

NOTICE VENTILATION NATURELLE

V3

LA RENO ! - FRANC NOHAIN

Passerelle Transition Ecologique

06/01/26

SOMMAIRE ET TABLES DES FIGURES

1	Principes de ventilation naturelle	4
2	Rappel de la réglementation	5
2.1	Code du travail	5
2.2	RSdT.....	5
2.3	Respect de la réglementation du projet La RENO !.....	6
3	Ventilation naturelle du RdC	6
3.1	Principe détaillé.....	6
3.2	Coupes de principe	7
3.3	Régulation.....	9
3.4	Dimensionnement et débits attendus.....	9
3.4.1	Ventilation hygiénique en hiver	9
3.4.2	Ventilation hygiénique en été	12
3.4.3	Ventilation de confort nocturne en été	12
4	Ventilation naturelle du R+1	12
4.1	Principe détaillé.....	12
4.2	Coupes de principe	13
4.3	Régulation.....	15
4.4	Dimensionnement et débits attendus.....	15
4.4.1	Ventilation hygiénique en hiver	15
4.4.2	Ventilation hygiénique en été	15
4.4.3	Ventilation de confort nocturne en été	15
5	Coupe Bilan.....	16
6	ANNEXE	18
6.1	Corrélation de Phaff et De Gidds (1982)	18

Figure 1	: Tableau bilan ventilation du projet.....	4
Figure 2	: Tableau RSdT Surface d'ouvrants à respecter en ventilation naturelle.....	6
Figure 3	: VNAT - Coupe RDC / Hiver Jour.....	7
Figure 4	: VNAT - Coupe RDC / Hiver Nuit.....	7
Figure 5	: VNAT - Coupe RDC / Eté Jour.....	8
Figure 6	: VNAT - Coupe RDC / Eté nuit.....	8
Figure 7	: Tableau de calcul statique de débit par ouverture des fenêtres.....	10
Figure 8	: courbe de débit de renouvellement d'air par ouverture des fenêtres en fonction de la température extérieure.....	10

Figure 9 : tableau de débit de renouvellement d'air par ouverture des fenêtres en fonction de la température extérieure..... 11

Figure 10 : tableau de débit simulés par calcul aéraulique en fonction de la température extérieure..... 11

Figure 11 : comparaison des débits de renouvellement d'air en fonction de la température extérieure, en méthode de calcul statique et en calcul dynamique. 11

Figure 12 : VNAT - Coupe R+1 / Hiver jour..... 13

Figure 13 : VNAT Coupe R+1 / Hiver Nuit..... 13

Figure 14 : VNAT - Coupe R+1 / Eté jour 14

Figure 15 : VNAT - Coupe R+1 / Eté nuit 14

Figure 16 : VNAT - Coupe bilan RDC et R+1 / HIVER et ETE 16

1 Principes de ventilation naturelle

Les objectifs du projet en termes de ventilation hygiénique et de confort sont :

- Assurer la ventilation de manière passive et low tech donc sans recours à la ventilation mécanique.
- Assurer la qualité d'air intérieur pour les occupants : objectifs sur le taux de CO2 plutôt que sur les débits de renouvellement d'air. Toutefois, les systèmes (surfaces d'ouvrants, de grille, etc) seront dimensionnés pour atteindre des débits cibles de **25 m3/h par occupant**.
- Assurer une surventilation nocturne passive efficace pour décharger le bâtiment lors des vagues de chaleur en été. **Un objectif de minimum 10 vol/h est fixé pour atteindre une surventilation nocturne efficace dans les pièces en ventilation traversante.** Un calcul STD permettra d'assurer que les pièces sont confortables avec une surventilation nocturne traversante ou mono orientée.
- Expérimenter et instrumenter les différents systèmes mis en œuvre afin de caractériser leur efficacité.

Afin de tester plusieurs solutions, nous avons décidé de différencier plusieurs systèmes de ventilation naturelle, en fonction des espaces. Le tableau ci-dessous détaille ces différentes méthodes de ventilation (été et hiver) :

Etage	Ventilation hygiénique		Ventilation de confort	
	Descriptif succinct	Régulation/Gestion du débit	Descriptif succinct	Régulation/Gestion du débit
Salles de classe du RdC	Ventilation naturelle par ouverture des fenêtres.	Par les usagers : ouverture des fenêtres régulière et pendant les pauses Sonde CO2 avec diode colorées pour information à destination des usagers	Ventilation naturelle traversante de façade à façade avec ouvrants sécurisés de ventilation nocturne sur les deux façades et transfert d'air sur cloison séparatrice avec porte de transfert asservie au SSI.	Par les usagers : ouverture des ouvrants de ventilation nocturne en partant de l'établissement et fermeture le matin en arrivant.
2 Salles de classe du R+1	Ventilation naturelle par ouverture des fenêtres.	Par les usagers : ouverture des fenêtres régulière et pendant les pauses Sonde CO2 avec diode colorées pour information à destination des usagers	Ventilation naturelle traversante de façade à façade avec ouvrants sécurisés de ventilation nocturne sur les deux façades et transfert d'air sur cloison séparatrice avec porte de transfert asservie au SSI.	Par les usagers : ouverture des ouvrants de ventilation nocturne en partant de l'établissement et fermeture le matin en arrivant.
1 Salle de classe du R+1	Ventilation naturelle par tourelle "attrape vent" La tourelle Windcatcher en toiture permet l'arrivée d'air neuf et l'extraction en jouant sur les pressions aux vent.	Automatique ou semi automatique : un boîtier de régulation permet aux usagers de prendre la main sur le système en ouvrant ou fermant le registre d'entrée/sortie d'air. Lorsque l'utilisateur ne touche plus au boîtier pendant un certain temps, le système repasse en mode auto et le registre d'entrée/sortie est piloté par sonde CO2 et/ou sonde de T°C extérieure.	Ventilation naturelle mono orientée sur façade avec ouverture des ouvrants de ventilation naturelle sur façade sud et extraction par la tourelle Windcatcher.	Par les usagers : ouverture des ouvrants de ventilation nocturne en partant de l'établissement et fermeture le matin en arrivant. La tourelle Windcatcher est munie d'une sonde de T°C extérieure pour permettre un rafraîchissement nocturne idéal lorsque les conditions extérieures sont propices.

Figure 1 : Tableau bilan ventilation du projet

Les hypothèses de dimensionnement des différents systèmes sont les suivantes :

- **Surface d'une salle de classe : environ 60 m²**
- **Volume d'une salle : environ 180 m³**
- **Nombre d'occupants en jauge maximale : 26 (25 élèves + 1 enseignant.e)**
- **Débit par occupant : 25 m³/h/occ. Donc au total 650 m³/h en jauge maximale.**

2 Rappel de la réglementation

En termes de réglementation, la ventilation naturelle par ouvrants extérieurs et plus largement la ventilation naturelle, est soumise au Code du Travail et au RSDT. Ces deux textes ne donnent pas d'indications précises sur les débits de renouvellement d'air à assurer en ventilation naturelle. Les débits donnés par ces textes sont préconisés pour la ventilation mécanique des locaux.

Les extraits donnés en 2.1 et 2.2 concernent seulement la ventilation naturelle par ouvrants extérieurs.

2.1 Code du travail

Les consignes du code du travail ne s'appliquent qu'aux enseignants dans le cas d'une salle de classe.

La ventilation par ouvrants extérieurs :

Le renouvellement de l'air assuré par des ouvrants donnant directement sur l'extérieur est autorisé lorsque le dispositif de commande des ouvrants est accessible aux occupants et lorsque le volume par occupant est égal ou supérieur aux valeurs suivantes :

- 15 m³ pour les bureaux et les locaux où est accompli un travail physique léger ;
- 24 m³ pour les autres locaux.

2.2 RSDT

La ventilation par ouvrants extérieurs :

La ventilation des locaux peut être soit mécanique ou naturelle par conduits, soit naturelle pour les locaux donnant sur l'extérieur, par ouverture de portes, fenêtres ou autres ouvrants.

Sans système de ventilation spécifique, l'aération est exclusivement réalisée par ouverture des fenêtres. Dans ce cas, le volume de la pièce ne doit pas être inférieur par occupant à :

- 6 m³ pour les écoles maternelles et élémentaires.

Également, la surface des ouvrants calculée en fonction de la surface du local ne doit pas être inférieure aux valeurs indiquées dans ce tableau :

Surface du local en m ²	10	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Surface des ouvrants en m ²	1.25	3.6	6.2	8.7	10	15	20	23	27	39	34	38	42

Figure 2 : Tableau RSDT Surface d'ouvrants à respecter en ventilation naturelle

2.3 Respect de la réglementation du projet La RENO !

- Pour le volume par occupant : Nous avons une classe de 55 m² avec une hauteur sous plafond de 3,2 m. Le volume de chaque classe est donc de 176 m³. Chaque classe possède 25 élèves + 1 enseignant.e. Le volume à respecter au total est donc de $(6 \times 25) + (15 \times 1) = 165 \text{ m}^3$. Nous respectons ainsi le critère de volume par occupant.
- Pour les surfaces d'ouvrants : dans notre cas, les salles de classes ont une surface comprise entre 50 et 60 m². Dans le projet, chaque classe possède 4 ouvrants d'une surface de HxL 1,6 x 0,8 m = 1,28 m² soit au total 5,12 m² de surfaces d'ouvrants. Le critère à respecter étant de 3,6 m², nous sommes dans le cadre de la réglementation à ce niveau-là.

3 Ventilation naturelle du RdC

3.1 Principe détaillé

Au rez-de-chaussée, nous avons décidé d'appliquer le principe de ventilation naturelle qui est le plus proche de celui déjà en place dans les écoles existantes de la ville de Paris : **la ventilation par ouverture des fenêtres.**

Ce choix nous permet en premier lieu d'instrumenter et d'appréhender l'efficacité de l'ouverture des fenêtres sur la qualité d'air et sur la consommation d'énergie. Également, le système repose entièrement sur la bonne gestion des usagers, ce qui nous permettra d'agir sur la sensibilisation : création de signalétiques, de guide de bonnes pratiques, ...

3.2 Coupes de principe

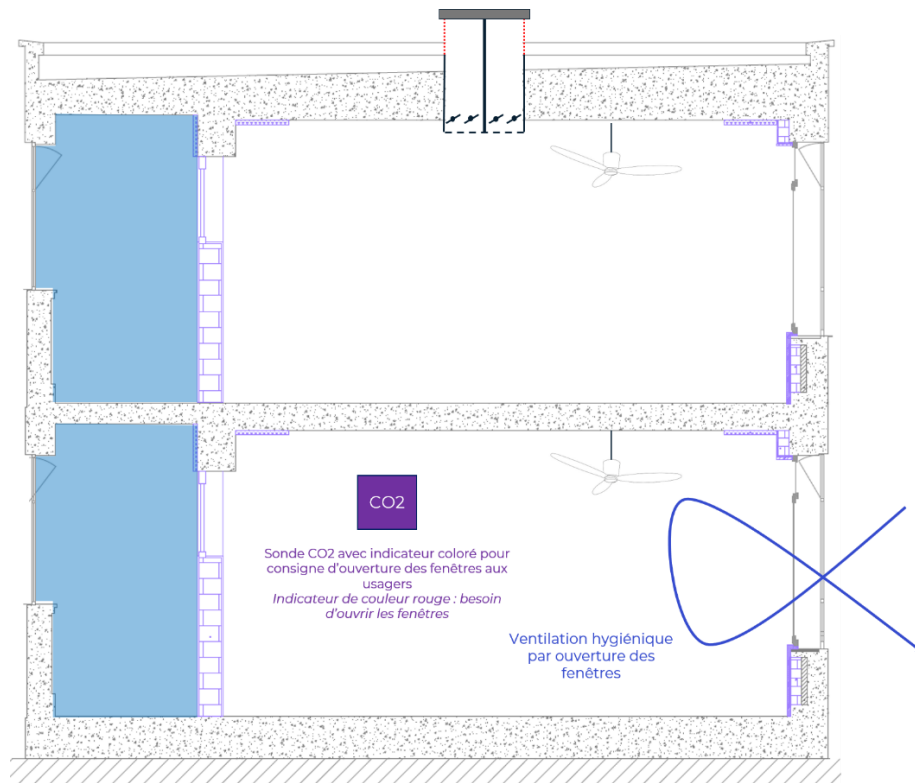


Figure 3 : VNAT - Coupe RDC / Hiver Jour

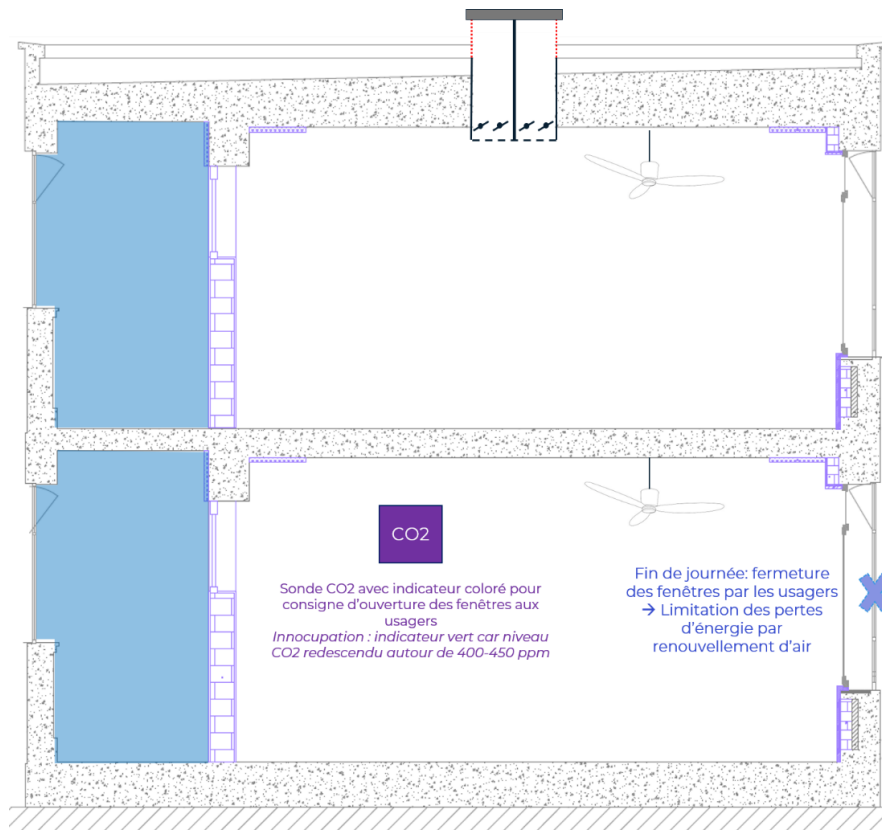


Figure 4 : VNAT - Coupe RDC / Hiver Nuit

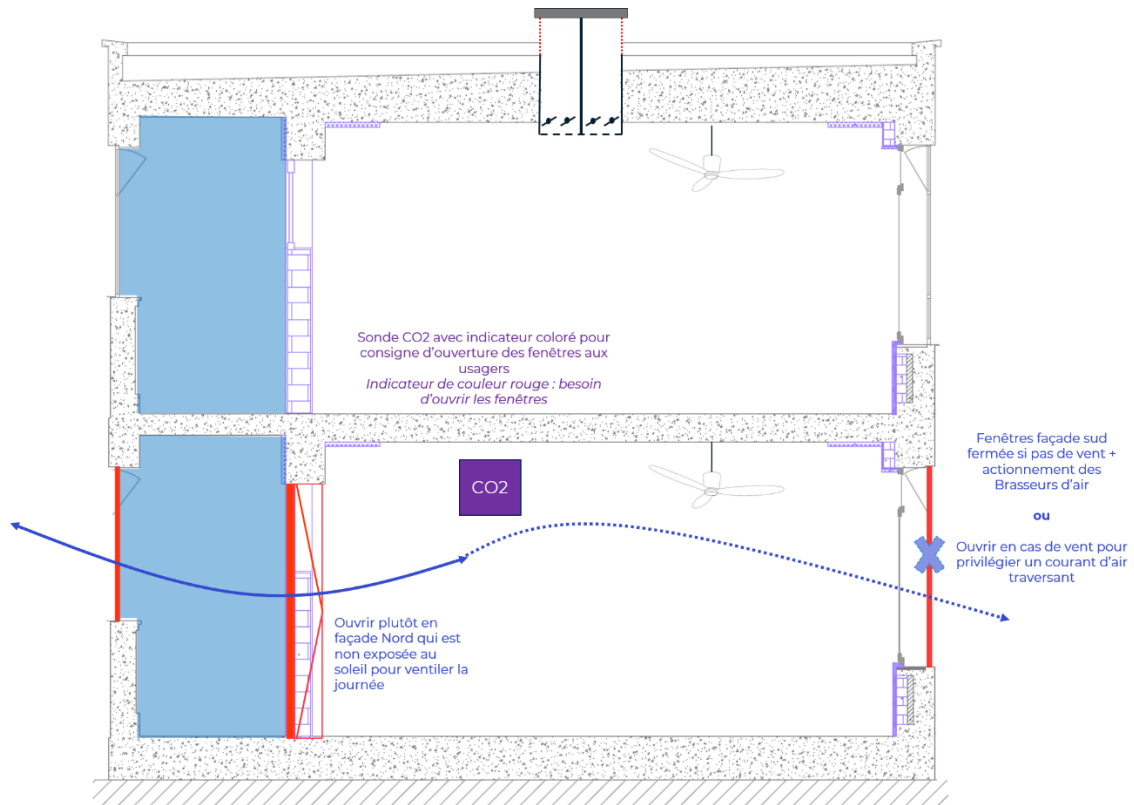


Figure 5 : VNAT - Coupe RDC / Eté Jour

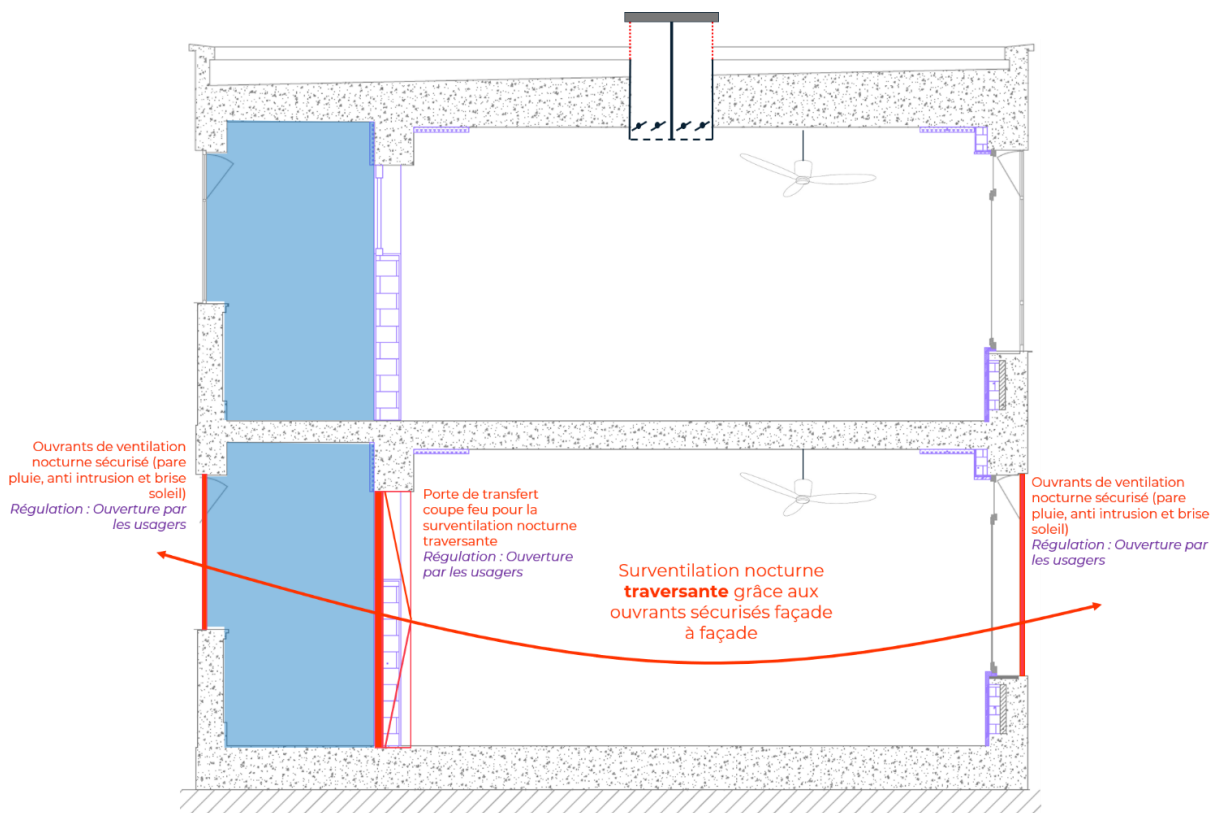


Figure 6 : VNAT - Coupe RDC / Eté nuit

3.3 Régulation

La régulation de la ventilation du RDC se fait à 100% par les usagers, que ce soit en hiver comme en été.

En hiver et en été pour la ventilation hygiénique (en journée), une sonde CO2 sera présente dans chaque salle de classe. Cette sonde permettra tout d'abord de remonter les informations sur la qualité d'air mais permettra aussi de **prévenir les usagers sur le niveau de CO2 afin qu'ils adaptent leurs actions pour diminuer la concentration intérieure en CO2**. Pour cela les sondes CO2 seront équipées d'**indicateurs colorés** :

- LED allumée verte : de 400 à 800 ppm → pas d'action à réaliser
- LED allumée orange : de 800 à 1500 ppm → il est conseillé de commencer à aérer la pièce
- LED allumée rouge : supérieur à 1500 ppm → il est fortement recommandé d'aérer la pièce

En été la nuit, les usagers doivent ouvrir les ouvrants de ventilation nocturne dans les classes, les couloirs ainsi que les portes de transfert au niveau des cloisons.

3.4 Dimensionnement et débits attendus

3.4.1 Ventilation hygiénique en hiver

Nous sommes en ventilation naturelle, donc avec des débits et un fonctionnement qui dépendent des conditions extérieures – et de l'action des usagers dans certains cas. Contrairement à une ventilation mécanique, qui permet d'assurer un débit de renouvellement d'air grâce à ses ventilateurs, la ventilation naturelle ne permet pas d'assurer à 100% les débits ciblés. C'est pourquoi il n'est pas pertinent de raisonner seulement en débit lorsqu'on parle de ventilation naturelle. Il faut aussi et surtout prendre en compte la composante de qualité d'air intérieure. Dans ce cas-ci le taux de CO2 dans la pièce sera un bon indicateur d'un bon renouvellement d'air dans les espaces.

Nous tacherons donc de ne pas dépasser **une valeur seuil de 1000 ppm. Malgré tout, notre dimensionnement se basera sur un calcul de débit, car c'est le seul moyen sans logiciel dédié**

Dans le cadre du projet la RENO, nous souhaitons conserver un maximum d'éléments existants mais cela concerne également la trame architecturale de la façade sud. Ainsi, nos battants de fenêtres sont de dimensions identiques à l'existant : **1,6 x 0,8 m = 1,28 m²**. Nous nous baserons sur une fenêtre de cette dimension pour le dimensionnement.

Un pré calcul statique a permis d'évaluer le débit qui passerait à travers d'une fenêtre de cette taille ouverte à 50%, avec une température extérieure de 10°C et intérieure de 19°C. *(la formule provient de la corrélation de De Gidds et Phaff en*

1982 qui tient compte du tirage thermique et de l'effet du vent, à trouver en annexe)

Nous avons choisi d'étudier le débit à Text = 10°C pour faire en sorte que le « moteur thermique » de notre ventilation naturelle soit suffisant pour la période hivernale, où les débits doivent être contrôlés au plus juste afin d'assurer la qualité d'air sans dégrader thermiquement les espaces.

Pré calcul statique : débit à travers une fenêtre		
Hypothèses de calculs		
Coefficients en fonction de l'ouvrant, du tirage et du vent	c1	0,001 -
	c2	0,0035 -
	c3	0,01 -
Vitesse du vent	Vvent	1,5 m/s
Température intérieure	Tint	19 °C
Température extérieure	Text	10 °C
Différentiel température	DeltaT	9 °C
Hauteur ouvrant	H ouvrant	1,6 m
Largeur ouvrant	L ouvrant	0,8 m
Vitesse efficace au niveau de l'ouvrant	Veff	0,25 m/s
Pourcentage d'ouverture libre	Ouv.	50% -
Surface de passage libre de l'ouvrant	A	0,64 m²
Résultats		
Débit à travers l'ouvrant en 1 heure	Q	288 m3
Débit à travers l'ouvrant en 10 min	Q	48 m3
Hypothèses :		
1. Vitesse du vent 1,5 m/s soit une vitesse moyenne en milieu urbain.		
2. La fenêtre est considérée ouverte à 50% soit une ouverture à la française à 90° en prenant en compte la perte de charge de la protection solaire derrière		

$$V_{eff} = (c_1 \cdot v_r^2 + c_2 H \cdot \Delta T + c_3)^{1/2}$$

$$Q = \frac{A_w}{2} \cdot V_{eff}$$

Figure 7 : Tableau de calcul statique de débit par ouverture des fenêtres

Nous obtenons un débit de renouvellement de **288 m3/h** pour une fenêtre avec des conditions extérieures de 10°C. Nous avons fait le calcul pour différentes températures, le graphique et le tableau ci-dessous montrent bien que plus le delta T est faible, moins le débit est important.

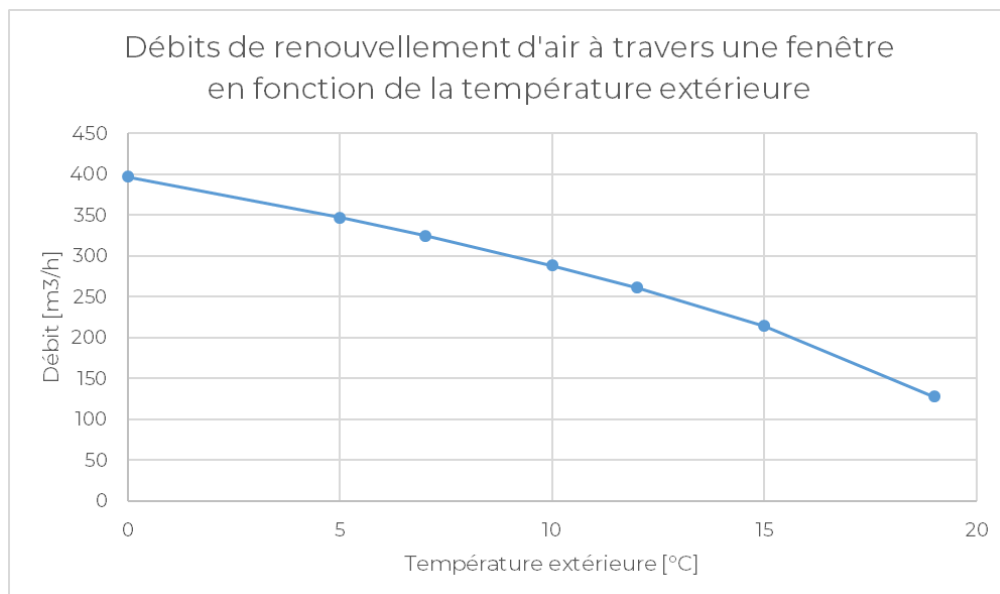


Figure 8 : courbe de débit de renouvellement d'air par ouverture des fenêtres en fonction de la température extérieure

Débits en fonction des conditions extérieures	T°C Extérieure [°C]						
	0	5	7	10	12	15	19
DeltaT [°C]	19	14	12	9	7	4	0
Veff [m/s]	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1
Débit [m3/h]	397	347	325	288	261	214	128

Figure 9 : tableau de débit de renouvellement d'air par ouverture des fenêtres en fonction de la température extérieure

Ainsi, à Text = 10°C, nous aurions besoin d'au moins deux fenêtres de cette dimension pour atteindre 288 x 2 = 576 m3/h soit 22 m3/h par personne, un peu moins que notre objectif de 25 m3/h.

Afin d'affiner notre analyse, nous avons simulé aérauliquement nos salles de classe, avec le logiciel Pléiades COMFIE, afin d'observer le débit à travers une fenêtre de même dimension, en « conditions réelles ».

Nous avons donc observé, en conditions hivernales les débits moyens suivants, en fonction de la température extérieure :

Débits en fonction des conditions extérieures	T°C Extérieure [°C]						
	0	5	7	10	12	15	19
Débit [m3/h]	350	332	330	325	318	309	227

Figure 10 : tableau de débit simulés par calcul aéraulique en fonction de la température extérieure

A T ext = 10°C, on obtient en simulation aéraulique, un **débit moyen de 325 m3/h.**

Cela nous permet d'atteindre, avec deux ouvrants, un débit de 650 m3/h, ce qui rentre dans notre objectif de 25 m3/h.occ à effectif maximal.

Le graphique ci-dessous reprend les débits du calcul statique et les débits en STD, en fonction des températures extérieures.

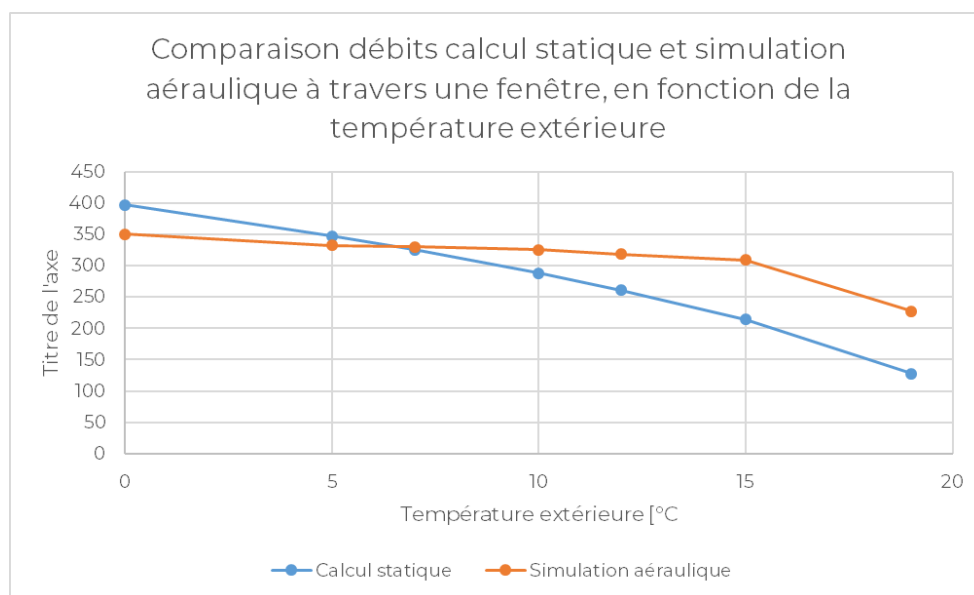


Figure 11 : comparaison des débits de renouvellement d'air en fonction de la température extérieure, en méthode de calcul statique et en calcul dynamique

Le calcul statique semble sous évaluer les débits lorsque le delta T diminue. Cela est sûrement dû aux conditions de vent (vitesse et orientation) qui sont variables en calcul dynamique contrairement au calcul statique.

Conclusion pour le dimensionnement de la ventilation naturelle hygiénique par ouverture des fenêtres :

- Deux fenêtres de surface 1,28 m², avec une ouverture à 50% (correspond à une ouverture en grand, en prenant en compte la perte de charge apportée par la protection solaire fixe) permettent d'assurer un débit moyen de 650 m³/h jusqu'à une température extérieure de 10°C.
- Au-delà de 10°C extérieur, nous considérons que le complément de débit pourra se faire via l'ouverture de fenêtres supplémentaires car les conditions extérieures seront plus clémentes et donc la thermique des locaux sera moins dégradée.

3.4.2 Ventilation hygiénique en été

Nous avons fait la même simulation aéraulique pendant la période estivale. Le débit moyen par fenêtre, pendant de Juin à Septembre inclus, est de **230 m³/h soit 460 m³/h au total**. Là encore, l'ouverture de plus de fenêtres, lorsque les conditions extérieures sont propices, permettra d'assurer les débits ciblés.

3.4.3 Ventilation de confort nocturne en été

Le système de ventilation nocturne des salles du RDC est un système traversant de façade à façade. La simulation aéraulique a permis d'évaluer le débit moyen de renouvellement d'air en période estivale, pendant les mois de Juin à Septembre inclus : **1860 m³/h soit environ 11 vol/h**. Cela permet au bâtiment de se décharger efficacement de la chaleur accumulée en journée.

4 Ventilation naturelle du R+1

4.1 Principe détaillé

Pour le R+1, nous souhaitons mettre en œuvre un système de ventilation naturelle hygiénique, simple et low tech. Nous avons fait le choix du système Windcatcher de chez Kingspan, une tourelle passive qui permet l'entrée et la sortie d'air en toiture en tirant parti des pressions aux vent exercées sur les différentes faces de la tourelle.

Un registre d'entrée/sortie permet la régulation du système. Ce registre est motorisé et piloté par une sonde CO₂ ainsi qu'une sonde de température extérieure. La tourelle peut donc réaliser de la ventilation hygiénique en hiver ainsi que de la ventilation de confort en été.

Ce système se trouvera dans une seule salle du R+1, les deux autres salles seront ventilées par ouverture des fenêtres avec le même principe que le RDC. Les

coupes suivantes montrent le système de la salle équipées par la tourelle windcatcher.

4.2 Coupes de principe

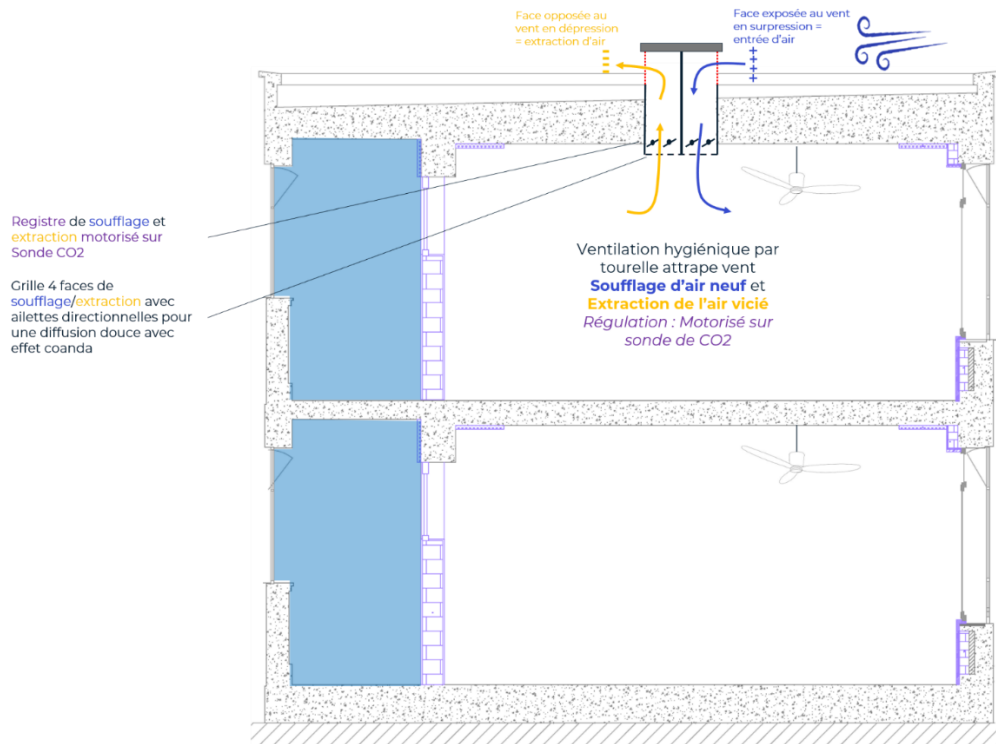


Figure 12 : VNAT - Coupe R+1 / Hiver jour

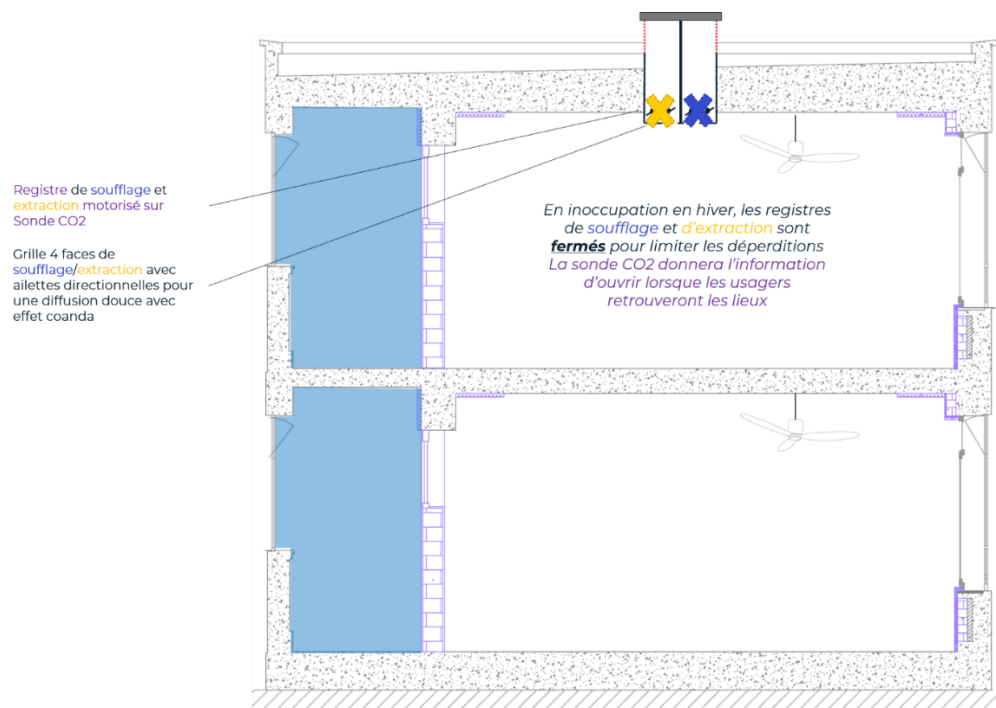


Figure 13 : VNAT Coupe R+1 / Hiver Nuit

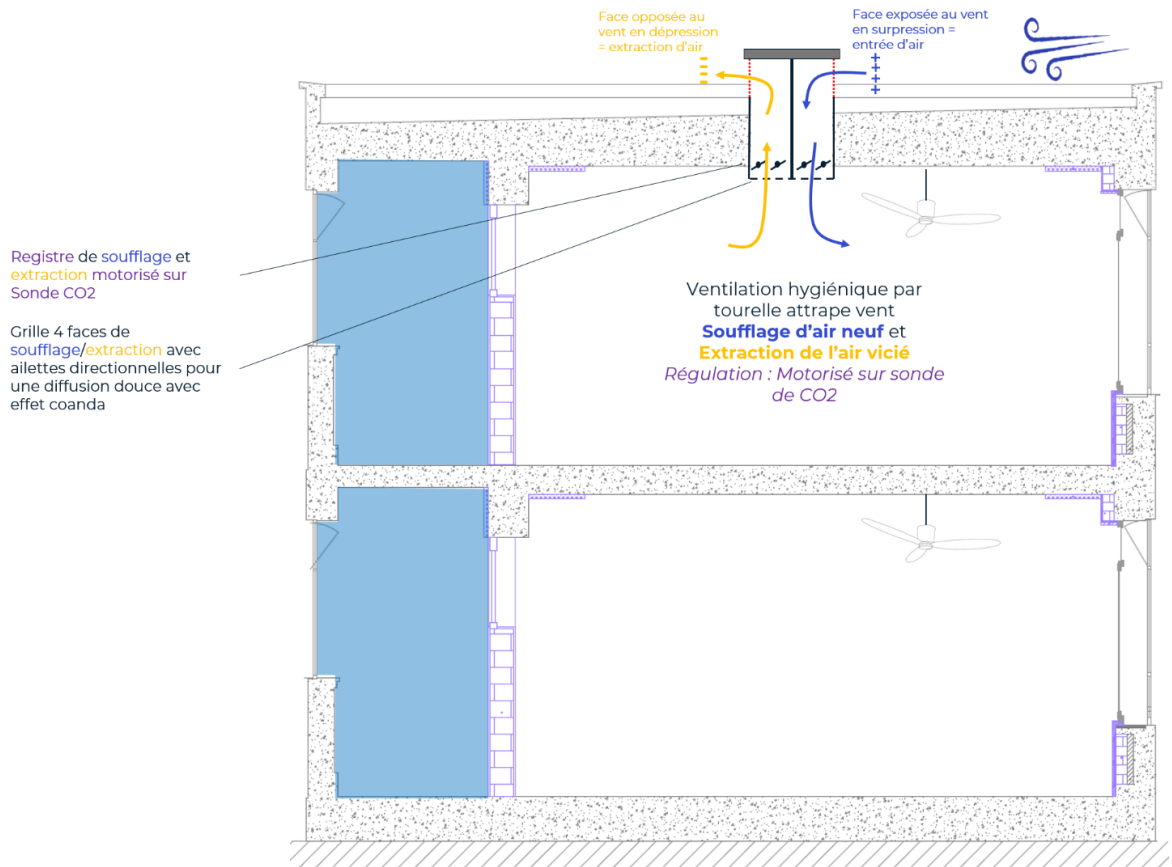


Figure 14 : VNAT - Coupe R+1 / Eté jour

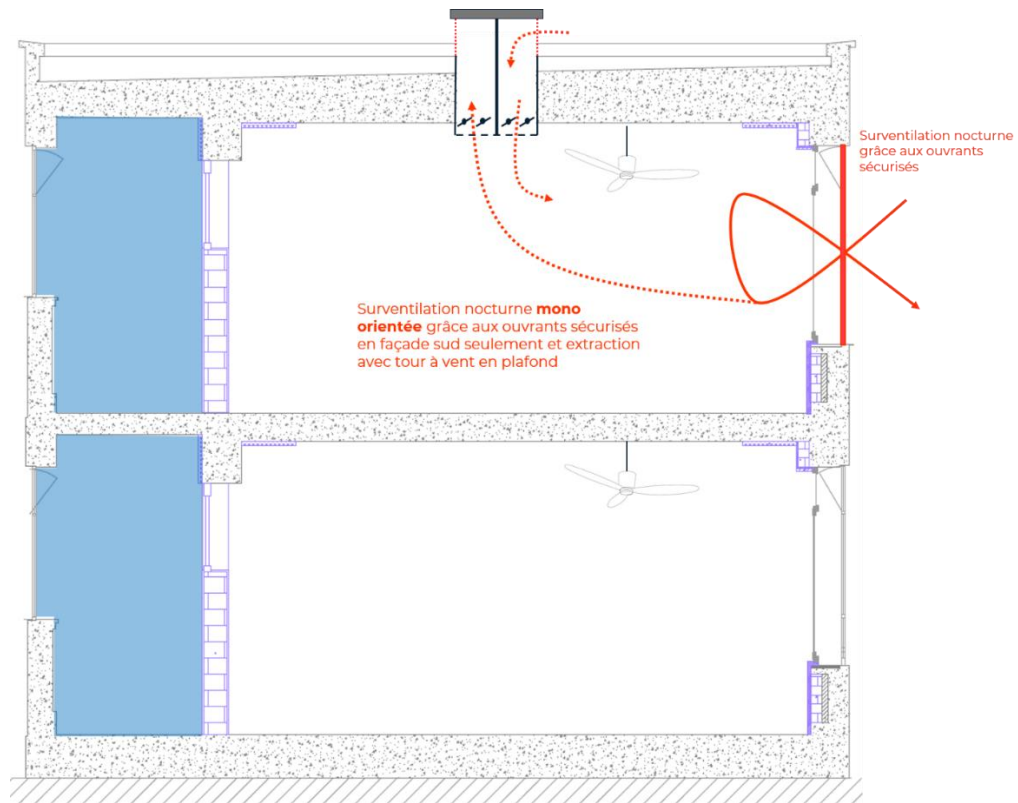


Figure 15 : VNAT - Coupe R+1 / Eté nuit

4.3 Régulation

La régulation de la **ventilation naturelle hygiénique du windcatcher** au R+1 est **automatique** ou bien « **semi auto/manuelle** ».

En effet, le fabricant de la tourelle fournit un boîtier qui permet à l'utilisateur de prendre la main sur le système en ouvrant ou fermant les registres.

Lorsque l'utilisateur n'a plus touché au boîtier pendant 1h, le système repasse en automatique et pilote les registres en fonction du CO2 et/ou des températures. Tout un système de priorité est pré-programmé par le fabricant.

En ventilation de confort nocturne en été, c'est à l'utilisateur d'ouvrir les ouvrants de ventilation nocturne sécurisés en façade (2 par classe) avant de partir de l'établissement. La régulation automatique de la tourelle prendra l'information de la température extérieure pour ouvrir le registre lorsque les conditions seront optimales pour faire du nightcooling.

Pour les salles non équipées de la tourelle, la régulation est identique à la régulation décrite en 3.3.

4.4 Dimensionnement et débits attendus

4.4.1 Ventilation hygiénique en hiver

- Pour la salle ventilée par la tourelle, le dimensionnement est effectué par le fabricant, qui effectue un pré dimensionnement du débit en fonction de la vitesse moyenne du site. En l'occurrence, pour le projet la RENO, **il a été demandé au fabricant** de réaliser son dimensionnement **pour assurer un débit de 650 m³/h avec des conditions de vent de l'ordre du mètre par seconde**. Ainsi, le modèle choisit garantira un débit suffisant, même à faible vent extérieur. Ainsi, cela permet d'avoir un système qui fonctionne pendant la majorité du temps d'occupation.
- Pour les deux salles ventilées par ouverture des fenêtres, le dimensionnement est identique à celui décrit en 3.4.1.

4.4.2 Ventilation hygiénique en été

- Pour la salle ventilée par la tourelle, le dimensionnement est effectué par le fabricant, qui effectue un pré dimensionnement du débit en fonction de la vitesse moyenne du site.
- Pour les deux salles ventilées par ouverture des fenêtres, le dimensionnement est identique à celui décrit en 3.4.2.

4.4.3 Ventilation de confort nocturne en été

- Pour la salle ventilée par la tourelle, le dimensionnement est effectué par le fabricant, qui effectue un pré dimensionnement du débit en fonction de la vitesse moyenne du site.

➔ Pour les deux salles ventilées par ouverture des fenêtres, le dimensionnement est identique à celui décrit en 3.4.3.

5 Coupe Bilan et Plans de repérage

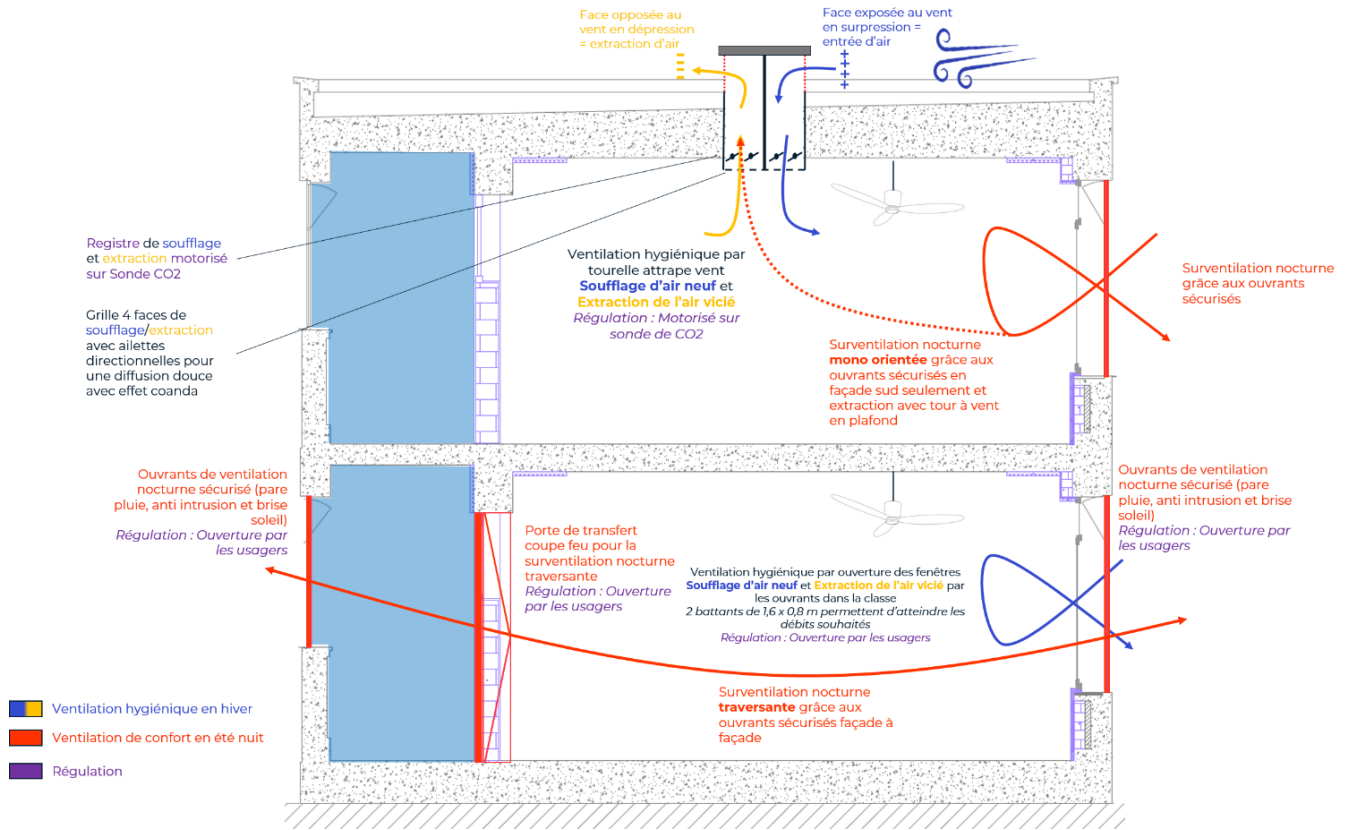


Figure 16 : VNAT - Coupe bilan RDC et R+1 / HIVER et ETE

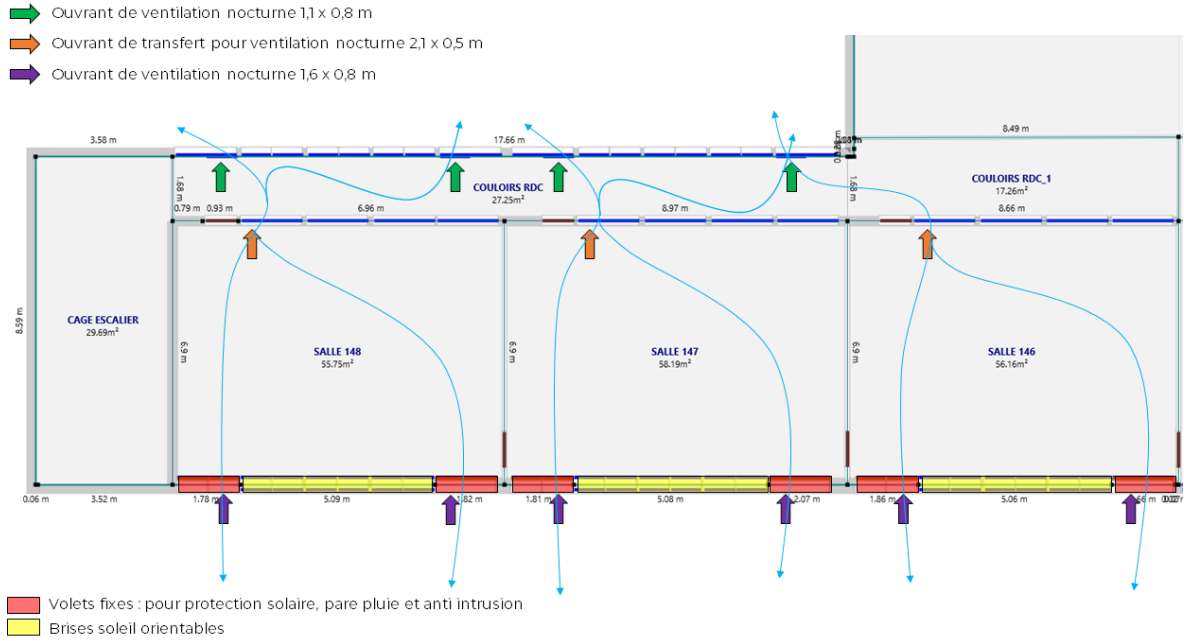


Figure 17 : plan de repérage protections solaires extérieures et surventilation nocturne du RDC

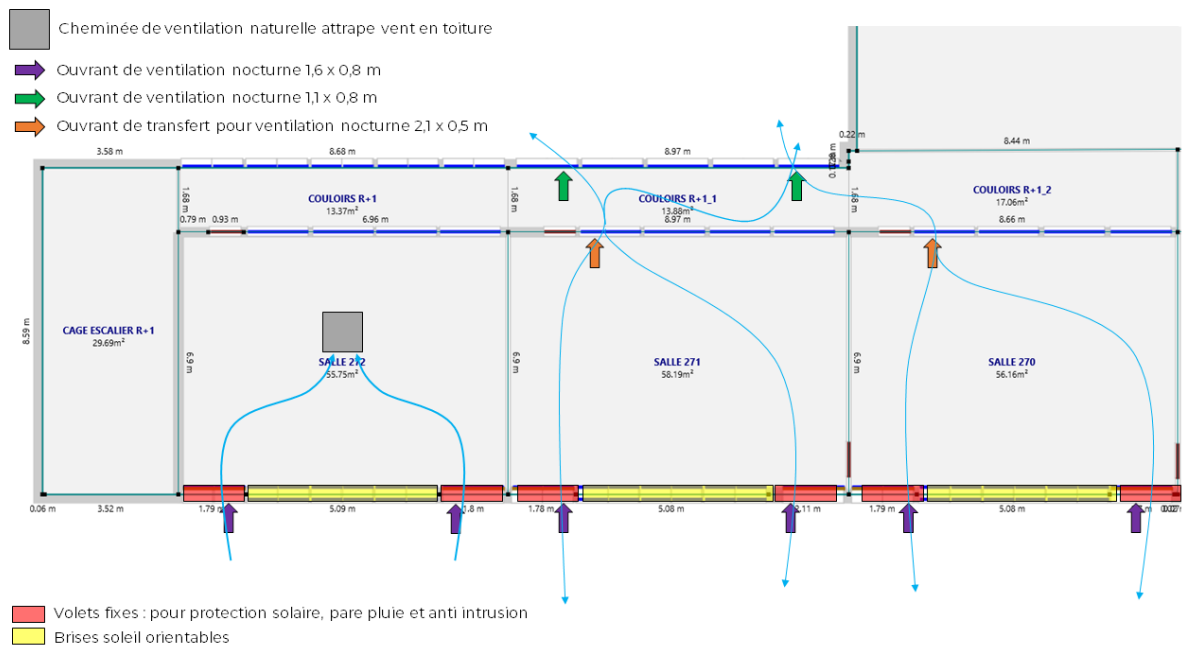


Figure 18 : plan de repérage protections solaires extérieures et surventilation nocturne du R+1

6 ANNEXE

6.1 Corrélation de Phaff et De Gidds (1982)

Phaff et De Gids (1982) proposent une expression empirique qui tient compte à la fois de l'effet thermique et de l'effet du vent.

Cette expression a la forme suivante :

$$q_{P \& DG} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot v_{eq} \quad (1-6)$$

Où $\frac{1}{2} A$ provient du fait que, selon les auteurs, l'air entre par la moitié de la surface de l'ouverture et sort par l'autre moitié, et v_{eq} est une « vitesse équivalente » calculée comme :

$$v_{eq} = \sqrt{C_1 \cdot v_{vent}^2 + C_2 \cdot H \cdot |\Delta T| + C_3} \quad (1-7)$$

Où C_1 , C_2 et C_3 sont des coefficients empiriques. Les termes sous la racine correspondent aux différences de pression causées par le vent, par le tirage thermique et par la turbulence, considérées comme additives.

La valeur des trois coefficients a été déterminée sur la base d'une campagne de mesure effectuée au premier étage de 2 bâtiments de taille réelle. La campagne a consisté en 33 mesures de débit de ventilation à l'aide de gaz traceur. Les valeurs des coefficients qui minimisent l'écart entre la corrélation et l'expérimentation sont :

$$C_1 = 0.001 \quad C_2 = 0.0035 \quad C_3 = 0.01 \quad (1-8)$$

Source : « Analyse expérimentale et simulation de la ventilation naturelle mono-façade pour le rafraîchissement des immeubles de bureaux » - Marcello Caciolo