

EXTENSION DU GROUPE SCOLAIRE IVRY LEVASSOR – DÉMONSTRATEUR BIOCLIMATIQUE ET ÉCORESPONSABLE

VOLET BIOCLIMATIQUE – PHASE 3 : SIMULATION DU MICROCLIMAT SUR LE PROJET RETENU PAR LA MAÎTRISE D'ŒUVRE



Rapport de simulation

BENJAMIN MORILLE



8 DÉCEMBRE 2018

Sommaire

<u>I. Introduction</u>	2
<u>II. Hypothèses de simulations</u>	2
<u>1. SOLENE-microclimat</u>	2
<u>2. Géométrie</u>	5
<u>3. Maillage</u>	6
<u>4. Caractéristiques des matériaux</u>	6
<u>5. Données météo</u>	12
<u>III. Préambule aéraulique</u>	13
<u>IV. Étude de la cour oasis</u>	16
<u>1. Température de l'air</u>	16
<u>2. Confort thermique</u>	19
<u>V. Étude du comportement thermique du bâtiment</u>	22
<u>1. Comportement thermique du bâtiment</u>	22
<u>2. Évaluation du confort dans le bâtiment</u>	23
<u>3. Amélioration du confort</u>	23
<u>VI. Autres éléments investigués</u>	24
<u>1. Comportement thermique des salles de classe de « l'aile ouest »</u>	24
<u>2. Capacité des arbres à limiter la surchauffe estivale</u>	25
<u>3. Éléments aérauliques pour la ventilation naturelle</u>	28

I. Introduction

L'objectif des travaux présentés ici est de démontrer la pertinence des choix de conception retenus que ce soit pour la bâtiment ou pour la cour oasis.

Trois principales simulations sont réalisées :

- une première en considérant le projet retenu dans son ensemble, le bâtiment et la cour oasis.
- une seconde en considérant le bâtiment inséré dans le groupe scolaire sans cour oasis
- une troisième en considérant le bâtiment construit de manière conventionnelle.

Les hypothèses de simulation sont présentées en premier lieu. Puis quelques éléments sur les écoulements aérauliques sont livrés afin de faciliter la compréhension des explications données au cours de l'analyse des simulations qui suit et est présentée en deux temps : l'étude de la cour oasis puis l'étude du comportement thermique du bâtiment.

Enfin, divers autres éléments sont investigués afin d'aider à la conception. Pour cela, une quatrième simulation a été menée sur l'aile ouest du groupe scolaire afin de pouvoir observer le comportement thermique d'une classe de ce bâtiment et un cinquième pour évaluer l'influence du choix du type de vitrage au rez de chaussée.

II. Hypothèses de simulations

1. SOLENE-microclimat



Figure 1 :SOLENE-microclimat, outil de simulation du climat urbain.

SOLENE-microclimat (Figure 1) est un outil de simulation numérique qui permet de modéliser finement le climat urbain à l'échelle d'un quartier. La représentation des phénomènes physiques régissant le climat urbain (ensoleillement, vent, transferts de chaleur,...) permet de pouvoir évaluer l'influence de l'environnement bâti sur l'effet d'îlot de chaleur urbain, le confort thermique et les consommations énergétiques des bâtiments. La quantification de l'efficacité des solutions de rafraîchissement urbain (végétation, surface d'eau, forme urbaine, choix des matériaux, ...), la comparaison de diverses solutions d'aménagement, ainsi que la considération de scénarios prospectifs considérant le changement climatique sont quelques unes des applications phares de l'outil.

Description technique

SOLENE-microclimat réalise le couplage (Figure 2) entre un outil de calcul d'ensoleillement (SOLENE), des modèles de paroi, un modèle de thermique du bâtiment, et un outil de mécanique des fluides numériques (CFD) Code_Saturne. Utilisé à l'échelle du quartier, il permet de calculer avec une résolution très fine (de l'ordre du m^2) des distributions de l'ensemble des paramètres climatiques : ensoleillement, température de surface, température d'air, humidité, etc.

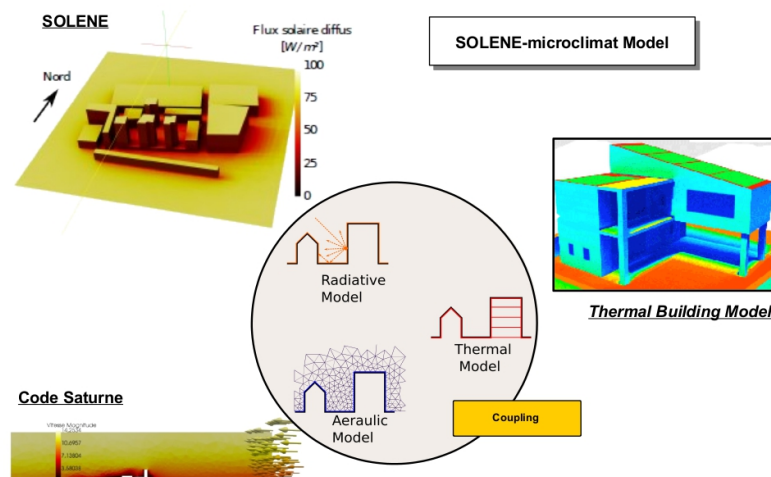


Figure 2 : SOLENE-microclimat : couplage d'outil de simulation numérique du climat urbain.

Les calculs d'ensoleillement (Figure 3) prennent en compte précisément le rayonnement direct et le rayonnement diffus. Considérant les albédos des surfaces, les calculs d'ensoleillement prennent également en compte interreflexions solaires entre les diverses surfaces urbaines.

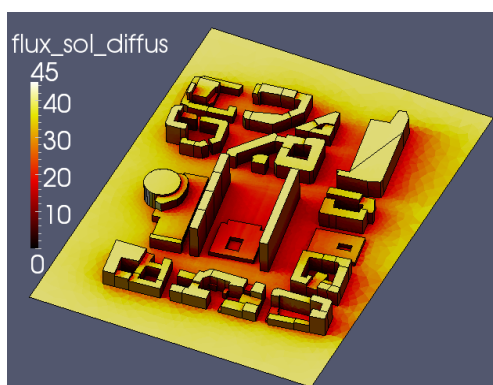


Figure 3 : Distribution des flux solaires diffus sur un quartier de la Part Dieu à Lyon. Simulation pour le 21 juin à 12h réalisée avec SOLENE-microclimat.

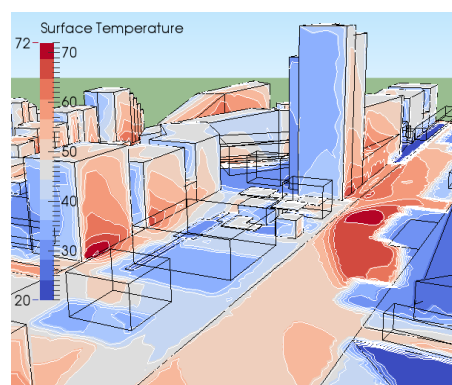


Figure 4 : Distribution des températures de surface dans la ZAC Montaudran à Toulouse. Simulation pour le 20 août réalisée avec SOLENE-microclimat.

Les modèles de thermiques permettent de reproduire les phénomènes de stockage et de restitution de la chaleur au sein des surfaces urbaines (Figure 4), ainsi que l'évolution de la température au sein des bâtiments.

Enfin, la résolution des équations de mécanique de fluides permet de connaître les écoulements du vent dans la scène urbaine (Figure 5) et donc de pouvoir évaluer les échanges de chaleur entre les surfaces urbaines et l'air ainsi que la dispersion de la chaleur (Figure 6) et de l'humidité de l'air.

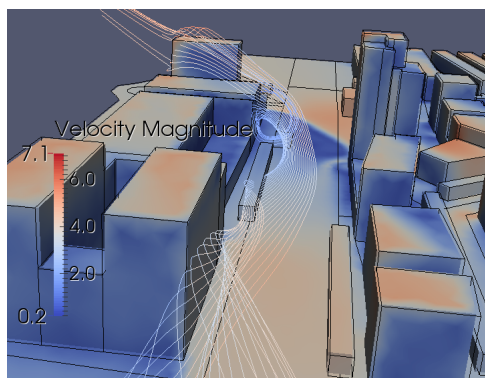


Figure 5 : Distribution du vent dans la ZAC Montaudran.

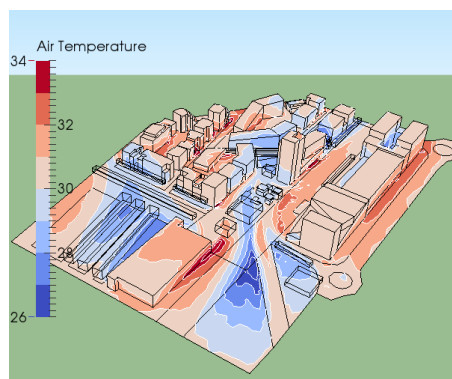


Figure 6 : Distribution des températures d'air dans la ZAC Montaudran à Toulouse.

SOLENE-microclimat possède des modèles de végétation représentant les arbres, les toitures et façades végétalisées ainsi que les surfaces enherbées. Ces modèles permettent d'estimer la capacité de différents types de végétation à rafraîchir l'espace urbain ou à réduire les consommations énergétiques mais permettent également d'évaluer la consommation en eau du végétal.

Des modèles de surfaces humidifiées ont également été développés et donnent la possibilité de pouvoir quantifier la propension des divers dispositifs utilisant de l'eau à rafraîchir l'espace urbain (en évaluant ici aussi les consommations en eau).

Enfin, l'ensemble des paramètres physiques (Figure 7) sont agrégés pour permettre le calcul de l'UTCI (Universal Thermal Climate Index). Cet indicateur de confort permet de retranscrire une température ressentie en réalisant un bilan thermique complet sur un passant. Considérant un comportement physiologique du corps humain et un habillement en adéquation avec les conditions météorologiques (la température, la saison, etc.), l'ensemble des paramètres climatiques ayant une influence sur le ressenti du corps humain est pris en compte : la température de l'air, la vitesse de l'air, l'humidité de l'air, le rayonnement solaire (direct et diffus) et le rayonnement infrarouge reçu. Ces dernières grandeurs, les flux de rayonnement, sont retranscrites à travers le calcul de la température moyenne radiante.

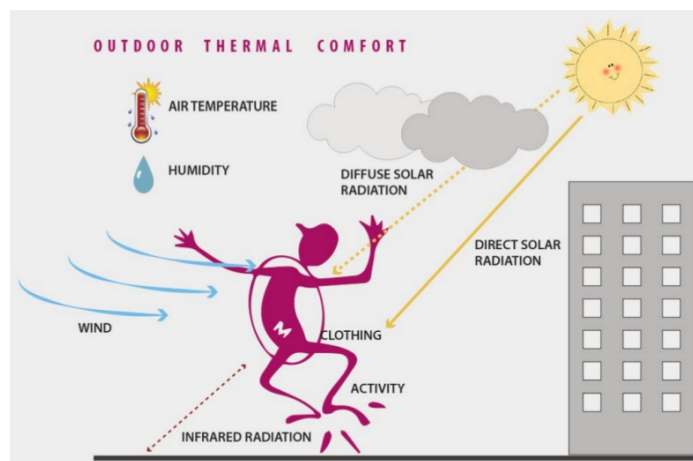


Figure 7 : Ensemble des paramètres climatiques pris en compte dans l'évaluation du confort thermique.

2. Géométrie

A partir des données fournies par DCPA, et les données de la BD Topo de l'IGN, le quartier modélisé a été modifié en intégrant :

- l'ensemble des bâtiments avoisinant, en utilisant leur empreinte au sol et en les extrudant selon leur hauteur.
- la délimitation des surfaces au sol : voiries, trottoir, ...
- la géométrie du groupe scolaire, en particulier avec les différentes hauteurs des différentes parties de bâtiments
- la géométrie du nouveau bâtiment implanté dans le groupe scolaire dans sa version déposée au permis de construire fin janvier 2019.

La Figure 8 présente la modélisation de l'environnement urbain réalisée pour les simulations numériques de ce rapport. La Figure 9 réalise un zoom sur le groupe scolaire et sur l'intégration du bâtiment dans son enceinte tel que la conception a été arrêtée début 2019.

Toutes les informations sont à retrouver dans le rapport de la phase 1 : « Modélisation du site ».

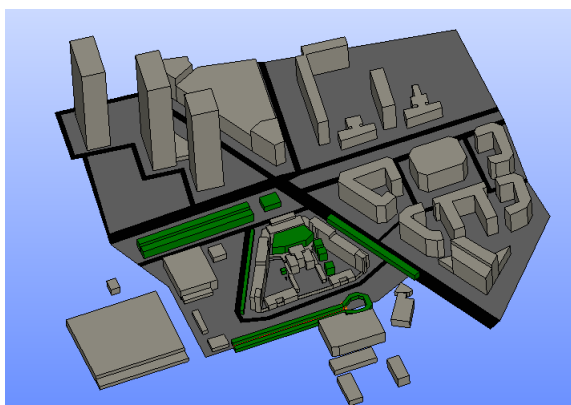


Figure 8 : Modélisation de l'ensemble du quartier du groupe scolaire.

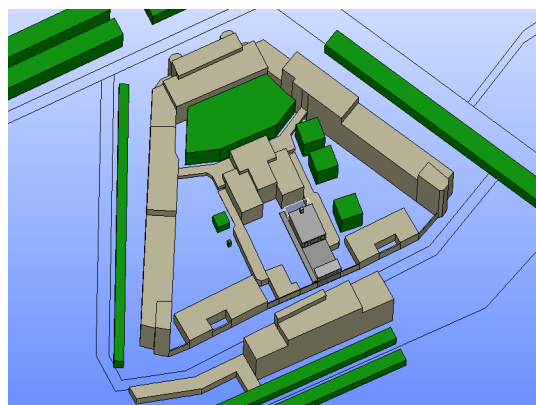


Figure 9 : Zoom sur la modélisation du groupe scolaire.

3. Maillage

La géométrie insérée dans une veine numérique afin de réaliser les calculs d'écoulement de vent est maillée en 2 dimensions et en 3 dimensions. Le maillage réalisé (Figures 10 et 11) est un maillage non structuré qui comporte un maillage surfacique de l'enveloppe urbaine composé de 49408 triangles. Ce maillage surfacique sert de base au maillage volumique composé de 255142 tétraèdres. Le maillage surfacique sert aux calculs radiatifs et aux bilan énergétique de surface, le maillage volumique sert aux calculs aérauliques.

Le raffinement du maillage est contrôlé afin d'obtenir plus de précision au niveau de la zone d'intérêt (cour oasis et nouveau bâtiment). Ainsi les mailles triangulaires au niveau de la zone d'intérêt sont de 0,5 m de coté pour une surface d'environ 0,1 m² alors que celle en limite de la scène urbaine sont de 4 m de coté au maximum (surface d'environ 7m² au maximum). Le volume des tétraèdres au niveau de la zone d'étude est d'environ à 0,015 m³.

Le volume total considéré pour la simulation est un parallélépipède de 150 m de haut et de base carrée de 500 m de coté alors que la scène urbaine représente approximativement une surface de 10,1ha (340m * 300m).

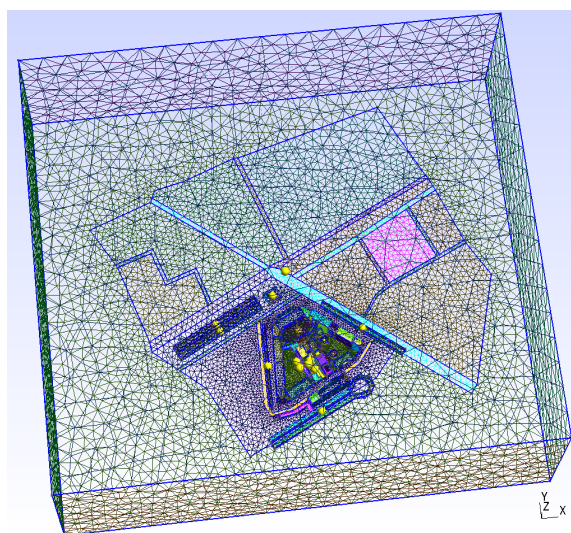


Figure 10 : Maillage surfacique de l'ensemble du quartier du groupe scolaire.

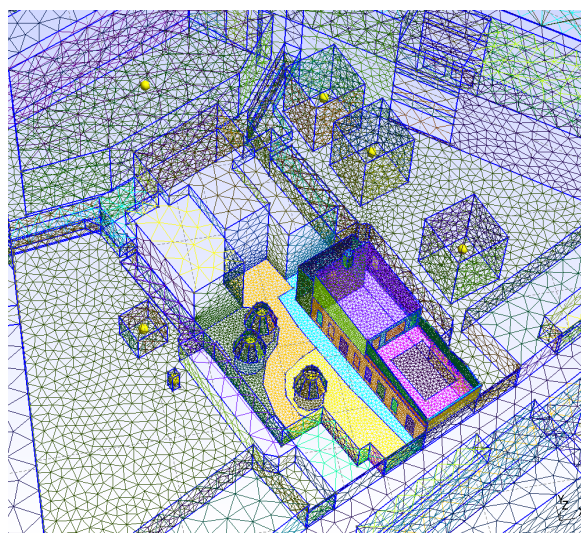


Figure 11 : Zoom sur le maillage surfacique du groupe scolaire.

4. Caractéristiques des matériaux

Chacune des surfaces de la scène urbaine se voit associer des propriétés thermiques et radiatives conformément aux informations contenues dans le rapport « bilan thermique E013 – Etudes RT 2012 – Ivry Levassor – Calculs Bbio pour dépôt de Permis de construire » et le rapport « Ivry Levassor – Rapport ACV systèmes constructifs – Eco-Etudes V1.1 ».

Les tableaux 1 à 4 présentent la composition des surfaces telles qu'elles ont été définies pour les simulations. Les tableaux 2 à 4 présentent à la fois la composition des surfaces pour le projet retenu mais également celle des surfaces d'un projet conventionnel.

Le tableau 5 présentent les caractéristiques thermiques des matériaux composant les surfaces telles que définies pour les simulations.

		Albédo	Transmittance	Composition de la surface	
				matériau	épaisseur (m)
Groupe solaire Existant	Réfectoires	0,5	0	béton	0,2
				laine de roche	0,1
	Parois	0,3	0	béton	0,2
Bâtiment Aile Ouest	Toit	0,3	0	béton	0,2
	Paroi	0,4	0	béton	0,2
	Vitrages	0,3	0,56	Verre	0,008
	Plancher intermédiaire	-	-	béton	0,3
	Plancher bas	-	-	béton	0,3
	Parois intérieures	-	-	béton	0,2
Sols	Cour maternelle Cours élémentaires Sols ext. au groupe scolaire	0,17	0	enrobe remblais	0,05 0,2
Espace tampon	Toit	0,4	0	Bois	0,1
	Paroi ouest	0,2	0,5	Verre	0,004
				Air	0,016
				Verre	0,004
				OSB	0,03
	Autres parois	0,2	0,64	Verre	0,004
				Air	0,016
				Verre	0,004

Tableau 1 : Composition des surfaces environnantes du projet.

		Albédo	Transmittance	Composition de la surface		Albédo	Composition de la surface		
				matériau	épaisseur (m)		matériau	épaisseur (m)	
		Projet réalisé				Bâtiment conventionnel			
Bâtiment Construit	Paroi	0,5	0	Placoplatre	0,02	0,3	Enduit minéral	0,015	
				Isopaille	0,36		Béton	0,28	
				Fibre Bois	0,04		Placoplatre	0,02	
				Contre plaqué	0,018				
	Toit Salle Classe	0,7	0	OSB	0,022	0,7	Béton	0,25	
				Carton IPAC	0,25		Laine de roche	0,25	
				Ouate Cellulose	0,04				
				Fibralth	0,5				
	Toit terrasse BDC sud	0,4	0	Placoplatre	0,02	0,2	Béton	0,25	
				Carton IPAC	0,15		Laine de roche	0,25	
				OSB	0,2				
				Billes Argile	0,122				
	Toit BDC sud (partie végétalisée)	0,4	0	Terre	0,3	0,4	Terre	0,3	
				Placoplatre	0,02		Béton	0,25	
				Carton IPAC	0,15		Laine de roche	0,25	
				OSB	0,2				
Billes Argile				0,122					

Tableau 2 : Composition des surfaces du projet retenu pour le bâtiment (1/2) et variante.

		Albédo	Transmittance	Composition de la surface		Albédo	Composition de la surface	
				matériau	épaisseur (m)		matériau	épaisseur (m)
		Projet réalisé						Bâtiment conventionnel
Bâtiment Construit	Vitrages étage	0,3	0,56	Verre	0,004	Sans modifications		
				Air	0,006			
				Verre	0,004			
				Argon	0,006			
				Verre	0,004			
	Vitrages Rdc	0,2	0,64	Verre	0,004	Sans modifications		
				Air	0,016			
				Verre	0,004			
	Plancher intermédiaire	-	-	Placoplatre	0,02	-	Chape ciment	0,05
				Carton IPAC	0,25		Béton	0,25
				OSB	0,022			
	Plancher bas	-	-	Placoplatre	0,02	-	Chape ciment	0,05
				Carton IPAC	0,25		Polyuréthane	0,07
				OSB	0,022			
	Parois intérieures	-	-	Billes Argile	0,04	-	Béton	0,25
				Placoplatre	0,02		Placoplatre	0,02
				Isopaille	0,36		Béton	0,2
				OSB	0,012			
				Terre Crue	0,09			

Tableau 3 : Composition des surfaces du projet retenu pour le bâtiment (2/2) et variante.

		Albédo	Transmittance	Composition de la surface		Albédo	Composition de la surface	
				matériau	épaisseur (m)		matériau	épaisseur (m)
		Cour OASIS				Cour Conventionnelle		
Cour	Permeaway	0,5	0	enrobe remblais	0,05 0,15	0,17	enrobe remblais	0,05 0,2
	Mélange Terre Pierre Semi	0,35	0	Terre	0,4			
	Contour bâtiment construit	0,4	0	Bois	0,35			
	Pied d'arbre	0,25	0	Terre	0,4			
	Végétation basse	0,25	0	Terre	0,4			

Tableau 4 : Composition des surfaces du projet retenu pour la cour Oasis et variante.

Matériau	Conductivité thermique (W/(m.K))	Capacité thermique (J/(kg.K))	Masse volumique (kg/m3)
Béton	1,65	1000	2150
Laine de roche	0,04	1000	30
Polyuréthane	0,022	1400	40
Chape ciment	2	830	2400
Enduit minéral	0,7	1000	1600
Terre	0,7	900	1600
Placoplatre	0,33	800	850
Carton IPAC	0,037	1550	143
OSB	0,13	1692	650
Billes d'argile	0,13	1500	650
Remblais	2	1045	1950
Enrobé	0,75	950	2100
Ouate de cellulose	0,045	1400	55
Fibralith	0,083	2090	406
IsoPaille	0,052	1400	100
Fibre de Bois	0,039	2000	55
Contre plaqué	0,11	1600	350
Terre crue	0,85	1000	2000
Argon	0,017	520	1,67
Verre	1	828	2500
Bois	0,14	1880	600

Tableau 5 : Caractéristiques thermiques des matériaux utilisés.

5. Données météo

Les données météo nécessaires pour les simulations sont de trois types : l'ensoleillement, la température de l'air et les caractéristiques du vent (vitesse et direction).

Les données d'ensoleillement sont issues des données Météonorm de la station météo Paris Orly (Figure 12). L'ensoleillement est maximal pour les journées du 17 et 18 juin, légèrement plus faible, mais reste élevé du 19 au 21 juin puis à nouveau quasi maximal le 22 juin. Cet ensoleillement élevé de manière durable est propice à une situation caniculaire où la chaleur s'accumule dans les diverses urbaines.

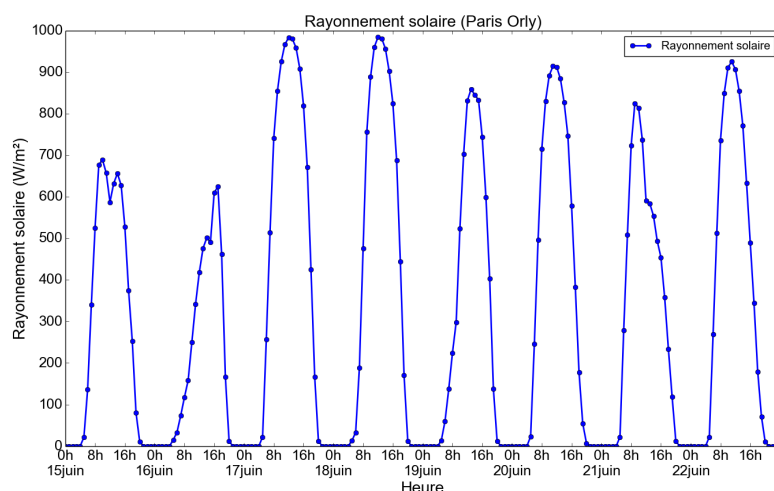


Figure 12 : Ensoleillement au cours de la semaine de simulation.

L'évolution temporelle de la température de l'air utilisée (Figure 13) est identique à celle utilisée pour les simulations thermiques dynamiques retenues. Il s'agit des données de température de la station météo Paris Montsouris. La température augmente progressivement au fil de la semaine pour atteindre son maximum le 19 juin (32°C). Malgré un ensoleillement fort sur l'ensemble de la fin de semaine, les 21 et 22 juin présentent des températures maximales moins élevées.

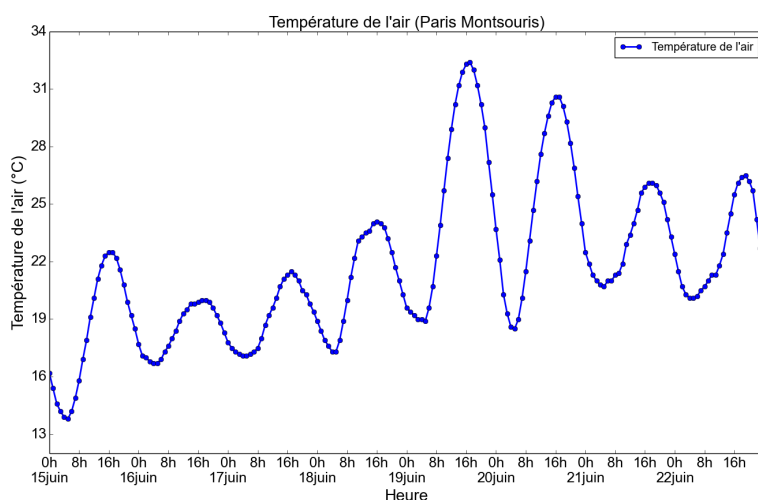


Figure 13 : Température de l'air au cours de la semaine de simulation.

Enfin les données de vent sont issues, comme l'ensoleillement, de la station météo Paris Orly. Au cours de la semaine, le vent vient majoritairement du Nord Est (Figure 14) avec plus de 60 % des vitesses comprises entre 3,6m/s et 6,7m/s. La vitesse moyenne sur l'ensemble de la semaine est de 3,9m/s.

Pour ces raisons, il est retenu pour les simulation de ne considérer qu'une direction principale pour la provenance du vent avec une vitesse de 3,9m/s.

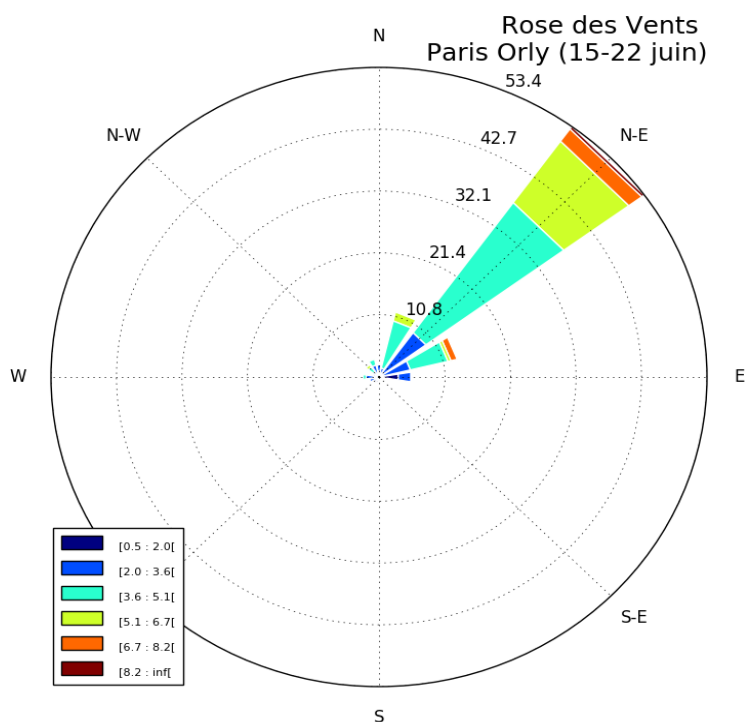


Figure 14 : Rose des vents au cours de la semaine de simulation.

III. Préambule aéraulique

La simulation de l'écoulement de vent sur le quartier (Figure 15) indique que les vitesses de vent sont relativement faibles sur toute la partie sud du groupe scolaire. Les vitesses d'air sont plus importantes au niveau de la rue Levassor du fait de l'accélération du vent sur le boulevard Masséna.

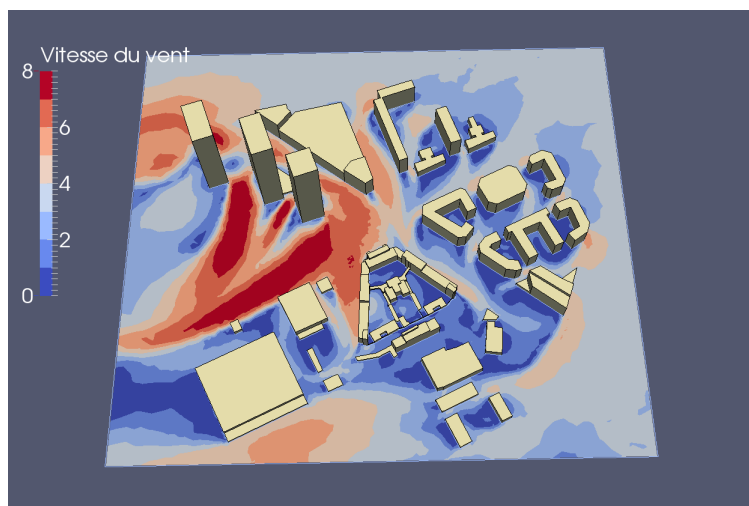


Figure 15 : Distribution des vitesses de vent sur le quartier du groupe scolaire.

Dans l'enceinte du groupe scolaire la vitesse du vent est encore plus faible (Figure 16). Elle ne dépasse 1m/s qu'à de rares endroits. C'est notamment le cas quelques mètres après l'entrée de l'actuel bâtiment dans le « couloir » entre les deux accès aux cours élémentaires. Les vitesses sont encore plus faibles et même quasi nulles à proximité de la façade ouest du bâtiment en projet ou juste devant l'entrée du bâtiment existant.

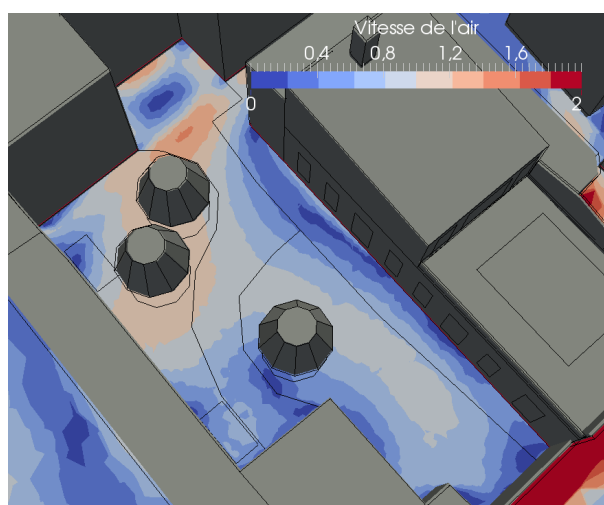


Figure 16 : Distribution des vitesses d'air dans la cour du bâtiment en projet.

L'observation des vecteurs vitesse (Figure 17) indique qu'il se produit une recirculation d'air juste devant l'entrée du bâtiment existant. Ceci est essentiellement dû à la forme de ce bâtiment. Une autre recirculation d'air plus importante existe aussi au centre de la cour et ramène l'air de la cour à proximité de la façade ouest du bâtiment en projet. Il est à noter que le « couloir » entre les deux passages vers les cours élémentaires est un endroit favorable à l'écoulement du vent. Il pourrait être probable que des courants d'air soient générés en cas d'ouverture simultanée de ces accès.

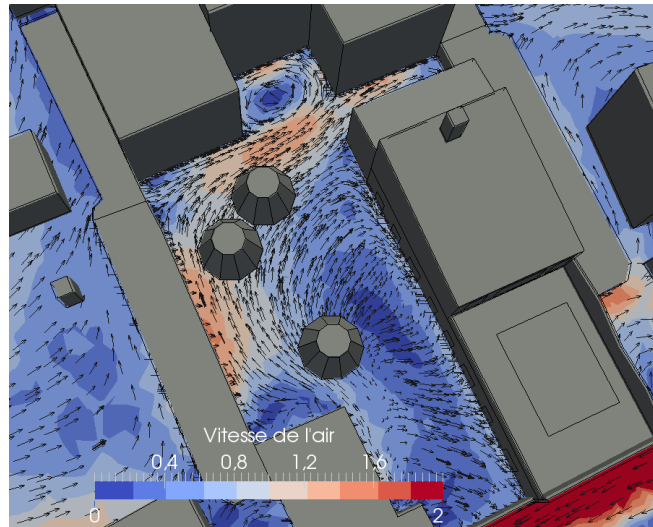


Figure 17 : Vecteurs vitesse de l'air dans la cour du bâtiment en projet.

L'analyse plus fine de la recirculation juste devant l'entrée du bâtiment existant via le tracé des lignes de courant (Figure 18) indique que l'écoulement d'air est particulièrement tridimensionnel : l'air arrive depuis le haut du bâtiment puis tourbillonne dans un plan quasi horizontal de très nombreuses fois avant de s'échapper de la zone de recirculation. Les masses d'air reste donc longtemps dans cet espace, et ce d'autant plus que les vitesses mises en jeu sont faibles.

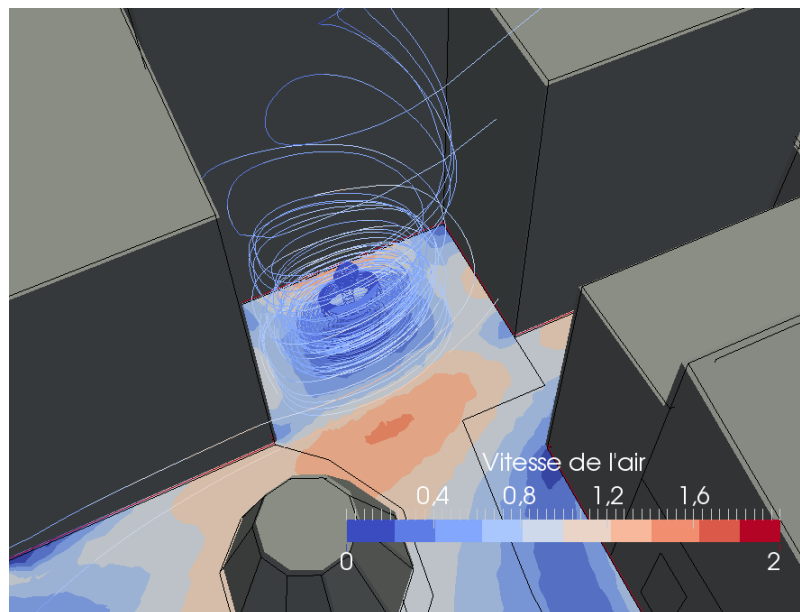


Figure 18 : Zoom sur les lignes de courant à proximité de l'entrée du bâtiment existant.

Le tracé d'autre lignes de courant (Figure 19) permet d'observer que l'air qui passe au milieu de la cour provient de l'avenue de la porte d'Ivry en passant succinctement parla rue Dieudonné Costes, puis par la terrasse à l'étage. L'air s'échappe ensuite sans avoir recirculé trop longtemps.

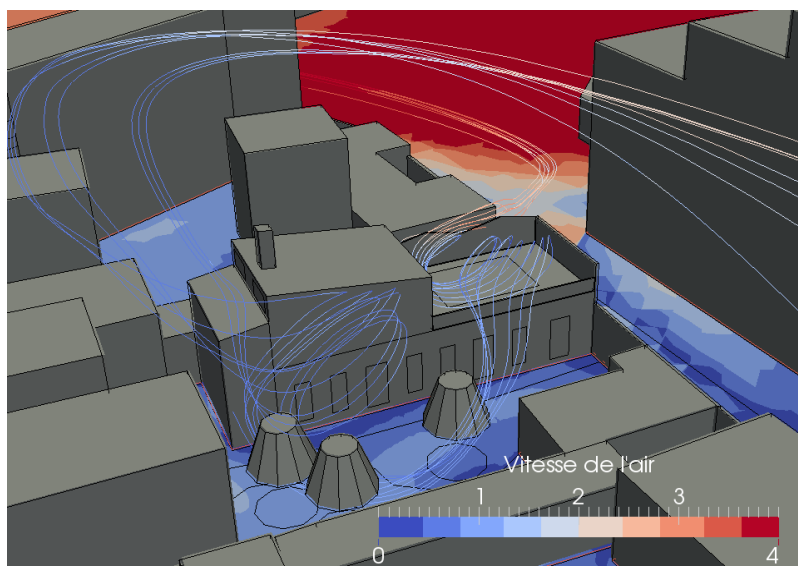


Figure 19 : Zoom sur les lignes de courant de l'air passant dans la cour.

IV. Étude de la cour oasis

Cette partie se focalise sur l'analyse de la cour Oasis en comparant le projet retenu avec :

- le même projet où une cour conventionnelle serait réalisée,
- le même projet où une cour conventionnelle serait réalisée et pour lequel le bâtiment conçu serait réalisé avec des matériaux conventionnels.

1. Température de l'air

La température de l'air est la plus élevée à 14h (heure solaire) dans la cour Oasis. La température (Figure 20) reste relativement fraîche dans la quasi totalité de la cour à l'exception deux endroits : à l'entrée de l'entrée du bâtiment existant et à proximité de la de la façade ouest du projet de bâtiment retenu. Il s'agit là de zones :

- où l'air est à la fois en contact avec le sol et les parois de bâtiments qui sont ensoleillées et donc chaudes.
- où les vitesses d'air sont relativement faibles. L'air reste plus longtemps en contact avec les surfaces chaudes.

L'air se charge donc d'autant plus en chaleur. Et ceci est encore plus le cas pour la zone à l'entrée du bâtiment existant puisque, comme exposé précédemment, la recirculation d'air à cet endroit amène l'air à y séjourner longtemps.

Pour essayer d'aller plus loin dans la minimisation de la contribution à l'îlot de chaleur de la cour, le plus efficace serait de réduire les causes du réchauffement de l'air à savoir éviter que les surfaces ne montent trop en température. Pour cela il peut être envisagé d'ombrager la zone à l'entrée du bâtiment existant. Pour la zone à proximité de la façade ouest du nouveau bâtiment, on rencontre les limites de l'utilisation du bois qui a une faible inertie et donc s'échauffe rapidement. L'ombrage de cette espace étant délicat sans réduire les apports solaire en hiver et en mi saison, le choix d'utiliser un bois plus clair peut être une solution envisageable ou à défaut, l'utilisation de l'eau pour rafraîchir la surface lorsque les températures sont élevées. Il faudrait, dans cette seconde hypothèse alors

retenir une faiblement consommatrice et au maximum ludique.

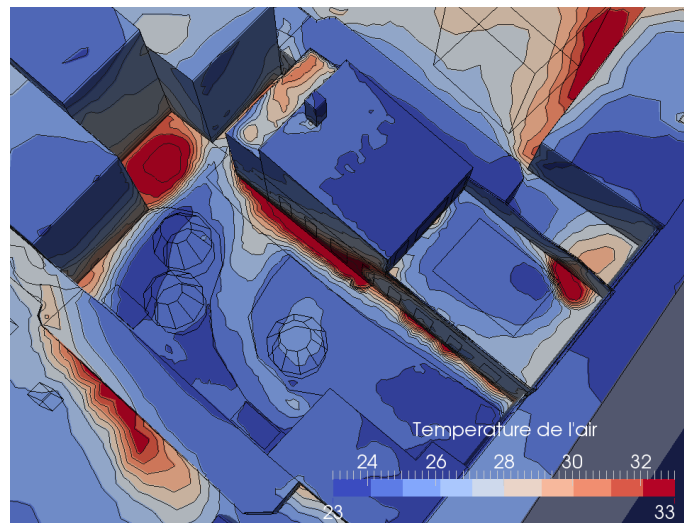


Figure 20 : Cartographie de la température de l'air à 14h (heure solaire) pour le projet retenu.

La différence de température engendrée par le fait de mettre en œuvre une cour Oasis (Figure 21) est sensible. Elle est néanmoins à pondérer par le fait que l'outil de simulation a tendance à sous estimer les mouvements ascendant de l'air chaud. Le niveau de températures à cet endroit, chaud, devrait être plus bas. Néanmoins même si le rafraîchissement serait en réalité d'une intensité moindre, les zones où le rafraîchissement est maximum seraient les mêmes. Il s'agit des endroits :

- où les températures sont les plus importantes et donc où le potentiel de rafraîchissement est maximal.
- où les surfaces ont été traitées afin d'en réduire la température.

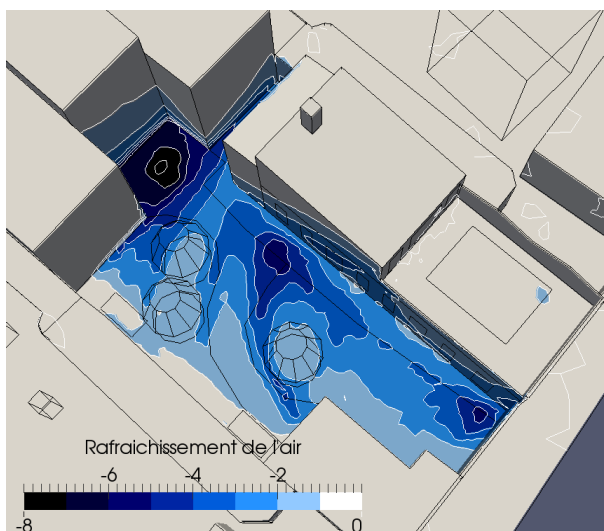


Figure 21 : Différence de température de l'air à 14h (heure solaire) entre la situation pour le projet retenu et la situation avec une cour conventionnelle.

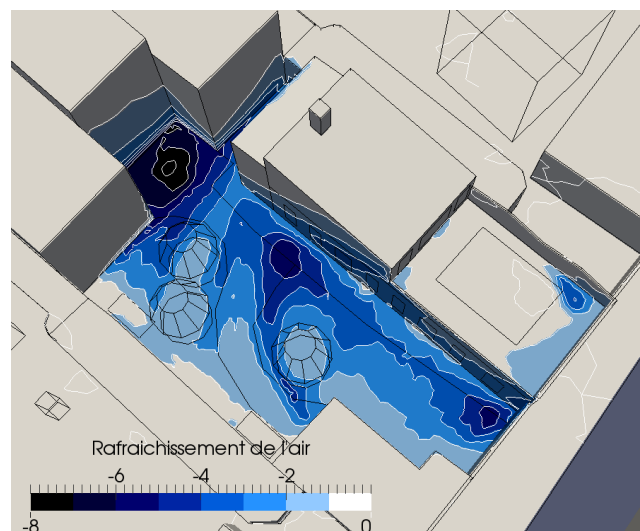


Figure 22 : Différence de température de l'air à 14h (heure solaire) entre la situation pour le projet retenu et la situation avec une cour conventionnelle et un bâtiment conventionnel.

Le fait de ne pas construire le bâtiment de manière conventionnelle n'a que très peu d'influence sur le rafraîchissement de la température d'air (Figure 22). On retrouve effectivement les mêmes résultats à l'exception :

- de la terrasse au 1^{er} étage où la dalle béton s'échauffe moins que le bois du fait de son inertie et donc réchauffe moins l'air.
- de la terrasse bois au Rdc qui reçoit moins d'ensoleillement (suites aux réflexions solaires sur la bâtiment qui présente un albédo plus faible) et donc augmente moins en température.

L'analyse de la distribution spatiale de la température de l'air à 14h étant limitante, l'évolution temporelle de la température de l'air moyenne dans la cour est également présentée. Celle ci s'accompagne la distribution autour de la moyenne en présentant les 10 % des espaces les plus chauds (9^e décile) et les 10 % moins chauds (1^{er} décile).

La moyenne de la température dans la cour Oasis pour le projet retenu (Figure 23) ne dépasse pas 27°C ce qui est que très légèrement supérieur à la température météo. La cour Oasis rempli donc globalement bien son rôle. Il existe néanmoins des points chauds tout au long de la journée et en particulier aux moments où l'ensoleillement est le plus fort. La nuit la variation spatiale de température est très faible.

La température moyenne de l'air dans la cour conventionnelle (Figure 24) est plus élevée et surtout présente une variabilité spatiale encore plus importante. C'est en particulier le cas à partir de 12h dès lors que la cours passe majoritairement au soleil. L'évolution temporelle de la température moyenne de l'air dans la cour pour la simulation considérant le bâtiment conventionnel (Figure 25) diffère très peu de celle sans cours Oasis seulement.

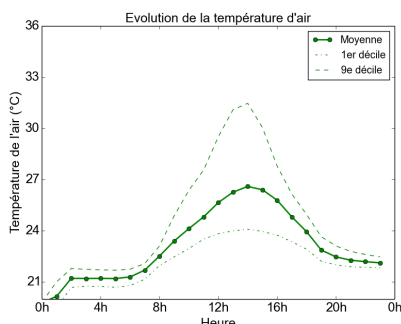


Figure 23 : Evolution de la moyenne de la température de l'air dans la cour Oasis pour le projet retenu.

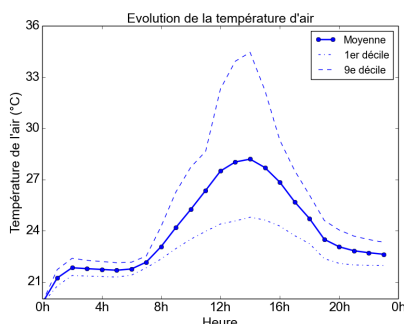


Figure 24 : Evolution de la moyenne de la température de l'air dans la cour Oasis pour le projet sans cour Oasis.

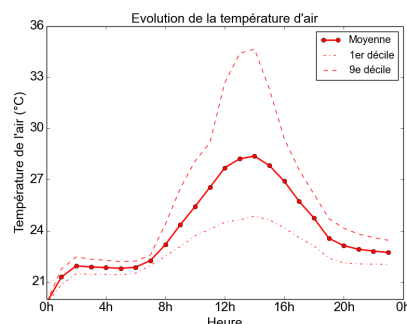


Figure 25 : Evolution de la moyenne de la température de l'air dans la cour Oasis sans cour Oasis et avec bâtiment conventionnel.

La Figure 26 présente la réduction de température induite par la cour Oasis et l'association « cour Oasis et bâtiment bois ». Le rafraîchissement nocturne est donc légèrement inférieur à 1°C. Il augmente en cours de journée pour atteindre 2°C au maximum. Le bâtiment du projet retenu est légèrement défavorable pour la température extérieure. La différence est cependant très réduite.

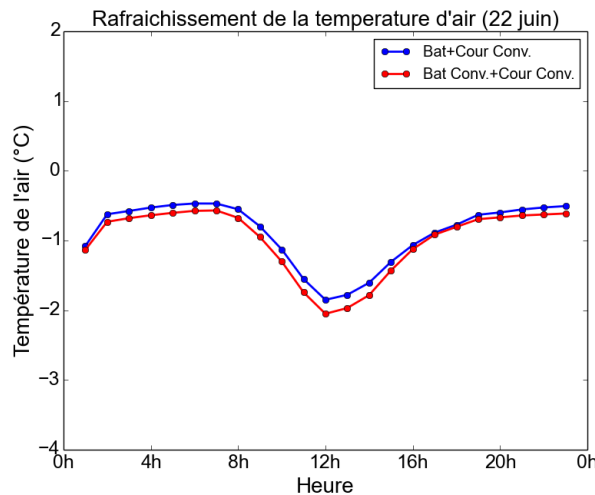


Figure 26 : Evolution temporelle de la différence de la moyenne de la température de l'air dans la cour Oasis par rapport au projet retenu.

2. Confort thermique

Le confort thermique est évalué dans la cour via l'évaluation de l'indice de confort UTCI (Universal Thermal Climate Index). Les résultats obtenus indiquent quel est le degré de stress ressenti selon la gamme de température dans laquelle les résultats figurent (Figure 27).

Échelle UTCI (°)	Niveau de stress
au-dessus de +46	Stress thermique extrême
+38 à +46	Stress thermique très élevé
+32 à +38	Stress thermique élevé
+26 à +32	Stress thermique modéré
+9 à +26	Pas de stress thermique

Figure 27 : Niveau de stress thermique en fonction de l'UTCI.

Tout comme pour la température de l'air, l'inconfort thermique dans la cour est le plus important entre 12h et 14h (heure solaire). A 14h, la cour Oasis présente des niveaux de stress thermiques élevés voire très élevés. C'est en particulier le cas au niveau de la terrasse bois qui entoure le bâtiment qui cumule les conditions défavorables : faibles vitesses de vent, proximité de surfaces à température élevées et surtout forte exposition au rayonnement direct. Le constat est le même au sud est de la terrasse à l'étage du bâtiment. La présence des arbres induit une zone autour d'eux dans laquelle le stress thermique n'est que modéré. Enfin les zones les plus à l'ouest de la cour sont à l'ombre du bâtiment de la cour maternelle adjacente si bien qu'il n'y a aucun stress thermique à ces endroits.

On observe donc que le rôle de l'ombre est largement prépondérante sur le confort vis à vis des autres paramètres climatiques. Essayer d'aller plus loin dans l'amélioration du confort dans la cour passerait donc par une recherche de plus grande surface ombragée pour être efficace et/ou d'une plus grande opacité du couvert végétal.

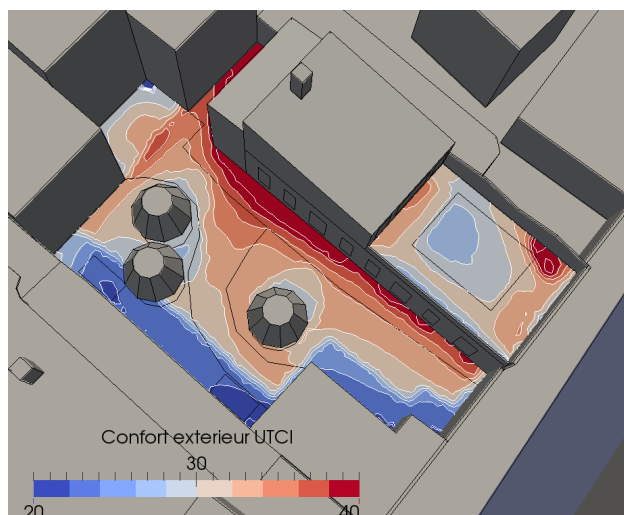


Figure 28 : Cartographie de l'UTCI à 14h (heure solaire) pour le projet retenu.

Néanmoins, l'effet de la cour Oasis est d'ores et déjà particulièrement sensible (Figure 29). L'amélioration du confort est la plus importante à l'entrée du bâtiment existant, même si cette amélioration est à pondérer par les petites limites de l'outil évoquées précédemment. Sur la terrasse à l'étage, le rafraîchissement est relativement peu conséquent et se cantonne au niveau du jardin pédagogique. Il est à noter que l'effet est quasi nul à proximité de la façade ouest du bâtiment en projet.

Le confort serait légèrement meilleur avec un bâtiment construit conventionnellement (Figure 30) et ce notamment au niveau de la terrasse au premier étage du bâtiment.

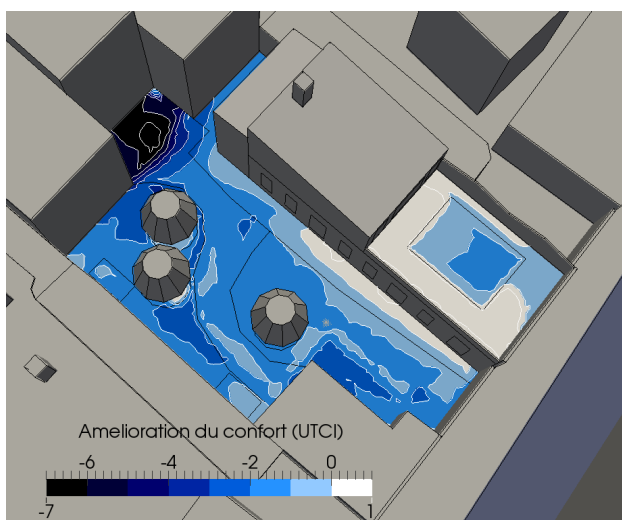


Figure 29 : Différence de l'UTCI à 14h (heure solaire) entre la situation pour le projet retenu et la situation avec une cour conventionnelle.

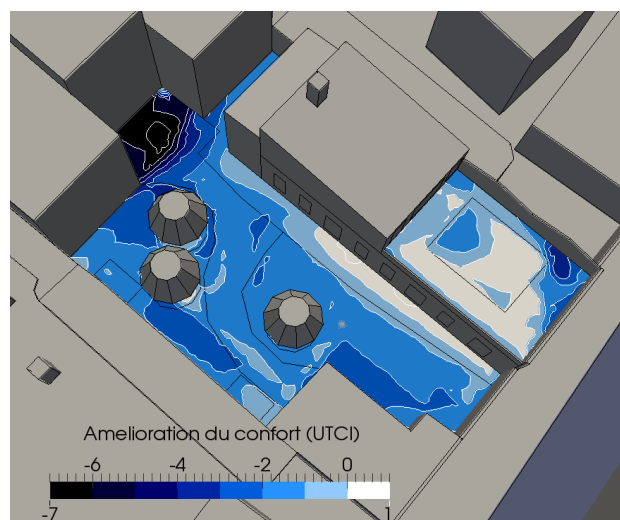


Figure 30 : Différence de l'UTCI à 14h (heure solaire) entre la situation pour le projet retenu et la situation avec une cour conventionnelle et un bâtiment conventionnel.

L'analyse de la distribution spatiale du confort à 14h étant limitante, l'évolution temporelle d'UTCI moyen dans la cour est également présentée. Celle-ci s'accompagne la distribution autour de la moyenne en présentant les 10 % des espaces les moins confortables (9^e décile) et les 10 % plus

confortables (1^{er} décile).

L'UTCI moyen présent aucun inconfort dans la cour Oasis (Figure 31) jusqu'à 10h environ. Le stress est alors modéré et ne sera élevé qu'entre 12h et 14h. Néanmoins durant ce créneau horaire, il existe toujours dans la cour une zone où le stress thermique reste modéré. La problématique du confort est donc la plus prégnante vers 11h où il y a quasiment aucune zone sans inconfort.

Les évolutions temporelles de l'UTCI moyen pour les autres configurations simulées (Figures 32 et 33) sont très similaires à celle pour le projet retenu avec des niveaux d'inconfort plus élevés. La principale différence concerne le 1^{er} décile entre 12h et 14h où la variabilité spatiale autour de la moyenne est plus importante pour la cour Oasis : en plus d'abaisser le niveau moyen d'inconfort, la quantité de surface sans inconfort est plus importante.

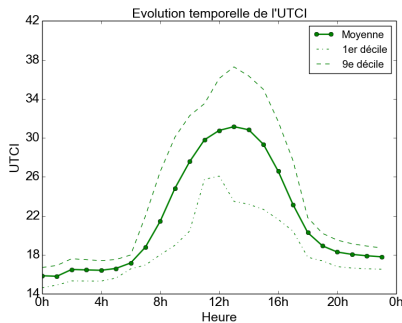


Figure 31 : Evolution de la moyenne de l'UTCI dans la cour Oasis pour le projet retenu.

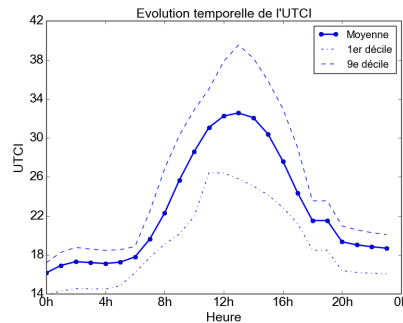


Figure 32 : Evolution de la moyenne de l'UTCI dans la cour Oasis pour le projet sans cour Oasis.

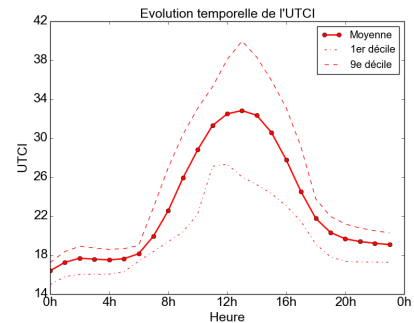


Figure 33 : Evolution de la moyenne de l'UTCI dans la cour Oasis sans cour Oasis et avec bâtiment conventionnel.

L'évolution temporelle du gain engendré par le projet retenu est illustré par la Figure 34. La cour Oasis améliore de 1°C environ sur l'échelle UTCI le confort. Un peu moins d'1°C la nuit et jusqu'à 1,5°C le jour. La détérioration du confort lié au mode de construction du bâtiment est plus sensible pour le confort qu'elle ne l'était pour la température de l'air.

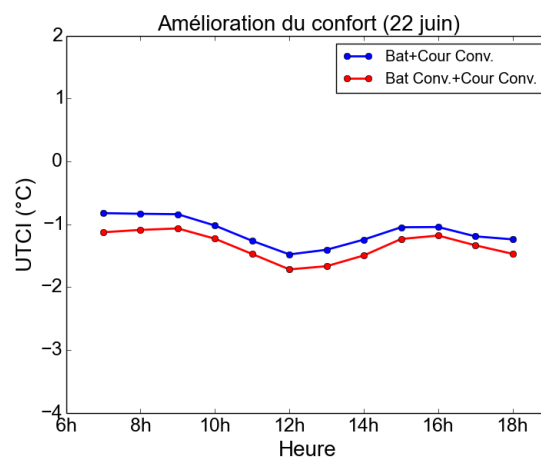


Figure 34 : Evolution temporelle de la différence de l'UTCI moyen dans la cour Oasis par rapport au projet retenu.

V. Étude du comportement thermique du bâtiment

Cette partie se focalise sur l'analyse du bâtiment en projet en comparant le projet retenu avec :

- le même projet où une cour conventionnelle serait réalisée,
- le même projet où une cour conventionnelle serait réalisée et pour lequel le bâtiment conçu serait réalisé avec des matériaux conventionnels.

1. Comportement thermique du bâtiment

La température dans le bâtiment au cours du 21 juin présente des niveaux élevés et ce même la nuit où la température reste élevée. Pour les 3 configurations simulées (Figure 35), il y a deux tendances bien distinctes : celles des deux configurations pour le bâtiment en projet et celle pour le bâtiment conventionnel.

Le bâtiment conventionnel est présente pour son rez de chaussée des températures plus élevées durant la nuit mais monte moins rapidement en température durant la journée si bien qu'il reste plus frais entre 10h et 17h. Ceci est principalement du à l'inertie plus importante du bâtiment conventionnel. Pour le 1^{er} étage (Figure 36), on observe également l'effet de la plus forte inertie du bâtiment conventionnel, l'amplitude de la variation de la est en effet plus faible que pour le bâtiment en projet. Néanmoins le niveau de température étant plus élevé pour le bâtiment conventionnel, le 1^{er} étage demeure quasiment toujours plus chaud.

De part son inertie plus faible, le bâtiment en projet est d'autant plus sensible aux apports solaires. Ces apports solaires se retranscrivent plus rapidement en une augmentation de température. Le rez de chaussée captant plus d'apports solaires du fait du taux de vitrage plus important, les niveaux de température y sont plus élevés.

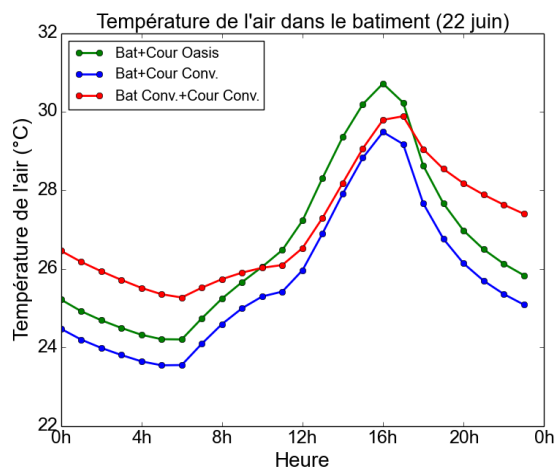


Figure 35 : Evolution temporelle de la température au rez de chaussée pour les trois configurations simulées.

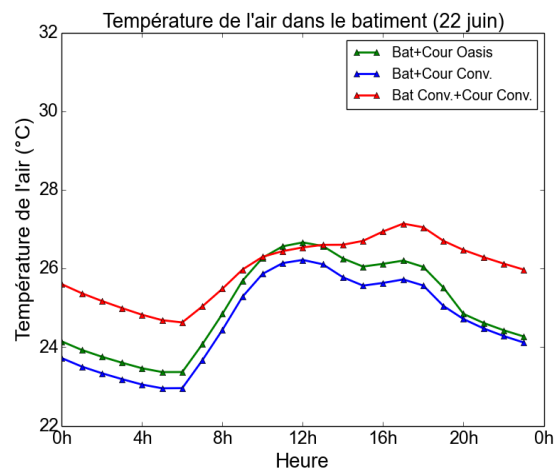


Figure 36 : Evolution temporelle de la température au premier étage pour les trois configurations simulées.

Si on s'attarde sur la comparaison entre les deux configurations considérant le bâtiment en projet, on constate que la température est plus élevée lorsque la cour Oasis est mise en œuvre. Cela s'explique par des apports solaires plus importants dans la situation où la cour est végétalisée et la terrasse en bois du fait des albédos plus importants de ces surfaces.

Une solution pour limiter l'inconfort à l'échelle de la journée serait donc d'augmenter encore l'inertie du bâtiment en projet.

2. Évaluation du confort dans le bâtiment.

Le confort est évalué dans le bâtiment via l'évaluation de la température opérative qui est la moyenne entre la température de l'air et la température des parois. L'évolution de la température opérative au rez de chaussée (Figure 37) et au 1^{er} étage (Figure 38) est parfaitement similaire à celle de la température de l'air. Il est juste à noter que les niveaux de température opérative est légèrement supérieure à ceux de la température opérative, ce qui illustre donc des températures de surface supérieures à celle de l'air.

L'analyse à réaliser n'apporte donc aucune information supplémentaire que celle réalisée pour la température de l'air.

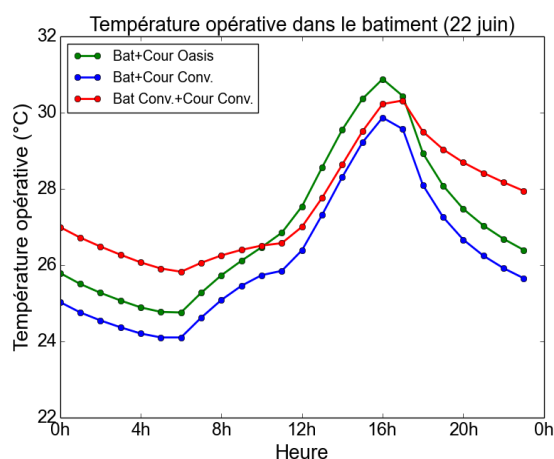


Figure 37 : Evolution temporelle de la température au rez de chaussée pour les trois configurations simulées.

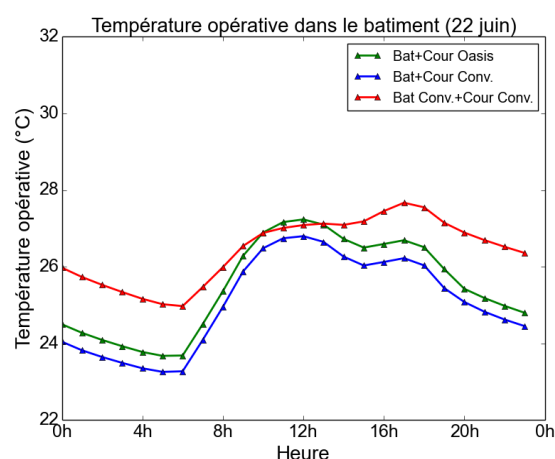


Figure 38 : Evolution temporelle de la température au premier étage pour les trois configurations simulées.

Puis que les évolutions de la température de l'air et de la température opérative sont extrêmement similaires seules sera considérée cette dernière dans la partie qui suit.

3. Amélioration du confort

Le confort dans la bâtiment peut être amélioré de deux manières par la cours oasis. En premier lieu via la température de l'air plus faible et en second lieu par les échanges par rayonnement infrarouge des surfaces plus fraîches. En revanche, il peut être dégradé du fait des apports solaires plus importants lorsque l'albédo des surfaces extérieures augmente.

La mise en œuvre de la cour Oasis contribue à réduire les conditions de confort dans le bâtiment (Figure 39) de 0,4°C pour l'étage, et entre 0,6 et 1,3°C pour le rez de chaussée selon le moment de la journée. Cela signifie que la contribution de l'augmentation de l'albédo extérieur est prépondérante face à celle de la réduction de température extérieur ou celle des échanges infrarouges. Cela est parfaitement logique compte tenu du fort taux d'isolation du bâtiment.

Le bâtiment en structure bois (Figure 40) permet une amélioration du confort par rapport au bâtiment conventionnel pour l'étage durant quasiment toute la journée et durant la nuit pour le rez de chaussée. En journée en revanche le inconfort est plus important. Ici les explications ne sont pas à trouver au niveau de l'analyse à l'échelle de la journée. En effet, la cause est ici aussi l'inertie du bâtiment. Au fur et mesure des journées chaudes et ensoleillées, le bâtiment conventionnel, plus inerte, s'élève moins en température pour ce qui concerne l'air mais stocke une partie de la chaleur

dans ses parois. Chaque matin, le bâtiment conventionnel recommence donc la journée avec un niveau de température plus élevé. La nuit l'inconfort y est donc supérieur mais durant la journée, du fait de la forte amplitude de variation de température dans le bâtiment en structure bois, la tendance s'inverse.

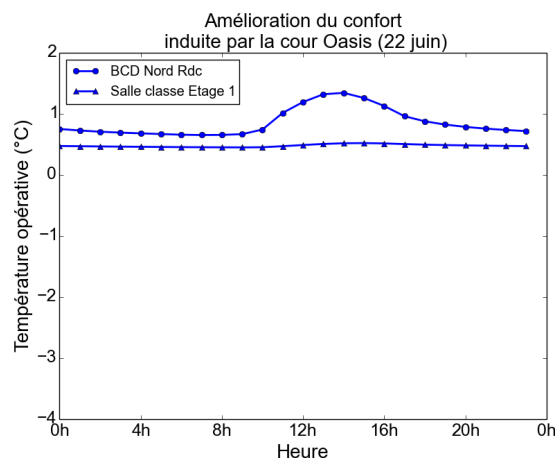


Figure 39 : Evolution temporelle la modification du confort induite par la cour Oasis.

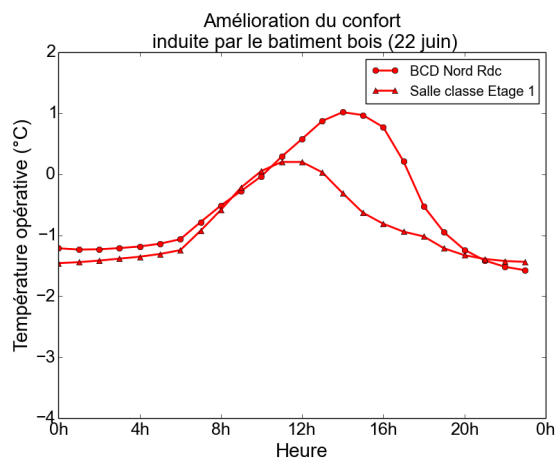


Figure 40 : Evolution temporelle la modification du confort induite le bâtiment bois

Il faut donc bien noter qu'une situation de canicule plus longue conduirait à une situation d'autant plus défavorable pour le bâtiment conventionnel que la canicule dure. Mais aussi que une fois, la période de canicule passée, ce bâtiment conventionnel mettrait plus de temps à revenir à un état confortable.

L'augmentation de l'inertie du bâtiment en structure bois est donc un avantage à court terme afin de limiter les surchauffes à l'échelle de la journée mais un inconvénient sur des période de canicules plus longues, ce qui correspond aux tendances attendues du fait du changement climatique en cours.

VI. Autres éléments investigués

On profite des démarches entreprises pour la réalisation des simulations pour investiguer quelques problématiques supplémentaires :

- le comportement des salles de classe de l'aile ouest,
- l'ombre portée des arbres de la cour sur la façade ouest du bâtiment en projet,
- le potentiel de ventilation naturelle pour le bâtiment en projet.

1. Comportement thermique des salles de classe de « l'aile ouest »

Le bâtiment de l'aile ouest est très peu isolé assez fortement vitré. Il est donc assez fortement sujet aux surchauffes dès lors que l'ensoleillement (Figure 41). Cela se confirme avec des températures assez élevées même la nuit, notamment pour le rez de chaussée et le 1^{er} étage. Le 2^e étage est plus frais la nuit mais s'échauffe beaucoup plus durant la journée pour atteindre des températures très élevées.

L'évolution temporelle du confort dans le bâtiment est très similaire à celle de la température (Figure 42).

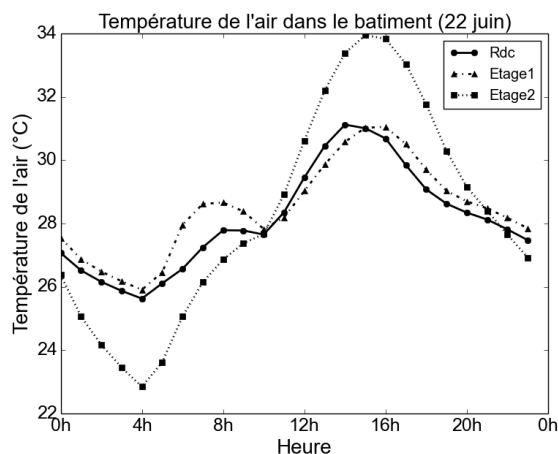


Figure 41 : Evolution temporelle la température d'air dans l'aile ouest du groupe scolaire existant.

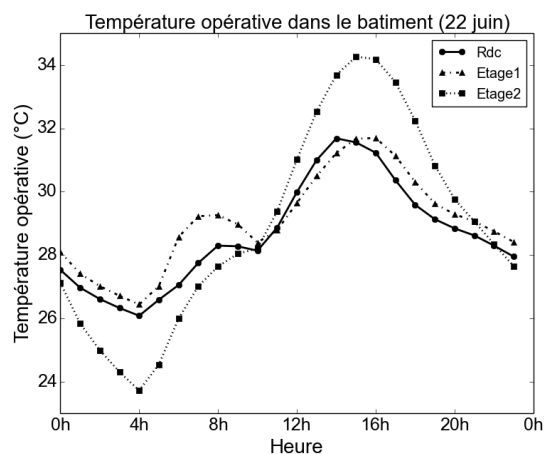


Figure 42 : Evolution temporelle la température opérative dans l'aile ouest du groupe scolaire existant.

Les solutions pour réduire l'inconfort dans le bâtiment consistent prioritairement à limiter les apports solaires et ce en 1^{er} lieu pour le 2^e étage du bâtiment. En effet ce dernier étage n'est ombragé par les arbres ni le matin, ni en fin de journée contrairement au rez de chaussée et au 1^{er} étage.

Même si le bâtiment est peu isolé, et donc les flux de chaleur à travers les parois potentiellement importants, le ravalement des façades avec un matériau plus clair n'aurait qu'une influence limitée puisque la façade est fortement vitrée.

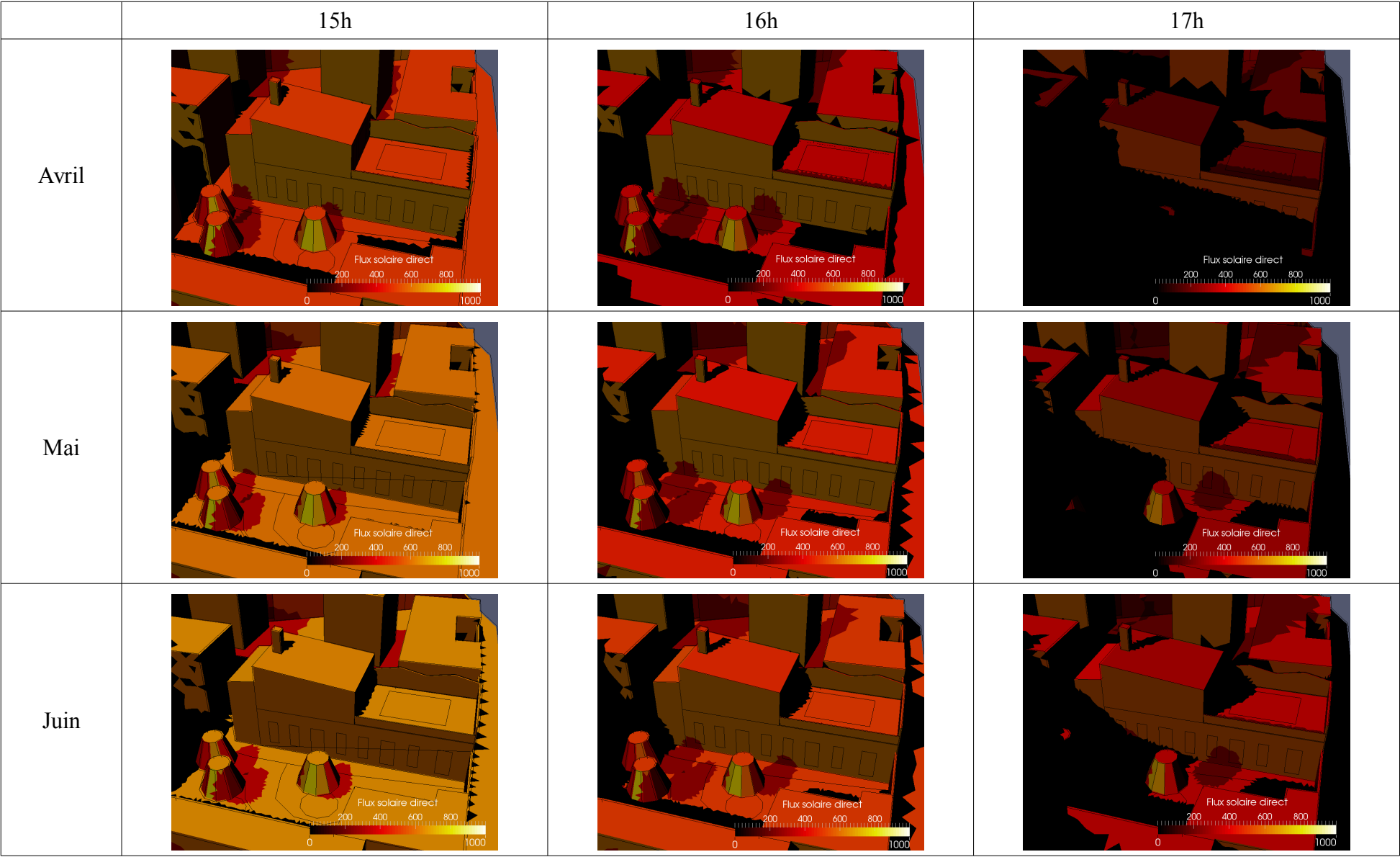
Les résultats produits ici, et les niveaux de température présentés sont à considérer avec quelques réserves compte tenu du fait qu'aucune ventilation via l'ouverture des fenêtres n'est considérée dans les calculs alors que les usagers les ouvriraient assurément dans ces conditions climatiques.

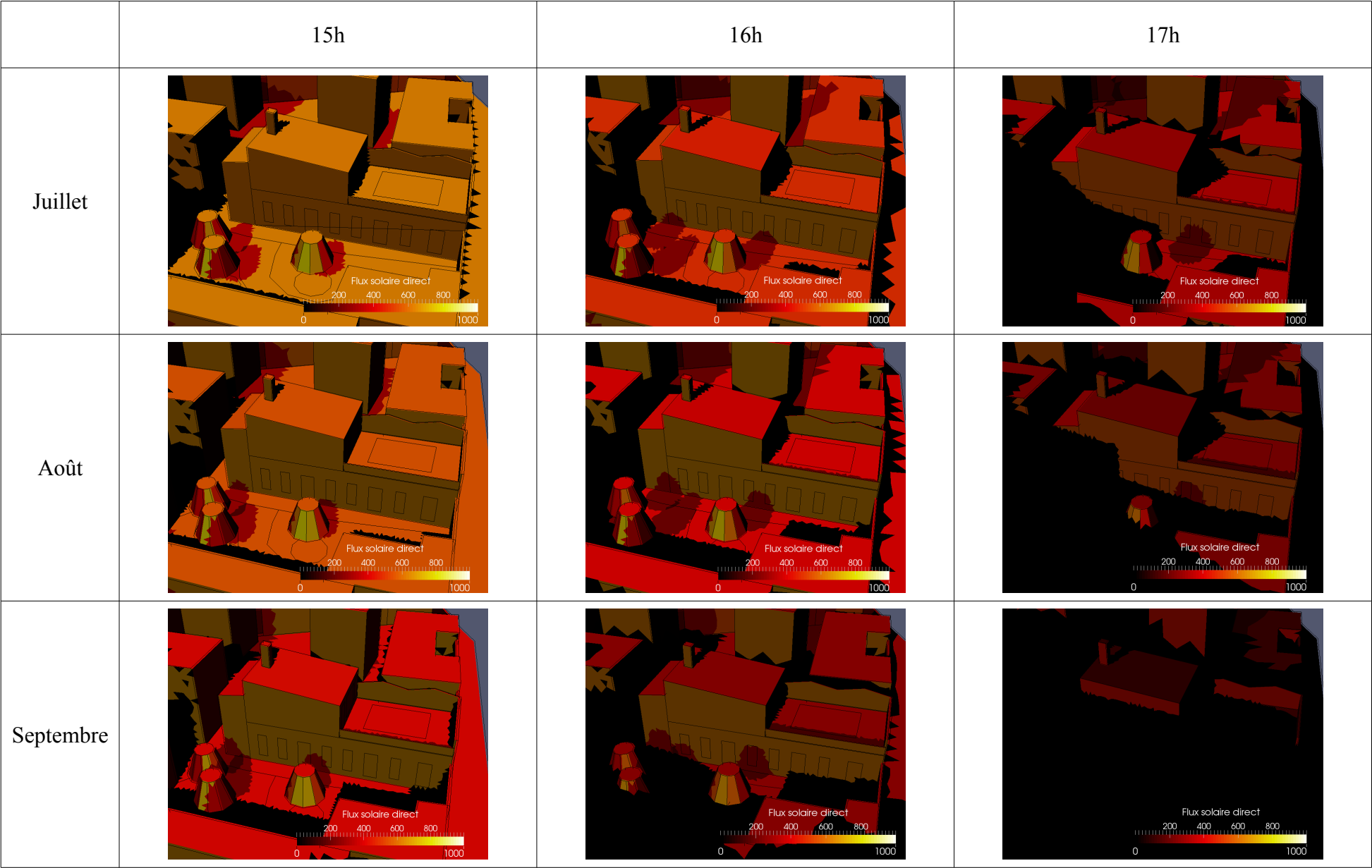
2. Capacité des arbres à limiter la surchauffe estivale

L'influence des arbres de la cour oasis est observée via notamment le passage de l'ombre sur la façade ouest du bâtiment en projet.

Les tableaux des pages suivantes présentent les résultats.

En avril, seul l'arbre le plus central dans la cour prodigue de l'ombre mais cela seulement pendant une heure avant que le bâtiment que l'aile est du groupe scolaire plonge le rez de chaussée de la façade du bâtiment en projet dans l'ombre. Le constat est le même pour les mois suivant avec un léger décalage dans le temps. On retrouve en août une situation similaire à celle de mai et en septembre : on assiste à la situation où les arbres font le plus d'ombre sur les façades.





Afin de pouvoir améliorer la situation il faut noter tout d'abord que la moitié des fenêtres les plus au nord plongent en premier dans l'ombre du bâtiment de l'aile est. La priorité serait donc de déplacer les arbres vers le sud de la cour. En second lieu, il faudrait essayer de les rapprocher également du bâtiment et où d'envisager des arbres qui peuvent être plus hauts.

3. Éléments aérauliques pour la ventilation naturelle

Un système de ventilation naturelle est prévu à l'étage afin d'assurer le renouvellement d'air. On profite des simulations numériques réalisées afin de donner des éléments concernant le potentiel de ventilation naturelle. Le tracé du champ de pression de l'air (Figure 43) indique qu'il y a une faible différence de pression (3 à 4 Pa environ) entre les fenêtres pariéto dynamiques à l'étage (façade sud) et la cheminée dédiée à la ventilation naturelle. Cette différence de pression n'est liée, pour les calculs réalisés, qu'aux variations de pression découlant de l'écoulement de l'air autour des bâtiments.

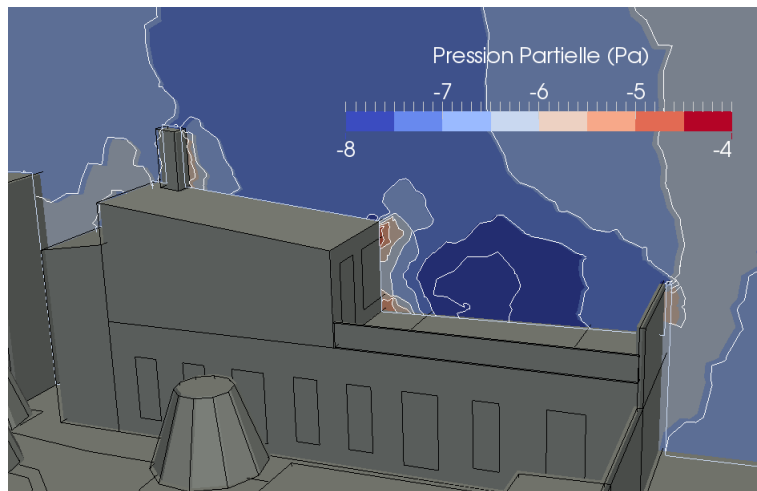


Figure 41 : Evolution temporelle la température d'air dans l'aile ouest du groupe scolaire existant.

Il faut cependant noter que le processus de ventilation naturelle dépend également de la différence de température. Évidemment cette différence de température n'est pas la même selon le moment de la journée. A 14h (Figure 42), bien que des gradients de températures existent, la différence entre la température de l'air au niveau des fenêtres pariéto dynamique et celle au niveau de la sortie de la cheminée est de 0,5°C maximum. A 23h, les gradients de températures sont plus faibles et la différence de température entre les fenestre et la cheminée est quasiment nulle.

Ces éléments sont données pour indications au cas où ils pourraient servir pour les spécialistes de la ventilation naturelle. Les calculs réalisés ne considèrent pas les mouvement de l'air liés à la différence de densité de l'air (avec la température), les informations sont donc partielles. Elles peuvent néanmoins servir à initier des échanges afin d'aller plus loin à l'avenir pour ce genre d'investigation.

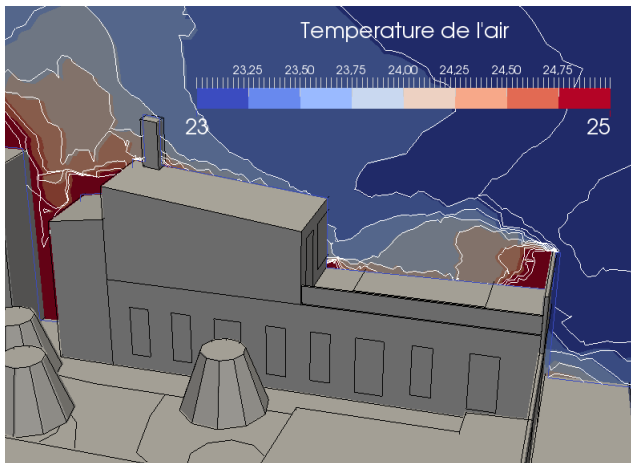


Figure 42 : Distribution de la température d'air à 14h sur une coupe longitudinale du bâtiment incluant la cheminée de ventilation naturelle.

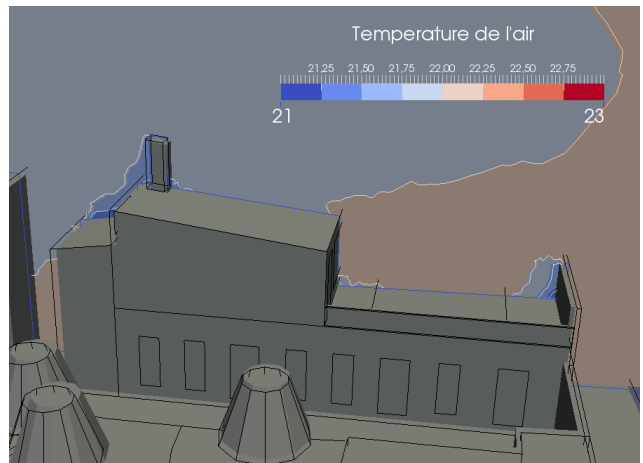


Figure 43 : Distribution de la température d'air à 23h sur une coupe longitudinale du bâtiment incluant la cheminée de ventilation naturelle.