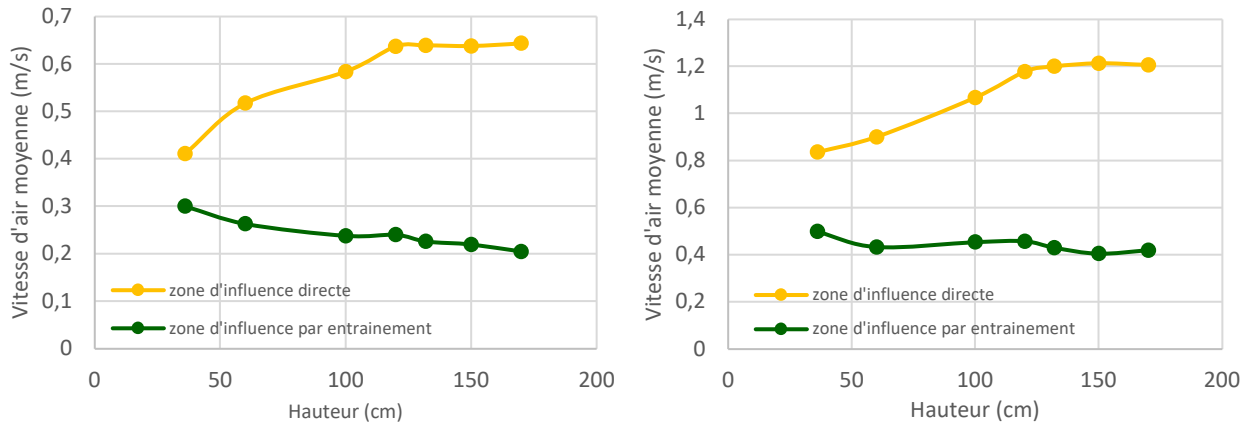


Figure 17 : Evolution de la vitesse d'air moyenne dans les différentes zones en fonction de la hauteur et à (a) 80 tr/min et (b) 150 tr/min

En utilisant la pondération des hauteurs qui a été présentée dans la partie précédente, le tableau 4 donne les valeurs de vitesse d'air moyenne pour chaque posture dans les deux zones à 80 et 150 tr/min :

Tableau 4 : Vitesses d'air moyennes dans chaque zone selon la posture et la vitesse de rotation

Zone	80 tr/min		150 tr/min	
	Assis	Debout	Assis	Debout
Influence directe	0,52 m/s	0,55 m/s	0,97 m/s	1,05 m/s
Influence par entrainement	0,25 m/s	0,27 m/s	0,46 m/s	0,46 m/s

Dans la zone d'influence directe, la vitesse d'air moyenne augmente avec la hauteur, la vitesse d'air moyenne en position debout est donc supérieure (de l'ordre de 10 %) à la vitesse d'air moyenne en position assise. La hauteur n'ayant que peu d'influence sur la vitesse d'air moyenne en zone d'entrainement, on observe également que la posture n'a pas d'effet significatif sur la vitesse d'air moyenne dans cette zone. On peut alors envisager une vitesse d'air moyenne en zone d'entrainement quelle que soit la posture comme la moyenne des vitesses obtenues pour les deux postures :

$$v_{air,moy,entr} = \frac{v_{air,moy,entr,debout} + v_{air,moy,entr,assis}}{2}$$

L'espacement des capteurs est un paramètre important influençant la précision de la valeur de la vitesse moyenne et du rayon d'influence. Ainsi des recommandations différentes sur l'espacement des capteurs seront émises suivant la zone étudiée :

- Dans la zone d'influence directe, les vitesses sont élevées et leurs variations importantes, il est alors nécessaire de diminuer l'espacement de capteur pour gagner en précision. Un espacement de 5 cm est pertinent et suffisant.
- A la limite entre la zone d'influence directe et la zone d'influence par entrainement, diminuer le pas de la mesure permet d'être plus précis dans le positionnement de cette limite. Cette limite se trouve à plus de une fois le rayon du brasseur car les vitesses d'air aux hauteurs de mesure les plus basses ont un pic qui se décale jusqu'à deux fois le rayon du brasseur. Les variations de vitesses étant en revanche moins importante, un espacement de 10 cm entre le bout de pale et deux fois le rayon du brasseur est préconisé.
- Et enfin, au-delà de deux fois les rayons du brasseur, la variation de vitesse étant très faible, un espacement plus important peut être respecté. Un espacement de 30 cm peut être préconisé.

RECOMMANDATION N°4 :

Les mesures de vitesses d'air sont réalisées suivant un axe partant du centre du brasseur et perpendiculaire à la paroi jusqu'à la paroi. Les anémomètres sont placés tous les 5 cm jusqu'au rayon du brasseur, puis tous les 10 cm jusqu'à une distance égale à deux fois le rayon du brasseur, puis tous les 30 cm en s'arrêtant à une distance supérieure à 20 cm entre le dernier capteur et la paroi.

INDICATEUR DE CONCEPTION :

Afin d'évaluer le confort thermique en conception, les données suivantes seront déterminées par le protocole BRASSE pour chaque vitesse de rotation du brasseur :

- les rayons d'influence directe moyens en posture assise et en posture debout

- Les vitesses d'air moyenne en zone d'influence directe en posture assise et en posture debout

- La vitesse d'air moyenne en zone d'influence par entrainement.

5. Indicateurs de performances

5.1 Détermination de la surface maximale de brassage efficace :

En utilisant la relation de Raftery [14] , présentée en section 2.2, pour les vitesses d'air moyennes obtenues dans la zone d'entrainement de la chambre de mesure, il est envisagé de déterminer la **surface maximale de brassage efficace**, notée S_{Brasse}, comme étant la surface d'une pièce carrée permettant d'obtenir une vitesse en zone d'entrainement supérieure à 0,4 m/s (similaire à 0,43 m/s utilisé dans la norme Ashrae 216), appelée **vitesse minimale de brassage efficace** et notée v_{Brasse}, en utilisant le plein potentiel du brasseur, c'est-à-dire la vitesse de rotation la plus élevée, notée N_{max} :

$$v_{brasse} = \frac{D}{X_{Brasse}} \times \left(\frac{v_{air,moy,entr,Nmax}}{\frac{D}{X_{chambre}}} \right)$$

D'où, en passant au carré :

$$S_{Brasse} = S_{chambre} \left(\frac{v_{air,moy,entr,Nmax}}{v_{brasse}} \right)^2$$

Où X_{Brasse} et $X_{chambre}$ sont respectivement les dimensions de la surface de brassage perceptible et de la chambre, et S_{Brasse} et $S_{chambre}$ sont respectivement les surfaces de brassage perceptible et de la chambre.

D'après le tableau 4, dans le cas des essais du brasseur d'air étalon, la vitesse d'air moyenne en zone d'entrainement à la vitesse de rotation la plus élevée est de 0,47 m/s avec une distance de 2 m entre le centre du brasseur et les murs dans la chambre de mesure. A partir de ces conditions d'essai, la figure 18 montre l'évolution de la vitesse d'air moyenne en zone d'entrainement en fonction de la distance entre le centre du brasseur et les murs pour une vitesse de rotation de N = 150 tr/min en appliquant la relation proposée par Raftery et al.

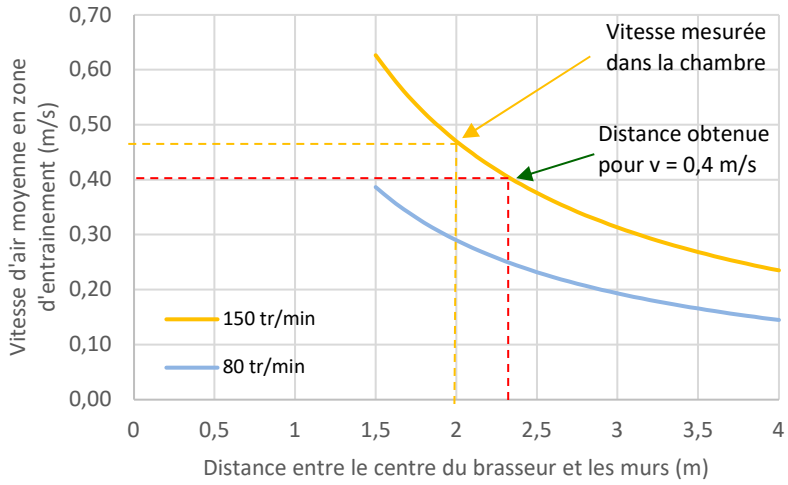


Figure 18 : Modélisation de la vitesse d'air moyenne en zone d'entrainement en fonction de la distance entre le centre du brasseur et les murs et détermination de la surface maximale de brassage efficace

D'après ce modèle, ce brasseur permet d'obtenir une vitesse d'air moyenne supérieure à 0,4 m/s en zone d'entrainement à la vitesse de rotation maximale en respectant une distance entre le brasseur et les murs de 2,35 m, soit une surface de 22,1 m².

Pour valider cette notion de surface maximale de brassage, des essais complémentaires ont été réalisés avec d'autres modèles de brasseurs d'air. Ceux-ci ont présenté des vitesses d'air en zone d'entrainement variant entre 0,52 et 1,16m/s et donc des surfaces maximales de brassage, d'après la définition proposée, variant entre 27m² et 133m². Ces valeurs sont trop élevées lorsqu'on les met en rapport avec la réalité observée sur le terrain et sont donc sujettes à caution. Une vérification du modèle proposé par Raftery et al. associé à cette donnée sera nécessaire pour valider la pertinence de cet indicateur. .

A ce stade, en attendant de pouvoir procéder à ces vérifications, L'indicateur « surface maximale de brassage efficace » ne sera pas retenu dans la cadre du projet BRASSE.

5.2 Effet de rafraichissement

5.2.1 Effet de rafraichissement dans la caractérisation d'un brasseur d'air

Lors des essais dans la chambre de mesure, seule la température de l'air a été mesurée et nous considérerons dans cette partie qu'elle est égale à la température opérative. Les températures et humidités relatives relevées pour les différents essais sont présentées dans le tableau 5 :

Tableau 5 : Relevé de température et d'humidité relative lors des différents essais

	Hauteur (cm)	36	60	100	120	132	150	170
80 tr/min	Température (°C)	26,5	26,6	26,8	26,3	26,6	26,5	26,5
	Humidité relative (%)	80	82	79,7	78,1	82	82	79
150 tr/min	Température (°C)	26,5	26,5	26,5	26,6	26,8	26,7	26,6
	Humidité relative (%)	77,6	78,3	78,2	77,6	80,7	78	78,4

Compte-tenu de la précision du dispositif de mesure de ces grandeurs, une température moyenne de 26,5°C et une humidité relative de 80 % ont été utilisées pour traiter l'ensemble des essais. La figure 19 présente les valeurs d'effet rafraichissant obtenues à l'aide de l'outil de confort du CBE Berkeley en considérant un métabolisme de 1,1 met et une vêture de 0.5 clo :

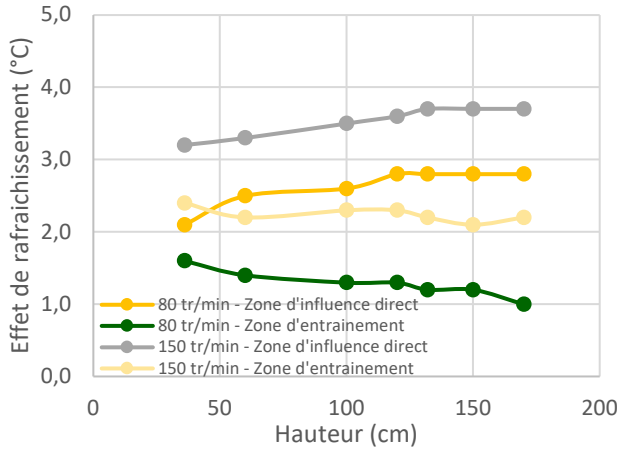


Figure 19 : Effet rafraichissant aux différentes hauteurs et dans les deux zones à 80 et 150 tr/min (Top = 26.5 °C, RH = 80 %, MET = 1,1, clo = 0,5)

Afin d'obtenir des valeurs indépendantes des conditions d'essai, des conditions de référence adaptées à l'étude du confort d'été ont été choisies pour le projet BRASSE :

- La température de l'air et la température radiative moyenne sont fixées à 28 °C
- L'humidité relative est fixée à 60 %
- Le métabolisme est fixé à 1,2 en position assise et à 1,4 en position debout
- Le coefficient d'isolation vestimentaire est fixé à 0,5 clo

La valeur de température de 28 °C correspond à la température à partir de laquelle l'usage des brasseurs sera nécessaire pour améliorer la sensation de confort. L'humidité de 60 % a été jugée représentative du climat intérieur moyen en métropole. Il sera possible de spécifier pour les usagers en outre-mer que l'effet rafraichissant sera légèrement plus faible (0,2 °C environ aux humidités supérieures à 80 %). Le métabolisme en position assise varie entre 1 met et 1,1 met selon l'activité de l'usager (lecture, travail sur ordinateur ou classement de dossier), il a été considéré que la valeur de 1,1 met, également rencontrées dans d'autres méthodes d'évaluation, serait la plus représentative. En position debout, la valeur de 1,4 met correspond à un piétinement (discussion entre collègues ou enseignant faisant cours), à un travail de bureau de type classement (sans port de charges) ou à une activité domestique comme la cuisine. Le coefficient d'isolation vestimentaire est fixé à 0,5 clo puisqu'il correspond aux tenues estivales classiques. Nous tenons à rappeler que, conformément aux observations effectuées en section 2.3.3, l'adaptation de la tenue vestimentaire est un facteur essentiel pour atteindre le confort d'été et que l'effet rafraichissant des brasseurs ne permettra pas de compenser une vêture inadaptée à la chaleur tel qu'un costume-cravate.

Le tableau 6 présente les valeurs d'effet rafraichissant obtenues en utilisant ces conditions de référence et les vitesses d'air moyennes issues du tableau 4.

Tableau 6 : Effet rafraichissant en fonction de la vitesse de rotation, de la zone et de la posture pour le Hunter Industrie II

Zone	80 tr/min		150 tr/min	
	Assis	Debout	Assis	Debout
Influence directe	2,7 °C	3,8 °C	3,5 °C	4,8 °C
Influence par entrainement	1,5 °C	2,6 °C	2,5 °C	3,5 °C

L'effet rafraichissant dépend de la posture pour plusieurs raisons. D'abord, dans la zone d'influence directe, la vitesse d'air moyenne diminuant en descendant dans le cône de courant d'air, la vitesse d'air moyenne en position debout est supérieure à la vitesse d'air moyenne en position assise. Par ailleurs, la valeur de métabolisme utilisée dans les calculs des échanges thermiques nécessaires à l'estimation de la SET conduit également à des effets rafraichissants supérieurs en position debout, ce qui explique que l'on observe aussi une différence en zone d'entrainement alors que la vitesse d'air est la même.

Seul l'effet rafraichissant en zone d'entrainement dépend de la surface de la pièce, puisque seule la vitesse dans cette zone est impactée par les dimensions de la pièce. On pourrait donc imaginer tracer la variation de l'effet rafraichissant en zone d'entrainement en fonction de la distance entre le centre du brasseur et les murs mais la lecture d'une courbe semble trop compliquée dans le cadre d'une étiquette performance. Cela pourrait toutefois présenter un intérêt dans des méthodes de conception mais il faudrait dans ce cas construire des abaques pour rendre compte de l'influence de l'ensemble des paramètres (fixés en référence ici).

La valeur d'intérêt pour un consommateur, dans le cadre d'une étiquette performance, sera l'effet rafraichissant maximal atteignable dans chaque position (assis/debout – sous le brasseur/à côté). Il semble donc plus judicieux de conserver uniquement les valeurs à la plus grande vitesse pour exprimer le plein potentiel de l'appareil.

INDICATEUR DE PERFORMANCE N°1 :

L'effet de rafraichissement du brasseur est déterminé selon la norme ASHRAE 55 en utilisant les conditions suivantes :

- Top = 28 °C, RH = 60 %, MET = 1,1 (assis) et 1,4 (debout) et clo = 0,5

Il est calculé en utilisant les 3 vitesses d'air obtenues à la vitesse de rotation maximale :

- Les vitesses d'air moyenne en zone d'influence directe pour les postures assise et debout

- la vitesse d'air moyenne en zone d'influence par entrainement (égale pour les deux postures)

5.3 Efficacité du brasseur

Un indice d'efficacité d'un brasseur CFE (pour Ceiling Fan Efficiency) a été défini par F. Schiavon et A. Melikov. [38] et intégré à la norme ASHRAE 216 [24]. Il est calculé comme le rapport entre l'effet rafraichissant et la puissance P_f absorbée par le brasseur :

$$CFE = \frac{CE}{P_f}$$

Dans le cadre des essais du projet BRASSE, les mesures de puissance active sur le brasseur étalon donnent une valeur moyenne de 22 W à 80 tr/min et de 57 W à 150 tr/min. On observe par ailleurs que le déphasage est plus important aux vitesses de rotation les plus faibles (cos ϕ = 0,53 à 80 tr/min et cos ϕ = 0,92 à 150 tr/min), ce qui est inhérent au mode de commande de la vitesse des moteurs à induction monophasé à condensateur permanent utilisés dans les machines centrifuges telles que dans les brasseurs, comme l'illustre la figure 20. En effet, la tension d'alimentation du moteur est abaissée au niveau du commutateur de vitesse par des systèmes soit résistifs (abandonnés aujourd'hui car trop énergivore), soit capacitifs, ce qui entraine un déplacement du point de fonctionnement vers les vitesses plus faibles et donc des glissements plus importants. La puissance apparente est donc de 41 W à 80 tr/min et de 62 W à 50 tr/min. La puissance réactive pouvant être compensée par des batteries de condensateurs, on ne retiendra que la puissance active dans le calcul de l'efficacité.

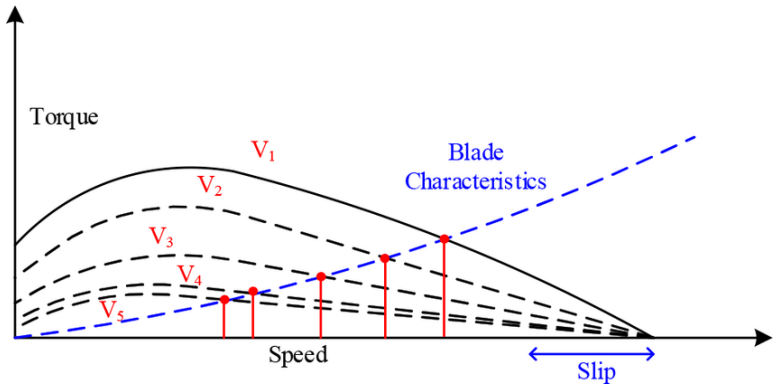


Figure 20 : Points de fonctionnement aux différentes vitesses pour un brasseur à moteur à induction monophasé [39]

Bien que cela puisse paraitre contre-intuitif, il faut noter que les appareils de mesures électriques classiques vont également « mesurer du déphasage » sur les brasseurs utilisant des moteurs dits « à courant continu » du fait de leurs similitudes avec les machines à système de commutation par collecteur/balai. Ces machines sont en fait des moteurs à courant alternatif synchrones, appelés couramment moteurs sans balais (« brushless ») ou BLDC (pour « BrushLess Direct Current », ce qui entraine souvent la confusion avec les machines à courant continu). Ils sont pilotés par un système de commutation logique, pouvant aussi bien fonctionner avec un courant d'entrée continu ou alternatif, et générant des signaux carrés (donc alternatifs) contenant des harmoniques à des fréquences supérieures à celle de la fondamentale. Dans ce cas, on ne peut pas à proprement parler de puissance réactive puisque, dans une machine synchrone, la vitesse de rotation est en phase avec la fréquence fondamentale, mais de puissance déformante [40], les harmoniques de rang impairs entrainant une distorsion du signal et donc une augmentation de la tension efficace. Les appareils de mesures vont enregistrer cette augmentation qu'ils attribueront à tort à une puissance réactive. Il existe des systèmes de compensation de la puissance déformante basés sur le filtrage des harmoniques à haute fréquence par un filtre passe-bas. On ne retiendra donc là aussi que la puissance active.

Les puissances absorbées par les moteurs brushless sont de l'ordre de 1,5 fois plus faibles comparé aux moteurs à induction (approximativement 40 W pour un moteur brushless contre 60 W pour un moteur à induction à vitesse maximale). A vitesses d'air générées équivalentes, les machines équipées de moteur brushless auront donc une efficacité supérieure de 50 % à celles équipées de moteur à induction.

Dans les conditions de la chambre d'essai (Top = 26.5 °C et Rh = 80 %) et en considérant un métabolisme de 1,2 et une vêture de 0,5, l'indice d'efficacité du brasseur CFE obtenu en rapportant l'effet rafraichissant à la puissance absorbée est donnée par la figure 20.

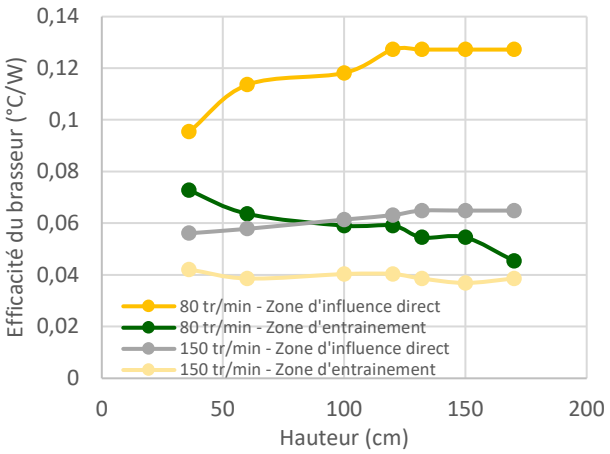


Figure 21 : Efficacité du brasseur aux différentes hauteurs et dans les deux zones à 80 et 150 tr/min

On constate sans surprise que le brasseur à plus d'efficacité dans la zone d'influence que dans la zone d'entrainement. L'efficacité diminue de façon importante quand la vitesse de rotation augmente, ce qui signifie que l'augmentation de la puissance absorbée n'est pas compensée par une augmentation proportionnelle de l'effet rafraichissant.

Dans les conditions standards fixées dans la partie précédente, les valeurs d'efficacité du brasseur obtenues sont données par le tableau 7 :

Tableau 7 : Efficacité du brasseur d'air en fonction de la vitesse de rotation, de la zone et de la posture pour le Hunter Industrie II (le ratio de surface correspondant est indiqué entre parenthèses)

Zone	80 tr/min		150 tr/min	
	Assis	Debout	Assis	Debout
Influence directe	0,123 °C/W	0,172 °C/W	0,061 °C/W	0,084 °C/W
Influence par entrainement	0,068 °C/W	0,118 °C/W	0,044 °C/W	0,061 °C/W

On observe que l'efficacité est plus élevée en position debout, et qu'elle diminue d'un facteur 2, quelle que soit la position et la posture, quand la vitesse de rotation augmente de 80 à 150 tr/min.

INDICATEUR DE PERFORMANCE N°2 :

L'indice d'efficacité du brasseur CFE est déterminé :

- selon l'expression issue de la norme ASHRAE 216

- à partir des valeurs de CE obtenues par le protocole BRASSE (cf partie précédente)

L'obtention de résultats complémentaires pour d'autres brasseurs permettra de décider comment présenter cet indicateur pour classer les brasseurs en termes de performance, par exemple par système de notation ABDCEFG correspondant à différentes gammes de valeurs.

6. Conclusion

Cette étude a été réalisée afin de proposer des indicateurs de conception et de performances permettant de caractériser d'une part les brasseurs d'air d'autre part d'aider à une bonne conception.

Pour la conception, l'indicateur retenu est la vitesse d'air. La présente étude définit cet indicateur et précise que :

- Les vitesses d'air en chaque position de mesure sont pondérées entre les différentes hauteurs de mesures afin de traduire la vitesse d'air moyenne ressentie à chaque position en fonction de la posture (assis ou debout) ;
- Le champ de vitesse d'air est séparé en deux zones : la zone d'influence directe et la zone d'influence par entrainement ;
- Les vitesses d'air moyennes sur ces deux zones sont calculées à partir des mesures de vitesses d'air ponctuelles pondérées par les fractions de surface auxquelles elles se rapportent et en considérant une distribution radiale du champ de vitesse d'air.

Il a alors été conclu **que pour chaque vitesse de rotation, trois vitesses sont nécessaires afin de bien caractériser l'impact d'un** brasseur d'air. Ces vitesses correspondent **aux vitesses d'air moyenne en zone d'influence directe en posture assise et en posture debout** et à **la vitesse d'air moyenne en zone d'influence par entrainement**.

Les retours des professionnels de l'acte de construire [11] ont permis d'identifier le besoin de 4 indicateurs de performance : une surface d'influence du brasseur, un indicateur de confort thermique, un indicateur d'efficacité énergétique et un indicateur de confort acoustique (qui n'a pas été étudié ici).

Ainsi les développements présentés dans cet article répondent à aux attentes concernant deux des indicateurs :

- **L'indicateur d'amélioration du confort thermique**. Celui-ci devait permettre d'exprimer l'effet rafraichissant induit par un brasseur d'air. Pour le définir, les outils et méthodes permettant de considérer cet effet rafraichissant ont été décrites, analysées et critiquées. A partir de ce travail, il a été conclu que la seule méthode traduisant la globalité du phénomène physique et permettant de prendre en compte les effets couplés de la température, de l'humidité, de la vêture et du métabolisme est le « cooling effect » CE décrit par la norme ASHRAE 55. Ce dernier indicateur a par conséquent été retenu par la suite comme indicateur d'amélioration du confort thermique.
- **L'indicateur d'efficacité énergétique** rapportant l'amélioration du confort thermique à la consommation énergétique. L'indicateur identifié le plus pertinent, et donc retenu, correspond à l'indice d'efficacité d'un brasseur d'air CFE (pour Ceiling Fan Efficiency). Celui-ci a été défini dans le présent article.

La surface d'influence du brasseur a été définie comme la surface maximale de brassage efficace, c'est-à-dire la surface pour laquelle la vitesse d'air moyenne dans la zone d'influence par entrainement est de 0,4 m/s à la vitesse de rotation la plus élevée. La surface est définie à partir de la vitesse mesurée en laboratoire et de relations empiriques publiées. Or les valeurs obtenues sur différents équipements montrent les limites de cet indicateur et qu'il serait nécessaire d'investiguer davantage avec des essais complémentaires pour valider la théorie et éviter tout biais d'interprétation. Pour ces différentes raisons, cet indicateur n'est pas retenu dans le cadre du projet BRASSE.

S'il est envisageable de réaliser les mesures à différentes vitesses de rotation pour la détermination des vitesses d'air afin de fournir des informations exhaustives aux concepteurs, seule la vitesse de rotation maximale exprimant le plein potentiel de l'appareil doit être mesurée pour la définition des indicateurs de performances devant figurer sur l'étiquette performance du brasseur pour orienter les choix de prescription.

La définition de ces indicateurs et l'étude des résultats des mesures en laboratoire ont permis de préciser le protocole de mesure en laboratoire notamment l'espacement nécessaire entre les points de mesure permettant d'obtenir des valeurs d'indicateurs pertinentes et justes.

Comme rappelé ci-avant, les développements réalisés dans cette partie ont permis de présenter les paramètres influençant le confort d'un usager dans son environnement, à l'intérieur d'un bâtiment. S'il est clair qu'une vitesse d'air permet d'améliorer le confort, il est rappelé que l'adaptation de la tenue vestimentaire est un facteur essentiel pour atteindre le confort d'été et que l'effet rafraichissant des brasseurs ne permettra pas de compenser une vêture inadaptée à la chaleur tel qu'un costume-cravate.

Grâce à cet article, les performances et le confort d'un brasseur d'air peuvent être définies pour chaque équipement et les indicateurs associés obtenus grâce à des définitions précises. En effet, chaque indicateur est présenté de manière minutieuse et son obtention, par le calcul ou l'expérimentation, détaillée.

Cette partie du projet BRASSE permet donc de proposer une caractérisation complète des brasseurs d'air utile aux concepteurs et aux acheteurs/prescripteurs. Il est ainsi envisageable de mettre en place une méthode de pondération des indicateurs pour attribuer

une note à chaque brasseur. Un tel travail nécessite de caractériser un grand nombre de brasseur afin de définir une échelle de notation permettant de catégoriser l'ensemble des modèles de la gamme.

Et enfin cette étude permet d'alimenter le protocole d'essai en laboratoire et sera utile aux développements de règles calepinages et de prescriptions.

Références

[1] M. Santamouris, Cooling the buildings – past, present and future, *Energy and Buildings*, vol. 128, p. 617-638, 2016.

[2] M. Santamouris, C. Cartalis, and A. Synnefa, On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review, *Energy and Buildings*, vol. 98, p. 119-124, 2015.

[3] K. Bamdad, M. E. Cholette, S. Omrani, et J. Bell, « Future energy-optimised buildings — Addressing the impact of climate change on buildings », *Energy and Buildings*, vol. 231, p. 110610, 2021.

[4] K. Bamdad, M. E. Cholette, et L. Guan, Ant colony algorithm for building energy optimisation problems and comparison with benchmark algorithms, *Energy and Buildings*, vol. 154, p. 404-414, 2017.

[5] K. Bamdad, M. E. Cholette, et L. Guan, Building energy optimisation under uncertainty using ACOMV algorithm, *Energy and Buildings*, vol. 167, p. 322-333, 2018.

[6] B. Yang et F. Wang, Supplementary opinions on alternative cooling technologies in hot climate, Supplementary opinions on alternative cooling technologies in hot climate, vol. 67, p. 1927-1928, 2018.

[7] S. Sadripour, M. Mollamahdi, et G. A. Sheikhzadeh, Providing thermal comfort and saving energy inside the buildings using a ceiling fan in heating systems, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 39, p. 4219-4230, 2017.

[8] K. Mihara, C. Sekhar, et Y. Takemasa, Thermal comfort and energy performance of a dedicated outdoor air system with ceiling fans in hot and humid climate, *Energy and Buildings*, vol. 203, p. 109-118, 2019.

[9] Y. He, W. Chen, Z. Wang, et H. Zhang, Review of fan-use rates in field studies and their effects on thermal comfort, energy conservation, and human productivity, *Energy and Buildings*, vol. 194, p. 140-162, 2019.

[10] Le Marec PE, Le Berigot T, Bœuf F, David M, Blanchard B (2023) Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort des usagers - Partie 1 : mesure de vitesse d'air**,** rapport de synthèse, projet BRASSE

[11] Le Berigot T, Bœuf F, Litvine D, Delaage R (2022) Brasseurs d'air : Retour des professionnels du bâtiment - Analyse des résultats d'un questionnaire exploratoire, rapport d'étude, projet BRASSE

[12] Omrani S, Matour S, Bamdad K, Izadyar N (2021) Ceiling fans as ventilation assisting devices in buildings: a critical review, *Building and Environment*, vol. 201, pp. 108010.

[13] Gao Y., Zhang H., Arens E., Present E., Ning B., Zhai Y., Pantelic J., Luo M., Zhao L., Raftery P., Liu S. (2017) Ceiling fan air speeds around desks and office partitions, Building and Environment, vol. 124, p. 412-440.

[14] Raftery, P., J. Fizer, W. Chen, Y. He, H. Zhang, E. Arens, S. Schiavon, and G. Paliaga. (2019), Ceiling fans: Predicting indoor air speeds based on full scale laboratory measurements. Building and Environment 155, 210-223.

[15] Lavoye F, Bœuf F, Thellier F (2015) *Qualité des ambiances intérieures – Le confort thermique de l'Habitant*, Presses des Mines, 146 p.

[16] Sugiono et al. (2017) Investigating the impact of ornamental plants correlated with indoor thermal comfort and eco-energy, *International review of civil engineering*, 8, 221

[17] Le Marec PE, Le Berigot T, Bœuf F, Lavoye F (2023) Etude des indicateurs permettant de caractériser l'impact des brasseurs d'air sur le confort des usagers, rapport de synthèse, projet BRASSE

[18] Tartarini F, Schiavon S, Cheung T, Hoyt T (2020) CBE Thermal Comfort Tool : online tool for thermal comfort calculations and visualizations, *SoftwareX*, vol. 12, pp. 100563.

[19] ASHRAE Standard 55 (2020), Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

[20] Gagge, A. P., Fobelets, A. P., & Berglund, L. (1986). A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE trans, 92(2), 709-731.

[21] Parkinson T, De Dear R, Brager G (2020) Nudging the adaptive thermal comfort model, Energy and Buildings, vol. 206, p. 109559.

[22] ASHRAE Standard 216 (2020), Methods of Test for Determining Application Data of Overhead Circulator Fans

[23] Norme NF-EN 16798-1 : Performance énergétique des bâtiments - Ventilation des bâtiments - Partie 1 – Données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique

[24] Fanger, P.O., Angelius, O. and Jensen, P.K. (1970) Radiation Data for the Human Body. *ASHRAE Transactions*, 76-II, 338-373.

[25] Givoni B (1963) Estimation of the effect of climate on man: development of a new thermal index, *Research Report to UNESCO*, Building Research Station, Technion, Haifa, Israel

[26] Givoni B (1969) *Man, Climate, and Architecure*, Elsevier

[27] Sangkerdati (1994) Contribution à l'étude du comportement thermo-aéraulique des bâtiments en climat tropical humide. Prise en compte de la ventilation naturelle dans l'évaluation du confort, Thèse de doctorat, INSA de Lyon.

[28] Vinet J (2000) Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs, Thèse de doctorat, Université de Nantes.

[29] CBE Comfort Tool, https://comfort.cbe.berkeley.edu/

[30] Norme NF-EN 15251 : Critères d'ambiance intérieure pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique

[31] Humphreys, M. A. (1970) A simple theoretical derivation of thermal comfort conditions, J. Inst. Heat. & Vent. Eng. 38, 95–8.

[32] Règlementation environnementale 2020, Arrêté du 4 août 2021 relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine et portant approbation de la méthode de calcul prévue à l'article R. 172-6 du code de la construction et de l'habitation, Journal officiel de la république française, 15 août 2021.

https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=LBxKOX3Duk3h0j_ck_WBwvf9HBYDu3aSYhPKEIm97w4=

[33] Milne M, Givoni B (1979) Architectural Design Based on Climate, in Watson D, *Energy Conservation Through Building Design*, McGraw-Hill, New York, pp. 96-113.

[34] Lauzet N, Prise en compte cumulée du changement climatique et des surchauffes urbaines en phase amont de conception frugale des bâtiments centrée sur le confort des occupants : des propositions méthodologiques, Thèse De doctorat, Université de Bretagne Sud

[35] Hunter Industrie II, Product specification sheet,

https://cdn.shopify.com/s/files/1/0542/0698/8471/files/24545_Industrie_II.pdf?v=1618334700

[36] Hunter Industrie II, Fiche technique,

https://www.construction21.org/france/data/sources/users/1438/annexe-7---fiche-brasseur-dair.pdf

[37] Norme ISO 7726 (1998), Ergonomie des ambiances thermiques – Appareils et méthodes de mesure des grandeurs physiques

[38] Schiavon, S., & Melikov, A. K. (2009). Introduction of a Cooling-Fan Efficiency Index. *H V A C & R Research*, *16*(6), 1121-1144.

[39] Sharma U, Singh B (2020) A Robust Design Methodology for Single Phase Induction Motor Ceiling Fan, *IET Electric Power Applications*, vol. 14.

[40] Association Négawatt (2017) Courant alternatif, puissances active et réactive, facteur de puissance, harmoniques...

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIETE ET D'EFFICACITE

BRASSE
BRASSEUR D'AIR :
UNE SOLUTION
DE SOBRIÉTÉ
ET D'EFFICACITÉ

Etude 3 – Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers

Rapport 3.3 – Retour d'expérience : mesure in-situ

RAPPORT FINAL

FAITS & CHIFFRES

surya CONSULTANTS

Sept. 2023

BRASSE
Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité

Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques

Les brasseurs d'air en plafond permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement de locaux. Ils sont par conséquent une solution permettant de **s'adapter au changement climatique**. Mais ces équipements sont peu préconisés par les équipes de conception de bâtiment. D'un point de vue technique, cela est dû à un **manque de connaissance** sur ces équipements, leurs **performances** et leur **effet sur la qualité des ambiances intérieures**. Cela pourrait également être dû à des **raisons socio-économiques** non encore identifiées.

Ces constats ont fait naître le programme de recherche : BRASSE[1].

Ce projet de recherche vise principalement à **enrichir** le secteur du bâtiment de connaissances sur ces équipements, de développer des **méthodes** et outils d'aide à l'intégration et à **diffuser** cette connaissance.

Les axes de recherche :

- Performances des brasseurs
- Effets sur la qualité des ambiances intérieures
- Outil d'aide à la conception
- Identification des freins sociologiques
- Diffusion des connaissances

Les ambitions du projet sont :

- Réaliser un important **retour d'expérience** à travers 4 approches :
    1. Retour d'expérience technique préliminaire
    2. Analyse en sciences sociales
    3. Mesure sur site pour la validation de la méthodologie
    4. POE

- Établir un **protocole standardisé** de détermination des performances des brasseurs d'air présents sur le marché et **approfondir l'étude** de brasseurs d'air.
- Définir une **méthode** permettant de proposer une **conception de locaux équipés** de plusieurs brasseurs d'air (calepinage) prenant en compte les principaux paramètres : thermiques, acoustiques et aérauliques.
- **Comprendre le rapport des utilisateurs et des professionnels** aux brasseurs d'air quels que soient leurs profils, le climat ou le territoire dans lequel ils évoluent.
- **Diffuser l'information** pour faire monter en compétence l'ensemble de la filière bâtiment sur ces sujets.

Ce programme de recherche rassemble six entités regroupant des compétences pluridisciplinaires :

- **Surya consultants :** bureau d'études, recherches et développement/ Thermique – énergie – environnement – modélisation (pilote du projet)
- **LASA :** laboratoire privé en acoustique
- **ISEA :** cabinet de recherche et de conseil en sciences sociales – spécialisé en analyse et intervention comportementale
- **Laboratoire PIMENT – Université publique de la Réunion :** Génie de l'Habitat et génie thermique
- **Laboratoire Eiffel aérodynamique, filiale du groupe CSTB :** aérodynamique - expérimentation
- **EnvirobatBDM :** centre de ressources et démarche bâtiments durables méditerranéens – retour d'expérience

Le programme BRASSE est lauréat de l'appel à projets de recherche **Bâtiments responsables 2020** géré par l'Ademe.

[1] BRasseur d'Air : une Solution de Sobriété et d'Efficacité

CITATION DE CE RAPPORT

LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers – Retour d'expérience : mesure in-situ - Projet BRASSE

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de convention : 2004C0018

Appel à projets de recherche Vers des Bâtiments Responsables à l'horizon 2020"

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Pierre-Erwan LE MAREC (Surya Consultants), Tangi LE BERIGOT (Surya Consultants) et Frédéric BŒUF (Surya Consultants)

Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline - Direction/Service : DVTD/SB

RETOUR D'EXPERIENCE : BRASSEURS D'AIR

MESURES DE VITESSES D'AIR IN-SITU

Pierre-Erwan LE MAREC[1], Tangi LE BERIGOT[1], Frédéric BŒUF [1],

[1]*Surya Consultants, France,*

Mots clés : brasseur d'air, vitesse d'air, mesures, in-situ

Cet article s'inscrit dans le programme de recherche « BRASSE : Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques. ». Projet lauréat de l'appel à projets de recherche Bâtiments responsables 2020 géré par l'ADEME.

1. Introduction

La consommation d'énergie liée au refroidissement des bâtiments augmente plus rapidement que par le passé et cette tendance devrait se poursuivre jusqu'à la fin du XXIe siècle [1]. À l'heure actuelle, la consommation d'énergie pour le refroidissement peut atteindre jusqu'à 9,3 % de la consommation mondiale totale d'énergie dans les bâtiments commerciaux [1] et pourrait être intensifiée en raison des problèmes de réchauffement de la planète [2, 3]. Bien que différentes stratégies d'économie d'énergie soient utilisées dans le bâtiment pour réduire cette demande de refroidissement, elles peuvent être coûteuses et/ou complexes [4, 5]. Par conséquent, l'utilisation d'une solution simple et abordable et la modification des paradigmes actuels de traitement de l'ambiance thermique dans les bâtiments modernes peuvent être suggérées comme urgentes.

Le brasseur d'air est un dispositif mécanique à faible consommation d'énergie qui peut être une solution d'amélioration de confort thermique appropriée répondant à l'ensemble des enjeux actuels [6]. Il n'a pas pour objectif, à l'inverse du climatiseur beaucoup plus énergivore, de refroidir et de maintenir la température d'ambiance. Il s'agit d'un dispositif de circulation d'air peu coûteux et pratique qui peut améliorer la sensation thermique des occupants en faisant circuler l'air dans une zone intérieure [7, 8].

S'il existe de nombreux avantages potentiels à l'application des brasseurs d'air, leur taux de pénétration sur le marché est encore limité ce qui est dû au manque d'informations concises sur les impacts des brasseurs d'air et les méthodologies d'évaluation des impacts [9, 10].

Le but du protocole BRASSE est de caractériser les performances des brasseurs d'air commerciaux dans leur configuration standard (celle recommandée par les fabricants) afin de les comparer en termes d'impact sur le confort des usagers et d'efficacité énergétique. L'ambition du projet BRASSE est de développer le bon usage du brasseur d'air dans le secteur du bâtiment comme adaptation frugale aux changements climatiques. Il convient ici de rappeler que le projet BRASSE n'a pas vocation à proposer des solutions d'optimisation de conception des brasseurs pour les fabricants et que ces objectifs techniques sont de définir :

- des indicateurs de performance orientés confort (thermique et acoustique) ;
- des indicateurs physiques permettant une bonne prise en compte des brasseurs en conception ;
- un protocole de mesures en laboratoire permettant d'obtenir ces indicateurs ;
- des règles de calepinage pour les utilisateurs (bureaux d'étude, etc.).

Le présent article ne traitera pas le confort acoustique et se limitera au confort thermique.

Dans une première partie du projet BRASSE [11, 12], des mesures de vitesse d'air ont été réalisées en laboratoire afin d'établir un protocole permettant de définir les indicateurs de conception et de performances pour les brasseurs. De telles mesures ont eu pour objectif de caractériser l'impact des brasseurs sur le confort de l'usager et leur niveau de performance dans des conditions standardisées. Ces indicateurs permettent de comparer les brasseurs entre eux afin de faire un choix éclairé de matériel, les choix d'implantation de brasseur (nombre, position, diamètre et hauteur) étant définis par ailleurs en phase de conception selon le projet (géométrie, usage, etc.).

Au-delà des indicateurs de conception et de performance, il est nécessaire de définir les règles d'implantation des brasseurs dans un projet. Dans ce contexte, les mesures en laboratoire doivent être complétées par des mesures in-situ afin d'observer le fonctionnement de brasseurs d'air en conditions réelles (géométrie variées, présence de mobilier). De telles mesures ont donc été menées dans 11 locaux qui ont fait l'objet d'une ou plusieurs compagnes des mesures dans le courant de l'été 2022. Les locaux sélectionnés sont situés dans le Sud de la France (PACA et Occitanie) et couvrent les typologiques les plus courantes de locaux équipés de brasseurs d'air : logement, bureaux et enseignement.

Le présent rapport présente la méthodologie de ce retour d'expérience et d'éventuelles améliorations envisagées pour un protocole systématique de mesure de vitesses d'air in-situ ainsi que les principales observations issues de ces campagnes.

2. Matériel et méthodes

2.1 Locaux étudiés

Le tableau 1 donne la liste des locaux étudiés et leurs caractéristiques principales (les caractéristiques détaillées de chaque local et des brasseurs étudiés étant données dans chaque fiche REX) :

Tableau 1 : Locaux étudiés lors des campagnes de mesures in-situ

N° de l'étude	Nom du local	Type	Usage	Surface	Hauteur sous plafond	Nombre de barsseurs d'air	Diamètre	Hauteur sous pales
REX S-01	Appartement_Salon	Résidentiel collectif	Salon	19,0 m²	2,50 m	1	132 cm	2,14 m
REX S-02	Appartement_Chambre	Résidentiel collectif	Chambre	11,8 m²	2,50 m	1	132 cm	2,14 m
REX S-03	BE_Bureau 2 postes	Tertiaire	Bureau	13,4 m²	3,18 m	1	152 cm	2,82 m
REX S-04	BE_Bureau 3 postes	Tertiaire	Bureau	20,4 m²	3,18 m	2	152 cm	2,82 m
REX S-05	ONG_Bureau 2 postes	Tertiaire	Bureau	13,1 m²	3,09 m	1	112 cm	2,67 m
REX S-06	ONG_Bureau 4 postes	Tertiaire	Bureau	22,7 m²	3.91 m	2	112 cm	3,49 m
REX S-07	ONG_Salle de réunion	Tertiaire	Salle de réunion	22,7 m²	3,40 m	2	132 cm	2,94 m
REX S-08	Ecole_Classe 1	Ecole	Salle de classe	55,5 m²	3,06 m	4	152 cm	2,70 m
REX S-09	Ecole_Classe 2	Ecole	Salle de classe	55,5 m²	3,26 m	4	152 cm	2,90 m
REX S-10	Ehpad_Chambre 218	EHPAD	Chambre	25,0 m²	2,50 m	1	132 cm	2,14 m
REX S-11	Ehpad_Salle ergo	EHPAD	Salle de kiné/ergo	85,9 m²	2,32 m	1	132 cm	1,96 m

2.2 Mesure in-situ de la vitesse d'air et des conditions d'ambiance.

Le protocole de mesure de vitesse d'air in- situ utilisé dans le cadre de ce retour d'expérience s'est voulu au plus proche du protocole utilisé en laboratoire. L'analyse des mesures effectuées en laboratoire a conduit à des recommandations sur de nombreux points du protocole (hauteurs de mesure, définition des positions de mesures, fréquence d'échantillonnage, etc.). Ces recommandations n'ont pas pu toutes être intégrées dans le protocole de mesures in-situ puisque celles-ci ont été postérieures à l'analyse des mesures en laboratoire. Après analyses de l'ensemble des mesures effectuées, de nouvelles recommandations concernant le cas particulier des mesures in-situ seront données en fin de ce document.

Le trépied vertical de mesure de vitesse d'air Anémoma® (cf. Figure 1) développé par Surya Consultants a été utilisé. Il comprend 4 anémomètres omnidirectionnels à boule chaude (HD403TS2, DeltaOhm S.r.L, Italie [13]) situés à des hauteurs de 36 cm, 60 cm, 120 cm et 170 cm. La gamme de mesure de ces capteurs va de 0,1 à 5,0 m/s avec une précision de ± (0,2 m/s + 3% de la valeur mesurée). Pour chaque mesure, les anémomètres [13] ont été orientés perpendiculairement à l'axe radial passant par le centre du brasseur et la boule chaude de l'anémomètre. Un niveau laser 3 axes a été utilisé afin de s'assurer de l'alignement vertical de l'ensemble des capteurs à l'aplomb du point de mesure.

Le trépied Anemoma® ayant été originellement conçu pour l'étude de la déstrastification en présence de brasseurs d'air dans des locaux de grandes hauteurs, il permet de mesurer la température de l'air et l'humidité relative à la même hauteur et avec la même fréquence d'échantillonnage que les mesures de vitesse d'air. Ces mesures ont été moyennées entre les différentes hauteurs et sur l'ensemble de la durée d'une même série d'essais afin de définir les conditions d'ambiances qui sont données avec une précision de 0,5 °C et 5 % HR.

Figure 1 : Trépied de mesure de vitesse d'air Anémoma®

Deux protocoles ont été utilisés dans le cadre de ce retour d'expérience lors de deux campagnes successives nommées ci-après « Campagne 1 » et « Campagne 2 » et notées respectivement C1 et C2. Les deux protocoles se distinguent par l'échantillonnage de la mesure :

- Protocole Surya_V1 : Le temps d'acquisition varie entre 2 et 6 minutes selon les essais. La fréquence d'échantillonnage est d'une mesure par minute, cette mesure étant obtenue dans le mode « slow » des anémomètres, c'est-à-dire une moyenne de 10 mesures instantanées réalisées à une fréquence de 5 Hz sur un intervalle de 2 s. Ce protocole correspond au fonctionnement standard de l'Anémoma® qui est originellement dédié à la mesure de déstrastification (brasseurs soufflant vers le haut). Dans un contexte plus turbulent de brasseurs soufflant vers le bas dans un objectif d'amélioration du confort, cet échantillonnage s'est avéré trop limité pour obtenir des valeurs exactes avec un intervalle de confiance satisfaisant.

- Protocole Surya_V2 : La fréquence d'échantillonnage a été réduite à 1 mesures toutes les 7 secondes (toujours en mode « slow » des anémomètres) et le temps d'acquisition a été défini pour chaque mesure afin qu'il soit suffisant pour obtenir à la fois le régime permanent et à la fois une vitesse moyenne considérée exacte, c'est-à-dire en faisant une erreur inférieure à 0,05 m/s avec un intervalle de confiance à 95 %, selon le critère proposé pour le protocole de mesures de vitesse d'air en laboratoire [14].

Lors de chaque essai, toutes les ouvertures (portes, fenêtres et grilles de ventilation si existantes) ont été fermées afin de s'affranchir des mouvements d'air parasites. Aucun usager ni opérateur n'était présent pendant l'acquisition dans les locaux où se situaient la mesure. Aucun autre appareil pouvant générer de la chaleur n'était en fonctionnement. Les bouches de ventilation mécanique, lorsqu'elles étaient présentes, n'ont pas été obstruées.

Les positions de mesure ont été choisies par l'opérateur afin d'observer un phénomène ou les conditions spécifiques en un point (position probable d'un usager par exemple). Le tableau 2 présente un résumé des différentes campagnes de mesures et des conditions d'ambiance rencontrées lors de ces campagnes.

L'ensemble de brasseurs observés lors de cette étude sont des brasseurs équipés de moteurs à induction à courant alternatif pilotés par un dispositif de commande à 3 vitesses. Les vitesses d'air ont été mesurées pour la plupart des positions de mesures à deux vitesses de fonctionnement : la vitesse maximale (V3) et la vitesse intermédiaire (V2). Les vitesses de rotation n'ont pas été mesurées lors de l'étude et les vitesses fournies par les constructeurs seront données à titre indicatif quand elles sont disponibles.

L'étude dans la salle d'ergothérapie de l'EHPAD Soubeiran de Saint Jean du Gard a été menée de façon différente puisque que des mesures spécifiques ont été réalisées pour évaluer la vitesse d'air en fonction de l'éloignement aux brasseurs dans deux cas :

- L'espace sous le brasseur est libre de tout mobilier
- Une table circulaire de 120 cm de diamètre et 73 cm de hauteur est placée à l'aplomb du brasseur.

Cette étude particulière est présentée en première partie des résultats afin de rappeler les caractéristiques des écoulements générés par les brasseurs déjà observées lors des essais en laboratoire [11].

Tableau 2 : Description des différentes campagnes d'essais

N° de l'étude	Nom du local	Campagne	Date	Température	Humidité relative	Nombre de points de mesures
REX S-01	Appartement_Salon	C2	25/08/2022	27,5 °C	80 %	2
REX S-02	Appartement_Chambre	C2	25/08/2022	28 °C	75 %	1
REX S-03	BE_Bureau 2 postes	C1	04/07/2022	31 °C	70 %	7
		C2	25/08/2022	28,5 °C	65 %	2
REX S-04	BE_Bureau 3 postes	C1	04/07/2022	31 °C	70 %	5
		C2	25/08/2022	29,5 °C	60 %	3
REX S-05	ONG_Bureau 2 postes	C1	04/07/2022	30,5 °C	65 %	2
		C2	25/08/2022	27,5 °C	60 %	2
REX S-06	ONG_Bureau collectif	C1	04/07/2022	30 °C	65 %	6*
REX S-07	ONG_Salle de réunion	C1	04/07/2022	31 °C	65 %	3
		C2	25/08/2022	26,5 °C	60 %	4
REX S-08	Ecole_Classe 1	C1	06/07/2022	33 °C	40 %	6*
REX S-09	Ecole_Classe 2	C1	06/07/2022	31,5 °C	45 %	8*
REX S-10	Ehpad_Chambre 218	C2	04/08/2022	28,5 °C	55 %	4
REX S-11	Ehpad_Salle ergo	C2	04/08/2022	28 °C	60 %	5

*lors de certains de ces essais, le capteur situé à 170 cm de hauteur était défectueux.

Sur 11 pièces instrumentées dans 5 bâtiments différents, ces essais réalisés en 60 positions de mesures différentes pour deux vitesses de rotation et quatre hauteurs de mesures ont permis d'obtenir **un total de 478 mesures de vitesse d'air** exploitables et exploitées.

2.3 Détermination des vitesses moyennes

Afin d'éviter toute confusion entre les différentes vitesses mentionnées dans cet article, il convient de poser les définitions de l'ensemble de termes utilisés :

- **La vitesse de fonctionnement** : c'est le mode de fonctionnement sélectionné sur la commande du brasseur (V1, V2 ou V3 dans cette étude)
- **La vitesse de rotation** : c'est la vitesse à laquelle tourne les pales du brasseur, exprimée en tours par minutes. Elle n'a pas été mesurée in-situ et des valeurs sont données à titre indicatif lorsqu'elles sont fournies par le fabricant.
- **La vitesse mesurée** : c'est la moyenne des vitesses mesurées par l'anémomètre à une hauteur donnée sur l'ensemble de la durée d'acquisition. Elle est toujours associée à un écart type.
- **La vitesse ressentie** : c'est la moyenne des vitesses mesurées à trois hauteurs différentes, correspondant aux hauteurs considérées comme caractéristiques (chevilles, bassin et tête) pour les deux postures habituelles : assis (hauteurs 36 cm, 60 cm et 120 cm) et debout (hauteurs 36 cm, 120 cm et 170 cm). Elles sont exprimées donc par les relations suivantes :
  - En position assise :

$$v_{assis} = \frac{1}{3}(v_{0.36} + v_{0.6} + v_{1.2})$$

  - En position debout :

$$v_{debout} = \frac{1}{3}(v_{0.36} + v_{1.2} + v_{1.7})$$

Où v_{assis} et v_{debout} sont respectivement les vitesses ressenties en positions assise et debout, $v_{0.36}$, $v_{0.6}$, $v_{1.2}$ et $v_{1.7}$ sont respectivement les vitesses mesurées à 36 cm, 60 cm, 120 cm et 170 cm.

Lors de cette étude, afin de suivre au plus près les protocoles utilisés en laboratoire [15, 16], les hauteurs de mesures n'ont pas été choisies avec respect des normes ISO 7726 [17] et ASHRAE 55 [18]. Ce n'est que postérieurement à l'ensemble des campagnes de mesures que les recommandations du projet BRASSE [12] ont préconisé d'utiliser les hauteurs de mesures stipulées par ces deux normes (0,1 m à la place de 0,36 m et 1,1 m à la place de 1,2 m).

Comme le stipule la norme ISO 7726, les vitesses mesurées sont données avec leur écart type calculés sur l'ensemble de la durée d'acquisition afin de montrer l'intensité des fluctuations de la vitesse d'air. Afin d'exprimer l'intensité de ses fluctuations sur la vitesse ressenties dans chaque posture, il a été décidé de calculer la moyenne des écarts type aux 3 hauteurs de référence de chaque posture. En effet, les trois valeurs de vitesse étant hétérogènes, la valeur de l'écart type sur l'ensemble des trois séries de mesure aux différentes hauteurs n'exprimerait pas seulement les fluctuations de la vitesse d'air mais également la disparité des vitesses aux différents endroits du corps humain. Le terme « écart-type moyen » sera donc utilisé pour exprimer les fluctuations de la vitesse ressentie.

2.4 Détermination des indicateurs de confort

L'effet de rafraichissement (CE) à la vitesse d'air moyenne dans les conditions d'ambiance de l'essai et en considérant un clo de 0,5 et un met de 1,1 pour un usager assis et 1,4 pour un usager debout. Le CE a été déterminé selon la norme ASHRAE 55 [18] à l'aide de l'outil en ligne développé par le CBE de Berkeley [19].

Les résultats sont représentés en plan et repérés par une cible de couleur. La couleur de cette cible correspond à l'évaluation du confort suivant l'indicateur PMV pour les vitesses d'air élevées définie par la norme ASHRAE 55 [18] et prenant en compte l'effet rafraichissant. Afin de traduire les différentes sensations de confort, l'échelle de couleur utilisée est la suivante :

- Vert : -0,5 < PMV < 0,5 : neutre
- Orange : 0,5 < PMV < 1,5 : légèrement chaud
- Rouge : 1,5 < PMV < 2,5 : chaud
- Marron : PMV > 2,5 : très chaud

Lorsqu'une même représentation rassemble les résultats de deux campagnes, la dénomination C1 pour 'Campagne 1' ou C2 pour 'Campagne 2' est ajoutée au centre de la cible.

Les conditions d'ambiance sont indiquées sur chaque fiche REX. La couleur de ces indications correspond à l'évaluation du confort suivant l'indicateur PMV pour une vitesse nulle. Si cette évaluation diffère entre la posture assise et la posture debout, cela est précisé. L'échelle considérée correspond à l'échelle présentée ci-avant.

3. Résultats

3.1 Etude préliminaire de l'écoulement en conditions réelles : EHPAD – Salle ergo

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Salle Ergothérapeute	Surface de vitrage	9,07 m²
Typologie	Tertiaire	Surface des ouvrants	4,53 m²
Localisation	Saint-Jean-du-Gard (30)	Orientation menuiseries	294° NW
Altimétrie du projet	99 m	Protections solaires	Non
Environnement	Zone d'urbanisation de moyenne densité, proche d'une zone boisée	Climatisation	Non
Surface utile	85,9 m²	Ventilation	NR
Volume	199,3 m³	Ventilation traversante	Non possible
Surface déper. Ext.	23,10 m²	Surventilation nocturne	Non possible

PLANS

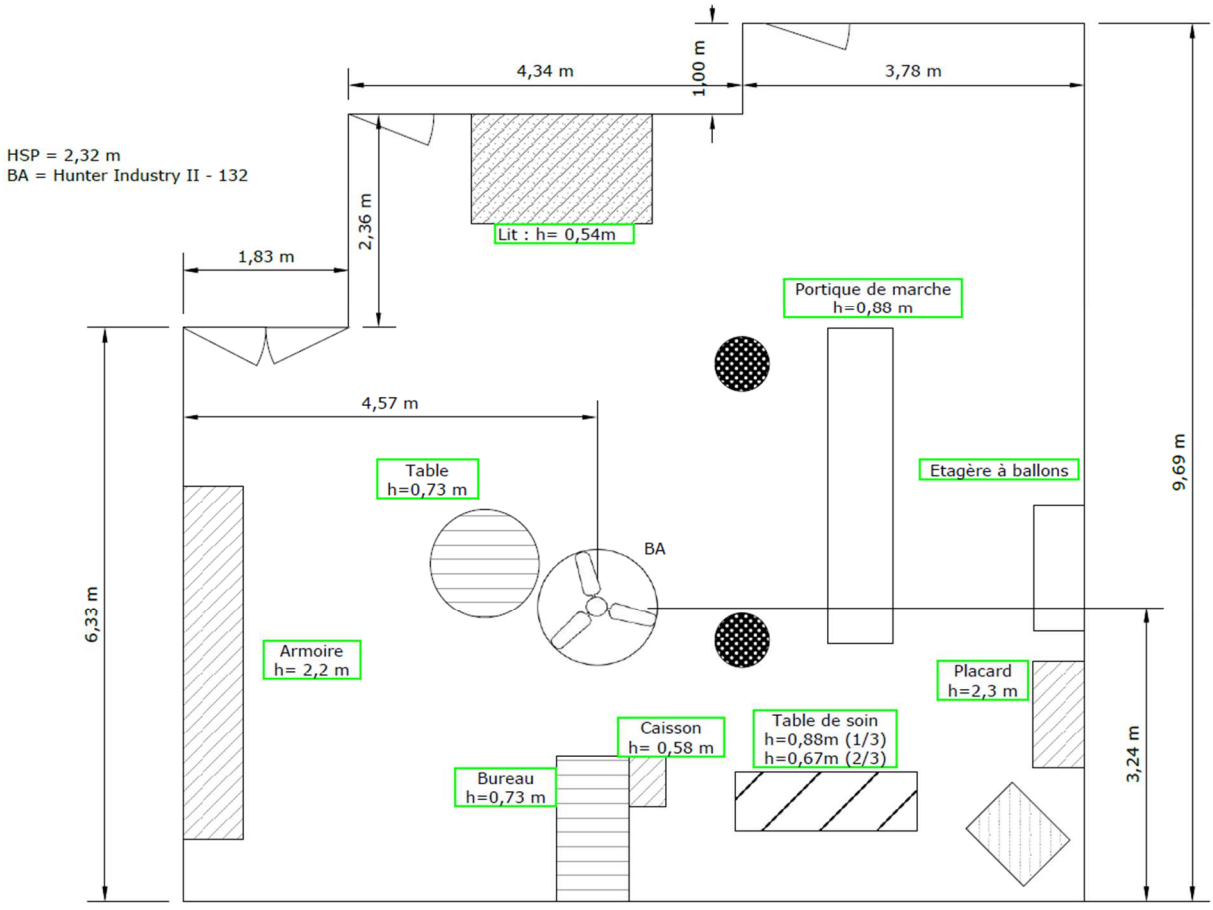


Figure 2 : Plan d'occupation de la salle d'ergothérapie de l'EHPAD Soubeiran de Saint Jean du Gard

PHOTOS

Figure 3 : Différentes vues de la salle d'ergothérapie de Saint Jean du Gard
(a)*Vue vers la façade NW, (b) Vue vers la façade SE*

DESCRIPTION DU BRASSEUR

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Industrie II		
Diamètre	132 cm		
Nombre de pales	3		
Hauteur de pales	1,96 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance au mur	3,24 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande/régulation	Commande murale		
Nombre de vitesses	3		
Données Constructeur	**V1**	**V2**	**V3**
Vitesse de rotation (tr/min)	79	127	157
Débit (m3/h)	5134	7524	8902
Puissance (W)	16	39	65
Efficience énergétique (m3/h/W)	321	191	136
Bruit (dBA)	26,3	32,8	39

Figure 4 : Hunter Industrie II 132 cm

PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/08/2022
Durée de la campagne	Entre 6 et 60 min par point
Nombre de points	5
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	68

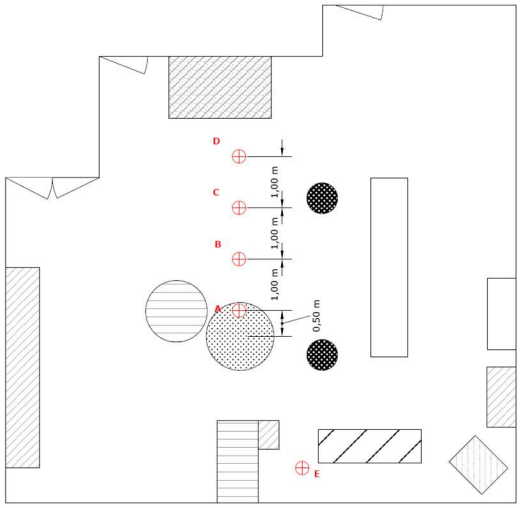


Figure 6 : Positions de mesures – Salle ergothérapie de l'EHPAD de Saint Jean du Gard

Figure 5 : Trépied Anémoma

RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 28°C / 60%

1- Champ de vitesse d'air à différentes vitesses de fonctionnement

Lors de ces essais particuliers, les vitesses d'air aux 4 hauteurs par rapport au sol ont été mesurées à différentes distances par rapport au centre du brasseur (50 cm, 150 cm, 250 cm et 350 cm) à deux vitesses de fonctionnement (V2 et V3). La figure 7 présente les résultats obtenus :

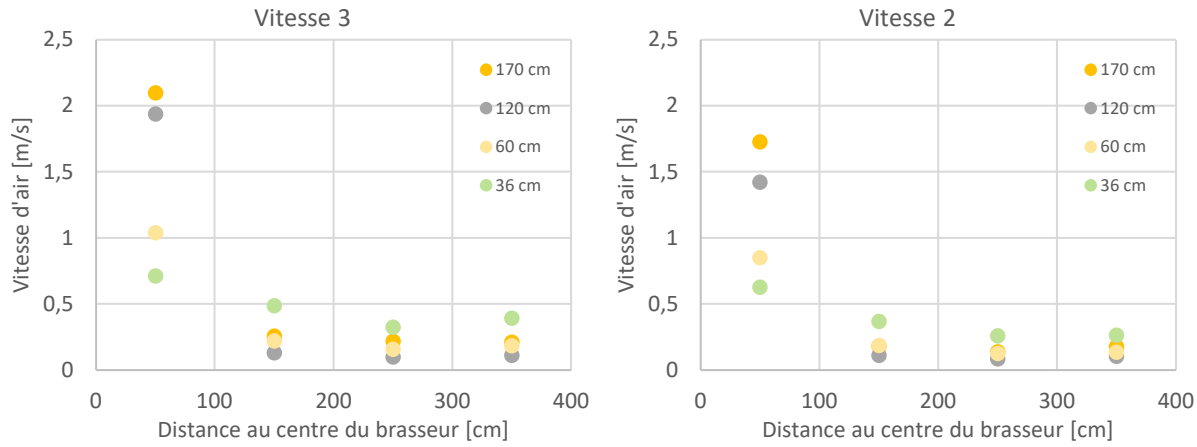


Figure 7 : Mesures de vitesses d'air en fonction de la distance par rapport au centre du brasseur pour différentes hauteurs de mesure par rapport au sol à deux vitesses de fonctionnement

A la vitesse maximale de fonctionnement (V3), les vitesses maximales sont observées à 50 cm du centre du brasseur, ce qui correspond approximativement au pic de vitesse observé dans la zone d'influence directe situé sous le brasseur lors des mesures en laboratoire [11]. Dans cette zone, les vitesses d'air diminuent au fur et à mesure que le flux d'air descendant se rapproche du sol. Celles-ci varient entre 2,10 m/s à 1,70 m du sol et 0,71 m/s à 0,36 m. Les points mesurés entre 150 et 350 cm du centre du brasseur se situent en dehors de la zone d'influence directe, dans la zone de recirculation où les vitesses mesurées sont relativement homogènes pour les hauteurs de 60 cm, 120 cm et 170 cm au-dessus du sol. La vitesse moyenne mesurée sur l'ensemble de ces points est de 0,18 m/s avec un écart type de ± 0,05 m/s. Les points de mesures à 36 cm de hauteur se situent dans la zone de diffusion au sol où les vitesses sont sensiblement plus élevées, avec une vitesse moyenne mesurée de 0,40 m/s (écart type de ± 0,08 m/s).

Le même comportement est observé à vitesse 2. Les vitesses maximales observées en zone d'influence varient entre 0,63 m/s à 0,36 m du sol et 1,73 m/s à 1,70 m, soit **une diminution d'environ 20 % de la vitesse d'air en vitesse 2 par rapport à la vitesse 3**. En zone d'entrainement, pour les hauteurs comprises entre 60 cm et 170 cm, la vitesse moyenne mesurée est de 0,14 m/s avec un écart type de ± 0,03 m/s). Dans la zone de diffusion au sol (h = 36 cm), les vitesses sont plus importantes, avec une vitesse moyenne de 0,30 m/s.

2- Influence du mobilier sur le champ de vitesse d'air

Ces essais particuliers ont pour objectif d'observer l'impact d'un élément de mobilier situé juste en dessous d'un brasseur. La table circulaire située initialement à proximité du brasseur a été utilisée à cette fin (diamètre = 120 cm, hauteur = 73 cm). Les essais ont été réalisés à la vitesse 3. La figure 8 présente les résultats obtenus :

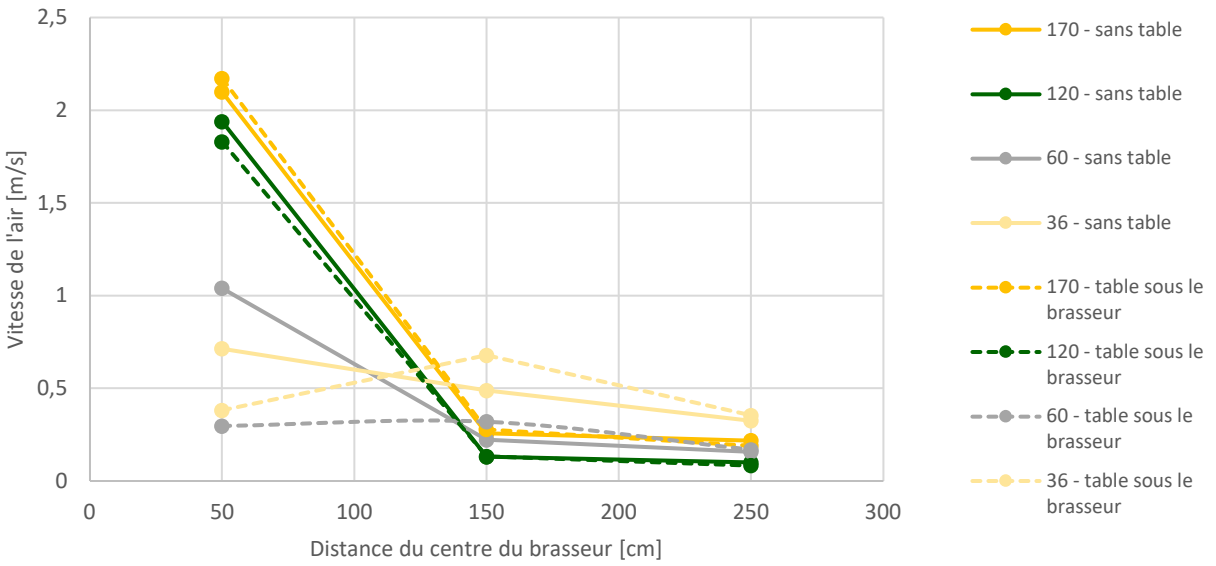


Figure 8 : Influence de la présence d'une table circulaire sous le brasseur sur le champ de vitesse

En zone d'influence directe, les vitesses d'air ne sont pas impactées pour les hauteurs de 120 cm et 170 cm. En revanche, les vitesses pour les hauteurs de mesures se situant sous le niveau de la table sont fortement réduites, le flux d'air étant dévié vers la périphérie au niveau du plateau de la table. Cette déviation du flux d'air entraine une augmentation sensible de la vitesse d'air pour la position de mesure à 150 cm du centre du brasseur pour les hauteurs inférieures à la hauteur du plateau. A 2,5 m du centre du brasseur, cet effet particulier de la déviation du flux d'air n'est plus observé. **La présence d'une table sous le brasseur n'aura donc un effet positif sur la vitesse d'air, et donc sur l'amélioration du confort thermique, qu'en périphérie directe de celle-ci, c'est-à-dire seulement pour les utilisateurs qui y sont attablés,** ce qui est en accord avec les résultats trouvés dans la littérature [20].

3- Vitesses d'air ressenties au poste de travail identifié.

Bien que l'usage de cette salle en fasse un lieu dans lequel un brassage homogène serait souhaitable, il a été décidé d'effectuer un relevé de vitesses d'air au niveau du bureau de l'ergothérapeute, seul poste de travail fixe de cette pièce. Le trépied de mesure a été positionné de façon à représenter au mieux la vitesse d'air ressentie par l'ergothérapeute lorsqu'il est assis à son bureau. Ce point est situé à 2,83m du centre du brasseur et 0,68 m cm du mur le plus proche. La figure 9 représente les vitesses d'air mesurées aux différentes hauteurs ainsi que les vitesses d'air moyennes ressenties en posture assise et en posture debout pour les trois configurations étudiées : V3 avec et sans table sous le brasseur et V2 sans table sous le brasseur.

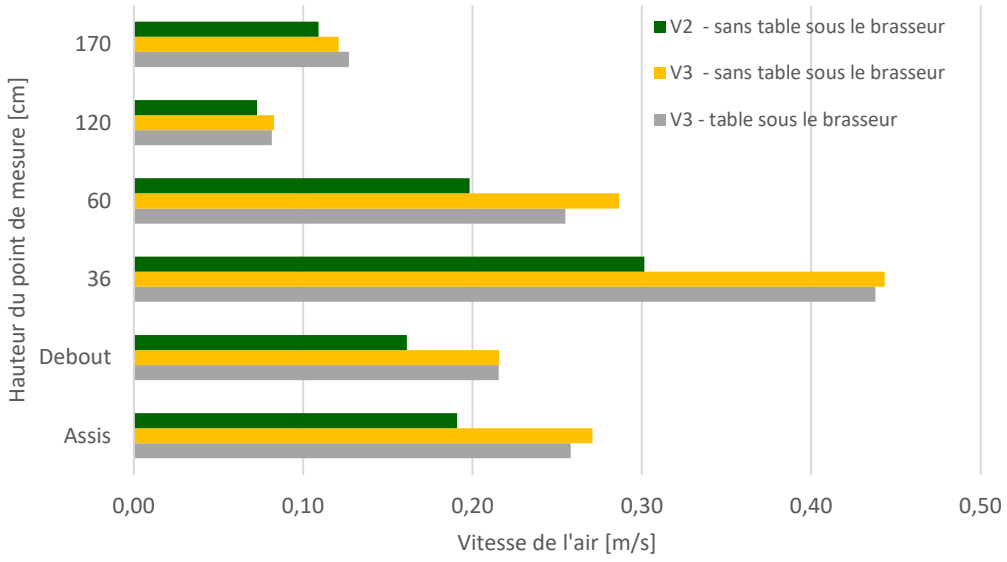


Figure 9 : Vitesses d'air mesurées aux différentes hauteurs et ressenties dans les deux postures au niveau du bureau dans les différentes configurations étudiées.

Ces essais montrent que le passage de vitesse 3 à vitesse 2 diminue la vitesse d'air ressentie par l'usager en position assisse de 30 % au niveau du poste de travail, ce qui est essentiellement dû à la forte diminution des vitesses mesurées : - 32 % à 36 cm et -31 % à 60 cm. Cet effet est moindre en position debout (-25 %), les vitesses mesurées aux plus grandes hauteurs étant moins impactées : - 12 % à 120 cm et -10 % à 170 cm.

On observe également que les vitesses à 60 cm de hauteur sont plus importantes à proximité du bureau de l'ergothérapeute (situé à 2,83 m du brasseur) qu'au point de mesure situé à 2,5 m du brasseur mais éloigné de tout mobilier. En effet la vitesse mesurée à 60 cm de hauteur au niveau du bureau augmente de 0,16 m/s au point de mesure à 2,5 m à 0,29 m/s au point de mesure situé au bureau en vitesse 3 (+81 %) et de 0,13 m/s à 0,20 m/s en vitesse 2 (+ 54 %). Cette augmentation sensible des vitesses à cette hauteur à proximité du bureau peut s'expliquer par une déviation vers le haut du flux de diffusion au sol en présence d'un bureau. Cet effet entraine par ailleurs une augmentation de la vitesse moyenne ressentie en position assise de 0,20 m/s en 2,50 m du brasseur à 0,27 m/s au niveau du bureau (+ 35 %).

Ces essais montrent par ailleurs, qu'à vitesse identique, la déviation du flux d'air générée par la table positionnée sous le brasseur n'a qu'un effet très limité (et compris dans l'écart-type) sur les valeurs de vitesses obtenues quel que soit la hauteur d'observation ou la posture. Cette observation est cohérente avec la conclusion de la section précédente restreignant l'influence d'une table positionnée sous un brasseur à sa périphérie directe.

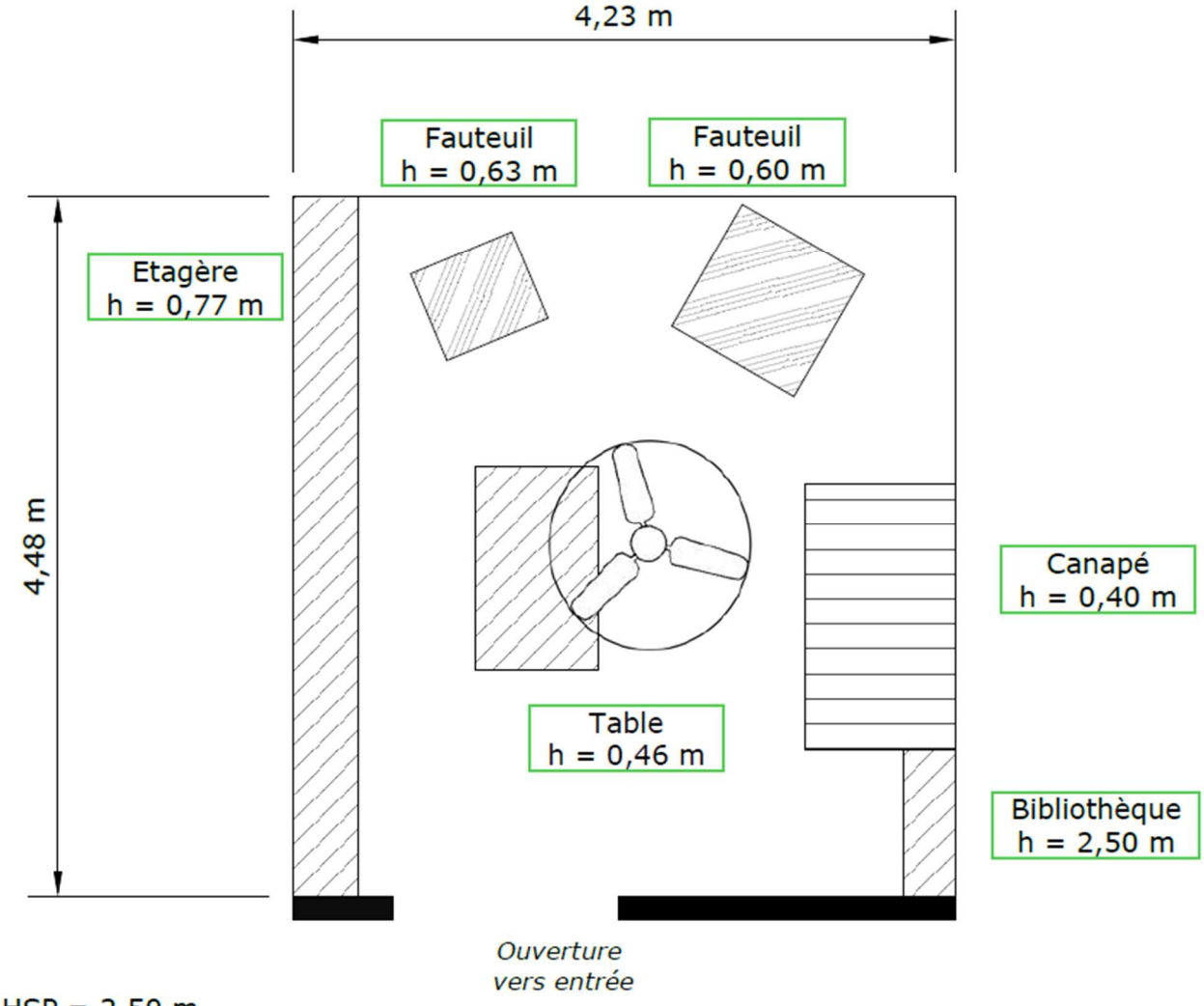
On observe enfin que, dans l'ensemble des configurations, **la vitesse ressentie quelle que soit la posture ne peut pas être décrite par une mesure à une hauteur unique étant donné la forte hétérogénéité des mesures aux différentes hauteurs**. Le critère d'homogénéité du champ de vitesse d'air donné par la norme IS0 7726 [17] oblige à avoir une différence entre les vitesses mesurées à chaque hauteur et la vitesse moyenne dans la posture considérée inférieure à deux fois la valeur de précision de l'anémomètre requise par cette norme (0,05 m/s), soit 0,10 m/s. Les écarts avec la moyenne en position assise sont respectivement de 0,17, 0,02 et 0,19 m/s à 36 cm, 60 cm et 120 cm et les écarts avec la moyenne en position debout sont respectivement de 0,23, 0,13 et 0,09 m/s à 36 cm, 120 cm et 170 cm, ce qui confirme l'hétérogénéité du champ de vitesse d'air au sens de la norme en présence d'un brasseur d'air, alors même que ce point de mesure est situé dans la zone de recirculation dans laquelle les vitesses sont les moins hétérogènes.

On constate toutefois que la vitesse moyenne ressentie en position assise est très proche de la vitesse mesurée à 60 cm, ce qui pourrait permettre d'envisager une unique mesure de vitesse à cette hauteur dans le cadre d'un protocole simplifié. Cette observation doit cependant être vérifiée sur l'ensemble des mesures de cette étude afin d'être confirmée et qu'une telle simplification puisse être proposée. Cette analyse sera proposée en fin de ce document dans le cadre des recommandations sur un protocole de mesures in-situ. Une telle proposition ferait toutefois sortir ces mesures du champ de la norme ISO 7726 et par extension de la norme ISO 7730 [21] relative à la qualité des ambiances thermiques intérieures ainsi que des normes de confort thermiques qui lui sont associées, l'ASHRAE 55 [18] et EN 16798 [21].

3.2 REX S-01 : APPARTEMENT – Salon

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Salon au R+3	Surface de vitrage	5,94 m²
Typologie	Logement	Surface des ouvrants	4,75 m²
Localisation	Marseille (13)	Orientation menuiseries	235 SW
Altimétrie du projet	31 m	Protections solaires	Balcon
Environnement	Urbain moyennement dense	Climatisation	Non
Surface utile	18,95 m²	Ventilation	Non
Volume	47,37 m³	Ventilation traversante	Oui
Surface déper. Ext.	10,57 m²	Surventilation nocturne	Manuelle possible

PLANS



HSP = 2,50 m
BA = Hunter Industry II - 132

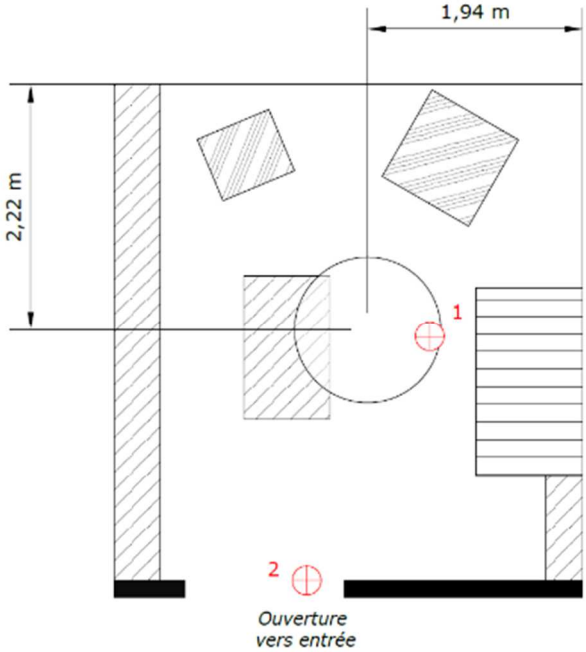
PHOTO

DESCRIPTION DU BRASSEUR

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Industrie II		
Diamètre	132 cm		
Nbre. De pales	3		
Distance au mur	1,94 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande/régulation	Commande murale		
Nombre de vitesses	3		
Données Constructeur	**V1**	**V2**	**V3**
Vitesse de rotation (tr/min)	79	127	157
Débit (m3/h)	5134	7524	8902
Puissance (W)	16	39	65
Efficience énergétique (m3/h/W)	321	191	136
Bruit (dBA)	26,3	32,8	39

PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	25/08/2022
Durée de la mesure	Entre 10,9 et 39,3 min./pt
Nombre de points	2
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	32



RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 27,5°C / 80%

Représentation des principaux résultats en plan :

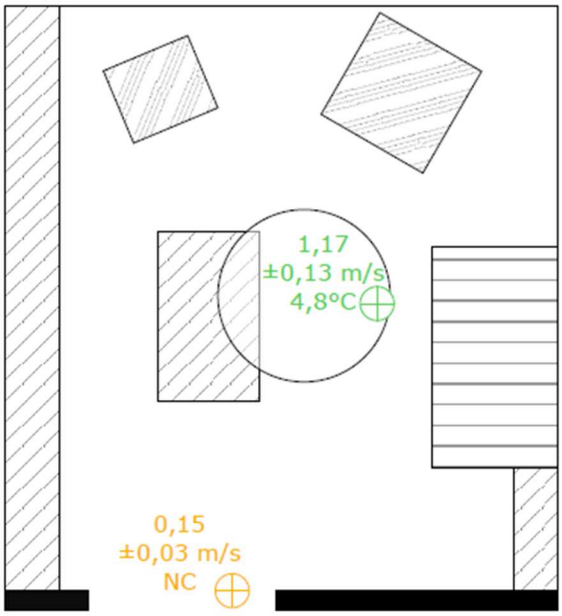


Figure Rex S-01-1 : Position debout – V2

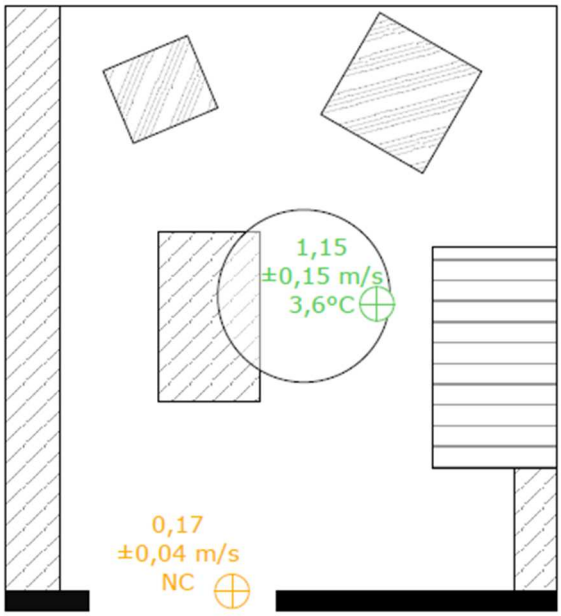


Figure Rex S-01-2 : Position assise – V2

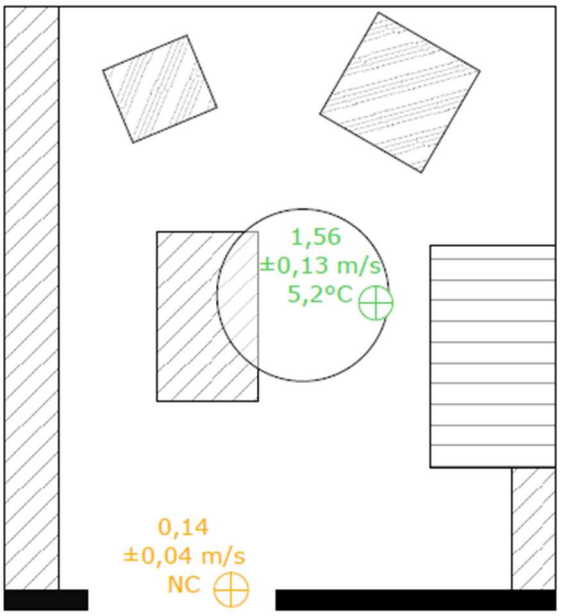


Figure Rex S-01-3 : Position debout – V3

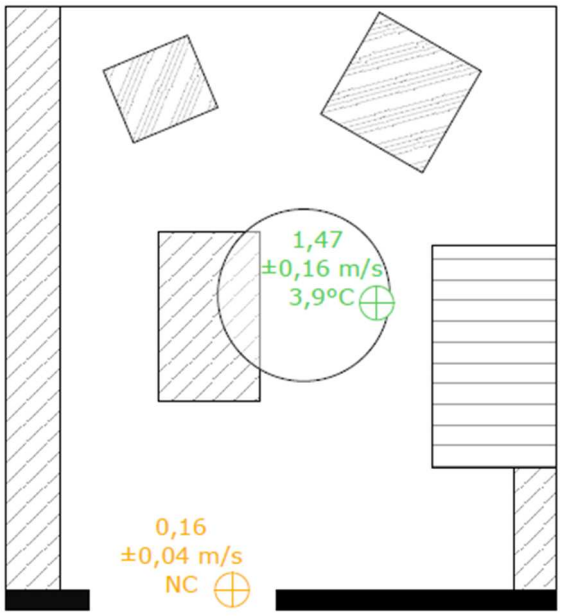


Figure Rex S-01-4 : Position assise – V3

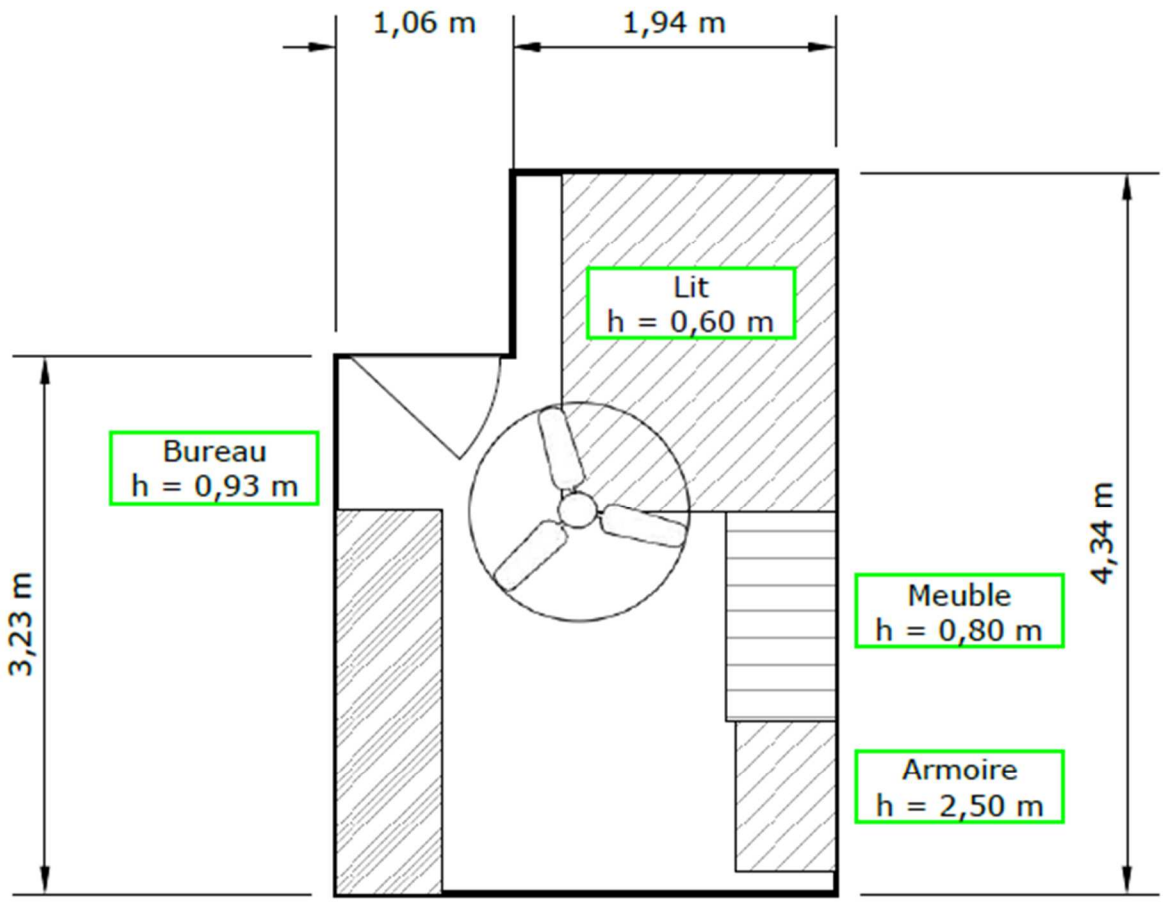
Observations particulières :

- Une position de mesure a été choisie au niveau de l'ouverture vers l'entrée de l'appartement. Les vitesses d'air qui y sont mesurées sont très faibles quelles que soient la vitesse et la posture, ce qui semble indiquer que le courant d'air vers cette pièce contigüe est très limité.
- Diminution de la vitesse d'air de V3 à V2 = 21 % (assis) et 25 % (debout) sous le brasseur, pas d'impact au niveau de l'ouverture

3.3 REX S-02 : APPARTEMENT – Chambre

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Chambre au R+3	Surface de vitrage	2,20 m²
Typologie	Logement	Surface des ouvrants	2,20 m²
Localisation	Marseille (13)	Orientation menuiseries	30 NE
Altimétrie du projet	31 m	Protections solaires	Non
Environnement	Urbain moyennement dense	Climatisation	Non
Surface utile	11,84 m²	Ventilation	Non
Volume	29,60 m³	Ventilation traversante	Oui
Surface déper. Ext.	7,50 m²	Surventilation nocturne	Manuelle possible

PLANS



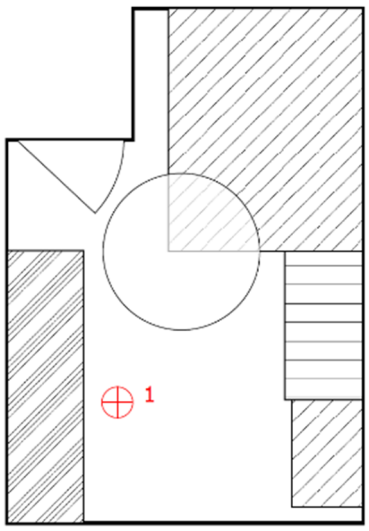
HSP = 2,50 m
BA = Hunter Industry II - 132

DESCRIPTION DU BRASSEUR

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Industrie II		
Diamètre	132 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur de pales	2,14 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance au mur	10 cm		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande/régulation	Commande murale		
Nombre de vitesses	3		
Données Constructeur	**V1**	**V2**	**V3**
Vitesse de rotation (tr/min)	79	127	157
Débit (m3/h)	5134	7524	8902
Puissance (W)	16	39	65
Efficience énergétique (m3/h/W)	321	191	136
Bruit (dBA)	26,3	32,8	39

PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	25/08/2022
Durée de la mesure	Entre 18,8 et 20,1 min./pt
Nombre de points	1
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	8



RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 28°C / 75%

Représentation des principaux résultats en plan : ±

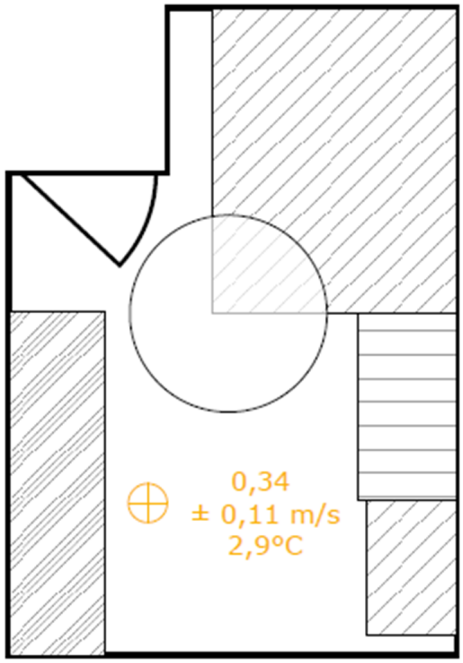


Figure Rex S-02-1 : Position debout – V2

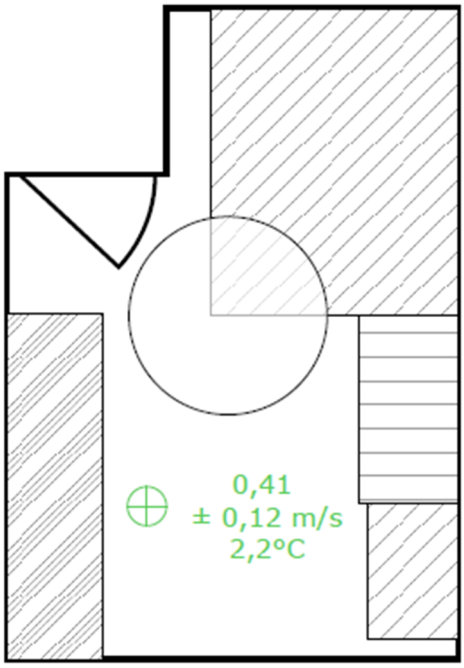


Figure Rex S-02-2 : Position assise – V2

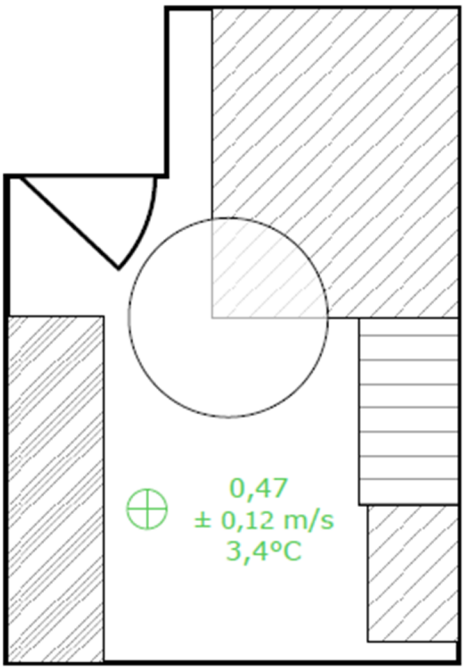


Figure Rex S-02-3 : Position debout – V3

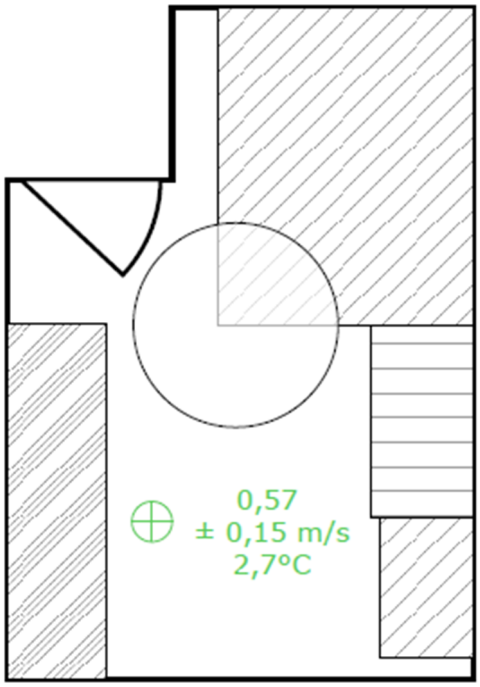


Figure Rex S-02-4 : Position assise – V3

Observations particulières :

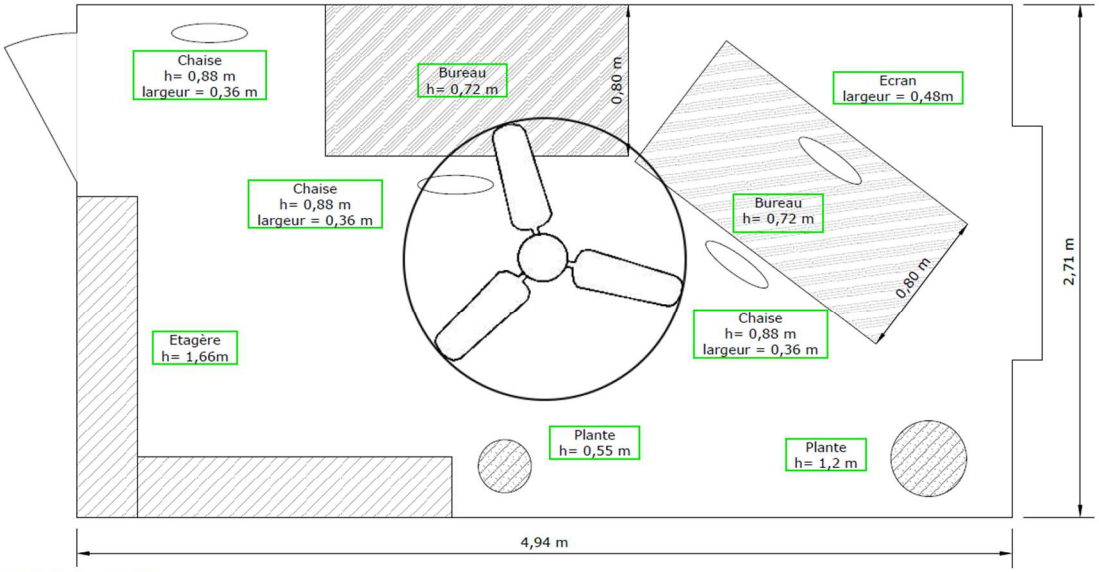
- Diminution de la vitesse de V3 à V2 = 28 % dans les deux postures

3.4 REX S-03 : BUREAU D'ETUDES – Bureau 2 postes

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Bureau 2 postes	Surface de vitrage	2,80 m²
Typologie	Tertiaire	Surface des ouvrants	2,24 m²
Localisation	Marseille (13)	Orientation menuiseries	344° N
Altimétrie du projet	12 m	Protections solaires	Volet à la française
Environnement	Urbain dense	Climatisation	Non
Surface utile	13,38 m²	Ventilation	Non
Volume	42,58 m³	Ventilation traversante	Non
Surface déper. Ext.	8,61 m²	Surventilation nocturne	Non

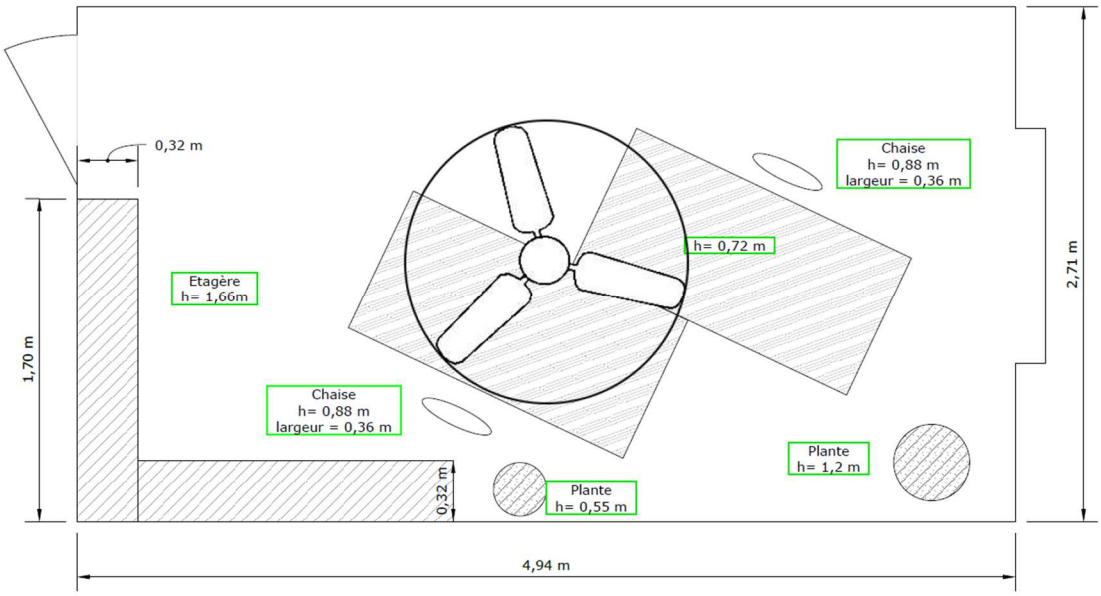
PLANS

Plan avec mobilier de la campagne 1 :



BA : Hunter Industry II 150
HSP = 3,18 m
HSBA = 2,82 m

Plan avec mobilier de la campagne 2 :

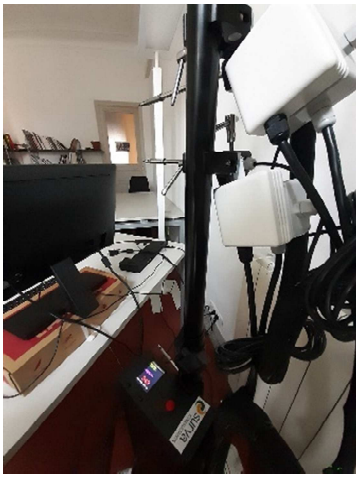


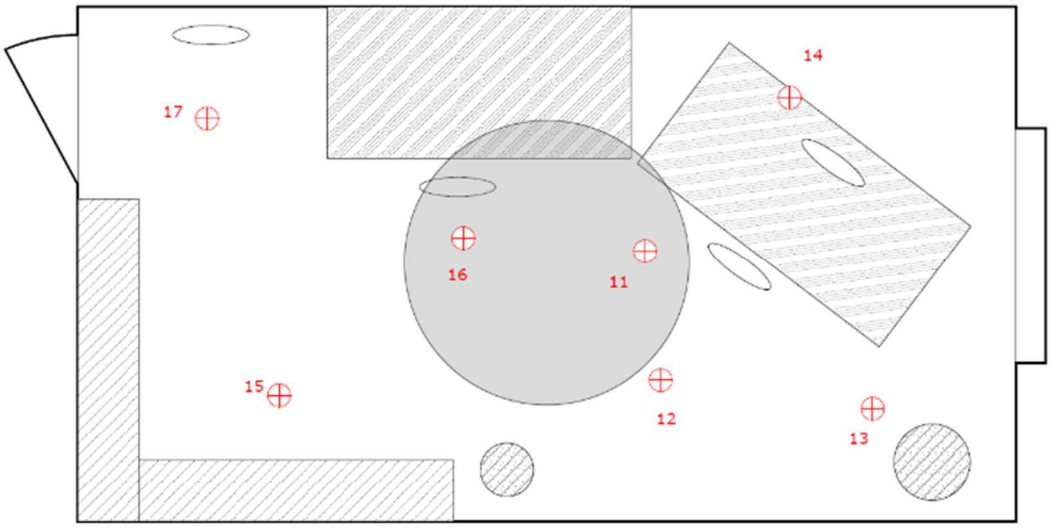
PHOTO

Vue côté fenêtre

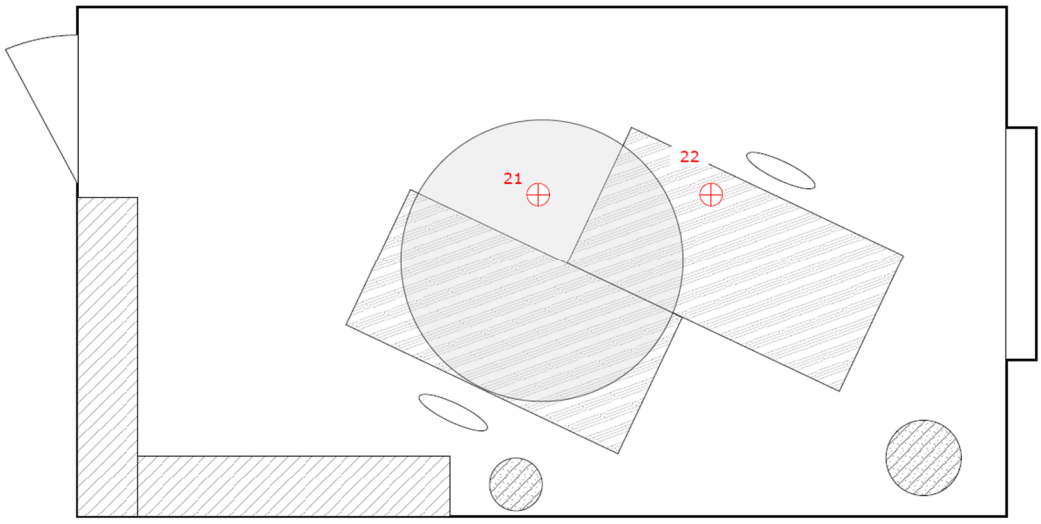
Vue côté porte

DESCRIPTION DES BRASSEURS				
Nombre	1			
Marque	Hunter			
Modèle	Tribeca			
Diamètre	152 cm			
Nbre. De pales	3			
Hauteur sous pales	2,82 m			
Distance pales/plafond	36 cm			
Distance mini. au mur	1,35 m			
Réversible été/hiver	Oui			
Eclairage intégré	Non			
Commande	Mobile			
Nombre de vitesses	3			
Données Constructeur	**V1**	**V2**	**V3**	
Vitesse de rotation (tr/min)	62	103	146	
Débit (m3/h)	4078	7115	10340	
Puissance absorbée (W)	16	38,5	72	
Efficacité énergétique (m^3/W/h)	261	185	144	
Bruit (dBA)	-	-	-	

PROTOCOLE DE MESURE		
Nom du protocole	Surya_V1 et Surya_V2	
Matériel	Anemona_V1	
Opérateur(s)	Surya Consultants	
Date	04/07/2022 et 25/08/2022	
Durée de la mesure	C1 : Entre 2 et 15min./pt. C2 : Entre 9,6 et 21,1min./pt.	
Nombre de points	C1 : 7 C2 : 2	
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m	
Nbre de mesure	C1 : 70 C2 : 16	



Campagne 1



Campagne 2

RESULTATS

1- Première campagne

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 31°C / 70%

Représentation des principaux résultats en plan :

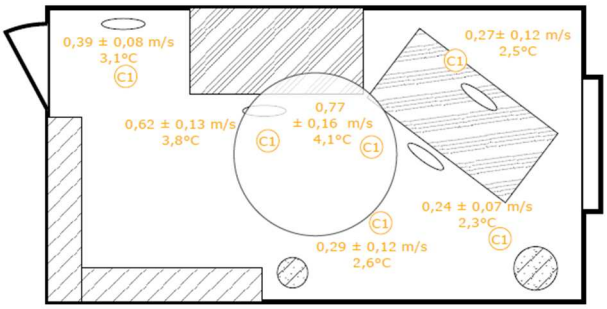


Figure Rex S-03-1 : Position debout – V2

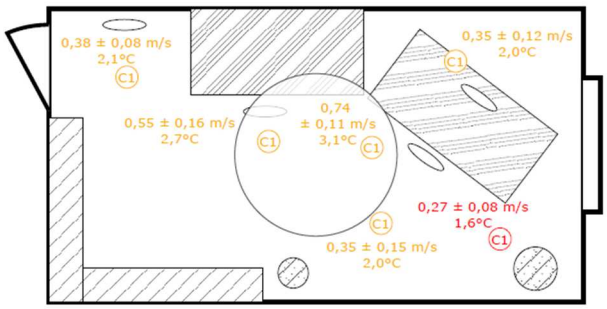


Figure Rex S-03-2 : Position assise – V2

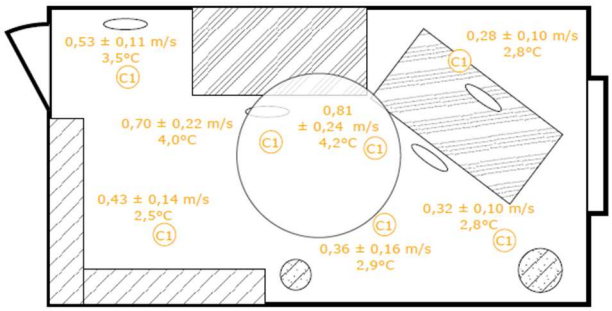


Figure Rex S-03-3 : Position debout – V3

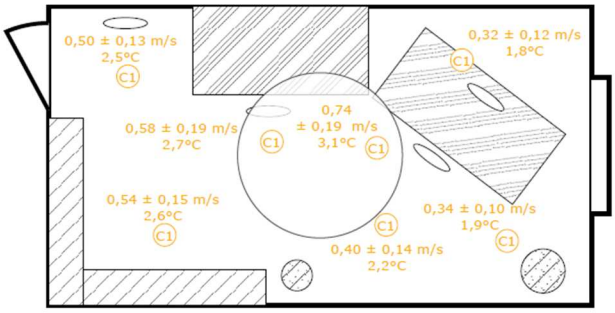


Figure Rex S-03-4 : Position assise – V3

Observations particulières :

Il est difficile de dégager des tendances claires à l'analyse de ces mesures car l'échantillonnage de la mesure était trop lent lors de la première campagne pour obtenir des valeurs moyennes avec un intervalle de confiance satisfaisant. Plusieurs observations sont donc à relativiser au regard de l'écart type inhérent aux mesures de vitesses d'air en écoulement turbulent tel que celui rencontré en présence de brasseurs :

- Les différences de vitesses mesurées entre les deux positions choisies sous le brasseur sont comprises dans l'écart-type qui atteint jusqu'à ± 0,24 m/s dans le cas de plusieurs mesures, l'écart type moyen étant de ± 0,23 m/s en vitesse 3 et ± 0,15 m/s en vitesse 2 sur l'ensemble des 5 mesures réalisées à chaque position.
- La variation des vitesses d'air mesurées suite à la diminution de la vitesse de fonctionnement de V3 à V2 varie entre -46 % (point 13, h = 170 cm) et + 37 % (point 14, h = 36 cm), la valeur moyenne étant de -16 % sur l'ensemble des 30 valeurs mesurées.
- Les vitesses mesurées au point 17 (le plus proche de la porte) sont plus élevées que les autres vitesses mesurées aux autres points situés en zone de recirculation. Si cette observation peut être justifiée par un courant d'air dû à une mauvaise étanchéité à l'air, il nous est impossible d'en avoir la certitude alors même qu'il s'agit de la position où les écarts types sont les plus faibles (0,1 m/s), ce qui tendrait à montrer un écoulement plus laminaire. Une mesure à brasseur immobile a été réalisée au centre de la pièce et a conduit à une valeur de vitesse de 0,06 m/s, ce qui ne permet pas de montrer ou d'infirmer l'existence d'un courant d'air extérieur au niveau de la porte

A l'issue de cette première campagne d'essai, ces observations ont conduit à modifier la fréquence des mesures en passant de 1 mesures par minutes à 1 mesures toutes les 7 secondes afin de pouvoir augmenter l'exactitude des mesures réalisées sans trop augmenter la durée d'acquisition. Le critère d'exactitude défini pour les essais en laboratoire a été utilisé afin de valider les durées d'acquisition lors de la seconde campagne d'essai.

2- Seconde campagne

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 28,5°C / 65%

Représentation des principaux résultats en plan :

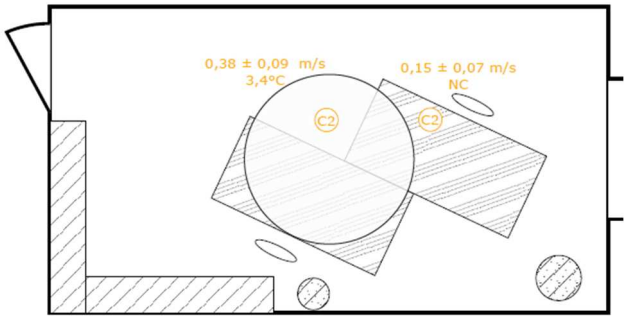


Figure Rex S-03-5 : Position debout – V1

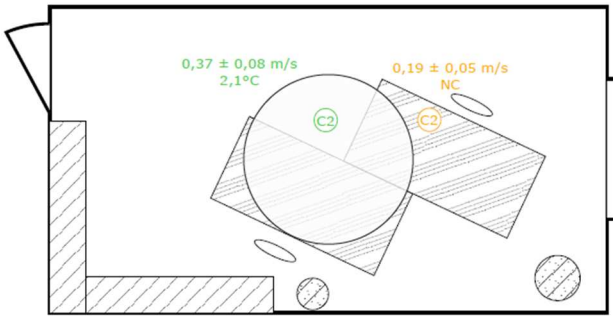


Figure Rex S-03-6 : Position assise – V1

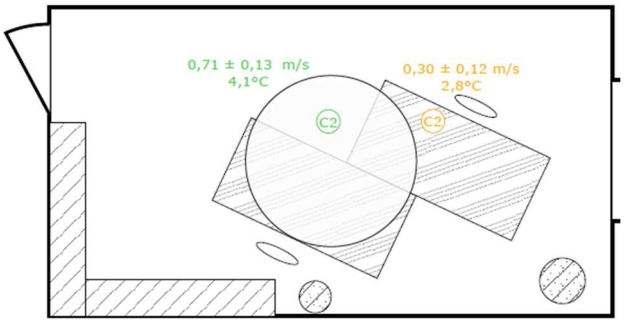


Figure Rex S-03-7 : Position debout – V3

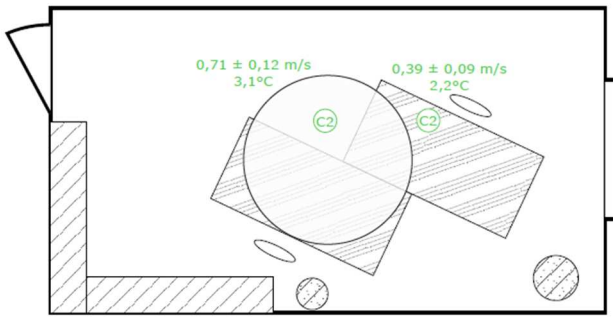


Figure Rex S-03-8 : Position assise – V3

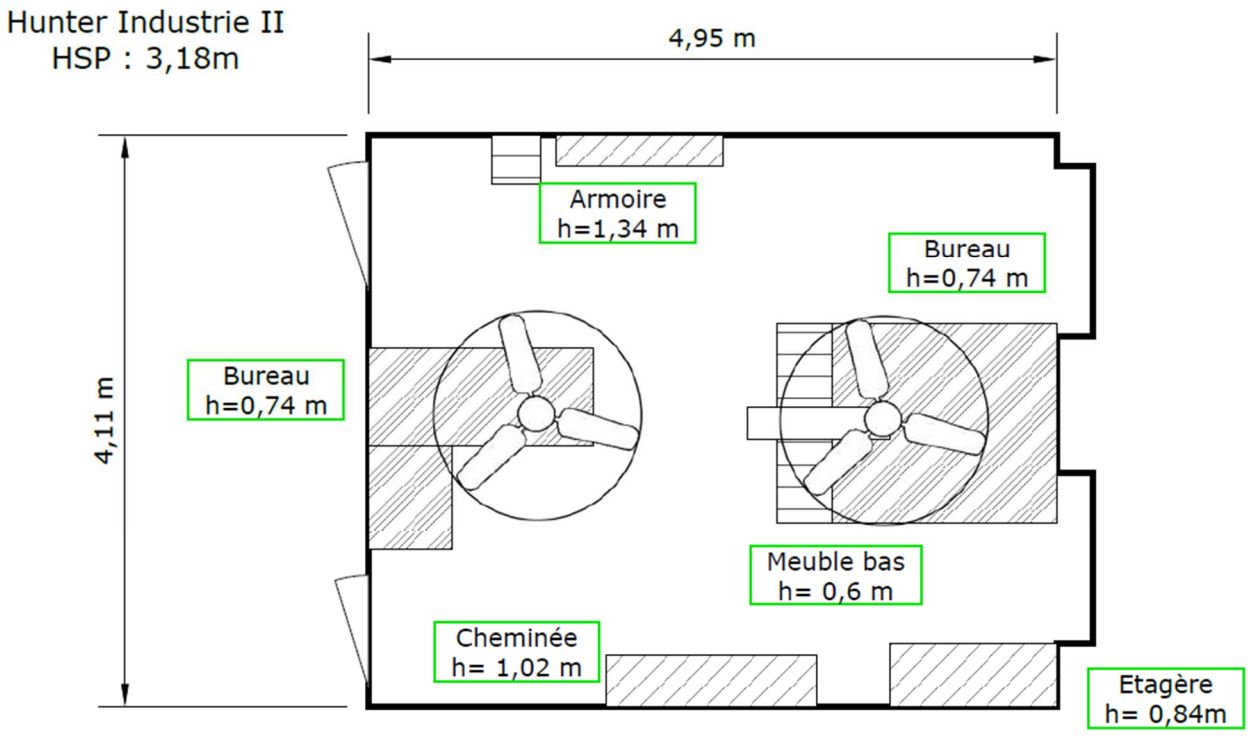
Observations particulières :

- Le mobilier du bureau a été déplacé entre les deux campagnes, il est donc difficile de comparer les mesures.
- Suite à une erreur de l'opérateur, les mesures ont été réalisés en vitesse 1 au lieu d'être réalisées en vitesse 2, ce qui empêche de vérifier le pourcentage de diminution de la vitesse lors du passage de V3 à V2.
- Les vitesses obtenues à la vitesse 3 sont similaires à celles obtenues lors de la première campagne.
- Pour les mesures sous le brasseur en vitesse 3, les écarts types sont plus faibles dans cette seconde campagne (entre ± 0,11 et ± 0,15 m/s selon les hauteurs pour un écart type moyen de ± 0,12 m/s) que lors de la première campagne (entre ± 0,14 et ± 0,29 m/s selon les hauteurs pour un écart type moyen de ± 0,23 m/s). Cela montre que l'augmentation de la fréquence d'échantillonnage permet de mieux rendre compte de la distribution des valeurs de vitesses qui, comme montré lors des études en laboratoire [11], suit une loi normale autour de la moyenne. L'obtention de valeurs extrêmes sur un échantillon limité pouvant fausser aussi bien la moyenne ou l'écart-type de la distribution.
- Le passage de V3 à V1 entraine une diminution de la vitesse d'air ressentie de 45 % sous le brasseur (variant entre 42 et 49 % selon les hauteurs de mesures) et de 50 % au niveau du bureau (variant entre 50 et 53 % selon les hauteurs de mesures).

3.5 REX S-04 : BUREAU D'ETUDES – Bureau 3 postes

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Bureau 3 postes	Surface de vitrage	5,60 m²
Typologie	Tertiaire	Surface des ouvrants	4,48 m²
Localisation	Marseille (13)	Orientation menuiseries	344° N
Altimétrie du projet	12 m	Protections solaires	Volet à la française
Environnement	Urbain dense	Climatisation	Non
Surface utile	20,35 m²	Ventilation	Non
Volume	64,70 m³	Ventilation traversante	Non
Surface déper. Ext.	13.07 m²	Surventilation nocturne	Non

PLANS



La lampe centrale à une hauteur maximale de 1,88m

PHOTO

Vue côté fenêtre

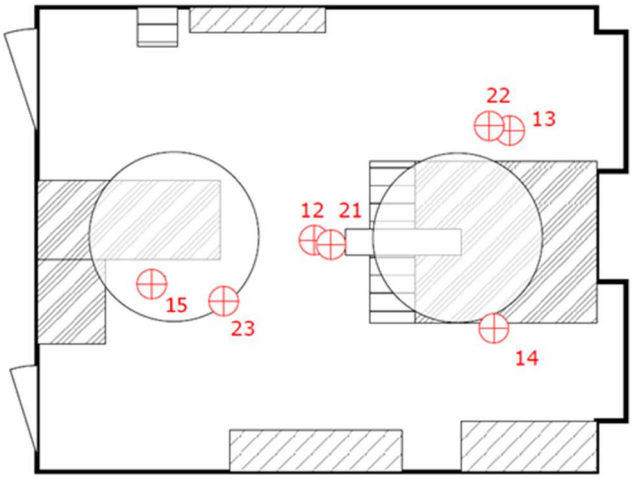
Vue côté porte

DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	2		
Marque	Hunter		
Modèle	Industrie II		
Diamètre	152 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur sous pales	2,82 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance mini. au mur	1,21 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande	Mobile		
Nombre de vitesse	3		
Vitesses	**V1**	**V2**	**V3**
Vitesse de rotation (tr/min)	62	103	146
Débit (m3/h)	4078	7115	10340
P max	16	38.5	72
Efficacité énergétique (m^3/W/h)	261	185	144
Bruit (dBA)	-	-	-

PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V1 et Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/07/2022 et 25/08/2022
Durée de la mesure	C1 : Entre 3 et 6min./pt. C2 : Entre 5,7 et 17,7min./pt
Nombre de points	8
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	C1 : 30 C2 : 24



RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure :

- C1 : 31°C / 70%
- C2 : 29,5°C / 60%

Représentation des principaux résultats en plan :

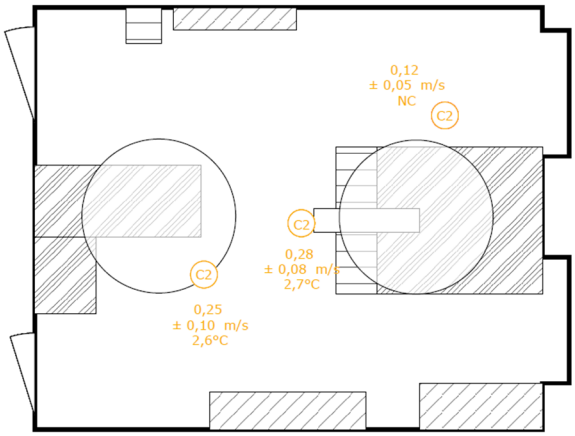


Figure Rex S-04-1 : Position debout – V1

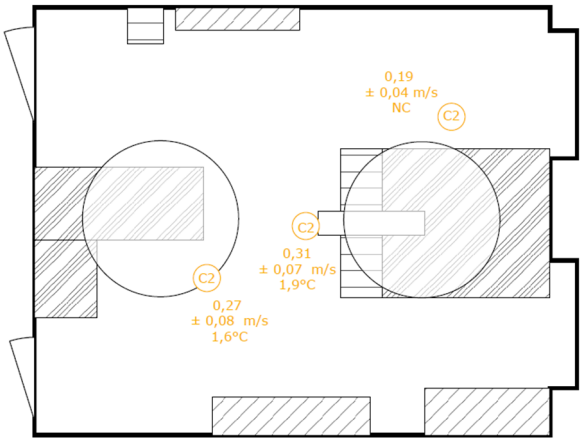


Figure Rex S-04-2 : Position assise – V1

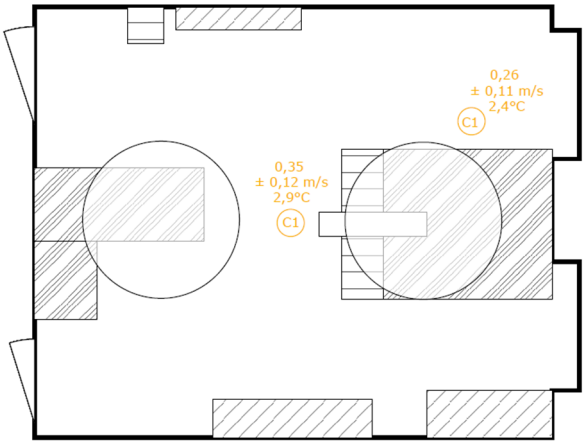


Figure Rex S-04-3 : Position debout – V2

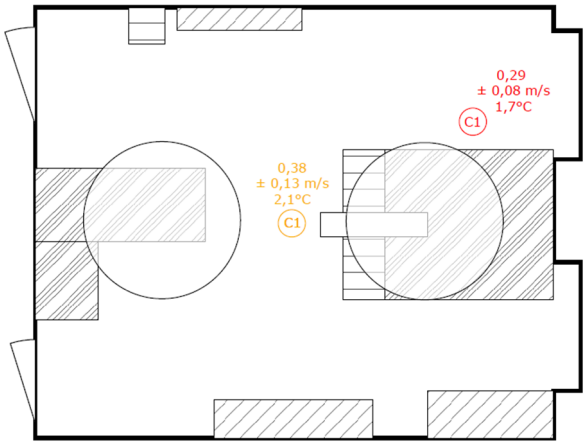


Figure Rex S-04-4 : Position assise – V2

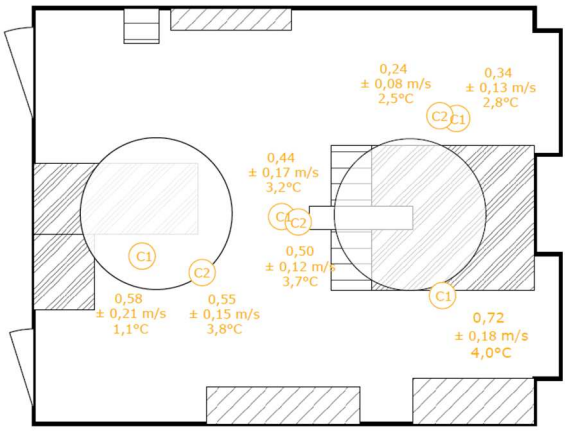


Figure Rex S-04-5 : Position debout – V3

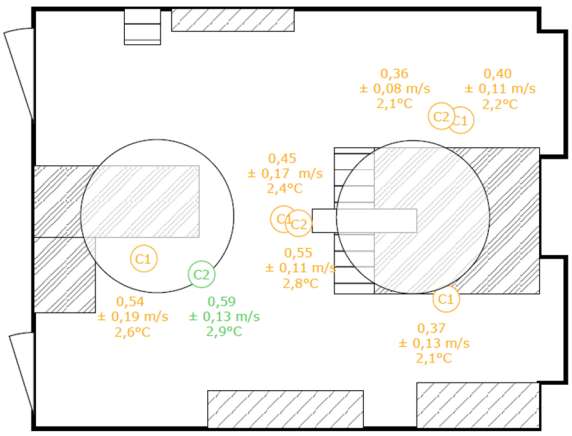


Figure Rex S-04-6 : Position assise – V3

-

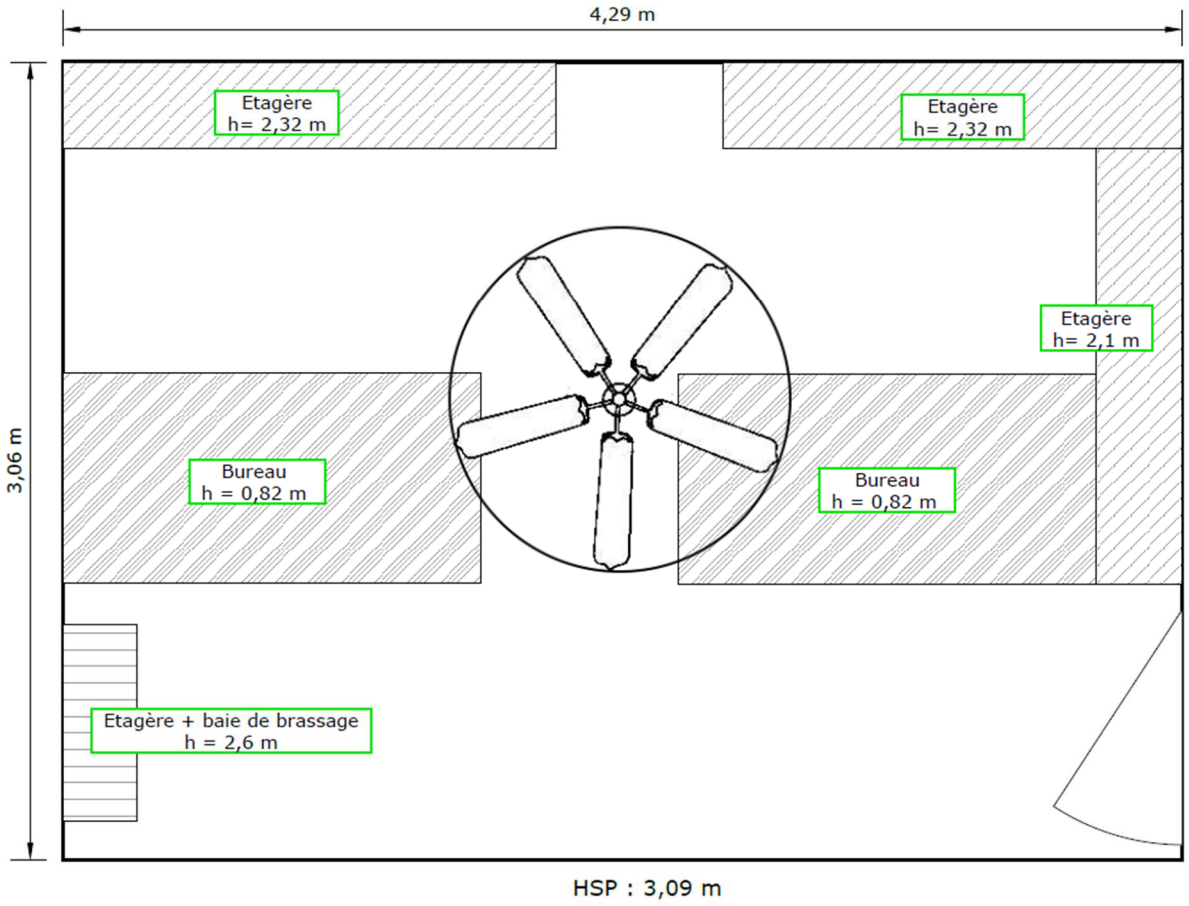
Observations particulières :

- Pour les raisons énoncées dans le REX S-03, les essais de la campagne 1 peuvent présenter des écarts-types importants explicables par un échantillonnage de la mesure inadapté. On observe encore que la nouvelle fréquence d'échantillonnage permet d'obtenir des écarts types plus faibles (compris entre 0,08 m/s et 0,21 m/s selon les mesures lors de la campagne et entre 0,04 m/s et 0,15 m/s lors de la campagne 2), signifiant une mesure plus exacte car moins aléatoire.
- Suite à une erreur de l'opérateur, les essais de la campagne 2 ont été effectué en vitesse 1 au lieu de vitesse 2.
- La diminution de la vitesse d'air ressentie dans chaque posture lors du passage de V3 à V1 est de 44 % entre les brasseurs et de 51 % au niveau des deux bureaux. La diminution de la vitesse d'air ressentie dans chaque posture lors du passage de V3 à V2 est de 22 % au niveau des deux bureaux.
- Pour chaque vitesse de fonctionnement, les vitesses d'air ressenties dans chaque posture sont relativement uniformes sur l'ensemble de positions en zone de recirculation.
- Les points situés entre les brasseurs ne présentent globalement pas de valeurs de vitesses plus élevées que dans le reste de la zone d'entrainement.
- Au point 14, il est observé une valeur de vitesse moyenne très élevée pour la position 'debout'. Ceci est liée à des vitesses mesurées au-dessus du plan du bureau élevées (à 1,70m de hauteur : 1,30 m/s - à 1,32m de hauteur : 0,64 m/s). Ce constat peut s'expliquer par la surface des deux bureaux accolés qui est importante (elle recouvre la surface du brasseur) et devient ainsi la nouvelle surface d'impact. La hauteur sous brasseur se voit par conséquent réduite et le comportement du flux d'air modifié. Le fait qu'il n'est pas constaté les mêmes valeurs au point 13 peut s'expliquer par le sens de rotation du brasseur.

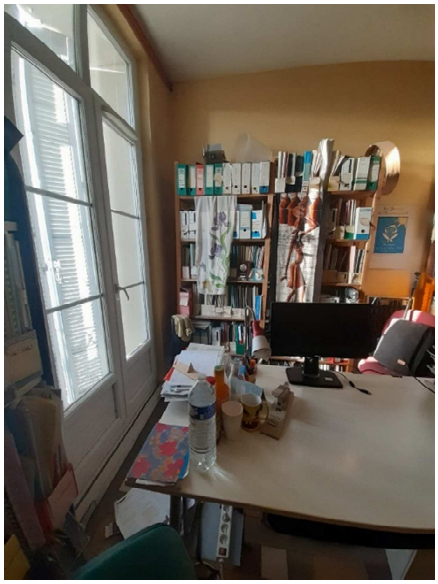
3.6 REX S-05 : ONG – Bureau 2 postes

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Bureau	Surface de vitrage	3,52 m²
Typologie	Tertiaire	Surface des ouvrants	3,00 m²
Localisation	Aubagne (13)	Orientation menuiseries	319 NW
Altimétrie du projet	205 m	Protections solaires	Volet à la française
Environnement	Urbain dense	Climatisation	Non
Surface utile	13,12 m²	Ventilation	NR
Volume	40,56 m³	Ventilation traversante	Non
Surface déper. Ext.	9,45 m²	Surventilation nocturne	Non

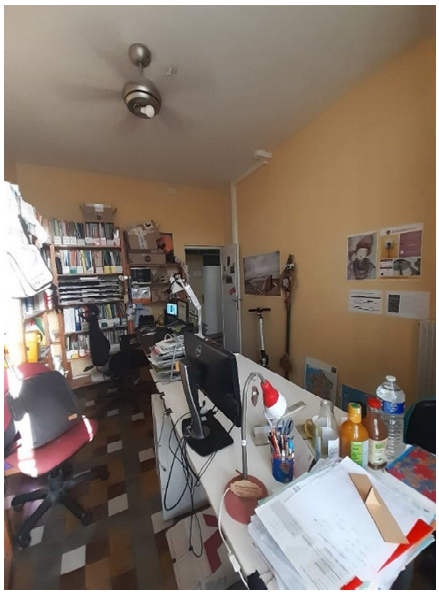
PLANS



PHOTOS



Vue côté fenêtre



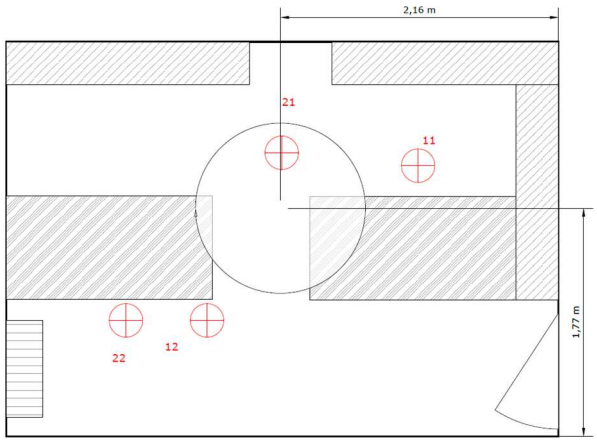
Vue côté porte

DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	TRISTAR		
Modèle	VE-5815		
Diamètre	112 cm		
Nbre. De pales	5		
Hauteur de pales	2,67 m		
Distance pales/plafond	42 cm		
Distance au mur	1,29 m		
Réversible été/hiver	Non		
Eclairage intégré	Oui		
Commande	Mobile		
Nombre de Vitesse	3		
Données Constructeur	**V1**	**V2**	**V3**
Vitesse de rotation (tr/min)	-	-	-
Débit (m^3/h)	-	-	6 155
Puissance absorbée (W)	-	-	45,6
Efficience énergétique ($m^3/W/h$)	-	-	132,6
Bruit (dBA)	-	-	45.2

PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V1 & Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/07/2022 & 25/08/2022
Durée de la campagne	C1 : entre 4 et 6 min./pt. C2 : entre 6,4 et 17,5 min./pt.
Nombre de points	4
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	C1 : 10 C2 :16



RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure :

- C1 : 30,5°C / 65%
- C2 : 27,5°C / 60%

Représentation des principaux résultats en plan :

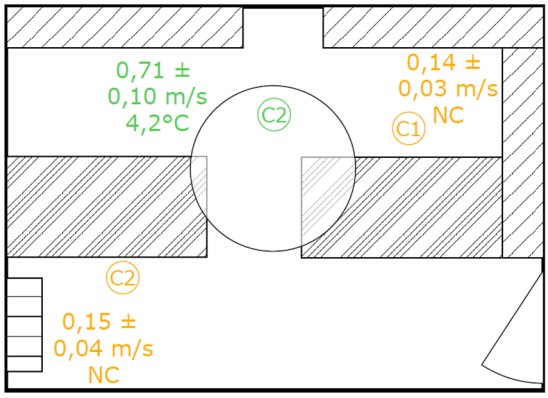


Figure Rex S-05-1 : Position debout – V2

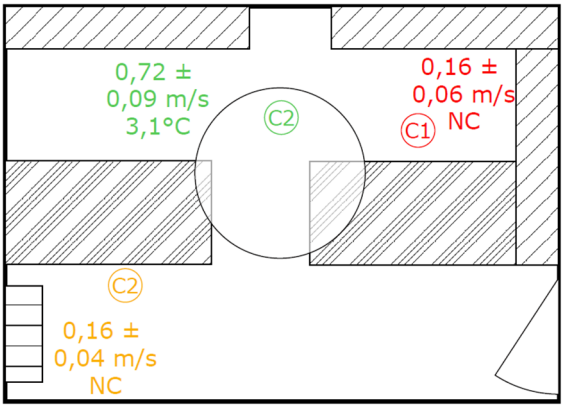


Figure Rex S-05-2 : Position assise – V2

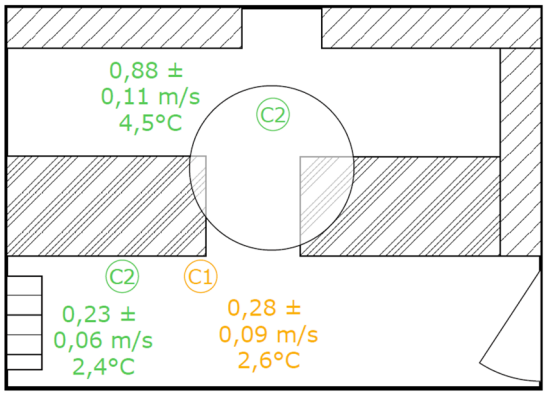


Figure Rex S-05-3 : Position debout – V3

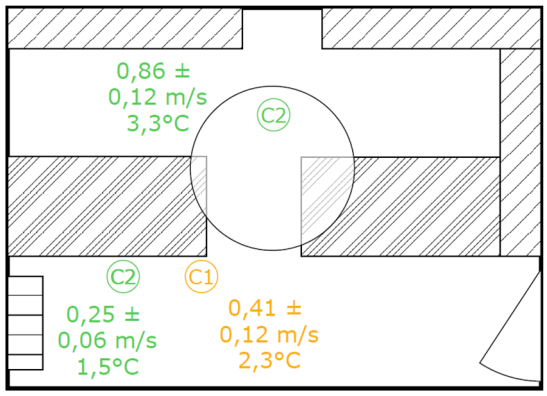


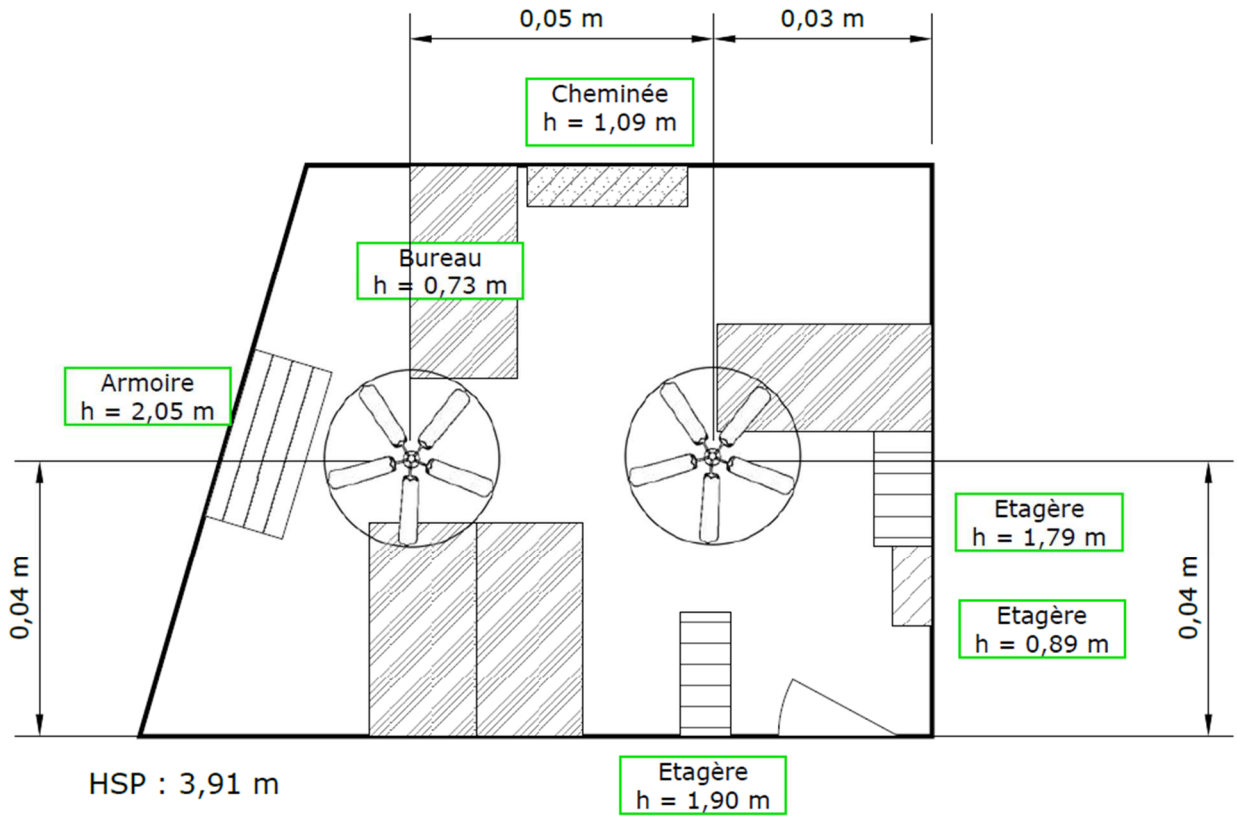
Figure Rex S-05-4 : Position assise – V3

Observations particulières :

- La diminution de vitesse de V3 à V2 conduit à une diminution des vitesses d'air ressenties sous le brasseur (position de mesure 21) de l'ordre de 20 % et varie entre 10 et 28 % selon les hauteurs.
- La diminution de vitesse de V3 à V2 en zone de recirculation ne peut être observée qu'au point 22. Elle conduit à une diminution des vitesses d'air ressenties de l'ordre de 35 % (entre 27 et 39 % selon les hauteurs)
- A vitesse 2, les vitesses d'air ressenties au niveau de chaque bureau sont quasiment égales, ce qui s'explique par une configuration très symétrique. Seuls les points de mesure proches du sol (36 cm) présentent des valeurs de vitesse différentes à ces deux positions. Ceci pourrait s'expliquer par des obstacles spécifiques en amont des positions de mesure.
- A vitesse 3, les deux points de mesures au niveau du bureau (point 12 et 22) présentent des vitesses mesurées à 36 cm et 60 cm très différentes, ce qui conduit à des vitesses ressenties en position assise très différentes. Au niveau du point 12, les vitesses mesurées sont en effet plus importantes (0,49 m/s à 60 cm et 0,58 m/s à 36 cm) car il se situe dans la zone d'élargissement du flux d'air descendant avant la zone de diffusion au sol (phénomène décrit dans l'étude des mesures en laboratoire [11]). Le point 22, se trouvant un peu plus loin, est dans la zone de diffusion au sol où seule la vitesse à 36 cm est plus élevée que les autres (0,16 m/s à 60 cm et 0,37 m/s à 36 cm).

3.7 REX S-06 : ONG – Bureau 4 postes

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Bureau 2 postes	Surface de vitrage	14,10 m²
Typologie	Tertiaire	Surface des ouvrants	12,00 m²
Localisation	Aubagne (13)	Orientation menuiseries	250° W / 319 NW
Altimétrie du projet	205 m	Protections solaires	Volet à la française
Environnement	Urbain dense	Climatisation	Non
Surface utile	22,70 m²	Ventilation	Oui
Volume	77,20 m³	Ventilation traversante	Deux orientations
Surface déper. Ext.	31,10 m²	Surventilation nocturne	Non
PLANS			



PHOTOS

Vue côté fenêtre

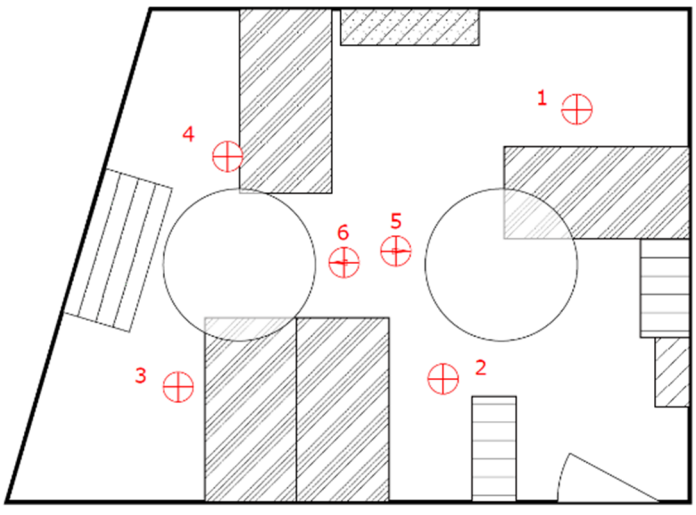
Vue côté porte

DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	TRISTAR		
Modèle	VE-5815		
Diamètre	112 cm		
Nbre. De pales	5		
Hauteur de pales	3,49 m		
Distance pales/plafond	42 cm		
Distance au mur	1,63 m		
Réversible été/hiver	Non		
Eclairage intégré	Oui		
Commande	Mobile		
Nombre de Vitesse	3		
Données Constructeur	**V1**	**V2**	**V3**
Vitesse de rotation (tr/min)	-	-	-
Débit (m^3/h)	-	-	6 155
Puissance absorbée (W)	-	-	45,6
Efficience énergétique ($m^3/W/h$)	-	-	132,6
Bruit (dBA)	-	-	45.2

PROTOCOLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V1
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/07/2022
Durée de la campagne	Entre 2 et 6 min./pt.
Nombre de points	6
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	25



RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 30°C / 65%

Représentation des principaux résultats en plan :

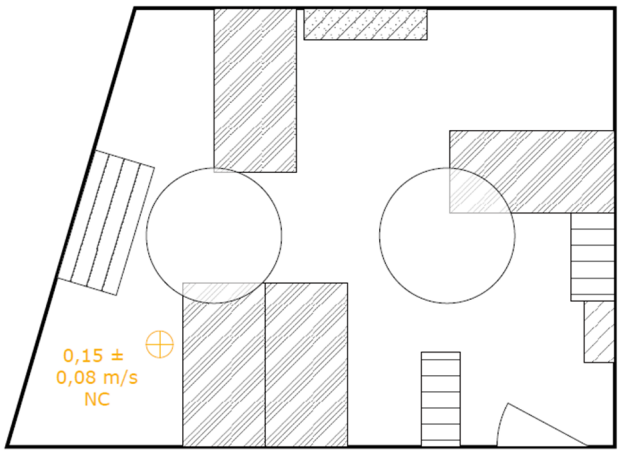


Figure Rex S-06-1 : Position debout – V2

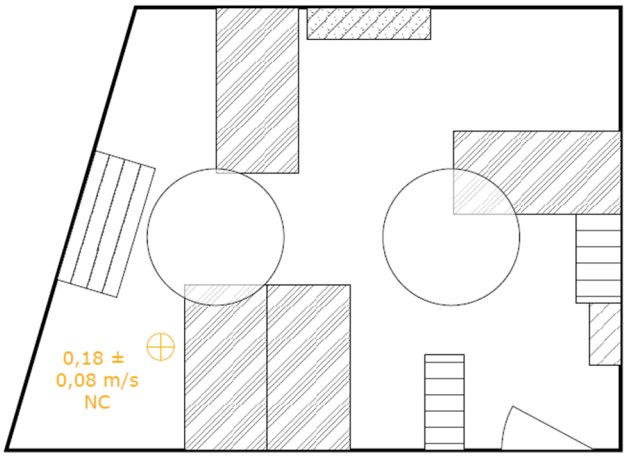


Figure Rex S-06-2 : Position assise – V2

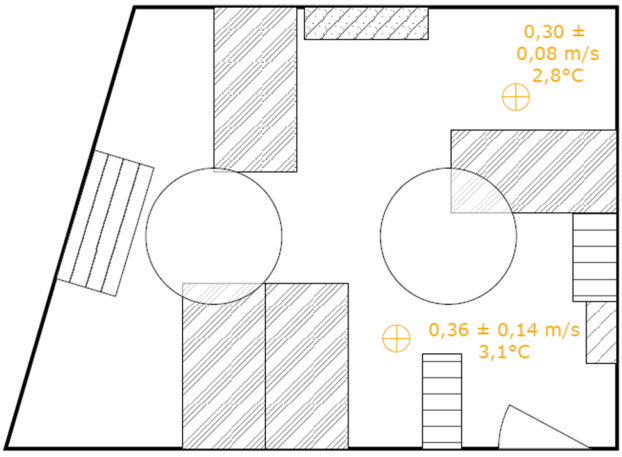


Figure Rex S-06-3 : Position debout – V3

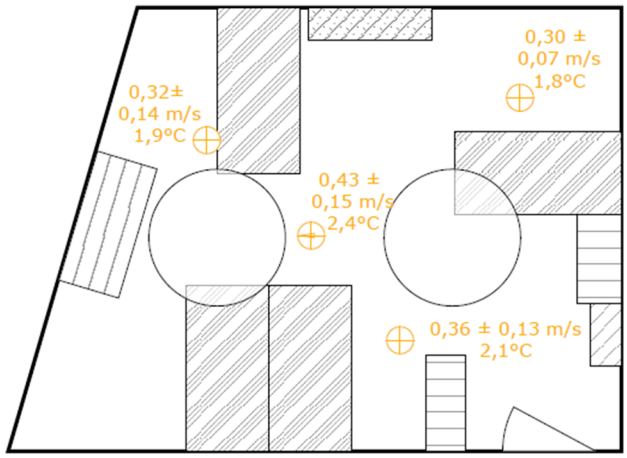


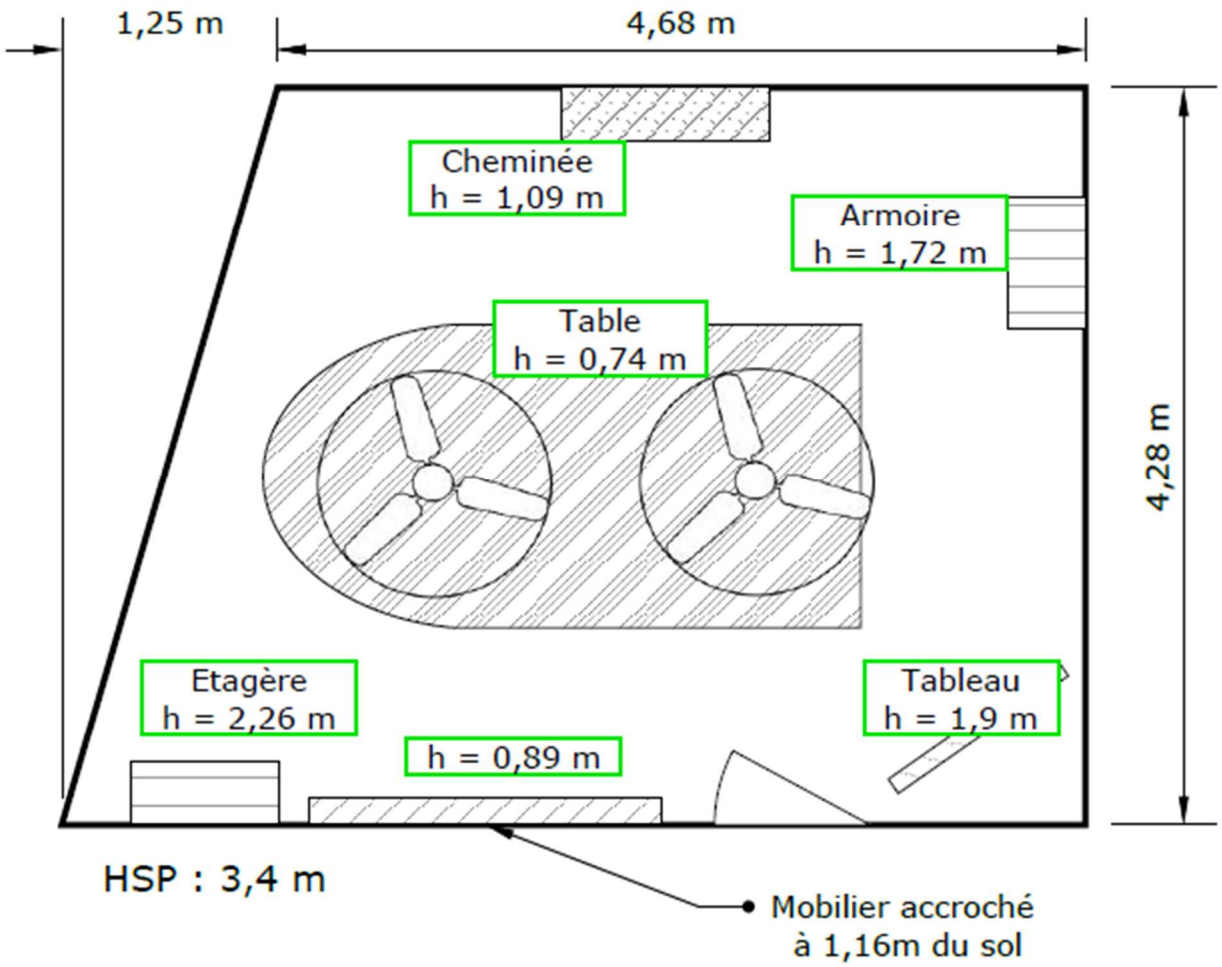
Figure Rex S-06-4 : Position assise – V3

Observations particulières :

- Suite à un problème matériel au niveau de l'interface d'acquisition, la plupart des mesures effectuées en vitesse 2 lors de cette campagne ne sont pas exploitables. Par ailleurs, l'anémomètre à 170 cm a été défectueux à partir du point de mesure n°3, c'est pourquoi une partie des vitesses ressenties en position debout n'ont pas pu être exprimées.
- En zone d'entrainement, quel que soit la position de mesure (excepté le point entre les brasseurs où la vitesse est plus élevée), les vitesses ressenties dans les deux postures sont très semblables.

3.8 REX S-07 : ONG – Salle de réunion

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Salle de réunion	Surface de vitrage	14,10 m²
Typologie	Tertiaire	Surface des ouvrants	12,00 m²
Localisation	Aubagne (13)	Orientation menuiseries	250° W / 319 NW
Altimétrie du projet	205 m	Protections solaires	Volet à la française
Environnement	Urbain dense	Climatisation	Non
Surface utile	22,70 m²	Ventilation	Oui
Volume	77,20 m³	Ventilation traversante	Deux orientations
Surface déper. Ext.	31,10 m²	Surventilation nocturne	Non
PLANS			



PHOTOS

Vue de la partie Ouest

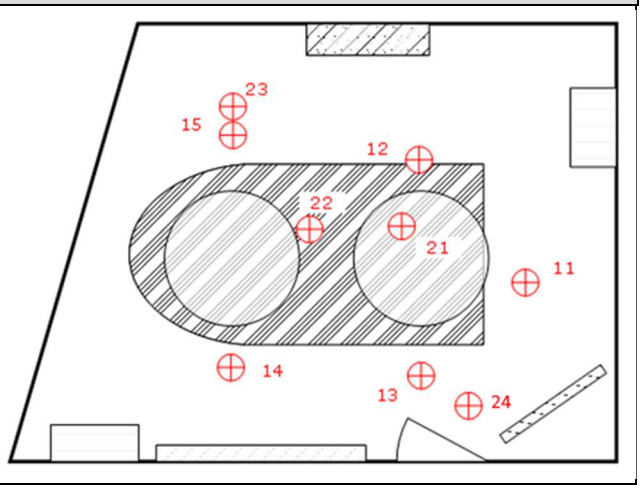
Vue de la partie Nord-Ouest

DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	2		
Marque	INSPIRE		
Modèle	PMC52-3-1L		
Diamètre	112 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur de pales	2,94 m		
Distance pales/plafond	46 cm		
Distance mini. au mur	1,53 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Oui		
Commande	Mobile		
Nombre de vitesses	3		
Données Constructeur	**V1**	**V2**	**V3**
Vitesse de rotation (tr/min)	-	-	-
Débit (m^3/h)	-	-	9450
Puissance absorbée (W)	-	-	55
Efficience énergétique ($m^3/W/h$)	-	-	170
Bruit (dBA)	-	-	< 47,7

PROTOCLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V1 & Surya_V2
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	04/07/2022 & 25/08/2022
Durée de la mesure	C1 : Entre 3 et 5min./pt C2 : Entre 6,2 et 25,8min./pt
Nombre de points	8
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m
Nbre de mesure	C1 : 35 C2 : 32



RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure :

- C1 : 31°C / 65%
- C2 : 26,5°C / 60%

Représentation des principaux résultats en plan :

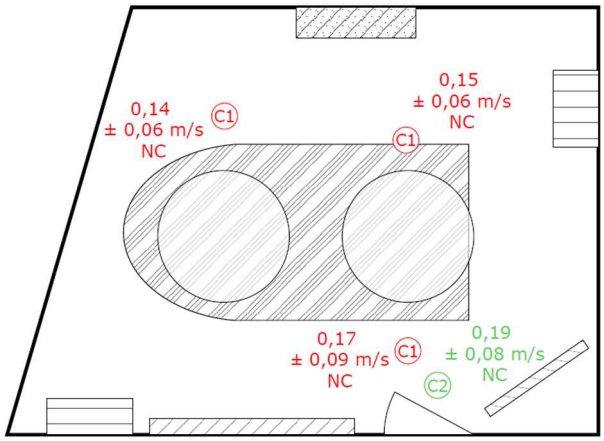


Figure Rex S-03-1 : Position debout – V2

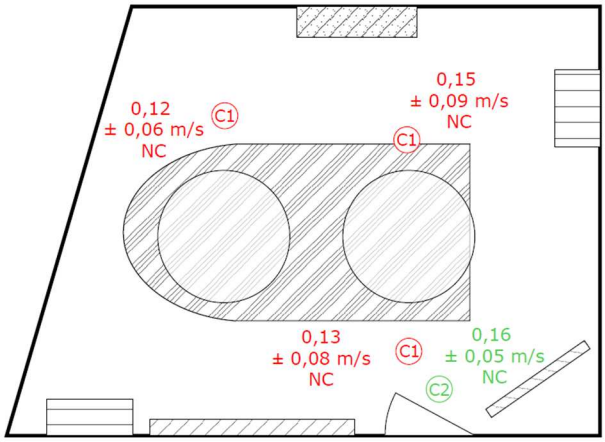


Figure Rex S-03-2 : Position assise – V2

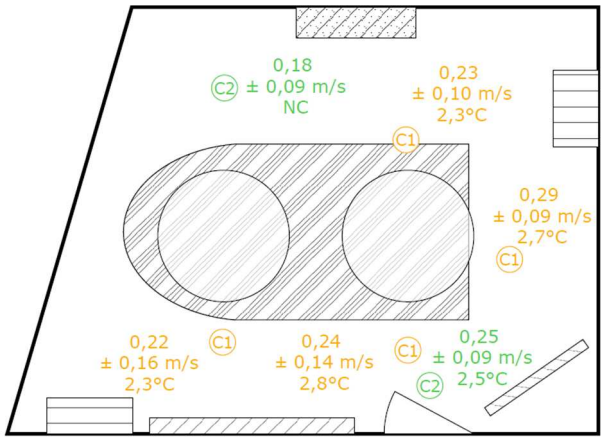


Figure Rex S-03-3 : Position debout – V3

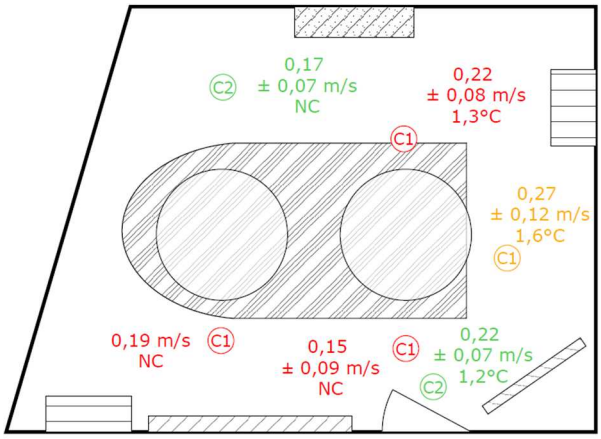


Figure Rex S-03-4 : Position assise – V3

Observations particulières :

- Les valeurs obtenues pendant les deux campagnes sont cohérentes en tenant compte de l'écart-type. Toutes les valeurs sont par conséquent exploitables.
- Les vitesses ressenties sont similaires dans l'ensemble de la zone d'entrainement.
- La température de l'air étant supérieure de 4 °C lors de la première campagne par rapport à la seconde, les effets rafraichissants sont également plus élevés à cause d'un échange évaporatif plus important sans pour autant assurer le confort.
- La Figure 10 montre qu'en l'absence de vitesse d'air les conditions d'ambiance mesurée (T et HR) lors des deux campagnes ne permettent pas de situer l'usager en confort (zone rouge). La mise en marche des brasseurs en vitesse de fonctionnement 3 permet de satisfaire le confort de l'usager au sens de l'ASHRAE Standard 55-2010 avec les conditions d'ambiance observées lors de la campagne 2 mais pas avec celles de la campagne 1 (zone bleue). On constate que, pour les températures intérieures élevées observées lors de la première campagne, ces deux brasseurs ne parviennent pas à maintenir l'usager dans une situation de confort. En effet, pour atteindre, le confort en zone d'entrainement dans les

conditions de la campagne 1, il est nécessaire de générer, au minimum, une vitesse d'air de 2,3m/s en moyenne (zone verte)

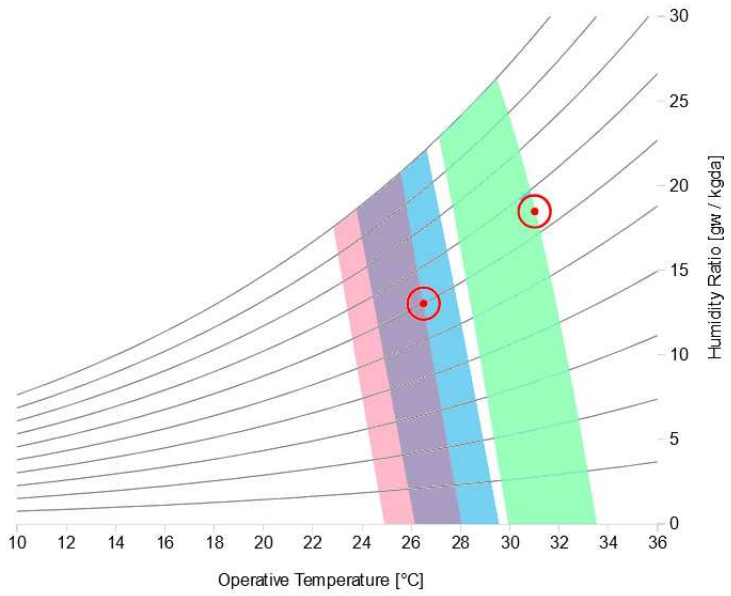
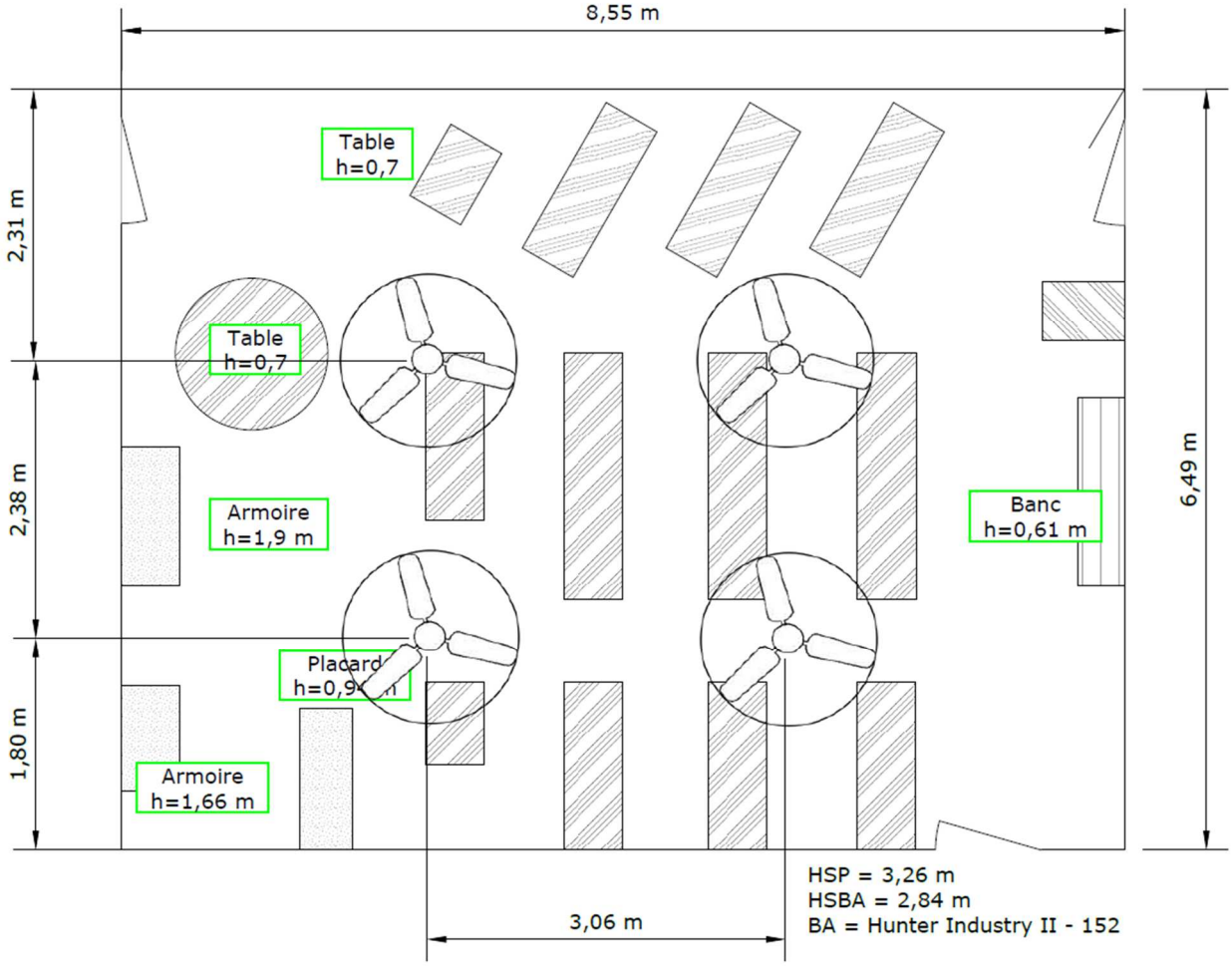


Figure 10 : Diagramme de l'air humide intégrant les zones de confort selon l'ASHRAE Standard 55-2020 en fonction des vitesses d'air mesurée (zone rouge : absence de vitesse d'air / zone bleue : vitesse moyenne mesurée pour une position assise en zone d'entrainement / zone verte : vitesse minimum pour atteindre le confort dans les conditions de la campagne 1) – V3

3.9 REX S-08 : ECOLE – Salle d'enseignement sans faux-plafonds

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Salle d'enseignement primaire	Surface de vitrage	17,40 m²
Typologie	Enseignement	Surface des ouvrants	8,69 m²
Localisation	Miramas (13)	Orientation menuiseries	178° S
Altimétrie du projet	54,8 m	Protections solaires	Casquettes
Environnement	Urbain moyennement dense	Climatisation	Non
Surface utile	55,49 m²	Ventilation	Non
Volume	180,90 m³	Ventilation traversante	Oui
Surface déper. Ext.	27,88 m²	Surventilation nocturne	Non

PLANS



PHOTO

Vue côté fenêtre

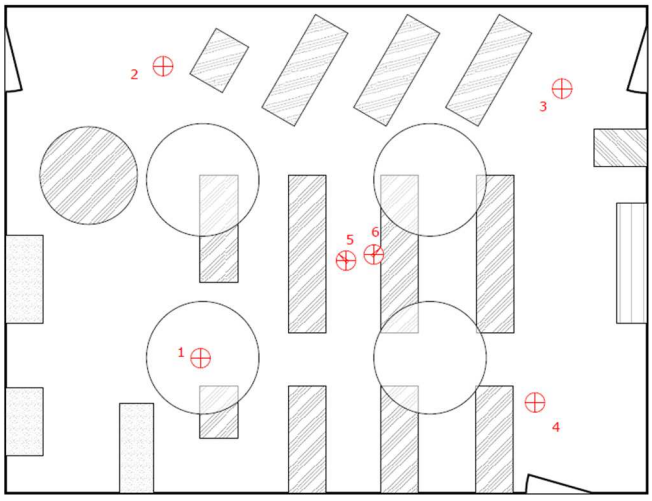
Vue côté porte

DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Tribeca		
Diamètre	152 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur sous pales	2,90 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance au mur	1,80 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande	Murale (sur mesure)		
Nombre de vitesse	3		
Données Constructeur	**V1**	**V2**	**V3**
Vitesse de rotation (tr/min)	62	103	146
Débit (m3/h)	4078	7115	10340
Puissance absorbée (W)	16	38.5	72
Efficacité énergétique (m^3/W/h)	261	185	144
Bruit (dBA)	-	-	-

PROTOCLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V1
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	06/07/2022
Durée de la mesure	Entre 3 et 4 min./pt.
Nombre de points	6
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m
Nbre de mesure	32



RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 33°C / 40%

Représentation des principaux résultats en plan :

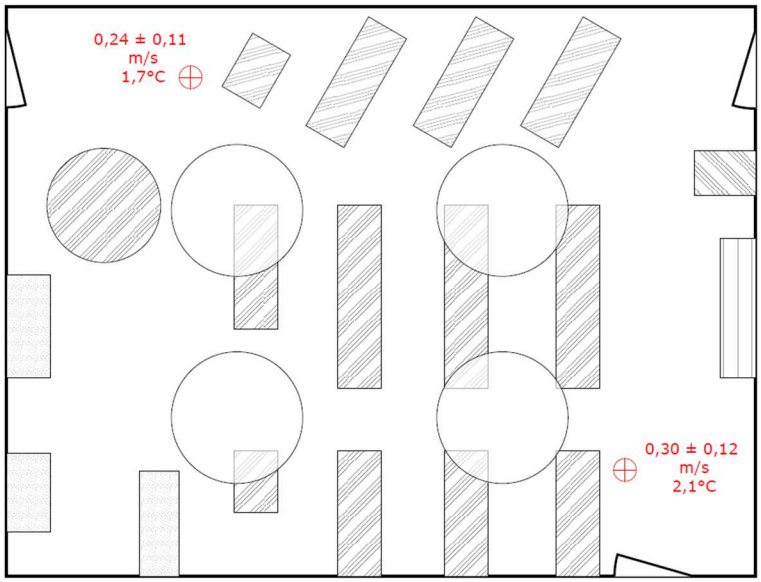


Figure Rex S-10-1 : Position assise – V2

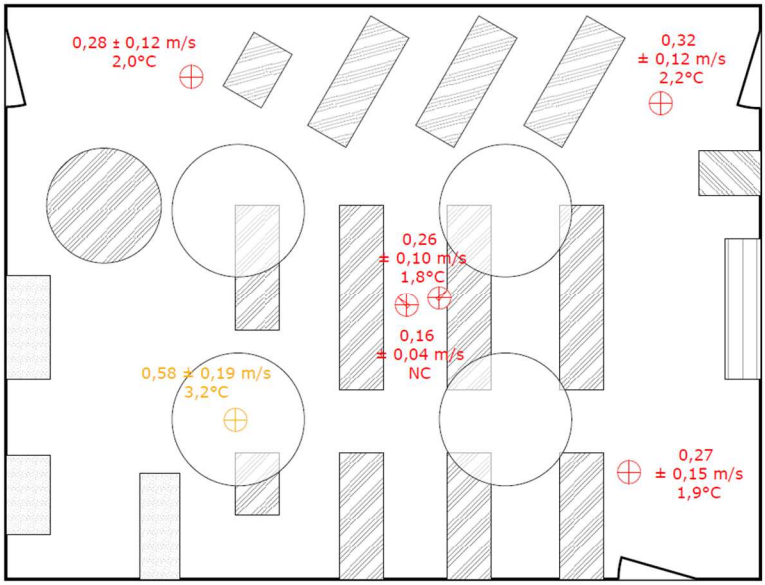


Figure Rex S-10-2 : Position assise – V3

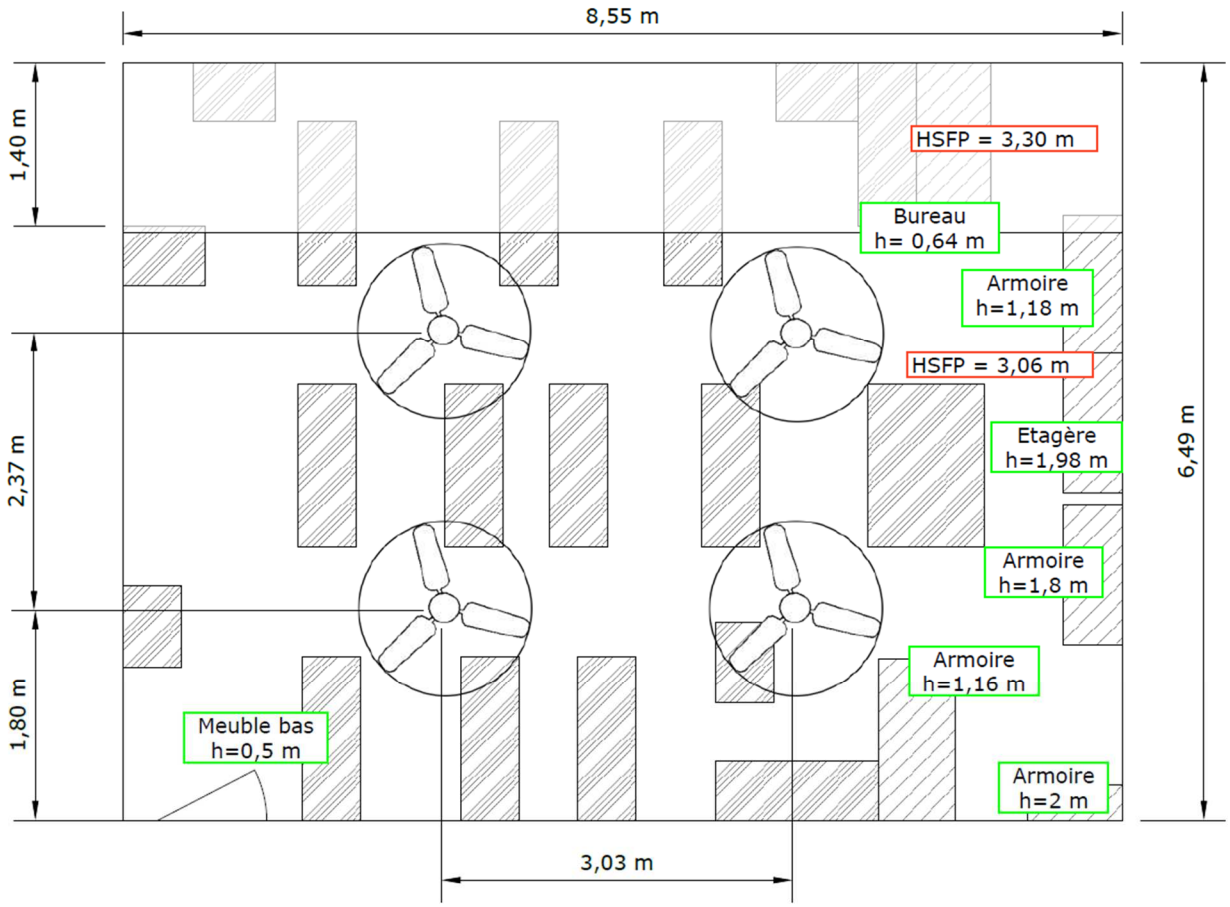
Observations particulières :

- La diminution de vitesse de V3 à V2 conduit à une diminution des vitesses d'air ressenties en zone de recirculation de l'ordre de 10%.
- Les valeurs en zone d'entrainement sont similaires (dans l'écart-type de la mesure)
- La différence entre les valeurs obtenues au point 6 et au point 5 s'explique par des valeurs à 1,20m et 0,60m plus élevées au point 6. La seule différence constatée entre ces deux points est l'orientation des capteurs et leurs distances au centre du brasseur situé dans leur axe. Dans le cas du point 5, la distance est plus importante.

3.10 REX S-09 : ECOLE – Salle d'enseignement avec faux-plafonds

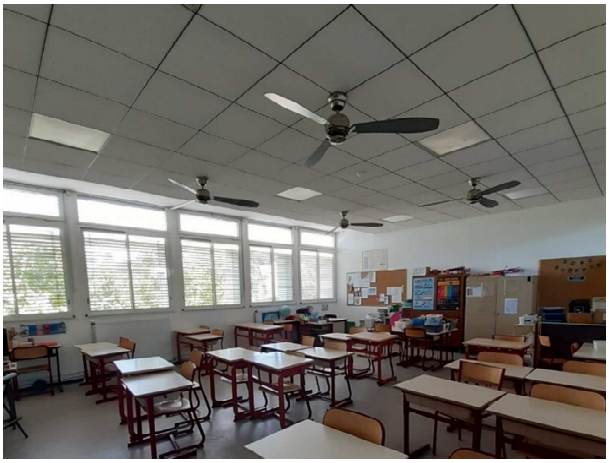
DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Salle d'enseignement primaire	Surface de vitrage	17,40 m²
Typologie	Enseignement	Surface des ouvrants	8,69 m²
Localisation	Miramas (13)	Orientation menuiseries	178° S
Altimétrie du projet	54,8 m	Protections solaires	Casquettes
Environnement	Urbain moyennement dense	Climatisation	Non
Surface utile	55,49 m²	Ventilation	Non
Volume	172,20 m³	Ventilation traversante	Oui
Surface déper. Ext.	27,88 m²	Surventilation nocturne	Non

PLANS



HSFP = 3,06 m
HSBA = 2,84 m
BA = Hunter Industry II - 152

PHOTO



Vue côté fenêtre

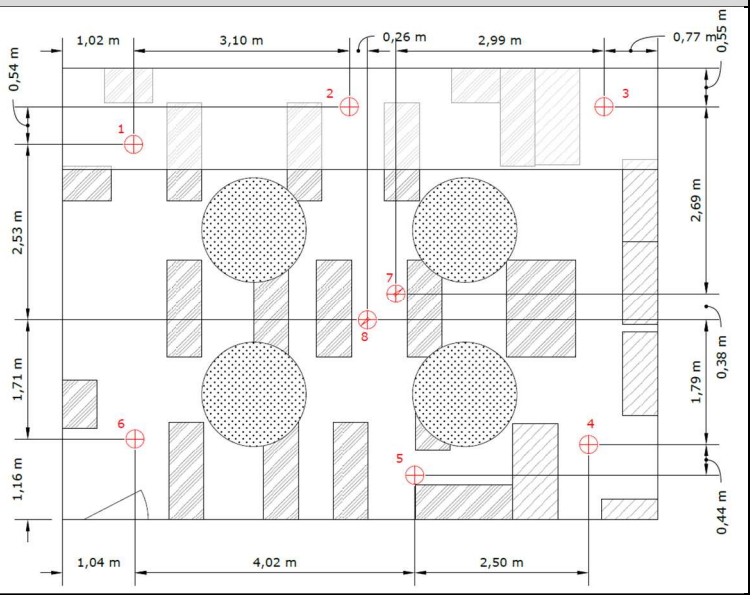
Vue côté porte

DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Tribeca		
Diamètre	152 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur sous pales	2,70 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance au mur	1,80 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande	Murale (sur mesure)		
Nombre de vitesse	3		
Données Constructeur	**V1**	**V2**	**V3**
Vitesse de rotation (tr/min)	62	103	146
Débit (m3/h)	4078	7115	10340
Puissance absorbée (W)	16	38.5	72
Efficacité énergétique (m^3/W/h)	261	185	144
Bruit (dBA)			

PROTOCLE DE MESURE

Nom du protocole	Surya_V1
Matériel	Anemona_V1
Opérateur(s)	Surya Consultants
Date	06/07/2022
Durée de la campagne	Entre 4 et 44min./pt.
Nombre de points	8
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m
Nbre de mesure	48



RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 31,5°C / 45%,

Représentation des principaux résultats en plan : ±

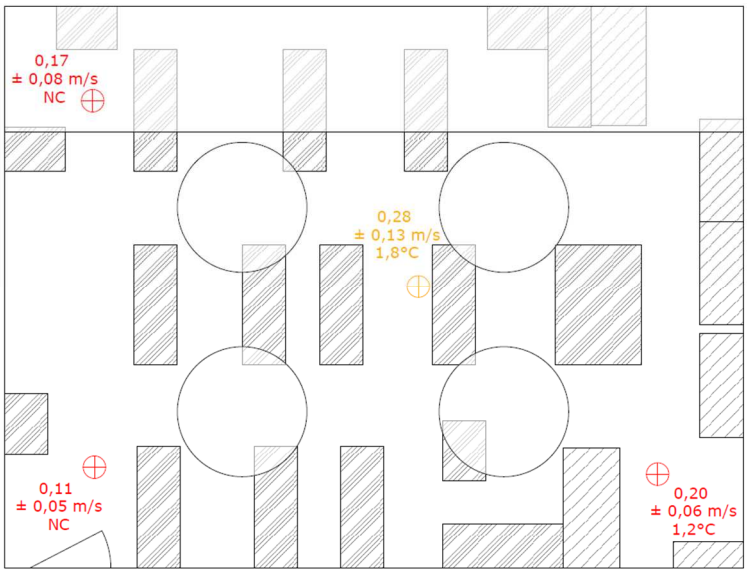


Figure Rex S-11-1 : Position assise – V2

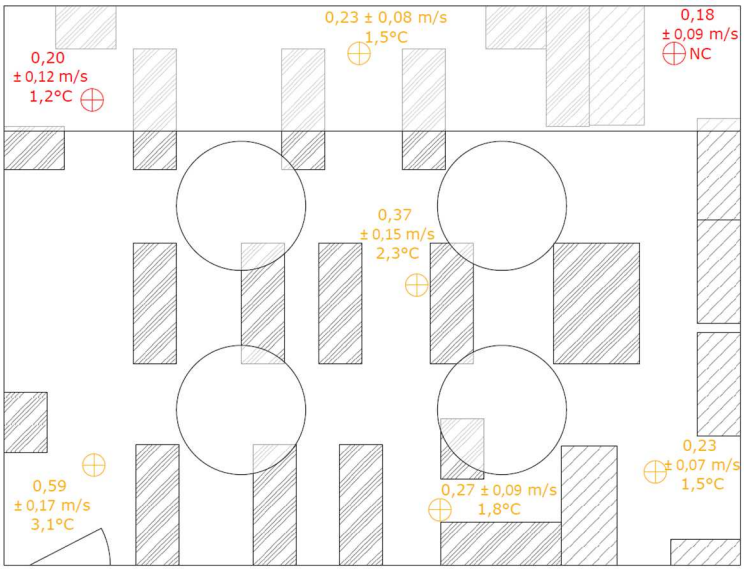


Figure Rex S-11-2 : Position assise – V3

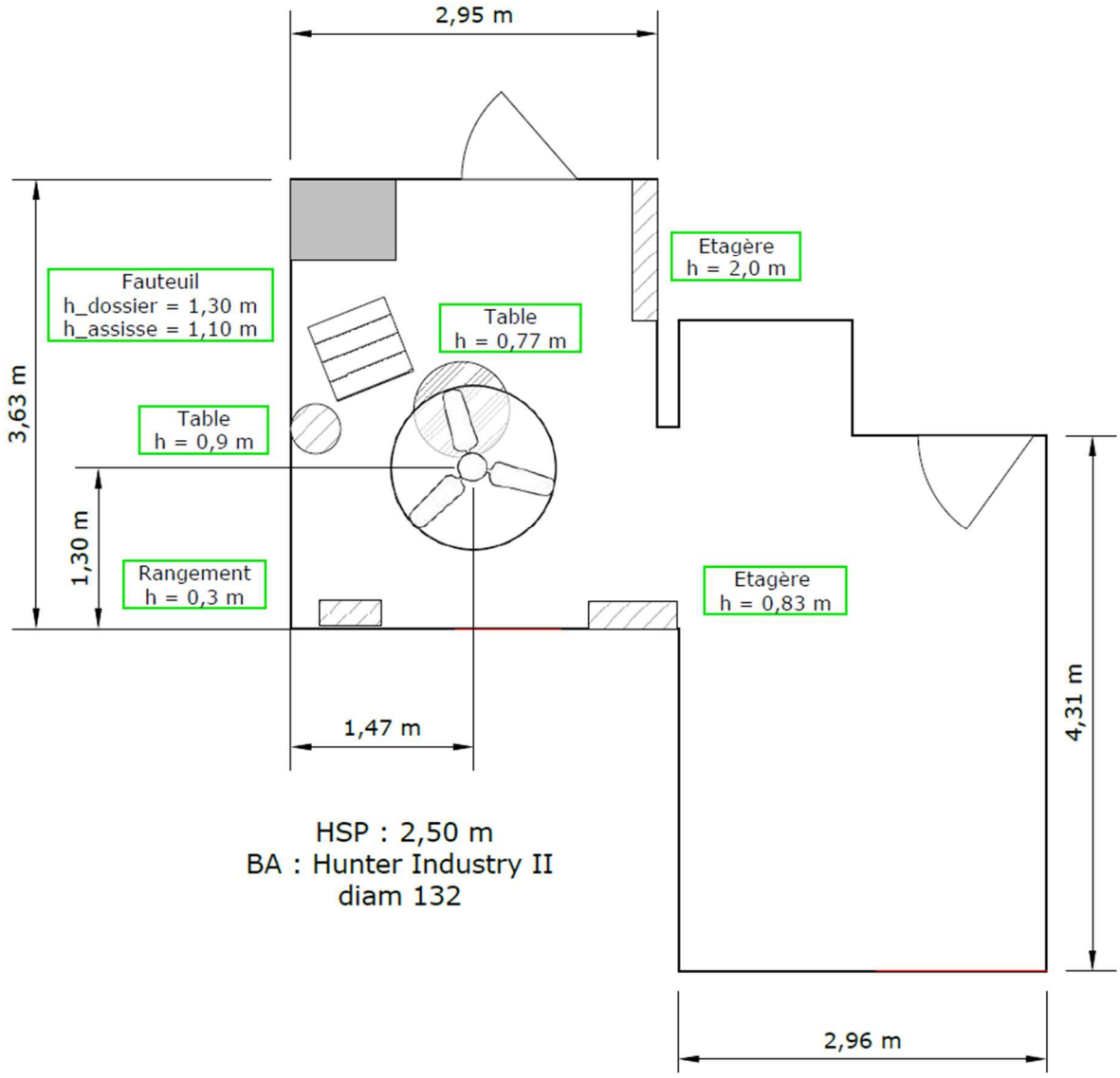
Observations particulières :

- Les vitesses ressenties sont uniformes sur la périphérie de la pièce (en tenant compte de l'écart-type de la mesure) et légèrement supérieures entre les quatre brasseurs.
- Au niveau du point 6, situé près de la porte de la salle, les vitesses mesurées sont plus élevées que dans le reste de la pièce en vitesse 3 et plus faibles en vitesse 2, ce qui pourrait indiquer la présence d'un courant d'air extérieur venant perturber le flux du brasseur à cet endroit et qu'on l'on pourrait attribuer à un défaut d'étanchéité de la porte.
- La diminution de la vitesse de fonctionnement de V3 à V2 entraine une diminution de la vitesse d'air comprise entre -10 % et -13 % en périphérie de la pièce (excepté au point 6 près de la porte où un comportement différent est observé) et de -25 % entre les brasseurs.

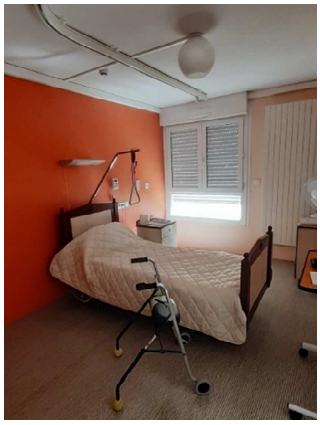
3.11 REX S-10 : EHPAD – Chambre de résident

DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Chambre de résident	Surface de vitrage	5,0 m²
Typologie	Logement	Surface des ouvrants	4,5 m²
Localisation	Saint-Jean-du-Gard (30)	Orientation menuiseries	222° SW
Altimétrie du projet	99 m	Protections solaires	Non
Environnement	Zone d'urbanisation de moyenne densité, proche d'une zone boisée	Climatisation	Non
Surface utile	25,04 m²	Ventilation	NR
Volume	62,61 m³	Ventilation traversante	Non possible
Surface déper. Ext.	13.14 m²	Surventilation nocturne	Manuelle possible

PLANS



PHOTOS

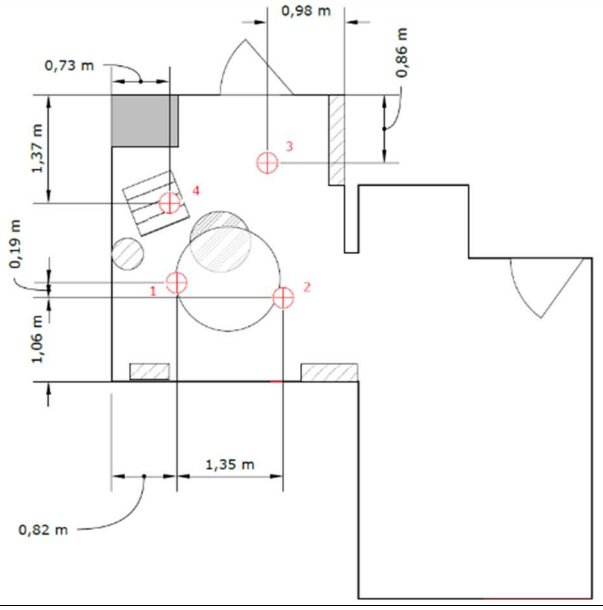


Vue de la partie 'nuit' de la chambre, le rail de levage ne permet pas l'installation d'un brasseur

Vue la partie 'jour' de la chambre

DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Industrie II		
Diamètre	132 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur de pales	2,14 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance au mur	1,30 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande/régulation	Commande murale		
Nombre de vitesses	3		
Données Constructeur	**V1**	**V2**	**V3**
Vitesse de rotation (tr/min)	79	127	157
Débit (m3/h)	5134	7524	8902
Puissance (W)	16	39	65
Efficience énergétique (m3/h/W)	321	191	136
Bruit (dBA)[2]	26,3	32,8	39

PROTOCLE DE MESURE		
Nom du protocole	Surya_V2	
Matériel	Anemona_V1	
Opérateur(s)	Surya Consultants	
Date	04/08/2022	
Durée de la mesure	Entre 5,8 et 10 min./pt.	
Nombre de points	4	
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170 cm *Pour le point 4, afin de mesurer les vitesses au-dessus du fauteuil, les hauteurs sont :* *0,94m / 1,20m / 1,70m*	
Nbre de mesure	32	

RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 28,4°C / 50% au début de campagne - 30,1°C / 50% en fin de campagne

Représentation des principaux résultats en plan :

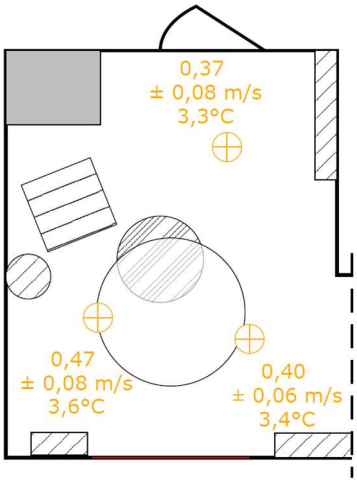


Figure Rex S-02-1 : Position debout – V2

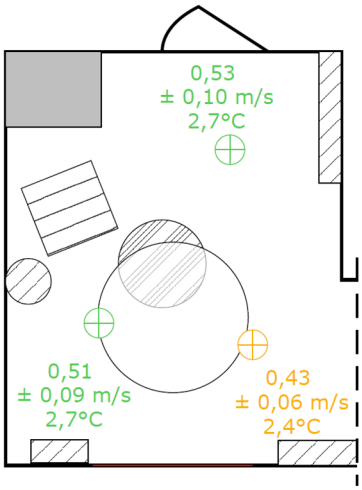


Figure Rex S-02-2 : Position assise – V2

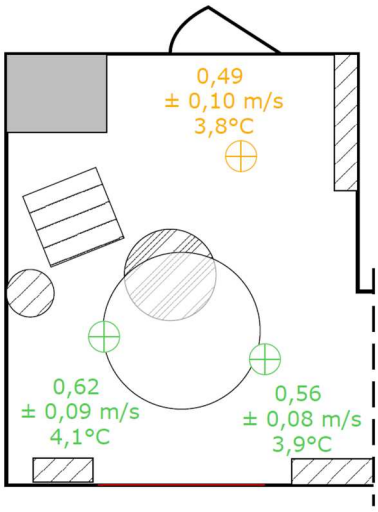


Figure Rex S-02-3 : Position debout – V3

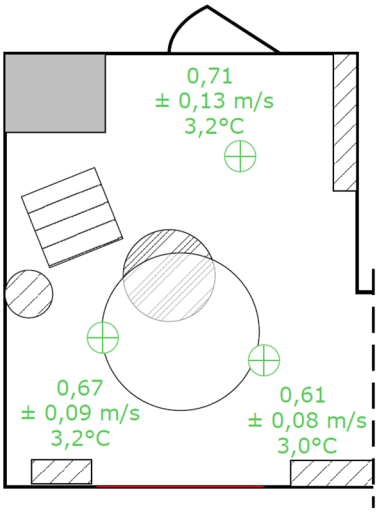


Figure Rex S-02-4 : Position assise – V3

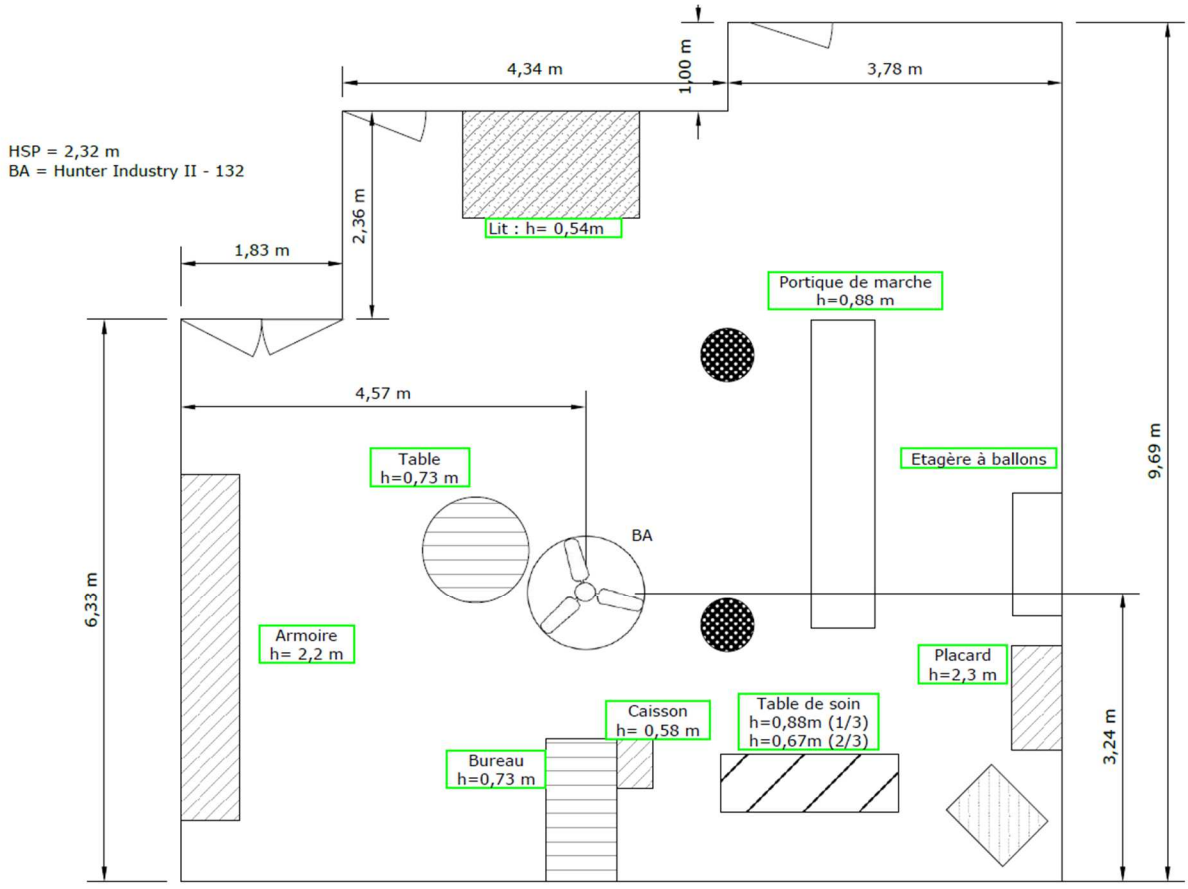
Observations particulières :

- La température de l'air mesurée dans la pièce s'est élevée de 1,5 °C pendant la campagne de mesure. Cela est dû à la fermeture des fenêtres et de la porte qui était initialement ouverte afin d'avoir une ventilation naturelle traversante. Il est à noter également que le couloir au nord de ce logement est pourvu d'une climatisation.
- Les vitesses mesurées en ces trois positions suggèrent que les vitesses ressenties sont uniformes dans cette pièce.

3.12 REX S-11 : EHPAD – Salle ergo

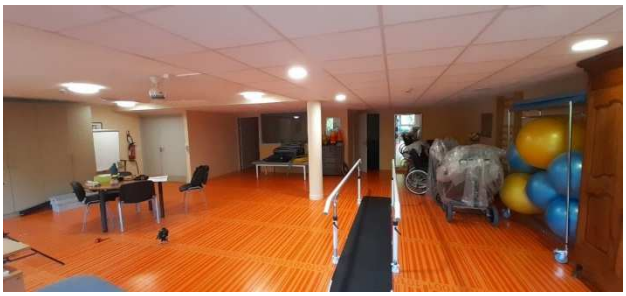
DESCRIPTION DU LOCAL			
Description générale	Salle Ergothérapeute	Surface de vitrage	9,07 m²
Typologie	Tertiaire	Surface des ouvrants	4,53 m²
Localisation	Saint-Jean-du-Gard (30)	Orientation menuiseries	294° NW
Altimétrie du projet	99 m	Protections solaires	Non
Environnement	Zone d'urbanisation de moyenne densité, proche d'une zone boisée	Climatisation	Non
Surface utile	85,9 m²	Ventilation	NR
Volume	199,3 m³	Ventilation traversante	Non possible
Surface déper. Ext.	23,10 m²	Surventilation nocturne	Non possible

PLANS



PHOTOS

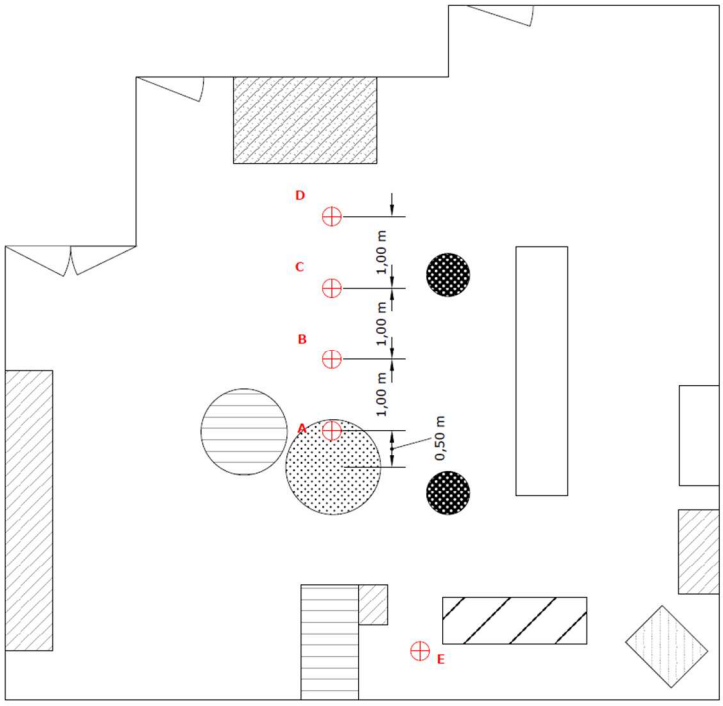
Vue vers la façade NW



Vue vers la façade SE

DESCRIPTION DES BRASSEURS

Nombre	1		
Marque	Hunter		
Modèle	Industrie II		
Diamètre	132 cm		
Nbre. De pales	3		
Hauteur de pales	2,14 m		
Distance pales/plafond	36 cm		
Distance au mur	3,24 m		
Réversible été/hiver	Oui		
Eclairage intégré	Non		
Commande/régulation	Commande murale		
Données Constructeur	**V1**	**V2**	**V3**
Vitesse de rotation (tr/min)	79	127	157
Débit (m3/h)	5134	7524	8902
Puissance (W)	16	39	65
Efficience énergétique (m3/h/W)	321	191	136
Bruit (dBA)[2]	26,3	32,8	39

PROTOCOLE DE MESURE		
Nom du protocole	Surya_V2	
Matériel	Anemona_V1	
Opérateur(s)	Surya Consultants	
Date	04/08/2022	
Durée de la campagne	Entre 6 et 60 min par point	
Nombre de points	5	
Hauteurs de mesure	0,36m / 0,60m / 120m / 170m	
Nbre de mesure	68	

RESULTATS

Conditions d'ambiance lors de la mesure : 28°C / 60%

Représentation des principaux résultats en plan

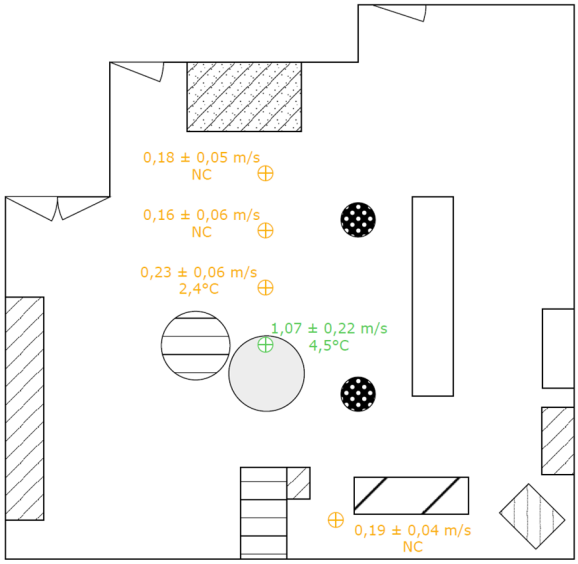


Figure Rex S-01-1 : Position debout – V2

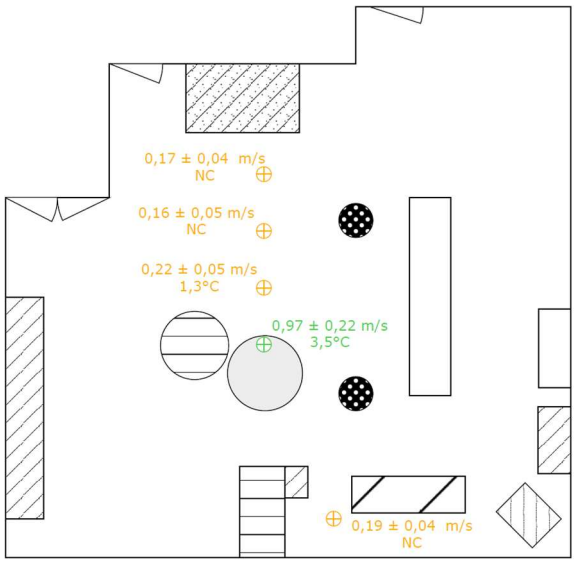


Figure Rex S-01-2 : Position assise – V2

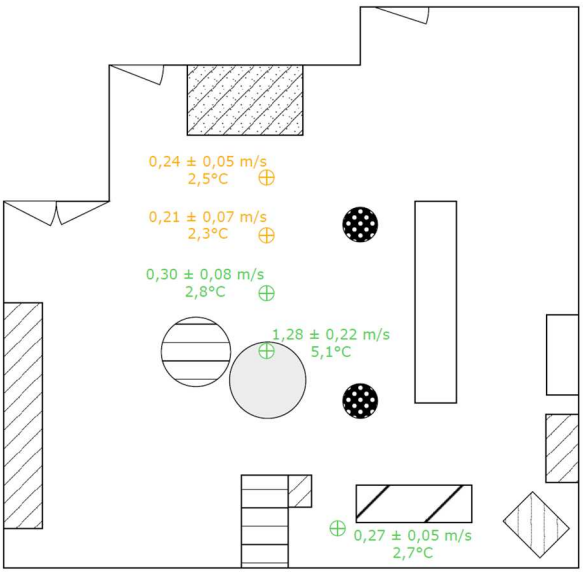


Figure Rex S-01-3 : Position debout – V3

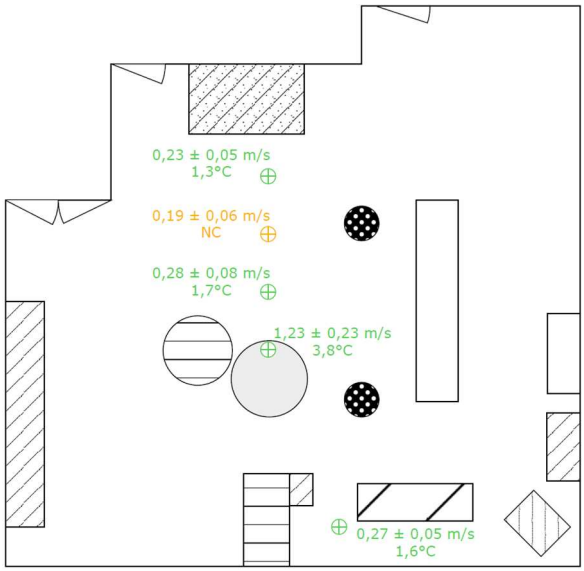


Figure Rex S-01-4 : Position assise – V3

Observations particulières :

- Les vitesses ressenties en zone d'entrainement sont uniformes (en tenant compte de l'écart-type de la mesure)
- Les vitesses ressenties sous le brasseur sont beaucoup plus élevées, montrant une grande variabilité de ressenti entre les personnes se situant sous le brasseur et celles se trouvant en dehors de la zone d'influence directe. Ceci s'explique par un calepinage inadapté aux dimensions de cette pièce. La petite hauteur sous plafond de cette pièce (2,32m) limite fortement l'usage de grands brasseurs, il est donc nécessaire d'opter pour un découpage en petites zones de mêmes dimensions proches du carré et équipées chacune d'un brasseur de petite taille ayant des distances pales/plafond inférieures à 20 cm. Dans ce cas, les performances des brasseurs seront très réduites et la multiplication des brasseurs affectera la consommation énergétique.
- Sous le brasseur, la diminution de vitesse de fonctionnement de V3 à V2 entraine une diminution de la vitesse d'air ressentie de 17 % en position debout et de 21 % en position assise. Aux différents points de mesures de la zone d'entrainement, cette diminution est comprise entre 23 et 29 % en posture debout et entre 19 et 30 % en posture assise.

4. Analyse générale des mesures in-situ

4.1 Impact de la posture, du niveau d'activité et de la vêture sur l'effet rafraichissant

Dans ces analyses, il a été décidé d'étudier les vitesses ressenties dans deux postures différentes, liées chacune à un niveau d'activité différent (1,1 met en position assis et 1,4 met en position debout) et pour un coefficient de vêture constant (0,5 clo). Il est indispensable de rappeler pour la bonne compréhension de ces résultats que pour une même vitesse ressentie, **l'effet rafraichissant est d'autant plus important que le niveau d'activité est élevé**, l'élévation du métabolisme du corps humain entrainant une augmentation des échanges thermiques convectif et évaporatif avec l'extérieur. Et que les valeurs d'effet rafraichissant présentées sont obtenues en considérant que l'usager a adapté sa vêture aux températures ambiantes.

4.2 Description du champ de vitesse

Globalement, les résultats des mesures de vitesses sont conformes aux attentes et ont permis d'observer le flux d'air dans un local induit par un brasseur d'air.

Sur l'ensemble des mesures, il a été observé les deux zones de comportement déjà observées lors des études en laboratoire :

- la zone d'influence directe (sous le brasseur) où les vitesse d'air ressenties sont les plus élevées . Dans cette zone les vitesses d'air mesurées sont plus élevées en hauteur, traduisant les pertes de charges rencontrées par le flux d'air descendant.
- la zone d'entrainement où les vitesses d'air ressenties sont plus faibles et sont uniformes quelle que soit la position de mesure. Dans cette zone, on observe que les vitesses d'air mesurées sont plus élevées au niveau du sol, ce qui est dû au courant de diffusion par le sol.

Dans la plupart des cas, les vitesses ressenties dans la zone d'entrainement sont de l'ordre de 0,3 m/s induisant ainsi un effet de rafraichissement très limité (de l'ordre de 1,5 °C à 2,5 °C selon la posture). Cependant, dans deux cas (les chambres de l'appartement et de l'EHPAD), les vitesses ressenties sont plus élevées (de l'ordre de 0,6 m/s, ce qui correspond à un effet rafraichissant de l'ordre de 3 à 4 °C selon la posture), **montrant ainsi le potentiel des brasseurs lorsque le calepinage et le matériel sont performants**.

Dans la zone d'entrainement, les vitesses constatées en position assise sont globalement plus élevées que les vitesses constatées en position debout, alors qu'elles sont plus faibles sous le brasseur. Ceci vient du fait que, par définition, la vitesse moyenne en position assise intègre les vitesses les plus proches du sol, c'est-à-dire les vitesses les plus élevées en zone d'entrainement et les vitesses les plus faibles en zone d'influence directe.

4.3 Impact de la vitesse de fonctionnement

La diminution de la vitesse de fonctionnement sur l'ensemble des modèles de brasseurs étudiés conduit à une diminution de la vitesse d'air ressentie :

- **de l'ordre de 25 % lors du passage de V3 à V2**
- **de l'ordre de 50 % lors du passage de V3 à V1**

Toutefois, dans certains cas, en présence des brasseurs les plus grands (Hunter Tribeca 152 cm), la diminution observée lors du passage de V3 à V2 est plus faible (de l'ordre de 10 à 15 %). Ce constat a été corroboré par les retours des usagers sur site qui précisaient utiliser les brasseurs uniquement en mode V2, le mode V3 apportant plus de désagrément, notamment acoustique, que de confort. Mis à part un problème matériel qui pourrait être envisagé, cette observation pourrait être dû à un « étouffement » du brasseur à vitesse élevée, observable en vitesse 3, mais qui ne se produirait pas (ou peu) en vitesse 2. En effet, dans les 4 configurations étudiées où ce modèle a été utilisé, on constate que les distances entre le bout de pales des brasseurs et les murs ou entre les brasseurs eux-mêmes sont plus petites que les distances minimales recommandées pour éviter ce phénomène et issues des différentes études du projet BRASSE [11, 12, 20].

4.4 Impact du mobilier sur le champ de vitesse

La présence du mobilier a permis de constater des modifications du flux d'air. Deux types de positionnement sont observées :

- Présence de mobilier sous le brasseur : un plateau (par exemple une table ou un bureau) situé sous le brasseur aura pour conséquence de surélever la surface d'impact et d'augmenter les vitesses aux moyennes hauteurs (hauteurs dépendantes de la hauteur de l'obstacle) en périphérie directe de l'obstacle. Et en s'éloignant de l'obstacle, les vitesses mesurées convergent vers les valeurs de vitesses constatées en l'absence du plateau. Cette configuration sera donc particulièrement intéressante pour les espaces de bureau, de réunion ou de repas dans la mesure où elle permet d'augmenter la vitesse ressentie par les usagers assis autour de ce plateau.

- Sur le chemin du flux d'air : deux cas de figure ont été observés. Le premier concerne les cas où un obstacle 'plein' tel qu'un meuble bas ou une cloison séparatrice se situe sur le chemin du flux d'air. Dans ce cas, le flux d'air sera très logiquement fortement perturbé et les vitesses constatées après cet obstacle seront très faibles (les courants de circulation font qu'il sera tout de même toujours constaté une vitesse d'air). Le second cas de figure concerne les cas où un obstacle 'non plein' tel qu'un bureau ajouré ou une chaise légère se situe sur le chemin du flux d'air. Dans ce cas, le flux se voit peu perturbé par l'obstacle et il est observé des valeurs de vitesse similaires avant et après l'obstacle.

4.5 Impact des conditions d'ambiance sur le niveau de confort

Les doubles campagnes réalisées dans certains locaux ont permis de constater qu'en dépit de vitesses et des CE induits identiques, le confort était évalué en sens de l'indicateur PMV de l'ASHRAE 55 de manière différente. En effet, les secondes campagnes ont été réalisées dans des environnements moins chauds. Les différences de température de l'ordre de 2°C permettent d'obtenir des PMV situés en dessous de 0,5, permettant de s'assurer statistiquement du confort d'un maximum d'usager. La Figure 10 illustre ce constat et montre que **l'effet rafraichissant est un indicateur qu'il ne faut absolument pas décorréler des conditions d'ambiance, de la posture et de la vêture puisque ces paramètres vont faire évoluer les zones de confort et l'évaluation du CE.**

4.6 Comparaison des configurations étudiées.

La donnée usuellement fournie par les fabricants pour évaluer la performance d'un brasseur est son débit. Pourtant, le seul débit d'un brasseur est insuffisant et il est nécessaire de le rapporter à la surface du brasseur afin d'avoir une information homogène à une vitesse et donc identifiable à une potentielle amélioration du confort. Raftery et al. [23] ont montré que c'est effectivement cette grandeur, qu'ils nomment « Fan Air Speed », qui doit être utilisée comme caractéristique d'un brasseur afin d'effectuer des comparaisons de performances. La traduction littérale « vitesse d'air du brasseur » n'étant pas satisfaisante, nous avons choisi d'utiliser le terme « vitesse d'air caractéristique » représenté par l'acronyme FAS pour renvoyer à cette grandeur. Le tableau 3 présentent les valeurs de FAS calculées à partir des données du constructeur pour chaque brasseur, ainsi que la moyenne des vitesses ressenties dans chaque posture, sous le brasseur et en zone d'entrainement dans chaque cas d'étude. On constate que les différents modèles rencontrés lors de ces études ont alors des vitesses caractéristiques très similaires (à ± 5 %) et peuvent donc être considérés de performances équivalentes selon les données constructeurs. Or, une variabilité des vitesses d'air pour les différents locaux est constatée. Ce dernier constat peut s'expliquer soit par un calepinage non optimisé soit par des données constructeurs ne permettant pas une bonne appréciation de la vitesse d'air caractéristique.

Tableau 3 : Comparaison des vitesses ressenties obtenues en vitesse 3 dans les différentes études

Modèle de brasseur	Vitesse caractéristique à V_{max} FAS_{max} (m/s)	Cas d'étude	Vitesse ressentie sous le brasseur à V_{max}* (m/s)		Vitesse ressentie en zone d'entrainement à V_{max} * (m/s)	
			Assis	Debout	Assis	Debout
Tristar 112 cm	1,74	ONG_Bureau 2 postes	0.86	0.88	0.33	0.26
		ONG_Bureau 4 postes	-	-	0.35	0.33
Inspire 132 cm	1,92	ONG_Salle de réunion	-	-	0.20	0.24
Hunter 132 cm	1,81	Appartement_Salon	1.47	1.56	-	-
		Appartement_Chambre	-	-	0.57	0.47
		EHPAD_Chambre	0.96	0.96	0.64	0.59
		EHPAD_Salle ergo	1.23	1.28	0.24	0.26
Hunter 152 cm	1,81	BE_Bureau 2 postes	0.68	0.74	0.42	0.37
		BE_Bureau 3 postes	0.50	0.62	0.44	0.38
		Ecole_salle 1	0.58	-	0.26	-
		Ecole_salle 2	-	-	0.25	-

*moyenne calculées entre les différentes positions de mesure dans cette zone

Les vitesses ressenties sous le brasseur sont très dépendantes de la position de mesure la vitesse variant fortement en le centre du brasseur et l'extrémité des pales. La détermination de la vitesse moyenne dans cette zone nécessite de mettre en œuvre un protocole similaire à celui utiliser en laboratoire, ce qui semble difficile à réaliser lors de mesures in-situ. Par ailleurs, la présence de mobilier sous le brasseur empêche souvent de réaliser cette mesure. Il est donc plus pertinent de s'intéresser aux mesures effectuées en zone d'entrainement pour comparer les différentes études.

Comme évoqué en section 4.2, les vitesses ressenties en zone d'entrainement sont en général de l'ordre de 0,3 m/s et sont plus élevées en positon assise qu'en position debout. On constate cependant des exceptions, dans les chambres de l'appartement et de l'EHPAD, les vitesses sont plus élevées (de l'ordre de 0,6 m/s), ce qui pourrait être attribué à un meilleur calepinage permettant d'exprimer le plein potentiel des brasseurs. Ce constat est justifié par d'autres parties du projet BRASSE [20]. Par ailleurs, dans deux situations, les vitesses en position debout sont plus élevées que les vitesses ressenties en position assise (ONG Salle de réunion & EHPAD Salle Ergo). Ces résultats sont à relativiser par les très faibles vitesses mesurées dans ces situations, les écarts observés entre les deux postures étant très faibles au regard des écarts types sur les mesures et de la précision des capteurs.

4.7 Limites de la présente étude

Du fait de l'étendue limitée de la gamme de diamètre de brasseur, l'impact de la taille du brasseur est difficilement discutable par l'analyse de ces mesures. De façon générale, le choix de la taille du brasseur est lié à la fois aux besoins identifiés (uniformité ou variabilité du champ de vitesse) et au calepinage. Si, dans le cas où un champ de vitesse variable selon les positions est préférable, des petits brasseurs sont tout à fait pertinents, le cas d'un champ de vitesse uniforme peut être atteint par deux calepinages fondamentalement différents :

- Des petits brasseurs en grands nombres couvrant chacun une petite zone
- Des grands brasseurs en petits nombres couvrant chacun une grande zone

Si ces deux approches peuvent conduire à des champs de vitesse uniformes, ce que les simulations par CFD démontrent [20], il conviendra de choisir entre les deux options de calepinage sur la base d'autres critères que le seul critère de confort thermique en prenant en compte par exemple les aspects financiers, acoustiques et énergétiques pouvant être problématique avec la multiplication du nombre de brasseurs dans une même pièce. Cette discussion particulière est abordée dans notre étude sur les règles de calepinage [24].

Les couplages entre les brasseurs et la ventilation naturelle et entre les brasseurs d'air et la climatisation ne sont également pas étudiés dans le cadre du projet et nous avons pu constater que ces couplages ne sont pas négligeables pour obtenir le confort (exemple la chambre de l'EHPAD pour la climatisation ou la ventilation traversante dans le salon de l'appartement).

4.8 Protocole de mesure

Lors de la mise en place d'un protocole de mesure in-situ de la vitesse d'air ressentie en présence de brasseurs d'air, les trois points suivants doivent impérativement être respectés :

- Les vitesses mesurées aux différentes hauteurs étant très hétérogènes, il est indispensable de les mesurer aux 4 hauteurs recommandées par les normes ISO 7726 et ASHRAE 55 pour exprimer les vitesses moyennes ressenties dans chaque posture.
- Les fluctuations de la vitesse mesurée étant importantes (écart type de l'ordre de 30 % de la valeur moyenne), il est indispensable d'adapter l'échantillonnage de la mesure de façon à avoir un intervalle de confiance satisfaisant selon la méthode proposée lors des études en laboratoire [11, 12]. Dans la présente étude, la méthode d'échantillonnage a ainsi été améliorée en cours d'étude et l'on a pu constater la diminution de l'écart type lorsque l'échantillon était de taille adaptée (de l'ordre de 300 mesures sous le brasseur et de 30 mesures en zone d'entrainement), permettant ainsi de s'affranchir du caractère aléatoire de la mesure au sein de la distribution de la vitesse.
- Une mesure à « air immobile » (brasseur éteint) doit impérativement être réalisé en chaque position de mesure de façon à caractériser les éventuels courants d'air extérieurs et à quantifier l'amélioration du confort apportée par les brasseurs. Compte tenu des très faibles vitesses et fluctuations généralement observées dans ce cas, une mesure très courte (de l'ordre de la minute) est suffisante.

Il est difficile de définir une méthode systématique de choix des positions de mesures. En effet, l'analyse des mesures réalisée dans le présent article permet d'identifier des points forts et des manques dans l'approche empirique qui a été suivie. La présente étude nous permet de conclure qu'il semble pertinent de mesurer la vitesse ressentie sous le brasseur lorsque cela est compatible avec la disposition du mobilier et en zone d'entrainement. Sous le brasseur, les vitesses d'air fluctuant de manière importante sous le brasseur [11], il ne sera pas possible d'effectuer une mesure permettant d'être représentative de l'impact du brasseur sur les vitesses d'air. En zone d'entrainement, le mobilier en place aura un impact plus ou moins importants sur les mouvements d'air (cf. 4.4), il peut alors être difficile de sélectionner la position représentative. D'une manière générale, il est donc plus pertinent de choisir une position correspondante à une position d'usage. Par exemple, lorsqu'une table se trouve sous le brasseur, il est plus pertinent de mesurer la vitesse ressentie en plusieurs points autour de la table plutôt que de cherche à déterminer la vitesse au centre de la table, c'est-à-dire en un point où il n'y aura pas d'usager. En l'absence de points particuliers identifiables, il faut essayer de couvrir au maximum la pièce en choisissant au moins trois positions autour de chaque brasseur.

En première approche, les essais à la vitesse de fonctionnement maximale du brasseur sont les plus importants afin d'exprimer le plein potentiel de l'appareil. Toutefois, des mesures aux différentes vitesses pourraient permettre de s'assurer du bon fonctionnement du brasseur sur l'ensemble de sa gamme de vitesse (cf. section 4.3).

Ces observations permettent d'affiner le protocole de mesure élaboré dans le cadre du projet BRASSE et permettant de caractériser de manière fine l'impact d'un brasseur sur son environnement. Elles permettent également de conclure qu'un protocole simplifié permettant la généralisation de la vérification de l'impact des brasseurs en exploitation n'est pas envisageable.

5. Conclusion

La présente étude avait pour objectif d'observer l'impact des brasseurs d'air sur le confort des usagers en situation réelle. Ceci afin d'affiner les règles d'implantation des brasseurs dans un projet.

Les différentes observations ont permis de constater que globalement, les résultats des mesures de vitesses sont conformes aux attentes et que le flux d'air induit par un brasseur d'air dans un local présente deux principales zones : une zone d'influence directe et une zone d'entrainement. En revanche, il a été constaté des configurations avec des mouvements d'air moins importants qu'attendus. Les trois raisons principales de ce constat sont les suivantes : des calepinages non optimisés (par exemple : distance brasseurs-mur trop faible), des distances entre brasseurs (dans le cadre de configuration multiple) trop faibles et/ou des brasseurs trop grands pour l'espace dans lesquels ils sont situés.

Les mesures ont été effectuées à plusieurs vitesses de fonctionnement. Ainsi il a été observé, dans les configurations ne présentant pas d'étouffement, pour l'ensemble des brasseurs une diminution de la vitesse d'air ressentie de l'ordre de 25% lors du passage de V3 à V2 et de l'ordre de 50% lors du passage de V3 à V1.

Il a été également constaté que les données constructeurs n'étaient pas nécessairement représentatives des performances constatées in-situ. Les différents brasseurs installés dans les locaux audités présentaient des performances (FAS) proches alors que des différences importantes de vitesse d'air ont été constatées par la mesure. Ces différences peuvent s'expliquer par une installation non optimisée (cf. commentaire ci-avant) mais aussi par des données présentées par les fabricants pouvant ne pas être fiables liés à des essais en laboratoire non pertinentes ou efficientes.

La présente étude a permis également d'observer des phénomènes spécifiques, et notamment l'impact du mobilier. Ces observations permettent d'en apprendre davantage sur l'impact du mobilier sur les flux d'air en présence d'un brasseur d'air (cf. 3.1 - étude préliminaire) mais aussi de conclure sur des recommandations spécifiques. Il a été observé, de manière assez évidente, qu'en présence de mobilier 'non plein', les mouvements d'air étaient moins perturbés qu'en présence de mobilier 'plein'. Ainsi il est nécessaire de mettre en avant l'importance du choix du mobilier dans la mise en place d'une stratégie de confort basée sur l'usage de brasseurs d'air plafonniers.

Cette étude permet également d'observer l'importance de la posture, du niveau d'activité, de la vêture et des conditions d'ambiance sur le confort des usagers.
La vitesse d'air ressentie étant différente entre une position assisse et une position debout, le ressenti de l'usager sera inévitablement différent. Il en est de même de son niveau d'activité. En effet, l'élévation du métabolisme du corps humain entrainant une augmentation des échanges thermiques convectif et évaporatif avec l'extérieur, l'effet rafraichissant sera d'autant plus important que le niveau d'activité sera élevé. Le niveau de vêture a également son importance. En effet, l'effet rafraichissant sera d'autant plus faible que la vêture de l'usager sera isolante (clo plus élevé). Dans un souci de cohérence, le parti pris du projet BRASSE est d'étudier le confort uniquement dans le cas où l'usager s'adapte aux conditions d'ambiance et que par conséquent il adapte sa vêture en fonction. Le projet BRASSE considère donc que l'usager doit se mettre dans une situation favorable pour satisfaire son confort et donc porter une tenue légère estivale. L'étude montre également l'impact des conditions d'ambiance sur l'évaluation du confort. Et confirme que le brasseur d'air peut satisfaire le confort de l'usager que si les conditions d'ambiance intérieure sont maîtrisées et donc que les brasseurs d'air sont associés à une conception pertinente, à des équipements efficaces et en bon état et à un usage vertueux des locaux.

Et enfin, l'étude in-situ a permis de valider un protocole de mesure de vitesse d'air in situ. Ce protocole s'est inspiré du protocole élaboré pour les laboratoires. La version finale est satisfaisante tant en termes de fiabilité de la mesure et de représentativité et permet donc des observations pertinentes. En revanche, il a été conclu qu'une simplification de celui-ci n'était pas possible. En effet, en raison de la grande variabilité -horizontale et verticale - des vitesses d'air générées par des brasseurs plafonniers, il est nécessaire de récupérer un nombre de données importantes (4 hauteurs de mesures à minimum 3 emplacements) afin d'avoir une approche suffisamment robuste. Le caractère turbulent des flux ne permet pas non plus de se satisfaire de matériel plus simple, tels que des anémomètres unidirectionnels. Les essais in-situ, pour être fiables et pertinents, doivent être proches de la qualité des essais en laboratoire, à la fois en ce qui concerne le protocole, les matériels, mais aussi les opérateurs.

L’ensemble de cette étude permet donc d’enrichir la connaissance des brasseurs d’air et plus spécifiquement les règles de calepinage éditées dans le cadre du projet BRASSE. Les phénomènes non expliqués, observés dans le cadre de cette étude seront étudiés à l’aide de la CFD dans une autre partie du projet.

Références

[1] Santamouris M. (2016) Cooling the buildings – past, present and future, Energy and Buildings, vol. 128, p. 617-638

[2] Santamouris M., Cartalis C., Synnefa A. (2015) On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review, Energy and Buildings, vol. 98, p. 119-124

[3] Bamdad K., Cholette M. E., Omrani S., Bell J. (2021) Future energy-optimised buildings — Addressing the impact of climate change on buildings, Energy and Buildings, vol. 231, p. 110610

[4] Bamdad K., Cholette M. E., Guan L. (2017) Ant colony algorithm for building energy optimisation problems and comparison with benchmark algorithms, Energy and Buildings, vol. 154, p. 404-414

[5] Bamdad K., Cholette M. E., Guan L. (2018) Building energy optimisation under uncertainty using ACOMV algorithm, Energy and Buildings, vol. 167, p. 322-333

[6] Yang B., Wang F. (2018) Supplementary opinions on alternative cooling technologies in hot climate, International Journal of Biometeorology, vol. 62, p. 1927-1928

[7] Sadripour S., Mollamahdi M., Sheikhzadeh G. A. (2017) Providing thermal comfort and saving energy inside the buildings using a ceiling fan in heating systems, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, vol. 39, p. 4219-4230

[8] Mihara K., Sekhar C., Takemasa Y. (2019) Thermal comfort and energy performance of a dedicated outdoor air system with ceiling fans in hot and humid climate, Energy and Buildings, vol. 203, p. 109-118

[9] He Y., Chen W., Wang Z., Zhang H. (2019) Review of fan-use rates in field studies and their effects on thermal comfort, energy conservation, and human productivity, Energy and Buildings, vol. 194, p. 140-162

[10] Litvine D., De Laage R., Hoarau S. (2022) Analyse de l'acceptabilité et des conditions de déploiement des brasseurs d'air : Une étude qualitative de l'offre et de la demande. Tache 4 du Projet BRASSE – Pour le compte de l'ADEME

[11] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., DAVID M., BLANCHARD B., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers - Analyse des protocoles de mesures de vitesse d'air - Projet BRASSE

[12] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., DAVID M., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers - Indicateurs de performance des brasseurs - Projet BRASSE

[13] HD403TS… Series – Hotwire Air Speed Transmitters : https://www.deltaohm.com/wp-content/uploads/document/DeltaOHM_HD403TS_datasheet_ENG.pdf

[14] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., DAVID M., 2023. BRASSE_Protocole_mesure_2023_0_1 – Projet BRASSE

[15] Blanchard B. (2019) Mise au point d'un banc d'essais pour la caractérisation des brasseurs d'air, rapport d'étude EDF-ADEME n° Aé - 19-123, Eiffel Aérodynamique.

[16] Renaud A., Vahombey S., Banc d'essai de brasseur d'air. Rapport de stage -ESIROI

[17] Norme ISO 7726 (1998), Ergonomie des ambiances thermiques – Appareils et méthodes de mesure des grandeurs physiques

[18] ASHRAE Standard 55 (2020), Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

[19] CBE Comfort Tool, https://comfort.cbe.berkeley.edu/

[20] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers – Simulation des écoulements par CFD - Projet BRASSE

[21] Norme ISO 7730 (2006), Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local

[22] NF EN 16798-1 (mai 2019) : Performance énergétique des bâtiments - Ventilation des bâtiments - Partie 1 – Données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique.

[23] Raftery P., Douglass-Jaimes D. (2020), Ceiling Fan Design Guide, First Edition, CBE y.

[24] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., 2023– Implantation des brasseurs d'air et impact en configurations réelles – Règles de calepinage - Projet BRASSE

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIETE ET D'EFFICACITE

BRASSE
BRASSEUR D'AIR :
UNE SOLUTION
DE SOBRIÉTÉ
ET D'EFFICACITÉ

Etude 3 – Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers

Rapport 3.4 – Simulation des écoulements par CFD

RAPPORT FINAL

FAITS & CHIFFRES

surya CONSULTANTS

Oct. 2023

BRASSE
Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité

Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques

Les brasseurs d'air en plafond permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement de locaux. Ils sont par conséquent une solution permettant de **s'adapter au changement climatique**. Mais ces équipements sont peu préconisés par les équipes de conception de bâtiment. D'un point de vue technique, cela est dû à un **manque de connaissance** sur ces équipements, leurs **performances** et leur **effet sur la qualité des ambiances intérieures**. Cela pourrait également être dû à des **raisons socio-économiques** non encore identifiées.

Ces constats ont fait naître le programme de recherche : BRASSE[1].

Ce projet de recherche vise principalement à **enrichir** le secteur du bâtiment de connaissances sur ces équipements, de développer des **méthodes** et outils d'aide à l'intégration et à **diffuser** cette connaissance.

Les axes de recherche :

- Performances des brasseurs
- Effets sur la qualité des ambiances intérieures
- Outil d'aide à la conception
- Identification des freins sociologiques
- Diffusion des connaissances

Les ambitions du projet sont :

- Réaliser un important **retour d'expérience** à travers 4 approches :
    1. Retour d'expérience technique préliminaire
    2. Analyse en sciences sociales
    3. Mesure sur site pour la validation de la méthodologie
    4. POE

- Établir un **protocole standardisé** de détermination des performances des brasseurs d'air présents sur le marché et **approfondir l'étude** de brasseurs d'air.
- Définir une **méthode** permettant de proposer une **conception de locaux équipés** de plusieurs brasseurs d'air (calepinage) prenant en compte les principaux paramètres : thermiques, acoustiques et aérauliques.
- **Comprendre le rapport des utilisateurs et des professionnels** aux brasseurs d'air quels que soient leurs profils, le climat ou le territoire dans lequel ils évoluent.
- **Diffuser l'information** pour faire monter en compétence l'ensemble de la filière bâtiment sur ces sujets.

Ce programme de recherche rassemble six entités regroupant des compétences pluridisciplinaires :

- **Surya consultants :** bureau d'études, recherches et développement/ Thermique – énergie – environnement – modélisation (pilote du projet)
- **LASA :** laboratoire privé en acoustique
- **ISEA :** cabinet de recherche et de conseil en sciences sociales – spécialisé en analyse et intervention comportementale
- **Laboratoire PIMENT – Université publique de la Réunion :** Génie de l'Habitat et génie thermique
- **Laboratoire Eiffel aérodynamique, filiale du groupe CSTB :** aérodynamique - expérimentation
- **EnvirobatBDM :** centre de ressources et démarche bâtiments durables méditerranéens – retour d'expérience

Le programme BRASSE est lauréat de l'appel à projets de recherche **Bâtiments responsables 2020** géré par l'Ademe.

[1] BRasseur d'Air : une Solution de Sobriété et d'Efficacité

CITATION DE CE RAPPORT

LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers – Simulation des écoulements par CFD - Projet BRASSE

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01
Numéro de convention : 2004C0018
Appel à projets de recherche Vers des Bâtiments Responsables à l'horizon 2020"
Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Pierre-Erwan LE MAREC (Surya Consultants), Tangi LE BERIGOT (Surya Consultants), Frédéric BŒUF (Surya Consultants)
Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline - Direction/Service : DVTD/SB

SIMULATION DES ECOULEMENTS D'AIR EN PRESENCE DE BRASSEURS DANS DES CONFIGURATIONS REELLES

Pierre-Erwan LE MAREC[1], Tangi LE BERIGOT[1], Frédéric BŒUF [1],

[1]*Surya Consultants, France,*

Mots clés : brasseur d'air, vitesse d'air, simulation, CFD

Cet article s'inscrit dans le programme de recherche « BRASSE : Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques. ». Projet lauréat de l'appel à projets de recherche Bâtiments responsables 2020 géré par l'ADEME.

1. Introduction

La consommation d'énergie liée au refroidissement des bâtiments augmente plus rapidement que par le passé et cette tendance devrait se poursuivre jusqu'à la fin du XXIe siècle [1]. À l'heure actuelle, la consommation d'énergie pour le refroidissement peut atteindre jusqu'à 9,3 % de la consommation mondiale totale d'énergie dans les bâtiments commerciaux [1] et pourrait être intensifiée en raison des problèmes de réchauffement de la planète [2, 3]. Bien que différentes stratégies d'économie d'énergie soient utilisées dans le bâtiment pour réduire cette demande de refroidissement, elles peuvent être coûteuses et/ou complexes [4, 5]. Par conséquent, l'utilisation d'une solution simple et abordable et la modification des paradigmes actuels de traitement de l'ambiance thermique dans les bâtiments modernes peuvent être suggérées comme urgentes.

Le brasseur d'air est un dispositif mécanique à faible consommation d'énergie qui peut être une solution d'amélioration de confort thermique appropriée répondant à l'ensemble des enjeux actuels [6]. Il n'a pas pour objectif, à l'inverse du climatiseur beaucoup plus énergivore, de refroidir et de maintenir la température d'ambiance. Il s'agit d'un dispositif de circulation d'air peu coûteux et pratique qui peut améliorer la sensation thermique des occupants en faisant circuler l'air dans une zone intérieure [7, 8].

S'il existe de nombreux avantages potentiels à l'application des brasseurs d'air, leur taux de pénétration sur le marché est encore limité ce qui est dû au manque d'informations concises sur les impacts des brasseurs d'air et les méthodologies d'évaluation des impacts [9, 10].

L'ambition du projet BRASSE [11] est de développer le bon usage du brasseur d'air dans le secteur du bâtiment comme adaptation frugale aux changements climatiques. Il convient ici de rappeler que le projet BRASSE n'a pas vocation à proposer des solutions d'optimisation de conception des brasseurs pour les fabricants et que ces objectifs techniques sont de définir :

- des indicateurs de performance orientés confort (thermique et acoustique) ;
- des indicateurs physiques permettant une bonne prise en compte des brasseurs en conception ;
- un protocole de mesures en laboratoire permettant d'obtenir ces indicateurs ;
- des règles de calepinage pour les utilisateurs (bureaux d'étude, etc.).

Le présent article ne traitera pas le confort acoustique et se limitera au confort thermique.

Dans une première partie du projet BRASSE [12, 13, 14], des mesures de vitesse d'air ont été réalisées en laboratoire afin d'établir un protocole permettant de définir les indicateurs de conception et de performances pour les brasseurs. De telles mesures ont pour objectif de caractériser l'impact des brasseurs sur le confort de l'usager et leur niveau de performance dans des conditions standardisées. Ces indicateurs permettront alors de comparer les brasseurs entre eux afin de faire un choix éclairé de matériel, les choix d'implantation de brasseur (nombre, position, diamètre et hauteur) étant définis par ailleurs en phase de conception selon le projet (géométrie, usage, etc.).

Au-delà des indicateurs de conception et de performance, il est donc nécessaire de définir les règles d'implantation des brasseurs dans un projet. Dans ce contexte, les mesures en laboratoire ont été complétées par des mesures in-situ [15] afin d'observer le

fonctionnement de brasseurs d'air en conditions réelles (géométrie variées, présence de mobilier). L'analyse de ces seules mesures est toutefois insuffisante pour définir totalement des règles de calepinage applicables quelle que soit la configuration et afin d'y parvenir, la démarche adoptée dans le projet BRASSE est d'utiliser un outil de simulation numérique de la dynamique des fluides (noté CFD pour *Computational Fluid Dynamics*). Dans chaque configuration envisagée, cet outil doit permettre de simuler les écoulements générés par un ou plusieurs brasseurs à partir d'un modèle d'écoulement adapté dont les paramètres auront été ajustés à partir des mesures effectuées en laboratoire et in situ. Il sera alors possible de déterminer des règles d'implantation optimisées en analysant les champs de vitesses obtenus dans les différentes configurations étudiées.

Le présent rapport présente la méthodologie de cette démarche de simulation ainsi qu'une série d'études permettant de valider le modèle utilisé et d'analyser les champs de vitesse d'air obtenus dans différentes configurations (réelles ou fictives) dans le but de proposer des règles d'implantation des brasseurs.

2. Etude bibliographique

2.1 Description des écoulements d'air en présence de brasseurs d'air

La figure 1 décrit la nature de l'écoulement d'air créé par un brasseur soufflant vers le bas en distinguant les différentes zones suivantes [16-19] :

- **La zone d'influence directe** : zone de courant descendant sous le brasseur. Cette zone est caractérisée par les vitesses les plus élevées (pouvant être supérieures à 1 m/s) et un écoulement très turbulent.
- **La zone de diffusion au sol :** situé au niveau du sol sur une hauteur d'environ 50 cm, elle est caractérisée par un flux radial avec des vitesses allant de 0,5 à 1 m/s et un niveau de turbulence moins élevé qu'en zone d'influence directe.
- **La zone de remontée murale :** située le long des murs sur une épaisseur d'environ 20 cm, elle correspond à la zone d'écoulement d'air ascendant à des vitesses de l'ordre de 0,5 m/s.
- **Les zones d'impact :** situées au niveau du sol sous le brasseur et en périphérie de la pièce, elles correspondent aux zones d'écoulement laminaire à faibles vitesses d'air où l'écoulement en zone d'influence directe rencontre le sol et où l'écoulement en zone de diffusion rencontre les murs.
- **La zone d'aspiration :** située au-dessus du niveau des pales du brasseur, elle correspond à la zone ou l'écoulement est radial et dirigé vers le centre du brasseur à des vitesse de l'ordre de 0,5 à 1 m/s.
- **La zone morte** : située au-dessus du centre du brasseur, cette zone est caractérisée par des vitesses d'air très faibles.
- **La zone d'influence par entrainement** : située entre toutes les zones précédemment décrites, il s'agit d'une zone de faibles vitesses induites par les écoulements dans les zones voisines. La vitesse dans cette zone dépend à la fois de la vitesse dans les autres zones et des distances qui les séparent, c'est-à-dire de la largeur entre la zone d'influence directe et la zone de remontée murale et de la hauteur entre la zone de diffusion au sol et la zone d'aspiration au plafond.

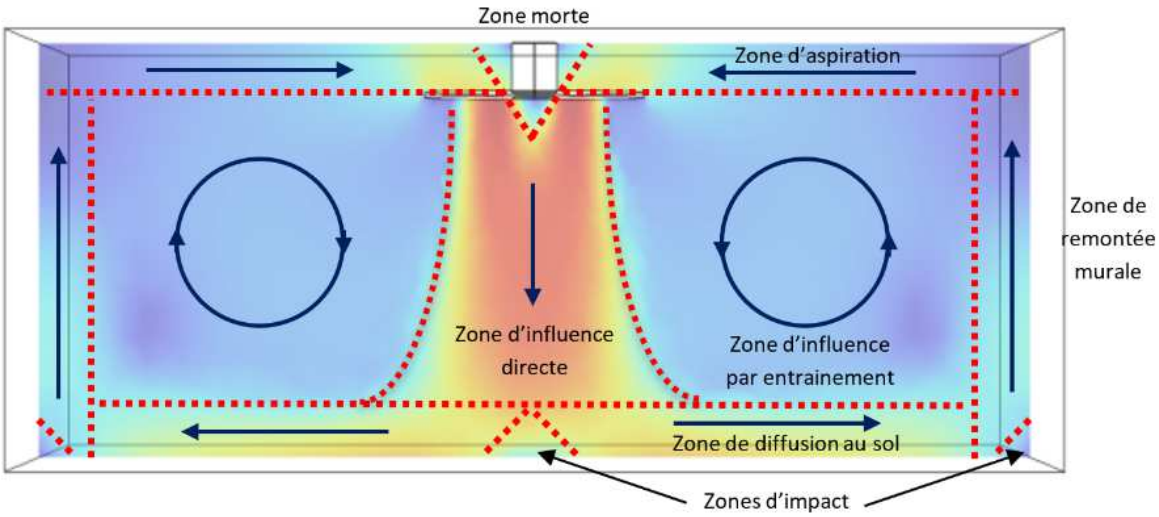


Figure 1 : Schéma de l'écoulement d'air induit par un brasseur d'air soufflant vers le bas

2.2 Influence des différents paramètres sur l'écoulement d'air

2.2.1 Diamètre du brasseur

L'influence du diamètre d'un brasseur sur la vitesse d'air doit être étudiée en tenant compte de la vitesse caractéristique du brasseur (noté FAS pour *Fan Air Speed et exprimé en m/s*) qui est le rapport entre un débit (en m^3/s) sur la surface du brasseur (en m^2). En effet, plus un brasseur est grand plus le volume d'air brassé va être important. Toutefois la vitesse d'air générée par ce brasseur sera proportionnelle au rapport entre ce volume brassé et la surface du brasseur. Il est donc important d'étudier l'influence du diamètre du brasseur à vitesse caractéristique constante. Dans ces conditions, Raftery et al. [20] ont montré que l'augmentation du diamètre du brasseur (figure 2) entraine :

- une augmentation de la surface de la zone d'influence directe sous le brasseur sans y modifier notablement la vitesse d'air moyenne ;
- une augmentation de la vitesse d'air en zone d'entrainement proportionnelle au diamètre.

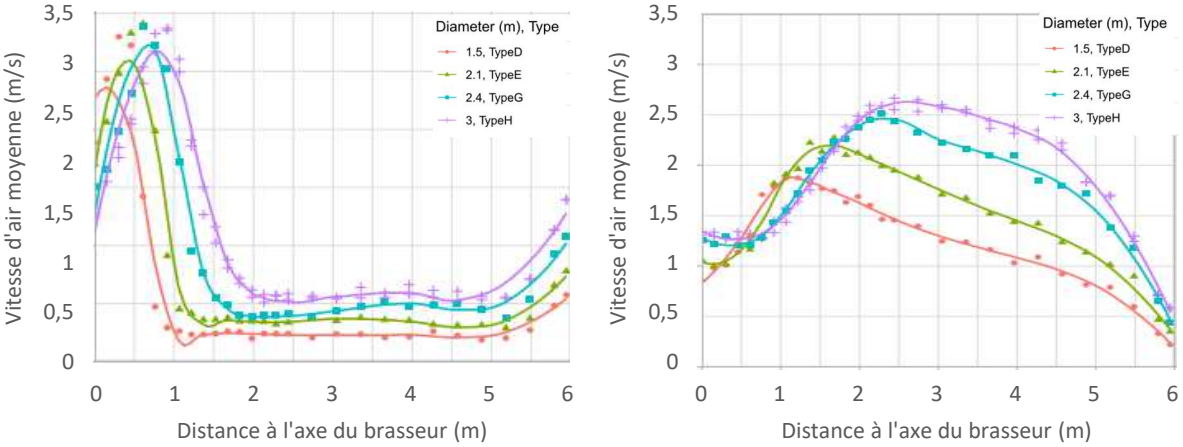


Figure 2 : Influence du diamètre du brasseur sur la vitesse d'air mesurée à différentes hauteurs par rapport au sol : (a) 170 cm, (b) 10 cm [20]
La vitesse caractéristique du brasseur est fixée à 2,1 m/s. (Largeur de la chambre : 12 m, hauteur de plafond : 3 m, distance de montage : 73 cm)

2.2.2 Vitesse de rotation du brasseur

De nombreux auteurs [17-25] ont étudié l'influence de vitesse de rotation du brasseur sur le champ de vitesse. De façon triviale, il est observé que l'augmentation de la vitesse de rotation augmente la vitesse moyenne de l'air dans toutes les zones de l'écoulement. Certains auteurs rapportent une relation de proportionnalité entre le débit et la vitesse de rotation [20] (figure 3) ou entre la vitesse d'air et la vitesse de rotation [25], les deux relations étant cohérentes entre elles puisque la vitesse d'air est proportionnelle au débit pour un diamètre donné.

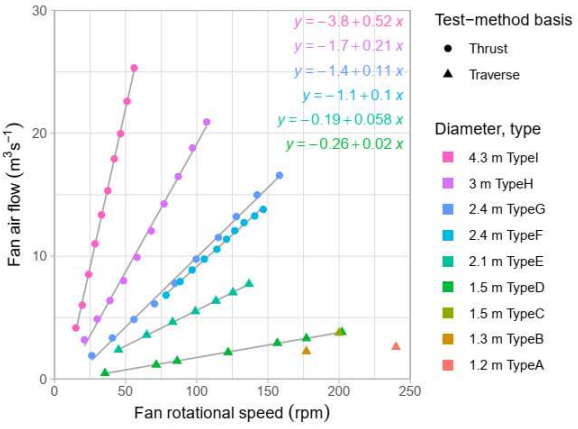


Figure 3 : Influence de la vitesse de rotation sur le débit mesuré par les constructeurs pour différents brasseurs

Raftery et al [20] proposent de rapporter les vitesses d'air mesurées à chaque vitesse de rotation aux vitesses caractéristiques calculées à partir des débits certifiés par les constructeurs pour chacune de ses vitesses et montre que ce rapport est constant quelle que soit la vitesse de rotation (figure 4).

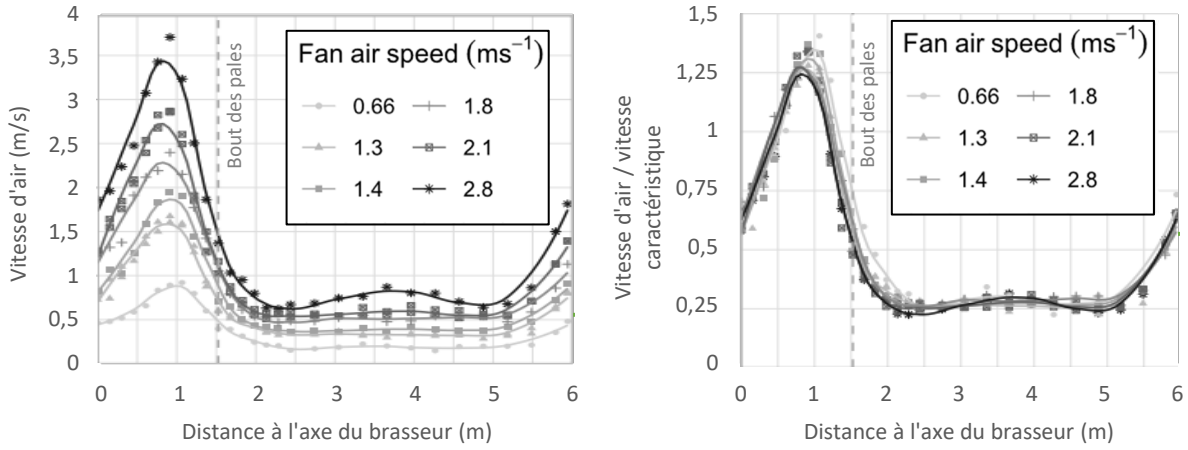


Figure 4 : Influence de la vitesse de rotation sur le profil de vitesse d'air et normalisation du profil par la vitesse caractéristique [20] (Diamètre du brasseur : 3 m, largeur de la chambre : 12 m, hauteur de plafond : 3 m, distance de montage : 76 cm)

2.2.3 Distance de montage

Ces trois hauteurs étant liées entre elles, il est impossible d'étudier indépendamment hauteur de pales, hauteur de plafond et distance de montage (distance entre les pales et le plafond). L'influence de la distance de montage a été principalement discuté dans la littérature en considérant une hauteur de pales fixe et donc une hauteur de plafond variable. De façon générale, on observe que, en dessous d'une certaine distance de montage, la proximité entre le plafond et les pales réduit le débit du brasseur, c'est l'étouffement du brasseur.

Pour un brasseur de 130 cm (vitesse de rotation 160 tr/min, débit estimé 9200 m3/h), Momoi et al [26] ont mesuré le profil de vitesse à une hauteur de 20 cm sous les pales du brasseur pour différentes distance de montage comprise entre 25 cm et 85 cm (entre 0.19 D et 0,65 D). La figure 5 montre que le profil de vitesse est affecté pour toutes les distances de montages inférieures à 45 cm (0,35 D). La réduction de la vitesse mesurée au pic est de 70 % pour une distance de montage de 25 cm (0.19 D), 40 % pour 30 cm (0,23 D), 30 % pour 35 cm (0.27 D) et 20 % pour 40 cm (0,31 D).

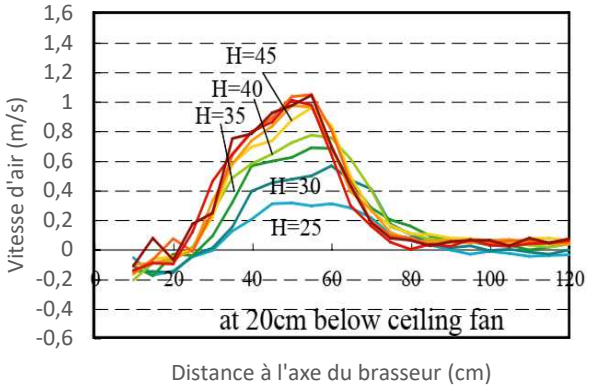


Figure 5 : Influence de la distance de montage sur le profil de vitesse pour un brasseur de 130 cm [26]

Chen et al [22] ont utilisé la CFD pour simuler l'effet de la distance de montage sur le profil de vitesse aux quatre hauteurs de référence pour étudier le confort thermique (170 cm, 110 cm, 60 cm et 10 cm) dans le cas d'un brasseur de 152 cm de diamètre (Haiku, Big Ass Fans) avec une vitesse de rotation de 115 tr/min (débit estimé 6700 m^3/h). La figure 6 montre que le pic de vitesse est réduit de 40 % à 60 cm de hauteur lorsque la distance de montage est de 15 cm (0,1 D) par rapport à une distance de montage de 35 cm (0,23 D), de 30 % pour 20 cm (0,13 D), de 15 % pour 25 cm (0,16 D) et de 7 % pour 30 cm (0,2 D). Ces résultats doivent toutefois être pris avec beaucoup de précaution puisque la distance de montage la plus grande reste insuffisante pour vérifier que le débit n'est pas affecté et que le brasseur n'est pas testé ici à sa vitesse maximale (180 tr/min, débit estimé 10300 m^3/h). Par ailleurs, le modèle de turbulence utilisé pour ces simulations n'est pas adapté à la modélisation des jets, c'est-à-dire au type de courants d'air rencontrés sous un

brasseur, ce qui explique les « irrégularités » observées sur les profils simulés. Pour ce modèle, le constructeur recommande une distance de montage de 53 cm (0,35 D), une distance de 30,5 cm (0,2 D) pouvant être utilisée dans le cas de hauteur de plafond inférieure à 2,70 m (montage dit « low profile »).

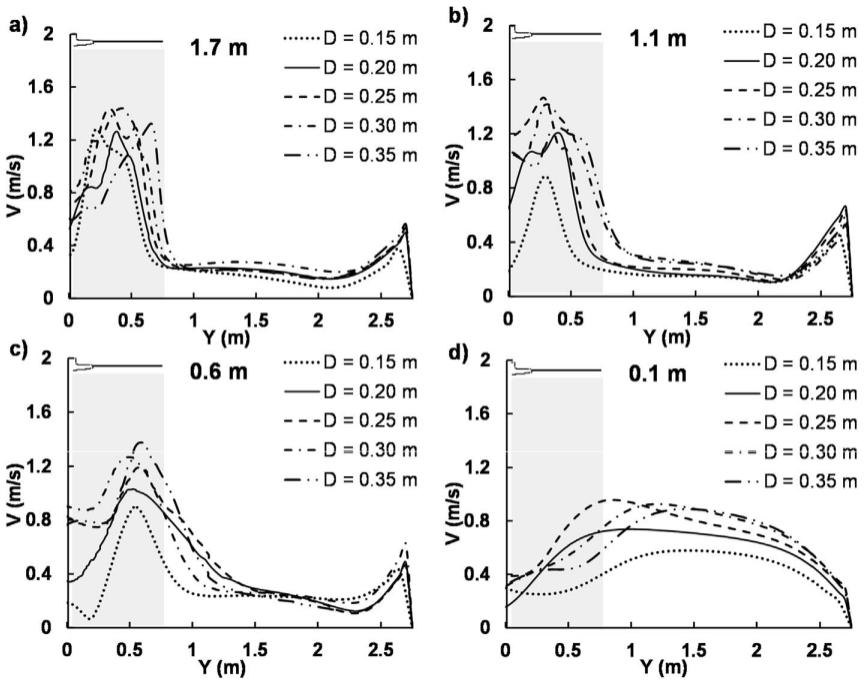


Figure 6 : Simulation des profils de vitesses avec différentes distances de montage aux 4 hauteurs de référence pour un brasseur de 152 cm de diamètre [22]

Pour un brasseur de 87 cm (vitesse de rotation 295 tr/min, débit estimé 4000 m³/h), Blanchard [27] a mesuré le profil de vitesse à une hauteur de 120 cm par rapport au sol pour des distances de montage de 13 cm (0,15 D), 19 cm (0,22 D), 25 cm (0,29 D) et 29 cm (0,33 D). Sur la figure 7, on observe que la hauteur de 13 cm entraine un étouffement total du brasseur et que la distance de 19 cm conduit à une réduction du pic de vitesse de 15 %, les distances supérieures n'ayant pas d'incidence significative sur la vitesse moyenne dans la zone centrale.

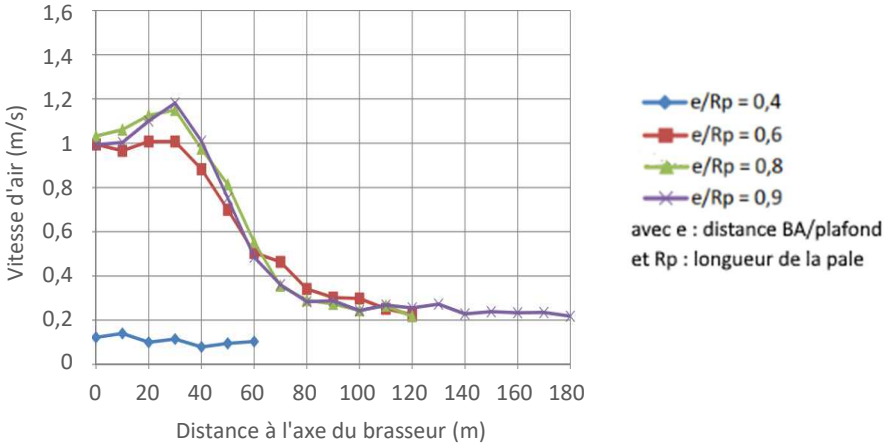


Figure 7 : Influence de la distance de montage sur les profils de vitesses à une hauteur de 1,2 m par rapport au sol pour un brasseur de 87 cm de diamètre [27]

Dans une étude sur différentes tailles de brasseur de 120 cm à 4,3 m, Raftery et al [20] ont étudié l'influence de distance de montage de 76 cm, 1,4 m et 2 m pour une hauteur de pales de 3 m. Dans ces conditions, les distances de montage était de 0.25 D, 0.46 D et 0.66 D pour le brasseur de 3 m de diamètre (vitesse de rotation 79 tr/min, débit estimé 53400 m³/h) et de 0,18 D, 0,33 D et 0,47 D pour le brasseur de 4,3 m (vitesse de rotation 58 tr/min, débit estimé 94000 m³/h). Sur la figure 8, on observe que la distance de montage de 76 cm diminue le pic de vitesse de 10 % pour le brasseur de 3 m et de 15 % pour le brasseur de 4,3 m.

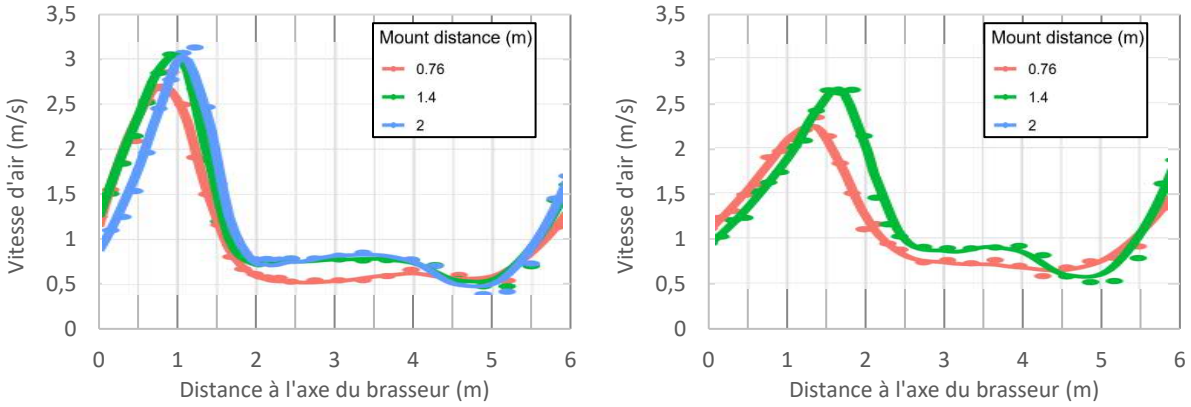


Figure 8 : Influence de la distance de montage sur les profils de vitesses à une hauteur de mesure de 1,7 m par rapport au sol pour deux brasseurs de grandes tailles : (a) D = 3 m et (b) D= 4,3 m [20]. La hauteur de pales est fixée à 3 m.

Dans le cas d'un brasseur de 122 cm, Chandra et al [28] ont mesuré l'influence de la distance de montage par rapport à un plafond à 2,44 m (pièce de 5,38 m x 3,55 m). Ils ont mesuré les vitesses en trois positions différentes à 76 cm au-dessus du sol pour des distances de montage allant de 10 à 30 cm (0,08 D à 0,25 D). Sur la figure 9, on constate que les vitesses sous le brasseur diminuent fortement pour des distances de montage inférieures à 15 cm (0,125 D) qu'elles augmentent de façon linéaire pour des distances de 30 cm sans jamais atteindre de maximum. En conclusion, ils recommandent d'utiliser la distance de montage la plus grande physiquement possible. Toutefois, ces mesures sont à relativiser puisque, le plafond étant à hauteur fixée, la distance entre le brasseur et les points de mesure diminue quand la distance de montage augmente, entrainant nécessairement une augmentation de la vitesse mesurée.

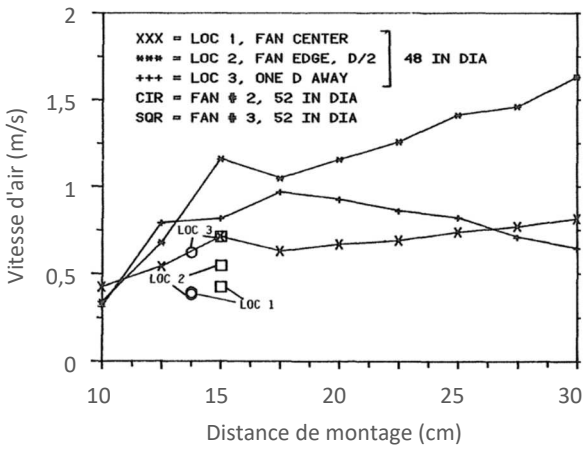
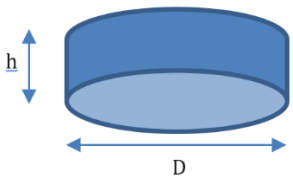


Figure 9 : Influence de la distance de montage sur la vitesse d'air en différentes postions de mesures pour un brasseur de 122 cm [28].

Certains auteurs [17,20] évoque une recommandation « simple » de respecter une distance de montage supérieure à 0,25 fois le diamètre pour s'assurer d'éviter l'étouffement. En effet, à cette distance la surface latérale du cylindre fictif se trouvant entre les pales et le plafond est égale à la surface balayée par les pales permettant ainsi une conservation du débit sans variation de la vitesse :



$$\pi D h = \pi \frac{D^2}{4} \quad \equiv \quad h = \frac{D}{4}$$

Dans le cas des grands brasseurs, le fabricant Big Ass Fans, spécialisé dans les brasseurs de grandes tailles, fournit les distances minimales requises pour chacun de ces modèles (figure 10) et dans l'ensemble des cas, la distance de montage recommandée est de l'ordre de 0,35 D pour les brasseurs de plus de 2,4 m de diamètre [29], avec dans certains cas, la possibilité de montage « low profile » (tige raccourcie) avec des distances de montage de l'ordre de 0,25 D, voire d'un montage « flush » (sans tige) pour l'un de ses modèles avec une distance de montage de 0,13 D. A partir des valeurs de la figure 5 [26], on peut calculer que le montage « low-profile » diminue la vitesse de l'ordre de 15 % par rapport au montage standard et que le montage « flush » diminue le débit de 30 % par rapport au montage « low-profile » et 40 % par rapport au montage standard.

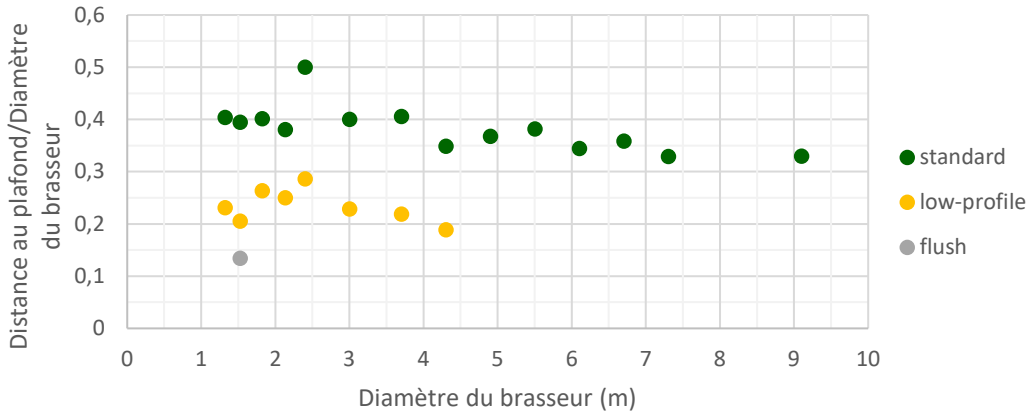


Figure 10 : Rapport entre la distance de montage et le diamètre pour les différents modèles de la gamme Big Ass Fans, d'après [29]

2.2.4 Hauteur de pales

Raftery et al [20] ont étudié l'influence la hauteur de pales (sans modification de la distance de montage) pour différents diamètres de brasseurs à des hauteurs de pales de 3 m (2 D pour le brasseur de 1,5 m, 1,4 D pour le brasseur de 2,15 m, 1 D pour le brasseur de 3 m et 0,7 D pour le brasseur de 4,3 m) et de 4,3 m (2,9 D pour le brasseur de 1,5 m, 2 D pour le brasseur de 2,15 m, 1,4 D pour le brasseur de 3 m et 1 D pour le brasseur de 4,3 m). Sur la figure 11, on peut observer que, dans le cas des petits brasseurs qui ont été testés dans une chambre de 6 m de largeur avec une distance de montage de 70 cm, lorsque la hauteur des pales augmente de 3 m, la vitesse d'air mesurée à 170 cm de du sol diminue de l'ordre de 10 %. Dans le cas des grands brasseurs qui ont été testés dans une chambre de 12 m avec une distance de montage de 1,4 m (échelle double par rapport aux essais avec les petits brasseurs), on observe que le profil de vitesse n'est que peu impacté par la hauteur de pales, le pic étant simplement déplacé vers l'extérieur.

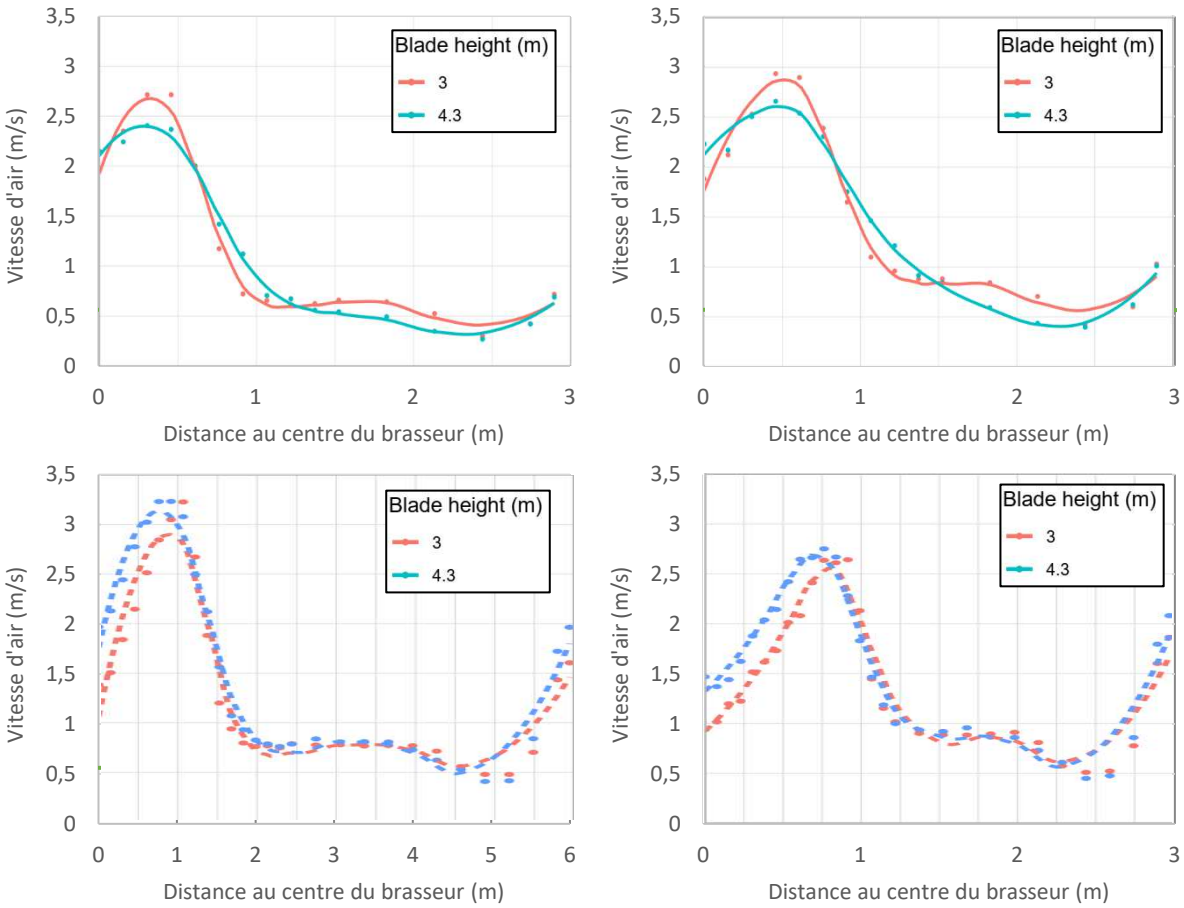


Figure 11 : Influence de la hauteur de pales sur le profil de vitesse pour de brasseur de : (a) 1,5 m, (b) 2,15 m, (c) 3 m et (d) 4,3 m [20]. La distance de montage est de 70 cm dans les cas (a) et (b) et de 1,4 m dans les cas (c) et (d),

En utilisant la démarche de simulation citée dans la section précédente, Chen et al.[22] ont également simulé l'influence de la hauteur de pales d'un brasseur de 1,5 m pour une distance de montage fixe de 30 cm (0,2 D). La figure 12 montre les profils de vitesses mesurés à une hauteur de 60 cm par rapport au sol pour des hauteurs de pales de 2,2 m (1,5 D), 3 m (2 D) et 3,7 m (2,5 D). On observe une réduction de la vitesse d'air sous le brasseur de l'ordre de 50 % pour une hauteur de 2,5 D et de 25 % pour une hauteur de 2 D par rapport à la hauteur de 1,5 D.

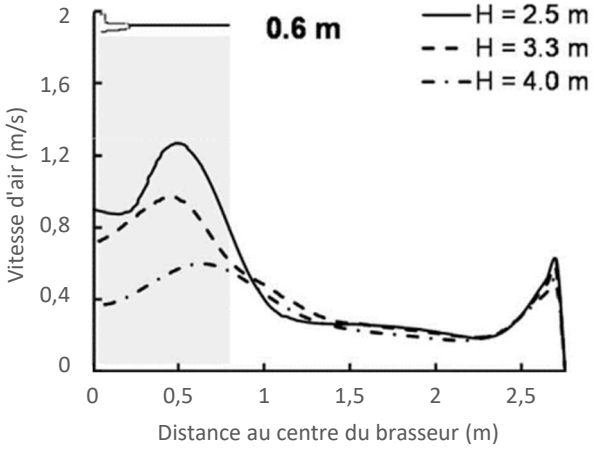


Figure 12 : Simulation des profils de vitesse pour différentes hauteurs sous plafond (H) pour un brasseur de 1,5 m de diamètre [22]. La distance de montage est fixée à 30 cm (0,2 D).

Pour un brasseur de 87 cm, Blanchard [27] a mesuré le profil de vitesse à une hauteur de 120 cm du sol pour trois hauteurs de pales de 2,17 m (2,5 D), 1,65 m (1,9 D) et 1,30 m (1,5 D) avec une distance de montage de 29 cm (0,33 D), c'est-à-dire des hauteurs sous plafond de 2,46 m, 1,94 m et 1,59 m. On constate, sur la figure 12, que la vitesse est beaucoup plus importante lorsque le brasseur se rapproche de la hauteur de mesure, ce qui est cohérent avec les résultats des études précédemment citées. Cependant, l'utilisation pratique de telles observations reste très limitée puisque les hauteurs utilisées dans cette étude sont très inférieures aux hauteurs minimales requises dans des bâtiments réels.

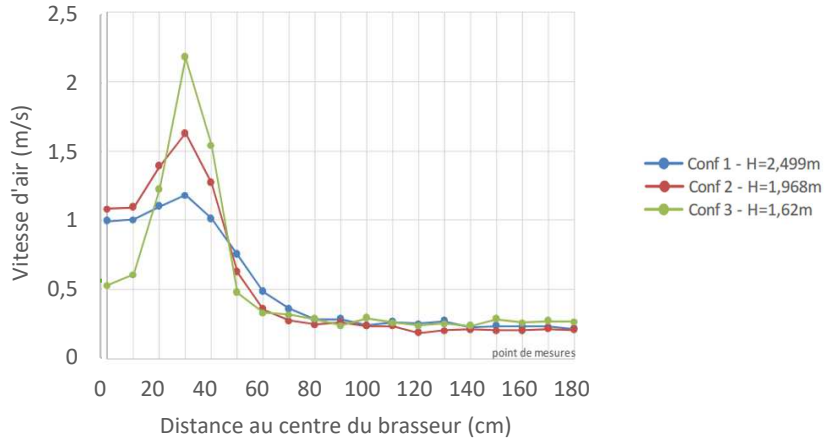


Figure 13 : Influence de la hauteur de pales sur le profil de vitesse mesurée à une hauteur de 1,2 m par rapport au sol pour un brasseur de 87 cm [27]. La distance de montage est fixée à 29 cm.

Si, dans le cas des petits brasseurs, les hauteurs de pales minimales sont requises pour des raisons de sécurité, c'est dans le cas des grands brasseurs (diamètre supérieur à 2,4 m) qu'il est nécessaire d'envisager une hauteur de pales minimale requise pour ne pas affecter le flux d'air. Le fabricant Big Ass Fans a réalisé une étude particulière sur ce sujet [29] pour un brasseur de 7,3 m de diamètre dans un salle de 56 m de largeur et de 16 m de hauteur sous plafond. Les hauteurs de pales sont fixées à 3 m (0,4 D), 4,6 m (0,6 D), 6 m (0,8 D), 7,6 m (1 D), 9 m (1,2 D) et 12,2 m (1,7 D). La distance de montage minimale est de 3,8 m (0,52 D), ce qui est suffisant pour ne pas affecter la vitesse d'air. La figure 14 montre l'influence de la hauteur de pales sur la vitesse d'air moyenne ressentie en position debout (moyenne des profils de vitesses entre les hauteurs de 170 cm, 110 cm et 10 cm par rapport au sol). On constate que la vitesse est maximale pour une hauteur de 6 m, soit un rapport de hauteur de 0,8 D, et que la vitesse chute drastiquement (de l'ordre de 25 %) pour les hauteurs inférieures.

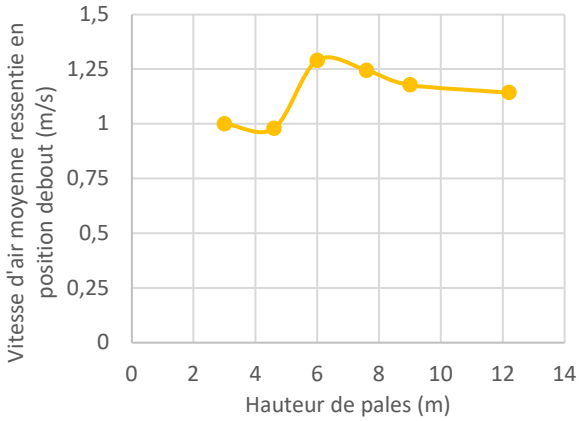


Figure 14 : Influence de la hauteur de pales sur la vitesse ressentie en position pour un brasseur de 7,3 m de diamètre, d'après [29]

2.2.5 Distance aux murs

Dans une configuration symétrique (pièce carrée avec brasseur positionné au centre), Raftery et al [20] ont montré que le champ de vitesse d'air présente une symétrie radiale et que la vitesse d'air en tous points dans la zone d'entrainement augmente proportionnellement au rapport du diamètre sur la largeur de la chambre.

Dans des configurations dissymétriques (pièce non carrée et/ou brasseur non centré), différents auteurs [17, 21, 30] ont observé des dissymétries du champ de vitesse que ce soit sous le brasseur dans la zone d'influence directe ou dans la zone d'entrainement.

Dans une pièce rectangle (4,54 m x 3,48 m) où le brasseur (diamètre 120 cm) est centré, Jain et al [30] ont mesuré les profils de vitesse à des hauteurs par rapport au sol de 1,5 m et de 2,72 m (15 cm sous les pales du brasseur). Sur la figure 15, on observe que le flux d'air est déformé de vitesse est déformé vers l'extérieur sur l'axe où le mur est plus proche et que la vitesse en zone d'entrainement est plus élevée. En effet, le volume d'air à entrainer étant plus faible de ce côté, la vitesse en zone de recirculation y est supérieure. Le flux d'air dans la zone centrale est alors attiré de même côté par un effet d'entrainement réciproque due à cette vitesse plus élevée.

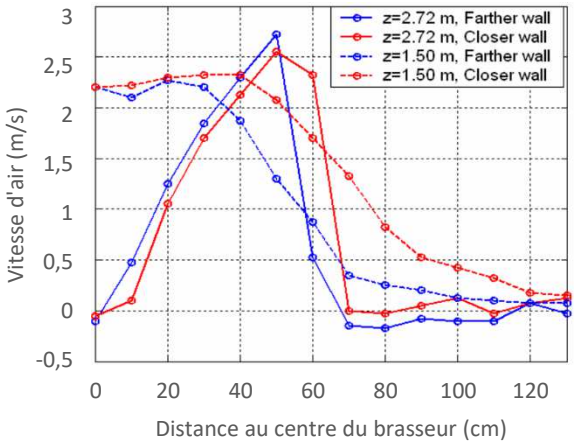


Figure 15 : Influence de la distance au mur sur le profil de vitesse dans une pièce rectangulaire dans laquelle le brasseur de 120 cm est centré [30]

Dans une pièce carrée où le brasseur n'est pas centré (brasseur centré sur l'axe Nord-Sud et excentré de 60 cm vers l'est sur l'axe Est-Ouest), Gao et al [17] ont observé la même dissymétrie du champ de vitesse que dans l'étude de Jain et al [30], ce qui s'explique par les mêmes raisons.

Liu et al [21] ont étudié le champ de vitesse généré par un brasseur non centré dans une pièce rectangle de 5,57 m x 4,32 m. Le brasseur est excentré de 5 cm sur la longueur (axe Y) et de 31,5 cm sur la largeur (axe X). Les champs de vitesses mesurées (figure 16) présentent des dissymétries qui sont cohérentes avec les observations des études précédemment citées [17, 30]

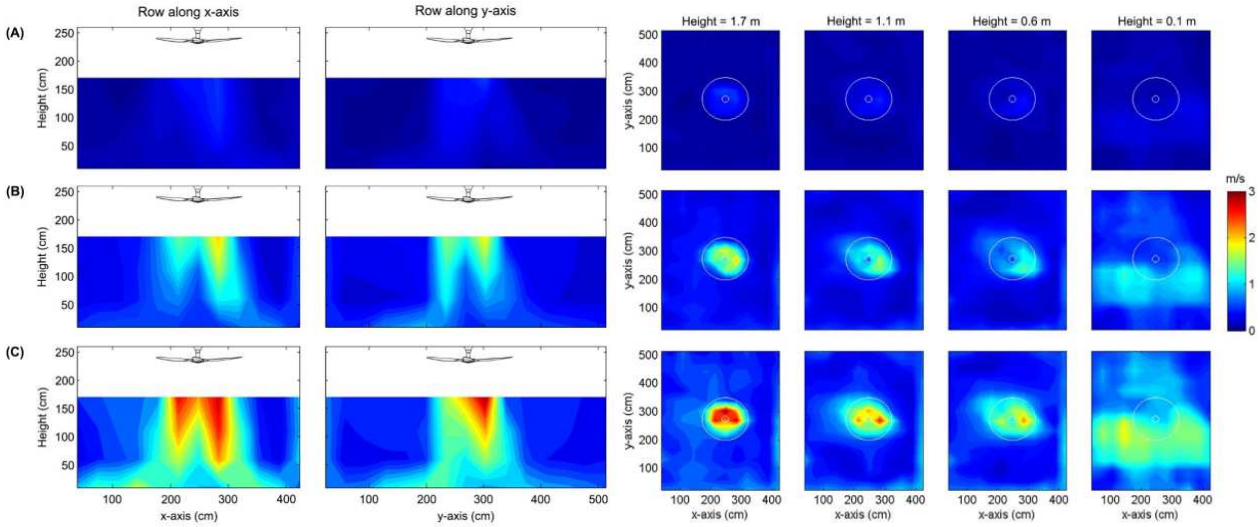


Figure 16 : Champs de vitesse mesurés dans une pièce rectangulaire avec un brasseur excentrée de 1,5 m de diamètre pour les vitesses de fonctionnement : (a) lent, (b) moyen et (c) rapide.

Afin de déterminer la distance minimale requise entre le brasseur et le mur le plus proche, Blanchard [27] a mesuré, pour un brasseur de 87 cm, les profils de vitesse à une hauteur de 130 cm par rapport au sol pour des distances entre le centre du brasseur et le mur de 0,87 m (1 D), 1,3 m (1,5 D) et 2 m (2,3 D). Dans le cas où la distance entre le brasseur et le mur la plus courte (figure 17), on constate que, sur l'axe entre le brasseur est le mur le plus proche, le pic de vitesse est décalé vers l'extérieur et qu'il devient impossible de différencier la zone d'influence directe de la zone d'entrainement. Sur l'axe opposé, le pic de vitesse est décalé vers le centre du brasseur. Toutefois, même dans ce cas, la grande proximité du mur ne semble pas suffisante pour affecter négativement le flux d'air.

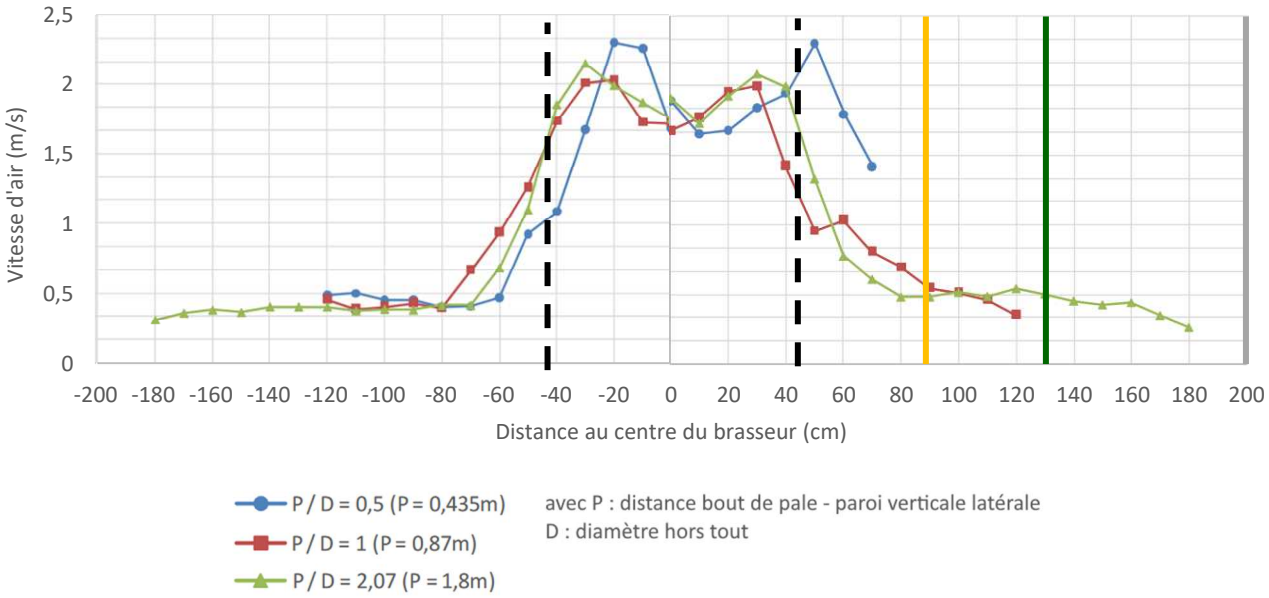


Figure 17 : Influence de la distance au mur le plus proche sur le profil de vitesse mesurée à une hauteur de 1,3 m par rapport au sol pour un brasseur de 87 cm de diamètre [27].

Big Ass Fans [29] recommande de respecter une distance minimale d'un diamètre entre le centre du brasseur et le mur le plus proche pour l'ensemble des brasseurs de sa gamme, recommandation que l'on retrouve régulièrement dans les fiches techniques de plusieurs fabricants.

2.2.6 Distance entre deux brasseurs

Liu et al [23] ont étudié l'effet des interactions entre deux brasseurs voisins sur le motif d'écoulement d'air dans une pièce vide (figures 18 et 19) pour des distances entre les centres de brasseurs (1,5 m de diamètre) de 1,89 m (sur la largeur de la pièce), 2,52 m (sur la longueur de la pièce) et 3,15 m (sur la diagonale de la pièce), soit des ratios de 1,3 D, 1,7 D et 2,1 D. L'interaction entre les brasseurs augmente lorsque les vitesses de rotation augmentent. A la plus haute vitesse, lorsque les deux brasseurs sont très proches (1,3 D), les zones d'influence directe des deux brasseurs se rejoignent en créant une zone de turbulence dans laquelle la vitesse est relativement uniforme. En augmentant la distance séparant les brasseurs jusqu'à une distance de 2,1 D, deux motifs d'écoulement d'air distincts sont observés avec des vitesses plus élevées sous le brasseur, en notant toutefois l'absence d'une zone de courant de remontée centrale entre les deux brasseurs.

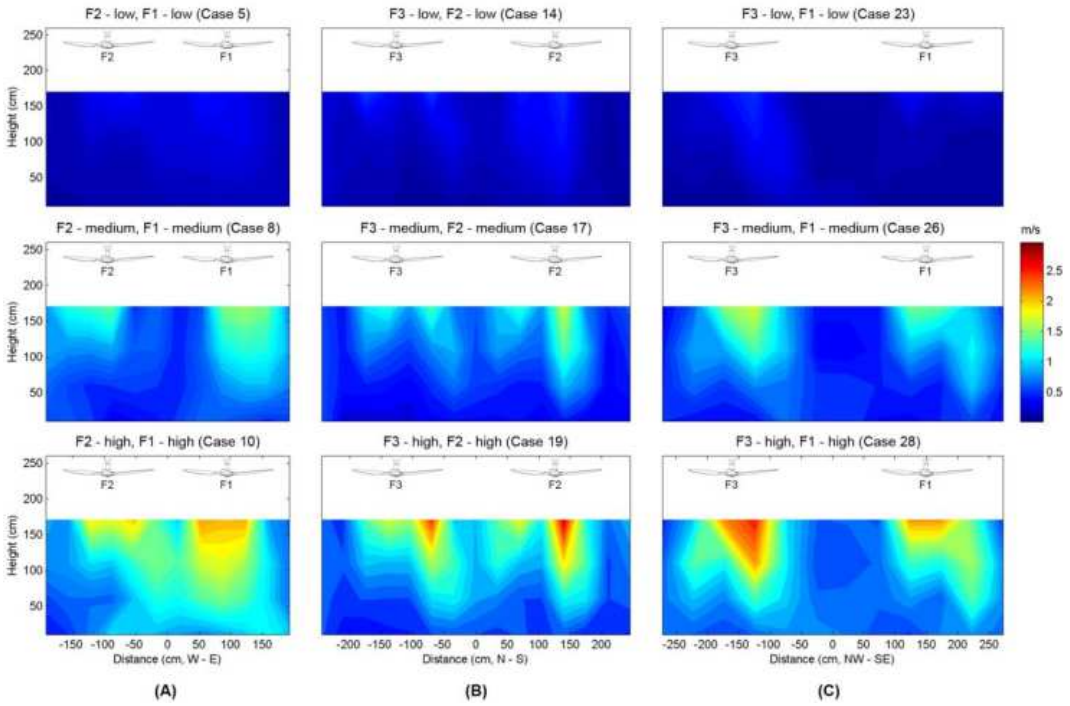


Figure 18 : Vue en coupe verticale dans le plan passant par le centre des brasseurs du champ de vitesse pour différentes vitesses de fonctionnement et différentes distances entre deux brasseurs de 1,5 m de diamètre : (a) 1,89 m (1,3 D), (b) 2,52 m (1,7 D) et (c) 3,15 m (2,1 D)

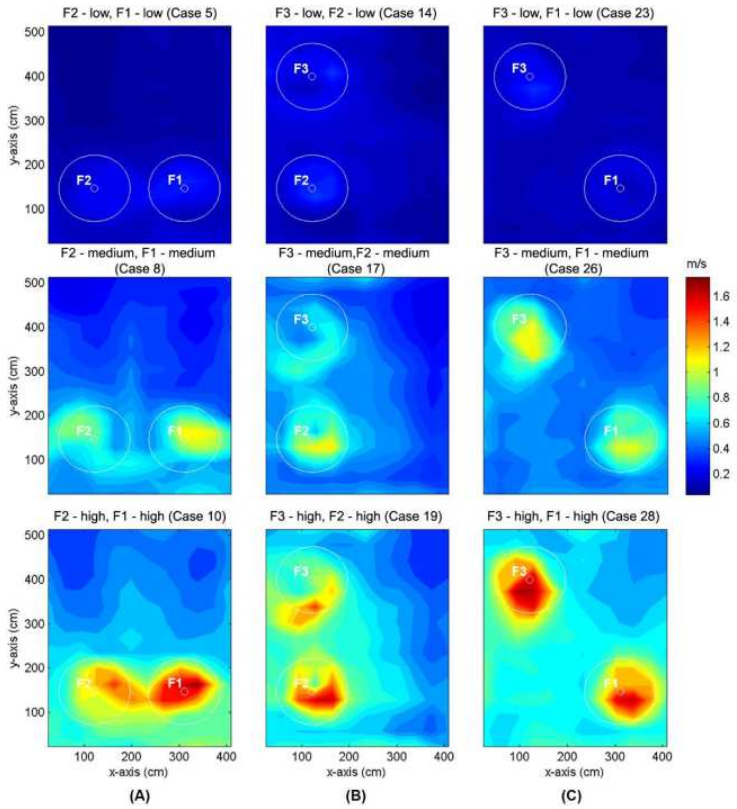


Figure 19 : Vue en coupe horizontale du champ de vitesse (moyenne en les 4 hauteurs de mesure de référence) pour différentes vitesses de fonctionnement et différentes distances entre deux brasseurs de 1,5 m de diamètre : (a) 1,89 m (1,3 D), (b) 2,52 m (1,7 D) et (c) 3,15 m (2,1 D)

Dans une étude sur l'évaluation du confort thermique dans un salle de classe (7,6 m x 5,6 m x 4,3 m), Mihara et al [31] ont mesuré le champ de vitesse produit par deux brasseurs de 132 cm de diamètre positionnés à une hauteur de pales de 2,6 m. La distance séparant les brasseurs est de 4,6 m soit 3,5 D. A cette distance, les deux brasseurs fonctionnent de manière indépendante et l'on peut observer l'existence du courant de remontée centrale entre les deux brasseurs (figure 20).

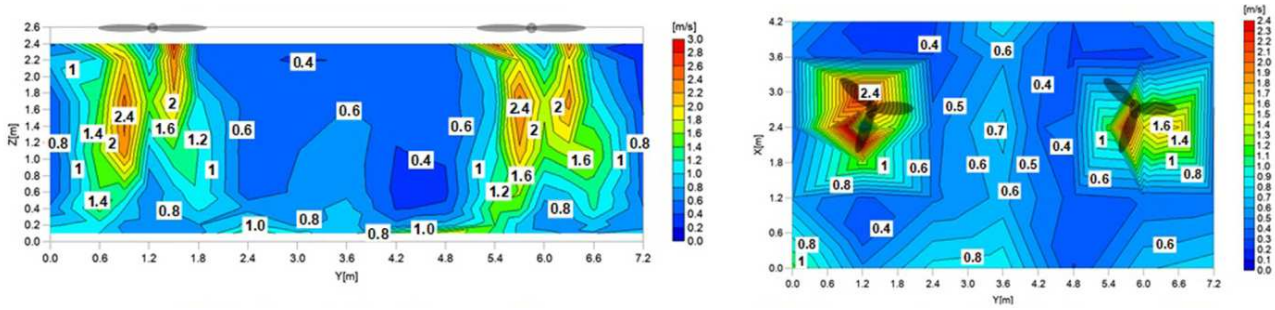


Figure 20 : Vue en coupe (a) verticale passant par le centre des brasseurs et (b) horizontale à 1,1 m de hauteur par rapport au sol du champ de vitesse d'air en présence de 2 brasseurs de 132 cm séparés de 4,6 m (3,5 D) à la vitesse de fonctionnement 5/7 [31]

En se basant sur les résultats d'une recherche interne non publiée, le fabricant Big Ass Fans recommande de respecter une distance minimale de 2,5 D entre deux brasseurs voisins [29], ce qui semble cohérent avec les résultats précédemment cités pour obtenir une distance à laquelle les motifs d'écoulement sont totalement indépendants et ou la présence d'un courant de remontée centrale permet d'assurer un débit d'air optimum.

2.2.7 Brasseur d'air et mobilier

Pour tenter de créer une distribution uniforme de l'air dans la pièce, Gao et al. [17] ont étudié l'influence d'une table (1,2 m x 0,6 m, h = 75 cm) et d'une cloison de partitionnement mobile (L = 2,4 m, h = 1,4 m) sur l'écoulement généré par un brasseur de 152 cm (figure 21). On observe que la table dévie le flux d'air vers l'extérieur agrandissant ainsi la surface de la zone d'influence directe.

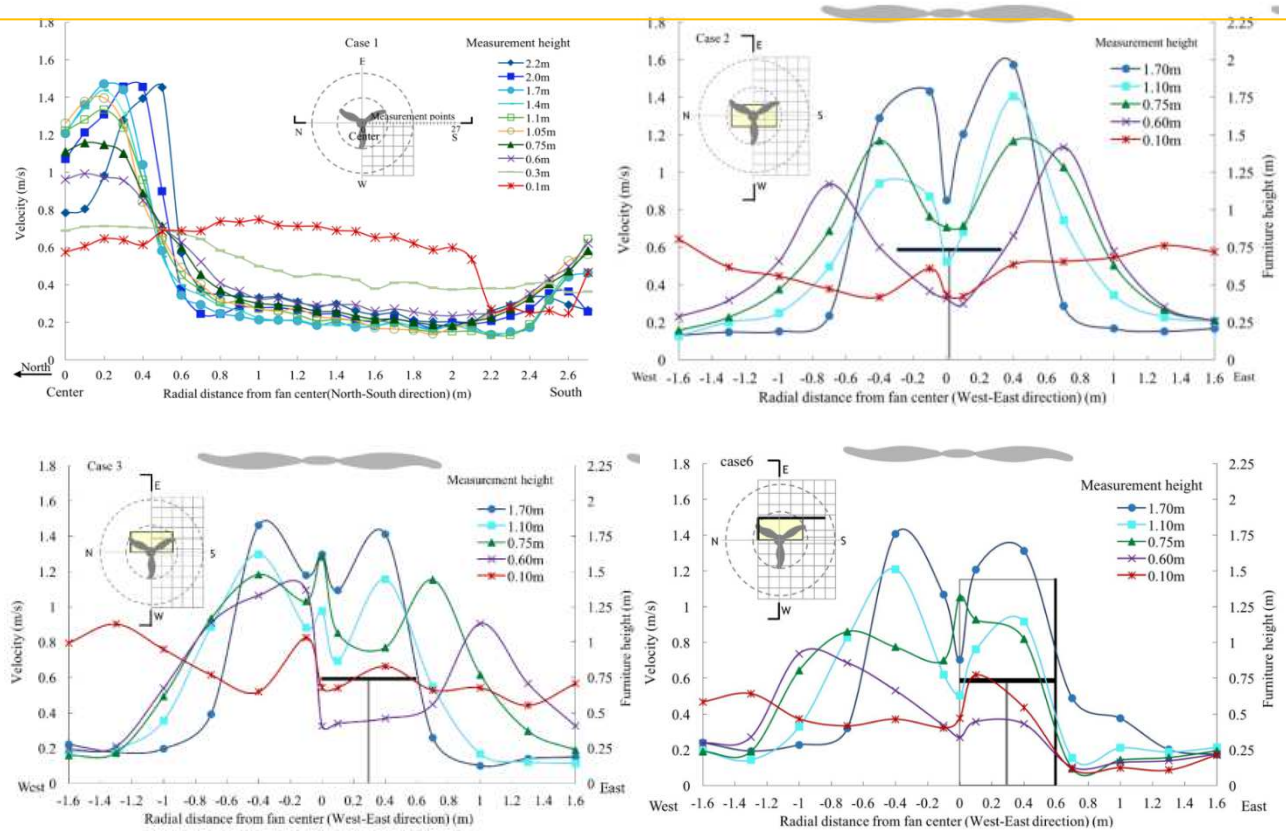


Figure 21 : Influence du positionnement d'une table et d'une cloison de partition sur l'écoulement d'air [20]

En mettant davantage l'accent sur les aspects de confort thermique induit par le champ de vitesse provoqué par le brasseur d'air, Lin [32] a évalué le profil de débit d'air et le mobilier de bureau typique sous le brasseur d'air. La comparaison du profil d'écoulement d'air entre une pièce avec et sans meubles a montré que la table sous le brasseur d'air déforme le circuit d'écoulement d'air. La présence de la table réduit la vitesse de pointe. Toutefois, le maximum se déplace latéralement vers l'extérieur de la zone centrale, ce qui rend la répartition de la vitesse dans la partie occupée de la salle plus uniforme. L'efficacité du positionnement de la table pour assurer l'uniformité du flux d'air dans un espace occupé dépend de l'emplacement de la table par rapport aux pales du brasseur d'air. L'ajout de cloisons verticales proche de la table a également amélioré la distribution de l'air.

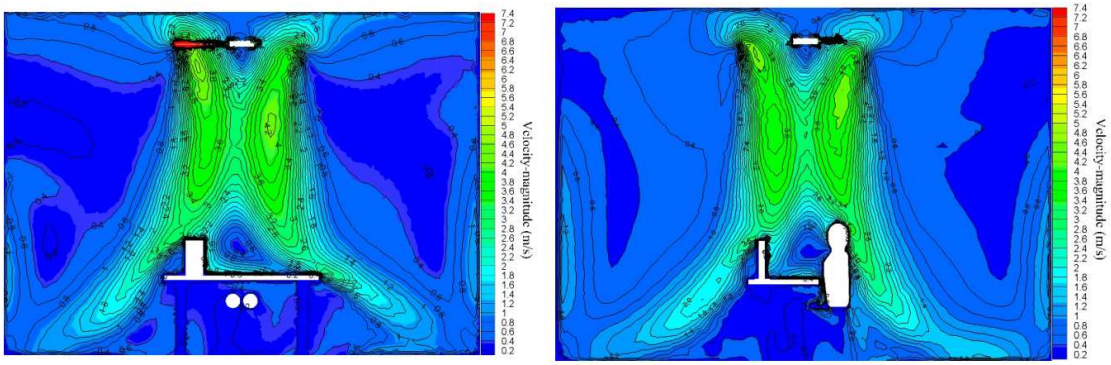


Figure 22 : Amplitude de la vitesse en m/s à différents plans de coupe transversale : (a) plan X ; (b) plan Y

2.3 Simulation numérique des écoulements d'air induits par les brasseurs d'air

La simulation dynamique des écoulements de fluides (CFD pour *Computational Fluid Dynamics*) permet de simuler l'écoulement d'air induit par un brasseur d'air en résolvant numériquement les équations qui régissent l'écoulement. De manière générale, la résolution d'un problème de CFD se déroule selon les étapes suivantes :

- Définition de la géométrie ;
- Choix des modèles traduisant au mieux le phénomène en faisant un compromis entre représentation physique et ressources de calcul ;
- Discrétisation du domaine de calcul à l'aide d'un maillage adapté aux modèles choisis, la méthode la plus courante étant la méthode des éléments finis (FEM pour *Finite Element Method*)
- Résolution du problème à l'aide d'algorithmes vérifiant la convergence vers une solution stabilisée

La précision des résultats CFD dépendant fortement des paramètres et des modèles d'entrée, il est donc indispensable de corréler les modèles de CFD à des mesures expérimentales afin de s'assurer la fiabilité des résultats.

2.3.1 Modélisation de l'écoulement turbulent

Les écoulements de fluides sont décrits par les équations de Navier-Stokes développées par Henri Navier en 1822 [49] puis reformulées par Georges Stokes en 1845 [50]. Dans une formulation eulérienne, en utilisant l'hypothèse de Stokes pour un fluide newtonien compressible tel que l'air et soumis à la seule force volumique de pesanteur, ces équations s'écrivent :

- Equation de conservation de la masse

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \boldsymbol{v}) = 0$$

- Equation de conservation de la quantité de mouvement

$$\rho\left(\frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial t} + (\boldsymbol{v} \cdot \vec{\nabla})\boldsymbol{v}\right) = -\vec{\nabla} p\boldsymbol{I} + \mu\left[\vec{\nabla}\boldsymbol{v} + (\vec{\nabla}\boldsymbol{v})^T - \frac{2}{3}(\vec{\nabla} \cdot \boldsymbol{v})\boldsymbol{I}\right] + \rho \boldsymbol{g}$$

Où ρ est la masse volumique du fluide (kg.m^{-3}), $\boldsymbol{v}$ est le vecteur vitesse (m.s^{-1}), p est la pression (Pa), I est le tenseur unité, μ est la viscosité dynamique (Pa.s) et $\boldsymbol{g}$ est la pesanteur (m.s^{-2}).

Dans cette étude, nous nous limiterons au régime stationnaire (les termes dépendant du temps seront nuls) et nous négligerons l'influence de la gravité sur l'écoulement. Les équations s'écriront alors :

- Equation de conservation de la masse

$$\vec{\nabla} \cdot (\rho \boldsymbol{v}) = 0$$

- Equation de conservation de la quantité de mouvement

$$\rho(\boldsymbol{v} \cdot \vec{\nabla})\boldsymbol{v} = -\nabla p\boldsymbol{I} + \mu\left[\vec{\nabla}\boldsymbol{v} + (\vec{\nabla}\boldsymbol{v})^T - \frac{2}{3}(\vec{\nabla} \cdot \boldsymbol{v})\boldsymbol{I}\right]$$

Toutefois l'existence mathématiques de solutions aux équations de Navier-Stokes n'est pas démontrée et des méthodes de résolutions approchées permettent de proposer des modélisations des écoulements de fluides.

Il existe trois méthodes pour prendre en compte les phénomènes de turbulences dans un écoulement :

- La **simulation numérique directe** (DNS pour *Direct Numerical Simulation*) qui nécessite d'utiliser un maillage ou les éléments ont une taille inférieure à la distance de Kolmogorov, c'est-à-dire à celle du plus petit tourbillon. Ce maillage très fin rend cette méthode très gourmande en ressources de calcul et la limite à des problèmes de très petite taille).

- La **simulation des grandes échelles** (LES pour *Large Eddy Simulation*) dans lequel le maillage est plus grossier, les tourbillons les plus petits étant pris en compte pour un moyenne spatiale des équations de Navier-Stokes ;
- La **moyenne de Reynolds** (RANS pour *Reynolds Averaged Navier Stokes*) qui représente les tourbillons quelle que soit leur échelle à l'aide d'une moyenne temporelle des équations de Navier-Stokes. C'est la méthode la moins gourmande en ressources et de fait, la plus couramment utilisée pour des applications industrielles.

Dans le cas des écoulements turbulents tels que ceux générés par les brasseurs d'air, il est donc courant d'utiliser la moyenne de Reynolds introduite par Osborne Reynolds en 1895 [51]. La turbulence y est considérée comme un processus statistique pouvant être décrit par une valeur moyenne $\overline{\boldsymbol{v}}$ et des fluctuations du vecteur vitesse $\boldsymbol{v}'$:

$$\boldsymbol{v} = \overline{\boldsymbol{v}} + \boldsymbol{v}'$$

Cela permet d'aboutir à l'expression d'un tenseur de contraintes de turbulence $\boldsymbol{T} = -\vec{\nabla} \cdot \overline{(\rho \boldsymbol{v}' \otimes \boldsymbol{v}')}$, appelé tenseur de contraintes de Reynolds, s'ajoutant au tenseur de contraintes visqueuses dans l'équation de conservation de la quantité de mouvement :

$$\rho(\overline{\boldsymbol{v}} \cdot \vec{\nabla})\overline{\boldsymbol{v}} = -\nabla p \boldsymbol{I} + \mu \left[\vec{\nabla}\,\overline{\boldsymbol{v}} + (\vec{\nabla}\overline{\boldsymbol{v}})^T - \frac{2}{3}(\vec{\nabla} \cdot \overline{\boldsymbol{v}})\boldsymbol{I}\right] + \boldsymbol{T}$$

En utilisant l'approximation proposée par Joseph Boussinesq en 1877 [52], on peut exprimer ce tenseur en faisant intervenir une viscosité de turbulence μ_T (nommée *eddy viscosity* en anglais) s'ajoutant à la viscosité du fluide et un second terme proportionnel à l'énergie cinétique de turbulence k s'ajoutant à la pression :

$$\rho(\overline{\boldsymbol{v}} \cdot \vec{\nabla})\overline{\boldsymbol{v}} = -\vec{\nabla}\left(p\boldsymbol{I} + \frac{2}{3}\rho k \boldsymbol{I}\right) + (\mu + \mu_T)\left[\vec{\nabla}\,\overline{\boldsymbol{v}} + (\vec{\nabla}\overline{\boldsymbol{v}})^T - \frac{2}{3}(\vec{\nabla} \cdot \overline{\boldsymbol{v}})\boldsymbol{I}\right]$$

De nombreux modèles ont été développés pour exprimer la viscosité de turbulence et l'énergie cinétique de turbulence parmi lesquels les plus répandus sont :

- Le **modèle Spalart-Allmaras** (noté SA) [48] [53] [54] : L'énergie cinétique de turbulence k étant considérée nulle dans ce modèle, il est décrit par une unique équation modélisant la viscosité turbulente en passant par une variable homogène à une viscosité notée $\tilde{\nu}$:

  $$\mu_T = \rho f_{v1} \tilde{\nu}$$

  Ou $\tilde{\nu}$ est défini par :

  $$(\overline{\boldsymbol{v}} \cdot \vec{\nabla})\tilde{\nu} = C_{b1}\tilde{S}\tilde{\nu} + \frac{1}{\sigma_{\tilde{\nu}}}\{\vec{\nabla} \cdot [(\nu + \tilde{\nu})\vec{\nabla}\tilde{\nu}] + C_{b2}\vec{\nabla}\tilde{\nu} \cdot \vec{\nabla}\tilde{\nu}\} - C_{w1} f_w \left(\frac{\tilde{\nu}}{l_w}\right)^2$$

  Avec :

  $$C_{w1} = \frac{C_{b1}}{{\kappa_v}^2} + \frac{1 + C_{b2}}{\sigma_{\tilde{\nu}}} \qquad f_{v1} = \frac{\chi^3}{\chi^3 + {C_{v1}}^3} \qquad f_{v2} = 1 - \frac{\chi}{1 + \chi f_{v1}} \qquad \chi = \frac{\tilde{\nu}}{\nu}$$

  $$f_w = g\left[\frac{1 + {C_{w3}}^6}{g^6 + {C_{w3}}^6}\right] \qquad g = r + C_{w2}(r^6 - r) \qquad r = min\left(\frac{\tilde{\nu}}{\tilde{S}\,{\kappa_v}^2\,{l_w}^2}, 10\right)$$

  $$\tilde{S} = max\left[\Omega + C_{rot} \times min\left(0, S + \frac{\tilde{\nu}}{{\kappa_v}^2\,{l_w}^2} f_{v2}\right), 0.3\Omega\right]$$

  $$\Omega = \sqrt{2\,\boldsymbol{\Omega} : \boldsymbol{\Omega}} \qquad S = \sqrt{2\,\boldsymbol{S} : \boldsymbol{S}} \qquad \boldsymbol{\Omega} = \frac{1}{2}\left(\vec{\nabla}\,\overline{\boldsymbol{v}} - (\vec{\nabla}\overline{\boldsymbol{v}})^T\right) \qquad \boldsymbol{S} = \frac{1}{2}\left(\vec{\nabla}\,\overline{\boldsymbol{v}} + (\vec{\nabla}\overline{\boldsymbol{v}})^T\right)$$

  Les constantes du modèle sont données par le tableau suivant :

Table 1 : Constantes du modèle de Spalart Allmaras

C_{b1}	C_{b2}	C_{v1}	C_{w2}	C_{w3}	$\sigma_{\tilde{\nu}}$	κ_v	C_{rot}
0.1355	0.622	7.1	0.3	2	2/3	0.41	2

Ce modèle a été initialement développé pour des applications aéronautiques de type écoulement sur un profil d'aile. Il est particulièrement adapté à l'étude des couches limites mais il est peu précis pour les écoulements libres de type « jets ».

- Le **modèle k-ε** [55-58] : Il est décrit par un système de deux équations couplant l'énergie cinétique de turbulence k et l'énergie de dissipation de la turbulence ε. Il existe différentes formes de ce modèle : standard, réalisable, RNG et Bas-Reynolds. Dans la forme standard, il s'exprime :

$$\rho(\overline{\boldsymbol{v}}\cdot\vec{\nabla})k = \vec{\nabla}\cdot\left[\left(\mu+\frac{\mu_T}{\sigma_k}\right)\vec{\nabla}k\right] + P_k - \rho\varepsilon$$

$$\rho(\overline{\boldsymbol{v}}\cdot\vec{\nabla})\varepsilon = \vec{\nabla}\cdot\left[\left(\mu+\frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon}\right)\vec{\nabla}\varepsilon\right] + C_{\varepsilon 1}\frac{\varepsilon}{k}P_k - C_{\varepsilon 2}\,\rho\frac{\varepsilon^2}{k}$$

où μ_T et P_k sont définis par les expressions suivantes :

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

$$P_k = \mu_T\left[\vec{\nabla}\,\overline{\boldsymbol{v}} : \left(\vec{\nabla}\,\overline{\boldsymbol{v}} + \left(\vec{\nabla}\overline{\boldsymbol{v}}\right)^T\right) - \frac{2}{3}\left(\vec{\nabla}\cdot\overline{\boldsymbol{v}}\right)^2\right] - \frac{2}{3}\rho k\vec{\nabla}\cdot\overline{\boldsymbol{v}}$$

Les constantes du modèle sont données par le tableau suivant :

Table 2 : Constantes du modèle k-ε

σ_k	σ_ε	$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	C_μ
1	1.3	1.44	1.92	0.09

Il ne décrit pas les écoulements proches des parois qu'il simplifie à l'aide d'une loi de paroi (non détaillée ici) décrivant la couche limite, ce qui permet une simplification du maillage importante. Il prédit correctement les écoulements libres en dehors du jet rond, ce qui rend son utilisation plutôt déconseillée pour les brasseurs d'air.

- Le **modèle k-ω** [59] : Il est décrit par un système de deux équations couplant l'énergie cinétique de turbulence k et l'énergie spécifique de dissipation de la turbulence ω :

$$\rho(\overline{\boldsymbol{v}}\cdot\vec{\nabla})k = \vec{\nabla}\cdot\left[(\mu+\mu_T\sigma_k^*)\vec{\nabla}k\right] + P_k - \beta_0^*\,\rho\omega k$$

$$\rho(\overline{\boldsymbol{v}}\cdot\vec{\nabla})\omega = \vec{\nabla}\cdot\left[(\mu+\mu_T\sigma_\omega)\vec{\nabla}\omega\right] + \alpha\frac{\omega}{k}P_k - \rho\beta_0\omega^2$$

où μ_T et P_k sont définis par les expressions suivantes :

$$\mu_T = \rho\frac{k}{\omega}$$

$$P_k = \mu_T\left[\vec{\nabla}\,\overline{\boldsymbol{v}} : \left(\vec{\nabla}\,\overline{\boldsymbol{v}} + \left(\vec{\nabla}\overline{\boldsymbol{v}}\right)^T\right) - \frac{2}{3}\left(\vec{\nabla}\cdot\overline{\boldsymbol{v}}\right)^2\right] - \frac{2}{3}\rho k\vec{\nabla}\cdot\overline{\boldsymbol{v}}$$

Les constantes du modèle sont données par le tableau suivant :

Table 3 : Constantes du modèle k-ω

α	σ_k^*	σ_ω	β_0^*		β_0
13/25	1/2	1/2	9/125		9/100

Il est plus précis proche des parois que le modèle k-epsilon et décrit correctement les écoulements de type jets. Il est difficile à faire converger et il est conseillé d'utiliser le résultat d'une solution k-epsilon en valeur initiale.

- Le **modèle SST** (*shear strain transport*) [60-61] : ce modèle combine les avantages des modèles k-ω et k-ε. Il utilise la formulation du modèle k-ω pour la description de la couche limite et bascule à une formulation de type k-ε dans l'écoulement libre à l'aide de conditions sur le paramètre y représentant la distance à la paroi la plus proche. Il est décrit par les deux équations suivantes :

$$\rho(\overline{\boldsymbol{v}}\cdot\vec{\nabla})k = \vec{\nabla}\cdot\left[(\mu+\mu_T\sigma_k)\vec{\nabla}k\right] + P_k - \beta_0^*\,\rho\omega k$$

$$\rho(\overline{\boldsymbol{v}}\cdot\vec{\nabla})\omega = \vec{\nabla}\cdot\left[(\mu+\mu_T\sigma_\omega)\vec{\nabla}\omega\right] + \frac{\gamma_\omega}{\mu_T}\rho P - \rho\beta\omega^2 + 2(1-f_{v1})\rho\frac{\sigma_{\omega 2}}{\omega}\vec{\nabla}k\cdot\vec{\nabla}\omega$$

où μ_T et P_k sont définis par les expressions suivantes :

$$\mu_T = \rho \frac{a_1 k}{max(a_1 \omega, S f_{v2})}$$

$$P_k = min\left\{\mu_T \left[\vec{\nabla}\,\overline{\boldsymbol{v}} : \left(\vec{\nabla}\,\overline{\boldsymbol{v}} + \left(\vec{\nabla}\overline{\boldsymbol{v}}\right)^T\right) - \frac{2}{3}\left(\vec{\nabla}\cdot\overline{\boldsymbol{v}}\right)^2\right] - \frac{2}{3}\rho k \vec{\nabla}\cdot\overline{\boldsymbol{v}}\,, 10\rho\beta_0^* \omega k\right\}$$

Avec :

$$S = \sqrt{2\,\boldsymbol{S} : \boldsymbol{S}} \qquad \boldsymbol{S} = \frac{1}{2}\left(\vec{\nabla}\,\overline{\boldsymbol{v}} + \left(\vec{\nabla}\overline{\boldsymbol{v}}\right)^T\right)$$

$$f_{v1} = \tanh\left\{\left\{min\left[max\left(\frac{\sqrt{k}}{\beta_0^* \omega y}, \frac{500\mu}{y^2\omega}\right), \frac{4\sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} y^2}\right]\right\}^4\right\} \qquad f_{v2} = \tanh\left\{\left\{min\left[\frac{2\sqrt{k}}{\beta_0^* \omega y}, \frac{500\mu}{y^2\omega}\right]\right\}^2\right\}$$

$$CD_{k\omega} = max\left(2\rho\frac{\sigma_{\omega 2}}{\omega}\vec{\nabla}k \cdot \vec{\nabla}\omega, 10^{-10}\right)$$

$$\varphi = f_{v1}\varphi_1 + (1 - f_{v1})\varphi_1 \qquad \text{où} \quad \varphi = \beta, \gamma_\omega, \sigma_k, \sigma_\omega$$

Les constantes du modèle SST sont données par le tableau suivant :

Table 4 : Constantes du modèle SST

a_1	β_0^*	β_1	β_2	$\gamma_{\omega 1}$	$\gamma_{\omega 2}$	σ_{k1}	σ_{k2}	$\sigma_{\omega 1}$	$\sigma_{\omega 2}$
0.31	9/100	3/40	0.0828	5/9	0.44	0.85	1	0.5	0.856

Ce modèle est souvent considéré comme le modèle donnant les meilleurs résultats au prix d'un temps de calcul très élevé (multiplié par 2 par rapport à k-ω et par 3 par rapport à k-ε selon Babitch et al [39]).

2.3.2 Modélisation du brasseur

Il existe plusieurs approches pour modéliser l'écoulement généré par un brasseur :

- Le **mouvement du corps rigide** (RBM pour *Rigid Body Motion*) : il s'agit d'une modélisation directe de la rotation de la géométrie du brasseur. C'est l'approche la plus correcte sur le plan physique pour modéliser un écoulement tournant. Du fait du mouvement de la géométrie, il s'agit obligatoirement d'une résolution en régime transitoire, ce qui implique une grande complexité et un temps de calcul très élevé.

- Le **référentiel mobile** (MRF pour *Moving Reference Frame*) : dans les cas où le mouvement du corps rigide est à vitesse constante, cette approche permet de résoudre l'écoulement en régime stationnaire. Une région autour du corps en mouvement est créée lors du maillage puis mise en mouvement de façon à rendre le corps immobile par rapport au maillage de cette zone. Cette méthode nécessite une puissance de calcul moindre comparé à l'approche RBM mais nécessite tout de même de modéliser la géométrie du brasseur.

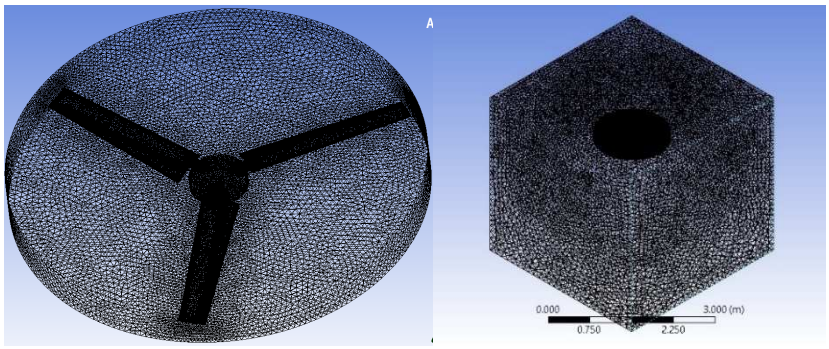


Figure 23 : Maillage de la géométrie du brasseur avec l'approche MRF [37]

- La **source de quantité de mouvement** (MS pour *Momentum Source*) : cette approche permet de s'affranchir de la modélisation de la géométrie du brasseur. Ici, on modélise le brasseur par un cylindre sur lequel on applique un champ de vitesse.

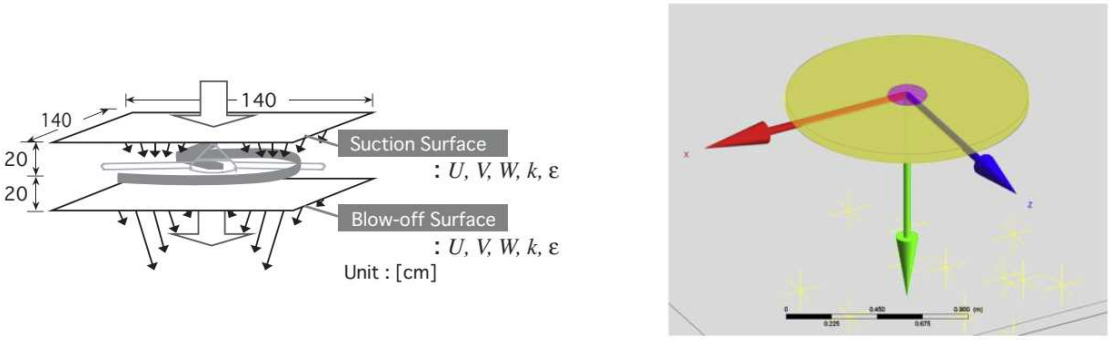


Figure 24 : Détail de la géométrie simplifiée du ventilateur [30 - 39]

- La **courbe de pression statique** (SPC pour *Static Pressure Curve*) : cette approche permet également de s'affranchir de la modélisation de la géométrie du brasseur. Le brasseur est modélisé par une surface circulaire au travers laquelle le débit est fonction de la différence de pression entre les deux faces.

2.3.3 Etudes CFD sur des brasseurs dans la littérature

Le tableau 5 présente les caractéristiques des études trouvées dans la littérature. Les premières études remontent au début des années 2000 avec le développement des modèles simplifiés utilisant une courbe de pression statique [34] ou une source de quantité de mouvement [30]. A partir des années 2010, avec le développement des logiciels et des machines de grandes puissances, la plupart des études ont modélisé la géométrie du brasseur en utilisant un référentiel mobile pour pouvoir simuler l'écoulement en régime stationnaire. Ce choix s'explique souvent par la volonté d'étudier un brasseur particulier, notamment dans le cas où l'on souhaite optimiser sa conception.

Table 5 : Synthèse des différentes études CFD sur des brasseurs d'air

Réf	Régime transitoire	Régime permanent			Modèle de turbulence	Sujet de l'étude
	RBM	MRF	MS	SPC		
Glahn et al (2020) [36]	X	X			k-e SST	Comparaison de modèle
Zhu et al (2014) [45]		X			k-ep	Amélioration d'un système de désinfection de l'air par UV
Lin et Hseih (2014) [42]		X			k-ep	Conception d'un brasseur caché
Pichurov et al (2015) [33]		X			k-ep	Amélioration d'un système de désinfection de l'air par UV
Hsiao et al (2016) [43]		X			k-ep	Confort thermique
Adeeb et al (2016) [46]		X			k-ep k-om SA	Comparaison de modèle de turbulence Conception de pales
Chen et al. (2018) [47]		X			k-ep k-om SST	Influence des paramètres sur le champ de vitesse
Alizadeh et Sadrameli (2018) [44]		X			k-ep	Confort thermique
El Degwy et Khalil (2018)		X			k-ep	Conception de pales
Lin (2019) [42]		X			k-ep	Confort thermique
Casseer et Ranasinghe (2019) [38]		X			k-e k-om SA	Comparaison de modèle de turbulence
Kamsah et al (2020) [37]		X			SA	Confort thermique
Singh et Patil (2020)		X			SST	Conception de pales
Ansari (2021)		X			k-om	Conception de pales
Maheshwar et al (2021)		X			k-ep	Confort thermique
El Degwy et Aboulmagd (2022)		X			k-ep	Confort thermique
Mallah et al (2023)		X			k-ep	Effet sur la transmission aéroportée de pathogène
Pandey et al (2023)		X			SST	Effet sur la transmission aéroportée de pathogène
Momoi et al (2004) [30]			X		k-ep	Développement d'un modèle
Bassiouni et Korah (2011) [41]			X		k-ep	Développement d'un modèle
Babitch et al (2017) [39]			X		k-ep k-om SST	Comparaison de modèle de turbulence
Verma et al (2018)			X		SST	Confort thermique
Aynsley et Ali (2003) [35]				X	k-ep	Développement d'un modèle pour brasseurs de grandes tailles
Rizk et al (2017)				X	k-ep	Amélioration de la ventilation naturelle
Usman et Bakar (2020) [34]				X	SST	Confort thermique

Le modèle de turbulence le plus utilisé est le modèle k-ε qui montre une concordance acceptable avec les résultats expérimentaux dans la plupart des cas. Ce choix s'explique surtout par le fait qu'il est le plus ancien et donc historiquement le plus répandu, et souvent accessible par défaut dans les logiciels de CFD. Seules cinq études ont cherché à comparer les performances des différents modèles de turbulence pour la description des écoulements générés par les brasseurs.

Adeeb et al [40] et Casseer et Ranasinghe [38] ont obtenu de meilleurs résultats en couplant l'approche MRF avec le modèle Spalart-Allmaras comparé aux modèles k-ε et au modèle k-ω (figure 22), ce que peut à priori s'expliquer parce que c'est le modèle qui décrit le mieux l'écoulement au niveau des pales à l'intérieur de la zone mobile.

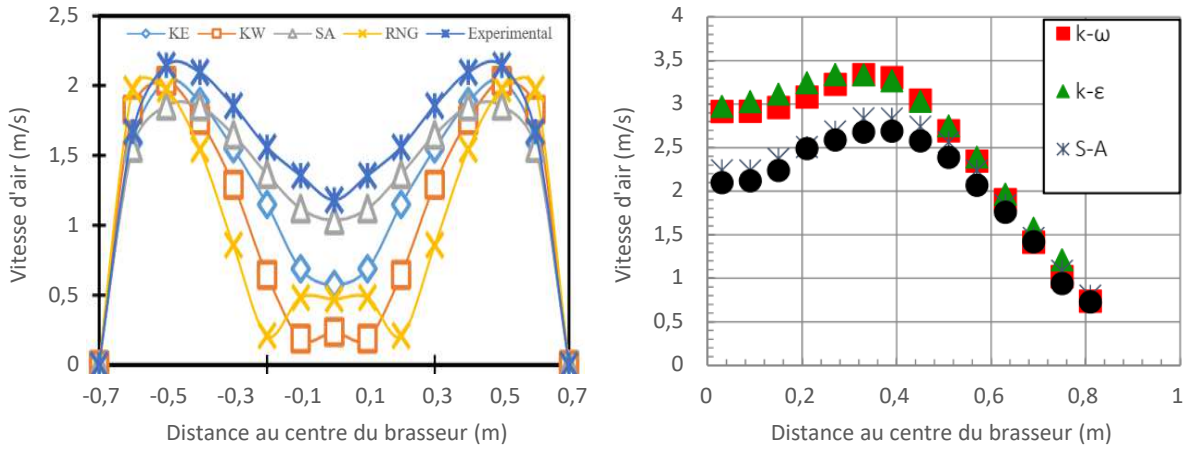


Figure 25 : Comparaison des différents modèles de turbulence dans l'approche MRF [40, 38]

Avec une approche MRF, Chen et al [47] ont comparé les performances de différents modèles k-ε (standard, réalisable et groupe de re-normalisation), du modèle k-ω et du modèle SST et obtiennent de meilleurs résultats avec le modèle k-ε standard. Ce résultat est toutefois à prendre avec précaution à la vue des « irrégularités » présentes sur les profils simulés avec les autres modèles et que l'on ne retrouve jamais chez d'autres auteurs.

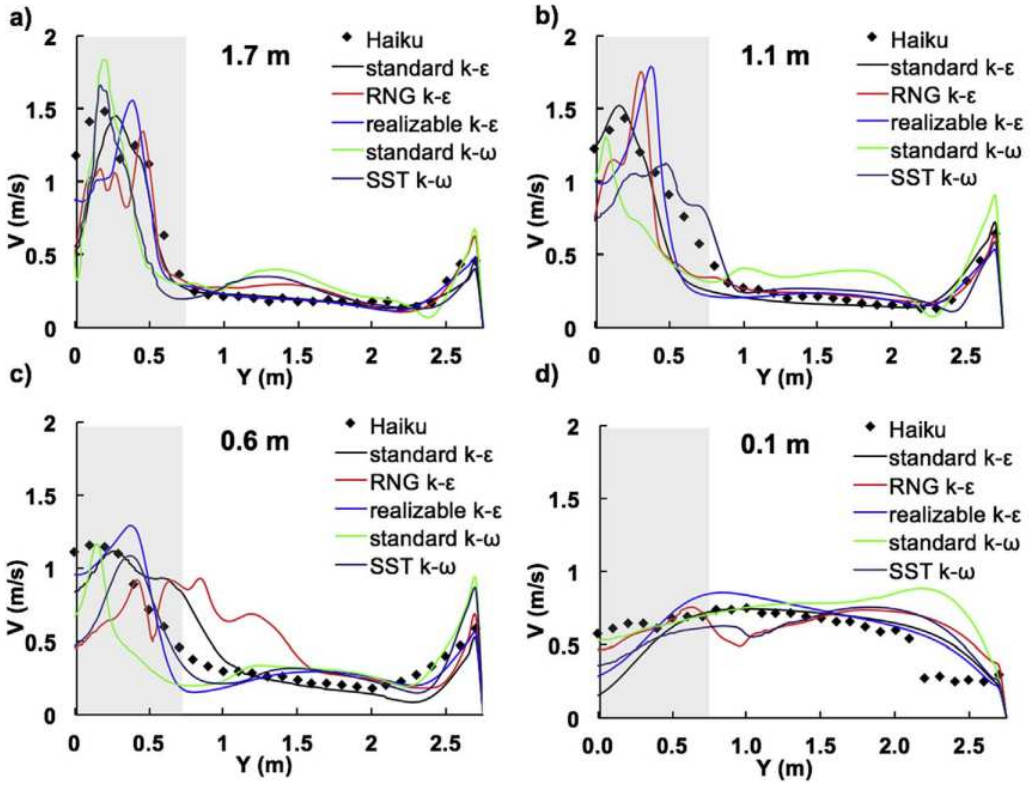


Figure 26 : Comparaison des profils de vitesse obtenus aux 4 hauteurs de références avec différents modèles de turbulence

Avec une approche MS, Babitch et al [39] a obtenu les meilleurs résultats avec le modèle SST (précision de 87 %) comparé aux modèles k-ε et k-ω (précision de l'ordre de 50 %), notamment pour les hauteurs proches du sol (figure 27).

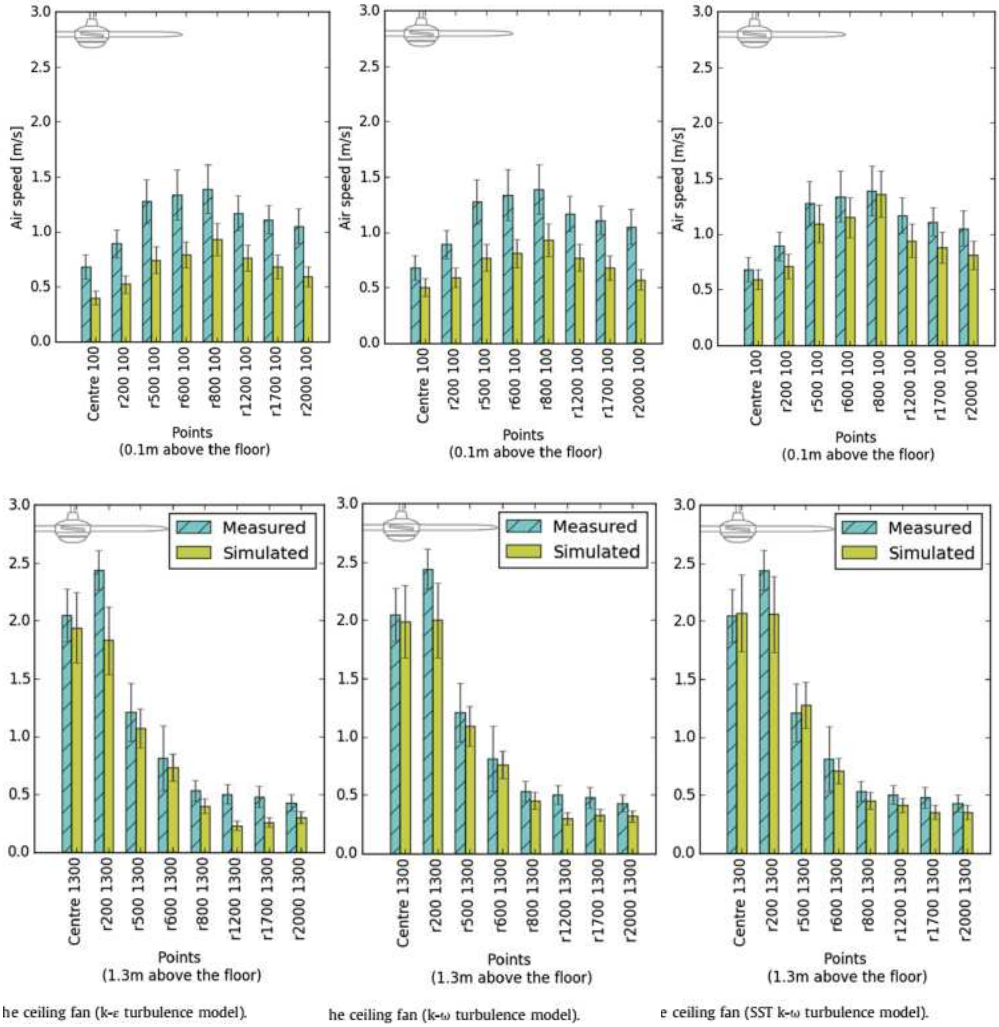


Figure 27 : Comparaison des mesures et des résultats CFD à distance croissante de l'axe du ventilateur de plafond (modèle de turbulence k-ε).

Dans leur étude sur un brasseur de 30 cm de diamètre intégré à un panneau suspendu, Glahn et al [36] ont obtenu de meilleurs résultats avec un modèle k-ε avec une approche MRF comparé au modèle SST avec une approche RBM (figure 28), ce qui s'explique certainement par la trop grande complexité de cette dernière.

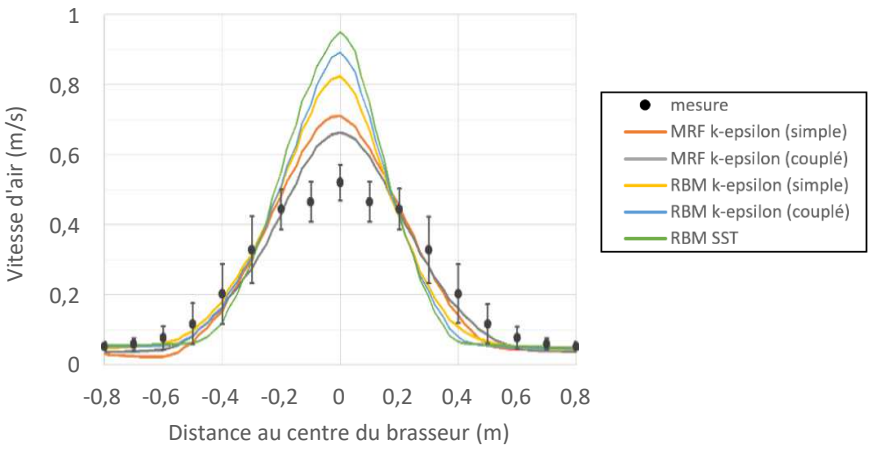


Figure 28 : Comparaison des profils de vitesse à une hauteur de 1,1 m par rapport au sol obtenus avec les différents modèles [36]

3. Méthodologie

3.1 Démarche expérimentale

Cette étude a un double objectif :

- Evaluer les performances et les ressources nécessaires pour les différentes démarches de simulation de l'écoulement d'air généré par un brasseur en situation réelle. Ce point est traité en section 4.1.
- Vérifier que les différentes règles de calepinage applicables aux brasseurs que l'on peut déduire de l'étude bibliographique présentée précédemment permettent d'obtenir un champ de vitesse optimum en termes d'uniformité et d'intensité du champ de vitesse. Ce point est traité en section 4.2.

L'évaluation des performances des différentes démarches de simulation sera réalisée par corrélation avec les mesures effectuées en laboratoire. Seul le modèle le plus adapté (performances vs ressources) sera retenu pour la seconde étape de l'étude.
Les règles de calepinage à vérifier sont les suivantes :

- Le brasseur doit être positionné au centre de la pièce ou d'une cellule (si la pièce est divisée en plusieurs zones)
- La pièce doit être divisée en plusieurs cellules pour que le facteur de forme (rapport longueur/largeur) se rapproche le plus de 1
- Le diamètre du brasseur doit être compris entre 0,2x et 0,4x la dimension caractéristique de la cellule (racine de la surface)
- La distance minimale entre le centre du brasseur et le mur le plus proche doit être supérieure au diamètre du brasseur
- La hauteur de pales doit être :
    - La plus basse possible pour les brasseurs de petits diamètre (< 213 cm). La hauteur de sécurité de 2,13 m est la hauteur la plus basse imposée par l'ensemble de réglementation sur les brasseurs (norme américaine UL507).
    - De l'ordre du diamètre du brasseur (entre 0,8x et 1,2x) pour les plus grands diamètres, la hauteur de sécurité minimale imposée dans ce cas étant de 3 m.
- La distance de montage doit être :
    - Supérieure à 0,35x le diamètre si possible ;
    - Supérieure à 0,25x le diamètre obligatoirement, sachant que le débit est réduit de l'ordre de 10 à 15 % dans ce cas
- La distance entre deux centres de brasseurs doit être supérieure à 2,5x le diamètre des brasseurs.

A partir du modèle sélectionné en section 4.1, différentes géométries de pièces seront simulées pour valider les différentes règles. Des comparaisons entre des configurations réelles étudiées in-situ et des configurations optimales théoriques issues de ces règles seront également présentées.

3.2 Mesures laboratoires et in-situ

Les mesures en laboratoire ont été réalisés dans la chambre de mesure du laboratoire PIMENT (Université de la Réunion) en suivant le protocole BRASSE [12, 13, 15]. Le modèle étudié est le Hunter Industrie II dont les caractéristiques sont présentées au tableau 2. Les profils de vitesses obtenues aux 4 hauteurs de références (10 cm, 60 cm 110 cm et 170 cm) et dans les deux postures de références (assis et debout) sont présentés à la figure 29 :

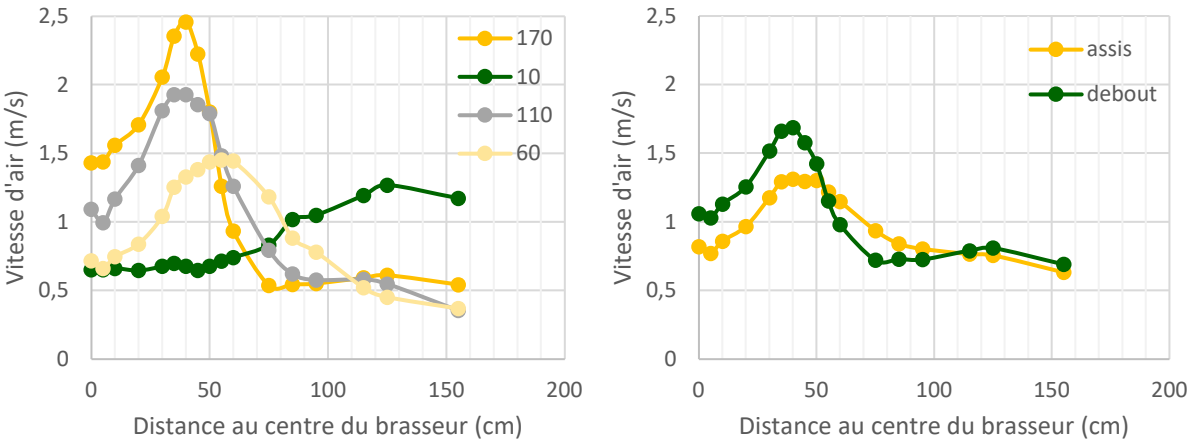


Figure 29 : Profils de vitesse obtenues aux 4 hauteurs de références et dans deux postures dans le cadre du projet BRASSE [12]

Les essais in-situ [14] ont été réalisés dans 11 locaux différentes dont les principales caractéristiques sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Principales caractéristiques des locaux étudiés dans le cadre du REX BRASSE |14]

Local	Surface	Hauteur sous plafond	Nombre de brasseurs d'air	Diamètre	Hauteur sous pales
Appart_salon	19,0 m²	2,50 m	1	132 cm	2,14 m
Appart_chambre	11,8 m²	2,50 m	1	132 cm	2,14 m
BE_bureau 2 postes	13,4 m²	3,18 m	1	152 cm	2,82 m
BE_bureau 3 postes	20,4 m²	3,18 m	2	152 cm	2,82 m
ONG_bureau 2 postes	13,1 m²	3,09 m	1	112 cm	2,67 m
ONG_bureau 4 postes	22,7 m²	3.91 m	2	112 cm	3,49 m
ONG_salle réunion	22,7 m²	3,40 m	2	132 cm	2,94 m
Ecole	55,5 m²	3,06 m	4	152 cm	2,70 m
Ehpad_Chambre	55,5 m²	3,26 m	4	152 cm	2,90 m
Ehpad_salle ergo	25,0 m²	2,50 m	1	132 cm	2,14 m

Les caractéristiques des différents brasseurs étudiés sont présentées par le tableau 2 :

Tableau 2 : Caractéristiques des brasseurs observés dans le cadre du REX BRASSE |14]

Marque	Modèle	Diamètre (cm)	Vmax (RPM)	Débit à Vmax (m3/s)	Configuration
Hunter	Industrie II	132	157	2,47	Laboratoire Appart_salon Appart_chambre Ehpad_salle ergo Ehpad_chambre
Hunter	Tribeca	152	146	2,87	Ecole BE_bureau 2 postes BE_bureau 3 postes
Tristar	VE-5815	112	-	1,71	ONG_bureau 2 postes ONG_bureau 4 postes
Inspire	PMC-52-3-1L	132	-	2,63	ONG_salle réunion

3.3 Configuration des simulations

Le logiciel utilisé est le logiciel **Comsol Multiphysics** intégrant le module CFD (pour les modèles de turbulence et les modélisations de brasseur). La machine utilisée est un ordinateur personnel (lenovo think pad P51), processeur Intel(R) Core(TM) i7-7820HQ CPU @ 2.90GHz, 32 GB de RAM

Modélisation du brasseur :

Les modèles MRF et RBM nécessite de modéliser la géométrie particulière du brasseur. Avec ces modèles, les simulations seraient proches de la réalité. Mais ces modèles ne seront pas retenus en raison de la complexité de leurs mises en œuvre, du temps de calcul qui en résulterait et de l'impossibilité d'obtenir des résultats généraux avec ceux-ci.

En première approche, les brasseurs ont été modélisés en utilisant la courbe de pression statique (SPC). En effet, à la lecture de la bibliographie, cette méthode présente un avantage conséquent par sa simplicité qui la rend facilement généralisable à tous les modèles de brasseurs en ayant accès à très peu de données. Dans Comsol Multiphysics, cette approche est réalisée en utilisant la fonction « ventilateur interne ». Le paramétrage est le suivant :

- Direction de l'écoulement : écoulement tournant
- Vitesse de rotation : Vmax selon les données du constructeur
- Rapport tourbillonnaire : 0,2 (valeur issue de Aynsley et al [35])
- Courbe pression statique : linéaire
    - Débit à pression statique nulle : Débit à Vmax selon le constructeur

- Pression statique à écoulement nul : 1000 Pa (valeur usuelle pour les ventilateurs ayant des débits de l'ordre de 2 m3/s)

Cette approche étant toutefois limitée pour décrire l'élargissement du cône de courant d'air à proximité du sol, les modèles plus complexes mettant en jeu un maillage tournant ont été également envisagés. Disponible uniquement dans le module CFD de Comsol Multiphysics, ces approches peuvent être résolues en régime pseudo-stationnaire (appelé « frozen rotor ») ou en régime transitoire. Les trois autres approches présentées par la bibliographie sont possibles :

- MS (frontière en rotation sur un cylindre avec un corps rigide)
- MRF (domaine tournant sur un cylindre incluant la géométrie du brasseur avec une vitesse de rotation spécifiée)
- RBM (domaine tournant sur la géométrie du brasseur en corps rigide)

Etant donné les grands niveaux de complexité de telles méthodes, il est très difficile d'obtenir la convergence vers une solution stabilisée et le paramétrage de ces modèles est encore en cours à l'heure de la rédaction de cet article.

Type d'écoulement : L'écoulement est décrit comme un écoulement suivant les équations de Navier Stokes avec l'hypothèse d'un fluide faiblement compressible et en négligeant la gravité

Modèles de turbulence : La méthode utilisée pour prendre en compte les phénomènes de turbulence est la méthode RANS. L'étude bibliographique montre des résultats contradictoires sur la performance des différents modèles de turbulence associées à la méthode RANS et suivant le modèle de brasseur choisi. Par ailleurs, il n'y a pas d'étude systématique et complète permettant de réaliser un choix éclairé de modèle. Pour ces raisons, dans le cadre de cette étude, trois modèles sont alors pré-retenus afin de traiter notre cas de référence. Le modèle choisi in-fine sera fait parmi ceux-ci en fonction de la qualité de la simulation et du temps de calcul par modèle. Les trois modèles sont :

- k-epsilon,
- k-omega,
- SST.

Notons que pour réaliser une simulation avec le modèle k-omega, il est nécessaire de partir en valeur initiale du résultat de la simulation avec un modèle k-epsilon et pour réaliser une simulation avec le modèle initiale SST, il est nécessaire de partir en valeur initiale du résultat de la simulation avec un modèle k-omega. Les temps de calcul seront automatiquement impactés par ces nécessités.

Conditions aux parois : L'hypothèse de non-glissement sur paroi fixe a été prise (vitesse de translation nulle).

Contrainte sur le champ de pression : La pression atmosphérique est imposée en un point de la pièce (dans le coin le plus éloigné du brasseur).

Maillage : Un maillage paramétré dans l'espace en fonction du ou des phénomènes en présence et adapté à chaque projet serait nécessaire afin de simuler de manière fine la physique. Cette méthodologie est complexe et ne peut pas être mise en œuvre dans le cadre de ce projet de recherche. La création automatique du maillage généré par le logiciel de CFD et défini par la géométrie et la physique en présence a été choisi en étant conscient que certaines physiques seraient alors seulement approchées.

La finesse du maillage (extra grossier, grossier, normal, fin, extra fin) a été définie au cas par cas en fonction de la complexité du modèle. Le maillage permettant d'obtenir la convergence des calculs le plus rapidement a été choisi pour chaque cas.

4. Résultats

L'objectif initial de la CFD était de tester les limites des règles de calepinage et potentiellement les valider. Les choix méthodologiques faits et présentés ci-avant n'ont pas permis d'aboutir à la convergence du calcul dans les cas où l'écoulement était trop contraint, c'est-à-dire proche et au-delà des limites des règles de calepinage. L'ambition de cette étude est donc revue et devient l'observation des schémas d'écoulement obtenables dans les bonnes conditions, c'est-à-dire en respectent les différentes règles précédemment définies. La prise en compte et la modélisation des géométries particulières des équipements auraient permis de s'approcher des limites évoquées, mais cela nous aurait contraint à sortir du cas général.

4.1 Analyse de la modélisation numérique

4.1.1 Performances des différentes méthodes de modélisation de la turbulence

En utilisant l'approche SPC, il a été possible de comparer les résultats obtenus avec les modèles k-ε, k-ω et SST. La Figure 30 présente l'évolution des vitesses obtenues à différentes hauteurs en considérant les différents modèles cités précédemment. Ces évolutions sont comparées aux données expérimentales obtenues en laboratoire.

Les seules différences observables entre les différents modèles de turbulence se situent à proximité de la paroi. Ce constat est cohérent étant donné les différences de traitement des couches limites entre les modèles. Aucun des modèles de turbulence ne parvient toutefois à améliorer la modélisation dans la zone d'influence directe.

En terme de durée de résolution, les différents modèles ont besoin de temps calcul différents. Avec le modèle k-ε, le moteur de calcul trouve une solution en 3 min 53 s, avec le k- ω en 2 min 26 s (total 06 min 19 s) et avec le modèle SST en 5 min 48 s (total 12 min 7 s).

Les investigations sur les modèles ne sont pas satisfaisantes à ce jour. Plusieurs résultats liés à des choix de modélisation n'ont pas pu être expliqués et justifiés et la calibration des résultats numériques à partir des résultats issus du laboratoire n'est pas aboutie. Ce travail conséquent n'a pas pu être réalisé dans le cadre contraint du projet BRASSE. Néanmoins, comme évoqué précédemment, avec toutes les précautions prises, nous considérons dans la suite du rapport que les modélisations réalisées permettent d'observer les phénomènes en présence et de conclure sur les schémas d'écoulement. Les analyses seront donc réalisées dans ce sens et le modèle k-ε retenu afin de limiter le temps de calcul.

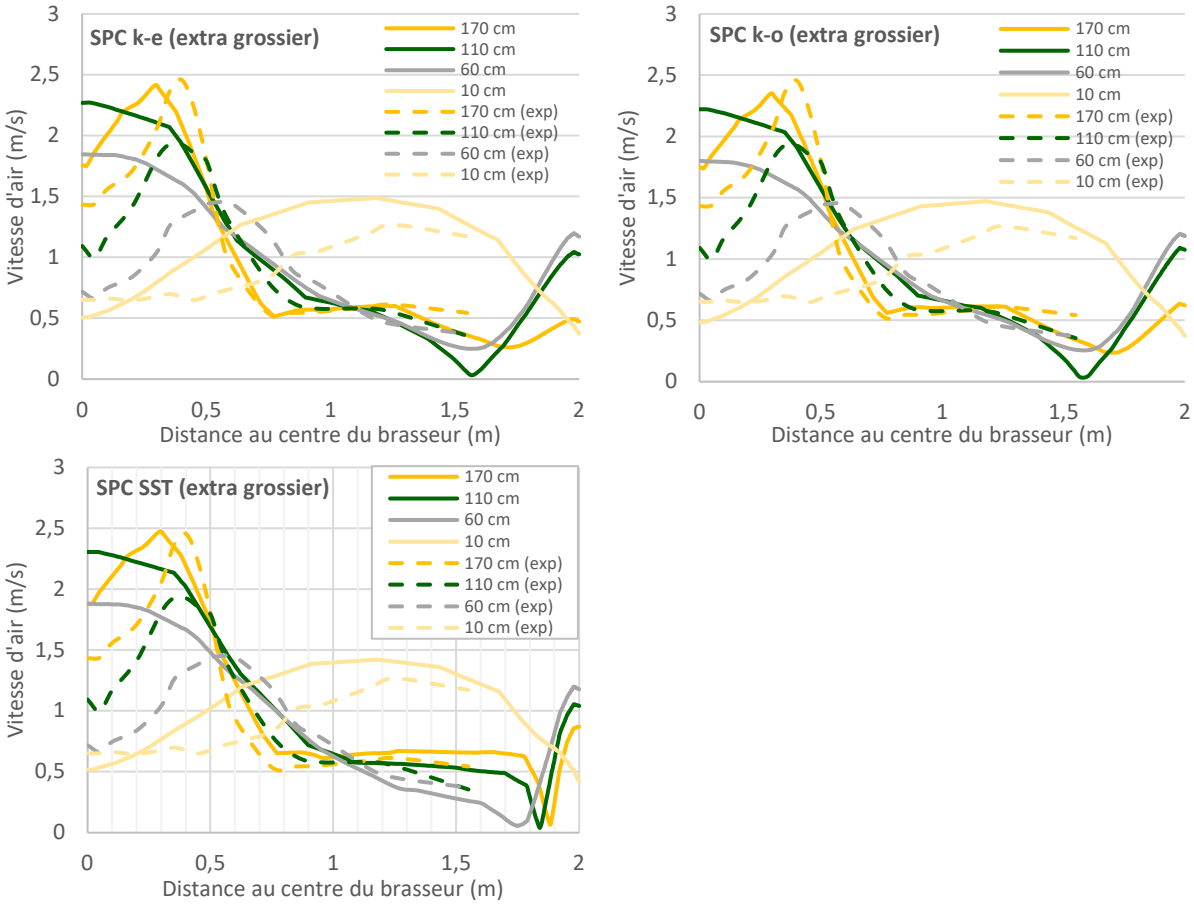


Figure 30 : Evolution des vitesses à différentes hauteurs sur l'axe passant par le centre du brasseur jusqu'au mur en fonction de différents modèles de turbulence.

4.1.2 Comparaison des champs de vitesses simulés aux schémas d'écoulements issus de la littérature

Pour comparer les écoulements simulés aux schémas d'écoulements issus de la littérature, un brasseur de 132 cm de diamètre a été modélisé dans un local de 4m par 4m au sol et de 2,5m de hauteur sous plafond. Ce brasseur est centré dans la pièce.

Le champ de vitesse obtenu (cf. Figure 31) est le champ attendu et est conforme à la schématisation de la Figure 1. Le flux est descendant et conique sous le brasseur. C'est également dans cette zone que sont observées les plus grandes vitesses. Après impact au sol, le flux d'air longe le sol à des vitesses plus faibles puis remonte le long des parois dans un courant ascendant. Il revient ensuite par le plafond au niveau du brasseur. Dans la zone d'entrainement, les vitesses d'air sont homogènes et plus faibles que dans les autres zones. La Figure 32 confirme, grâce à des coupes horizontales, l'homogénéité des vitesses dans la zone d'influence par entrainement.

La Figure 33 reprend l'isosurface à 1 m/s permettant ainsi d'observer les zones où les vitesses d'air sont les plus élevées dans le local étudié. La zone d'influence directe, la zone de diffusion au sol et la zone de remontée murale sont ainsi visibles.

Ces différentes observations nous permettent de valider que les écoulements obtenus par la simulation sont cohérents avec les schémas d'écoulement observés en situations réelles et décrits par la littérature.

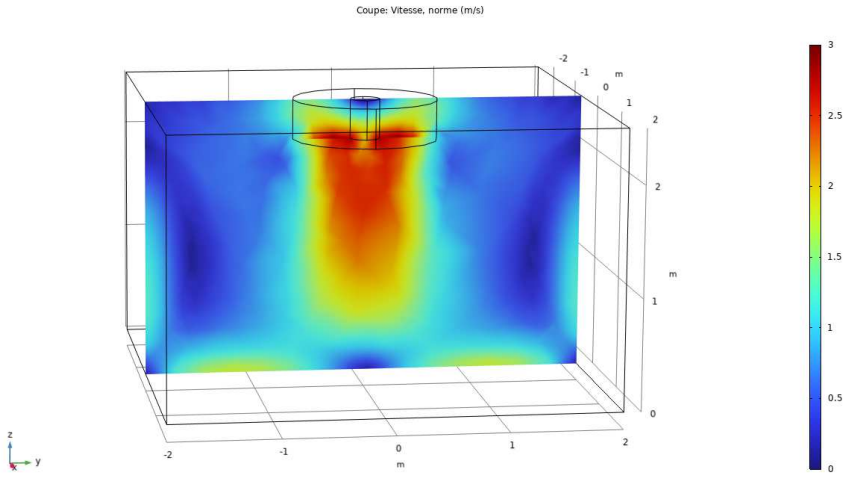


Figure 31 : Champ de vitesses d'air suivant le plan vertical passant par le centre du brasseur

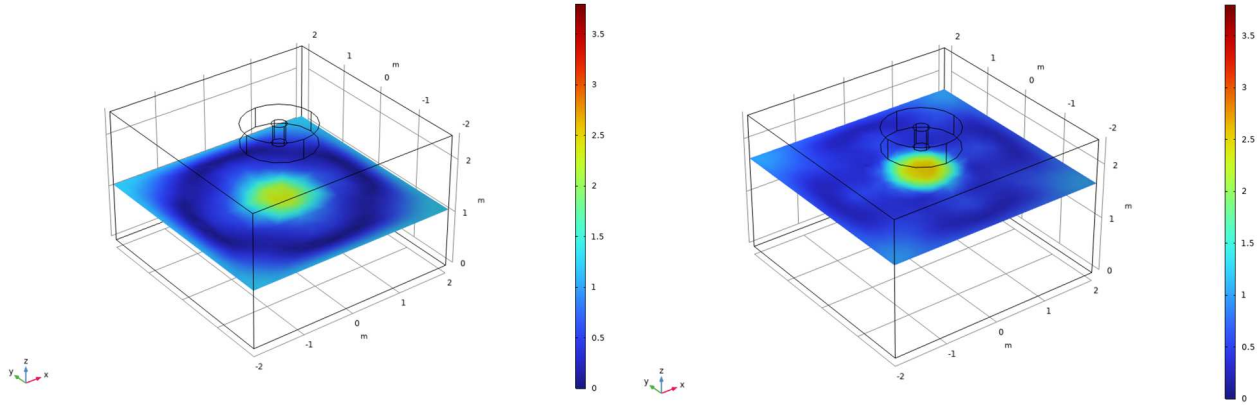


Figure 32 : Champ de vitesses d'air dans le plan horizontal à (a) z = 1,1 m et (b) z = 1,7 m

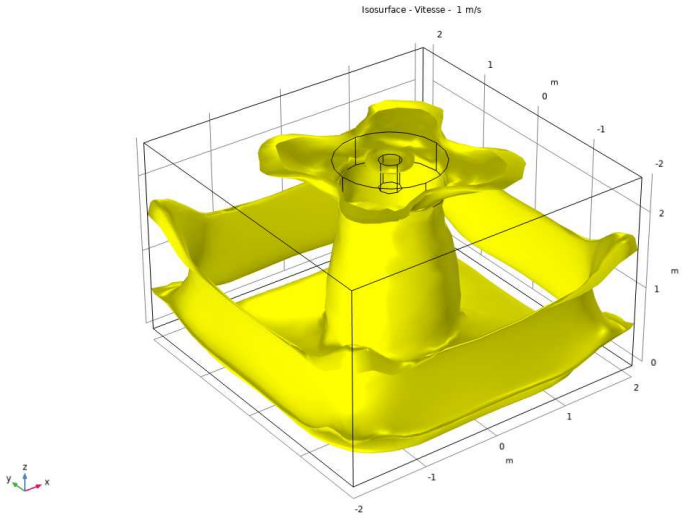
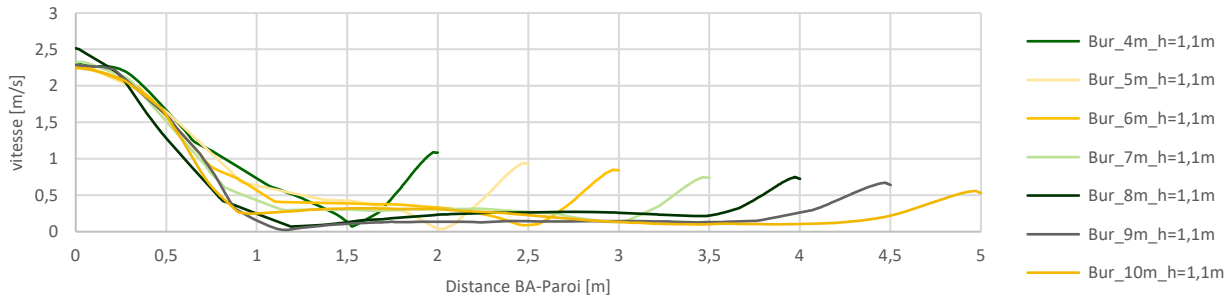


Figure 33 : Iso-surface de vitesse d'air à 1m/s

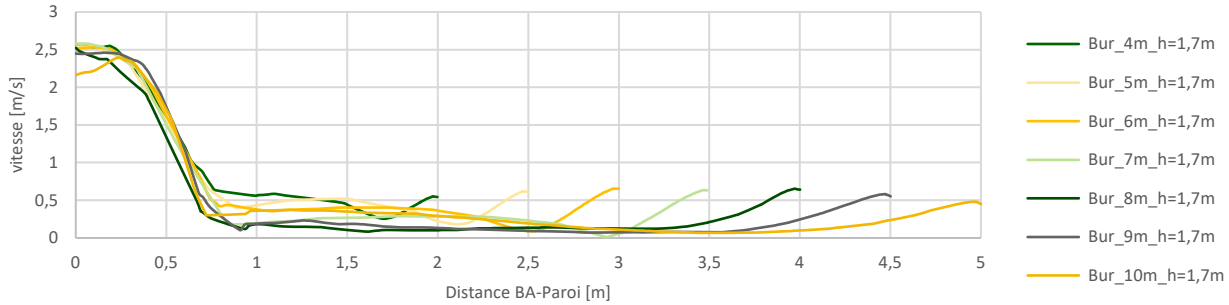
4.2 Validation des règles de calepinage

4.2.1 Influence de la taille de pièce avec un brasseur centré

Les règles de calepinage préconisent que le diamètre des brasseurs doit être compris en 0,2 et 0,4 fois la dimension caractéristique de la cellule. Afin d'observer l'écoulement dans le cas du respect de cette règle, un brasseur d'air de 132 cm de diamètre a été modélisé, centré dans une pièce carrée de 2,5 m sous plafond. La dimension caractéristique de cette pièce a en revanche été modélisée variable entre 4 m et 10m. La figure 34 représente l'évolution des vitesses pour différentes tailles de pièces en fonction de la distance du centre du brasseur d'air pour les hauteurs de 1,1 m et 1,7 m. Ces deux hauteurs ont été choisies puisqu'elles correspondent aux hauteurs du positionnement de la tête d'un individu en positions assis et debout et peuvent être considérées comme représentative des vitesses en présence dans la zone d'entrainement. La Figure 34 présente les évolutions des vitesses pour ces deux hauteurs. Comme attendu, ces simulations montrent que les vitesses d'air en zone d'influence directe ne sont pas affectées par la taille de la cellule alors qu'elles diminuent dans la zone d'entrainement quand la dimension de la pièce augmente. Ceci s'explique par une augmentation du volume d'air à entrainer et par une diminution des vitesses le long des parois.



a) Hauteur d'observation de 1,1m



b) Hauteur d'observation de 1,7m

Figure 34 : Evolution des vitesses pour différentes tailles de pièces en fonction de la distance du centre du brasseur d'air pour deux hauteurs

Sur la base de mesures dans deux laboratoires de tailles différentes, Raftery et al. [20] ont proposé que la vitesse varie proportionnellement au rapport D/X où X est la dimension caractéristique de la cellule et D est le diamètre du brasseur. A partir d'une vitesse moyenne en zone d'entrainement déterminée en laboratoire, cette relation permettrait en théorie d'estimer, pour un brasseur donné, les vitesses moyennes en zone d'entrainement dans des pièces de tailles différentes.

Sur la figure 35, les valeurs de vitesse moyenne en zone d'entrainement obtenues à chaque hauteur de mesure par les simulations en CFD ont été positionnées de façon à les comparer au faisceau de courbes représentant la relation proposée par Raftery et al. On peut observer un comportement différent pour la hauteur de 0,1 m par rapport aux 3 hauteurs de 0,6 m, 1,1 m et 1,7 m. La vitesse moyenne obtenue à une hauteur de 0,1 m est élevée et décroit linéairement quand la distance à la paroi augmente, alors que les vitesses aux 3 autres hauteurs sont plus faibles et décroissent selon une loi puissance. Cette différence de comportement s'explique

par le fait que la hauteur de 0,1 m n'est pas dans la zone d'entrainement mais dans la zone de diffusion au sol et la modélisation proposée par Raftery ne peut donc pas s'y appliquer.

En moyennant les 3 hauteurs de 0,6 m, 1,1 m et 1,7 m, on peut modéliser la décroissance de la vitesse moyenne en zone d'entrainement par une relation en $1/X^n$ où l'indice n est égal à 4/3, ce qui diffère donc du modèle proposé par Raftery et al et conduit à une décroissance plus rapide de la vitesse quand la distance à la paroi augmente. Les résultats de la CFD ne permettent donc pas de confirmer cette règle sur laquelle la surface maximale de brassage efficace définie dans le cadre de BRASSE est basée. Seuls des essais en laboratoire avec une chambre de mesures de dimensions modifiables (système de paroi mobiles par exemple) pourraient permettre d'établir un modèle fiable pouvant être utilisé pour déterminer la surface maximale de brassage efficace. Au regard de ces incertitudes et de l'impossibilité de les lever à l'heure actuelle, il a été décidé de ne pas retenir l'indicateur de surface maximale de brassage efficace dans la suite du projet BRASSE.

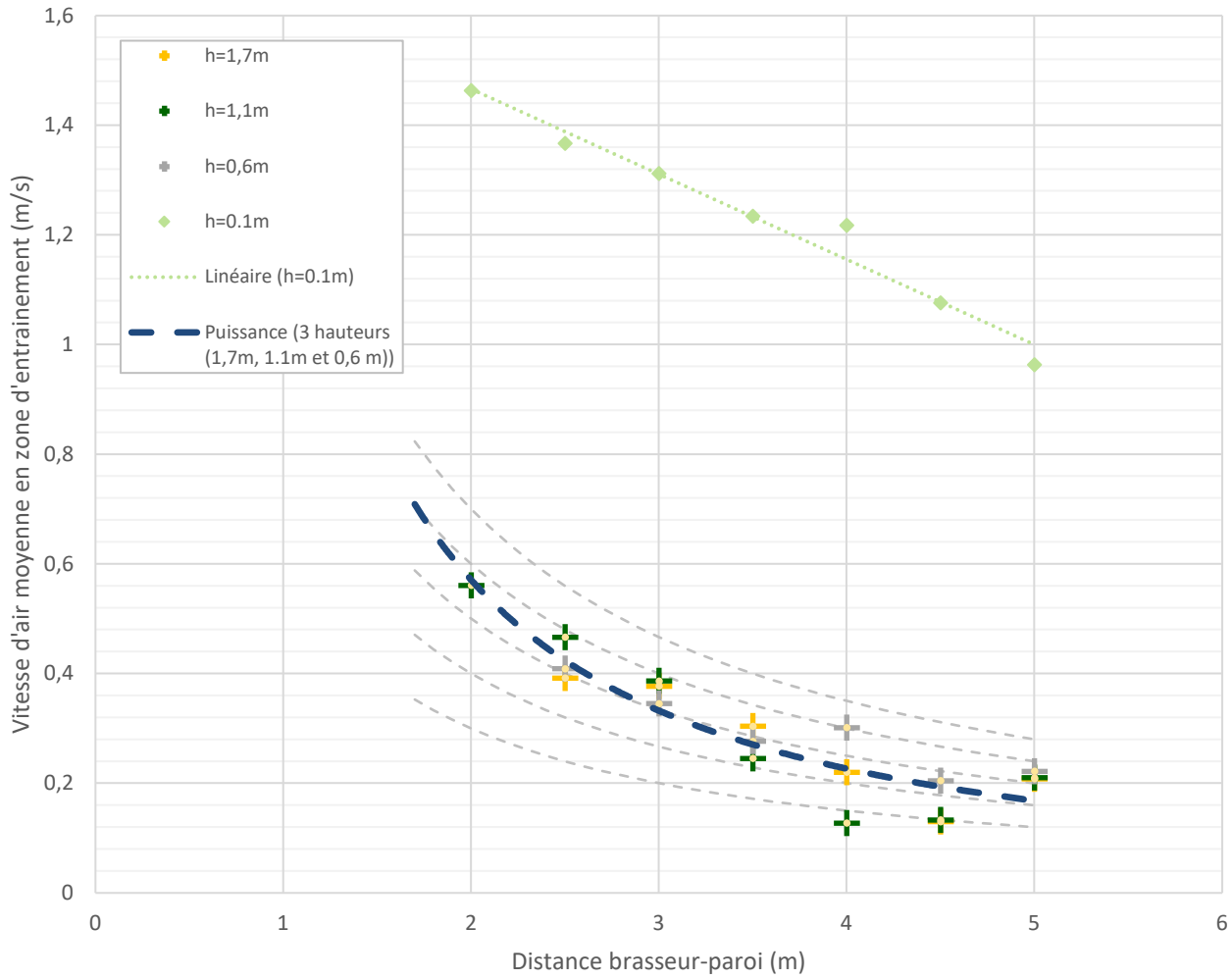


Figure 35 : Comparaison entre les vitesses d'air moyennes en zone d'entrainement obtenues par simulation CFD et la relation proposée par Raftery et al [20] (le faisceau de courbes en pointillés gris représentant la relation en 1/X entre la vitesse et la distance à la paroi)

4.2.2 Influence de la distance inter-brasseurs

Pour observer les effets liés à l'interaction entre plusieurs brasseurs, deux brasseurs identiques ont été modélisés dans une pièce rectangle de dimensions 8 m x 5 m ('axe_y' x 'axe_x'). Ils sont centrés suivant l'axe horizontal x. La configuration étudiée correspond à une configuration pour laquelle la longueur 'y' a été divisée en quatre et les brasseurs ont donc été positionnés au quart de cette longueur et au trois-quarts. La distance entre les centres de deux brasseurs correspond à trois fois le diamètre du brasseur.

Pour améliorer l'observation des faibles vitesses, l'échelle de couleurs de l'illustration ci-après a été limitée à 1 m/s.

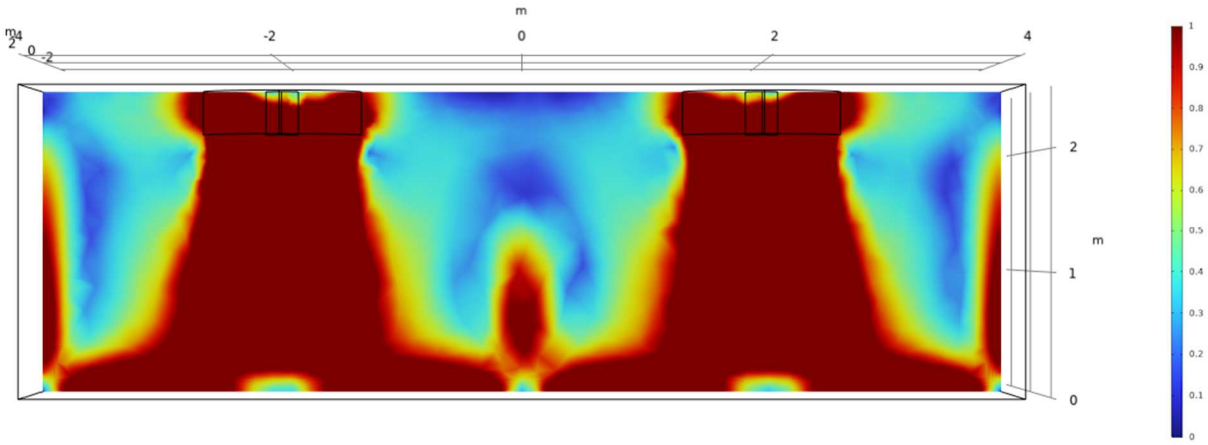


Figure 36 : Vitesses suivant le plan vertical passant par le centre du brasseur d'air pour deux brasseurs écartés de deux fois leur diamètre (échelle limitée à 1m/s).

La figure 36 montre que dans cette configuration les écoulements induits par chaque brasseur ne semblent pas se perturber entre eux. En effet, les différentes zones d'écoulement évoquées précédemment sont observées au niveau de chacun des brasseurs. En revanche, la zone de remontée centrale est différente des zones de remontée observées le long des murs. En effet, cette zone centrale est plus importante, en largeur, que les deux zones de remontée murale additionnées. Ceci est lié aux phénomènes en présence. Le long des murs, l'écoulement ascendant est un écoulement pouvant être considéré comme laminaire, l'épaisseur de l'écoulement est par conséquent limité. Au centre de la pièce, dans la zone de rencontre des deux fronts, l'écoulement sera turbulent. La Figure 37 schématise les écoulements dans ce cas de figure. Le champ de contraintes sera donc augmenté d'après Reynolds et ce qui est d'après Boussinesq augmente la viscosité de l'écoulement. Ceci a pour conséquence de nécessité d'une zone d'écoulement plus large. Pour se retrouver dans un champ de contraintes permettant de se rapprocher de l'écoulement le long des parois, il sera nécessaire d'avoir une distance plus importante entre les brasseurs et la zone de rencontre des flux qu'entre le brasseur et un paroi.

Ceci explique donc la raison de la règle de calepinage préconisant qu'en présence de plusieurs brasseurs d'air, la distance entre le centre de deux brasseurs adjacents doit être supérieure à 2,5 fois le diamètre du brasseur

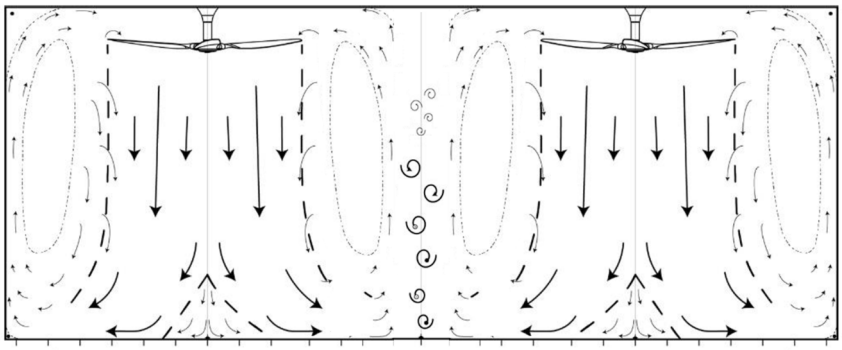


Figure 37 : Schéma des écoulements suivant le plan vertical passant par le centre du brasseur d'air pour deux brasseurs écartés de trois fois leur diamètre (adatpé de [21])

4.2.3 Influence du mobilier

Jusqu'à présent, l'ensemble des simulations et études en laboratoire ont considéré des pièces vides de tout obstacle. Or les mesures in-situ [15] et la littérature montrent que le mobilier a un impact sur les écoulements. Pour appréhender l'impact du mobilier sur les schémas d'écoulement, certaines configurations étudiées in-situ ont été prises en compte dans les simulations avec et sans leur mobilier. Le premier exemple donné dans cet article correspond au salon d'un appartement (cas REX S-01 dans l'étude 3.3 – [15]). Ce salon est meublé avec du mobilier classique : fauteuil, canapé, table basse, étagère, etc.

La Figure 38 représente les isosurfaces correspondant à 1 m/s pour la configuration sans mobilier (partie a) et avec mobilier (partie b). On observe différentes perturbations du flux liées à la présence du mobilier, notamment au niveau de la zone de diffusion par le sol. Toutefois, ces perturbations n'ont pas forcément un impact uniquement négatif sur le confort de l'usager. En effet, dans cette configuration on observe que le positionnement du canapé (bloc parallélépipédique au-devant de l'illustration) induit une augmentation des vitesses d'air à sa surface, le long de l'assise et du dossier.

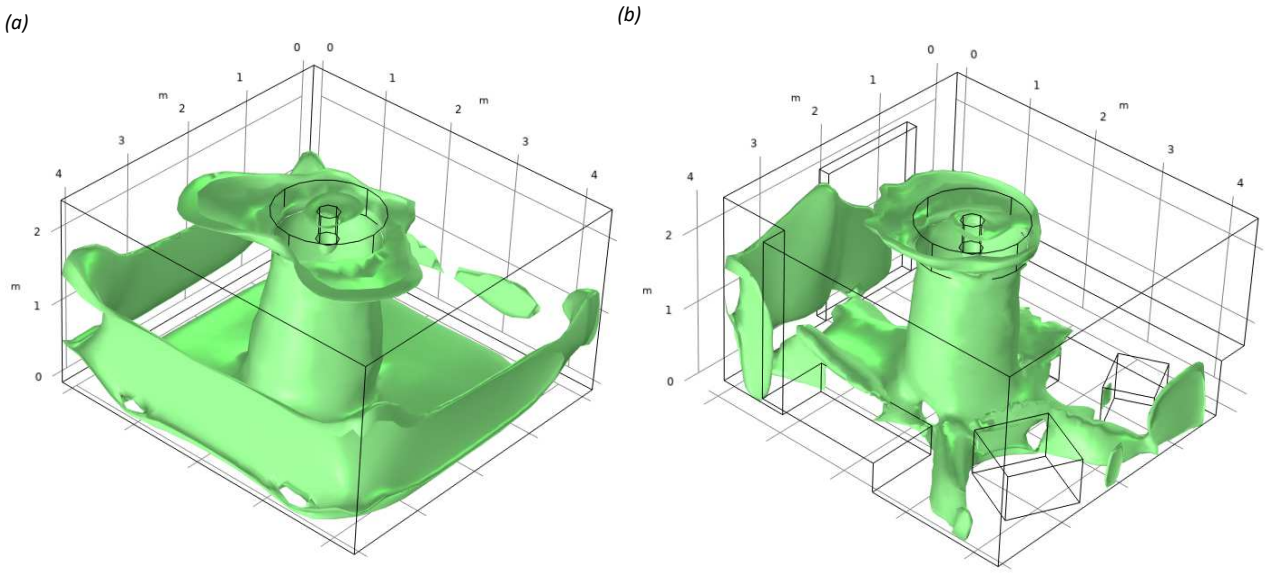


Figure 38 : Isosurface à 1m/s pour le salon d'une appartement (a) sans le mobilier présent et (b) avec le mobilier

Afin d'observer le champ de vitesse d'air en différents points de la pièce, plusieurs plans de coupe ont été choisis (cf. Figure 39). La représentation des champs de vitesses dans les différents plans de coupe est donnée par la Figure 40. Cette représentation compare les écoulements d'une pièce avec ou sans mobilier suivant différentes coupes. Les figures a et c correspondent aux cas sans mobilier. Dans cette configuration, les écoulements sont ceux attendus et observés jusqu'à présent dans cet article. Les figures b et d correspondent aux cas avec mobilier. Dans cette configuration, il est alors possible d'observer le flux perturbé par les différents obstacles présents dans le volume. Par exemple, devant le fauteuil (bloc de droite sur la figure d) la vitesse d'air augmente et le flux est ascendant. Derrière ce même obstacle des vitesses d'air plus faibles voir proches de 0 sont observées. Ce constat semble logique mais permet d'illustrer le fait qu'un obstacle perturbe l'écoulement et que cette perturbation peut être :

- Positive : ici, cela est le cas pour l'usager qui est situé dans le fauteuil, il ressentira une vitesse d'air plus importante,
- Ou négative : ici, cela pourrait être le cas pour un usager situé derrière le fauteuil.

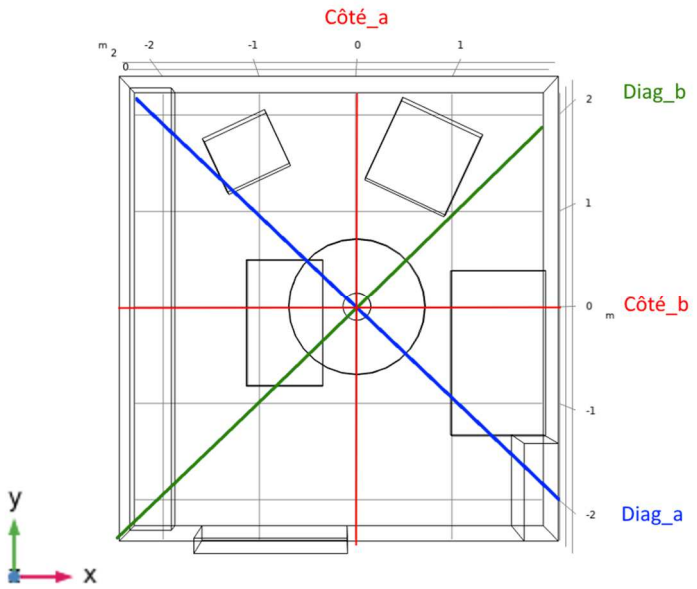


Figure 39 : Repérage des axes analysés dans le cadre de cette étude

(a) *(b)*

(c) *(d)*

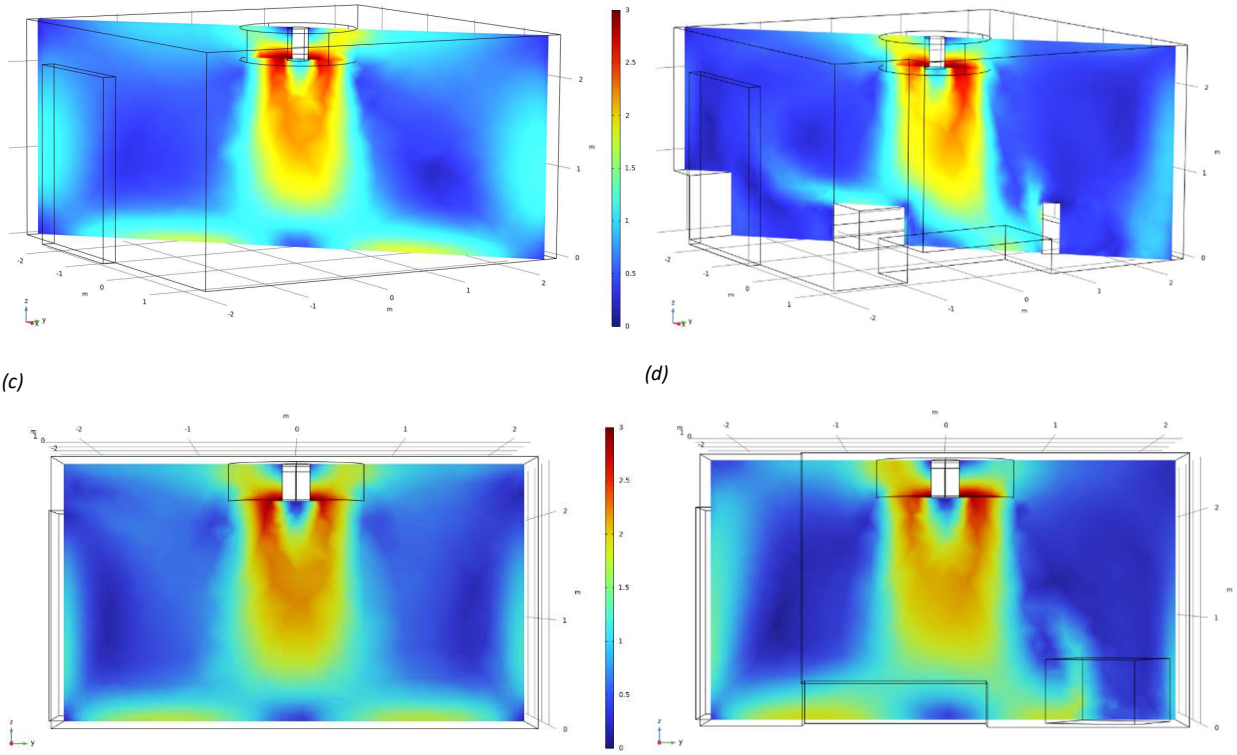


Figure 40 : Vitesses suivant le plan Diag_b dans un configuration sans mobilier (a) et dans une configuration avec mobilier (b) et suivant le plan Côté_a dans un configuration sans mobilier (c) et dans une configuration avec mobilier (d)

La Figure 41 reprend les évolutions des vitesses suivant les axes prédéfinis (cf. Figure 39) dans une configuration sans mobilier à 0,1m du sol (a) et à 1,7m du sol (c) et dans une configuration avec mobilier à 0,1m du sol (b) et à 1,7m du sol (d).

A une hauteur de 1,7 m, les vitesses en zone d'influence directe ne sont pas impactées, ce qui s'expliquent par l'absence de mobilier entre le brasseur et les points de mesure. En revanche, pour cette même hauteur, les vitesses en zone d'entrainement sont légèrement plus faibles en présence de mobilier. En effet, le mobilier perturbant l'écoulement au niveau du sol (cf figure 41a et 41b), l'effet d'entrainement induit par les vitesses en périphérie sera moindre et diminuera la vitesse d'air en zone d'entrainement en présence de mobilier.

Cette observation est confirmée par la vitesse moyenne sur l'ensemble du volume d'air présent. Pour la configuration sans mobilier la vitesse d'air moyenne est de 0,68 m/s alors que dans la configuration avec mobilier celle-ci est de 0,52 m/s soit une diminution de plus de 23%.

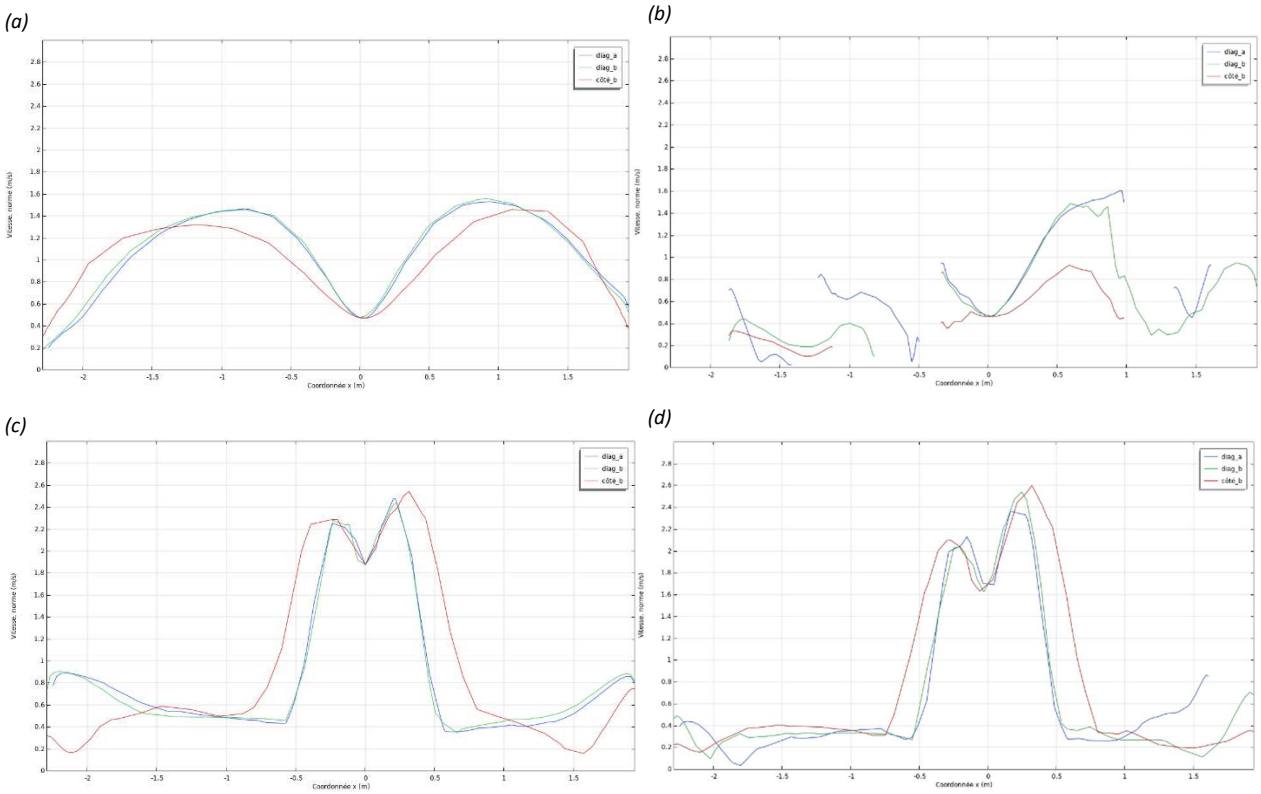


Figure 41 : Evolution des vitesses en coordonnées x en fonction des axes prédéfinis dans un configuration sans mobilier à 0,1m du sol (a) et à 1,7m du sol (c) et dans une configuration avec mobilier à 0,1m du sol (b) et à 1,7m du sol (d)

En conclusion, la présence de mobilier perturbe l'écoulement induit par le brasseur d'air entrainant une diminution globale de la vitesse d'air moyenne. Toutefois, il peut être observé dans certaines configurations une augmentation locale du champ de vitesse pouvant être particulièrement bénéfique pour l'usager (cf. l'exemple du canapé).

Dans l'optique de définir des règles de calepinage, il ne semble pas pertinent de tenir compte du mobilier tant il est spécifique à un usage et peut être amené à évoluer. Positionner un brasseur par rapport au mobilier serait donc souvent une solution à durée de vie limitée relativement à la durée d'exploitation du bâtiment. Il est en revanche possible d'expliquer aux usagers et exploitants de bâtiment l'impact du mobilier sur les schémas d'écoulement afin de leurs permettre de définir la meilleure disposition du mobilier et éventuellement les meilleurs types de mobilier favorisant l'écoulement dans un local et adaptés à l'usage de ce local.

Les deux sous-sections suivantes proposent d'étudier l'exemple deux types de mobilier particulier.

4.2.3.1 Différence entre du mobilier ajouré et du mobilier plein.

Cette section vise à observer l'impact d'une table sur l'écoulement en comparant spécifiquement une table ajourée (type 'plateau') et une table pleine. Des tables rondes ont été considérées dans une salle de 8m x 5m équipée d'un brasseur d'air centré. Les dimensions (taille du plateau, hauteur et positionnement de la table dans l'espace) restent identiques dans les deux configurations.

La Figure 42 montre les champs de vitesses obtenus dans ces deux configurations. Dans le cas de la table pleine, le flux d'air est bloqué par la table et doit la contourner pour se diffuser induisant des zones de hautes vitesses entre la table et le brasseur et des zones de très faibles vitesses de l'autre côté de la table. Dans le cas de la table 'plateau', le flux d'air peut se diffuser sans modification par rapport au cas sans mobilier, permettant d'obtenir des vitesses homogènes sur toute la périphérie de la pièce cohérentes avec le positionnement de la table en zone d'entraînement.

Cet exemple illustre bien l'impact d'un obstacle de faible hauteur situé en zone d'entrainement. Dans ce cas de figure, un obstacle ajouré permet de limiter la perturbation de l'écoulement et par conséquent d'obtenir des vitesses d'air homogènes permettant de satisfaire le confort des usagers sur une plus grande surface.

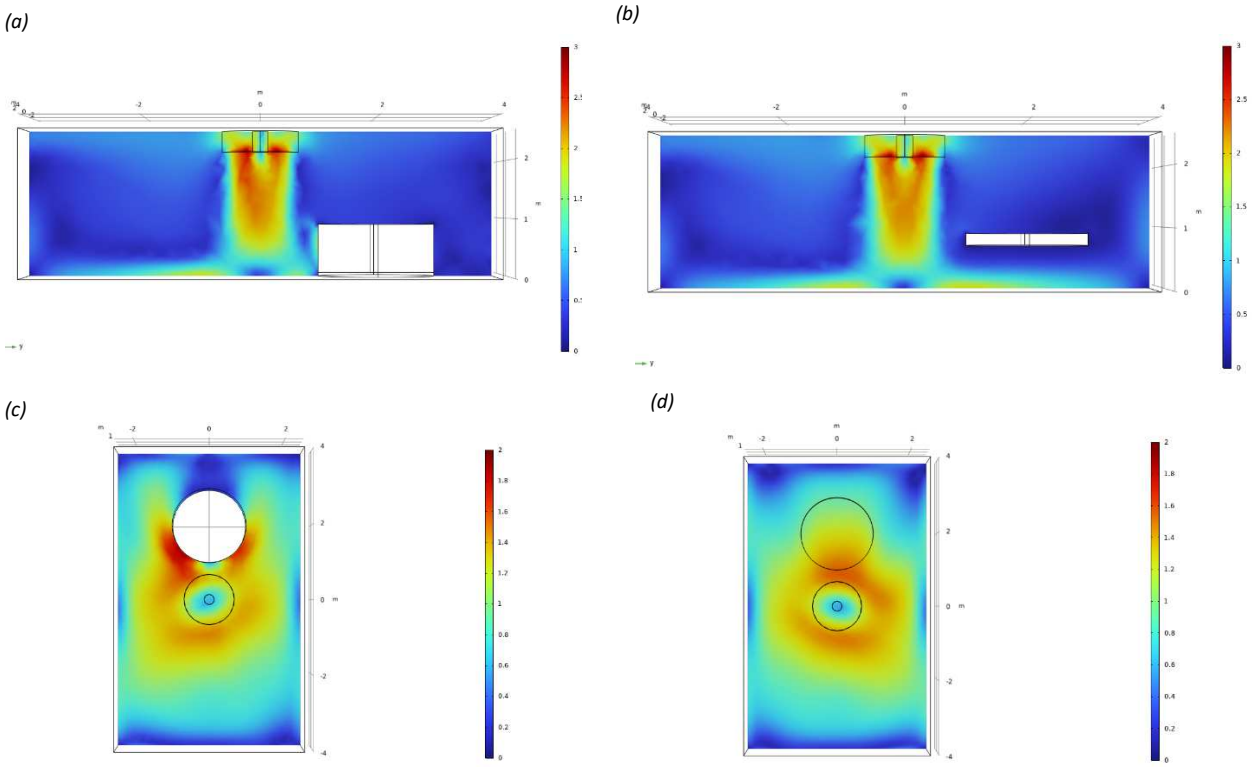


Figure 42 : Vitesses pour deux configurations : suivant le plan vertical passant par le centre du brasseur d'air (a) avec une grande table non centrée (b) avec grande table plateau et suivant le plan horizontal de h = 0,1 m (c) avec une grande table non centrée (d) avec grande table plateau

4.2.3.1 Impact d'une cloison de partitionnement ou un meuble bas dans un espace.

Dans certains locaux, il peut être nécessaire de mettre en place des cloisons de partitionnement dans le but de délimiter plusieurs espaces. Ceci est notamment le cas, par exemple, dans les open-spaces où ces cloisons peuvent également avoir un intérêt acoustique. Dans cette section, une cloison fine de 1,5 m de hauteur et de largeur de 2m a été positionnée dans un local de 8m x 5m équipé d'un brasseur d'air centré de 132cm de diamètre.

La Figure 43 montre les champs de vitesses d'air dans un plan horizontal à 50 cm du sol pour deux positions différentes de la cloison de partitionnement. Dans les deux cas, les vitesses d'air simulées sont faibles voire nulles derrière la cloison et élevées devant.

Ces cas de figure montrent l'importance de la définition de la stratégie de conception avec un brasseur d'air et l'importance de définir cette stratégie en considérant également l'aménagement potentiel et/ou probable du local. Dans les cas étudiés, si une table est positionnée derrière la cloison, les vitesses constatées au niveau de la table ne permettraient pas d'améliorer le confort des usagers présents à cette table. En revanche, en raison de l'évolution des vitesses d'air lié à la distance d'un brasseur d'air à la paroi la plus proche, vu précédemment, et si sa distance au centre du brasseur n'est pas trop courte (cf. règle de calepinage), cet obstacle peut avoir un impact positif sur la vitesse d'air ressentie par un usager situé entre le brasseur et la cloison.

(a)

(b)

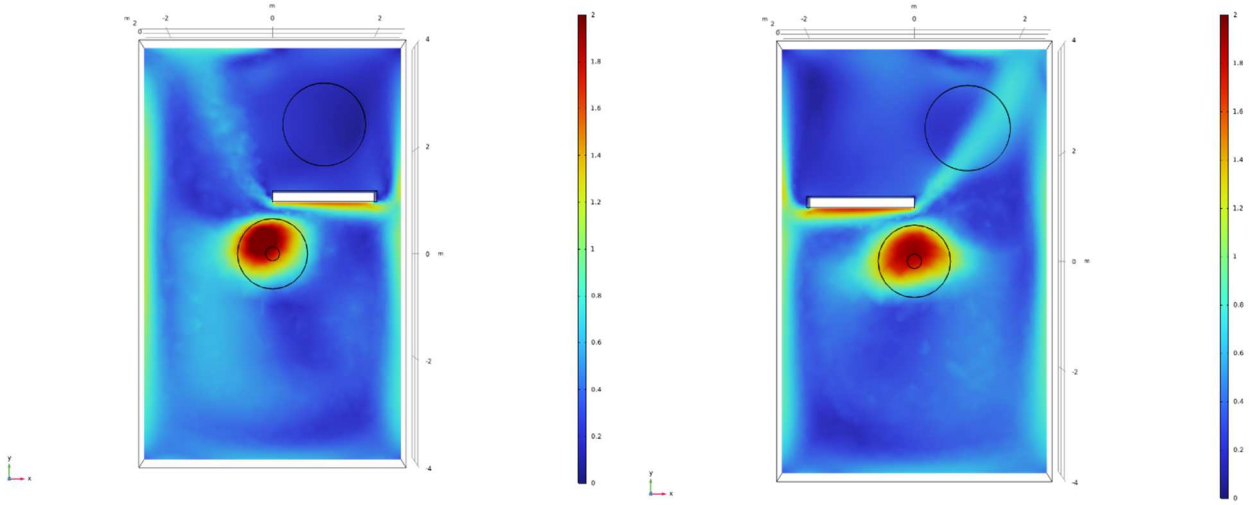


Figure 43 : Champ de vitesses d'air en présence d'un cloison de partitionnement suivant le plan horizontal situé à 50cm du sol et avec deux positionnements de la cloison différents.

5. Conclusion

Le présent article est décomposé en trois parties. La première s'est attachée à détailler l'influence des différents paramètres influant sur l'écoulement d'air. Ce travail a été réalisé à partir de la littérature internationale. Différentes règles de bonnes mises en œuvre ont pu être prédéfinies à partir de ce travail. Le but de ces règles est de favoriser les configurations de mise en œuvre de brasseurs d'air permettant d'obtenir l'uniformité des vitesses d'air et des vitesses d'air maximales.

Avant de valider le fonctionnement de ces règles à l'aide de la simulation numérique, il a été nécessaire de faire des choix méthodologiques éclairés. Pour cela, la seconde partie de cet article, est une revue scientifique sur la modélisation numérique en détaillant notamment les différentes méthodes et modèles existants dans le cas du brassage d'air. L'objectif était d'identifier le modèle de simulation le plus adapté aux projets BRASSE, représentatifs des phénomènes, nécessitant des ressources (notamment de calcul) raisonnables et surtout permettant de généraliser les conclusions.

Pour cela, deux principaux points ont été explorés : la modélisation de l'écoulement turbulent et la modélisation du brasseur. Pour la modélisation de l'écoulement turbulent, la méthode de la moyenne de Reynolds (RANS) a été choisie pour des raisons de ressources principalement. Ce modèle nécessite lui-même un modèle de viscosité de turbulence et d'énergie cinétique de turbulence. Il a été vu que d'après la littérature, le modèle SST semblerait être le modèle le plus adapté puisqu'il donne de meilleurs résultats mais ceci au prix d'un temps de calcul très élevé. Le modèle k-ε simplifie les écoulements proches des parois et est moins précis dans le jet rond. En revanche, la littérature internationale montre que son utilisation permet une concordance acceptable avec les résultats expérimentaux avec un temps de calcul raisonnable. C'est donc ce modèle qui a été retenu dans le cadre de BRASSE. Pour la modélisation du brasseur, les modèles MRF et RBM nécessitent de modéliser la géométrie particulière du brasseur. Avec ces modèles, les simulations seraient proches de la réalité. Mais ces modèles ne seront pas retenus en raison de la complexité de leurs mises en œuvre, du temps de calcul qui en résulterait et de l'impossibilité d'obtenir des résultats généraux avec ceux-ci. C'est la méthode de pression statique qui a finalement été retenue pour ces études, permettant ainsi d'assurer une vision généralisable quelle que soit la géométrie du brasseur avec un temps de calcul acceptable.

Ces choix méthodologiques faits, l'évaluation des performances des différentes démarches de simulation a été réalisée par corrélation avec les mesures effectuées en laboratoire et les mesures effectuées in-situ. Cette évaluation a permis de conclure que les investigations sur les modèles réalisés dans le cadre de ce projet ne sont pas satisfaisantes à ce jour. En effet, plusieurs résultats liés à des choix de modélisation n'ont pas pu être expliqués et justifiés ; et la calibration des résultats numériques à partir des résultats issus du laboratoire n'est pas aboutie. Ce travail conséquent n'a pas pu être réalisé dans le cadre contraint du projet BRASSE. Néanmoins, avec toutes les précautions prises, les modélisations réalisées permettent d'observer les phénomènes en présence et de conclure sur les schémas d'écoulement. Les analyses ont donc été réalisées dans ce sens.

La troisième partie de cet article a donc logiquement eu pour objectif principal d'observer des schémas d'écoulement obtenus dans les bonnes conditions, c'est-à-dire en respectent les différentes règles précédemment définies. Ainsi les schémas d'écoulement dans une configuration simple, un brasseur dans une pièce carré, ont permis de confirmer la bonne représentation des phénomènes attendus et une première partie des règles exprimées. L'influence de la distance entre brasseurs a également été observée. Ceci a permis de constater l'importance d'avoir une distance intra brasseur supérieure au double de la distance brasseur/paroi afin de prendre en compte les champs de contraintes équivalents. L'influence de la taille de pièce est un autre point étudié. Il a été recherché de confirmer la loi de Raftery, établissant une relation entre la taille de la pièce et le diamètre du brasseur. Les résultats obtenus n'ont pas permis de confirmer cette loi. Les résultats montrent une décroissance de la vitesse en zone d'entrainement plus rapide que représentée par Raftery. Afin de définir la loi fiable liant la taille de pièce et le diamètre du brasseur, des essais en laboratoire avec une chambre de mesures de dimensions modifiables sont nécessaires. En l'absence de cette loi fiable, la règle de la surface maximale de brassage efficace définie dans le cadre de BRASSE et basée sur cette règle ne sera donc pas finalemnet retenue dans le cadre de ce projet. Et enfin, cette partie reprend les résultats d'étude des écoulements induits par un brasseur d'air en présence de mobilier. Ces résultats mettent en évidence les perturbations de l'écoulement en présence de mobilier avec une diminution globale de la vitesse d'air moyenne. Toutefois, il peut être observé dans certaines configurations une augmentation locale du champ de vitesses pouvant être particulièrement bénéfique pour l'usager.

Cette étude a donc permis de tester différentes méthodologies de CFD et d'en déterminer les limites, d'établir des règles de calepinage à partir de résultats expérimentaux issus de la littérature, complétés par l'ensemble des observations réalisées lors du projet BRASSE et de définir des préconisations quant à l'agencement des espaces.

Références

[1] Santamouris M. (2016) Cooling the buildings – past, present and future, *Energy and Buildings*, vol. 128, p. 617-638

[2] Santamouris M., Cartalis C., Synnefa A. (2015) On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review, *Energy and Buildings*, vol. 98, p. 119-124

[3] Bamdad K., Cholette M. E., Omrani S., Bell J. (2021) Future energy-optimised buildings — Addressing the impact of climate change on buildings, *Energy and Buildings*, vol. 231, p. 110610

[4] Bamdad K., Cholette M. E., Guan L. (2017) Ant colony algorithm for building energy optimisation problems and comparison with benchmark algorithms, *Energy and Buildings*, vol. 154, p. 404-414

[5] Bamdad K., Cholette M. E., Guan L. (2018) Building energy optimisation under uncertainty using ACOMV algorithm, *Energy and Buildings*, vol. 167, p. 322-333

[6] Yang B., Wang F. (2018) Supplementary opinions on alternative cooling technologies in hot climate, *International Journal of Biometeorology*, vol. 62, p. 1927-1928

[7] Sadripour S., Mollamahdi M., Sheikhzadeh G. A. (2017) Providing thermal comfort and saving energy inside the buildings using a ceiling fan in heating systems, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 39, p. 4219-4230

[8] Mihara K., Sekhar C., Takemasa Y. (2019) Thermal comfort and energy performance of a dedicated outdoor air system with ceiling fans in hot and humid climate, *Energy and Buildings*, vol. 203, p. 109-118

[9] He Y., Chen W., Wang Z., Zhang H. (2019) Review of fan-use rates in field studies and their effects on thermal comfort, energy conservation, and human productivity, *Energy and Buildings*, vol. 194, p. 140-162

[10] Litvine D., De Laage R., Hoarau S. (2022) Analyse de l'acceptabilité et des conditions de déploiement des brasseurs d'air : Une étude qualitative de l'offre et de la demande. Tache 4 du Projet BRASSE – Pour le compte de l'ADEME

[11] LE BERIGOT T, BOEUF F, OSSAKOWSKY P, DAVID M, GARDE F, LITVINE D, DE LAAGE R, VASQUEZ C (2021) Rapport d'avancement du projet BRASSE : Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques.

[12] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., DAVID M., BLANCHARD B., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers - Analyse des protocoles de mesures de vitesse d'air - Projet BRASSE

[13] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., DAVID M., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers - Indicateurs de performance des brasseurs - Projet BRASSE

[14] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., DAVID M., 2023. BRASSE_Protocole_mesure_2023_0_1 – Projet BRASSE

[15] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers – Retour d'expérience : mesure in-situ - Projet BRASSE

[16] Omrani S, Matour S, Bamdad K, Izadyar N (2021) Ceiling fans as ventilation assisting devices in buildings: a critical review, *Building and Environment*, vol. 201, pp. 108010.

[17] Gao Y, Zhang H, Arens E, Present E, Ning B, Zhai Y, Pantelic J, Luo M, Zhao L, Raftery P, Liu S (2017) Ceiling fan air speeds around desks and office partitions, *Building and Environment*, vol. 124, pp. 412-440.

[18] Wang H, Zhang H, Hu X, Luo M, Wang G, Li X, Zhu Y (2019) Measurement of airflow pattern induced by ceiling fan with quad-view colour sequence particle streak velocimetry, *Building and Environment*, vol. 152, pp. 122-134.

[19] Wang H, Luo M, Wang G, Li X (2019) Airflow pattern induced by ceiling fan under different rotation speeds and blowing directions, *Indoor and Built Environment*, vol. 29, pp. 1425-1440

[20] Raftery P, Fizer J, Chen W, He Y, Zhang H, Arens E, Schiavon S, Paliaga G (2019), Ceiling fans: Predicting indoor air speeds based on full scale laboratory measurements, *Building and Environment*, vol. 155, pp. 210-223.

[21] Liu S, Lipczynska A, Schiavon S, Arens E (2018) Detailed experimental investigation of air speed field induced by ceiling fans, *Building and Environment*, vol. 142, pp. 342-360

[22] Chen W, Liu S, Gao Y, Zhang H, Arens E, Zhao L, Liu J (2018) Experimental and numerical investigations of indoor air movement distribution with an office ceiling fan, *Building and Environment*, vol. 130, pp. 14-26

[23] Sonne J, Parker D (1998) Measured Ceiling Fan Performance and Usage Patterns: Implications for Efficiency and Comfort Improvement, *Proceedings of the 10th ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings* (Pacific Grove, California, USA), vol. 1, pp. 335-341.

[24] Present E, Raftery P, Brager G, Graham LT (2019) Ceiling fans in commercial buildings: in situ airspeeds and practitioner experience, *Building and Environment*, vol. 147, pp. 241-257

[25] Luo M, Zhang H, Raftery P, Zhou L, Parkinson T, Arens E, He Y, Present E (2021) Detailed measured air speed distribution in four commercial buildings with ceiling fans, *Building and Environment*, vol. 200, pp. 107979

[26] Momoi Y, Sagara K, Yamanaka T, Kotani H (2007) Modelling of prescribed velocity generated by ceiling fan based on velocity measurement for CFD simulation, *Proceedings of 10th international conference on air distribution in rooms*, (Helsinki, Finland).

[27] B. Blanchard, « Mise au point d'un banc d'essais pour la caractérisation des brasseurs d'air », Eiffel Aérodynamique, Paris, sept. 2019.

[28] Chandra S, Fairey PW, Keresteciogl AA, Kamel AA (1986) Wind tunnel and full-scale data on airflow from natural ventilation and ceiling fans, *Ashrae Transactions*, vol. 92, pp. 804-814.

[29] Big Ass Fans, HVLS Design Guide, https://guide.bigassfans.com/chapter-2#2-9-1

[30] Jain A, Upadhyay RR, Chandra S, Saini M, Kale S (2004) Experimental investigation of the flow field of a ceiling fan, *Proceedings of the 2004 ASME Heat Transfer/Fluids Engineering Summer Conference* (Charlotte, North Carolina, USA), vol 3, pp. 93-99.

[31] Mihara K, Lasternas B, Takemasa Y, Tham KW, Sekhar C (2018) Indoor environment evaluation of a Dedicated Outdoor Air System with ceiling fans in the tropics – A thermal manikin study, *Building and Environment*, vol. 143, pp. 605-617

[32] Lin HH (2019) Improvement of Human Thermal Comfort by Optimizing the Airflow Induced by a Ceiling Fan, *Sustainability*, vol. 11, p. 3370-3387

[33] G. Pichurov, J. Srebric, et S. Zhu, « A validated numerical investigation of the ceiling fan's role in the upper-room UVGI efficacy », Building and Environment, vol. 86, p. 109-119, avr. 2015.

[34] F. Usman et A. R. A. Bakar, « Thermal Comfort Study Using CFD Analysis in Residential House with Mechanical Ventilation System », in Proceedings of AICCE'19, vol. 53, F. Mohamed Nazri, Éd. Cham: Springer International Publishing, 2020, p. 1613-1628. doi: 10.1007/978-3-030-32816-0_124.

[35] R. Aynsley et M. Ali, « Optimizing Ceiling Fan Locations with CFD », sept. 2003.

[36] O. Glahn, T. Voss, K. Voss, et S. Schwickert, « Comparison of stationary and transient RANS modelling », Bauphysik, vol. 42, no 6, p. 326-334, déc. 2020.

[37] N. Kamsah, H. M. Kamar, I. N. Ilham, et A. S. Norazam, « High-volume low-speed fan for cooling of a large enclosed space », in AIP Conference Proceedings, sept. 2020, vol. 2255.

[38] D. Casseer et C. Ranasinghe, « Assessment of Spallart Almaras Turbulence Model for Numerical Evaluation of Ceiling

[39] F. Babich, M. Cook, D. Loveday, R. Rawal, et Y. Shukla, « Transient three-dimensional CFD modelling of ceiling fans », Building and Environment, vol. 123, p. 37-49, oct. 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.06.039.

[40] E. Adeeb et al., « Parametric Study and Optimization of Ceiling Fan Blades for Improved Aerodynamic Performance », JAFM, vol. 9, no 6, p. 2905-2916, nov. 2016, doi: 10.29252/jafm.09.06.25808.

[41] R. Bassiouny et N. S. Korah, « Studying the features of air flow induced by a room ceiling-fan », Energy and Buildings, vol. 43, no 8, p. 1913-1918, août 2011, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.03.034.

[42] S.-C. Lin et M.-Y. Hseih, « An Integrated Numerical and Experimental Analysis for Enhancing the Performance of the Hidden Ceiling Fan », Sage Journals, janv. 2014.

[43] S.-W. Hsiao, H.-H. Lin, et C.-H. Lo, « A study of thermal comfort enhancement by the optimization of airflow induced by a ceiling fan », Journal of Interdisciplinary Mathematics, vol. 19, no 4, p. 859-891, sept. 2016.

[44] M. Alizadeh et S. M. Sadrameli, « Numerical modeling and optimization of thermal comfort in building: Central composite design and CFD simulation », Energy and Buildings, vol. 164, p. 187-202, avr. 2018.

[45] S. Zhu et J. Srebric, « Numerical modeling of indoor environment with a ceiling fan and an upper-room ultraviolet germicidal irradiation system », Building and Environment, vol. 72, p. 116-124, févr. 2014.

[47] W. Chen et al., « Experimental and numerical investigations of indoor air movement distribution with an office ceiling fan », Building and Environment, vol. 130, p. 14-26, févr. 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.12.016.

[48] Spalart, P. R. and Allmaras, S. R. (1992), "A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows", AIAA Paper 92-0439.

[49] Claude Louis Marie Henri Navier, « Mémoire sur les lois du mouvement des fluides » (lu à l'Académie royale des sciences le 18 mars 1822), Mémoires de l'Académie royale des Sciences de l'Institut de France, Paris, vol. 6, 1827, p. 389-440

[50] George Gabriel Stokes, Transactions of Cambridge Philosophical Society, vol. 8, 1845, p. 287–305.

[51] Reynolds O. 1895 On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion. Phil Trans. R. Lond. Soc. A 186, 123–164. (doi:10.1098/rsta.1895.0004)

[52] J. Boussinesq, « Essai sur la théorie des eaux courantes », Comptes rendus de l'Académie des Sciences, vol. 23, 1877, p. 1-680

[53] Dacles-Mariani, J., Zilliac, G. G., Chow, J. S. and Bradshaw, P. (1995), "Numerical/Experimental Study of a Wingtip Vortex in the Near Field", AIAA Journal, 33(9), pp. 1561-1568, 1995.

[54] Spalart, P. R. and Allmaras, S. R. (1994), "A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows", La Recherche Aerospatiale n 1, 5-21.

[55] Bardina, J.E., Huang, P.G., Coakley, T.J. (1997), "Turbulence Modeling Validation, Testing, and Development", NASA Technical Memorandum 110446.

[56] Jones, W. P., and Launder, B. E. (1972), "The Prediction of Laminarization with a Two-Equation Model of Turbulence", International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 15, 1972, pp. 301-314.

[57] Launder, B. E., and Sharma, B. I. (1974), "Application of the Energy Dissipation Model of Turbulence to the Calculation of Flow Near a Spinning Disc", Letters in Heat and Mass Transfer, vol. 1, no. 2, pp. 131-138.

[58] Wilcox, David C (1998). "Turbulence Modeling for CFD". Second edition. Anaheim: DCW Industries, 1998. pp. 174.

[59] Wilcox, D.C. (1988), "Re-assessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models", AIAA Journal, vol. 26, no. 11, pp. 1299-1310.

[60] Menter, F. R. (1993), "Zonal Two Equation k-ω Turbulence Models for Aerodynamic Flows", AIAA Paper 93-2906.

[61] Menter, F. R. (1994), "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications", AIAA Journal, vol. 32, no 8. pp. 1598-1605.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

BRASSE : BRASSEURS D'AIR, UNE SOLUTION DE SOBRIETE ET D'EFFICACITE

BRASSE
BRASSEUR D'AIR :
UNE SOLUTION
DE SOBRIÉTÉ
ET D'EFFICACITÉ

Etude 3 – Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers

Rapport 3.5 – Vers une base de données BRASSE : validation du protocole 2023-1-0 et étude des indicateurs sur une gamme de brasseurs élargie

RAPPORT FINAL

surya CONSULTANTS
UR | LAB PIMENT

Nov. 2023

FAITS & CHIFFRES

BRASSE
Brasseurs d'air, une solution de sobriété et d'efficacité

Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques

Les brasseurs d'air en plafond permettent d'améliorer le confort thermique des usagers des bâtiments tout en diminuant la consommation d'énergie nécessaire au refroidissement de locaux. Ils sont par conséquent une solution permettant de **s'adapter au changement climatique**. Mais ces équipements sont peu préconisés par les équipes de conception de bâtiment. D'un point de vue technique, cela est dû à un **manque de connaissance** sur ces équipements, leurs **performances** et leur **effet sur la qualité des ambiances intérieures**. Cela pourrait également être dû à des **raisons socio-économiques** non encore identifiées.

Ces constats ont fait naître le programme de recherche : BRASSE[1].

Ce projet de recherche vise principalement à **enrichir** le secteur du bâtiment de connaissances sur ces équipements, de développer des **méthodes** et outils d'aide à l'intégration et à **diffuser** cette connaissance.

Les axes de recherche :

- Performances des brasseurs
- Effets sur la qualité des ambiances intérieures
- Outil d'aide à la conception
- Identification des freins sociologiques
- Diffusion des connaissances

Les ambitions du projet sont :

- Réaliser un important **retour d'expérience** à travers 4 approches :
    1. Retour d'expérience technique préliminaire
    2. Analyse en sciences sociales
    3. Mesure sur site pour la validation de la méthodologie
    4. POE

- Établir un **protocole standardisé** de détermination des performances des brasseurs d'air présents sur le marché et **approfondir l'étude** de brasseurs d'air.
- Définir une **méthode** permettant de proposer une **conception de locaux équipés** de plusieurs brasseurs d'air (calepinage) prenant en compte les principaux paramètres : thermiques, acoustiques et aérauliques.
- **Comprendre le rapport des utilisateurs et des professionnels** aux brasseurs d'air quels que soient leurs profils, le climat ou le territoire dans lequel ils évoluent.
- **Diffuser l'information** pour faire monter en compétence l'ensemble de la filière bâtiment sur ces sujets.

Ce programme de recherche rassemble six entités regroupant des compétences pluridisciplinaires :

- **Surya consultants :** bureau d'études, recherches et développement/ Thermique – énergie – environnement – modélisation (pilote du projet)
- **LASA :** laboratoire privé en acoustique
- **ISEA :** cabinet de recherche et de conseil en sciences sociales – spécialisé en analyse et intervention comportementale
- **Laboratoire PIMENT – Université publique de la Réunion :** Génie de l'Habitat et génie thermique
- **Laboratoire Eiffel aérodynamique, filiale du groupe CSTB :** aérodynamique - expérimentation
- **EnvirobatBDM :** centre de ressources et démarche bâtiments durables méditerranéens – retour d'expérience

Le programme BRASSE est lauréat de l'appel à projets de recherche **Bâtiments responsables 2020** géré par l'Ademe.

[1] BRasseur d'Air : une Solution de Sobriété et d'Efficacité

CITATION DE CE RAPPORT

LE BERIGOT T., LE MAREC P.E, BŒUF F., DAVID M., 2023. Vers une base de données BRASSE : validation du protocole 2023 1.0 et étude des indicateurs sur une gamme de brasseurs élargie - Projet BRASSE

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01
Numéro de convention : 2004C0018
Appel à projets de recherche Vers des Bâtiments Responsables à l'horizon 2020"
Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : Tangi LE BERIGOT (Surya Consultants), Pierre-Erwan LE MAREC (Surya Consultants), Frédéric BŒUF (Surya Consultants), Mathieu DAVID (Université de la Réunion – Laboratoire PIMENT)
Coordination technique - ADEME : LARUELLE Céline - Direction/Service : DVTD/SB

VERS UNE BASE DE DONNEES BRASSE : VALIDATION DU PROTOCOLE V1.0 ET ETUDE DES INDICATEURS SUR UNE GAMME DE BRASSEURS ELARGIE

Tangi LE BERIGOT[1], Pierre-Erwan LE MAREC[1], Frédéric BŒUF [1], Mathieu DAVID[2]

[1]Surya Consultants, France,
[2]Laboratoire PIMENT, Université de la Réunion, France,

Mots clés : brasseur d'air, vitesse d'air, essai, caractérisation

Cet article s'inscrit dans le programme de recherche « BRASSE : Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques. ». Projet lauréat de l'appel à projets de recherche Bâtiments responsables 2020 géré par l'ADEME.

1. Introduction

La consommation d'énergie liée au refroidissement des bâtiments augmente plus rapidement que par le passé et cette tendance devrait se poursuivre jusqu'à la fin du XXIe siècle [1]. À l'heure actuelle, la consommation d'énergie pour le refroidissement peut atteindre jusqu'à 9,3 % de la consommation mondiale totale d'énergie dans les bâtiments commerciaux [1] et pourrait être intensifiée en raison des problèmes de réchauffement de la planète [2, 3]. Bien que différentes stratégies d'économie d'énergie soient utilisées dans le bâtiment pour réduire cette demande de refroidissement, elles peuvent être coûteuses et/ou complexes [4, 5]. Par conséquent, l'utilisation d'une solution simple et abordable et la modification des paradigmes actuels de traitement de l'ambiance thermique dans les bâtiments modernes peuvent être suggérées comme urgentes.

Le brasseur d'air est un dispositif mécanique à faible consommation d'énergie qui peut être une solution d'amélioration de confort thermique appropriée répondant à l'ensemble des enjeux actuels [6]. Il n'a pas pour objectif, à l'inverse du climatiseur beaucoup plus énergivore, de refroidir et de maintenir la température d'ambiance. Il s'agit d'un dispositif de circulation d'air peu coûteux et pratique qui peut améliorer la sensation thermique des occupants en faisant circuler l'air dans une zone intérieure [7, 8].

S'il existe de nombreux avantages potentiels à l'application des brasseurs d'air, leur taux de pénétration sur le marché est encore limité ce qui est dû au manque d'informations concises sur les impacts des brasseurs d'air et les méthodologies d'évaluation des impacts [9, 10].

L'ambition du projet BRASSE [11] est de développer le bon usage du brasseur d'air dans le secteur du bâtiment comme adaptation frugale aux changements climatiques. Il convient ici de rappeler que le projet BRASSE n'a pas vocation à proposer des solutions d'optimisation de conception des brasseurs pour les fabricants et que ces objectifs techniques sont de définir :

- des indicateurs de performance orientés confort (thermique et acoustique) ;
- des indicateurs physiques permettant une bonne prise en compte des brasseurs en conception ;
- un protocole de mesures en laboratoire permettant d'obtenir ces indicateurs ;
- des règles de calepinage pour les utilisateurs (bureaux d'étude, etc.).

Dans une première partie du projet BRASSE [12, 13, 14], des mesures de vitesse d'air ont été réalisées en laboratoire afin d'établir un protocole permettant de définir les indicateurs de conception et de performances pour les brasseurs. De telles mesures ont pour objectif de caractériser l'impact des brasseurs sur le confort de l'usager et leur niveau de performance dans des conditions standardisées. Ces indicateurs permettent alors de comparer les brasseurs entre eux afin de faire un choix éclairé de matériel, les choix d'implantation de brasseur (nombre, position, diamètre et hauteur) étant définis par ailleurs en phase de conception selon le projet (géométrie, usage, etc.).

Afin de valider la qualité métrologique du protocole et la pertinence des indicateurs, le protocole de mesure en laboratoire BRASSE_2023_1.0 [14] a été mis en œuvre pour caractériser 9 brasseurs d'air commerciaux. Ce rapport présente les résultats des

essais et leur analyse en termes de qualité métrologique et de faisabilité opérationnelle. Les indicateurs de conception et de performances sont calculés à l'aide de la procédure de calcul proposée par le protocole BRASSE. L'influence des principaux paramètres opérationnels (diamètre, vitesse de rotation et puissance absorbée) sur les indicateurs est étudiée et une comparaison entre les indicateurs BRASSE et les données constructeurs disponibles sur les différentes documentations techniques est réalisée. Pour finir, le principe d'élaboration d'une échelle de classement des brasseurs vis-à-vis de chaque indicateur est proposé.

2. Matériel et méthodes

2.1 Brasseurs d'air

9 brasseurs d'air plafonniers ont été testés lors de cette phase. Ils ont été sélectionnés de manière à obtenir une certaine représentativité des types d'équipements présents sur le marché :

- Brasseurs issus de 6 marques différentes
- 4 diamètres variant entre 107 cm et 142 cm / 5 brasseurs ayant un diamètre de 132cm
- 6 brasseurs équipés de moteurs AC / 3 brasseurs équipés de moteurs DC,
- 8 brasseurs à 3 pales / 1 brasseur à 5 pales / 1 brasseur à 6 pales,
- 4 distances de montage (hauteurs entre les pales/plafond) variant entre 27 cm et 36 cm,
- 5 brasseurs ont 3 vitesses, 2 brasseurs ont 5 vitesses, 2 brasseurs ont 6 vitesses,
- Le débit maximal fourni par les constructeurs varie entre 9000 et 13 800 m^3/h,

Le Tableau 1 détaille l'ensemble des caractéristiques des brasseurs testés. La dernière colonne correspond à l'ordre des brasseurs s'ils étaient classés par ordre croissant de débit constructeur maximal (1 étant le brasseur présentant le plus faible débit constructeur et 9 étant celui présentant le débit constructeur le plus élevé).

Brasseur	Diamètre [cm]	Nb de pales	Distance pales/plafond [cm]	Nb de vitesses	Type de moteur	Données constructeur				
						Débit à Vmax [m^3/h]		Puissance à Vmax (W)		Niveau sonore à Vmax (dBA)
B001	132	3	33	3	AC	8902	1	66	1	39
B002	142	3	30	6	DC	9960	4	35	8	45
B003	107	6	30	3	AC	11150	5	58	5	42
B004	132	5	27	3	AC	9174	3	58	4	42
B005	112	4	39	3	AC	11400	8	60	3	45
B006	132	3	23	6	DC	13400	7	32	9	45
B007	132	3	27	3	AC	9835	2	63,5	2	39
B008	122	3	30	5	DC	13800	9	35	7	45
B010	132	4	29	5	DC	10250	6	39	6	45

Tableau 1 : *Caractéristiques des brasseurs testés*

2.2 Mesures selon le protocole BRASSE V1.0

Le protocole de mesure en laboratoire utilisé est le protocole 'BRASSE_Protocole_mesure_2023_0_1' [14]. Les essais ont été réalisés dans la cellule d'essai de brasseurs d'air du laboratoire PIMENT de l'Université de la Réunion durant l'été 2023. Les brasseurs d'air ont été testés tel que fournis par les distributeurs avec les tiges par défaut. Seule la vitesse maximale accessible à partir de la commande fournie a été utilisée pour ces essais afin d'estimer le plein potentiel de chaque appareil.

Les vitesses d'air ainsi que la vitesse de rotation et la puissance absorbée ont été mesurées avec le matériel décrit dans les rapports 3.1 [12] et 3.2 [13]. La puissance acoustique a été mesurée avec le matériel décrit dans le rapport 2 [17].

3. Résultats

3.1 Mesures acoustiques

Le tableau 2 montre les résultats des mesures de puissance acoustique et de vitesse de rotation pour les différents brasseurs classés du moins bruyant au plus bruyant. On constate en premier lieu que les puissances acoustiques fournies par les constructeurs sont plutôt justes pour les brasseurs les moins bruyants alors qu'elles sont clairement minimisées pour les brasseurs les plus bruyants. On observe ensuite sans surprise qu'il y a une forte corrélation entre vitesse de rotation élevée et bruit important.

Brasseur	Puissance acoustique BRASSE [dBA]	Puissance acoustique constructeur [dBA]	Vitesse de rotation mesurée [tr/min]	
B010	36,6	45	164	2
B001	41,9	39	164	1
B003	43,9	42	168	3
B004	45	42	175	4
B005	46,3	45	230	8
B007	47,5	39	185	5
B006	51,9	42	226	7
B002	53,6	45	211	6
B008	58	45	329	9

Tableau 2 : Puissances acoustiques et vitesses de rotation

3.2 Mesures de vitesses d'air

Cette série de mesures a permis de mettre en œuvre pour la première fois le protocole de mesures de vitesses d'air en suivant l'ensemble des recommandations effectuées dans les rapports 3.1 [12] et 3.2 [13]et ayant abouti à sa version 1.0. Un point particulier devait être vérifié pour valider la faisabilité opérationnelle de ce protocole : la durée d'essai. En effet, afin d'assurer la qualité de la mesure, il est nécessaire d'avoir un nombre de mesures suffisant pour estimer la vitesse en un point. Ce nombre d'essais étant défini par rapport à l'écart type sur les valeurs de vitesses mesurées, il est variable d'un point à un autre et peut devenir élevé dans les zones de turbulence entrainant de fait une durée d'essai très élevée et, par suite, un coût prohibitif pour les fabricants.

La figure 1 montre, que dans la grande majorité des essais, une fréquence d'échantillonnage de 8 Hz permet d'utiliser une durée d'essai de 3 min (minimum défini par le protocole). Pour 12 points de mesure sur 178 au total (dont 5 pour le seul brasseur B006), il a été nécessaire d'augmenter la durée d'essai à 6 min. Le critère de validation de la qualité métrologique est donc pertinent et utilisable sur le plan opérationnel avec une fréquence d'échantillonnage de 8 Hz puisqu'il ne conduit pas à une durée d'essai excessive.

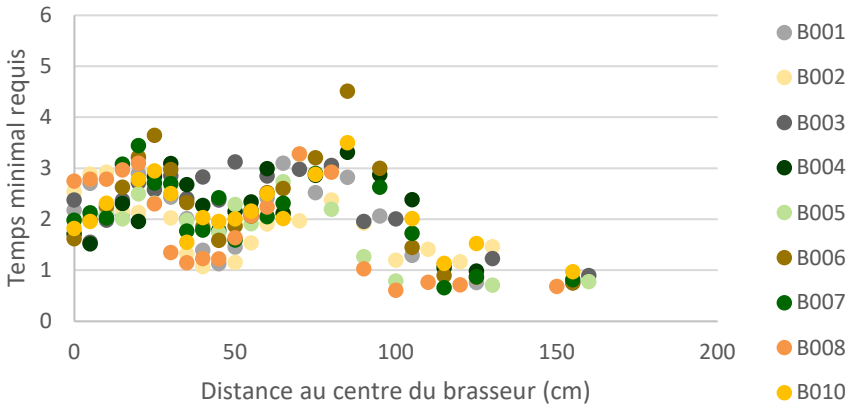
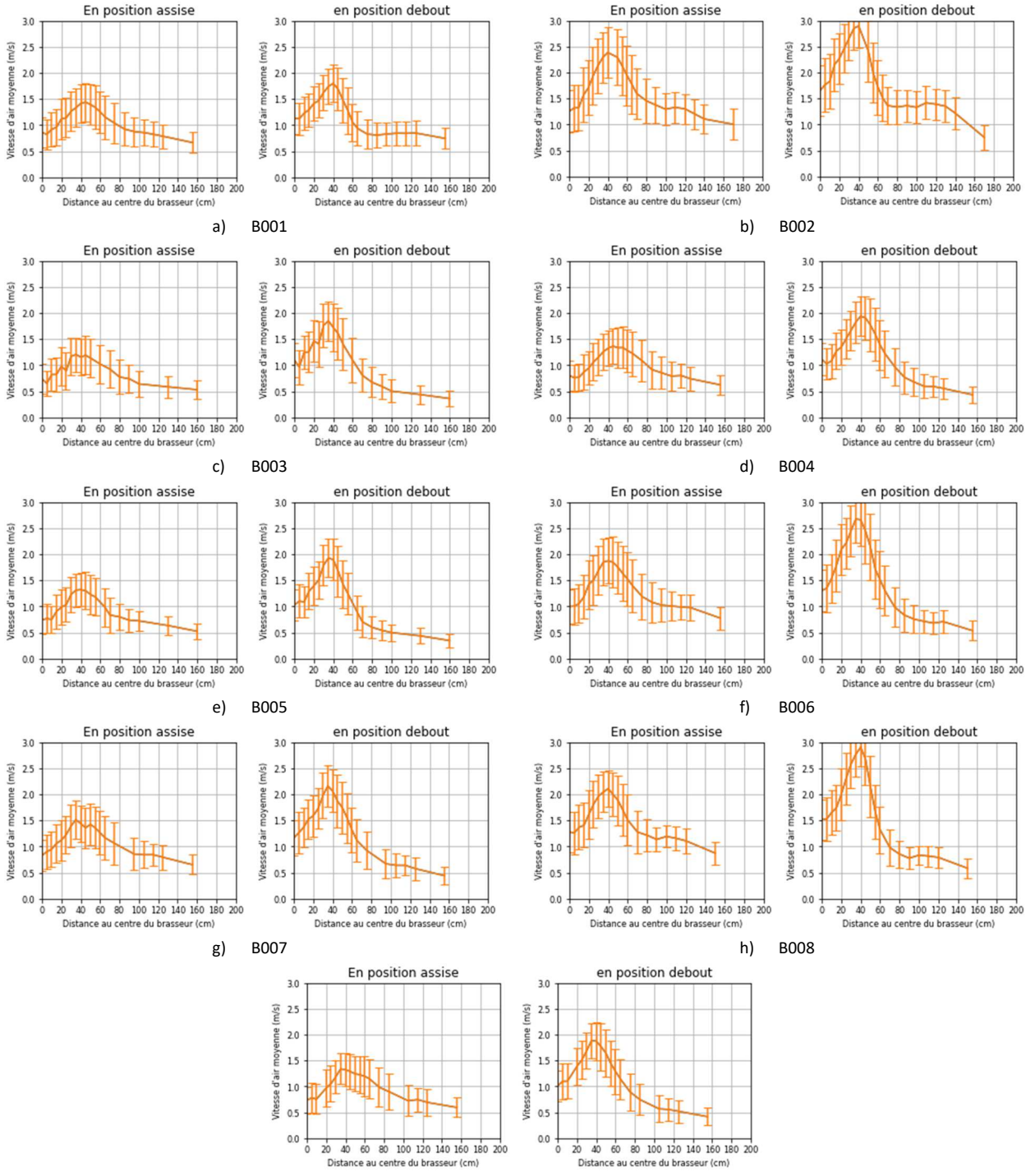


Figure 1 : Temps de mesure minimal requis à une fréquence d'échantillonnage de 8 Hz pour les différents points de mesure sur toute la gamme de brasseurs testés

La Figure 2 montre l'évolution des vitesses moyennes en position assise et en position debout en fonction de la distance du centre du brasseur pour chacun des brasseurs. On observe une grande variabilité de performances entre les différents brasseurs de la gamme testée. La vitesse d'air maximale ressentie dans la zone d'influence directe varie de 1,2 m/s à 2,4 m/s en position assise et de 1,8 m/s et de 2,9 m/s en position debout.



a) B001 b) B002

c) B003 d) B004

e) B005 f) B006

g) B007 h) B008

i) B010

Figure 2 : *Evolutions des vitesses moyennes en position assises et en position debout en fonction de la distance du centre du brasseur – BRASSE 2023*

La figure 2 montre que le rayon d'influence varie entre 60 cm et 85 cm pour la posture assise et entre 55 cm et 70 cm pour la posture debout. Le rayon d'influence en position debout est toujours inférieur au rayon d'influence en position assise ce qui s'explique par l'élargissement de la zone d'influence directe quand le flux d'air se rapproche du sol. On constate également que le rayon d'influence en position debout est, en règle générale, inférieur au rayon du brasseur, ce qui montre la contraction du flux d'air en sortie du brasseur. Seuls les deux brasseurs de petits diamètres ne montrent pas cette tendance, ce qui pourrait être lié à des difficultés de

détection du rayon d'influence dans ce cas où les vitesses d'air sont plus faibles. Il sera nécessaire de réaliser des travaux complémentaires pour vérifier cette hypothèse et améliorer, si besoin, la méthode de détection du rayon d'influence.

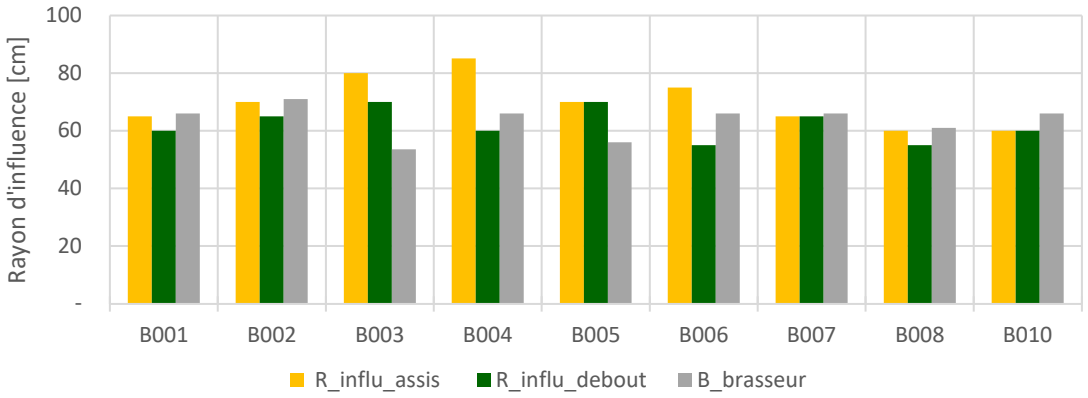


Figure 3 : Evolutions des rayons d'influence pour les postures assise et debout – BRASSE 2023

La Figure 4 permet d'analyser l'influence des paramètres du brasseur (diamètre, vitesses de rotation) sur les vitesses moyennes dans les différentes zones et les différentes postures. De façon générale, on peut logiquement observer que des brasseurs de plus grand diamètre et/ou ayant des vitesses de rotation plus élevées génèrent des vitesses plus élevées. On peut toutefois observer deux exceptions à cette règle : le brasseur B008 surperforme malgré un diamètre plus faible (122 cm) parce que sa vitesse de rotation est très élevée (1,5 fois plus élevée que celle des brasseurs générant des vitesses équivalentes) et le brasseur B005 contre-performe malgré une vitesse de rotation élevée à cause d'un petit diamètre. Sur l'échantillon testé, l'étude des autres paramètres du brasseur (nombre de pales et distance de montage) ne permet pas dégager une tendance, leur influence sur la vitesse étant moins directe que pour les deux premiers paramètres.

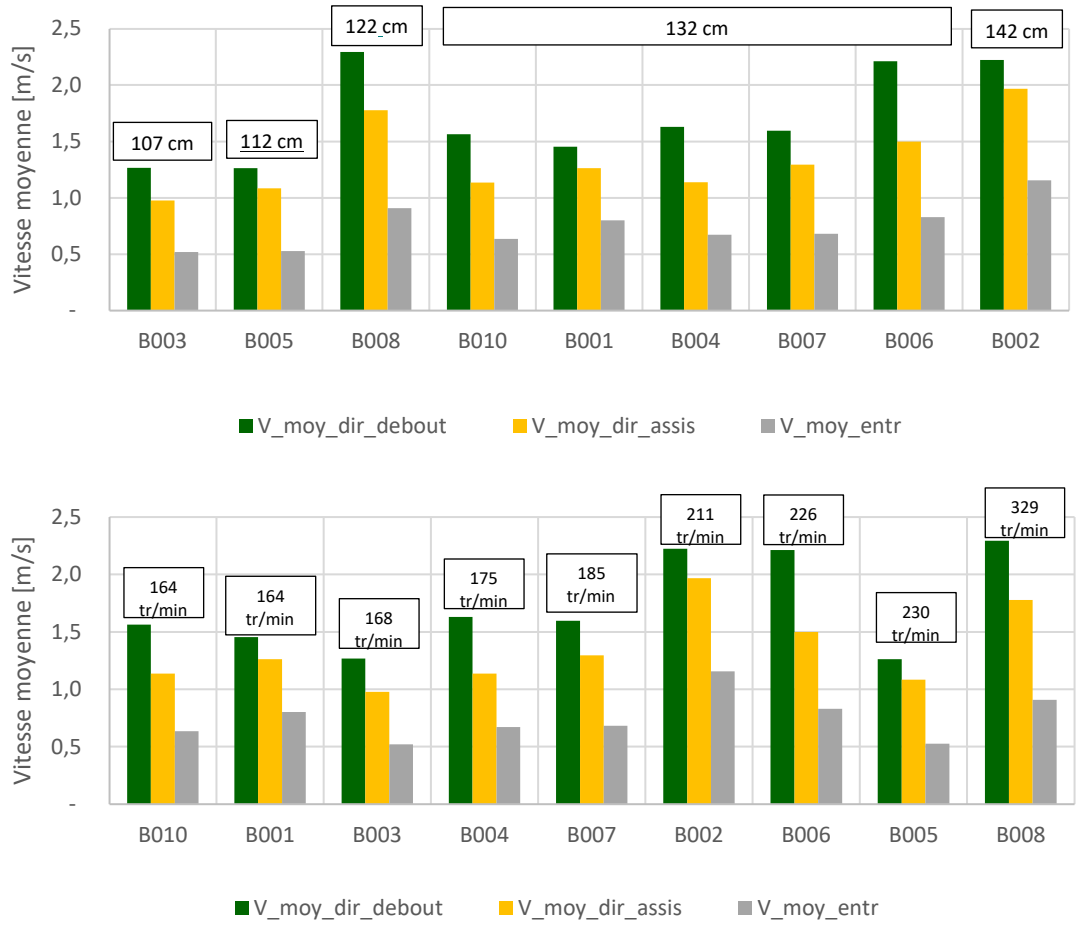


Figure 4 : Vitesses d'air moyennes des 9 brasseurs classés (a) par diamètres croissants et (b) par vitesses de rotation croissantes

Afin d'étudier l'influence du couple {diamètre + vitesse de rotation}, il est possible de calculer le produit (diamètre² x vitesse de rotation), cet indicateur étant homogène à la surface « balayée » par le brasseur à chaque minute. Le figure 5 présente les vitesses d'air obtenues pour chaque brasseur en les classant par ordre de « surfaces balayées par minute » croissantes. On peut constater que cet indicateur permet d'obtenir un classement s'approchant du classement obtenu par les mesures de vitesse d'air. Toutefois, s'il traduit bien l'idée que la vitesse de rotation et le diamètre sont les deux paramètres dont le couplage va particulièrement influencer la vitesse d'air, cet indicateur n'explique pas l'ensemble des différences observées. En effet, dans le cas du brasseur B005, l'indicateur « surface balayée par minute » ne permet pas d'expliquer la sous performance de ce modèle que l'on pourrait alors attribuer à un mauvais design du produit.

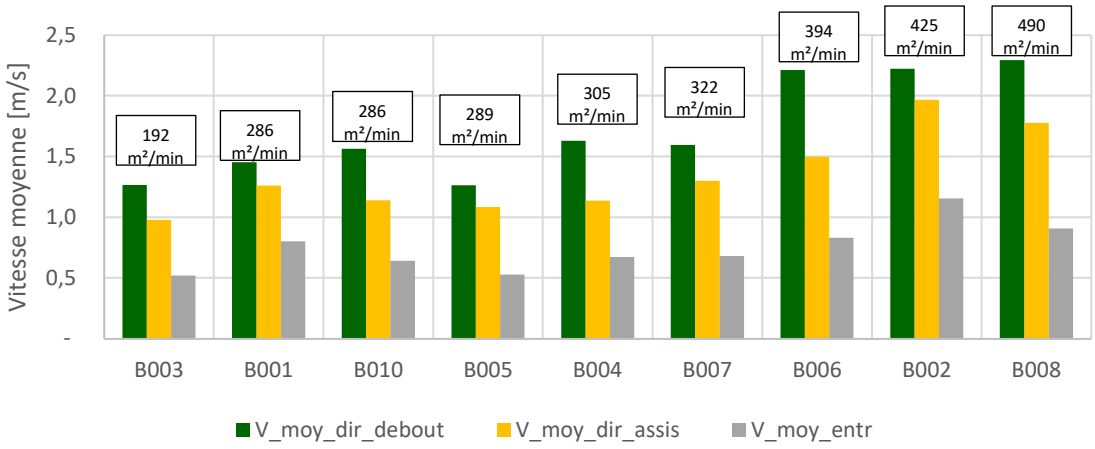


Figure 5 : Vitesses d'air moyennes des 9 brasseurs classées par « surfaces balayées par minute » croissantes

Afin d'étudier la pertinence du débit fourni par le constructeur, la figure 6 présente les vitesses d'air obtenues pour chaque brasseur en les classant selon cet indicateur. On constate que l'indicateur « débit » ne permet pas de rendre compte de la vitesse d'air et donc du potentiel d'amélioration du confort thermique. De plus, seul un constructeur indique le protocole de mesure utilisé pour obtenir le débit présenté. Il est donc possible de se questionner sur la pertinence des valeurs proposées et/ou sur la pertinence de comparer des débits qui pourraient être obtenus avec des protocoles de mesure différents.

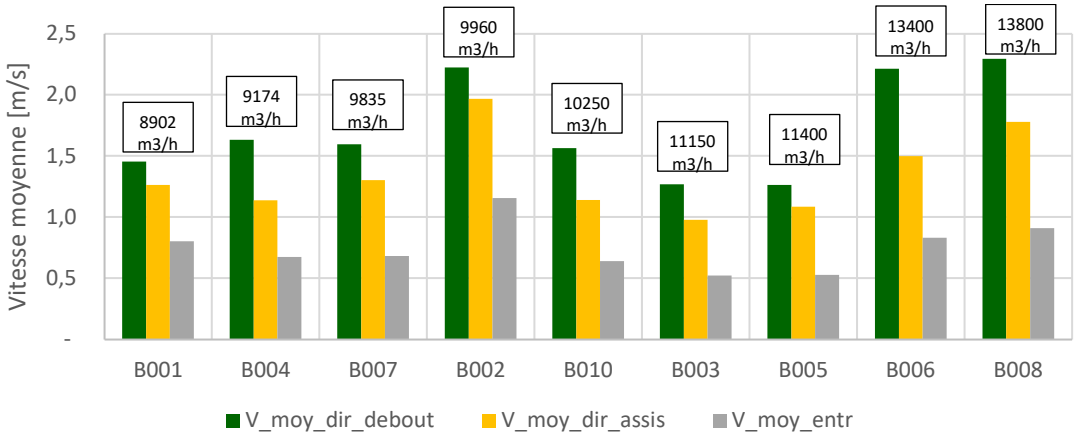


Figure 6 : Vitesses d'air moyennes des 9 brasseurs classées par « débits constructeurs » croissants

En rapportant le « débit constructeur » à la surface du brasseur ($\pi D^2/4$), on peut obtenir un indicateur homogène à une vitesse dite vitesse caractéristique du brasseur [16]. La figure 7 présente les vitesses d'air obtenues pour chaque brasseur en les classant selon cet indicateur. On peut constater que la vitesse caractéristique du brasseur n'est pas non plus un indicateur permettant de rendre compte de la performance du brasseur. Ceci montre que même rapporté à la taille du brasseur, le débit constructeur ne peut pas être vu comme un indicateur pertinent pour traduire le potentiel d'amélioration du confort thermique.

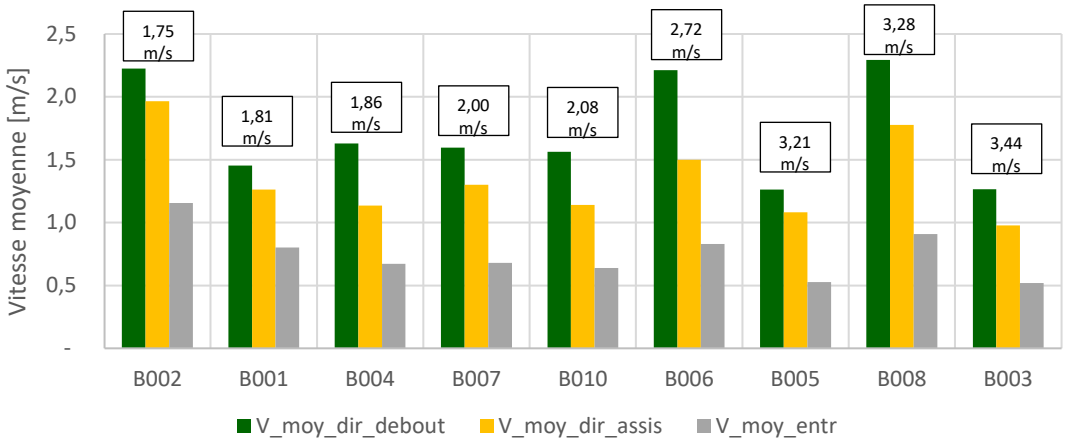


Figure 7 : Vitesses d'air moyennes des 9 brasseurs classées par « vitesses caractéristiques » croissantes

Le tableau 3 résume l'ensemble des résultats obtenus pour chacun des indicateurs en classant les brasseurs en fonction de la vitesse moyenne en zone d'entrainement. On constate en comparant les 3 vitesses moyennes que la hiérarchie est assez bien respectée en passant de l'une à l'autre et que, si interversion il y a, c'est pour des valeurs assez proches l'une de l'autre souvent inférieure à l'incertitude de mesure (0,05 m/s). Par ailleurs, en comparant les vitesses moyennes obtenues aux puissances acoustiques mesurées, on constate que les brasseurs les plus performants sont également les plus bruyants. Toutefois, on peut remarquer qu'à vitesse d'air semblable, il est préférable d'avoir un plus grand brasseur qui tourne moins vite afin de minimiser le bruit.

Brasseur	Diamètre [cm]	Nb. de pales	Débit constructeur maximal [m³/h]		Puissance acoustique [dBA]	Vitesse fonctionnement [tr/min]		V_moy_dir_assis [m/s]		V_moy_dir_debout [m/s]		V_moy_entr [m/s]	
B003	107	6	11150	5	43,9	168	3	0,98	1	1,27	2	0,52	1
B005	112	4	11400	8	46,3	230	8	1,08	2	1,26	1	0,53	2
B010	132	4	10500	6	36,6	164	1	1,14	4	1,56	4	0,64	3
B004	132	5	9174	3	45	175	4	1,14	3	1,63	6	0,67	4
B007	132	3	9835	2	47,5	185	5	1,30	6	1,60	5	0,68	5
B001	132	3	8902	1	41,9	164	2	1,26	5	1,45	3	0,80	6
B006	132	3	13400	7	51,9	226	7	1,50	7	2,21	7	0,83	7
B008	122	3	13800	9	58	329	9	1,78	8	2,29	9	0,91	8
B002	142	3	9960	4	53,6	211	6	1,97	9	2,22	8	1,16	9

Tableau 3 : Vitesses moyennes des brasseurs testés classées par ordre croissant de vitesses d'air en zone d'entrainement – BRASSE 2023

3.3 Effet rafraichissant standard

Le protocole BRASSE définit un effet rafraichissant dans des conditions standardisées [13]. Le Tableau 4 présente l'ensemble de CE ressenti en zone d'entrainement (CE_entr), en zone d'influence directe pour la posture assise (CE_dir_assis) et pour la posture debout (CE_dir_debout). L'effet rafraichissant en zone d'influence directe pour la posture debout varie entre 3,84 °C et 4,55 °C, l'effet rafraichissant en zone d'influence directe pour la posture assise varie entre 3,50 °C et 4,55 °C et l'effet rafraichissant en zone d'entrainement varie de 2,56 °C à 3,73 °C. L'effet rafraichissant étant une fonction de la vitesse, les classements selon l'effet rafraichissant sont les mêmes que ceux obtenus selon les vitesses moyennes et l'ensemble des analyses effectuées dans la partie précédente s'applique à cette partie.

#essai	Débit constructeur maximal [m³/h]		CE_dir_assis [°C]		CE_dir_debout [°C]		CE_entr [°C]	
B003	11150	5	3,50	1	3,84	1	2,56	1
B005	11400	8	3,64	2	3,84	2	2,58	2
B010	10500	6	3,70	4	4,11	4	2,88	3
B004	9174	3	3,70	3	4,16	6	2,96	4
B001	8902	1	3,87	6	4,13	5	2,98	5
B007	9835	2	3,84	5	4,02	3	3,22	6
B006	13400	7	4,05	7	4,51	7	3,27	7
B008	13800	9	4,26	8	4,55	9	3,40	8
B002	9960	4	4,38	9	4,52	8	3,73	9

Tableau 4 : CE standard dans les différentes zones d'observation pour chaque brasseur et classement

3.4 Efficacité des brasseurs d'air

Le protocole BRASSE définit une efficacité des brasseurs d'air dans des conditions standardisées (CFE) [13]. Le Tableau 5 présente l'ensemble des CFE constatés en zone d'entrainement (CFE_entr), en zone d'influence directe pour la posture assise (CFE_dir_assis) et pour la posture debout (CFE_dir_debout) ainsi que les puissances constatées lors des essais et les puissances et débits fournies par les constructeurs. On constate la présence de deux groupes distincts : les brasseurs équipés de moteur AC avec des puissance variant entre 50 et 72 W et les brasseurs équipés de moteur DC avec des puissances variant de 25 à 37,5 W, soit une baisse de l'ordre de 50 % de la puissance absorbée en passant d'un moteur AC à un moteur DC. En règle générale, on trouve une bonne corrélation entre les valeurs fournies par le constructeur et les valeurs mesurées, ce qui peut s'expliquer par la facilité de cette mesure. Il est toutefois possible de constater, pour certains équipements, une différence significative entre les puissances fournies par les constructeurs et les puissances mesurées dans le cadre de BRASSE. Néanmoins, les différences observées ne favorisent pas systématiquement le fabricant.

En zone d'influence en position debout, les CFE varient de 0,053 à 0,076 °C/W pour les moteurs AC et de 0,110 à 0,178 °C/W pour les moteurs DC. En zone d'influence en position en position assise, ils varient de 0,048 à 0,072 °C/W pour les moteurs AC et de 0,099 à 0,167 °C/W pour les moteurs DC. En zone d'entrainement, ils varient de 0,035 à 0,051 °C/W pour les moteurs AC et de 0,077 à 0,133 °C/W pour les moteurs DC. On constate que dans les trois cas les classements sont les mêmes, ce qui permettra de ne choisir qu'un seul des trois CFE pour établir une classification.

#essai	Diamètre (cm)	Type de moteur	Puissance absorbée à vitesse max. – donnée protocole [W]		Puissance absorbée à vitesse max. – donnée constructeur [W]		CFE_dir_assis [°C/W]		CFE_dir_debout [°C/W]		CFE_entr [°C/W]	
B003	107	AC	72,2	1	58	5	0,048	1	0,053	1	0,035	1
B001	132	AC	64,8	2	66	1	0,059	2	0,062	2	0,050	2
B004	132	AC	59,1	3	58	4	0,063	3	0,070	4	0,050	3
B007	132	AC	57,8	4	63,5	2	0,065	4	0,070	3	0,050	4
B005	112	AC	50,8	5	60	3	0,072	5	0,076	5	0,051	5
B010	132	DC	37,5	8	39	6	0,099	6	0,110	6	0,077	6
B006	132	DC	40,2	6	32	9	0,101	7	0,112	7	0,081	7
B002	142	DC	38,5	7	35	8	0,114	8	0,117	8	0,097	8
B008	122	DC	25,5	9	35	7	0,167	9	0,178	9	0,133	9

Tableau 5 : Puissances absorbées à vitesse maximale et CFE standard dans les différentes zones d'observation pour chaque brasseur et classement

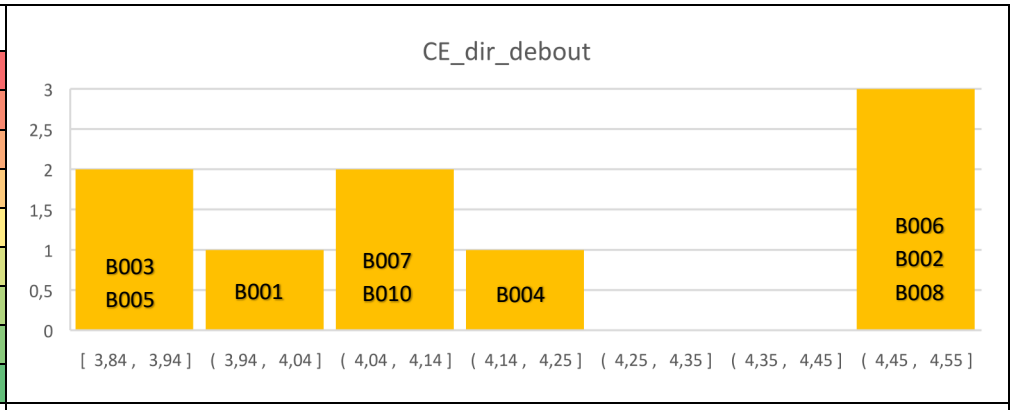
3.5 Analyse croisée des indicateurs de performances

Il est possible de répartir les brasseurs par classes de valeurs obtenues des différents indicateurs de performances. Les tableaux 6, 7 et 8 montrent respectivement ces représentations pour l'effet rafraichissant, l'efficacité du brasseur et la puissance acoustique.

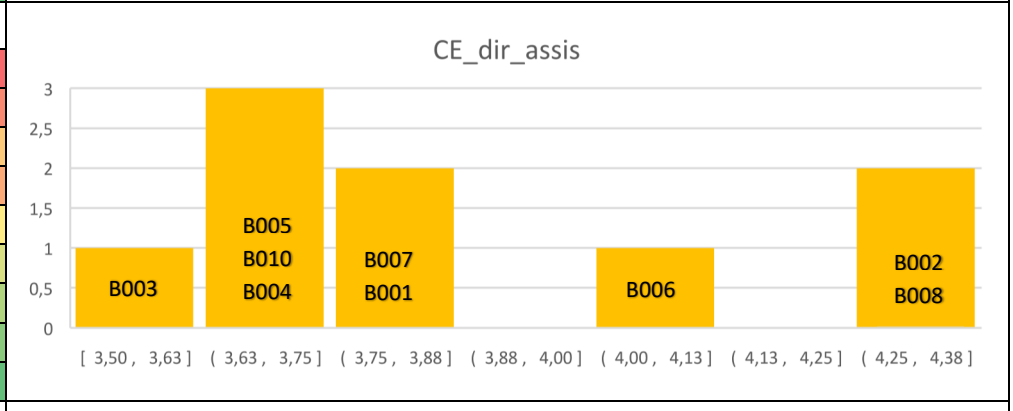
D'après le tableau 6, on peut observer que, dans le cas de l'effet rafraichissant, les classements obtenus par les différents brasseurs ne sont pas cohérents entre les différentes zones et les différentes postures, ce qui empêche en l'état d'utiliser un seul classement pour traduire les trois valeurs. Dans le cas de l'efficacité du brasseur, le tableau 7 montre que les classements obtenus pour les trois valeurs de CFE sont les mêmes, un unique classement pour les trois CFE est donc envisageable. Cependant, lors de la répartition en classe, les brasseurs peuvent basculer vers une classe supérieure ou inférieure à cause des effets de seuil qui sont inévitables lorsque l'on procède à ce type de classification. Pour cet indicateur, on constate à nouveau deux groupes distincts selon le type de moteur (AC ou DC).

En utilisant cette approche pour définir une méthode de classement, les largeurs de classes seront modifiées à chaque nouvel ajout d'un brasseur dans la base de données. Cependant, ces fluctuations diminueront à mesure que l'effectif de brasseur testés augmentera. Pour chacun des trois indicateurs, il sera donc nécessaire d'effectuer des essais sur un panel beaucoup plus élargi de brasseurs pour pouvoir définir des largeurs de classes rendant compte de la réalité du marché.

#essai	CE_dir_debout	
B003	3,84	1
B005	3,84	2
B001	4,02	3
B010	4,11	4
B007	4,13	5,
B004	4,16	6
B006	4,51	7
B002	4,52	8
B008	4,55	9



#essai	CE_dir_assis	
B003	3,50	1
B005	3,64	2
B010	3,70	4
B004	3,70	3
B001	3,84	5
B007	3,87	6
B006	4,05	7
B008	4,26	8
B002	4,38	9



#essai	CE_entr	
B003	2,56	1
B005	2,58	2
B010	2,88	3
B004	2,96	4
B007	2,98	#
B001	3,22	6
B006	3,27	7
B008	3,40	8
B002	3,73	9

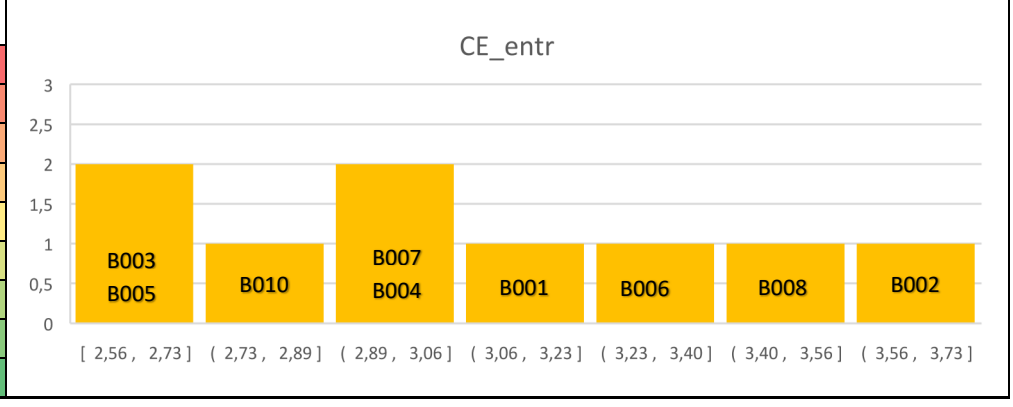
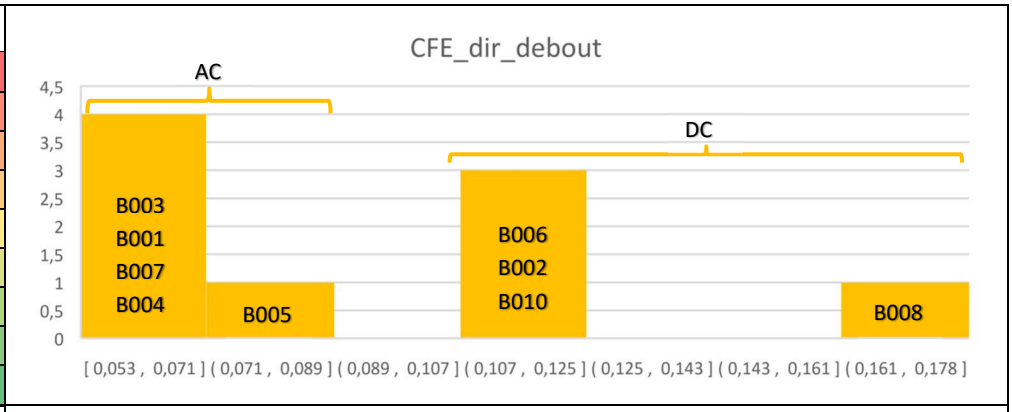
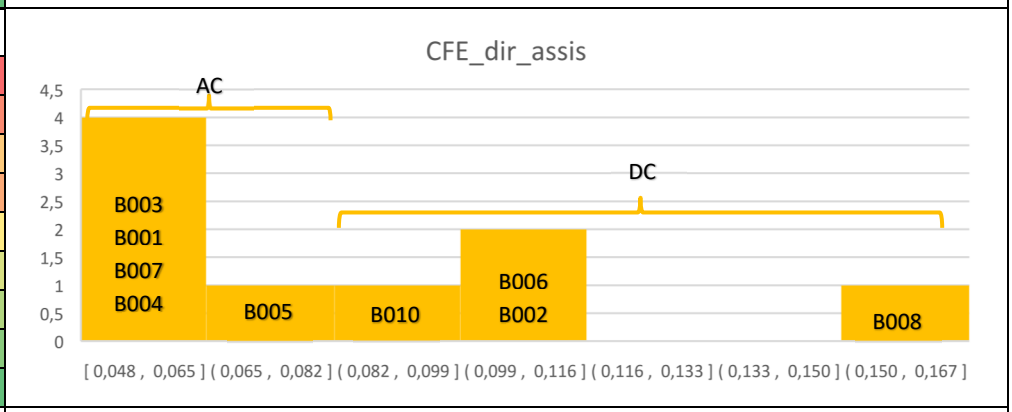


Tableau 6 : Répartition des brasseurs pour les 3 indicateurs d'effet rafraichissant

#essai	CFE_dir_debout	
B003	0,053	1
B001	0,062	2
B007	0,070	3
B004	0,070	4
B005	0,076	5
B010	0,110	6
B006	0,112	7
B002	0,117	8
B008	0,178	9



#essai	CFE_dir_assis	
B003	0,053	1
B001	0,062	2
B007	0,070	3
B004	0,070	4
B005	0,076	5
B010	0,110	6
B006	0,112	7
B002	0,117	8
B008	0,178	9



#essai	CFE_entr	
B003	0,035	1
B001	0,050	2
B004	0,050	3
B007	0,050	4
B005	0,051	5
B010	0,077	6
B006	0,081	7
B002	0,097	8
B008	0,133	9

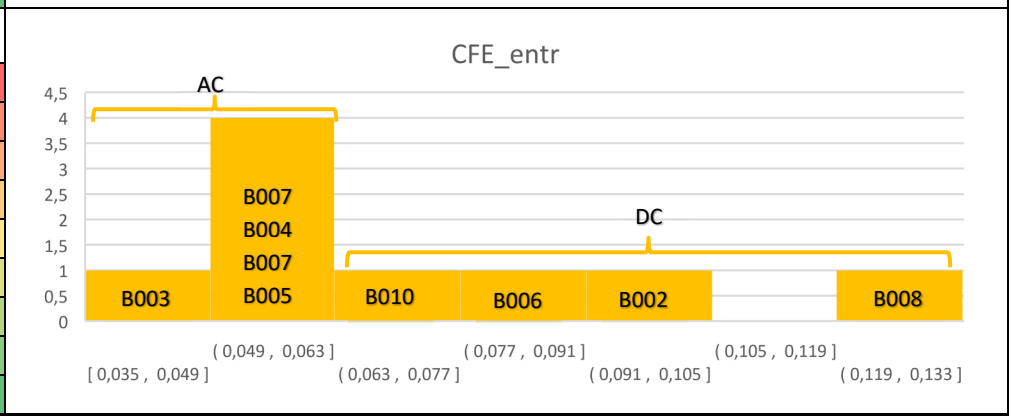


Tableau 7 : Répartition des brasseurs pour les 3 indicateurs d'efficacité du brasseur

#essai	Puissance acoustique (dBA)	
B008	58	1
B002	53,6	2
B006	51,9	3
B007	47,5	4
B005	46,3	5
B004	45	6
B003	43,9	7
B001	41,9	8
B010	36,6	9

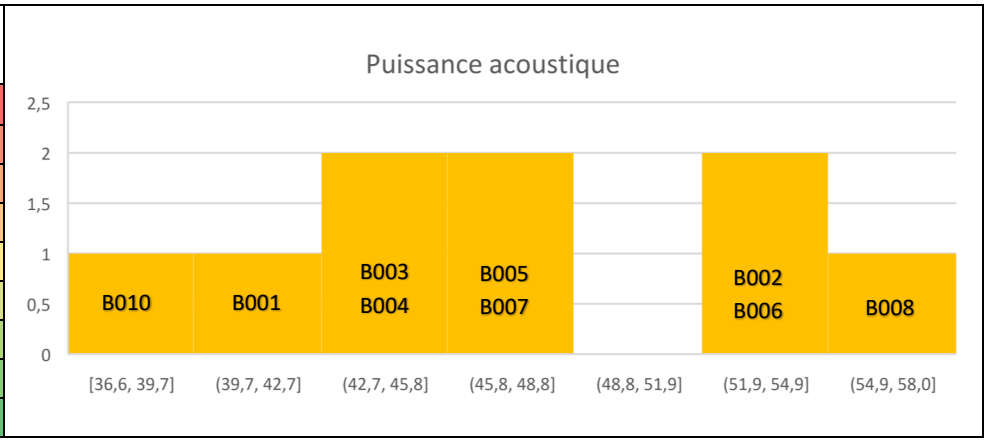


Tableau 8 : Répartition des brasseurs pour les 3 indicateurs d'effet rafraichissant

Le tableau 9 présentent un résumé des indicateurs de performances obtenus pour les différents brasseurs. Nous nous limitons ici à présenter les indicateurs d'effet rafraichissant et d'efficacité énergétique dans la zone d'influence directe en position debout, car la mesure des vitesses d'air liées à ces indicateurs est la moins soumise aux différentes perturbations, étant la plus proche du brasseur.

A nouveau, il est possible de constater que les brasseurs ayant les meilleures performances en termes de confort sont également les plus bruyants. De façon générale, et en accord avec les analyses précédemment établies, il conviendra de choisir le brasseur ayant le diamètre le plus grand possible de façon à minimiser le bruit en maximisant le confort thermique et de privilégier les modèles disposant d'un moteur DC pour réduire la consommation énergétique.

#essai	Effet rafraichissant (dir_debout) [°C]	Efficacité du brasseur (dir_debout) [°C/W]	Puissance acoustique [dBA]
B001	4,02	0,062	41,9
B002	4,52	0,117	53,6
B003	3,84	0,053	43,9
B004	4,16	0,07	45
B005	3,84	0,076	46,3
B006	4,51	0,112	51,9
B007	4,02	0,07	47,5
B008	4,55	0,178	58
B010	4,11	0,11	36,6

Tableau 9 : Résumé des indicateurs de performances et classement des différents brasseurs

4. Conclusion

L'objectif de cette étude était de valider la qualité métrologique du protocole et la pertinence des indicateurs de conception (vitesse d'air) et de performances (effet rafraichissant, efficacité du brasseur et puissance acoustique) par la mise en œuvre du protocole BRASSE V1.0 [14] pour caractériser 9 brasseurs d'air commerciaux. Les mesures de vitesses d'air, de vitesse de rotation, de puissance électrique absorbée et de puissance acoustique ont été réalisés par le laboratoire PIMENT à l'été 2023.

Les mesures de puissance acoustique ont conduit à montrer que la puissance acoustique était directement corrélée à la vitesse de rotation, les brasseurs tournant le plus vite étant les plus bruyants. La comparaison aux données fournies par les constructeurs a permis de mettre en évidence que les données étaient minimisées dans le cas des brasseurs les plus bruyants.

Les mesures de vitesses d'air ont permis de vérifier la qualité métrologique de la méthode d'échantillonnage proposée dans les rapports 3.1 [12] et 3.2 [13]. Cette méthode conduit à des durées d'essai de 3 min dans la très grande majorité des cas, ce qui confirme la faisabilité opérationnelle de ce protocole.

Les résultats des mesures de vitesse d'air ont été traitées selon la procédure de calcul proposée par le protocole BRASSE afin d'obtenir les indicateurs de conception : les vitesses d'air moyennes en zone d'influence directe pour les positions debout et assise, et, la vitesse d'air moyenne en zone d'entrainement. Une étude de l'influence des paramètres opératifs (diamètre, vitesse de rotation, nombre de pales, distance de montage) sur les vitesses d'air a été réalisée. Il a été observé que le diamètre et la vitesse de rotation sont les deux paramètres prépondérants et un indicateur couplant leur effet a été proposé : la « surface balayée par minute ». Bien que présentant une bonne corrélation avec la vitesse d'air, cet indicateur ne suffit à prédire parfaitement les vitesses d'air générées par le brasseur. Par ailleurs, les vitesses moyennes obtenues ont été mises en rapport avec les débits fournis par les constructeurs sans montrer aucune corrélation, même lorsqu'ils étaient rapportés au diamètre du brasseur pour exprimer la vitesse caractéristique du brasseur. Ces résultats démontrent donc que seule la détermination de ces vitesses permet d'aboutir à une évaluation du potentiel d'amélioration du confort thermique.

Les effets rafraichissants (CE) en zone d'influence directe pour les positions debout et assise, et en zone d'entrainement ont été calculées à partir des vitesses d'air moyennes évoquées précédemment et toutes les observations réalisées sur les vitesses d'air peuvent être réitérées pour les effets rafraichissants.

Les mesures de puissance électrique absorbée ont permis de mettre en évidence deux groupes distincts de brasseurs en termes de performances énergétiques : les brasseurs équipés de moteur AC et les brasseurs équipés de moteur DC. Le passage d'un moteur AC à un moteur DC permet de réduire la consommation énergétique de l'ordre de 50 %. Ces mesures ont permis d'aboutir à l'indicateur d'efficacité du brasseur (CFE). En toute logique, ce sont les brasseurs équipés de moteur DC qui présentent les meilleures performances.

L'analyse croisée de ces trois indicateurs de performances permet de définir, qu'en règle générale, il conviendra de choisir le brasseur ayant le diamètre le plus grand possible de façon à minimiser le bruit en maximisant le confort thermique et de privilégier les modèles disposant d'un moteur DC pour réduire la consommation énergétique.

L'analyse des échantillons disponibles et testés permet d'esquisser des classements. Il semble réaliste d'imaginer à termes que ces classements puissent servir de base à une étiquette produit comme il en existe pour l'électro-ménager. Mais l'évaluation d'un nombre important de brasseurs d'air sera nécessaire afin de proposer des valeurs de largeurs de classes et de répartitions qui permettront de représenter au mieux les performances des produits. Il y aura également des choix à faire entre les indicateurs représentés sur l'étiquette produit nécessairement en petit nombre et l'ensemble des indicateurs à intégrer à la fiche produit pour informer correctement les prescripteurs

Références

[1] Santamouris M. (2016) Cooling the buildings – past, present and future, *Energy and Buildings*, vol. 128, p. 617-638

[2] Santamouris M., Cartalis C., Synnefa A. (2015) On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review, *Energy and Buildings*, vol. 98, p. 119-124

[3] Bamdad K., Cholette M. E., Omrani S., Bell J. (2021) Future energy-optimised buildings — Addressing the impact of climate change on buildings, *Energy and Buildings*, vol. 231, p. 110610

[4] Bamdad K., Cholette M. E., Guan L. (2017) Ant colony algorithm for building energy optimisation problems and comparison with benchmark algorithms, *Energy and Buildings*, vol. 154, p. 404-414

[5] Bamdad K., Cholette M. E., Guan L. (2018) Building energy optimisation under uncertainty using ACOMV algorithm, *Energy and Buildings*, vol. 167, p. 322-333

[6] Yang B., Wang F. (2018) Supplementary opinions on alternative cooling technologies in hot climate, *International Journal of Biometeorology*, vol. 62, p. 1927-1928

[7] Sadripour S., Mollamahdi M., Sheikhzadeh G. A. (2017) Providing thermal comfort and saving energy inside the buildings using a ceiling fan in heating systems, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 39, p. 4219-4230

[8] Mihara K., Sekhar C., Takemasa Y. (2019) Thermal comfort and energy performance of a dedicated outdoor air system with ceiling fans in hot and humid climate, *Energy and Buildings*, vol. 203, p. 109-118

[9] He Y., Chen W., Wang Z., Zhang H. (2019) Review of fan-use rates in field studies and their effects on thermal comfort, energy conservation, and human productivity, *Energy and Buildings*, vol. 194, p. 140-162

[10] Litvine D., De Laage R., Hoarau S. (2022) Analyse de l'acceptabilité et des conditions de déploiement des brasseurs d'air : Une étude qualitative de l'offre et de la demande. Tache 4 du Projet BRASSE – Pour le compte de l'ADEME

[11] LE BERIGOT T, BOEUF F, OSSAKOWSKY P, DAVID M, GARDE F, LITVINE D, DE LAAGE R, VASQUEZ C (2021) Rapport d'avancement du projet BRASSE : Étude des performances, de l'impact sur le confort et de l'acceptabilité des brasseurs d'air en réponse aux changements climatiques.

[12] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., DAVID M., BLANCHARD B., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers - Analyse des protocoles de mesures de vitesse d'air - Projet BRASSE

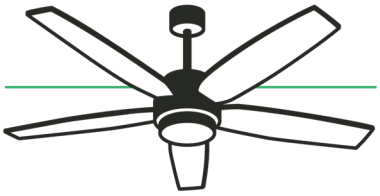
[13] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., DAVID M., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers - Indicateurs de performance des brasseurs - Projet BRASSE

[14] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., DAVID M., 2023. BRASSE_Protocole_mesure_2023_0_1 – Projet BRASSE

[15] LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BŒUF F., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers – Retour d'expérience : mesure in-situ - Projet BRASSE

[16] Raftery P, Fizer J, Chen W, He Y, Zhang H, Arens E, Schiavon S, Paliaga G (2019), Ceiling fans: Predicting indoor air speeds based on full scale laboratory measurements, *Building and Environment*, vol. 155, pp. 210-223.

[17] OSSAKOWSKY P., 2023. Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort acoustique des usagers, Projet BRASSE



BRASSE

BRASSEUR D'AIR :
UNE SOLUTION
DE SOBRIÉTÉ
ET D'EFFICACITÉ

Stratégie et règles de calepinage pour une conception optimale avec des brasseurs d'air plafonniers

V1.0 - Octobre 2023

Ces règles ont été développées dans le cadre du projet de recherche BRASSE : Brasseur d'air, une solution de sobriété et d'efficacité. Ce projet a été lauréat de l'appel à projet recherche « BATResp 2020 » de l'ADEME.

L'ensemble des justifications des différents points développés dans cette méthode est détaillé dans les rapports de recherche disponibles notamment sur la librairie en ligne de l'ADEME.

BRASSE et les membres de son consortium n'ont aucun intérêt économique sur le marché des brasseurs d'air. Aucun conflit d'intérêt ne perturbe la sincérité de l'ensemble des membres de BRASSE.

Ces règles ont été établies dans l'intérêt du public à la lumière des résultats du projet BRASSE, de l'information disponible et des pratiques acceptées de l'industrie et la recherche. Toutefois, BRASSE ne garantit pas, ne certifie pas et n'assure pas la sécurité ou la performance des produits, composants ou systèmes testés, installés ou exploités conformément à la présente méthodologie.

Ces règles ont été développées par :

- Pierre-Erwan LE MAREC, ingénieur de recherche en thermique et dynamique des fluides, Surya Consultants
- Tangi LE BERIGOT, ingénieur de recherche et d'étude en confort thermique des bâtiments, Surya Consultants
- Frédéric BŒUF, ingénieur d'étude en confort thermique des bâtiments, Surya Consultants

Toute utilisation de ce document est autorisée Toute utilisation à des fins commerciales de ce document est proscrite Aucune modification de ce protocole est autorisée.	CC BY NC ND

1. Préalables

Les règles de calepinage BRASSE ont pour ambition d'aider à atteindre une conception optimale avec des brasseurs d'air plafonniers à pales. Leur objectif est de valoriser les brasseurs d'air à leur plein potentiel, et de maximiser la vitesse d'air induite dans l'ensemble d'un local. Si toutefois il s'avérait nécessaire, pour quelque raison que ce soit, d'adapter ces orientations, la vitesse d'air induite par le brasseur d'air serait alors réduite et le plein potentiel de rafraichissement du brasseur ne serait pas atteint, baissant ainsi son efficacité. En revanche, même non optimisé, un brasseur d'air fournira toujours une vitesse d'air pouvant, dans certains cas, satisfaire le confort des usagers.

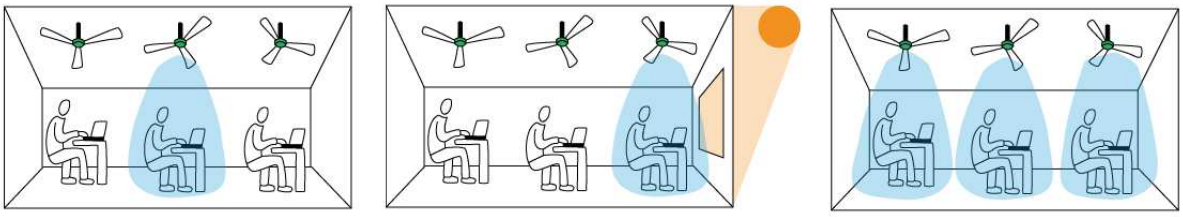
Nous attirons également l'attention du concepteur sur le fait que maximiser la vitesse d'air dans un local ne suffit pas pour permettre à l'usager d'être en situation de confort. La vitesse d'air est une composante intervenant dans la sensation de confort de l'usager. La température de l'air, l'humidité relative, la température moyenne de rayonnement, le métabolisme d'activité et la vêture sont autant d'autres paramètres qui doivent être pris en compte pour une bonne évaluation du confort. Nous conseillons aux concepteurs de considérer également ces paramètres pour s'assurer de la bonne conception de leurs espaces équipés de brasseurs d'air.

Et enfin, il est rappelé au concepteur que d'autres contraintes peuvent devoir être prises en compte comme celles liées aux équipements d'éclairage, au type de commande pour les brasseurs d'air, à l'installation électrique, aux systèmes de sécurité incendie et aux systèmes et équipements de chauffage, de ventilation et de climatisation. L'impact de ces éléments sur la conception avec des brasseurs d'air doit être évalués et considérés par le concepteur et le cas échéant ce dernier devra adapter les règles BRASSE aux contraintes susnommées. Les recommandations liées à ces contraintes ne font pas partie du présent document. En revanche, si la synthèse nécessite de remettre en question le diamètre du ou des brasseurs préconisés, leur nombre ou bien leurs placements, il sera nécessaire que le concepteur réalise un nouveau calepinage en contraignant les choix possibles en fonction.

2. La stratégie de calepinage : A-t-on besoin d'une vitesse d'air uniforme sur l'ensemble de la pièce ?

Pour chaque opération et pour chaque local, le concepteur doit se questionner sur la stratégie de calepinage des brasseurs d'air et répondre en premier lieu à la question suivante : « Le brasseur d'air a-t-il pour objectif de rafraichir de façon homogène et simultanément l'ensemble de la pièce ? » Dans l'affirmative, on dira que l'on cherche l'**uniformité**[1] du champ de vitesses d'air. Et par opposition, dans l'affirmative de la question suivante « le rafraichissement indépendant d'une ou plusieurs parties de la pièce est-il préférable ? », on dira que l'on recherche la **variabilité** du champ de vitesses d'air.

Pour répondre à ces deux questions, l'usage de la pièce doit être identifié. Si sur un même espace, l'usage veut que chaque usager puisse agir sur son confort (cas par exemple d'un open-space – 'image a' de la figure 1) ou que des contraintes externes imposent des besoins spécifiques sur certaines zones et pas ailleurs (cas par exemple de la zone proche d'une paroi vitrée – 'image b' de la figure 1), alors dans ces cas de figure, le concepteur ne devra pas nécessairement rechercher l'uniformité. En revanche, s'il est nécessaire que l'ensemble des usagers puissent être favorablement impacté par les brasseurs d'air ou que l'usage n'est pas encore suffisamment défini ou peut évoluer, ou encore que l'usager n'ait pas la possibilité d'agir sur les équipements (hall de gare ou d'aérogare par exemple), alors il est nécessaire de rechercher l'uniformité afin que l'ensemble des usagers reçoivent une vitesse d'air la plus uniforme possible quel que soit l'endroit où il se situe dans le local.



a) Contrôle individuel *b) Présence d'un contrainte externe* *c) Besoin d'uniformité*

Figure 1 : Illustrations de configuration d'usages [Images BRASSE, inspirées du Ceiling Fan Design Guide, Paul Raftery and David Douglass-Jaimes, 2010]

Dans le cas de la recherche de l'uniformité, les règles présentées ci-après vous permettrons d'obtenir une configuration optimale, c'est-à-dire une configuration pour laquelle la vitesse d'air sur l'ensemble de la pièce a été maximisée.

Dans le cas où il n'y a pas la recherche de l'uniformité, la conception consistera à choisir le brasseur permettant d'obtenir la vitesse d'air jugée pertinente (a priori maximale) à l'endroit souhaité. Pour cela, il sera nécessaire de se baser sur les critères de performance permettant de comparer l'impact d'un brasseur sur le confort présentés au paragraphe 4 de ce présent document.

[1] Attention : rechercher une vitesse d'air identique sur l'ensemble n'est pas possible en raison de la physique des phénomènes. Il est donc bien question ici de recherche de l'uniformité, c'est-à-dire une vitesse d'air la plus uniforme possible sur l'ensemble de l'espace.

3. Le calepinage BRASSE

3.1. Les règles à respecter

Afin d'avoir une conception optimale et l'uniformité du confort sur l'ensemble de l'espace, le calepinage du ou des brasseurs d'air doit répondre aux règles suivantes :

1. **Diamètre :** le diamètre du brasseur doit être le plus grand possible. Il s'agit du **premier paramètre d'aide à la décision** (critère de choix) **: Plus le brasseur sera grand, plus il sera efficace (confort thermique, acoustique et consommation énergétique).**

2. **Symétrie :** La configuration doit être le plus symétrique possible, c'est-à-dire que **le brasseur doit être positionné au centre de la pièce** (ou de chacune des cellules obtenues après découpage de la pièce, voir règle n°3).

3. **Découpage en plusieurs cellules :** Si nécessaire, et sous réserve d'avoir des dimensions suffisantes, la pièce peut être découpée en plusieurs cellules de mêmes dimensions ayant un **facteur de forme** (FF = longueur/largeur) inférieur à celui de la pièce d'origine et se rapprochant au maximum de 1 (cellule carrée pour encore plus de symétrie). Le facteur de forme sera donc un deuxième **paramètre d'aide à la décision** : **plus le facteur de forme de la pièce ou des cellules sera proche de 1, plus le champ de vitesses sera uniforme.**

   Toutefois, il serait contre-productif de découper excessivement la pièce dans l'unique but de réduire le facteur de forme. En effet, cela conduirait à trop réduire la surface de cellule et, par la suite, le diamètre du brasseur, ce qui contreviendrait à la règle n°1.

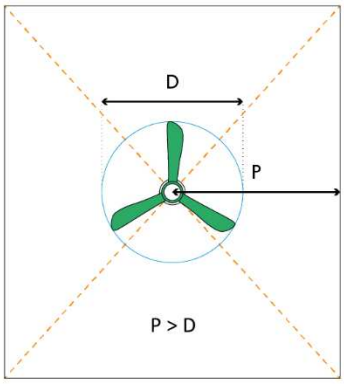
4. **Facteur de couverture de la cellule :** Le facteur de couverture de la cellule FCC est un paramètre permettant de **s'assurer que la taille du brasseur n'est ni trop petite ni trop grande par rapport à la taille de la cellule**. En effet, un brasseur trop grand pourrait être « étouffé » par la proximité des parois et, de surcroit, il empêcherait de positionner les autres éléments du plafond comme les systèmes d'éclairage, de sécurité incendie, etc. A l'opposé, un brasseur trop petit conduirait à des vitesses d'air trop faibles, voire imperceptibles, en dehors de la zone située directement sous le brasseur et limiterait ainsi très fortement son champ d'action. **Ce facteur doit donc être compris entre 0,2 et 0,4** et est donné par l'expression :

$$FCC = \frac{Diamètre}{\sqrt{Surface\ de\ cellule}}$$

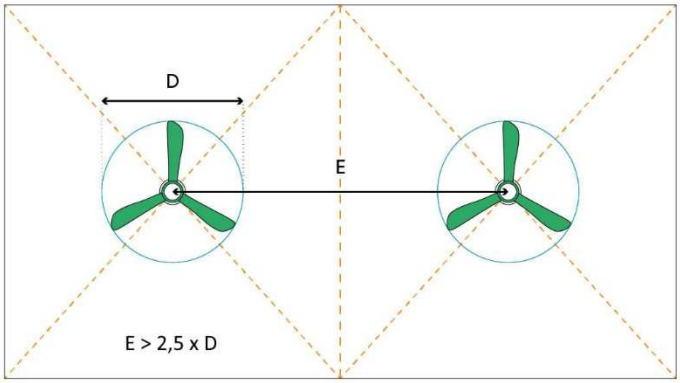
   S'ajoutant au facteur de forme, il s'agit du troisième **paramètre d'aide à la décision** qui va cette fois permettre de maximiser la vitesse d'air moyenne dans la cellule : **plus le facteur de couverture de cellule sera proche de 0,4, plus la vitesse sera élevée.**

   Un **facteur de couverture de cellule inférieur à 0,2 obligera le concepteur à redécouper la pièce** avec un nombre de cellules plus important.

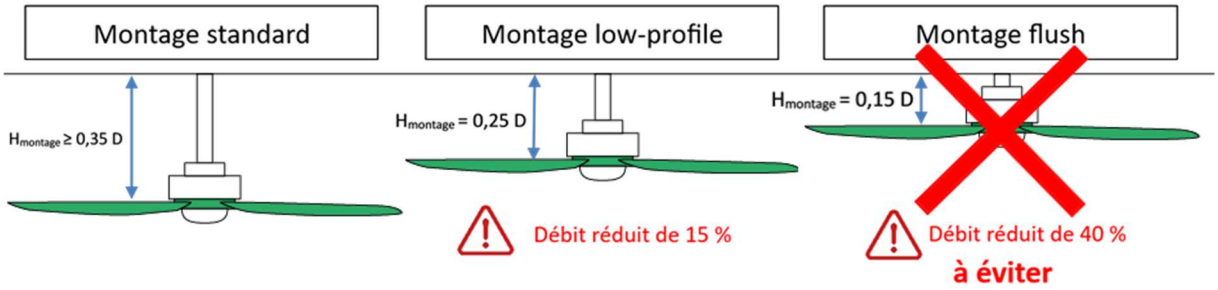
5. **Distance aux murs :** **La distance entre le centre du brasseur et les murs doit être supérieure au diamètre du brasseur** afin de permettre un écoulement optimum de l'air dans la pièce. **Il s'agit du quatrième paramètre**.



6. **Distance inter-brasseurs :** Dans le cas d'un découpage en plusieurs cellules, la présence de plusieurs brasseurs va générer des zones de courant d'air ascendant turbulent entre les brasseurs. Afin de permettre un écoulement optimum dans ces zones, le **cinquième paramètre** qu'est **la distance entre le centre de deux brasseurs adjacents doit être supérieure à 2,5 fois le diamètre du brasseur**.



7. **Distance de montage :** La distance entre le plan de rotation des pales et le plafond est nommée distance de montage (notée $H_{montage}$). Celle-ci doit être **supérieure à 0,35 fois le diamètre pour permettre un écoulement d'air optimum**, on parlera alors de **montage standard**. Toutefois, la hauteur sous pales exigée et la hauteur sous plafond disponible ne permettant pas toujours de respecter une telle distance, il est possible de **réduire la distance de montage jusqu'à 0,25 fois le diamètre. Ceci a par conséquence de réduire la vitesse d'air de l'ordre de 15 %**. On parle alors de **montage « low-profile »**. Certains fabricants de brasseurs proposent également des solutions permettant de réduire la distance de montage à 0,15 fois le diamètre, on parle de montage « flush ». Ce type de montage réduit les performances du brasseur de plus de 40 % et doit être évité au maximum.



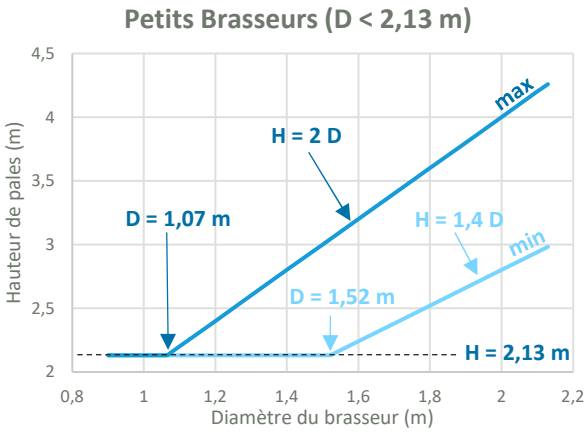
ATTENTION : Tout équipement doit mis en œuvre conformément aux dispositions prévues par le fabricant de l'équipement. Dans le cas où la distance de montage doit être différentes de celles par défaut prévue par le fabricant, il est nécessaire de se rapproche de ce dernier afin d'obtenir, si cela est disponible, une tige de taille différente permettant d'obtenir une distance de montage adaptée au besoin. En aucun cas, la tige peut être modifiée par un tiers.

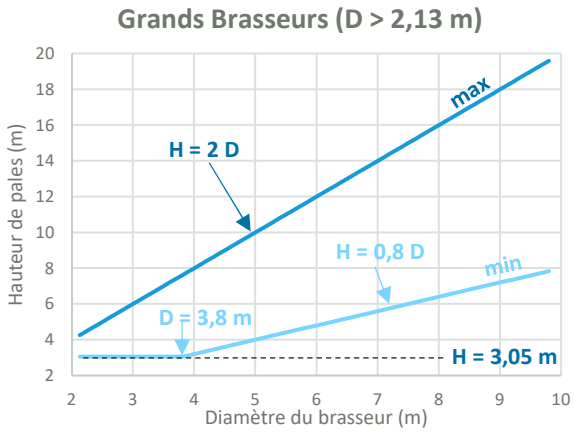
8. **Hauteurs de pales :** Il est important de positionner le brasseur à une hauteur permettant son bon fonctionnement mais également à une hauteur sécurisante pour les usagers :

   - Les **brasseurs de petites tailles (D < 2,13 m)** doivent être positionnés **au-dessus de 2,13 m** pour assurer la sécurité des usagers. Afin d'éviter la sensation de gêne et d'« écrasement » que procure des appareils de plus en plus grand, il est également recommandé de les positionner à une **hauteur supérieure à 1,4 fois le diamètre**. Par ailleurs, afin d'assurer une vitesse d'air optimale aux usagers, ils doivent être positionnés à une **hauteur inférieure à 2 fois le diamètre**.

   - Les **brasseurs de grandes tailles (D > 2,13m)** doivent être positionnés **au-dessus de 3,05 m** pour la sécurité des usagers. Par ailleurs, afin d'assurer un écoulement d'air optimum, ils doivent être placés à des **hauteurs comprises entre 0,8 et 2 fois le diamètre.**

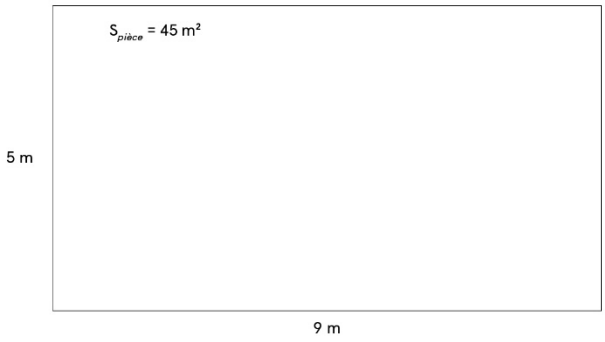
Les courbes suivantes résument l'ensemble des conditions sur les hauteurs de pales :



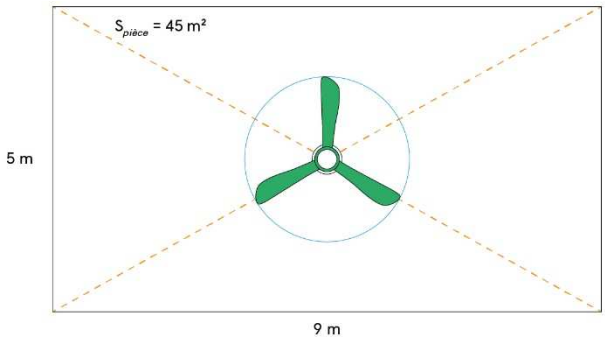


3.2. La procédure à suivre

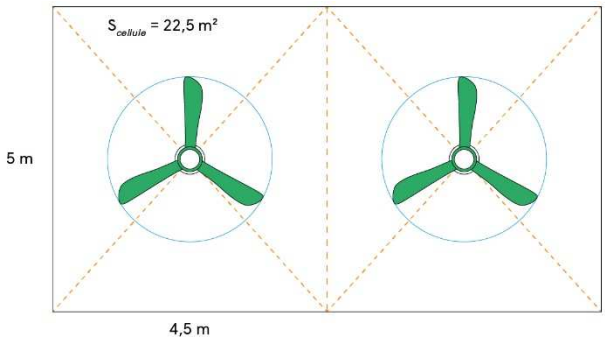
Afin d'illustrer la procédure à suivre pour tenir compte de l'ensemble de ces règles, prenons un exemple concret :



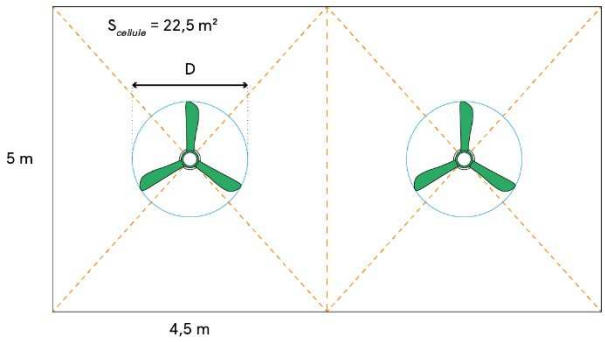
- Considérons une pièce de 5 mètres de largeur et 9 mètres de longueur, soit une surface de 45m².
  Nous considérons dans un premier temps que la hauteur sous plafond (Hsp) n'est pas une contrainte.



- **La configuration doit être le plus symétrique possible (brasseur centré).**
  Les règles de calepinage indiquent que la configuration doit être le plus symétrique possible. Nous prédisposons donc le brasseur au centre de cette pièce.



- **Pour valider un découpage en plusieurs cellules, le facteur de forme de la cellule FF doit diminuer pour se rapprocher de 1.**
  Le facteur de forme initial de cette pièce vaut 1,8 (=9/5).
  Il est donc nécessaire de diviser la pièce en au moins deux cellules égales. Dans ce cas de figure, une seule division suffit puisque le facteur de forme de chaque cellule vaudra 1.11 (=5/4.5) lorsqu'on divise la pièce en deux.

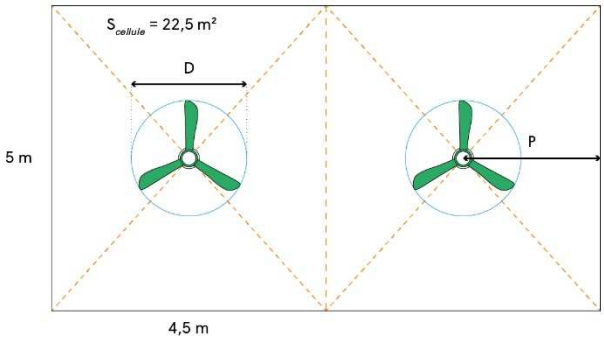


- **Le facteur de couverture de la cellule doit être compris en 0,2 et 0,4.**
  Dans notre configuration, le diamètre doit par conséquent être compris entre :

$$0{,}2\sqrt{5\,.\,4{,}5} < D < 0{,}4\sqrt{5\,.\,4{,}5}$$

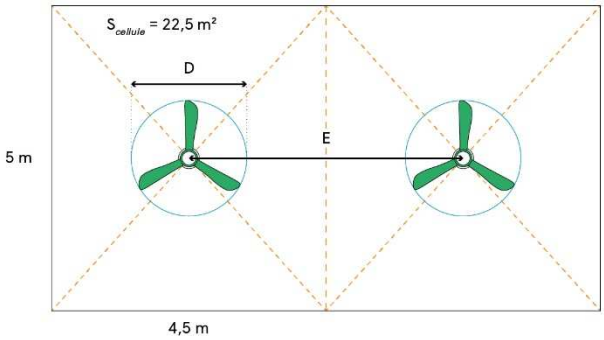
  Nous cherchons à maximiser la taille du brasseur (règle n°1), nous retiendrons donc que selon ce critère :

$$D_{max} = 0{,}4\sqrt{5\,.\,4{,}5} = 1{,}90\ m$$



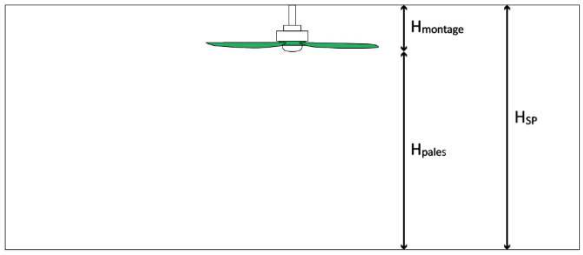
- **La distance entre le centre du brasseur et les murs (noté P ci-contre) doit être supérieure à 1 fois le diamètre du brasseur.**
Ce critère est d'ores et déjà respecté puisque :

$$P = 2{,}25\ m > 1{,}90\ m$$



- **La distance entre le centre de deux brasseurs adjacents (noté E ci-contre) doit être supérieure à 2,5 fois le diamètre du brasseur.**
Le diamètre maximum sera alors :

$$D_{max} = \frac{E}{2{,}5} = \frac{4{,}5}{2{,}5} = 1{,}80\ m$$



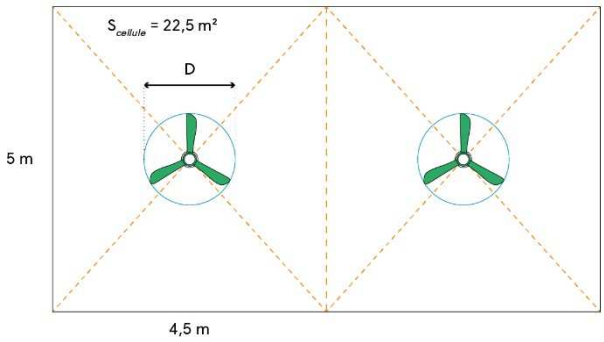
- **La distance de montage (plafond-pales / noté $H_{montage}$ ci-contre)** doit être **supérieure à 0,35 fois le diamètre pour être dans le cas d'un montage standard**. Il est possible de la **réduire jusqu'à 0,25 fois le diamètre en réduisant la vitesse d'air de l'ordre de 15 %** dans un configuration dit de **montage « low-profile »**.
Par conséquent :

$$H_{montage-low\ profile} = 0{,}25\ .\ 1{,}8 = 45\ cm$$

$$H_{montage-standard} > 0{,}35\ .\ 1{,}8 = 63\ cm$$

Les brasseurs choisis devront avoir une distance au plafond supérieure à 63 cm pour être en condition standard et jamais inférieure à 45 cm.

- **Or, la hauteur des pales (noté H_{pales} ci-contre) doit être supérieure à 2,13 m (D < 2,13 m) ou à 3 m (D > 2,13 m).**
Par conséquent, la hauteur sous plafond (notée H_{SP}) ne doit pas être inférieure à 2,58 m et doit être supérieur à 2,76 m dans le cas standard.



Si la hauteur sous plafond est insuffisante, il faudra réduire le diamètre du brasseur pour satisfaire ce critère. Par exemple, considérons maintenant une hauteur sous plafond de 2,50 m. Dans ce cas de figure, il faudra un diamètre maximum de :

$D_{max} = \frac{HSP-2{,}13}{0{,}25} = 1{,}48\,m$ pour un montage low-profile

$D_{max} = \frac{HSP-2{,}13}{0{,}35} = 1{,}06\,m$ pour un montage standard

Or le facteur de couverture de la cellule doit donc être compris entre 0,2 et 0,4. Ici :

$$FCC_{low\ profile} = 0{,}31$$
$$FCC_{standard} = 0{,}22$$

Dans la configuration standard, le FFC est correct mais faible. Il serait pertinent de tenter de l'augmenter pour être dans une situation plus favorable. Pour cela, il est nécessaire de prévoir un découpage en 4 cellules. Chaque cellule aura alors un facture de forme de 1,8 et le diamètre maximal envisageable est de 92 cm.

En considérant, l'étude réalisée sur cette exemple et l'analyse multi critère des paramètres d'aide à la décision qui conduit à privilégier la solution de plus grand diamètre (règle n°1), le diamètre du brasseur doit donc, dans cet exemple, être proche mais inférieur à 1,48 m et ce malgré le montage low-profile que cela implique. En considérant l'offre du marché actuel, cela équivaut à rechercher un brasseur d'air de 142 cm avec une distance de montage minimale de 26 cm.

4. Et après ? Comment choisir un brasseur d'air performant ?

L'ensemble de ces règles permettent aux concepteurs de connaître le nombre de brasseurs à prévoir, leurs emplacements, leur diamètre maximal et la distance du montage à respecter pour optimiser son installation.

A partir des données géométriques obtenues, et liées au brasseur, le choix de l'équipement doit être réalisé. Pour cela, il est nécessaire de se baser sur des critères fiables. La présente partie décrit les indicateurs permettant de comparer de manière fiable l'impact sur le confort de plusieurs brasseurs.

Trois paramètres permettent de caractériser la performance des brasseurs d'air au sens de l'impact sur le confort des usagers :

- **L'effet de rafraichissement** du brasseur dans les conditions standards, $CE_{standard}$, est déterminé par un essai en laboratoire suivant le protocole de caractérisation des brasseurs BRASSE dans sa dernière version à jour et en utilisant les conditions suivantes :
  - Température de l'air = 28 °C,
  - Humidité Relative = 60 %,
  - Métabolisme d'activité = 1,1 met (pour la posture assise) et 1,4 met (pour la posture debout)
  - Vêture = 0,5 clo
  - Température moyenne radiative = 28°C

  Il est calculé en utilisant la vitesse moyenne en zone d'influence par entrainement, obtenus à la vitesse de rotation maximale.

- **L'efficacité d'un brasseur**, $CFE_{standard}$ est calculée comme le rapport entre l'effet rafraichissant standard et la puissance absorbée par le brasseur, Pf :

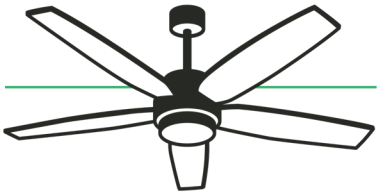
$$CFE = \frac{CE_{standard}}{P_f}$$

  La puissance absorbée est déterminée suivant le protocole de caractérisation des brasseurs BRASSE dans sa dernière version à jour à la vitesse de rotation maximale.

- **La puissance acoustique**, L_{wA}, [en dB(A)] permet de comparer le niveau sonore de plusieurs sources sonores indépendamment des conditions de mesures. La puissance acoustique est déterminée suivant le protocole de caractérisation des brasseurs BRASSE dans sa dernière version à jour à la vitesse de rotation maximale.

Afin d'évaluer l'impact sur le confort des brasseurs d'air des indicateurs supplémentaires sont nécessaires : **les vitesses d'air pour différentes postures et dans les différentes zones d'influence et le niveau de pression acoustique**. Ces indicateurs sont également obtenus par le protocole de caractérisation des brasseurs BRASSE dans sa dernière version à jour.

Pour plus d'information sur ces indicateurs, le lecteur par se référer aux rapports *nommés 'Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort thermique des usagers - Indicateurs de performance des brasseurs - Projet BRASSE'* de LE MAREC P.E., LE BERIGOT T., BOEUF F., DAVID M. (2023) et *'Evaluation de l'impact des brasseurs d'air sur le confort acoustique des usagers, projet BRASSE'* de OSSAKOWSKY P. (2023).



BRASSE

BRASSEUR D'AIR :
UNE SOLUTION
DE SOBRIÉTÉ
ET D'EFFICACITÉ

Méthode d'essais pour la détermination de l'impact des brasseurs d'air plafonniers sur le confort des usagers

BRASSE_2023_1.0
Octobre 2023

Ce protocole a été développé dans le cadre du projet de recherche BRASSE : Brasseur d'air, une solution de sobriété et d'efficacité. Ce projet a été lauréat de l'appel à projet recherche « BATResp 2020 » de l'ADEME.

L'ensemble des justifications des différents points développés dans cette méthode est détaillé dans les rapports de recherche disponibles notamment sur la librairie en ligne de l'ADEME.

La conformité à la présente méthode est volontaire jusqu'à ce qu'une juridiction légale rende la conformité obligatoire par voie législative.

BRASSE et les membres de son consortium n'ont aucun intérêt économique sur le marché des brasseurs d'air. Aucun conflit d'intérêt ne perturbe la sincérité de l'ensemble des membres de BRASSE.

Ce protocole est fait dans l'intérêt du public à la lumière des résultats du projet BRASSE, de l'information disponible et des pratiques acceptées de l'industrie et la recherche. Toutefois, BRASSE ne garantit pas, ne certifie pas et n'assure pas la sécurité ou la performance des produits, composants ou systèmes testés, installés ou exploités conformément à la présente méthodologie ou que tout essai effectué en vertu de cette méthode sera sans danger ou sans risque.

Ce protocole a été développé par :

- Pierre-Erwan LE MAREC, ingénieur de recherche en thermique et dynamique des fluides, Surya Consultants
- Tangi LE BERIGOT, ingénieur de recherche et d'étude en confort thermique des bâtiments, Surya Consultants
- Frédéric BŒUF, ingénieur d'étude en confort thermique des bâtiments, Surya Consultants
- Mathieu DAVID, ingénieur de recherche en thermique, Laboratoire PIMENT, Université de la Réunion

Toute utilisation de ce protocole est autorisée (y compris à des fins commerciales). Aucune modification de ce protocole est autorisée.	CC BY ND

Table des matières

1. Objet 4
2. Portée 4
3. Définitions 4
4. Symboles et unités 5
5. Instrumentation 6
6. Conditions d'essai et procédures 6
6.1. Conditions d'essai 6
6.2. Protocole d'essai 6
7. Mesures de vitesse d'air 7
7.1. Chambre de mesure 7
7.2. Mesure de vitesse d'air 7
7.3. Echantillonnage de la mesure de vitesse d'air 8
8. Calculs 8
8.1. Calculs des valeurs moyennes des grandeurs mesurées 8
8.2. Pondération des hauteurs de mesures de vitesses à chaque position de mesure 8
8.3. Détermination du rayon d'influence directe 9
8.4. Calcul des vitesses moyennes dans chaque zone 9
8.5. Effet rafraichissant standard ($CE_{standard}$) 10
8.6. Efficacité du brasseur d'air (CFE) 11
8.7. Rapport 11

1. Objet

L'objet de ce protocole est de définir l'instrumentation, les équipements, les méthodes et les procédures pour déterminer les données de confort et de performance d'un brasseur d'air.

2. Portée

Ce protocole s'applique aux brasseurs d'air plafonniers à pales d'un diamètre compris entre 80 cm et 160 cm et ayant un dispositif permettant le montage des pales à une hauteur supérieure à 2,13 m dans des pièces de 2,50 m de hauteur sous plafond.

3. Définitions

Brasseur d'air plafonnier (BA) : ventilateur à pales externes fixes qui est suspendu à un plafond et qui n'a pas de dispositif de raccordement à un conduit ou de séparation entre l'entrée de la turbine et sa sortie.

Confort thermique : condition d'esprit qui exprime la satisfaction dans un environnement thermique et qui est évaluée subjectivement.

Densité de l'air (ρ_a) : masse d'air par unité de volume.

Densité de l'air standard (ρ_0) : densité de l'air dans les conditions standards (1,20 kg/m^3) qui correspond à un air sec à une température de 21,1 °C et une pression de 1013 hPa.

Diamètre du brasseur (D) : diamètre du cercle décrit par l'extrémité des pales du brasseur.

Durée de l'essai : durée pendant laquelle la vitesse d'air est mesurée à chaque position lors d'un essai.

Hauteur de pales (H_{BA}) : distance verticale entre le point le plus bas des pales du brasseur et le sol.

Humidité relative : rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau et la pression de vapeur saturante pour une température de l'air et une pression ambiante données.

Point de mesure : point à une hauteur de mesure et une position de mesure données.

Position de mesure : position d'un ensemble de points de mesure alignés verticalement.

Pression barométrique ambiante (P_{amb}) : pression de l'air ambiant rapportée à un vide parfait.

Puissance absorbée (P) : puissance électrique requise pour le fonctionnement du brasseur d'air et des différents éléments qui en font partie.

Température de l'air (T_{air}) : température de l'air indiquée par un thermomètre ordinaire protégé des radiations solaires et infra-rouges.

Vitesse d'air (V_{air}) : vitesse de déplacement de l'air en un point de mesure donné sans tenir compte de sa direction.

Vitesse d'air moyenne ($V_{air,moy}$) : moyenne de la vitesse d'air en un point de mesure sur la durée de l'essai.

Vitesse de rotation du brasseur (Ω) : nombre de rotation des pales du brasseur autour de l'axe de rotation en une minute.

CC BY ND

4. Symboles et unités

Les symboles et les unités des paramètres nécessaires à l'application du protocole sont listés dans le tableau 1. Les indices additionnels utilisés avec les symboles sont listés dans le tableau 2.

Tableau 1 : Symboles et unités

Symbole	Description	Unité
CE	Effet rafraichissant	°C
CFE	Efficacité du brasseur d'air	°C/W
clo	Coefficient d'isolation vestimentaire	clo
D	Diamètre du brasseur	m
f_{eff}	Facteur de posture	
f_m	Fréquence d'échantillonnage de la mesure	Hz
MET	Métabolisme	met
PM	Position de mesure	
P	Puissance active absorbée par le brasseur	W
Q_{air}	Débit d'air	m^3/s
HR	Humidité relative	%
S	Surface	m^2
T_{air}	Température de l'air	°C
T_{mrt}	Température moyenne radiative	°C
v_{air}	Vitesse d'air	m/s
x	Distance au centre du brasseur	m
ΔT	Durée de la mesure	s
N	Vitesse de rotation du brasseur	tr/min
SET	Standard Effective Temperature	°C

Tableau 2 : Indices additionnels

Indice additionnel	Description
0	Au centre du brasseur
assis	Moyenne des mesures aux 3 hauteurs de la position assise
chambre	De la chambre de mesure
brasse	Limite permettant d'assurer un brassage efficace
debout	Moyenne des mesures aux trois hauteurs de la position debout
h	A la hauteur h
i	A la position de mesure i
dir	De la zone d'influence directe
max	Valeur maximale
min	Valeur minimale
moy	Valeur moyenne
n	A la position de mesure n
pos	En posture assis ou en posture debout
entr	De la zone d'influence par entrainement
N	A la vitesse de rotation N

CC BY ND

Standard	Indicateur donné dans des conditions standard

5. Instrumentation

Les instruments de mesure utilisés doivent respecter les exigences minimales de plage de mesure et de précision spécifiées dans le tableau 3. Les capteurs de température doivent être protégés des échanges radiatifs avec l'environnement.

Tableau 3 : Exigences minimales pour les instruments de mesure

Paramètre	Plage de mesure	Précision
Température de l'air	10 °C à 40 °C	± 0,5 °C
Longueur	0 à 5 m	± 1 mm
Puissance active	0 à 3000 W	± 1 %
Vitesse d'air	0,1 à 5 m/s	± 5 % ou 0,05 m/s (le plus grand des deux)
Vitesse de rotation du brasseur	0 à 1000 tr/min	± 0,5 %
Humidité relative	10 % à 90 %	± 3 %

6. Conditions d'essai et procédures

6.1. Conditions d'essai

6.1.1. Mesure en régime permanent

Toutes les mesures doivent être réalisées en régime permanent. Dans le cadre de ce protocole, on considère que le régime permanent est atteint si la différence entre la moyenne sur la première moitié de l'essai et la moyenne sur la seconde moitié de l'essai est inférieure à 10 % ou 0,05 m/s. Si lors d'un essai, le régime permanent n'est pas atteint, il doit être reconduit avec une durée de stabilisation augmentée par incrément de 3 min jusqu'à ce que le régime permanent soit atteint et ce jusqu'à une limite de 12 min.

6.1.2. Conditions ambiantes

Les conditions ambiantes de température et d'humidité relative doivent être respectivement de 28 °C ± 5 °C et 60 % ± 10 %.

6.1.3. Condition d'air immobile

Les vitesses d'air dans la chambre de mesure qui ne sont pas générées par le brasseur d'air ne doivent pas excéder 0,15 m/s avant, pendant et après le test. Une mesure de vitesse à la position x_0 doit être effectuée immédiatement avant que le brasseur ne soit mis en route et 3 min après que le brasseur ait été éteint pour s'assurer que cette condition est remplie.

6.2. Protocole d'essai

6.2.1. Paramètres opératifs du brasseur

Le brasseur doit fonctionner en conditions normales (tension nominale indiquée par le fabricant) à la vitesse d'essai depuis au moins 15 min avant de mesurer ses paramètres opératifs. La puissance active absorbée et la vitesse de rotation doivent être mesurée pendant 100 s à une fréquence de 1 Hz.

6.2.2. Paramètres psychrométriques de la chambre de mesure

La température de l'air et l'humidité relative doivent être mesurées pendant toute la session d'essais. La température de l'air et l'humidité relative doivent être mesurées de façon continue avec un échantillonnage de 2 mesures par minute pour vérifier que les conditions ambiantes spécifiées à la section 6.1.2 sont vérifiées.

CC BY ND

6.2.3. Position de l'opérateur

Aucun opérateur ne doit être présent dans la chambre pendant les mesures.

7. Mesures de vitesse d'air

7.1. Chambre de mesure

7.1.1. Dimensions de la chambre de mesure

Les brasseurs doivent être testés dans une chambre qui comprend un sol, un plafond et quatre murs indéformables. La surface au sol est un carré de 4 m de côté et la hauteur sous plafond est de 2,50 m. La chambre de mesure doit être étanchée de façon à se prémunir de mouvement d'air entre l'intérieur et l'extérieur. Les ouvertures de la chambre de mesure doivent être fermées de façon étanche pendant la mesure.

7.1.2. Position du brasseur

Le brasseur doit être positionné au centre de la pièce avec une précision de ± 2 cm et son axe ne doit pas s'écarter de l'axe vertical de plus de 1°. Le brasseur doit être monté selon les instructions du brasseur en utilisant la tige de montage la plus courte fournie par défaut par le fabricant. La hauteur de pales doit être mesurée quand le brasseur est en place et doit être supérieure à 2,13 m.

7.1.3. Climatisation de la chambre de mesure

Les appareils de ventilation, de climatisation et de chauffage de la chambre de mesure doivent être éteint au minimum 3 min avant le début de la session de mesure mais peuvent être utilisés entre deux sessions de mesure de façon à maintenir la chambre de mesure dans les conditions d'ambiance spécifiées à la sections 6.1.2.

7.2. Mesure de vitesse d'air

7.2.1. Instrumentation

Les mesures de vitesse d'air doivent être réalisées avec des anémomètres omnidirectionnels.

7.2.2. Positions des capteurs

Les anémomètres doivent être positionnés horizontalement, perpendiculairement à une ligne radiale allant du centre du brasseur au centre de l'un des murs, et orienté face au sens de rotation du brasseur. Les positions de mesures doivent être mesurées et référencées depuis le centre du brasseur. L'espacement entre les anémomètres doit être de 5 cm depuis le centre du brasseur jusqu'à une distance égale au rayon du brasseur, puis avec un espacement de 10 cm jusqu'à deux fois le rayon du brasseur, puis avec un espacement de 30 cm au-delà. La distance entre le dernier point de mesure et le mur ne doit pas être inférieur à 20 cm. L'annexe 1 donne des représentations schématiques de ces positionnements pour les diamètres courants de brasseurs.

7.2.3. Hauteurs de mesure

A chaque position de mesure, les mesures de vitesse d'air doivent être effectuée simultanément aux quatre hauteurs au-dessus du sol (10 cm, 60 cm, 110 cm et 170 cm en accord avec les recommandations de la norme ISO 7726) avec une précision de ± 5 mm. L'alignement vertical des quatre capteurs devra être effectué avec une précision de ± 5 mm.

7.2.4. Numérotation des positions de mesures

Les positions de mesures sont numérotées de 0 à n par incrément de 1 à partir du centre du brasseur (PM_0) jusqu'à la dernière position de mesure (PM_n). Les distances x_i entre le centre du brasseur et les différentes positions de mesures sont référencées avec le même indice (de x_0 à x_n). L'annexe 1 présente des exemples de positionnements pour des diamètres courants.

CC BY ND

7.3. Echantillonnage de la mesure de vitesse d'air

7.3.1. Durée de stabilisation avant une mesure

Un temps minimal de stabilisation de 3 min doit être respecté après toute intervention dans la chambre de mesure (changement de vitesse, déplacement des capteurs, fermeture de la porte) avant le début d'une mesure.

7.3.2. Durée de la mesure

A chaque position de mesure, la vitesse d'air doit être enregistrée sur une durée minimum de 3 min ou plus longtemps selon les conditions permettant d'obtenir une mesure considérée exacte. A chaque essai, il faut donc vérifier que le temps de mesure est suffisant pour valider la condition suivante permettant d'obtenir une valeur moyenne avec une erreur inférieure à l'incertitude avec un intervalle de confiance de 95 % :

$$\Delta t \geq \frac{\sigma^2}{\left(u(v_{air})\right)^2(1-95\%)} \times \frac{1}{f_m}$$

Où σ est l'écart-type de la mesure de vitesse d'air, f_m est la fréquence d'échantillonnage de la mesure de vitesse d'air et $u(v_{air})$ est l'incertitude de mesure de vitesse d'air définit par :

$$u(v_{air}) = \max\left(5\% \times v_{air,moy}\ ; 0{,}05\right)$$

Si cette condition n'est pas vérifiée, il faudra augmenter la durée de la mesure jusqu'à un temps supérieur à la valeur calculée et multiple de 60 s.

7.3.3. Fréquence de la mesure

Pour déterminer la vitesse d'air moyenne, la fréquence d'échantillonnage doit être au minimum de 1 Hz (une mesure toutes les secondes), une valeur inférieure à 0,5 Hz étant souhaitable, en accord avec les recommandations de la norme ISO 7726.

8. Calculs

8.1. Calculs des valeurs moyennes des grandeurs mesurées

En chaque position de mesure, la vitesse d'air moyenne en chaque hauteur de mesure $v_{moy,air,h}(x_i)$ est obtenue en calculant la moyenne des valeurs de vitesse d'air mesurées à cette hauteur pour cette position de mesure.

Les valeurs moyennes des paramètres opératifs sont obtenues en calculant la moyenne des mesures collectées selon la méthode spécifiée au paragraphe 6.2.1.

8.2. Pondération des hauteurs de mesures de vitesses à chaque position de mesure

Pour chaque position de mesure, les vitesses moyennes pour un usager en posture assise et en posture debout sont calculées.

En posture assise, cette vitesse moyenne est :

$$v_{moy,air,assis} = \frac{1}{3}\left(v_{moy,air,0.1} + v_{moy,air,0.6} + v_{moy,air,1.1}\right)$$

En posture debout, cette vitesse moyenne est :

$$v_{moy,air,debout} = \frac{1}{3}\left(v_{moy,air,0.1} + v_{moy,air,1.1} + v_{moy,air,1.7}\right)$$

CC BY ND

8.3. Détermination du rayon d'influence directe

Les deux zones dans lesquelles la vitesse d'air moyenne doit être déterminée sont appelées la zone d'influence directe (sous le brasseur) et la zone d'influence par entrainement. Pour chaque posture, la limite de la zone d'influence directe est appelée rayon d'influence directe. La distance au centre du brasseur du rayon d'influence x_{influ} est obtenue en déterminant la position pour laquelle la dérivée seconde de la vitesse d'air moyenne par rapport à la distance au centre du brasseur est maximale :

$$\frac{d^2 v_{air,moy,pos}}{dx^2}(x_{influ}) = \max\left(\frac{d^2 v_{air,moy,pos}}{dx^2}(x_i)\right)$$

Où $\frac{d^2 v_{air,moy,pos}}{dx^2}(x_i)$ est la dérivée seconde du profil de vitesse d'air moyenne au point de mesure P_i définit pour tout i compris en i_{max}+2 et n-2 par :

$$\frac{d^2 v_{air,moy,pos}}{dx^2}(x_i) = \frac{\frac{dv_{air,moy,pos}}{dx}(x_{i+1}) - \frac{dv_{air,moy,pos}}{dx}(x_{i-1})}{x_{i+1} - x_{i+1}}$$

Où $\frac{dv_{air,moy,pos}}{dx}(x_i)$ est le dérivée du profil de vitesse d'air moyenne au point de mesure P_i définit pour tout i compris entre i_{max}+1 et n-1 par :s

$$\frac{dv_{air,moy,pos}}{dx}(x_i) = \frac{v_{air,moy,pos}(x_{i+1}) - v_{air,moy,pos}(x_{i-1})}{x_{i+1} - x_{i+1}}$$

Et où i_{max} est le numéro du point de mesure ou la vitesse moyenne d'air est maximale définit pour tout i compris entre 1 et n par :

$$v_{air,moy,pos}(x_{i_{max}}) = \max\left(v_{air,moy,pos}(x_i)\right)$$

Le numéro de la position de mesure se trouvant à une distance au centre du brasseur égale au rayon d'influence directe est noté i_{influ}.

8.4. Calcul des vitesses moyennes dans chaque zone

Les vitesses moyennes dans la zone d'influence directe et dans la zone d'influence par entrainement sont définies pour chaque posture par les expressions suivantes :

$$v_{air,moy,dir,pos} = \frac{{x_1}^2}{\left(x_{influ} + x_{influ+1}\right)^2} v_{air,moy,pos}(x_0) + \sum_{i=1}^{i_{influ}} \left[\frac{(x_i + x_{i+1})^2 - (x_i + x_{i-1})^2}{\left(x_{influ} + x_{influ+1}\right)^2}\right] v_{air,moy,pos}(x_i)$$

$$v_{air,moy,entr,pos} = \sum_{i=i_{influ}+1}^{n-1} \left[\frac{(x_i + x_{i+1})^2 - (x_i + x_{i-1})^2}{(3x_n - x_{n-1})^2 - \left(x_{influ} + x_{influ+1}\right)^2}\right] v_{air,moy,pos}(x_i)$$

$$+ \frac{(3x_n - x_{n-1})^2 - (x_n + x_{n-1})^2}{(3x_n - x_{n-1})^2 - \left(x_{influ} + x_{influ+1}\right)^2} v_{air,moy,pos}(x_n)$$

La vitesse moyenne dans la zone d'entrainement quelle que soit la posture est définie par :

$$v_{air,moy,entr} = \frac{v_{air,moy,entr,assis} + v_{air,moy,entr,debout}}{2}$$

CC BY ND

8.5. Effet rafraichissant standard ($CE_{standard}$)

L'effet rafraichissant assis est défini dans des conditions standards considérant une personne travaillant assise à un bureau, habillée avec une tenue estivale, et sous une température opérative de 28 °C et une humidité relative de 60 %. Il est déterminé à la vitesse de rotation maximale.

L'effet rafraichissant en position assise dans la zone d'influence directe ($CE_{standard,assis,dir}$) est défini par :

$$SET\left(T_{air}, T_{mrt}, v_{moy,air,dir,assis,Nmax}, MET, clo, RH, f_{eff}\right)$$
$$= SET\left(T_{air} - CE_{\text{standard},assis,dir}\,, T_{mrt} - CE_{\text{standard},assis,dir}\,, v_{air} = 0{,}1\,, MET, clo, RH, f_{eff}\right)$$

L'effet rafraichissant en position assise dans la zone d'influence par entrainement ($CE_{standard,assis,ent}$) est défini par :

$$SET\left(T_{air}, T_{mrt}, v_{moy,air,ent,assis,Nmax}, MET, clo, RH, f_{eff}\right)$$
$$= SET\left(T_{air} - CE_{\text{standard},assis,ent}\,, T_{mrt} - CE_{\text{standard},assis,ent}\,, v_{air} = 0{,}1\,, MET, clo, RH, f_{eff}\right)$$

L'effet rafraichissant en position debout est défini dans des conditions standards considérant une personne travaillant debout dans un bureau, habillée avec une tenue estivale, et sous une température opérative de 28 °C et une humidité relative de 60 %.

L'effet rafraichissant en position debout dans la zone d'influence ($CE_{standard,debout,dir}$) est défini par :

$$SET\left(T_{air}, T_{mrt}, v_{moy,air,dir,debout,Nmax}\,, MET, clo, RH, f_{eff}\right)$$
$$= SET\left(T_{air} - CE_{\text{standard},debout,dir}, T_{mrt} - CE_{\text{standard},debout,dir}, v_{air} = 0{,}1\,, MET, clo, RH, f_{eff}\right)$$

L'effet rafraichissant en position debout dans la zone de recirculation ($CE_{standard,debout,ent}$) est défini par :

$$SET\left(T_{air}, T_{mrt}, v_{moy,air,ent,debout,Nmax}, MET, clo, RH, f_{eff}\right)$$
$$= SET\left(T_{air} - CE_{\text{standard},debout,ent}, T_{mrt} - CE_{\text{standard},debout,ent}, v_{air} = 0{,}1\,, MET, clo, RH, f_{eff}\right)$$

Les valeurs des paramètres pour les deux positions sont données dans le tableau 4. La procédure de calcul de la SET est définie par la norme ASHRAE 55.

Tableau 4 : Paramètres de calcul de l'effet rafraichissant

Position	T_{air}	T_{mrt}	MET	clo	RH	f_{eff}
Assis	28 °C	28 °C	1,1met	0,5 clo	60 %	0.691
Debout	28 °C	28 °C	1,4 met	0,5 clo	60 %	0.744

CC BY ND

8.6. Efficacité du brasseur d'air (CFE)

L'efficacité du brasseur d'air est définie à la vitesse de rotation maximale du brasseur par le rapport de l'effet rafraichissant standard sur la puissance absorbée :

$$CFE_{assis,dir} = \frac{CE_{\text{standard},assis,dir}}{P_{Nmax}}$$

$$CFE_{assis,entr} = \frac{CE_{\text{standard},assis,entr}}{P_{Nmax}}$$

$$CFE_{debout,dir} = \frac{CE_{\text{standard},debout,dir}}{P_{Nmax}}$$

$$CFE_{debout,entr} = \frac{CE_{\text{standard},debout,entr}}{P_{Nmax}}$$

8.7. Rapport

Le rapport d'essai des brasseurs d'air plafonnier doit au minimum comporter les éléments suivants :

8.7.1. Informations générales

- Nom du laboratoire
- Adresse du laboratoire
- Date des essais
- Numéro d'essai
- Personnel effectuant les tests
- Fonction du personnel effectuant les tests
- Dimensions de la chambre de test (longueur, largeur et hauteur sous plafond)
- Des photographies de la configuration du test (montrant le brasseur en cours de test)
- Modèle du brasseur (nom commercial)
- Référence/numéro du modèle du brasseur
- Fabricant de brasseur
- Numéro de série du brasseur
- Taille du brasseur (diamètre, distance entre le plan de rotation des pales et le point d'accroche du brasseur)
- Type de moteur du brasseur (DC ou AC)
- Numéro de modèle du moteur
- Données de la plaque signalétique du moteur
- Type de commande du brasseur (y compris le nombre de variation de vitesse de fonctionnement)
- Tension d'entrée nominale du système, fréquence

8.7.2. Données

- Vitesses d'air pour chaque position de l'essai et chaque hauteur de mesure
- Températures ambiantes du thermomètre sec en début d'essai, pendant et en fin d'essai (suivant préconisation du paragraphe 6.1.2)
- Vitesse de rotation du brasseur du ventilateur et vitesse de fonctionnement du brasseur (indication de la commande fournie avec l'équipement)
- Puissance active absorbée

CC BY ND

8.7.3. Données de calibration des instruments de mesures

- Fabricant
- Numéro de modèle
- Numéro de série
- Plage de mesure
- Précision de la mesure
- Méthode d'étalonnage
- Date du dernier étalonnage
- Résultats de l'étalonnage

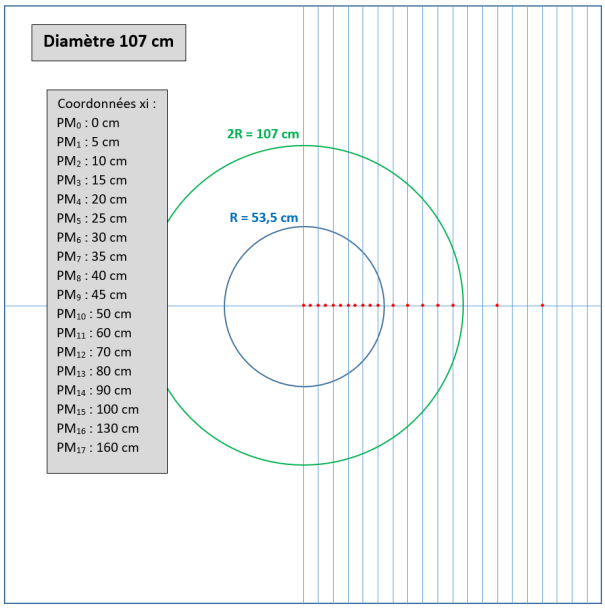
8.7.4. Valeurs calculées

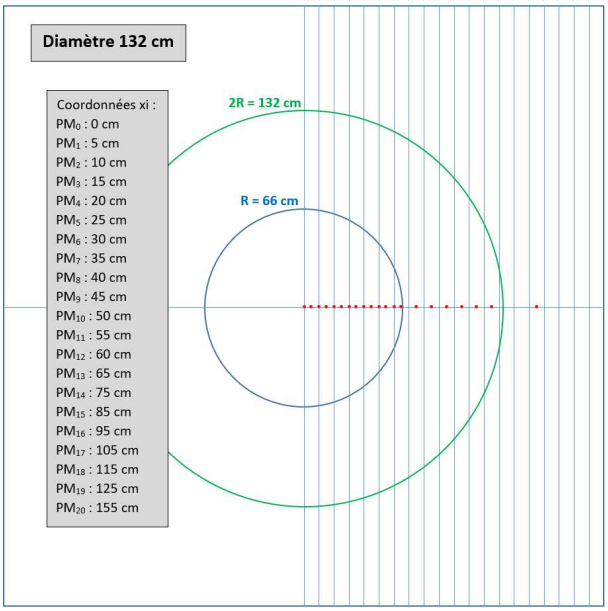
- Vitesse d'air moyenne en chaque hauteur de mesure
- Vitesses moyennes pour un usager en posture assise et en posture debout pour chaque position
- Rayons d'influence directe pour la posture assise et pour la posture debout
- Vitesses moyennes dans la zone d'influence directe et dans la zone d'influence par entrainement pour chaque posture
- Effets rafraichissants standard en position assise et en position debout dans la zone d'influence et dans la zone d'influence par entrainement

  Efficacité du brasseur d'air en position assise et en position debout dans la zone d'influence et dans la zone d'influence par entrainement

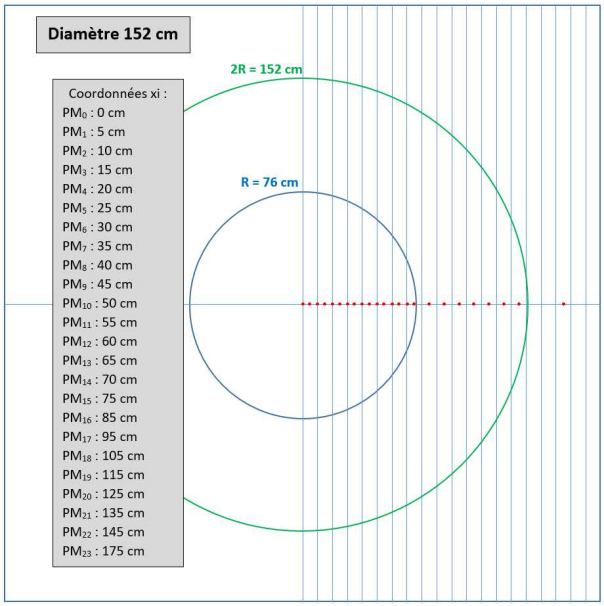
CC BY ND

Annexe 1 : Exemples de positionnements des capteurs





CC BY ND


Diamètre 152 cm
2R = 152 cm
R = 76 cm
Coordonnées xi :
PM0 : 0 cm
PM1 : 5 cm
PM2 : 10 cm
PM3 : 15 cm
PM4 : 20 cm
PM5 : 25 cm
PM6 : 30 cm
PM7 : 35 cm
PM8 : 40 cm
PM9 : 45 cm
PM10 : 50 cm
PM11 : 55 cm
PM12 : 60 cm
PM13 : 65 cm
PM14 : 70 cm
PM15 : 75 cm
PM16 : 85 cm
PM17 : 95 cm
PM18 : 105 cm
PM19 : 115 cm
PM20 : 125 cm
PM21 : 135 cm
PM22 : 145 cm
PM23 : 175 cm