
Reconstruction de la crèche du Parc de la Cloche à Orly (94)

Département du Val de Marne

Phase APD

Simulation thermique dynamique

Version / Date	Version 1.2 du 13/03/2018 Rapport Final
Auteur et contact	Lauriane Montaud – 01 41 32 22 11 – lauriane.montaud@amoès.com
Validé par	FLB
Diffusion	MOA : Mme Céline Marchand - Celine.marchand@valdemarne.fr Service Energie: M Jean Chaumont - jean.chaumont@valdemarne.fr Architecte: Mme Isabelle Méhauté - Isabelle.mehaute@valdemarne.fr
©2017, Amoès SCOP. Toute utilisation, reproduction intégrale ou partielle, ou transmission par voie informatique du présent document, ne doit se faire sans le consentement écrit et préalable d'Amoès.	

Sommaire

1 Objectifs et Synthèse	3
1.1 Objectifs	3
1.2 Résultats	3
1.3 Préconisations	3
2 Modélisation et hypothèses	8
2.1 Documents et logiciels utilisés	8
2.2 Localisation et zonage du bâtiment	8
2.3 Environnement	12
2.4 Enveloppe	13
2.5 Inertie	16
2.6 Apports internes	16
2.7 Scenarii d'occupation	18
2.8 Systèmes	20
3 Résultats : besoins de chauffage	22
3.1 Cas de base	22
3.2 Cas de base : mise à jour des calculs	24
3.3 Variante 1 : Impact de la température de consigne	25
3.4 Variante 2 : Impact de l'étanchéité à l'air	25
4 Résultats : confort d'été	26
4.1 Synthèse des résultats des vitrages	27
4.2 Cas de base estival : conditions météorologiques période 2000-2009	29
4.3 Variante 1 : conditions météorologiques type « horizon 2030 »	33
4.4 Variante 2 : conditions météorologiques type « horizon 2030 été chaud »	37

1 | Objectifs et Synthèse

1.1 | Objectifs

Les exigences énergétiques pour la phase APD fixées lors de la réunion AMO-MOA en phase APS, sont les suivantes :

- Des besoins de chauffage inférieurs à 30 kWh/m²
- Une température opérative supérieure à 28°C moins de 1% par an en période d'occupation sans rafraîchissement actif pour le confort d'été

Note : La surface de référence est ici la surface de plancher, qui correspond par ailleurs à la surface dans l'enveloppe isolée et vaut 1 623 m².

L'objectif des simulations thermiques dynamiques (STD) présentées dans ce rapport est triple :

- Conforter les choix de conception effectués en phase APS vis-à-vis des objectifs :
 - des parois très isolées : coefficient de déperdition inférieur à 0,15 W/K/m² pour les parois neuves, 0,5 W/K/m² pour les parois conservées
 - des menuiseries double vitrage argon à faible émissivité, $U_w \leq 1,4$ W/K/m²
 - une structure mixte bois et béton avec une dominance pour le bois et donc une faible inertie
 - des occultations extérieures mobiles sur toutes les menuiseries
 - le maintien d'une surface vitrée relativement élevée sur certaines façades mais qui contribue à un éclairage naturel important source de confort pour les usagers
- Evaluer les paramètres constructifs ayant une influence notable sur les résultats : type de vitrage, étanchéité à l'air...
- Etudier le bâtiment pour une météo attendue dans un futur proche prenant en compte le réchauffement climatique (météo horizon 2030 et horizon 2030 été chaud).

1.2 | Résultats

Les besoins de chauffage s'élèvent à 25kWh/m²/an pour une température de consigne à 21°C et un réduit de nuit à 18°C. Il est cependant important de noter que cette valeur a été sous-estimée (les masques solaires induit par les encadrements des menuiseries ont été négligés, voir §2.3.2 | , il y a donc, en réalité, des apports solaires moins importants), mais qu'elle reste en-deçà de la limite fixée de 30 kWh/m²/an (valeur estimée à 29 kWh/m²/an).

Dans les conditions météorologiques actuelles et celles en prévisions pour 2030, les premiers calculs montrent que les objectifs de confort d'été du cahier des charges sont atteints. Les températures d'été sont maintenues en-deçà de 28°C à l'exception de 1% du temps d'occupation grâce à une ventilation nocturne, mécanique pour les zones courantes et naturelle pour la zone 5, et à des protections solaires extérieures mobiles permettant d'occulter jusqu'à 80% du vitrage pour les zones les plus sensibles. Pour ce qui est de la zone 2, les objectifs de confort d'été ne peuvent pas être atteints dans les conditions architecturales actuelles.

En cas de fortes chaleurs (type canicule, 'fichier météo horizon 2030 été chaud'), la mise en place d'un rafraîchissement adiabatique est indispensable pour éviter les surchauffes et atteindre l'objectif de confort d'été.

1.3 | Préconisations

Les points de vigilance à prendre en compte en phase APD sont résumés dans le tableau ci-dessous. La fin du tableau concerne les usages du bâtiment et seront intégrés dans le guide à destination des occupants fourni à la réception.

Poste	Préconisations	Remarques
MOE – architecture		
Isolation des parois opaques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Façade béton : laine de verre 50mm + polystyrène 200 mm ▪ Façade bois : ossature bois laine de verre 50 mm + 200 mm ▪ Toiture terrasse béton : Polystyrène extrudé 200 mm ▪ Toiture terrasse bois : Laine de verre 50 mm + mousse rigide de polyuréthane 120 mm ▪ Toiture sous comble : laine de verre 300 mm ▪ Toiture inclinée : laine de verre 300 mm ▪ Façade Pierre Foreau : Laine minérale 100mm ▪ Plancher bas : dalle de polyuréthane 80mm + Polystyrène extrudé 160 mm ▪ Plancher bas Foreau : laine de roche 125 mm 	<p>Les hypothèses détaillées font déjà l'objet d'un document à part « Hypothèses constructives » qui sert de document de référence pour la conception et dans les pièces marché.</p> <p>Il permet de simplifier les échanges au sein de l'équipe de MOE, de faciliter la lecture pour les entreprises qui n'ont pas ainsi à chercher les informations dans le calcul RT ou les CCTP architecte et de simplifier le suivi de chantier.</p>
Menuiseries	<p>Menuiseries en bois/alu avec double vitrage dont les caractéristiques sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vitrage $U_g \leq 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. ▪ Facteur de transmission lumineuse: $TL \geq 70\%$ ▪ Facteur solaire $g \geq 0,63$ ▪ Menuiserie complète $U_w \leq 1,4 \text{ W/K/m}^2$ <p>L'espace de circulation entièrement vitré derrière le bâtiment Foreau existante ne répond pas aux critères de confort d'été. En effet, dans de telles conditions architecturales, les températures dépassent 28°C plus de 50% du temps d'occupation et cela dans les conditions météorologiques les plus favorables. Ce n'est donc pas acceptable, même pour une zone de circulation. Le vitrage en toiture ne peut être conservé.</p> <p>La surface vitrée de la circulation entre la crèche des moyens et la crèche des grands (espace vitré entre sud et nord) doit être inférieure ou égale à 60% de la surface des murs extérieurs afin de respecter les critères de confort d'été.</p>	<p>Le triple vitrage n'est pas indispensable sur ce projet malgré les surfaces vitrées importantes sur certaines parois. Il est en effet compensé par une très bonne isolation des parois opaques et une bonne étanchéité à l'air.</p>

<p>Etanchéité à l'air</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ $n_{50} \leq 1$ vol/h ▪ menuiseries de classe A4 ▪ produits spécifiques pour traiter la continuité de la barrière étanche à l'air 	<p>La barrière étanche à l'air du bâtiment devra être précisée et détaillée (carnet de détails, descriptif de produits adaptés).</p> <p>Le béton est un matériau étanche à l'air par conséquent les parties courantes des façades béton du bâtiment ne posent pas de souci particulier.</p> <p>En revanche, il faudra traiter les parois bois, toutes les liaisons et percements de l'enveloppe, en particulier :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ les façades bois par une membrane frein-vapeur dont les lés sont bien jointés entre eux ▪ la liaison entre dormant des menuiseries et mur (par exemple à l'aide d'un scotch d'étanchéité ou d'un joint mousse). ▪ La liaison entre la paroi bois et la paroi béton ▪ Entre les murs et la toiture ▪ toutes les percées de l'enveloppe du bâtiment par les fourreaux et conduits (chauffage, ventilation, plomberie, électricité, EP) par des manchettes étanches <p>Les menuiseries seront de classe A4 et par conséquent étanches à l'air.</p>
<p>Protections solaires</p>	<p>Des occultations extérieures devront être prévues sur tous les vitrages. Ce n'est pas le cas aujourd'hui et sans cela les critères de confort d'été ne sont pas respectés.</p> <p>Les stores à lamelles orientables ou textile extérieurs devront permettre d'occulter jusqu'à 70% des rayons solaires en été sur les zones sensibles (circulation vitrée entre bâtiment sud et bâtiment nord et salle de vie 2 au R+1 du bâtiment Nord) et jusqu'à 50% sur les zones courantes.</p>	<p>Les protections prévues conviennent mais ne suffisent pas. Elles doivent être améliorées ou complétées suivant le tableau présenté au § 4.1 </p>
<p>Ventilation naturelle</p>	<p>Une ventilation naturelle nocturne est obligatoire pour les espaces de circulation vitrés (Z2 et Z5 définies dans la suite du rapport), contrairement à ce qui est prévu actuellement au projet.</p> <p>Pour obtenir un débit de 5 vol/h en zone Z5 (zone de circulation vitrée entre les bâtiments nord et sud), il est nécessaire d'installer des menuiseries oscillo-battantes au-dessus des menuiseries classiques de 50cm de haut, au RDC haut ainsi qu'au R+1 et sur toute la</p>	<p>Taux de renouvellement d'air minimal souhaité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 5 vol/h en zone 5 - 2 vol/h en zone 2 <p>Dans le cas caniculaire horizon 2030, un débit de ventilation naturelle nocturne de 5 vol/h sur deux zones sensibles (Z3 et Z7). Ce débit sera obtenu en autorisant l'ouverture de deux fenêtres, chacune sur une façade opposée ayant une ouverture</p>

	<p>longueur vitrée (ouverture minimum : 20 cm)</p> <p>La ventilation naturelle de 2 vol/h dans la zone 2 correspond à l'ouverture d'une fenêtre oscillo-battante de la moitié de la hauteur de la façade vitrée et d'une ouverture minimale de 25 cm.</p>	de 1mx1m minimum.
MOA – usages		
Température de consigne	<p>Une dérive de 1°C de la température de consigne de chauffage génère une hausse des consommations de chauffage de 24%.</p> <p>Les températures de consigne préconisées sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 21°C pendant les heures d'ouverture dans tout le bâtiment ▪ 18°C en inoccupation 	<p>Une limitation de la température maximale possible à 21°C est vivement recommandée (mise en place de robinets thermostatiques et de thermostats bridés).</p> <p>Des températures plus basses hors occupation ne sont pas souhaitables. Elles impliqueraient un surdimensionnement de la puissance de raccordement au réseau de chaleur.</p>
Etanchéité à l'air	<p>Les besoins de chauffage augmentent de 16% lorsque l'étanchéité à l'air passe d'une valeur n50 = 1 vol/h (objectif fixé) à n50 = 2 vol/h (niveau Effinergie+ bâtiment d'habitation collectif¹).</p> <p>Le confort d'été est également dégradé par les infiltrations d'air chaud.</p>	<p>Ni les labels, ni la réglementation en France ne fixent d'objectif sur l'étanchéité à l'air d'un bâtiment tertiaire. Néanmoins, ce paramètre ayant une très forte influence sur le confort d'hiver comme d'été, l'objectif fixé de n50= 1 vol/h devra être atteint et vérifié par un ou plusieurs tests à la porte soufflante.</p>
Confort d'été	<p>L'objectif de confort d'été est atteint aux trois conditions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilisation intelligente par le personnel des protections solaires mobiles ▪ <u>Surventilation nocturne du bâtiment par ventilation naturelle manuelle (ouverture des menuiseries en partie hautes) pour les zones 5 et 2. L'ouverture des fenêtres doit être effectuée par le personnel d'entretien, le soir après la fin de la journée.</u> • Surventilation mécanique nocturne installée de 4h à 6h du matin dans les zones liées aux différentes CTA. <p><u>L'objectif de confort d'été en utilisant un climat « horizon 2030 été chaud ² » nécessite, en plus des conditions citées ci-avant, la mise en place d'un</u></p>	<p>En cas de fortes chaleurs durant l'été, les modifications architecturales suivantes sont demandées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Limitation du pourcentage vitré orienté Sud de la Zone sensible 3 à 20% de la surface des façades ; - Limitation du pourcentage vitré de la circulation vitrée (Z5) à 40% de la surface des façades. - Possibilité d'ouvrir les fenêtres durant la nuit conformément au point « ventilation naturelle » ci-dessus - Protections solaires extérieures occultant l'ensemble des vitrages suivant le tableau présenté au § 4.1 <p>Sans ces modifications, un système de rafraîchissement actif adiabatique est</p>

¹ n50 = 2 vol/h équivaut à q4 = 0,8 m3/h/m2PF pour ce bâtiment – valeur Effinergie+. Il n'existe pas d'exigences réglementaires en France pour les bâtiments tertiaires de cette taille.

² Scénario météorologique équivalent à un été de canicule prenant en compte le réchauffement climatique

	<u>rafraîchissement adiabatique.</u>	nécessaire pour atteindre le niveau de confort demandé en été.
Cuisine	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mettre les hottes le plus bas possible car cela facilite le captage du panache des fumées. Pour les friteuses la hotte sera dédiée et abaissée de façon importante. ▪ Privilégier les systèmes d'extraction à induction avec un taux d'induction adapté à l'usage et permettant d'éviter l'inconfort des usagers / jets de captation. 	<p>La performance des équipements de cuisson et de lavage influe sur la température de la zone cuisine notamment en été.</p> <p>Généralement l'investissement dans du matériel très performant est rentabilisé en moins de 5 ans pour un confort accru du personnel.</p> <p>Lors de la réalisation des simulations, nous n'avons pas la confirmation qu'une laveuse à capot avec récupération de chaleur sur les buées serait mise en œuvre. Nous avons donc considéré une hotte d'extraction en laverie qui en réalité ne sera pas installée. Cette hypothèse est défavorable en hiver comme en été. Néanmoins, elle a peu d'influence sur les résultats de besoins de chauffage totaux de la crèche.</p>
MOE – fluides		
Ventilation	Ventilation double-flux avec une efficacité effective de l'échangeur de 75% minimum	
Rafraîchissement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ventilation naturelle nocturne par ouverture des fenêtres au taux de 4 vol/h dans l'espace vitrée de circulation entre crèche grand et moyens. ▪ Surventilation nocturne en été de 4h à 6h du matin 	<p>Pour un climat normal 2000-2009 ou bien un climat de prévision 2030, il n'est pas nécessaire de disposer d'une solution de rafraîchissement actif dans ce cas.</p> <p>En cas de fortes chaleurs durant l'été (« horizon 2030 été chaud ³»), l'installation d'un système de rafraîchissement actif adiabatique est nécessaire</p>
Température de consigne	Mise en place d'un réduit de nuit.	Le réduit permet de diminuer les besoins de chauffage d'environ 25%.
Puissance de chauffage	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relance en 2h pour un réduit à 18°C et un renouvellement d'air de 1.6 vol avant arrivée des occupants pour assurer l'évacuation des polluants accumulés pendant la nuit. ▪ Système de régulation de la chaudière avec un optimiseur permettant d'ajuster le départ de la relance en fonction des conditions climatiques extérieures, voire la suppression du réduit de nuit les jours de grands froids (température 	Objectifs : réduction des consommations de chauffage au strict nécessaire, éviter tout surdimensionnement inutile de la chaudière.

³ Scénario météorologique équivalent à un été de canicule prenant en compte le réchauffement climatique

	<p>< 0°C)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Puissance à installer : 60kW 	
Eclairage	<p>Régulation de l'éclairage sur détection de présence et de luminosité</p> <p>La puissance moyenne à installer est de <u>6 W/m²</u>.</p>	Réduction des apports internes pour limiter les surchauffes en demi-saison et en été
Cuisine	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Appareils de cuisine performants ▪ Dimensionnement de ces appareils au plus juste et limitation des débits de ventilation au strict nécessaire ▪ Préchauffage de l'air de compensation à une température de 16°C 	

2 | Modélisation et hypothèses

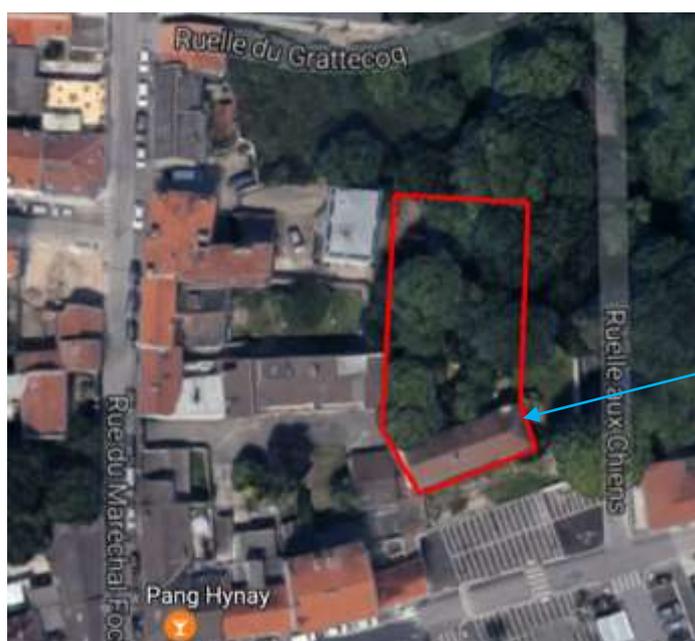
2.1 | Documents et logiciels utilisés

Les plans utilisés pour l'étude sont les plans et coupes au format dwg fournis par l'architecte en octobre 2017 « ORL_APD_Ind0_Plans de niveaux » et « 08 16 coupes façades_02 »

Les simulations thermiques dynamiques ont été menées à l'aide du logiciel TRNSYS 17, logiciel spécialisé dans la simulation thermique dynamique appliquée au bâtiment. La géométrie du bâtiment a été modélisée à l'aide du logiciel SketchUp. Le pas de temps utilisé pour la simulation est 1h.

2.2 | Localisation et zonage du bâtiment

Le bâtiment est situé au 36-38 Rue du Commerce à Orly (94).



Bâtiment Foreau existant, à rénover

Figure 1 : Vue de la parcelle

Les figures ci-dessous présentent le modèle utilisé pour la simulation.

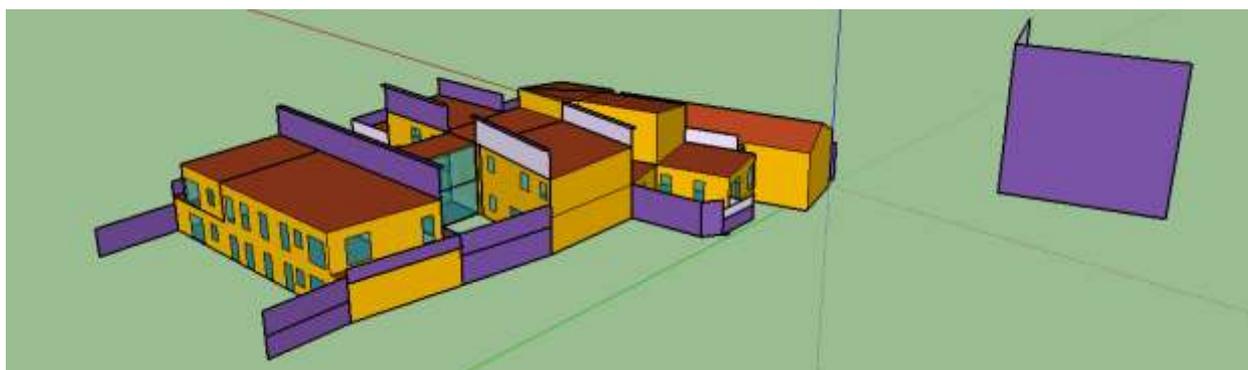


Figure 2 : Vue Nord-Ouest du bâtiment

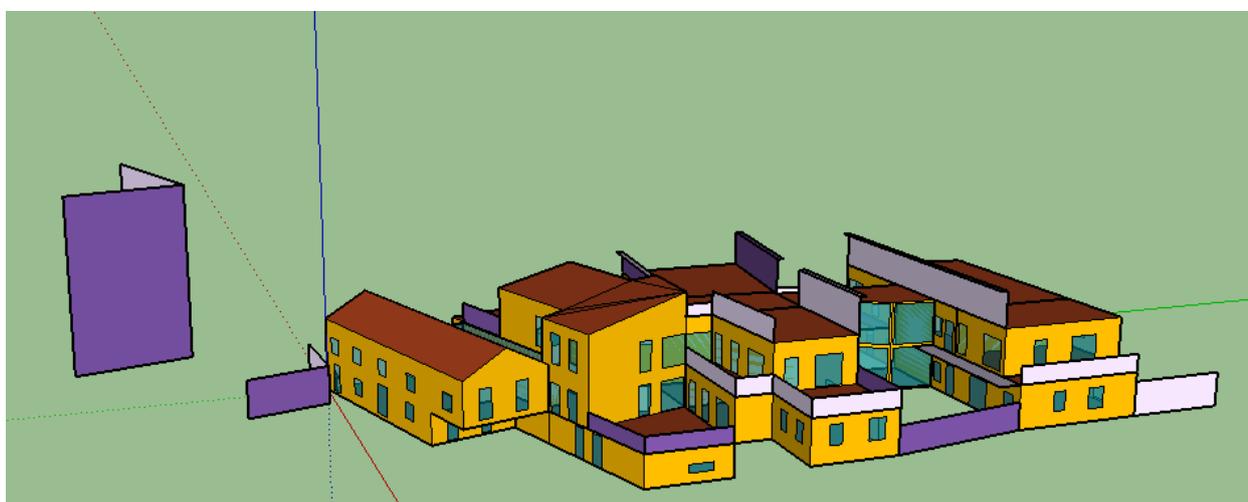


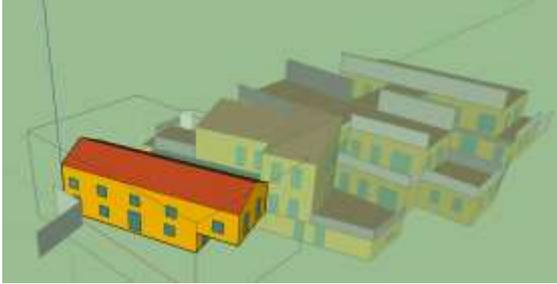
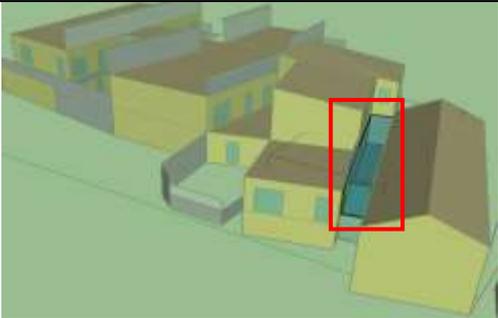
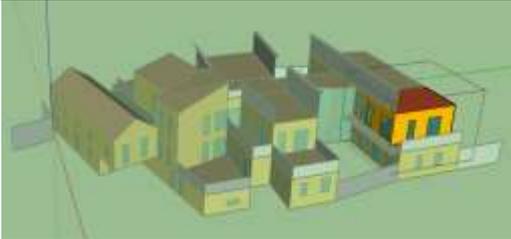
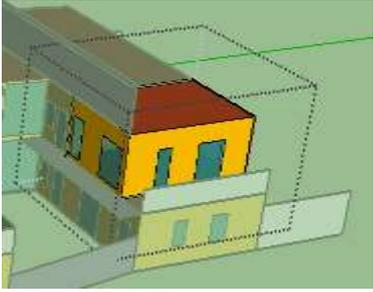
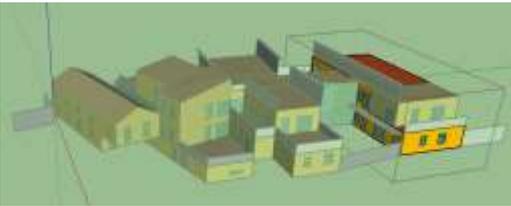
Figure 3 : Vue Sud-Est du bâtiment

Les bâtiments environnants qui engendrent des masques sur la crèche sont pris en compte dans la simulation et modélisés sur les Figure 2 et 3 ci-dessus. Certains bâtiments présents sur la figure 1 à l'ouest n'ont pas été modélisés car leur hauteur n'était pas suffisante pour agir en tant que masque sur la crèche.

Le bâtiment étant à géométrie complexe ainsi qu'à orientation et pourcentage vitré variable, il est important de pouvoir étudier indépendamment la réponse de chacun de ces espaces aux conditions météorologiques hivernales et estivales. Il est donc nécessaire de découper le bâtiment en plusieurs zones thermiques homogènes choisies. Afin de faciliter le repérage des zones sur le plan, les bâtiments sont dénommés en fonction de leur position géographique (et défini sur la Figure 3, ci-dessus) :

- Bâtiment Nord,
- Bâtiment Sud,
- Bâtiment Foreau

Pour la simulation, le bâtiment est alors découpé en différentes zones regroupant plusieurs pièces accolées les unes aux autres. Ces zones sont détaillées dans le tableau ci-dessous et représentées sur la Figure 4. Les regroupements sont également effectués en fonction des usages (salles de vie, circulations etc...) et mettent à part des pièces dans lesquelles le risque de surchauffe est élevé (commentaire « **surchauffe pressentie** » dans le tableau ci-dessous).

N°	Zone			
	Niveau	Bâtiment	Pièces	Image modélisation et localisation de la zone (surbrillance de la zone concernée)
Z1	RDC haut RDC bas	Bâtiment Foreau	Toutes	 Vue du Sud
Z2 Surchauffe pressentie	RDC haut	Bâtiment Sud	Circulation RDC haut	 Vue du Sud-Ouest
Z3 Surchauffe pressentie	R+1	Bâtiment Nord, Crèche grands C2	Salle de vie 2 Change	 Vue de l'Est  Zoom
Z4	R+1	Bâtiment Nord, Crèche moyens C1	Salle de vie 1 Change Salle polyvalente 1 Salle polyvalente 2 Change parents	 Vue de l'Est
	RDC haut	Bâtiment Nord, Crèche grands C2	Salle de vie 1 Change Salle de vie 2 Change Salle polyvalente 1 Salle polyvalente 2 Change parents	

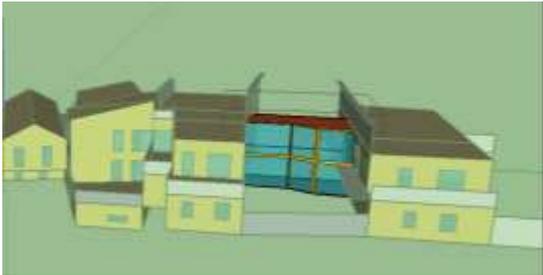
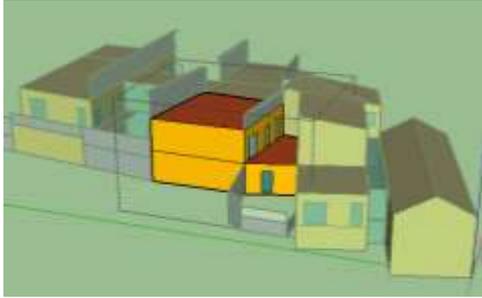
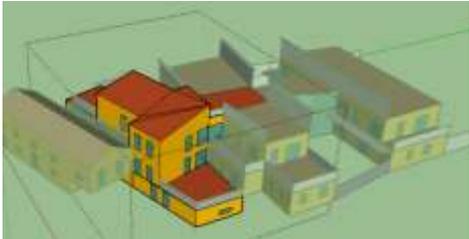
Z5 Surchauffe pressentie	RDC haut R+1	Bâtiment Sud	Hall RDC haut C1, partie face aux patios Hall R+1, partie face aux patios	 Vue de l'Est
Z6	RDC haut	Bâtiment Sud Crèche petits C1a	Salle de vie Petits C1a Réserve Change parent Local ménage Réserve biberons Biberonnerie Salle Polyvalente Change	 Vue de l'Ouest
	R+1	Bâtiment Sud Crèche grands C2	Salle polyvalente 3 Change Biberonnerie Réserve biberons Vestiaires Bureau polyvalent	
Z7 Surchauffe pressentie	RDC haut	Bâtiment Sud Crèche petits C1b	Salle de vie Petits C1b Bureau polyvalent Change parent Sanitaire PMR Salle polyvalente Change	 Vue Sud-Est
	R+1	Bâtiment Sud Crèche grands C2	Salle polyvalente 4 Change Sanitaire PMR Vestiaires Local et réserve ménage	
Z8	Bâtiment Sud	Bâtiment Foreau	Hall RDC bas Circulation RCD bas Lingerie Buanderie Réserve Local informatique Sas Local TGBT	 Vue Sud-Est
		Bâtiment Sud	Hall RDC haut (hors partie face aux patios) Salle de détente C2 Réserve C2 Secrétariat C1 Admin C1	
		Bâtiment Nord, Crèche grands C2	Hall R+1 (hors partie face aux patios) Secrétariat C2 Admin C2	

Tableau 1 : Tableau de découpage des zones du bâtiment



Figure 4 : Plan et zonage du RDC bas, RDC haut et R+1 (de gauche à droite)

2.3 | Environnement

2.3.1 | Données climatiques et température du sol

Pour l'ensemble des études, les données utilisées sont celles issues de la base de données Météonorm.

Météonorm est un logiciel permettant de déterminer le climat pour un lieu géographique donné, pendant une année type. Il se base sur des données issues de Météo France pour une décennie choisie.

Les données météorologiques utilisées proviennent de la station Paris Orly. L'ensemble des simulations ont été réalisées avec les données météorologiques de la période 2000-2009. Les DJU chauffage sont de l'ordre de 2730 °C.j.

Pour le confort d'été, trois types de climats ont été étudiés : le climat normal (données moyennées sur la décennie 2000-2009), le climat « horizon 2030 » et le climat « horizon 2030 été chaud » (voir caractéristiques ci-dessous).

Données météorologiques Station de Paris-Orly	Temp. max (°C)	Temp. min (°C)	Nb d'heures où Temp. > 28°C	Nb d'heures où Temp. < 2°C	Notes
Période 2000-2009	33,8	-6,9	102	669	Météonorm classique
Horizon 2030	35,6	-5,8	120	591	Scénario A2 du GIEC Ce scénario est un scénario pessimiste mais n'est pas le plus alarmiste de l'ensemble des scénarios du GIEC.
Horizon 2030 été chaud	38,1	-5,8	268	572	Identique Horizon 2030 avec été extrême : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Températures mensuelles : "Maxima Mensuels" ▪ Rayonnement mensuel : "Maxima Mensuels"

Tableau 2 : Synthèse des données météorologiques utilisées dans cette étude

La température du sol est supposée constante sur l'année et égale à 8°C.

Cette hypothèse prend en compte une moyenne entre le vide sanitaire et le sol sur l'année (la simulation considère que tous les planchers sont sur terre-plein). Cette hypothèse est plutôt défavorable en hiver et plutôt favorable en été. Cependant, les planchers étant très bien isolés, ceci influera très peu sur les besoins de chauffage et le confort d'été.

2.3.2 | Masques solaires

Les masques pris en compte dans la simulation sont les suivants :

- Ombrages du bâtiment sur lui-même,
- Palissades d'enceinte de 3 m de hauteur environ (en violet sur les Figures 2 et 3 du chapitre 2.2),
- Bâtiments voisins au sud-ouest (en violet sur les Figures 2 et 3 du chapitre 2.2).

Remarque : Ne sont pas pris en compte les masques dus à la pose des menuiseries au nu intérieur des murs. L'encadrement de la menuiserie engendre un masque solaire non négligeable qui est défavorable en période hivernal et favorable en période estivale.

2.4 | Enveloppe

2.4.1 | Parois opaques

Le Tableau 4 donne la valeur des coefficients de transmission thermiques U de paroi (U_p) pour toutes les parois du bâtiment, qui incluent les résistances superficielles convectives. Le Tableau 4 synthétise le fichier des hypothèses constructives transmis à la MOA. Pour plus de détail, se référer au document susnommé.

Les valeurs des résistances superficielles convectives sont présentées dans le Tableau 3 et sont équivalentes à celles présentées dans le fichier des hypothèses constructives.

Type de paroi	Résistance superficielle en m ² .K/W	
	intérieure	extérieure
Paroi verticale	0.13	0.04
Flux du haut vers le bas	0.17	
Flux du bas vers le haut	0.1	
Flux dans un angle	0.2	

Tableau 3 : Valeurs des résistances superficielles convectives intégrées au calcul des résistances des parois opaques

Les parois opaques sont décrites de l'intérieur vers l'extérieur.

Types de parois	Coefficient de transmission thermique U_p (W/m ² .K)
Parois Verticales	
Mur extérieur béton enterré	0,15
Mur extérieur en ossature bois	0,15
Mur extérieur béton	0.20
Mur pavillon Foreau	0,27
Mur intérieur Foreau sur Locaux Landaus	0.2
Planchers Haut	
Toiture inclinée	0,12
Toiture terrasse	0,11
Toiture sous combles froids	0,17
Planchers Bas	
Plancher bas sur terre-plein	0,12
Plancher bas sur vide sanitaire	0,12
Plancher bas sur locaux non chauffé (Landaus)	0,2
Plancher bas Foreau	0.75

Tableau 4 : Caractéristiques thermiques des parois opaques

2.4.1 | Menuiseries

Les menuiseries définies dans le Tableau 5 ci-dessous sont les valeurs définies actuellement dans le projet. Certaines de ces valeurs ont été modifiées par ailleurs pour répondre aux critères de confort d'été.

Désignation et composition	U_g (W/m ² .K)	Facteur solaire g	Transmission lumineuse du vitrage seul
Toutes menuiseries hors porte d'entrée et façade rideau	U_w moyen = 1.4		
Châssis bois-alu, double vitrage peu émissif argon, classement A4.			
<i>Caractéristiques du vitrage</i>	1,1	0,63	69%
Façades rideau	U_w = 1.2		
Châssis bois-alu, double vitrage peu émissif argon, classement A4.			
<i>Caractéristiques du vitrage</i>	1,1	0,63	69%
Portes d'entrée au RDC	U_w = 1.3		
Châssis acier, classement A4			
<i>Caractéristiques du vitrage</i>	1,1	0,63	69%

Tableau 5 : Caractéristiques thermiques des menuiseries extérieures

Tous les vitrages sont munis d'un rupteur de pont thermique de type Warm Edge : $\psi \leq 0,039$ W/m/K.

2.4.2 | Ponts thermiques linéiques

Le tableau ci-dessous répertorie les principaux ponts thermiques linéiques qui sont pris en compte dans la simulation, en indiquant le type de pont thermique exprimé et le coefficient de transmission linéique ψ associé.

La totalité des ponts thermiques pris en compte dans le calcul sont répertoriés dans le fichier « hypothèses constructives » transmis ultérieurement.

Les valeurs des ponts thermiques linéiques présentées dans le tableau suivant sont données par l'intérieur.

Localisation du pont thermique	Type de pont thermique	Ψ_{int} (W/m/K)
Dalle basse	Pont thermique air extérieur	0,24
Plancher intermédiaire	Pont thermique air extérieur	0,12
Mur/Toiture	Pont thermique air extérieur	0,13
Balcons	Pont thermique air extérieur	0,07
Angle sortant	Pont thermique air extérieur	0,08
Angle rentrant	Pont thermique air extérieur	0,13
Mur/Terrasse	Pont thermique air extérieur	0,99

Tableau 6 : Synthèses des principaux ponts thermiques linéiques rencontrés

Les ponts thermiques ponctuels et structurels sont intégrés directement dans le calcul du coefficient de déperdition des parois U_p .

2.4.3 | Étanchéité à l'air

Le taux d'infiltration d'air retenu correspond à un niveau d'étanchéité de 1 vol/h sous 50 Pa, soit un taux d'infiltration d'air de 0.07 vol/h sous pression normale (soit $Q_4 = 0.37 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$).

2.4.4 | Protections solaires

Les protections solaires prévues pour le projet sont repérées sur le plan « reperage_occultation » délivré en octobre 2017 par l'architecte et détaillées dans le tableau ci-dessous.

Désignation et composition	Repère sur le plan
Débord des terrasses sur les menuiseries du RDC (bâtiment nord) : Env. 1,6m de débord, 1m au-dessus des menuiseries	
Store orientable sur toutes les menuiseries Foreau et Crèche 1 (hors façade C1 orientée nord et portes sur terrasses 1b et 1a) + fenêtres R+1 Crèche 2 hors façade nord: Ajouré de 0% à 50% Extérieurs et actionnés électriquement	rouge
Store banne (ensemble des terrasses hors façade Est terrasse 1b): Actionné électriquement	violet
Brise-soleil fixe sur les façades rideaux du patio : Ajouré à 50% Non motorisés	bleu
Screen toile extérieur sur patios 1 et 2 et façade nord Moyen C1 Actionnés électriquement	jaune

Tableau 7 : Description des protections solaires

Les coffres des stores ont les caractéristiques suivantes :

- Dimensions : $L_c \times 0.20 \times 1.1$ (majoration de 10%) avec L_c : longueur coffret
- Profondeur d'encastrement : 15 cm
- Coefficient U du coffre $U_c \leq 1.0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

Ils sont positionnés dans le prolongement de l'isolation extérieure/bois selon les cas.

2.4.5 | Déperditions statiques de l'enveloppe

Les hypothèses précédentes permettent de calculer les déperditions statiques de l'enveloppe dont la répartition est présentée sur le diagramme ci-dessous.

Répartition des déperditions de l'enveloppe

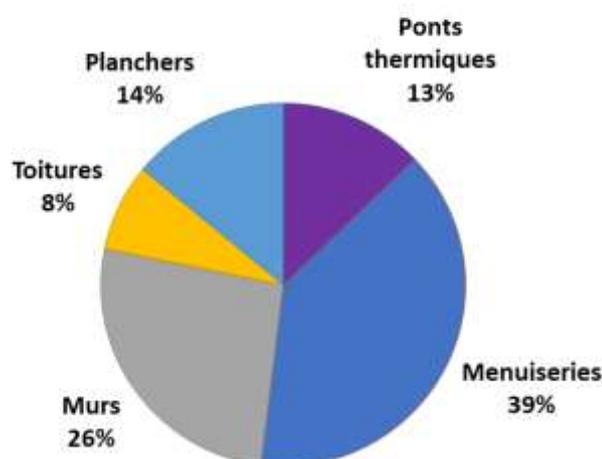


Figure 5 : Répartition des déperditions par transmission de l'enveloppe

Elles s'élèvent à 1318 W/K soit un coefficient de déperdition moyen U_{bat} de $0.29 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$. Les menuiseries représentent le plus gros poste des déperditions (39% des pertes). Les ponts thermiques contribuent à 13 % des déperditions et ne sont donc pas négligeables. Ils devront être traités avec soin.

La répartition ci-dessus est représentative d'un bâtiment très bien isolé mais peu compact⁴.

2.5 | Inertie

L'inertie interne du bâtiment a été prise en compte avec les éléments suivants :

- Murs extérieurs en béton (20cm) lorsque c'est le cas, selon les plans
- Plancher bas béton (20cm) lorsque c'est le cas, selon plan de repérage de l'architecte
- Plancher haut béton (20cm) lorsque c'est le cas, selon plan de repérage de l'architecte

Ces éléments correspondent à une inertie très faible.

2.6 | Apports internes

Différents apports internes sont pris en compte dans la simulation : apports internes dus aux occupants, à l'éclairage et aux équipements électriques dont ceux de la cuisine et de la buanderie.

⁴ Pour information la compacité du bâtiment vaut $0,5 \text{ m}^{-1}$.

2.6.1 | Apports internes humains

Le dégagement de chaleur est différencié selon la période de l'année considérée (été ou hiver) et l'âge. Il est séparé en 2 parties (chaleur sensible et chaleur latente).

Dégagement de chaleur	Adulte		Enfant	
	Hiver	Été	Hiver	Été
Chaleur sensible [W]	85	55	45	30
Chaleur latente [W]	25	45	20	25

Tableau 8 : Apports internes humains. - Source : EN 7730

2.6.2 | Eclairage

La puissance moyenne installée est de 6 W/m².

Le fonctionnement de l'éclairage tient compte des horaires d'ouverture du bâtiment (programmation horaire hebdomadaire), de l'occupation (détection de présence) et d'une modulation forfaitaire du niveau d'éclairage en fonction de l'éclairage naturel (détection de luminosité).

- Horaires selon programme (7h – 19h) pendant la période d'ouverture
- Détection de présence : coefficient correcteur de 0.6
- Modulation de l'éclairage selon les coefficients donnés dans le tableau ci-dessous⁵:

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Taux d'allumage pendant l'occupation	0.9	0.9	0.6	0.6	0.45	0.3	0.2	0.2	0.4	0.8	0.8	0.9

Tableau 9 : Variation mensuelle du taux d'allumage

Note : Ces taux s'appliquent uniquement aux zones ayant des surfaces vitrées donnant sur l'extérieur.

2.6.1 | Equipements électriques

On suppose les équipements et les puissances installées associées suivantes selon les zones ci-dessous.

Salles concernés	Equipements	Puissance	Durée de fonctionnement
Salle de vie + salle polyvalente	2 conteneurs isothermes chauffants Sherpa	150 W par appareil	11h-13h
	1 ordinateur portable	15 W	1h par jour, de 10h à 11h
Biberonnerie	1 micro-onde	600 W	2 minutes toutes les 4h
Bureaux administration + polyvalent	1 ordinateur portable/bureau	15 W	7h-19h
Cuisine	Fours, lave-vaisselle, armoires froides...	Scénario développé à part, voir paragraphe ci-dessous	

Tableau 10 : Apports internes liés aux équipements

⁵ Valeurs issues d'une campagne de mesures réalisée par le bureau d'étude Enertech sur l'éclairage dans les lycées

Les puissances appelées par les équipements de la cuisine aux différentes heures de la journée sont représentées sur la Figure 6. Ce graphique a été établi à partir de données issues de campagnes de mesures effectuées par l'Institut PassivHaus dans différentes cuisines d'école. Le profil type a été adapté pour tenir compte de la surface de la cuisine, des horaires de fonctionnement, des équipements installés dans la cuisine, du nombre d'enfants et de la crèche. Les hypothèses sont les suivantes :

La cuisine mesure 43m². Elle fonctionne de 7h à 19h et est occupée par 2 personnes (voir § 2.7.2 |). Elle permet de produire des repas pour tous les enfants à l'exception des petits et pour tous les adultes, soit environ 80 repas. En considérant qu'un repas enfant équivaut à la moitié de celui d'un adulte, la production de la cuisine est de 50 repas équivalent adultes.

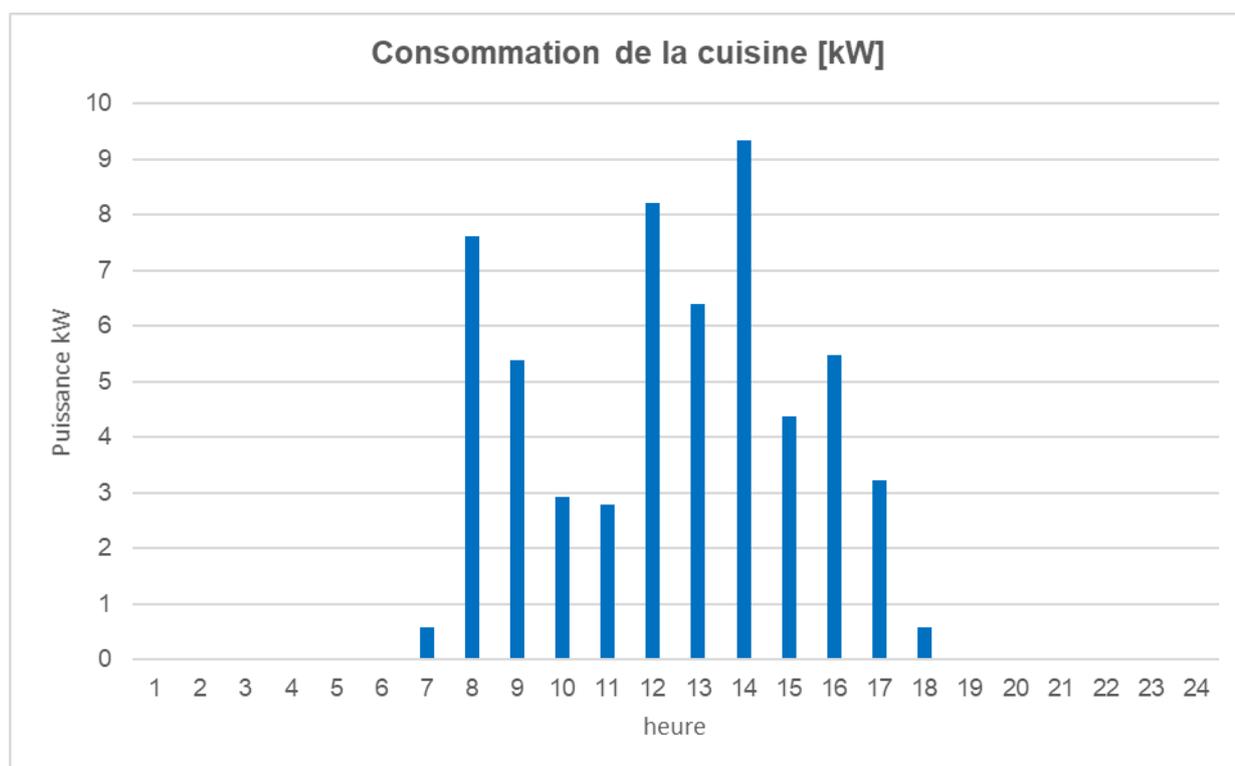


Figure 6 : Puissance dégagée par la cuisine (kW)

La puissance moyenne dégagée par la cuisine pendant sa période de fonctionnement (7h-19h) est de 4,7kW, la puissance maximale appelée est de 7,5 kW, pour une puissance installée totale de 28kW (cuisson + laverie).

2.7 | Scenarii d'occupation

2.7.1 | Effectifs et horaires d'ouverture

Le bâtiment regroupe des usages différents : la crèche, les bureaux administratifs, divers locaux techniques et la cuisine. Nous avons supposé les scenarii suivants, basés sur les indications de l'architecte et de la MOA.

La crèche compte 3 sections (« petits », « moyens » et « grands »), chacune séparées en 2 groupes, pour un total de 6 groupes. Pour chaque groupe d'enfants, 3 adultes sont présents, ce qui fait un total de 18 adultes. La section « petit » comporte 10 enfants, la section « moyen » 14 enfants et la section « grand » 16 enfants, soit un total de 80 enfants. La restauration occupe 2 personnes en cuisine. Les locaux administratifs (secrétariat et direction) sont occupés par une personne chacun. La crèche fonctionne tous les jours de la semaine de 7h à 19h, sauf les week-ends et les jours fériés, et une semaine entre Noël et Nouvel An, soit 251 jours par an.

2.7.2 | Taux et profil d'occupation

Pièce	Taux d'occupation	Taux d'occupation total	Profil d'occupation
Bureaux	1 personne par bureau	1 personne	8h-18h tous les jours d'ouverture
Salle de vie + salle polyvalente petits	10 enfants et 3 adultes	13 personnes	11h-14h et 16h-17h (on néglige la modulation arrivée/départ entre 7h-9h et 17h-19h) tous les jours d'ouverture
	5 enfants et 1 adulte	6 personnes	9h-11h tous les jours
Salle de vie + salle polyvalente moyens	14 enfants et 3 adultes	17 personnes	9h-14h et 16h-17h (on néglige la modulation arrivée/départ entre 7h-9h et 17h-19h) tous les jours d'ouverture
	7 enfants et 1 adulte	9 personnes	14h-16h tous les jours
Salle de vie + salle polyvalente grands	16 enfants et 3 adultes	19 personnes	11h-14h et 16h-17h (on néglige la modulation arrivée/départ entre 7h-9h et 17h-19h) tous les jours d'ouverture
	8 enfants et 1 adulte	10 personnes	9h-11h tous les jours
Hall RDC haut	5 enfants et 1 adulte	6 personnes	9h-11h tous les jours
	7 enfants et 2 adultes	9 personnes	14h-16h tous les jours
Hall R+1	8 enfants et 2 adultes	10 personnes	9h-11h tous les jours
Cuisine	2 adultes	2 personnes	8h-16h tous les jours d'ouverture
Salle polyvalente 3	10 enfants et 3 adultes	13 personnes	8h-19h tous les jours d'ouverture
Salle polyvalente 4	10 enfants et 3 adultes	13 personnes	8h-19h tous les jours d'ouverture

Tableau 11 : Occupation des différentes zones

Les scénarios d'occupation des salles polyvalentes 3 et 4 n'étant pas connus précisément à ce jour, l'occupation considérée correspond au cas d'occupation maximale pour ces zones (10 enfants) pendant toute la période d'ouverture.

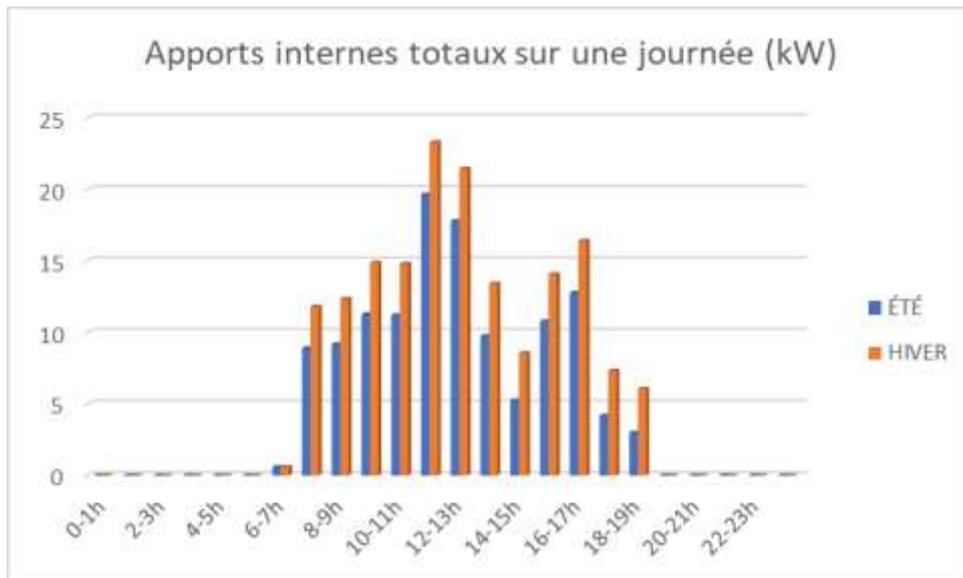


Figure 7 : Apports internes sur une journée d'occupation – Été et Hiver

En hiver les apports internes sont plus importants qu'en été car il y a moins de lumière naturelle et que la chaleur produite par un humain est plus élevée. En week-end ou jours fériés, les apports internes sont nuls.

2.8 | Systèmes

2.8.1 | Chauffage

La période de chauffage s'étend du 1^{er} octobre au 31 mai. Les températures de consigne sont de :

- 21°C en occupation, de 7h à 19h du lundi au vendredi.
- 18°C en inoccupation hors relance (y compris le week-end et les jours fériés)

Une relance linéaire de température est effectuée 2h avant l'ouverture les jours de fonctionnement de la crèche

La figure ci-dessous représente le profil de température appliqué pendant une journée type du lundi au vendredi.



Figure 8 : Profil de température de consigne d'une journée type

2.8.2 | Ventilation

Le bâtiment est ventilé par 3 centrales de traitement de l'air (CTA) ayant les caractéristiques suivantes :

- double-flux avec récupération de chaleur
- échangeur d'efficacité effective⁶ de 75%
- by-pass de l'échangeur selon les règles de régulation du Tableau 12 : Régulation du by-pass.

By-pass en période de chauffage	T intérieure > T extérieure	T intérieure ≤ T extérieure
T intérieure > 23°C	By-pass	Échange
T intérieure ≤ 23°C	Échange	By-pass
By-pass en période estivale	T intérieure > T extérieure	T intérieure ≤ T extérieure
T intérieure > 20°C	By-pass	Échange
T intérieure ≤ 20°C	Échange	By-pass

Tableau 12 : Régulation du by-pass

Ainsi que par le système de ventilation des appareillages de la cuisine et de la laverie.

Note : Lors de la réalisation des simulations, nous n'avions pas la confirmation qu'une laveuse à capot avec récupération de chaleur sur les buées serait mise en œuvre. Nous avons donc considéré une hotte d'extraction en laverie qui en réalité ne sera pas installée. Cette hypothèse est défavorable en hiver comme en été. Néanmoins, elle a peu d'influence sur les résultats. En effet, la zone 1, correspondant au bâtiment Foreau qui hébergera la laverie, n'est pas une zone sensible pour le confort d'été. Concernant le confort d'hiver, il s'agit d'une zone sensible car moins isolée que les autres. Cependant, elle représente uniquement 16% du projet en volumétrie, l'impact de cette amélioration sera donc minime sur les résultats finaux en besoin de chauffage.

Les différents débits soufflés dans chaque zone sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Zone	Débit de ventilation (m³/h)	CTA	Fonctionnement	Température soufflée
Zone 1	585	CTA Foreau	6h-19h	Suivant tableau ci-dessus
Zone 2	0	CTA Foreau	6h-19h	Suivant tableau ci-dessus
Zone 3	450	CTA Nord	6h-19h	Suivant tableau ci-dessus
Zone 4	2300	CTA Nord	6h-19h	Suivant tableau ci-dessus
Zone 5	0	CTA Sud	6h-19h	Suivant tableau ci-dessus
Zone 6	970	CTA Sud	6h-19h	Suivant tableau ci-dessus
Zone 7	870	CTA Sud	6h-19h	Suivant tableau ci-dessus
Zone 8	1470	CTA Sud CTA Nord	6h-19h	Suivant tableau ci-dessus
Zone 1	1000	Laverie	13h-15h 16h-17h	Tsouff = Text
	1500	Cuisson	8h-13h	
TOTAL	9145	-		

Tableau 13 : Débits de ventilation retenus

La ventilation hygiénique (CTA Nord, Sud et Foreau) fonctionne à débit constant. De 6h à 19h. La période de relance de 6h à 7h avant l'ouverture à 7h permet de renouveler environ 1,6 volume du bâtiment avant l'arrivée des occupants.

⁶ L'efficacité effective diffère de l'efficacité annoncée par le fabricant. Elle permet de refléter l'efficacité réelle de la machine au sein du bâtiment. Elle prend en compte par exemple les déperditions des conduits froids d'amenée d'air et de rejet d'air vicié dans l'enveloppe chauffée du bâtiment.

Les zones 2 et 5 sont des zones de circulation entièrement vitrées à travers lesquelles il n'était pas souhaité de faire passer des réseaux de ventilation. Ces zones sont alors ventilées par transfert d'air avec les zones adjacentes comme suit :

- 540 m³/h pour la zone 5 (par échange avec la zone 8)
- 100 m³/h pour la zone 2 (par échange avec la zone 1)

La ventilation définie ici est la ventilation prévue pour le projet. Afin d'atteindre les objectifs fixés pour le confort d'été, le scénario de ventilation a été modifié en période estivale.

3 | Résultats : besoins de chauffage

Les résultats présentés ne tiennent pas compte de la correction engendrée par les masques solaires dus à l'encadrement des menuiseries citée dans § 2.3.2 | . Ces résultats sont donc sous-estimés.

Les besoins de chauffage sont calculés avec les hypothèses décrites ci-avant (cas de base). Deux paramètres font l'objet de variantes : le niveau d'infiltration et la température de consigne.

3.1 | Cas de base

Le tableau ci-dessous résume les résultats principaux de la simulation : besoins en chauffage sur la période de chauffage, puissance maximale appelée (les chiffres sont arrondis à l'unité pour les puissances en kW).

Paramètre	Total	Surfacique
Besoins de chauffage	40.2 MWh	25 kWh/m ²
Puissance maximale appelée (relance en 2h, pas de temps de 10 min)	54.4 kW	34 W/m ²

Tableau 14 : Besoins en chauffage et puissance maximale appelée : cas de base

- L'objectif fixé sur les besoins de chauffage à 30 kWh/m² est atteint puisque les besoins s'élèvent à 25 kWh/m². Le bilan énergétique se décompose comme suit :

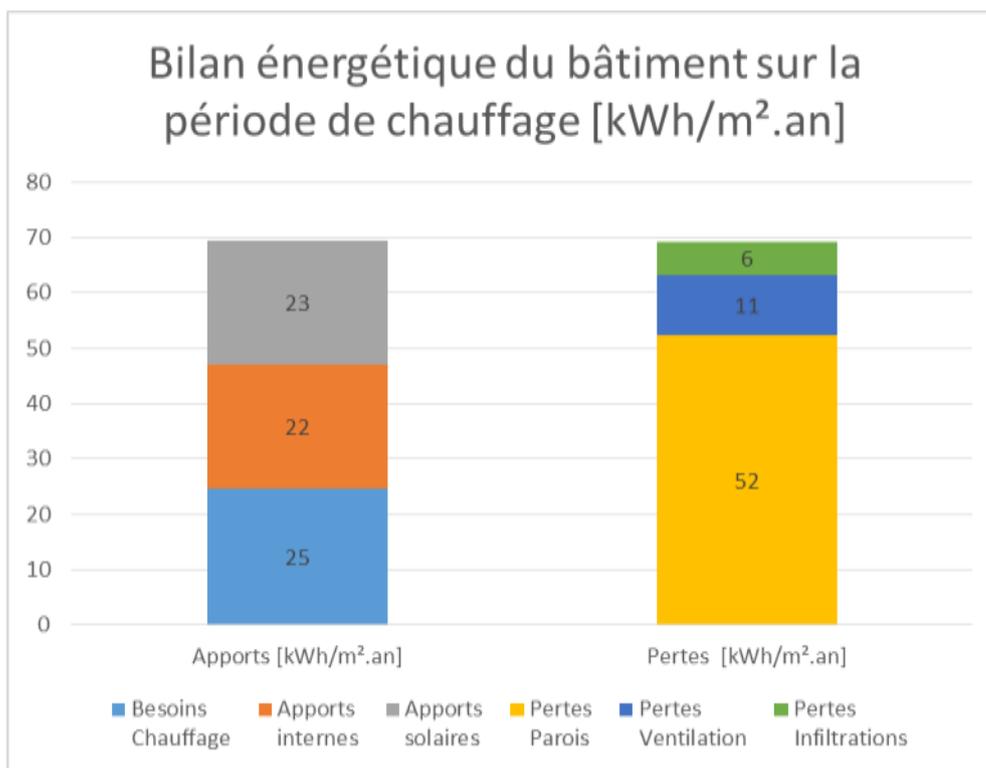


Figure 9 : Bilan énergétique du bâtiment : cas de base

Plus du ¼ des pertes, 76%, proviennent des déperditions statiques (parois opaques et menuiseries) contre 16% par la ventilation et 9% par les infiltrations d'air. Noter, que ce taux de 9%, reste non négligeable malgré l'exigence élevée sur l'étanchéité à l'air du bâtiment (niveau passif rénovation).

Les apports solaires et internes représentent presque 2/3 des gains, valeur typique rencontrée dans les bâtiments basse consommation.

Pour information, les bilans énergétiques du bâtiment Foreau existant et de la partie neuve de la crèche se décomposent comme suit :

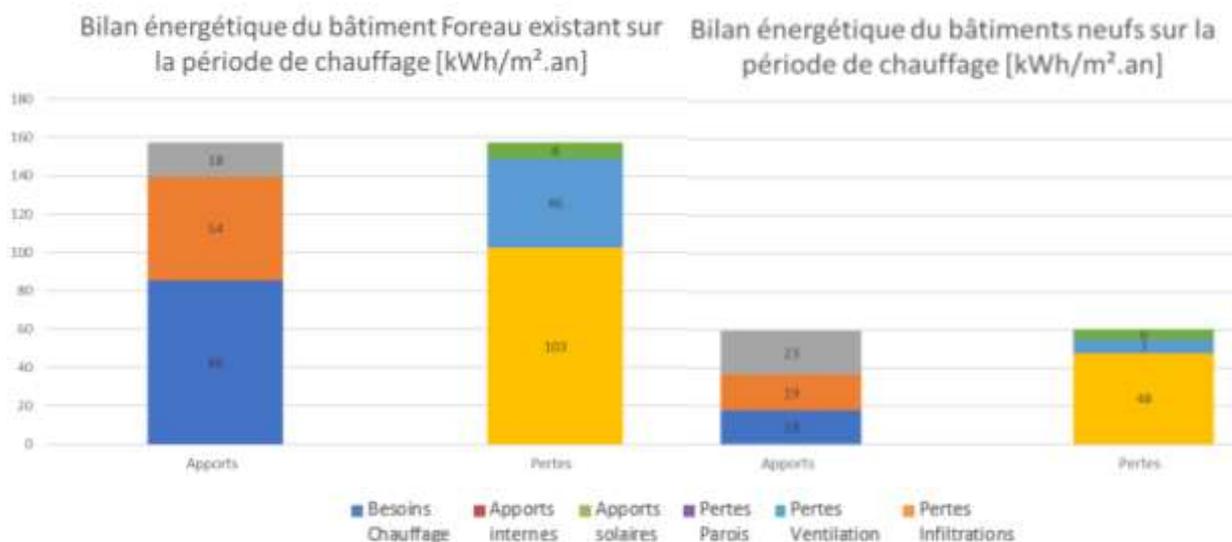


Figure 10 : Bilan énergétique : bâtiment Foreau existant, Z1 et bâtiments neufs

Les déperditions statiques surfaciques du bâtiment Foreau équivalent à deux fois celles de la totalité du bâtiment et près de trois fois celles de la partie neuve seule. Les pertes surfaciques par ventilation (dus principalement aux hottes de la cuisine), représentent quant à elles près de 7 fois celles de la partie neuve.

Les besoins de chauffage du bâtiment Foreau représentent ainsi plus de 35% des besoins de chauffage totaux alors qu'il ne représente que 16% du volume total de la crèche.

- La monotone des puissances de chauffage (moyennées sur 1 heure) est représentée sur le graphe ci-dessous :

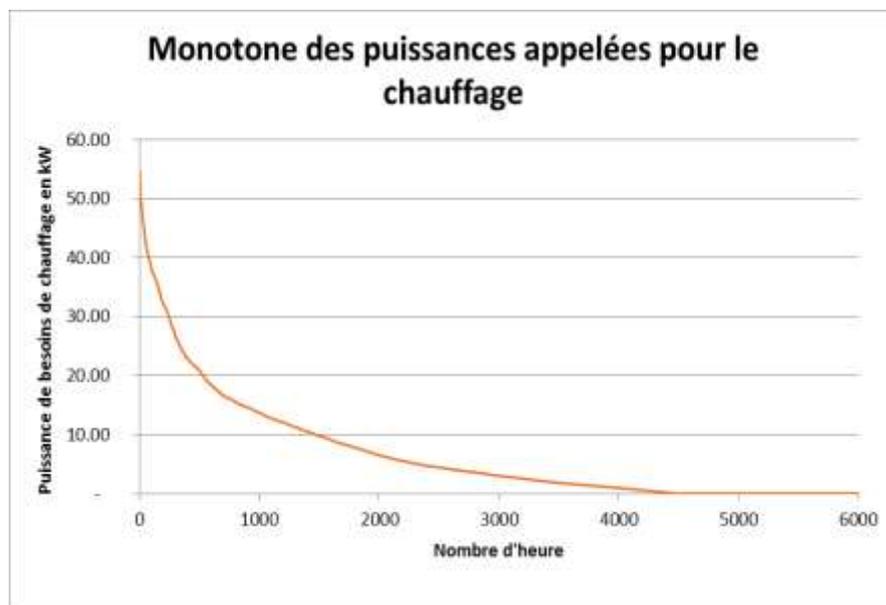


Figure 11 : Monotone des puissances de chauffage : cas de base

Le graphe ci-dessus nous fournit les indications suivantes :

- La durée de fonctionnement de la chaudière est de 4500 heures par an environ, pour une période de chauffage de 7 mois (1^{er} oct au 31 mai)
- La puissance appelée est inférieure à 25% de la puissance maximale appelée 88% du temps de fonctionnement.

3.2 | Cas de base : mise à jour des calculs

Les résultats présentés dans ce paragraphe correspondent aux besoins en chauffage de la crèche lorsque les coefficients de transmission thermique des parois sont mis à jour dans la simulation (spécifiés **en rouge** dans le paragraphe 2.4.1 |) et en retirant la verrière dans la zone de circulation Z2.

Le tableau ci-dessous résume les besoins en chauffage sur la période de chauffage.

Paramètre	Total	Surfacique
Besoins de chauffage	45,9 MWh	28 kWh/m ²

L'objectif fixé sur les besoins de chauffage à 30 kWh/m² est atteint puisque les besoins s'élèvent à 28 kWh/m². Cependant, comme précisé en début de chapitre, ces estimations ne prennent pas en compte l'encadrement des menuiseries qui diminueraient les apports solaires et donc augmenteraient les besoins de chauffage.

Il faut donc rester très vigilant quant au respect de cet objectif. Les parois ne peuvent plus être dégradées.

3.3 | Variante 1 : Impact de la température de consigne

Dans cette variante, les températures de consigne sont augmentées de 1°C soit 22°C en période d'occupation et 19°C pour le réduit en inoccupation.

Les principaux résultats sont les suivants :

Paramètre	Total	Surfacique
Besoins en chauffage	49.6 MWh	31 kWh/m ²
Puissance maximale appelée (relance en 2h, pas de temps de 10 min)	54.5 kW	34 W/m ²

Tableau 15 : Besoins en chauffage et puissance maximale appelée ; Variante 1

L'augmentation de 1°C des températures de consigne entraîne une augmentation significative des besoins en chauffage de 24%. Elle n'a pas ou peu d'impact sur la puissance maximale appelée puisque la différence de température entre le mode normal (21°C) et le mode réduit (18°C) reste inchangée égale à 3°C.

3.4 | Variante 2 : Impact de l'étanchéité à l'air

Afin d'étudier l'impact d'une dégradation de l'étanchéité à l'air sur le bâtiment, celle-ci est d'abord dégradée pour atteindre la valeur exigée par le label Effinergie+ pour les logements collectifs puis pour atteindre la valeur moyenne des bâtiments tertiaires de France.

Les taux d'infiltrations étudiés sont répertoriés dans le tableau suivant :

Taux d'infiltration	Q4 (m ³ /h/m ²)	n50 Taux d'infiltration sous 50 Pa (vol/h)	Taux d'infiltration sous 4 Pa (vol/h)
Cas de base	0,37	1	0,07
Label Effinergie+ pour les logements collectifs	0.8	2,18	0,153
Valeur moyenne des bâtiments tertiaires de France	1.7	4,63	0,324

Tableau 16 : taux d'infiltrations des différentes variantes

Les principaux résultats sont résumés ci-dessous :

Paramètre	Cas de base		Label Effinergie+		Valeur moyenne des bâtiments tertiaires	
	Total	Surfacique	Total	Surfacique	Total	Surfacique
Besoins en chauffage	40,2 MWh	25 kWh/m ²	47,5 MWh	29 kWh/m ²	63,9 MWh	39 kWh/m ²
Puissance maximale appelée (relance en 2h, pas de temps de 10 min)	54,4 kW	34 W/m ²	58,2 kW	35,9 W/m ²	65,8 kW	40,5 W/m ²

Tableau 17 : Besoins en chauffage et puissance maximale appelée en fonction du niveau d'étanchéité du bâtiment

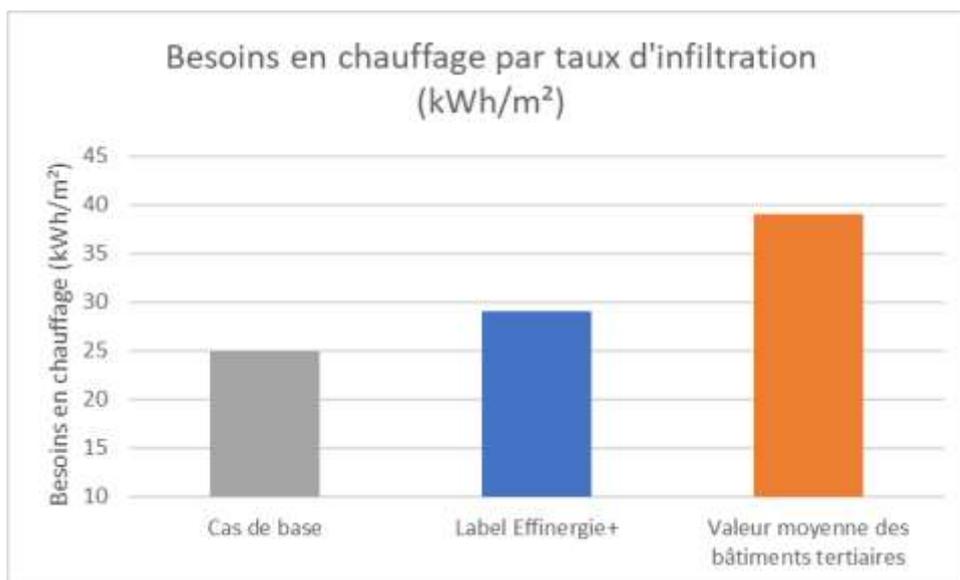


Figure 12 : Besoins en chauffage en fonction de l'étanchéité du bâtiment (kWh/m²)

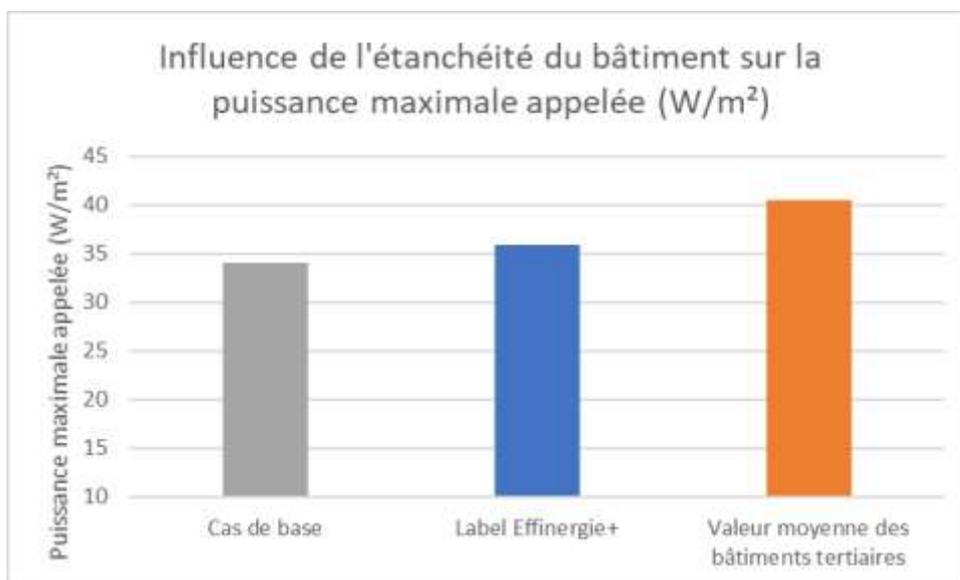


Figure 13 : Puissance maximale appelée en fonction de l'étanchéité du bâtiment (W/m²)

La multiplication par 2 du taux d'infiltration, engendre une augmentation de 16% des besoins de chauffage et de 7% de la puissance maximale appelée. Le passage au taux d'infiltration moyen des bâtiments tertiaire engendre une augmentation de 55% des besoins de chauffage, et de 20% de la puissance maximale appelée.

Ces résultats montrent qu'il est important d'assurer une très bonne étanchéité à l'air du bâtiment afin de réduire les consommations. Pour cela, il est nécessaire d'aller au-delà des exigences de la réglementation thermique.

4 | Résultats : confort d'été

Le critère de confort d'été à respecter pour la crèche est une température opérative supérieure à 28°C moins de 1% du temps d'occupation pour les 3 climats étudiés.

Dans cette étude, trois types de climats sont étudiés :

- Scénario normal (données moyennées sur la décennie 2000-2009).
- Scénario type « horizon 2030 » : ce scénario prend en compte le réchauffement en climatique
- Scénario type « horizon 2030 été chaud » : ce scénario, plus pessimiste, a pour objectif de prendre en compte une canicule similaire à celle de 2003 se produisant en projection 2030.

Les températures critiques de ces différents scénarii météorologiques sont disponibles au § 2.3.1 | .

4.1 | Synthèse des résultats des vitrages

Dans le tableau ci-dessous sont regroupés, pour chaque scénario météorologique les pourcentages d'occultations requis et les types d'occultations préconisés afin de respecter les critères de confort d'été. Contrairement aux résultats qui suivront dans les chapitres suivants, ce tableau tient compte des masques dus aux encadrements des menuiseries.

Scénario Normal et Scénario type « horizon 2030 »					
	% occultation	Facteur solaire vitrage	Facteur solaire total (Vitrage + occultation)	Type d'occultation	Rafraîchissement adiabatique
Z1,4,6,7,8	50%	0,63	0,32	Store orientable extérieur (facteur solaire = 0.12 pour des lamelles à 45°) occultant 60% du vitrage <u>Ou</u> Store toile de couleur blanche extérieur (facteur solaire = 0.24) occultant 80% du vitrage	non
Z2 et Z8 (vitrage Rez-de-Chaussée sous Z2)	0%	0,5		Pas d'occultation sur ces vitrages	non
Z3	70%	0,63	0,20	Store orientable extérieur (facteur solaire = 0.12 pour des lamelles à 45°) occultant 80% du vitrage Les stores toiles permettent d'atteindre une occultation suffisante uniquement s'ils recouvrent entièrement le vitrage.	non
Z5	70%	0,63	0,20	Brise soleil fixe lamelles à 45° <u>Ou</u> Store orientable extérieur (facteur solaire = 0.12 pour des lamelles à 45°) occultant 80% du vitrage	non
Scénario type « horizon 2030 été chaud » avec refroidissement adiabatique					
Z1,4,6,7,8	50%	0,63	0,30	Store orientable extérieur (facteur solaire = 0.12 pour des lamelles à 45°) occultant 60% du	oui

				<p>vitrage</p> <p><u>Ou</u></p> <p>Store toile de couleur blanche extérieur (facteur solaire = 0.24) occultant 70% du vitrage</p>	
Z3	70%	0,63	0,20	<p>Store orientable extérieur (facteur solaire = 0.12 pour des lamelles à 45°) occultant 80% du vitrage</p> <p>Les stores toiles permettent d'atteindre une occultation suffisante uniquement s'ils recouvrent entièrement le vitrage.</p>	oui
Z5	70%	0,63	0,20	<p>Brise soleil fixe lamelles à 45°</p> <p><u>Ou</u></p> <p>Store orientable extérieur (facteur solaire = 0.12 pour des lamelles à 45°) occultant 80% du vitrage</p>	oui
Scénario type « horizon 2030 été chaud » sans refroidissement adiabatique					
Z1,4,6,7,8	70%	0,63	0,30	<p>Store orientable extérieur (facteur solaire = 0.12 pour des lamelles à 45°) occultant 80% du vitrage</p> <p>Les stores toiles permettent d'atteindre une occultation suffisante uniquement s'ils recouvrent entièrement le vitrage.</p>	Non
Z2 et Z8 (vitrage Rez-de-Chaussée sous Z2)	70%	0,5	0,10	<p>Store orientable intérieur (facteur solaire = 0.25) occultant 100% du vitrage</p>	Non
Z3	70%	0,63	0,30	<p>Store orientable extérieur (facteur solaire = 0.12 pour des lamelles à 45°) occultant 80% du vitrage</p> <p>Les stores toiles permettent d'atteindre une occultation suffisante uniquement s'ils recouvrent entièrement le vitrage.</p>	non
Z5	70%	0,63	0,30	<p>Brise soleil fixe lamelles à 45°</p> <p><u>Ou</u></p> <p>Store orientable extérieur (facteur solaire = 0.12 pour des lamelles à 45°) occultant 80% du vitrage</p>	non

Tableau 18 : Synthèse des choix de menuiseries et protections solaires - confort d'été

4.2 | Cas de base estival : conditions météorologiques période 2000-2009

4.2.1 | Cas de base initial

Le projet tel qu'il a été conçu et défini dans le chapitre 2 de ce rapport, ne permet pas d'atteindre le niveau de confort recherché en période estivale. Ce cas de base estival, défini par les occultations et débits de ventilation détaillés ci-dessous, est celui qui permet de respecter les objectifs fixés pour le confort d'été avec le fichier météo « Période 2000-2009 ».

Données du cas de base	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
% d'occultations	40%	Façade : 70% Toiture : 0%	80%	50%	80%	50%	60%	50%
% surface vitrée maximal par rapport à la surface des murs					60%			
Facteur solaire g	63%	Façade : 39% Toiture : 22%	63%					
Ventilation nocturne supplémentaire du 30 mai au 30 septembre pendant les jours d'occupation	VMC : De 4h à 6h	Ventilation naturelle de 2vol/h de 19h à 7h	VMC : De 4h à 6h	Ventilation naturelle de 4 vol/h de 19h à 7h	VMC : De 4h à 6h			

Tableau 19 : Synthèse des taux d'occultation, facteurs solaires des menuiseries et ventilations nocturnes pour le cas de base

Les taux d'infiltration et les débits de ventilations utilisés pour l'étude du cas de base sont ceux énoncés dans les hypothèses.

La ventilation naturelle des zones Z2 et Z5 du tableau ci-dessus est la ventilation maximale possible par ouverture des fenêtres le soir en partant et fermeture le matin en arrivant (de 19h à 7h). Il faut donc noter qu'une ventilation naturelle nocturne est obligatoire pour ces espaces vitrés, contrairement à ce qui est prévu actuellement au projet.

Pour un obtenir un tel débit en zone Z5, il est nécessaire d'installer des menuiseries oscillo-battantes au-dessus des menuiseries classiques de 50cm de haut, au RDC haut ainsi qu'au R+1 et sur toute la longueur vitrée.

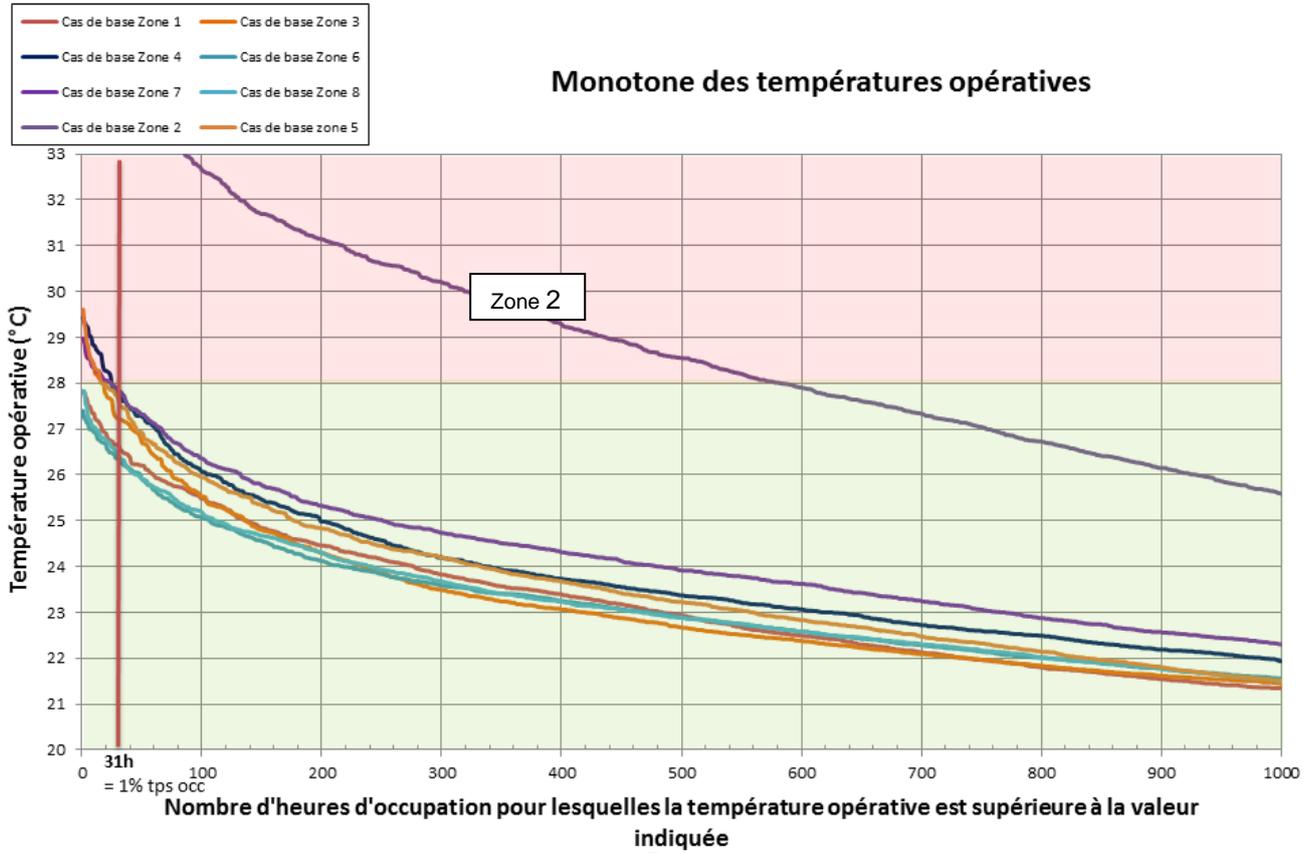


Figure 14 : Monotone des températures opératives : cas de base

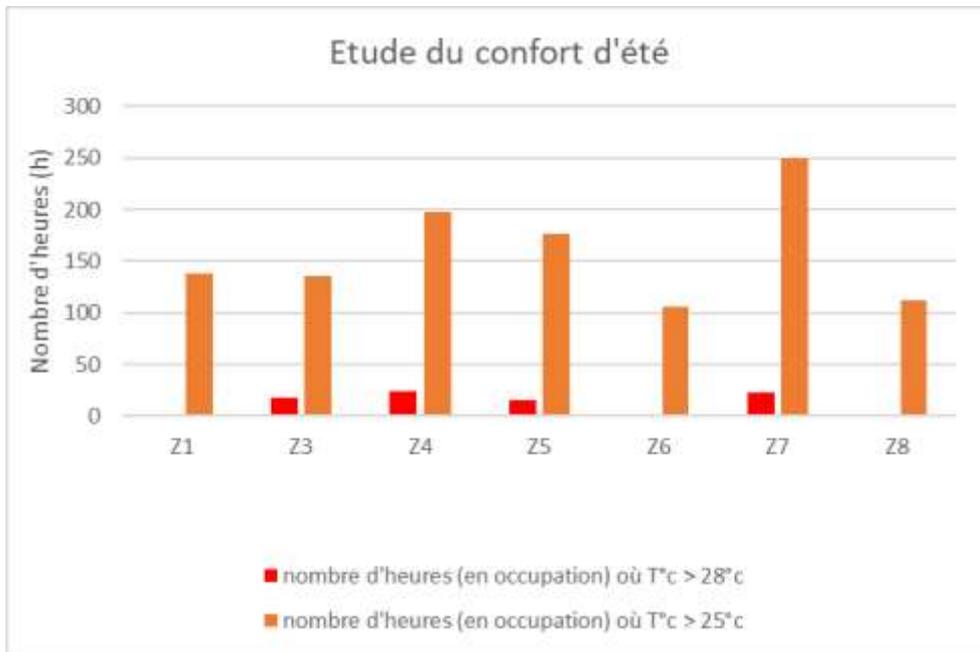


Figure 15 : Nombres d'heures durant laquelle la température dépasse 25°C/28° pour les différentes zones étudiées (hors zone 2) - cas de base

Dénomination	Nombre d'heures (en occupation) où T>28°C	Nbr d'heures en pourcentage en occupation où T>28°C	Température maximale atteinte (°C)
Zone Z1	0	0 %	28
Zone Z2	583	19%	38
Zone Z3	18	0,6%	29
Zone Z4	24	0,8%	29,5
Zone Z5	16	0,6%	29,6
Zone Z6	0	0%	27,5
Zone Z7	23	0,8%	29
Zone Z8	0	0 %	27,8

Tableau 20 : Confort d'été par zone: cas de base

Dans cette situation, le confort d'été est respecté pour l'ensemble des zones excepté la zone 2 (19% du temps d'occupation au-dessus de 28°C). Cette zone est vitrée en toiture ; le confort d'été est inatteignable sans rafraîchissement adiabatique. Aujourd'hui, un rafraîchissement adiabatique dans cette zone est impossible car le vitrage en toiture ne permet pas un passage de réseau de ventilation. De plus, les possibilités de ventilation naturelle nocturne sont limitées par la faible surface vitrée en façade (1 vol/h maximum atteint avec ouverture complète de la fenêtre en façade). Il est donc vivement conseillé de retirer le vitrage en toiture.

Les fréquences cumulées des températures des différentes zones révèlent des espaces plus critiques que d'autres. Les zones les plus critiques sont les suivantes (hors Zone Z2) :

- La Zone 5, qui correspond à la circulation vitrée entre bâtiment sud et Nord, est une zone critique influencée en grande partie par ses apports solaires
- La Zone 7, orientée sud-est, est une zone critique comportant des apports solaires et internes plus importants
- La Zone 3, correspondant à une partie du bâtiment Nord plus exposée, est une zone critique car peu inertiel (uniquement les deux murs pignons en béton), avec des apports internes (surface totale réservée à accueillir les enfants) et solaires importants. *(Remarque : un taux d'occultation plus important que les autres zones est appliqué ici afin que cette zone respecte les critères de confort d'été).*

Rappelons que dans le cas d'un bâtiment bien isolé, les apports internes jouent un rôle très important pour le confort d'été. Ces apports internes doivent pouvoir être évacués passivement pour assurer un confort d'été correct sans moyens énergivores.

Rappelons également que les apports solaires ont été surestimés en négligeant les masques engendrés par l'encadrement des menuiseries. Cette surestimation est évaluée et résumée § 4.1 |

4.2.2 | Cas de base : mise à jour des calculs

En retirant la verrière de la zone de circulation Z2, les hypothèses de simulation sont les suivantes (en rouge les hypothèses changeantes par rapport au cas précédent avec verrière) :

Données du cas de base	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
% d'occultations	40%	0%	80%	50%	80%	50%	60%	0% pour la façade vitrée au Rez-de-chaussée sous la Zone 2 50% pour les autres
% surface vitrée maximal par rapport à la surface des murs		80%			60%			
Facteur solaire g	63%	50%			63%			50% pour la façade vitrée au Rez-de-chaussée sous la Zone 2 63% pour les autres
Ventilation nocturne supplémentaire du 30 mai au 30 septembre pendant les jours d'occupation	VMC : De 4h à 6h	Ventilation naturelle de 0,5 vol/h de 19h à 7h		VMC : De 4h à 6h	Ventilation naturelle de 4 vol/h de 19h à 7h			VMC : De 4h à 6h

Tableau 21 : Synthèse des taux d'occultation, facteurs solaires des menuiseries et ventilations nocturnes pour le cas de base sans verrière

La ventilation naturelle de 0,5 vol/h dans la zone 2 correspond à l'ouverture d'une fenêtre oscillo-battante de la moitié de la hauteur de la façade vitrée et d'une ouverture de 10 cm. Illustration ci-dessous :

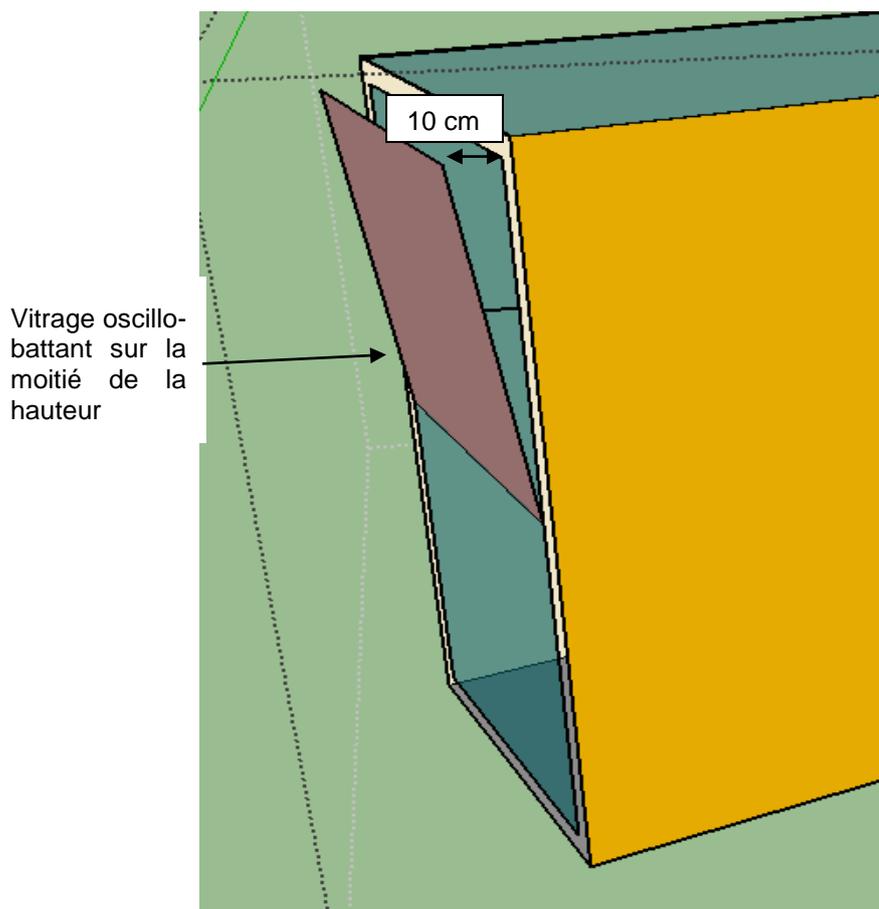


Figure 16 : illustration ventilation naturelle par ouverture de fenêtre sur la zone 2

Les résultats obtenus pour le confort d'été sont les suivants :

Dénomination	Nombre d'heures (en occupation) où T>28°C	Nbr d'heures en pourcentage en occupation où T>28°C	Température maximale atteinte (°C)
Zone Z1	0	0 %	27,7
Zone Z2	18	0,6 %	29,1
Zone Z3	18	0,6 %	28,9
Zone Z4	24	0,8 %	29,5
Zone Z5	26	0,85 %	29,9
Zone Z6	0	0 %	27,5
Zone Z7	24	0,8 %	29
Zone Z8	2	0,1 %	28,1

Tableau 22 : Confort d'été par zone: cas de base sans verrière

Dans ces conditions architecturales, l'objectif de confort d'été est atteint pour le fichier météo de référence.

4.3 | Variante 1 : conditions météorologiques type « horizon 2030 »

4.3.1 | Variante 1 initiale

Pour cette variante, le fichier météo utilisé est celui du scénario « horizon 2030 » avec une température maximale atteinte de 35,6°C contre 33,8°C dans le cas de base.

Les autres hypothèses correspondent aux hypothèses du cas de base estival précédent.

Nous obtenons ainsi les résultats suivants.

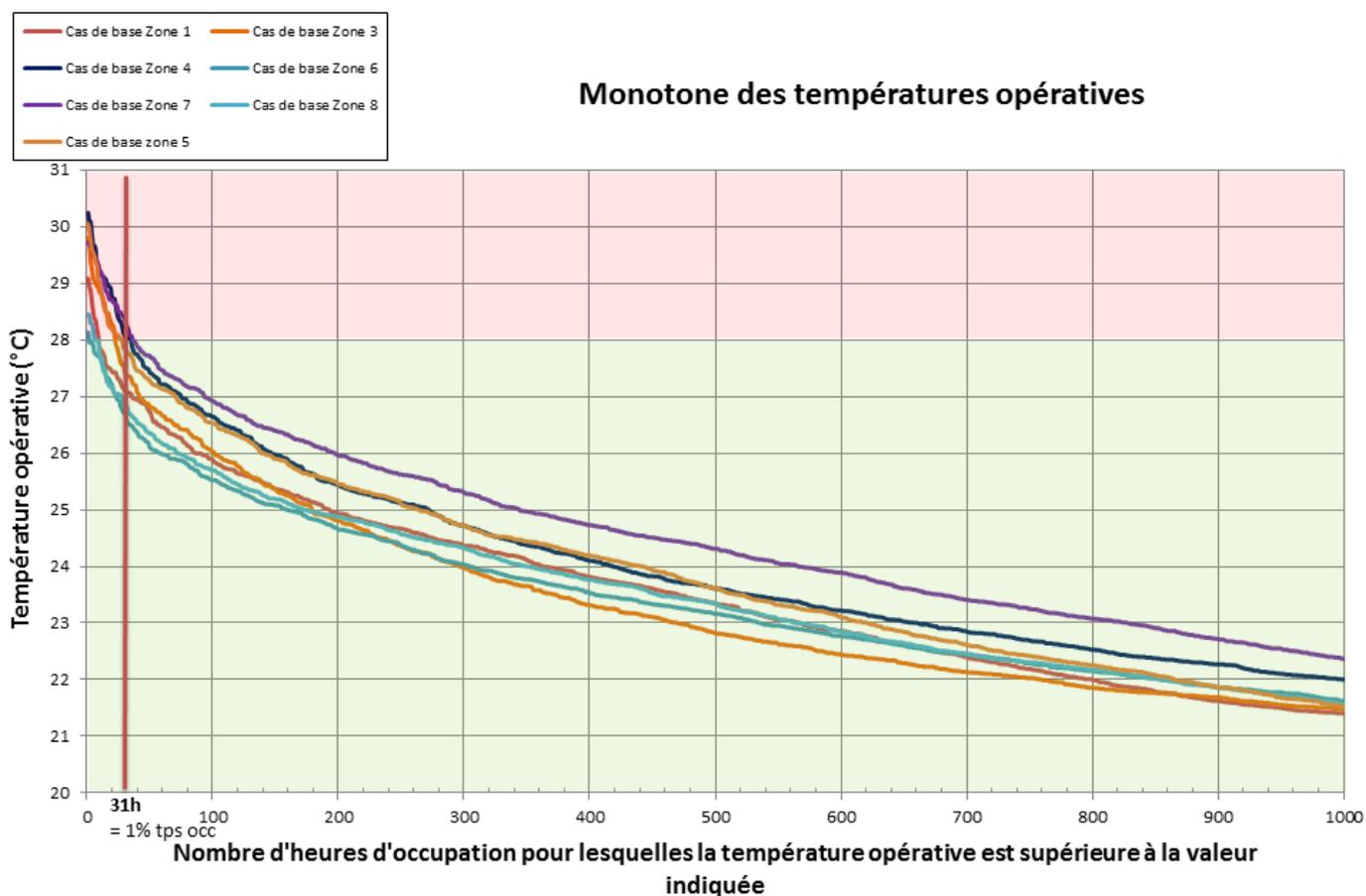


Figure 17 : Monotone des températures opératives avec météo horizon 2030: cas de base

Dénomination	Nombre d'heures (en occupation) où $T > 28^{\circ}\text{C}$	Nbr d'heures en pourcentage en occupation où $T > 28^{\circ}\text{C}$	Température maximale atteinte ($^{\circ}\text{C}$)
Zone 1	9	0,3 %	29,1
Zone 2	665	22 %	38,3
Zone 3	22	0,7%	29,8
Zone 4	35	1,1%	30,2
Zone 5	27	0,88%	30
Zone 6	1	0,03%	28,1
Zone 7	36	1,2%	29,7
Zone 8	6	0,2 %	28,5

Tableau 23 : Confort d'été par zone: cas de base

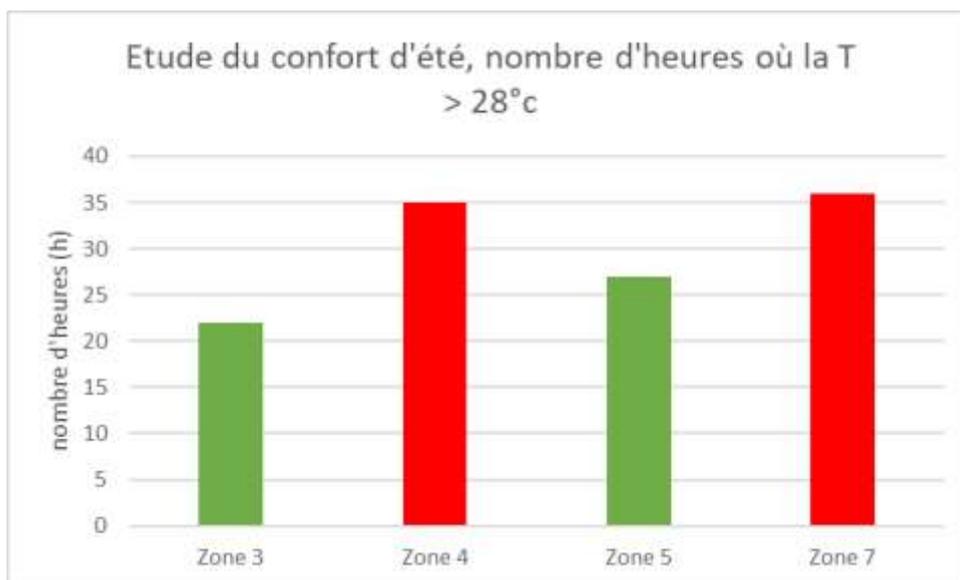


Figure 18 : Nombres d'heures durant laquelle la température dépasse 28°C pour les différentes zones sensibles - météo 2030

L'objectif de confort d'été n'est pas atteint dans les zones 4 et 7, une occultation des vitrages de ces zones à 80% lors de fortes chaleurs seront alors nécessaires. Dans ces conditions, les résultats pour les zones 4 et 7 sont les suivantes :

Zone 4	29	0,9%	30,2
Zone 7	31	1%	30

Tableau 24 : Confort d'été pour les zones 4 et 7 après une occultation des vitrages à 80%

Quant à la zone de circulation vitrée en toiture Z2, elle dépasse largement les critères de confort d'été. Cet espace ne peut pas être étudié dans les conditions architecturales actuelles.

4.3.2 | Variante 1 : mise à jour des calculs

En reprenant les hypothèses du § 2 | les résultats obtenus pour le confort d'été sont les suivants :

Dénomination	Nombre d'heures (en occupation) où T>28°C	Nbr d'heures en pourcentage en occupation où T>28°C	Température maximale atteinte (°C)
Zone 1	7	0,2%	29
Zone 2	52	1,7%	30
Zone 3	22	0,7%	29,8
Zone 4	35	1,1%	30,2
Zone 5	29	1,0%	30,2
Zone 6	4	0,1%	28,2
Zone 7	36	1,2%	29,7
Zone 8	9	0,3%	28,5

Tableau 25 : Confort d'été par zone : Variante 1 sans verrière

Les zones 2, 4 et 7 ne respectent pas les objectifs de confort d'été dans les hypothèses de base. Les hypothèses qui permettent de garder un taux d'inconfort inférieur à 1% pour une météo horizon 2030 sont définies dans le tableau ci-dessous. Les variations par rapport au cas de base du § 4.2.2 | apparaissent surlignées **en jaune**. [Les chiffres en rouge étant les modifications dues à la suppression de la verrière].

Données de la variante 1	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
% d'occultations	40%	0%	80%	60%	80%	50%	70%	0% pour la façade vitrée au Rez-de-chaussée sous la Zone 2 50% pour les autres
% surface vitrée maximal par rapport à la surface des murs		80%			60%			
Facteur solaire g	63%	50%			63%			50% pour la façade vitrée au Rez-de-chaussée sous la Zone 2 63% pour les autres
Ventilation nocturne supplémentaire du 30 mai au 30 septembre pendant les jours d'occupation	VMC : De 4h à 6h	Ventilation naturelle de 2 vol/h de 19h à 7h	De 4h à 6h		Ventilation naturelle de 4 vol/h de 19h à 7h			De 4h à 6h

Tableau 26 : Synthèse des taux d'occultation, facteurs solaires des menuiseries et ventilations nocturnes pour la Variante 1 sans verrière

La ventilation naturelle de 2 vol/h dans la zone 2 correspond à l'ouverture d'une fenêtre oscillo-battante de la moitié de la hauteur de la façade vitrée et d'une ouverture de 25 cm. Illustration ci-dessous :

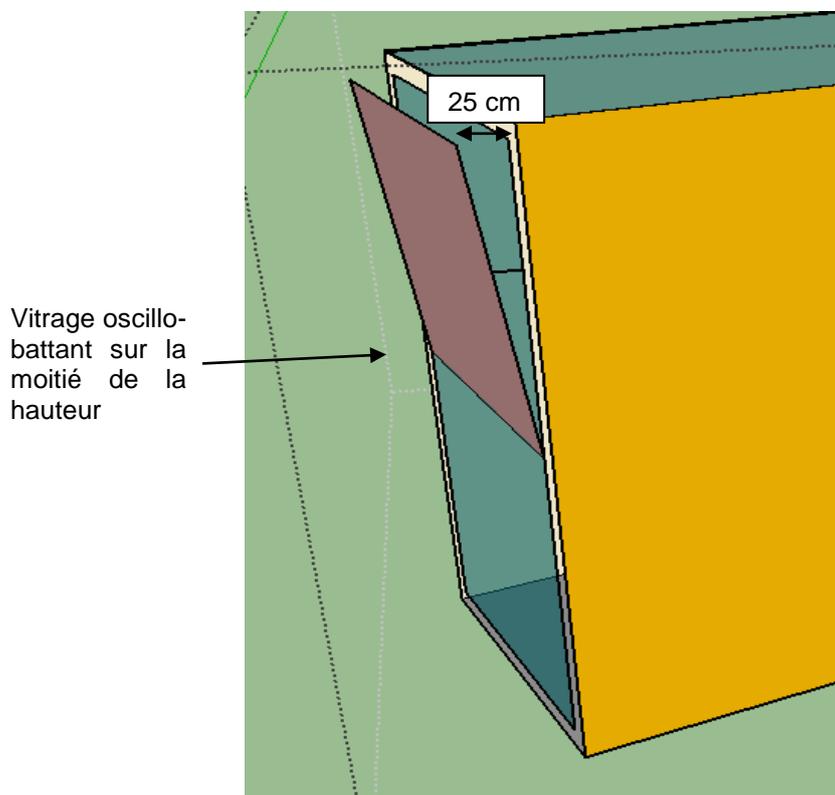


Figure 19 : illustration ventilation naturelle par ouverture de fenêtre sur la zone 2

Les résultats obtenus en termes de confort d'été avec ces hypothèses de simulation sont décrites dans le tableau ci-dessous.

Dénomination	Nombre d'heures (en occupation) où T>28°C	Nbr d'heures en pourcentage en occupation où T>28°C	Température maximale atteinte (°C)
Zone 1	7	0,2%	28,9
Zone 2	17	0,5%	29,1
Zone 3	21	0,7%	29,7
Zone 4	22	0,7%	29,4
Zone 5	29	1,0%	30,3
Zone 6	1	0,0%	28,2
Zone 7	17	0,6%	28,8
Zone 8	9	0,3%	28,6

Tableau 27 : Confort d'été par zone : Variante 1 sans verrière

4.4 | Variante 2 : conditions météorologiques type « horizon 2030 été chaud »

Pour cette variante, le fichier météo utilisé est celui du scénario « horizon 2030 avec été très chaud » (type canicule) avec une température maximale atteinte de 38,1°C contre 33,8°C dans le cas de base.

4.4.1 | Cas de base

En considérant les hypothèses du cas de base estival et les conditions météorologiques type « horizon 2030 été chaud », nous obtenons les résultats suivants.

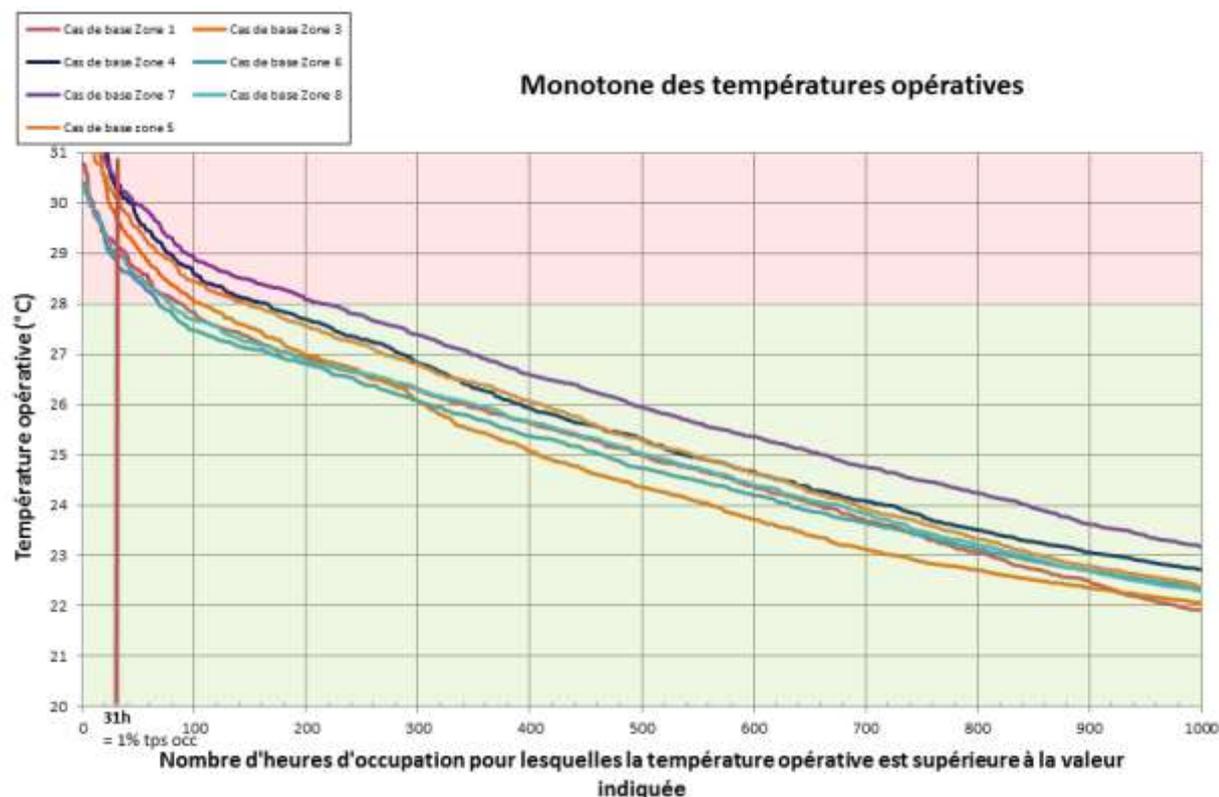


Figure 20 : Monotone des températures opératives avec météo horizon 2030 été chaud : cas de base

Dénomination	Nombre d'heures (en occupation) où T>28°C	Nbr d'heures en pourcentage en occupation où T>28°C	Température maximale atteinte (°C)
Zone 1	87	2,84 %	30,8
Zone 2	801	26,2 %	39,8
Zone 3	105	3,43 %	32,2
Zone 4	164	5,36 %	32,3
Zone 5	147	4,8 %	32
Zone 6	68	2,22 %	30,4
Zone 7	213	6,96 %	31,8
Zone 8	78	2,55 %	30,4

Tableau 28 : Confort d'été par zone avec météo horizon 2030 été chaud : cas de base

L'objectif de confort d'été n'est atteint pour aucune des zones. Les zones où l'inconfort est le plus grand sont les zones 4,5,7 et bien sûr la zone 2.

Les zones 4 et 7 sont des zones ayant un pourcentage d'occultation < 60%, on peut donc augmenter ce pourcentage jusqu'à 80%.

Nous pouvons également ventiler mécaniquement dans toutes les zones concernées de minuit à 6h du matin l'été pour diminuer la surchauffe (de 4h à 6h uniquement pour le cas de base). C'est ce qui va être étudié dans la variante décrite dans le chapitre suivant.

La zone 5 possède déjà le couple ventilation-occultation maximal. Seule la ventilation nocturne de la zone 8 influera sur les températures de la zone 5.

4.4.2 | Mise à jour des calculs

Pour information, lorsque nous retirons la verrière de la zone 2, les résultats du confort d'été sont les suivants.

Dénomination	Nombre d'heures (en occupation) où T>28°C	Nbr d'heures en pourcentage en occupation où T>28°C	Température maximale atteinte (°C)
Zone 1	63	2,06 %	30,4
Zone 2	163	5,33 %	31,0
Zone 3	95	3,10 %	32,1
Zone 4	101	3,30 %	31,6
Zone 5	158	5,16 %	31,2
Zone 6	68	2,22 %	30,4
Zone 7	112	3,66 %	31,1
Zone 8	80	2,61 %	30,5

Tableau 29 : Confort d'été par zone avec météo horizon 2030 été chaud : cas de base mis à jour

4.4.3 | Rallongement de la période de ventilation naturelle nocturne, occultation solaire maximale

Remarques : Afin de respecter un taux d'apport solaire suffisant en été, et ainsi augmenter le confort des occupants et diminuer les besoins en éclairage, il n'est pas souhaitable d'avoir un taux d'occultation de

80% sur les menuiseries. Cependant, l'étude qui suit a été réalisée pour s'assurer de la nécessité d'un rafraîchissement adiabatique dans les conditions architecturales actuelles et météorologiques à venir.

Données	Toutes zones sauf 2 et 5	Z2	Z5
% d'occultations	80%	Façade : 80% Toiture : 0%	80%
Ventilation nocturne supplémentaire du 30 mai au 30 septembre pendant les jours d'occupation	VMC : De minuit à 6h	Ventilation naturelle de 2vol/h de 19h à 7h	Ventilation naturelle de 4vol/h de 19h à 7h

Tableau 30 : Synthèse des taux d'occultation, facteurs solaires des menuiseries et ventilations nocturnes pour la variante 1 été 2030 chaud

En passant le pourcentage d'occultation des vitrages de toutes les zones à 80% et prolongeant la ventilation mécanique de minuit à 6h (au lieu de 4h à 6h sur le cas de base), nous obtenons les résultats suivants.

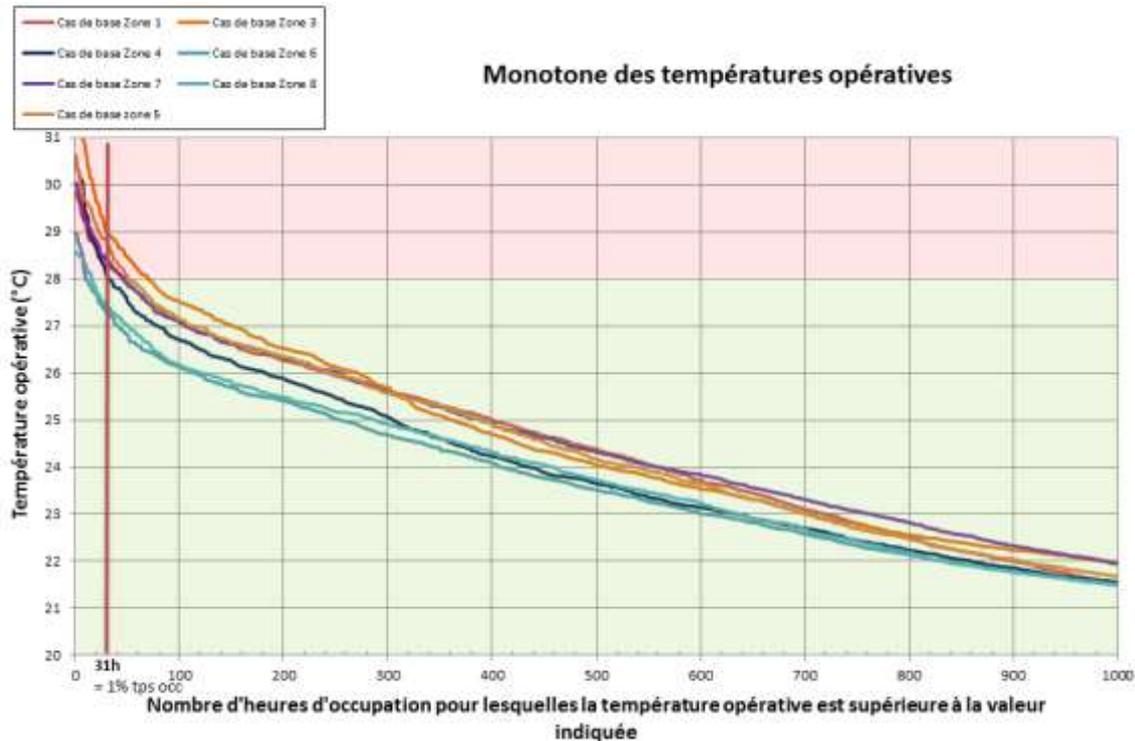


Figure 21 : Monotone des températures opératives avec météo horizon 2030 été chaud

Dénomination	Nombre d'heures (en occupation) où T>28°C	Nbr d'heures en pourcentage en occupation où T>28°C	Température maximale atteinte (°C)
Zone 1	44	1,4%	29,81
Zone 2	785	25,7%	39,6
Zone 3	70	2,3%	31,82
Zone 4	32	1,0%	30,51
Zone 5	51	1,7%	30,62
Zone 6	10	0,3%	28,95
Zone 7	47	1,5%	30,03
Zone 8	15	0,5%	28,55

Tableau 31 : Confort d'été par zone avec météo horizon 2030 été chaud

L'objectif de confort d'été n'est pas atteint pour toutes les zones.

Avec un scénario de type canicule, le bâtiment est très inconfortable pour certaines zones durant la période estivale, sans dispositions particulières.

Il est donc nécessaire de mettre en place un refroidissement adiabatique durant l'été. Ceci est simulé dans la variante 2.2 qui suit.

4.4.4 | Mise à jour des calculs

En reprenant les hypothèses du chapitre précédent 4.4.3 | et en supprimant la verrière de la zone 2 nous obtenons les résultats suivants pour le confort d'été :

Dénomination	Nombre d'heures (en occupation) où T>28°C	Nbr d'heures en pourcentage en occupation où T>28°C	Température maximale atteinte (°C)
Zone 1	29	0,95 %	29,4
Zone 2	30	1,00 %	26,8
Zone 3	65	2,12 %	31,8
Zone 4	30	0,98 %	30,5
Zone 5	47	1,54 %	30,6
Zone 6	9	0,29 %	28,9
Zone 7	40	1,31 %	30,0
Zone 8	14	0,46 %	28,5

Tableau 32 : Confort d'été par zone avec météo horizon 2030 été chaud

Les zones 3, 5 et 7 conservent un inconfort supérieur à 1% dans ces conditions. La Zone 2 quant à elle ne rencontre plus de soucis de confort d'été.

Afin d'atteindre les objectifs de confort d'été fixés sans rafraîchissement actif, il est indispensable de revoir les pourcentages vitrés et la ventilation naturelle pour les zones sensibles citées ci-dessus.

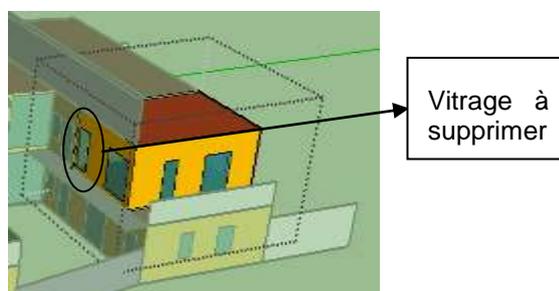
Il s'agit en effet d'autoriser la ventilation naturelle nocturne dans les Zones 5,7 et 3 qui sont fortement vitrées et diminuer le pourcentage vitré de ces zones. Les hypothèses qui permettent d'atteindre les objectifs du confort d'été sont décrites dans le tableau ci-dessous. Les ajouts et/ou modifications par rapport aux hypothèses de simulation précédentes sont surlignées **en jaune**.

Données météo été chaud 2030	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
% d'occultations	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Position des protections solaires	ext	int	ext	ext	ext	ext	ext	ext
% surface vitrée maximal par rapport à la surface des murs		80%	20% façade SUD (correspond à la suppression de la baie vitrée un vantail côté sud)		40%			
Facteur solaire g	63%	50%	63%				50% pour la façade vitrée au Rez-de-chaussée sous la Zone 2 63% pour les autres	
Ventilation nocturne supplémentaire du 30 mai au 30 septembre pendant les jours d'occupation	VMC : De minuit à 6h	Ventilation naturelle de 2 vol/h de 19h à 7h	Ventilation naturelle de 5 vol/h de 19h à 7h	VMC : De minuit à 6h	Ventilation naturelle de 5 vol/h de 19h à 7h	VMC : De minuit à 6h	Ventilation naturelle de 5 vol/h de 19h à 7h	VMC : De minuit à 6h

Tableau 33 : Synthèse des taux d'occultation, facteurs solaires des menuiseries et ventilations nocturnes pour la Variante 2 sans système actif

La ventilation naturelle à 5vol/h dans les zones 3 et 7 est facilement atteignable en autorisant l'ouverture de deux fenêtres, chacune sur une façade opposée ayant une ouverture de 1mx1m.

Ci-dessous le vitrage de la zone trois à supprimer :



Ainsi, les objectifs de confort d'été sont atteints sans système actif et les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Dénomination	Nombre d'heures (en occupation) où T>28°C	Nbr d'heures en pourcentage en occupation où T>28°C
Zone 1	27	0,92 %
Zone 2	30	1,00 %
Zone 3	31	1,00 %
Zone 4	29	0,95 %
Zone 5	31	1,00 %
Zone 6	8	0,26 %
Zone 7	14	0,46 %
Zone 8	1	0,03 %

Tableau 34 : Confort d'été par zone avec météo horizon 2030 été chaud

4.4.5 | Refroidissement adiabatique

Dans cette variante, afin d'atteindre l'objectif de confort d'été, le rafraichissement adiabatique est étudié.

Le rafraichissement adiabatique est actif lorsque la température de l'air intérieur est supérieure à 24°C, l'air neuf est ainsi refroidi de 6°C. La ventilation mécanique fonctionne, comme dans le cas de base, de 4h du matin à 19h le soir. La ventilation naturelle considérée précédemment pour la zone 5 reste active. Les occultations minimales sont de 60% comme suit.

Données du cas de base	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
% d'occultations	60%	Façade : 70% Toiture : 0%	80%	60%	80%	60%	60%	60%

Tableau 35 : taux d'occultation des fenêtres – confort d'été _ météo horizon 2030 été chaud

Les résultats obtenus sont les suivants.

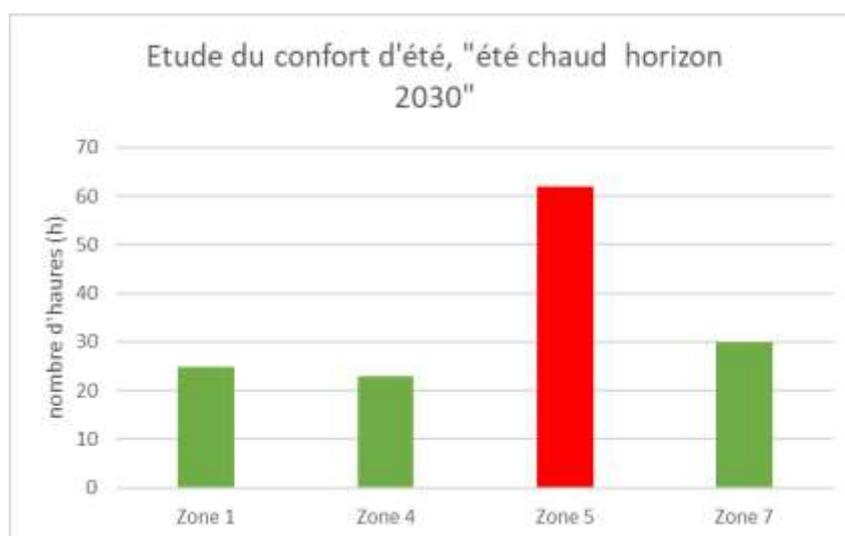


Figure 22 : Nombres d'heures durant laquelle la température dépasse 28° pour les différentes zones sensibles - météo 2030 été chaud

Dénomination	Nombre d'heures (en occupation) où T>28°C	Nbr d'heures en pourcentage en occupation où T>28°C	Température maximale atteinte (°C)
Zone 1	25	0,8%	29,10
Zone 2	825	27%	39,88
Zone 3	13	0,4%	28,91
Zone 4	23	0,8%	29,21
Zone 5	62	2,0%	31,10
Zone 6	0	0,0%	27,36
Zone 7	30	1,0%	29,26
Zone 8	10	0,3%	28,67

Tableau 36 : Confort d'été par zone avec météo horizon 2030 été chaud et refroidissement adiabatique

La mise en place d'un rafraichissement adiabatique couplé à un prolongement de la ventilation de 4h du matin à 19h le soir et de protections solaires occultant jusqu'à 60% sur les zones courantes permet de satisfaire tout juste aux objectifs de confort d'été pour cette variante « horizon 2030 été très chaud ». La température maximale ne dépasse pas 30°C.

Dans ces conditions, la zone 5 ne remplira pas les critères de confort d'été. Il peut être judicieux de :

- ajouter de l'inertie dans cet espace (plancher béton en lieu et place du plancher bois et poteaux bétons) afin que la ventilation naturelle soit plus efficace,
- diminuer davantage le pourcentage vitré,
- installer une bouche de soufflage directement dans la zone 5 ce qui permettra de refroidir directement cette zone à la température en sorti de refroidissement adiabatique.

En ce qui concerne la zone de circulation vitrée 2, elle dépasse toujours largement les critères de confort d'été. Cet espace ne peut pas être étudié dans les conditions architecturales actuelles

En cas de fortes chaleurs (type canicule), la mise en place d'un rafraichissement adiabatique est indispensable pour éviter les surchauffes et atteindre l'objectif de confort d'été.