

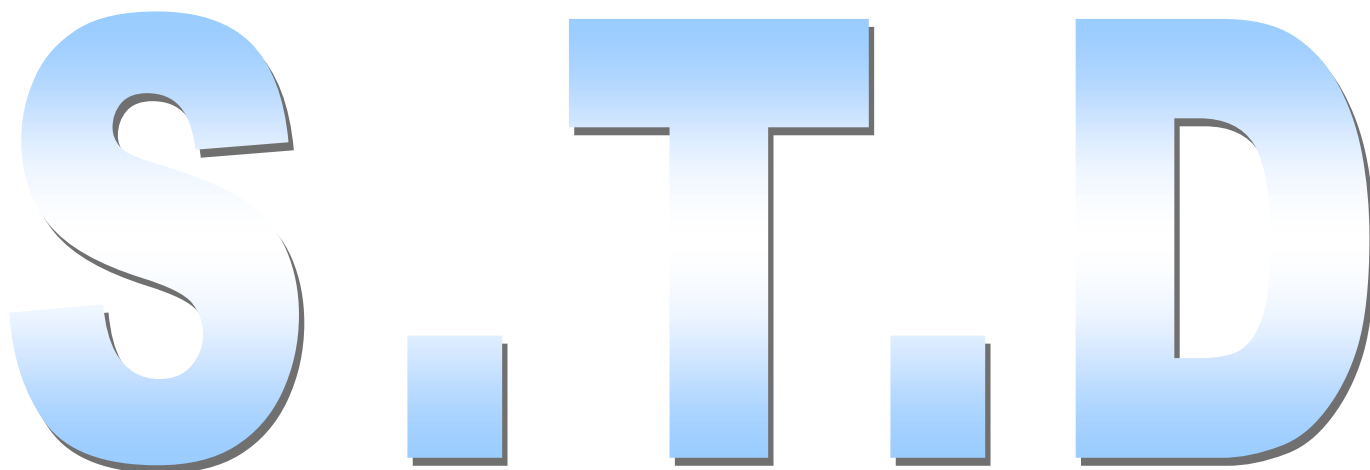
Réfection des façades du bâtiment principal au centre hospitalier Louis Pasteur à Dole

73 Avenue Léon Jouhaux - 39100 DOLE

MAITRE D'OUVRAGE

Centre hospitalier Louis PASTEUR

73 Avenue Léon Jouhaux
39100 DOLE
Tél. : 03.84.79.80.80



SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

ARCHITECTE

REICHARDT & FERREUX

Architectes dplg

170 rue du Docteur Jean Michel
39000 LONS LE SAUNIER
Tél. : 03.84.47.61.61



Boîte postale 902
25021 BESANCON CEDEX
Tél. : 03.81.88.22.25
Fax : 03.81.60.70.75
E-Mail : contact@bet-bellucci.com



SUIVI DES MODIFICATIONS DU DOCUMENT

Indice	Date	Objet	Pages
00	19/11/2021	Création document	Toutes
01	01/03/2022	Modifications suite à réunion du 24/01/22.	-

SOMMAIRE

1.	OBJET	5
2.	LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE	7
2.1.	PREAMBULE	7
2.2.	AVERTISSEMENT	7
2.3.	STATION METEOROLOGIQUE	8
2.4.	CARACTERISTIQUES DU BATIMENT	10
2.5.	ZONAGE ET ORGANISATIONS DES ESPACES INTERIEURS	17
2.6.	SYNTHESE DES HYPOTHESES POUR L'ETUDE THERMIQUE DYNAMIQUE	21
3.	Insolation des façades	22
	1^{ère} Partie : Modélisations Maquette réduite	25
4.	Sous-partie 1 – Maquette réduite – État initial	25
4.1.	ORIENTATION SUD-OUEST	25
4.1.1.	ETE NORMAL - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION	25
4.1.2.	EPISODE CANICULAIRE - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION	25
4.1.3.	ETE NORMAL – HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION	26
4.1.4.	EPISODE CANICULAIRE - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION	26
4.1.5.	ETE NORMAL – ZONE DE BRAGER	27
4.1.6.	EPISODE CANICULAIRE - ZONE DE BRAGER	28
4.2.	ORIENTATION NORD-OUEST	29
4.2.1.	ETE NORMAL - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION	29
4.2.2.	EPISODE CANICULAIRE - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION	29
4.2.3.	ETE NORMAL – HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION	29
4.2.4.	EPISODE CANICULAIRE - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION	30
4.2.5.	ETE NORMAL – ZONE DE BRAGER	30
4.2.6.	EPISODE CANICULAIRE - ZONE DE BRAGER	31
4.3.	ETAT INITIAL - COMPARAISON DES BESOINS DE CHAUFFAGE ET APPORTS SOLAIRES PAR ORIENTATION	31
4.3.1.	ORIENTATION SO - ETE NORMAL – BESOINS DE CHAUFFAGE ET APPORTS SOLAIRES	31
4.3.1.	ORIENTATION NO - ETE NORMAL – BESOINS DE CHAUFFAGE ET APPORTS SOLAIRES	31
5.	Sous-partie 2 – Maquette réduite – Etat Projet	32
5.1.	PERFORMANCE DE LA FAÇADE – SIMULATION 1	32

5.2.	PERFORMANCE DE LA FAÇADE – SIMULATION 2.....	33
5.3.	PERFORMANCE DE LA FAÇADE – MODELISATION COMPLETE	34
5.1.	ORIENTATION SUD-OUEST – ETAT PROJET (SANS AMELIORATION VENTILATION).....	35
5.1.1.	ETE NORMAL - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION	35
5.1.2.	EPISODE CANICULAIRE - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION.....	35
5.1.3.	ETE NORMAL – HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION	36
5.1.4.	EPISODE CANICULAIRE - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION.....	37
5.1.5.	ETE NORMAL – ZONE DE BRAGER.....	37
5.1.6.	EPISODE CANICULAIRE - ZONE DE BRAGER	38
5.2.	ORIENTATION SUD-OUEST – ETAT PROJET (AVEC AMELIORATION VENTILATION).....	39
5.2.1.	ETE NORMAL - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION	39
5.2.2.	EPISODE CANICULAIRE - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION.....	39
5.2.3.	ETE NORMAL – HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION	39
5.2.4.	EPISODE CANICULAIRE - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION.....	41
5.2.5.	ETE NORMAL – ZONE DE BRAGER.....	41
5.2.6.	EPISODE CANICULAIRE - ZONE DE BRAGER	42
5.1.	ORIENTATION NORD-OUEST – ETAT PROJET (AVEC AMELIORATION VENTILATION).....	43
5.1.1.	ETE NORMAL - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION	43
5.1.2.	EPISODE CANICULAIRE - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION.....	43
5.1.3.	ETE NORMAL – HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION	43
5.1.4.	EPISODE CANICULAIRE - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION.....	44
5.1.5.	ETE NORMAL – ZONE DE BRAGER.....	44
5.1.6.	EPISODE CANICULAIRE - ZONE DE BRAGER	45
5.2.	ETE NORMAL - COMPARAISON TEMPERATURES JUILLET (AVEC AMELIORATION VENTILATION).....	45
5.2.1.	ETAT INITIAL - ORIENTATION SO - ETE NORMAL – TEMPERATURES JUILLET.....	45
5.2.2.	ETAT PROJET - ORIENTATION SO - ETE NORMAL – TEMPERATURES JUILLET.....	46
5.3.	EPISODE CANICULAIRE - COMPARAISON TEMPERATURES JUILLET (AVEC AMELIORATION VENTILATION)	46
5.3.1.	ETAT INITIAL - ORIENTATION SO – EPISODE CANICULAIRE – TEMPERATURES JUILLET ...	46
5.3.2.	ETAT PROJET (AVEC AMELIORATION VENTILATION) - ORIENTATION SO – EPISODE CANICULAIRE - ETE NORMAL – TEMPERATURES JUILLET	47
5.4.	ETAT PROJET - COMPARAISON DES BESOINS DE CHAUFFAGE ET APPORTS SOLAIRES PAR ORIENTATION.....	48
5.4.1.	SANS AMELIORATION VENTILATION - ORIENTATION SO - ETE NORMAL – BESOINS DE CHAUFFAGE ET APPORTS SOLAIRES.....	48
5.4.2.	AVEC AMELIORATION VENTILATION - ORIENTATION SO - ETE NORMAL – BESOINS DE CHAUFFAGE ET APPORTS SOLAIRES.....	48
5.4.3.	AVEC AMELIORATION VENTILATION - ORIENTATION NO - ETE NORMAL – BESOINS DE CHAUFFAGE ET APPORTS SOLAIRES.....	48
2ème	Partie : Estimation des consommations	49
6.	Bases pour l'estimation des consommations	49
6.1.	BASES CLIMATIQUES.....	49
6.2.	BASES THERMIQUES	49
6.3.	OCCUPATION ET INTERMITTENCE DE FONCTIONNEMENT	49
6.4.	RENDEMENT D'INSTALLATION DE CHAUFFAGE / VENTILATION	49
7.	Sous-partie 1 – Estimation des consommations - État initial	50
7.1.	DEFINITIONS DU DEGRE JOUR UNIFIE.....	51
7.2.	RATIO kWh/DJU ET CONSOMMATIONS INITIALES	52

8.	Sous-partie 2 – Estimation des consommations – État projet façade bioclimatique (avec amélioration ventilation).....	54
9.	LUMIERE NATURELLE DANS LES CHAMBRES	55
9.1.	ETAT INITIAL – APPORTS DE LUMIERE NATURELLE	55
9.1.1.	ORIENTATION NO	55
9.1.2.	ORIENTATION SO	55
9.1.3.	ORIENTATION SE.....	56
9.2.	ETAT PROJET – APPORTS DE LUMIERE NATURELLE	57
9.2.1.	ORIENTATION NO	57
9.2.2.	ORIENTATION SO	58
9.2.3.	ORIENTATION SE.....	58
10.	CONCLUSION.....	59

1. **OBJET**

Le présent document a pour objet dans le cadre du projet de réfection des façades du bâtiment principal au centre hospitalier Louis Pasteur à Dole de définir la performance thermique atteinte avec la mise en place d'une façade bioclimatique intelligente (façade double peau), tant en terme de consommations qu'en terme de confort estival.

Plusieurs modélisations seront réalisées de la manière suivante :

- En premier lieu, il sera réalisé une modélisation d'une petite partie de l'hôpital (un ensemble de chambre et de locaux connexes suivant différentes expositions et situations). La maquette sera utilisée de la manière suivante :
 - Modélisation de la performance initiale de la façade,
 - Détermination de la performance atteinte lors de la mise en place de la façade bioclimatique,
 - Analyse du confort estival dans les chambres pour diverses orientations,
- En second lieu, il sera estimé les gains sur les consommations du bâtiment principal à-partir des relevés de consommations existants et des estimations de gains de l'état projeté. Cette estimation s'appuiera pour partie sur l'étude faisabilité réalisée en 2009.

Le diagnostic a été établi sur les bases suivantes :

- Un test de perméabilité par échantillonnage réalisé sur plusieurs chambres existantes, suivant diverses orientations de manière à estimer les infiltrations de l'état existant,
- Une visite réalisée le 17 septembre 2021,
- Les plans de l'hôpital extraits de la campagne d'audit 2007/2008 relative aux réseaux du centre hospitalier par le bureau d'études ARCHIMEN groupe,
- Le rapport d'analyse du confort d'été réalisé en avril 2010 visant à quantifier le confort d'été de l'hébergement du centre hospitalier Louis Pasteur,
- Le rapport d'étude de faisabilité de 2009 portant sur l'amélioration du bilan énergétique de l'hôpital, par le biais de la rénovation des façades et de la ventilation.
- Un suivi des factures mensuelles sur une période allant de janvier 2016 à mars 2021.

L'analyse du confort estival s'appuiera sur la comptabilisation du nombre d'heures de dépassement de la température de 28°C intérieur. Le confort sera considéré comme acceptable pour un nombre d'heures de dépassement inférieur à 60 h (cible performant référentiel HQE établissement de santé).

Pour déterminer le confort d'été, les zones thermiques suivantes ont été définies :

- Niveau RDC de l'hôpital
- Bureaux au R+1 de l'hôpital
- Chambre / SdB au R+2
- Chambre / SdB au niveau courant
- Chambre / SdB au R+6
- Chambres / SdB voisines des chambres étudiées
- Couloir
- Vide technique / Restaurant au R+7

Les zones thermiques ont été choisies de façon à étudier le confort d'été pour chaque zone thermiquement homogène variant selon l'orientation de l'exposition des façades, des apports internes, de l'occupation des locaux, etc...

La simulation thermique dynamique pour l'étude du confort d'été dans les zones thermiques étudiées tient compte également de son environnement voisin (pièces voisines) ; c'est pourquoi les locaux connexes seront modélisés permettant ainsi d'être dans la configuration la plus juste en renseignant l'ensemble des scénarios pour chacune des zones du bâtiment.

De plus, pour la maquette complète, l'ensemble des masques proches et lointains ont été pris en compte dans la simulation thermique dynamique de manière à tenir compte de l'impact de ces masques sur le projet.

2. LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

2.1. Préambule

La simulation thermique dynamique est réalisée à l'aide du logiciel Pléiades+Comfie 2021 V5.21.6.1 de la société IZUBA Energie.

La simulation se fait sur une période de un an et avec un pas d'un quart d'heure, avec une pré-simulation de trois semaines permettant d'obtenir des températures initiales cohérentes.



Elle se base sur des données climatiques horaires et la modélisation thermique permet de représenter précisément le fonctionnement thermique d'un projet, afin d'en analyser les sources de déperditions et de surchauffes.

La simulation prend en compte :

- Les apports solaires (utiles qui participent à diminuer les besoins de chauffe),
- Les apports internes (métabolique et ceux liés aux appareils).

Elle révèle ainsi les surchauffes éventuelles, et l'impact de masques architecturaux, végétaux, du mode de vie des occupants, des systèmes de ventilation en tenant compte des échanges entre chaque zone.

L'étude est basée sur des fonds de plans datés de 2007 / 2008 (extraits de la campagne de relevé des réseaux réalisée à cette époque).



 **NOTA :** Certaines informations, importantes sont soulignées par le symbole suivant dans le rapport : 

2.2. Avertissement

Toute modification du projet concernant le projet initial devra être signalée au BET BELLUCCI. En effet, les modifications peuvent rendre certains éléments caducs.

Le BET BELLUCCI a été amené à faire une ou plusieurs hypothèses sur le projet, il appartient au client de communiquer par écrit des observations éventuelles.

Le BET BELLUCCI ne pourrait être rendu responsable des modifications apportées à la présente étude sans son consentement écrit.

 ***La consommation dépend à plus de 30% du comportement des usagers, des réglages et des installations.*** 

Le logiciel Pléiades Comfie n'intègre pas la possibilité de modéliser les double-jour en une seule simulation, il est nécessaire de procéder par des simulations intermédiaires de manière à déterminer la performance résultante d'un assemblage de parois vitrées de type double façade (facteur solaire, transmission lumineuse et coefficient de transmission thermique).

Les simulations permettant la détermination de la performance résultante du complexe de façade multiple seront réalisées suivant le tutoriel Pléiades / Cas particuliers en STD / Serre et véranda, Modéliser une serre ou une véranda (double-jour).

Il a également été utilisé le guide extrait du Programme d'Action pour la qualité de la Construction et la Transition Energétique (PACTE) ; Façade multiple - double peau ventilée naturellement sur l'extérieur – neuf et rénovation.

2.3. Station météorologique

La commune de DOLE (39) se situe à 47°05'30"N de latitude et 5°29'47"E de longitude, à une altitude comprise entre 196 et 341 mètres. L'emplacement où sera situé le bâtiment étudié se trouve à une altitude de 250 m environ.

Le fichier météorologique de base a été construit par le biais du logiciel METEONORM V7.1.11, par interpolation entre les données de plusieurs stations météorologiques à proximité de Dole. Les données ainsi construites ont été comparées avec les moyennes annuelles de températures présentes sur le site internet Infoclimat pour la station météorologique de « Dole - Tavaux (39) », situé à une altitude de 195 m.

Lien internet Infoclimat : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2020/dole-tavaux/valeurs/07386.html>

DJU 18 moyens pour la période 2010 – 2020 pour la station météo de DOLE-TAUAUX : 2591.

Les valeurs extrêmes de températures mesurées sur la période 2000 - 2020 pour le site de « Dole - Tavaux » sont les suivantes :

- Température maximale : 39,4°C (le 07 août 2003),
- Température minimale : -18,2°C (le 20 décembre 2009),

Le confort d'été sera analysé suivant deux scénarios météorologiques, un scénario représentant un été normal (en comparaison aux températures pour la période 2010 – 2020 pour le site de « Dole - Tavaux ») et un scénario représentant un été caniculaire, « Canicule 2003 ». Le scénario normal sera utilisé dans le cadre de l'estimation des consommations.

Le scénario normal utilise des valeurs de températures moyennées et est plus adapté à une estimation des consommations énergétiques.

Le fichier météo « normal » a été créé avec le logiciel METEONORM V7.1.11 puis importé directement dans la base de données de Pléiades.

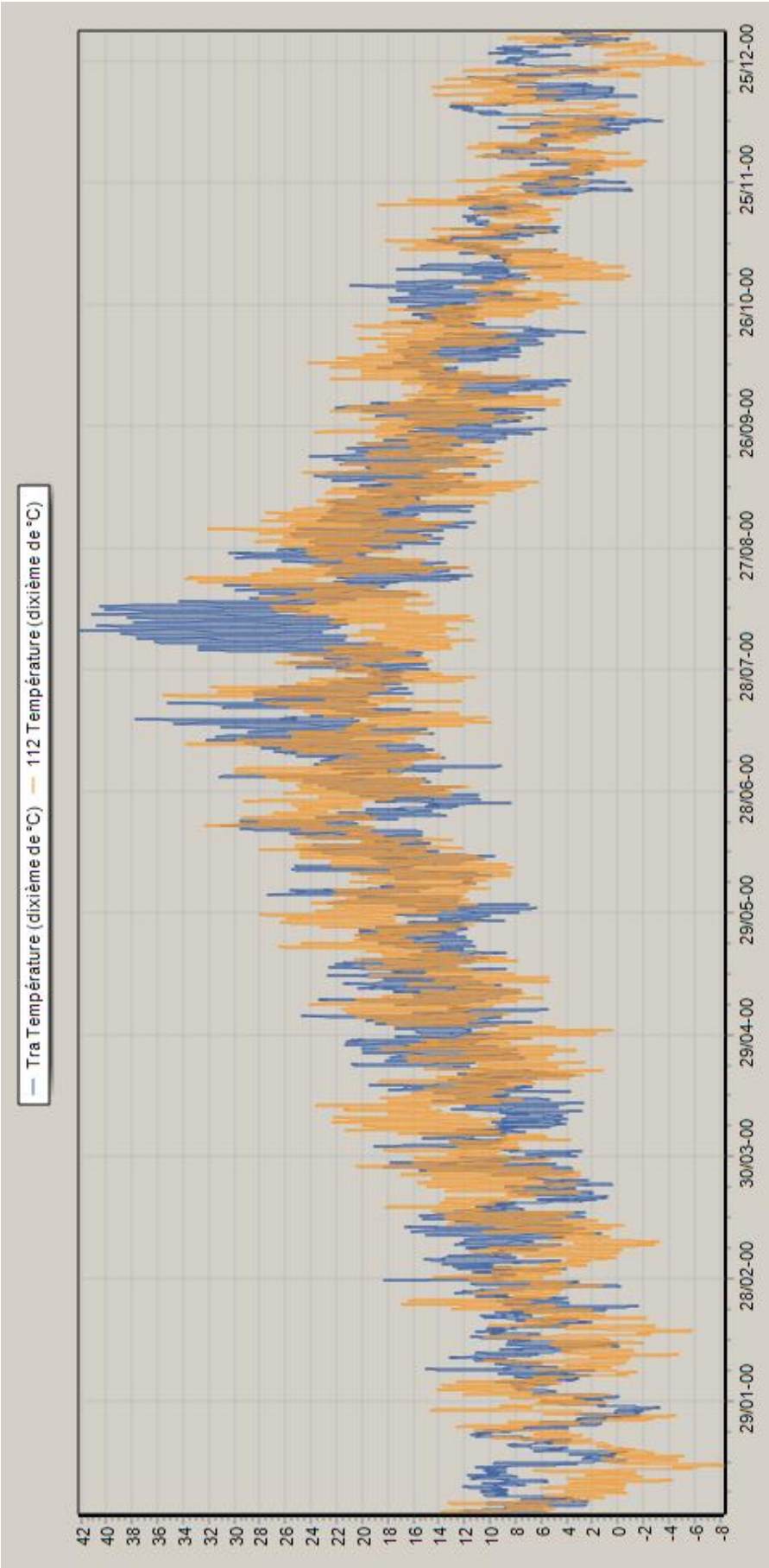
➤ Scénario : « Eté normal ».

Nom	11220_CHLSPDOLE-hour	Altitude	209 m
Longitude	5°28'21"E	Latitude	47°4'58"N
Températures	Minimale	Maximale	Moyenne
	-8.3°C	35.6°C	12.0°C

➤ Scénario : « Canicule 2003 »

Nom	Canicule 2003	Altitude	209 m
Longitude	2°30'0"E	Latitude	48°50'0"N
Températures	Minimale	Maximale	Moyenne
	-3.5°C	42.20°C	-

Comparaison des températures annuelles des deux fichiers météo (Scénario NORMAL et Scénario Canicule 2003) :



2.4. Caractéristiques du bâtiment

Les caractéristiques suivantes ont été saisies :

➤ Parois :

- Etat Actuel :

- Mur de façade des chambres en béton préfabriqué : Béton 10cm + isolation thermique par l'intérieur avec 5cm de laine de verre + 20cm de béton en allège.
- Mur de façade des salles de bains : Béton 5cm + isolation thermique par l'intérieur avec 5cm de laine de verre + 10cm de béton + Placoplatre 1,3cm.
- Murs intérieurs en béton de 15 cm et en béton de 7 cm.
- Plancher bas des salles de bains donnant sur l'extérieur : Béton 20 cm.
- Plancher bas sur bureaux au R+1 : Béton 20cm.
- Plancher intermédiaire : Béton 20cm
- Toiture terrassons des salles de bains : Béton 20cm + isolation thermique Polystyrène 4cm
- Toiture des chambres donnant sur le Vide technique au R+6 : Béton 20 cm.

- Etat Projet :

Il sera mis en place un isolant type laine de roche avec une épaisseur égale à 16cm $R \geq 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$ sur les murs des salles de bains.

Les planchers donnant sur l'extérieur seront isolés par l'extérieur avec la mise en place de 15 cm de Fibrastyrène.

Les toitures terrassons des salles de bains seront isolées par l'extérieur avec la mise en place de 20 cm de polystyrène.

➤ Menuiseries :

- Etat Actuel :

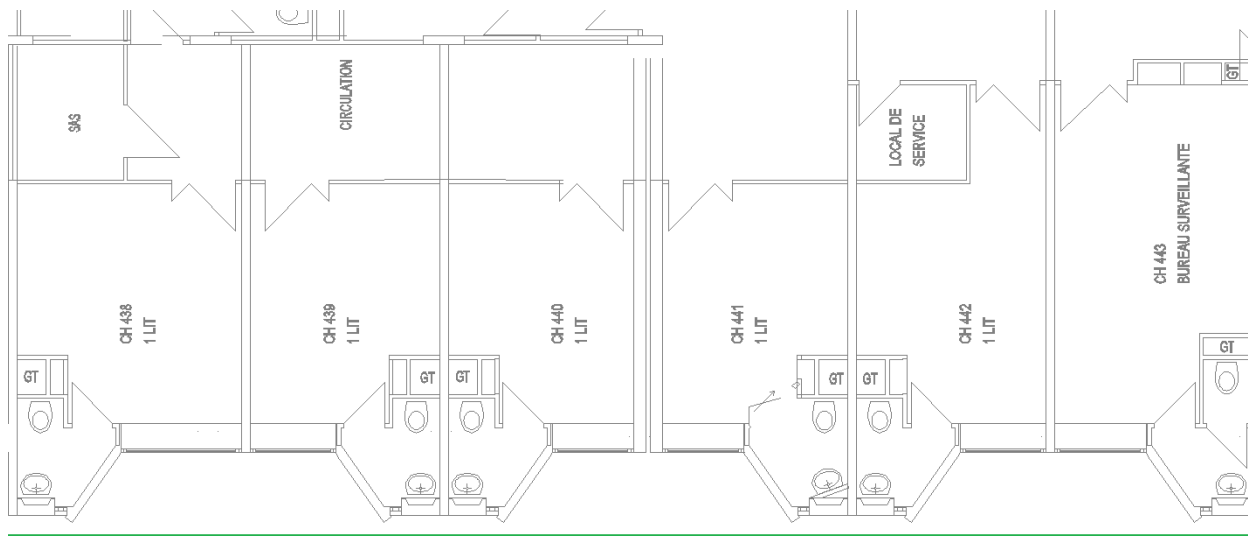
- Chambre : châssis aluminium, DV (4/70/4), store à lames orientables intégré entre les deux verres, $U_f = 4 \text{ W/m}^2.\text{K}$, $U_g = 2,7 \text{ W/m}^2.\text{K}$, $U_w = 3 \text{ W/m}^2.\text{K}$, $F_s = 0,62$, $T_l = 0.65$.
- Salle de bain : châssis acier, SV, $U_f = 5 \text{ W/m}^2.\text{K}$, $U_g = 5,70 \text{ W/m}^2.\text{K}$, $U_w = 5,6 \text{ W/m}^2.\text{K}$, $F_s = 0,56$

- Etat Projet :

Une nouvelle peau en verre sera construite devant les menuiseries existantes. Les objectifs visés avec la mise en place de cette nouvelle peau seront :

- Supprimer l'ensoleillement direct en période estivale,
- Améliorer la performance thermique hivernale,
- Améliorer la performance phonique des façades traitées,
- Supprimer l'effet de paroi froide en hiver.

Nous avons pris en compte les hypothèses suivantes pour la réalisation des calculs :



La façade double peau sera positionnée devant les avancées de SDB / WC des différentes chambres.

Les menuiseries des salles de bains seront condamnées.

Caractéristiques de la nouvelle façade (hypothèses de simulation, à préciser en consultant un façadier) :

	Couche 1 : face extérieure	Couche interne : lame d'air	Couche 2 : face intérieure
Dénomination commerciale	SGG COOL-LITE XTREME 60/28	-	SGG PLANICLEAR
Epaisseur	6 mm	16 mm	4 mm
Composition	Verre	90 % Argon	Verre
Coefficient Ug	1.00 W/m².K		
Coefficient Uw	1.40 W/m².K		
Transmission thermique vitrage	0.28		
Transmission lumineuse vitrage	0.60		
Transmission thermique globale (vitrage + châssis)	0.25		
Transmission lumineuse globale (vitrage + châssis)	0.54		

La façade double peau sera équipée d'entrées d'air en partie basse et d'orifices de rejet d'air en partie haute. Les orifices seront équipés d'un système de volets motorisés qui seront gérés suivant la situation (en général les orifices seront fermés en hiver et ouverts en été, avec une modulation en fonction de la température interne de la double peau).

➤ **Occultations :**

Les menuiseries existantes sont occultées par le biais de stores intégrés entre les deux lames de verre. Dans le cadre de la simulation, nous avons supposé que les occultations sont déployées de manière permanente de 20 heures à 7 heures. Il est pris en hypothèse la conservation des protections solaires existantes dans le cadre de la mise en place de la façade bioclimatique.

➤ **Ventilation :**

- Etat Actuel : Ventilation mécanique double flux, débit hygiénique de 60 m³/h, sans récupération
- Etat Projet (amélioration systèmes) : Ventilation mécanique double flux, débit hygiénique de 60 m³/h, rendement de récupération de 80% bypass en saison estivale. La température de soufflage sera abaissée à une température de 17°C en saison estivale.

➤ **Infiltrations d'air du bâtiment (déterminées par mesure in situ) :**

Les infiltrations d'air sont représentatives des flux d'air incontrôlés, pouvant être sources de pathologies, d'inconfort et de gaspillage d'énergie. Limiter les infiltrations d'air permet également de mieux maîtriser les débits d'air cheminant par les orifices volontaires.

La perméabilité à l'air se quantifie en indiquant la quantité d'air transitant par une enveloppe de bâtiment que l'on soumet à une différence de pression ; on exprime cette perméabilité en (m³/h)/m² de surface de paroi soumise à une différence de pression de 4 Pa.

Pour préciser la modélisation initiale, les infiltrations d'air ont été mesurées pour plusieurs chambres et orientations, puis extrapolées pour l'ensemble du bâtiment central.

Pour rappel, les données suivantes ont été calculées pour le bâtiment central lors de l'étude réalisée en 2009 :

- Volume du bâtiment : 66 565 m³,
- Surface déperditive du bâtiment hors plancher bas Atbat : 12 349 m².

NOTA : Dans le cadre réglementaire (conformité au GA P50-784, il est demandé que la mesure de l'étanchéité à l'air des bâtiments tertiaires de grand volume soit effectuée sur l'intégralité du bâtiment.

Il ne semble pas raisonnable de mettre en œuvre les moyens nécessaires pour effectuer une mesure globale dans le cadre de la présente étude (site occupé, nécessité d'assurer la continuité du service, etc...), c'est pourquoi il a été préféré une méthode par échantillonnage.

Une mesure par échantillonnage doit normalement être réalisée sur un minimum de 20% de l'Atbat du bâtiment (rapporté au bâtiment étudié, cela représente 2 470 m²).

Les tests de perméabilité ont été effectués sur une surface inférieure aux 20% de l'Atbat :

- LOCAL 516 : Volume 35.5 m³ ; Atbat 8.68 m², Perméabilité Q4 8.96 (m³/h)/m²
- CHAMBRE 548 : Volume 50.22 m³ ; Atbat 9.18 m², Perméabilité Q4 8.92 (m³/h)/m²
- CHAMBRE 553 : Volume 41.24 m³ ; Atbat 22.21 m², Perméabilité Q4 4.50 (m³/h)/m²
- CHAMBRE 609 : Volume 50.22 m³ ; Atbat 9.18 m², Perméabilité Q4 24.41 (m³/h)/m²

Atbat total mesuré : 49.25 m²

Volume total mesuré : 177.18 m³

👉 On extrapole la perméabilité Q4 du bâtiment depuis les mesures : **9.82 (m³/h)/m²** 👉

👉 Pour rappel, la valeur de perméabilité prise en compte dans le cadre d'un calcul réglementaire bâtiments existants pour un établissement sanitaire est égale à $1.7 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$; la mesure montre une valeur de perméabilité quasiment 6 fois plus élevée. 👉

Les chambres de l'hôpital étant réalisées de manière très semblable sur le plan du mode constructif, on prend en hypothèse dans le cadre de la présente étude que les tests de perméabilité à l'air réalisés sont suffisants pour extrapoler une valeur de perméabilité globale initiale.

Le résultat des mesures de perméabilité à l'air sur les chambres a permis de déterminer la perméabilité suivante pour le bâtiment principal :

- Etat Actuel : $9.82 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$
- Etat Projet : On prend pour hypothèse que la mise en place de la façade double peau permettra d'améliorer la perméabilité à l'air du bâtiment jusqu'à une valeur égale à $4 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$ (on suppose que la perméabilité de la façade avec les grilles fermées est égale à $1.5 \text{ (m}^3\text{/h)/m}^2$ et égale à l'état actuel avec les grilles ouvertes.

➤ Ventilation naturelle par les ouvrants :

Le comportement de la ventilation naturelle par les menuiseries est simulé à-partir du système de gestion extrait de la méthode Th-BCE. On applique ces hypothèses de fonctionnement dans le cadre de la simulation de l'état initial.

La ventilation par ouverture des baies est une méthode de rafraîchissement passif, permettant de rafraîchir les locaux en s'aidant de l'air extérieur plus frais.

L'objectif de la méthode est de définir pour chaque pas de temps de la simulation un ratio d'ouverture des menuiseries en fonction du ratio d'ouverture maximum défini.

► Ouverture manuelle ►

Nom : Ouverture italienne et soufflet manuelle

Complément :

Origine :

Ratio d'ouverture maximal : 40 % Valeur saisie

Mode d'ouverture STD

☒ Toujours ouvert ☐ Scénarisé ☐ Détaillée

☐ Fermé au-delà de la limite de vent

Mode détaillé STD

Les fenêtres extérieures utilisent les modes d'ouverture définis dans la méthode Th-BCE.

Les portes extérieures sont toujours fermées.

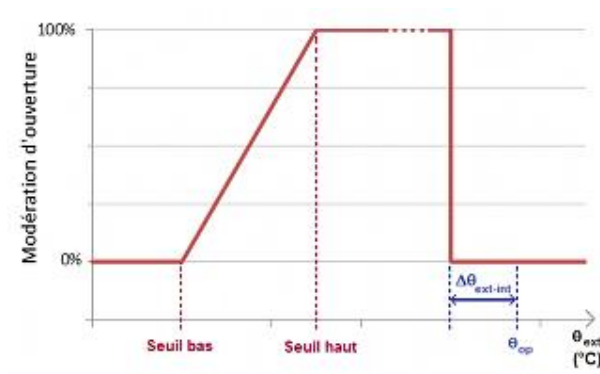
Les portes intérieures sont toujours ouvertes.

☐ Automatisation d'ouverture par défaut

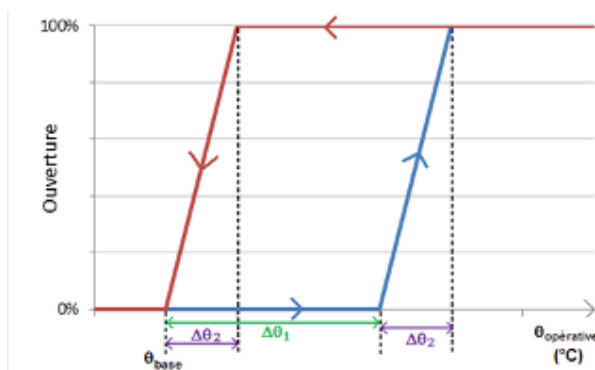
	Saison de chauffage	Mi-saison	Saison de refroidissement
Mode de gestion	Gestion Manuelle	Gestion Manuelle	Gestion Manuelle
$\Delta\theta_1$	3	3	3
$\Delta\theta_2$	1	1	1
θ_{base}	26	24	22
$\Delta\theta_{int-ext}$	-6	-6	-6
Seuil bas	12	10	8
Seuil haut	18	18	16

Les paramètres de gestion, pour chaque saison, sont les suivants (§7.12. 1 de la méthode TH-BCE) :

- **La température extérieure.** En dessous du **seuil bas**, l'ouverture est impossible. L'ouverture peut être maximale au-dessus du **seuil haut**. L'ouverture est **proportionnelle** entre les deux.
- **L'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur $\Delta\theta_{int_ext}$.** Les ouvertures sont fermées lorsque l'on passe **au-dessous** de ce seuil. Par exemple en gestion manuelle, **$\Delta\theta_{int_ext} = -6^\circ\text{C}$** , les ouvertures sont refermées lorsque la température extérieure dépasse de plus 6°C celle ressentie à l'intérieur.



- **La température opérative intérieure.** Une hystérésis décrit l'ouverture des baies à partir des trois paramètres suivants : $\Delta\theta_1$, $\Delta\theta_2$ et θ_{base} .



Les ouvertures ne sont pas fermées au-delà de la limite de vent.

Le fonctionnement du système de gestion est le suivant :

- **La température opérative** des locaux est considérée. Si sa valeur est inférieure à la **température θ_{base}** , les ouvrants sont fermés. Au-delà, la gestion est réalisée suivant l'hystérésis de gestion d'ouverture.
- La seconde courbe de **modération d'ouverture** est fonction de la **température extérieure** et de l'**écart entre la température opérative et la température extérieure** pour chaque pas de temps. La valeur de modération d'ouverture est multipliée à celle donnée par l'hystérésis pour définir le pourcentage d'ouverture des menuiseries à un instant donné.

Ce système permet de prendre en compte le facteur humain à l'aide de l'**écart $\Delta\theta_2$** qui suppose que les utilisateurs laissent les fenêtres ouvertes au-delà de la température de consigne.

👉 **NOTA :** On suppose que dans le cadre de l'état rénové en période estivale, les menuiseries des chambres seront maintenues closes. 👉

➤ **Ventilation de l'interstice de la façade bioclimatique :**

L'interstice de la façade bioclimatique est ventilé de manière conditionnelle en fonction de la température intérieure de la façade ; les grilles de ventilation seront ouvertes si la température intérieure de la façade est supérieure à 24°C. Un système de gestion identique à celui présenté précédemment est utilisé pour gérer la température intérieure de la double peau.

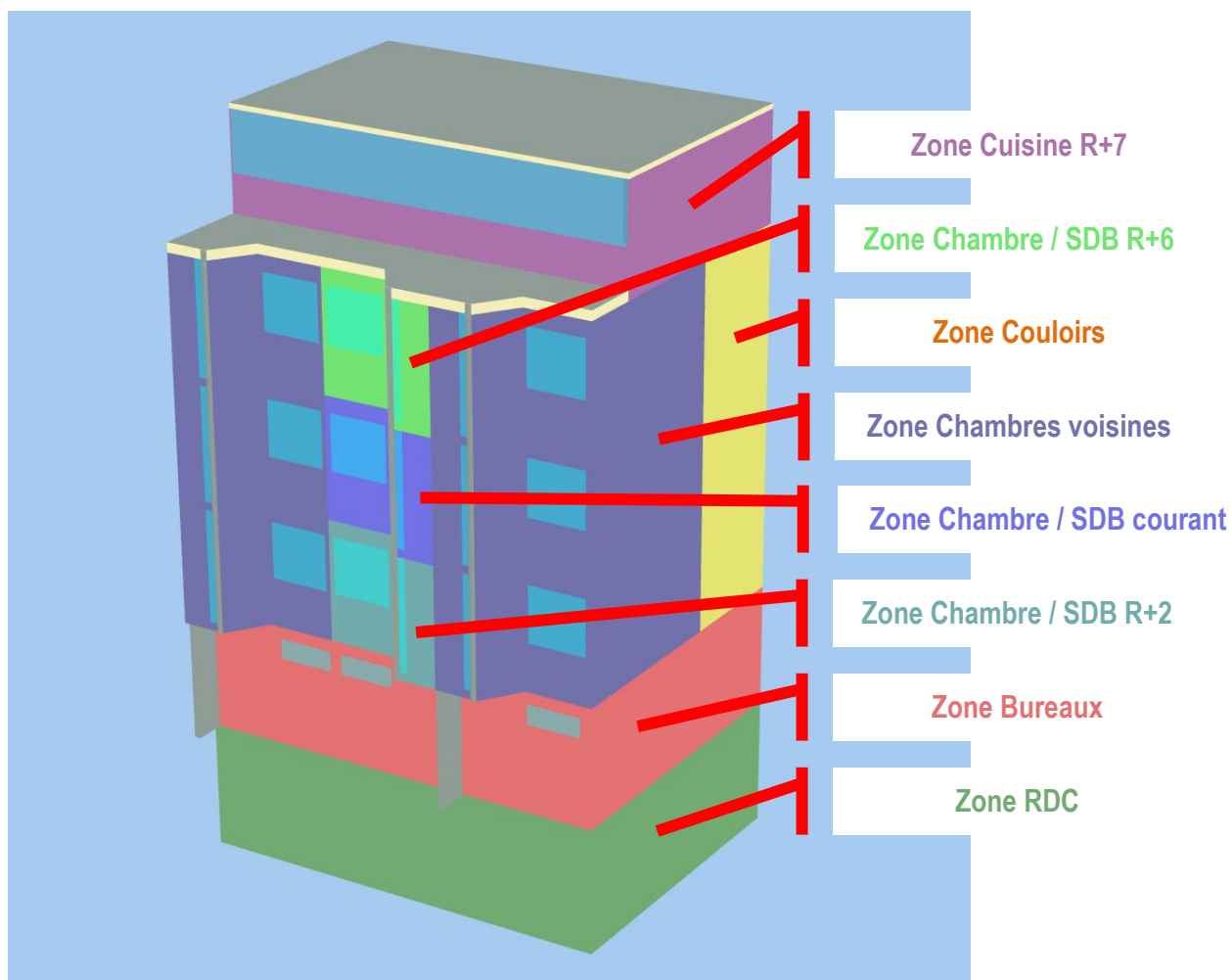
👉 **NOTA :** La cavité du projet est supposée ventilée de manière naturelle par tirage thermique. Le tirage thermique est variable suivant de nombreux paramètres (vent, différentiel de température, etc...) ce qui fait que le débit réel dans la façade bioclimatique ne sera pas constant. 👉

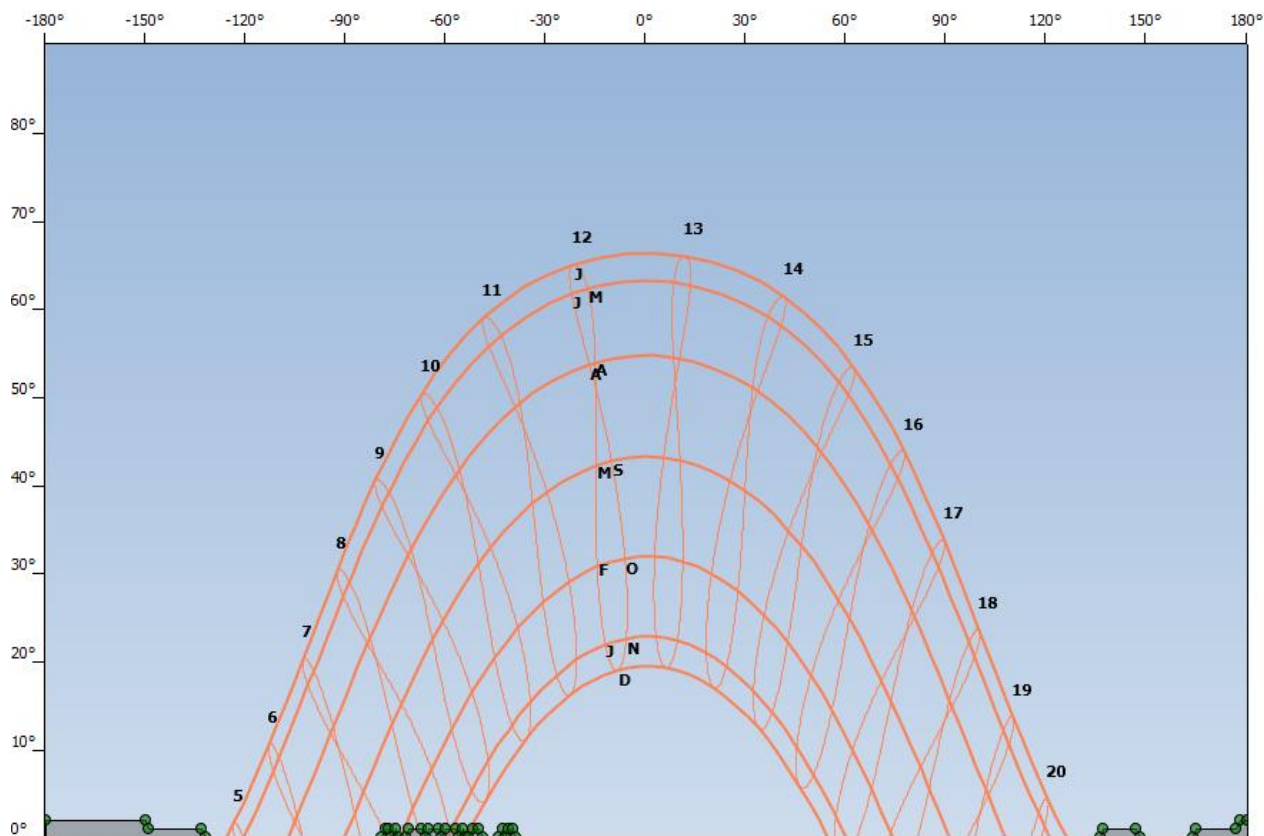
2.5. Zonage et organisations des espaces intérieurs

En premier lieu, il a été réalisé une maquette partielle de l'hôpital, représentative d'une « tranche » de la façade ; en effet, même s'il est possible de réaliser la modélisation intégrale de l'hôpital, cette solution n'est pas adaptée à la réalisation d'un calcul rapide permettant de déterminer les hypothèses de base de travail.

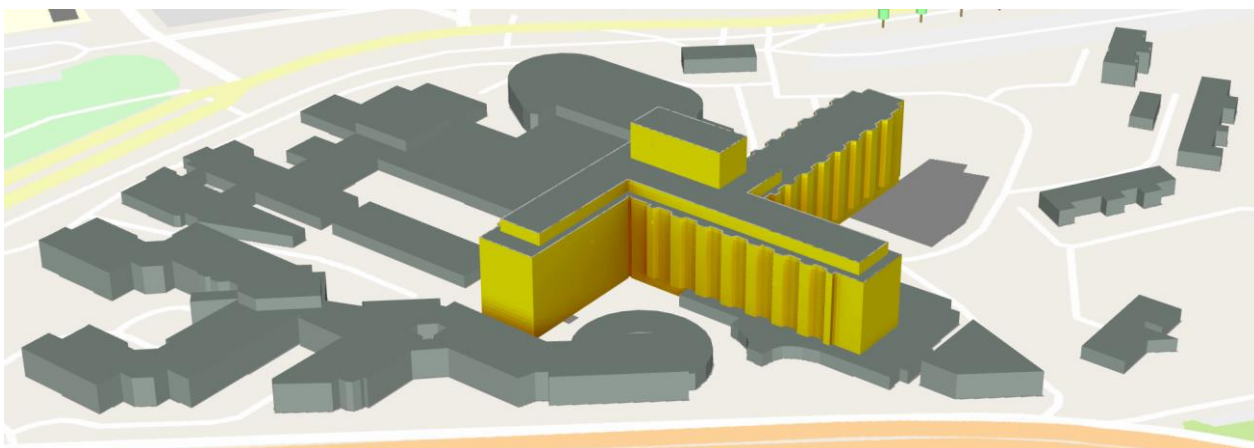
Chaque local a été modélisé séparément, en tenant compte de son environnement proche (locaux voisins) ; la modélisation suppose également que les locaux mitoyens en contact sur toutes les faces de la tranche sont identiques.

La modélisation prend la forme suivante :





Masques lointains pris en compte pour la modélisation.



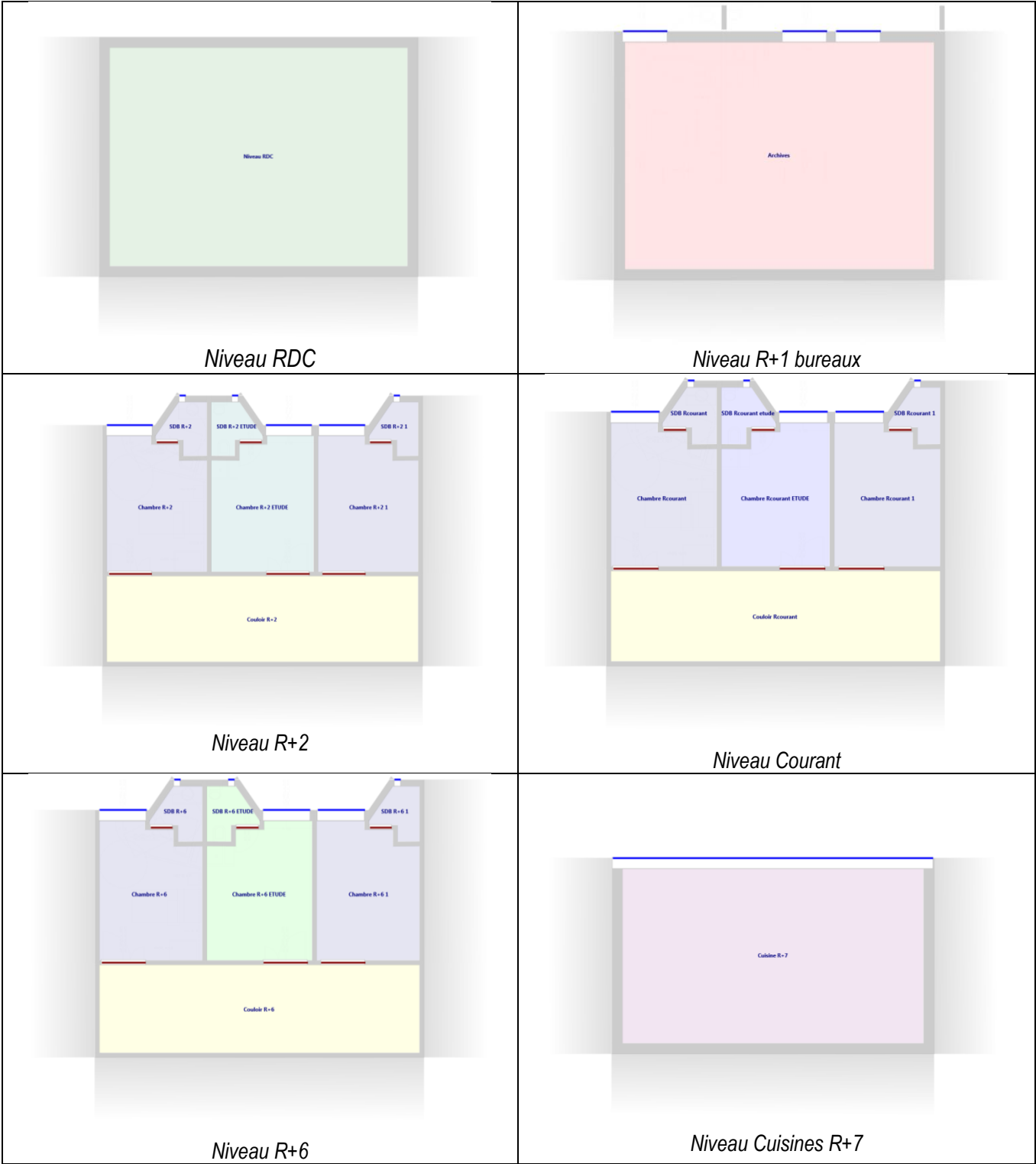
Masques des bâtiments environnants, les élévations des bâtiments ont été estimées suivant le nombre d'étage observés sur les prises de vues des bâtiments environnants (source des contours de bâtiments : Openstreetmap).

Les analyses de simulation thermique dynamique se font à l'échelle d'une zone thermique.

Au-delà des limites de la modélisation, il a été supposé que les contacts mitoyens auront un comportement identique aux contacts des locaux étudiés. Ces contacts mitoyens identiques sont représentés par le biais de dégradés gris sur les plans d'étage.

Voici ci-dessous le zonage pour les étages du bâtiment :

- Niveau RDC de l'hôpital
- Locaux bureaux au R+1 de l'hôpital
- Chambre / SdB au R+2
- Chambre / SdB au niveau courant
- Chambre / SdB au R+6
- Chambres / SdB voisines des chambres étudiées
- Couloir
- Vide technique / Restaurant au R+7
- Masques proches.



2.6. Synthèse des hypothèses pour l'étude thermique dynamique

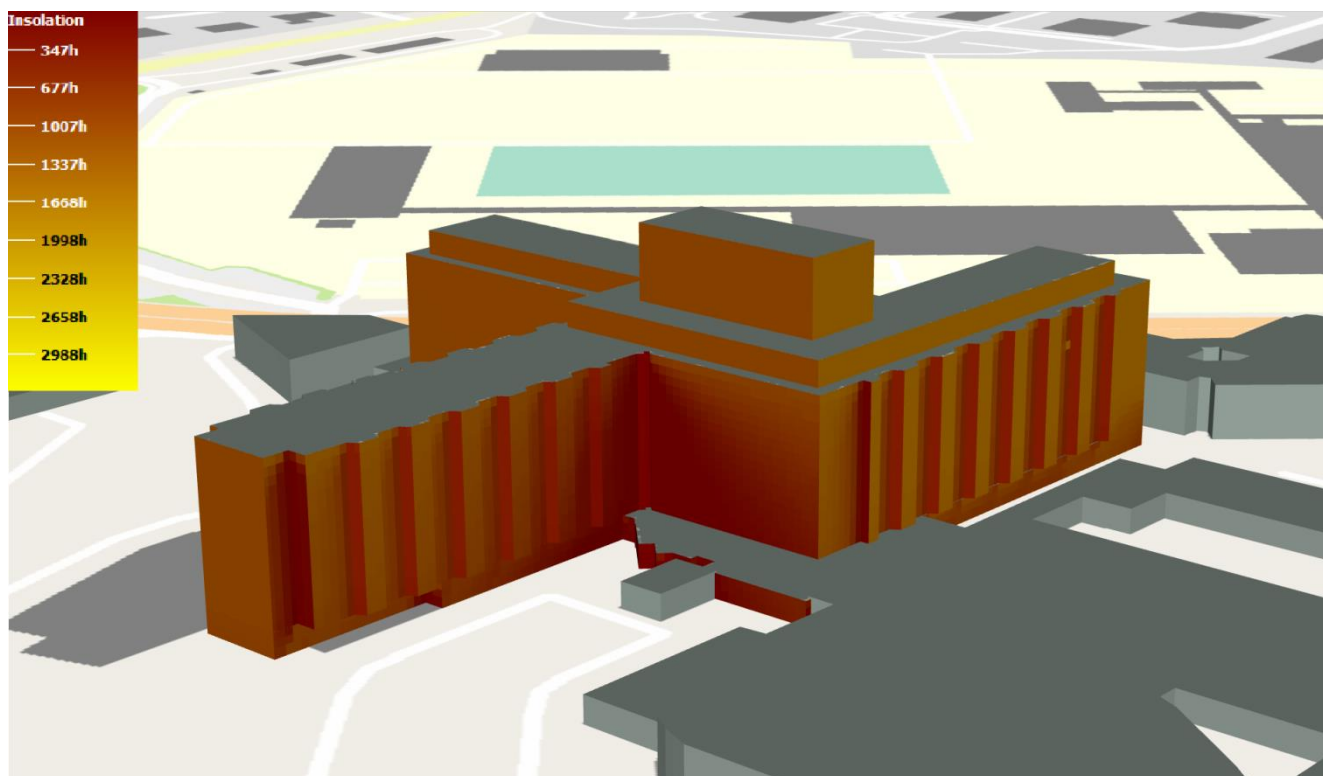
Les hypothèses suivantes ont été appliquées dans le cadre de la modélisation pour une chambre.

ETAT	COMPOSITION	R Isolant m².K/W	U paroi W/m².K	OCCUPATION	OCCULTATION	APPORTS INTERNES	VENTILATION
Actuel	Mur chambre	1.39	0.64	1 personne 7j/7 24h/24	Stores fermés de 20h à 7h	70W de 23h à 6h 100W de 6h à 12h et de 15h à 19h 300W de 12h à 15h et de 19h à 23h	Double flux sans récupération Qv=60 m³/h
	Mur SdB	1.35	0.66				
	Plancher bas / Extérieur	0.11	3.57				
Actuel Projet	Mur intérieur_1	0.09	3.85				
Actuel Projet	Mur intérieur_2	0.04	4.76				
Actuel	Plancher bas / Bureaux	0.11	3.57				
	Plancher intermédiaire	0.11	3.57				
	Toiture Terrassons	0.91	0.93				
	Toiture / Vide Technique R+6	2.93	0.32				
	Fenêtre Chambre		3.00				
	Fenêtre SdB		5.60				
Etat projet	Mur chambre	1.39	0.64	1 personne 7j/7 24h/24	Stores fermés de 20h à 7h	70W de 23h à 6h 100W de 6h à 12h et de 15h à 19h 300W de 12h à 15h et de 19h à 23h	(Pour la simulation amélioration des systèmes). Double flux 80% de récupération, bypass estival. Qv=60 m³/h à Tsoufflage=17°C
	Plancher bas / Extérieur	3.68	0.27				
Etat projet	Toiture Terrassons	5.99	0.17				
	Façade bioclimatique		1.4				

3. Insolation des façades

Il sera calculé l'insolation des façades du bâtiment de manière à réaliser une première approche des gisements solaires disponibles.

En règle générale, s'il est intéressant de mettre en place des doubles façades pour les orientations sud, l'intérêt de la mise en place des doubles façades est diminué pour les orientations nord car le fonctionnement des doubles façades est basé sur les apports solaires.



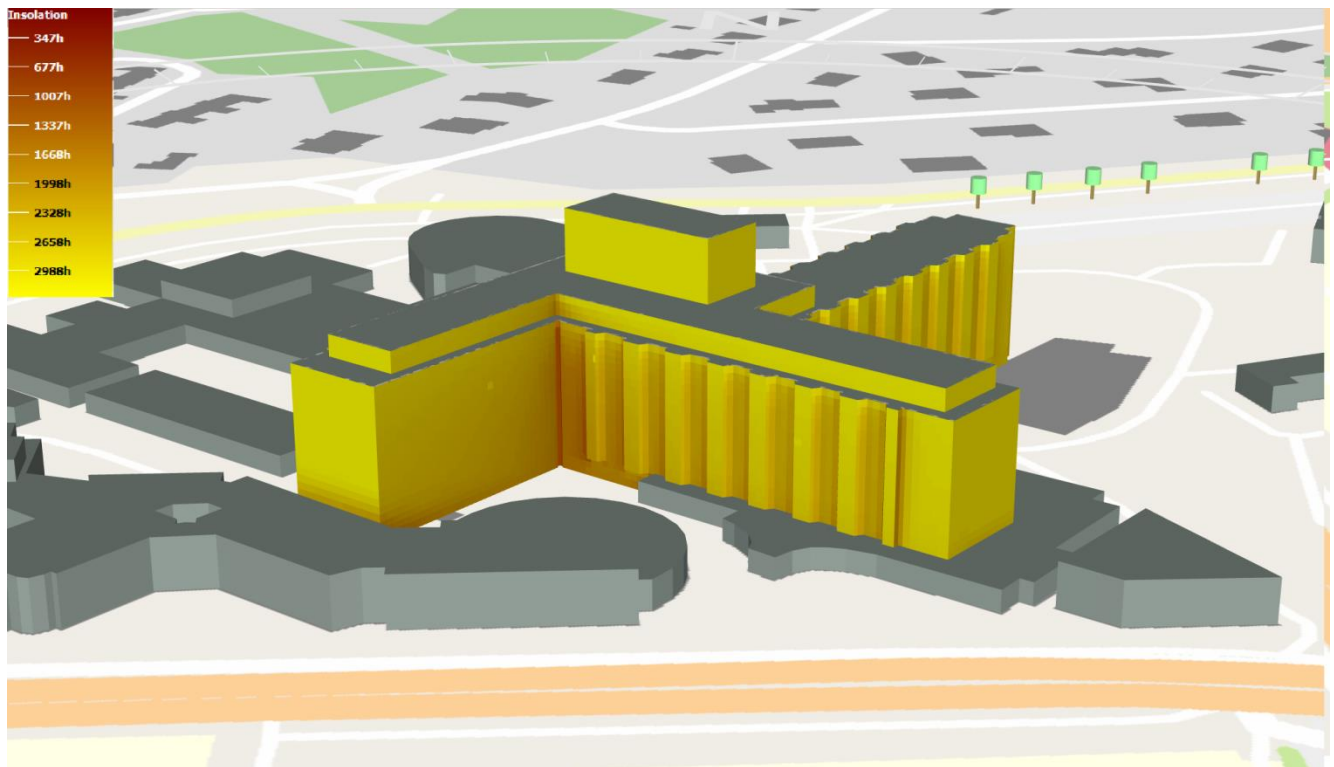
Maquette du projet suivant une orientation NORD.

On remarque que l'insolation des façades suivant une orientation nord est très faible (de 347 à 1007 heures d'insolation).

👉 Les façades bioclimatiques fonctionnant grâce aux apports solaires en période hivernale, on peut se poser la question de la pertinence de la mise en place du système pour les orientations allant de nord-ouest à nord-est. 👉



Maquette du projet suivant une orientation EST.



Maquette du projet suivant une orientation SUD.

En comparaison avec les façades nord, on remarque les gisements solaires conséquents pour les façades ayant des orientations allant de sud-est à sud-ouest pour lesquelles on relève une insolation dépassant les 2500 heures.



Maquette du projet suivant une orientation OUEST.

1ère Partie : Modélisations Maquette réduite

4. Sous-partie 1 – Maquette réduite – État initial

4.1. Orientation SUD-OUEST

4.1.1. ETE NORMAL - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION

Voici ci-après le tableau récapitulatif des heures de simulation où la température intérieure de chaque local dépasse la température limite d'inconfort (limite fixée à 28°C) avec un scénario météorologique « été normal » :

Situation	Orientation	Zone thermique	Température maximale par zone (Température ext. 34.5°C)	Nombre d'heures annuel en période d'occupation > 28°C
R+2	SO	Chambre / SDB R+2	32.2°C	367 h
ETG. COURANT	SO	Chambre / SDB COURANT	32.6°C	400 h
R+6	SO	Chambre / SDB R+6	33.0°C	430 h

👉 On remarque des dépassements de la température de confort pour toutes les zones étudiées, pendant un nombre d'heures non négligeable. 👉

4.1.2. EPISODE CANICULAIRE - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION

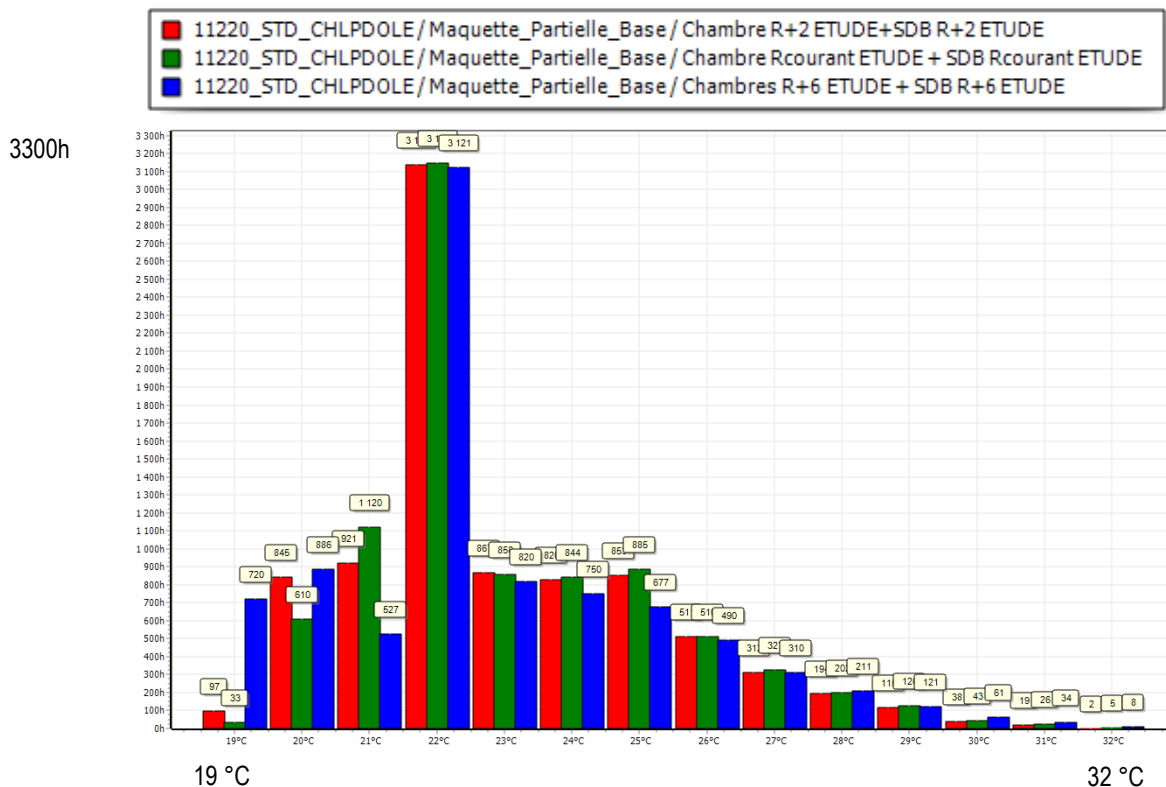
Voici ci-après le tableau récapitulatif des heures de simulation où la température intérieure de chaque local dépasse la température limite d'inconfort (limite fixée à 28°C) avec un scénario météorologique « épisode caniculaire » :

Situation	Orientation	Zone thermique	Température maximale par zone (Température ext. 39.7°C)	Nombre d'heures annuel en période d'occupation > 28°C
R+2	SO	Chambre / SDB R+2	37.3 °C	456 h
ETG. COURANT	SO	Chambre / SDB COURANT	37.7 °C	470 h
R+6	SO	Chambre / SDB R+6	38.4 °C	524 h

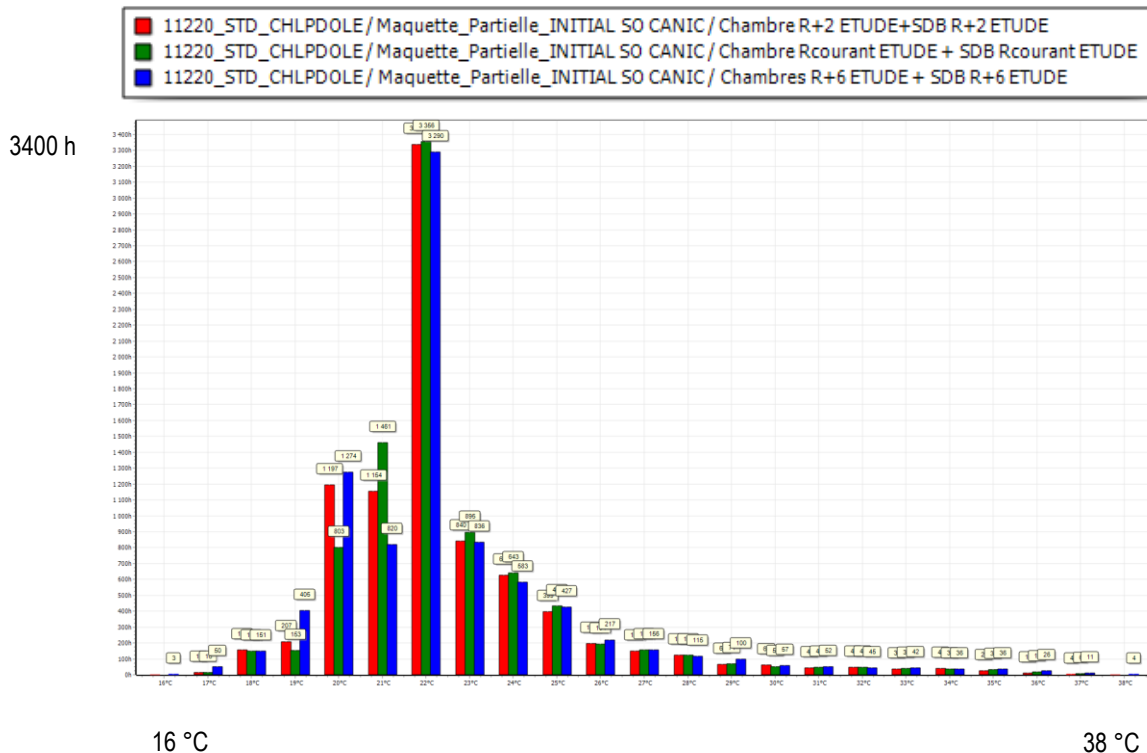
👉 Les dépassements et les températures sont encore plus conséquents dans le cadre du scénario caniculaire. 👉

4.1.3. ETE NORMAL - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION

A la suite, l'histogramme des températures en occupation en considérant un été normal pour les trois zones considérées. Cet histogramme représente la somme, en occupation, des heures (en ordonnée) à différentes température intérieure (en abscisse), pour une année.



4.1.4. EPISODE CANICULAIRE - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION



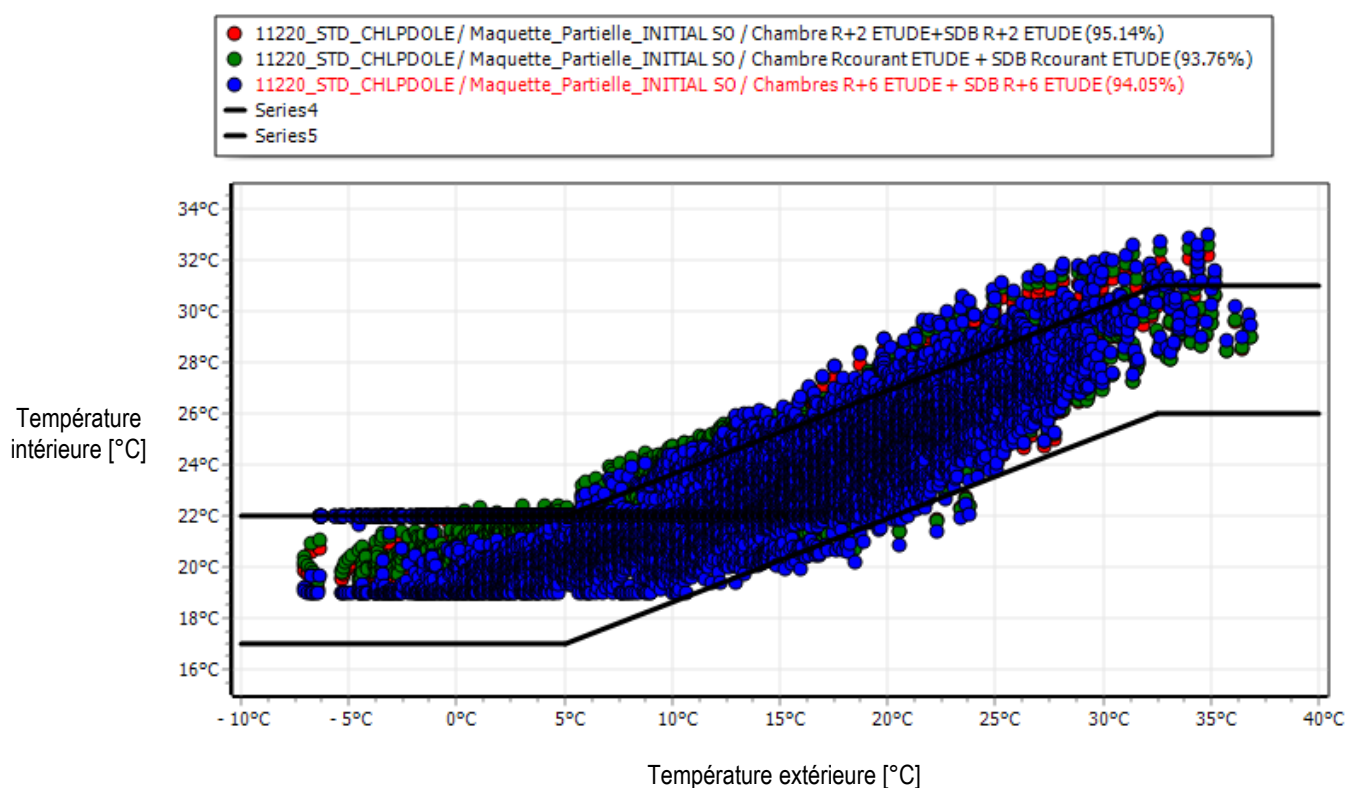
4.1.5. ETE NORMAL – ZONE DE BRAGER

Le diagramme de BRAGER permet d'obtenir une vision simplifiée du confort (la température opérative, moyenne pondérée entre les températures de l'air ambiant et celle radiante des parois d'un local) en fonction de la température extérieure.

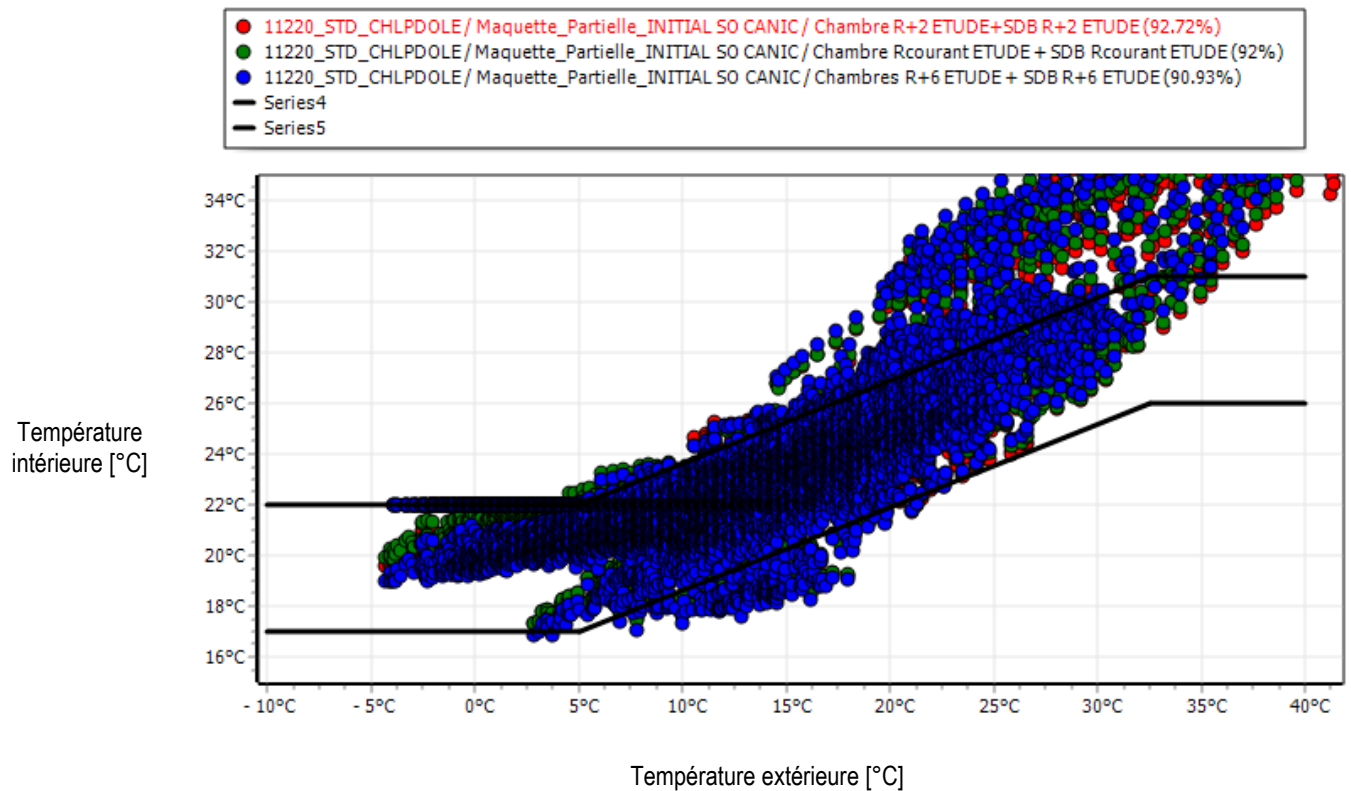
Par temps froid, avec une température extérieure inférieure à 5°C, notre vêtue (ou Clo) est plus importante et notre état d'esprit « il fait froid » fait que 80 % des personnes sont bien dans une ambiance entre 17 et 22°C.

Par temps chaud et très chaud au-delà de 32°C, notre vêtue est plus légère et non état d'esprit « il fait chaud » conduit à une température de confort entre 26 et 31°C.

Entre les 2 extrêmes, la zone de confort évolue et par exemple par 10°C extérieur, la température de confort se situe entre 19 et 24°C.



On observe une dérive de la température de confort pour la limite supérieure pour un grand nombre de points.

4.1.6. EPISODE CANICULAIRE - ZONE DE BRAGER

Les dépassements de température sont tellement conséquents dans le cas du scénario caniculaire qu'ils ne rentrent plus dans la zone de graphique définie par défaut.

4.2. Orientation NORD-OUEST

4.2.1. ETE NORMAL - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION

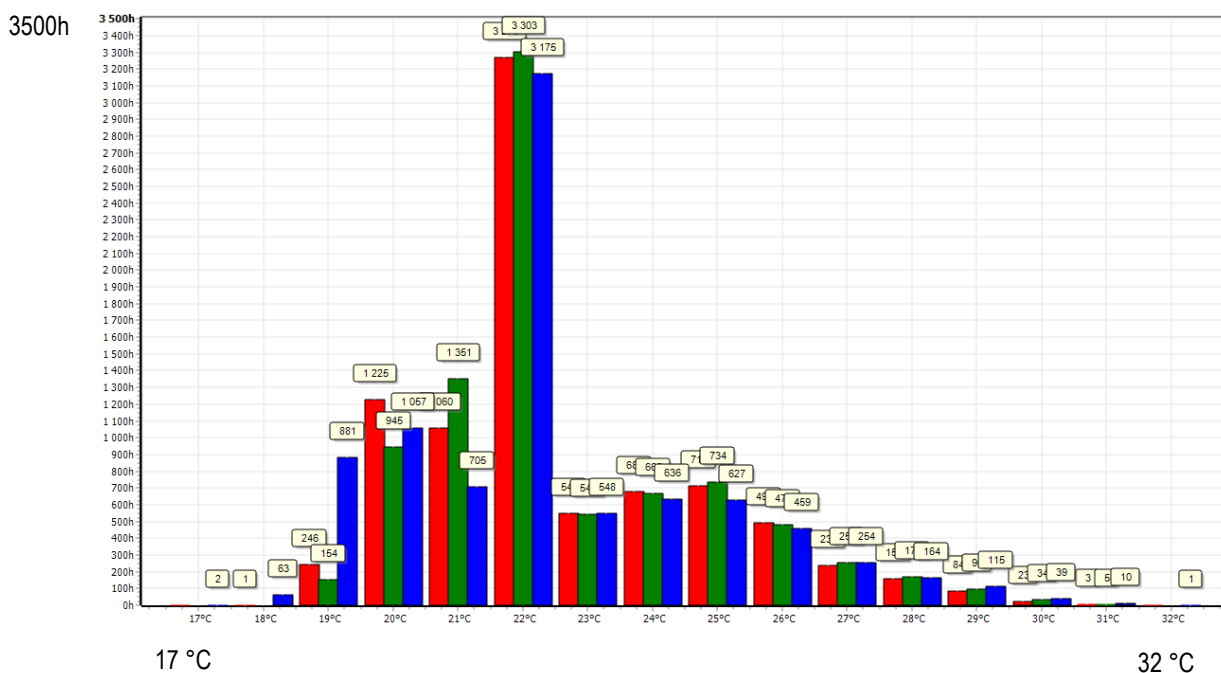
Situation	Orientation	Zone thermique	Température maximale par zone (Température ext. 34.5°C)	Nombre d'heures annuel en période d'occupation > 28°C
R+2	NO	Chambre / SDB R+2	31.4 °C	264 h
ETG. COURANT	NO	Chambre / SDB COURANT	31.7 °C	304 h
R+6	NO	Chambre / SDB R+6	32.0 °C	327 h

4.2.2. EPISODE CANICULAIRE - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION

Situation	Orientation	Zone thermique	Température maximale par zone (Température ext. 39.7°C)	Nombre d'heures annuel en période d'occupation > 28°C
R+2	NO	Chambre / SDB R+2	35.8 °C	349 h
ETG. COURANT	NO	Chambre / SDB COURANT	36.1 °C	371 h
R+6	NO	Chambre / SDB R+6	36.5 °C	422 h

4.2.3. ETE NORMAL - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION

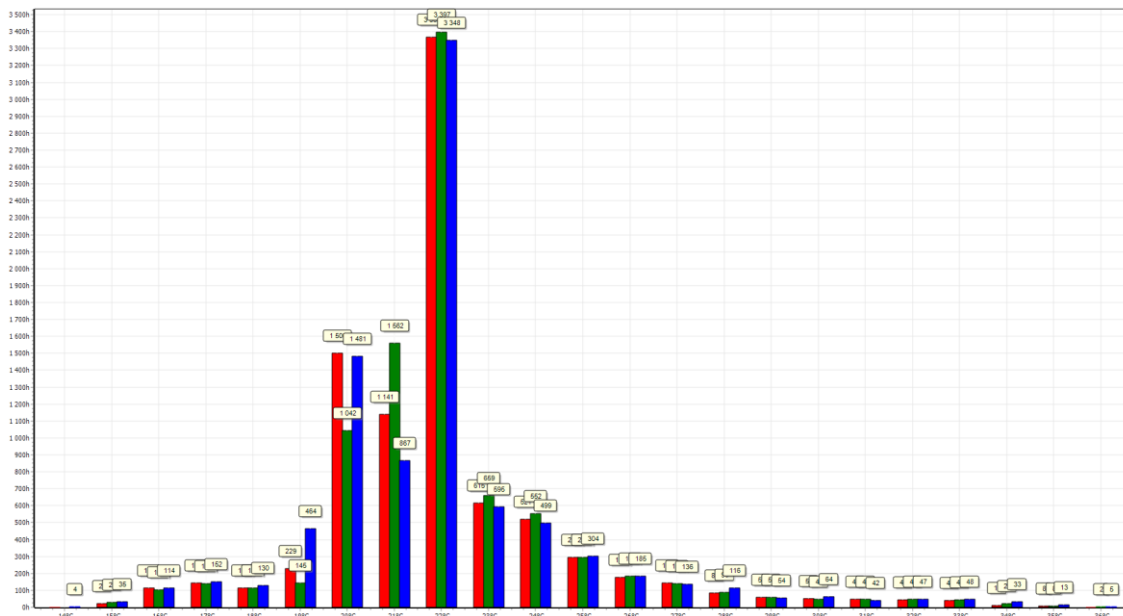
■ 11220_STD_CHLPDOLE/Maquette_Partielle_INITIAL NO / Chambre R+2 ETUDE+SDB R+2 ETUDE
■ 11220_STD_CHLPDOLE/Maquette_Partielle_INITIAL NO / Chambre Rcourant ETUDE + SDB Rcourant ETUDE
■ 11220_STD_CHLPDOLE/Maquette_Partielle_INITIAL NO / Chambres R+6 ETUDE + SDB R+6 ETUDE



4.2.4. EPISODE CANICULAIRE - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION

■ 11220_STD_CHLPDOLE / Maquette_Partielle_INITIAL NO CANIC / Chambre R+2 ETUDE+SDB R+2 ETUDE
■ 11220_STD_CHLPDOLE / Maquette_Partielle_INITIAL NO CANIC / Chambre Rcourant ETUDE + SDB Rcourant ETUDE
■ 11220_STD_CHLPDOLE / Maquette_Partielle_INITIAL NO CANIC / Chambres R+6 ETUDE + SDB R+6 ETUDE

3500h



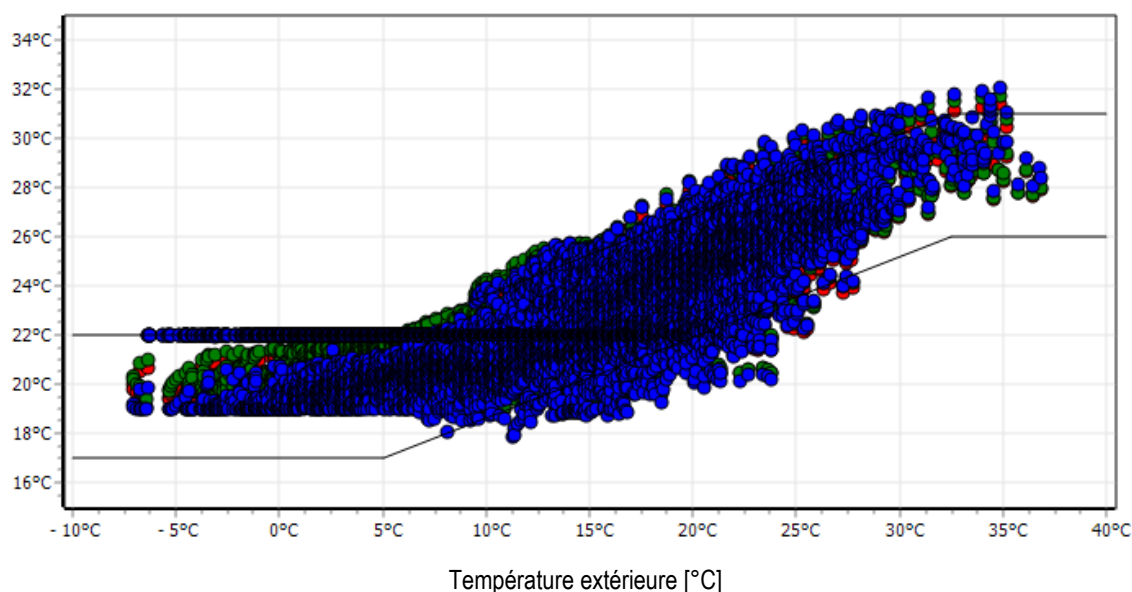
14 °C

36 °C

4.2.5. ETE NORMAL - ZONE DE BRAGER

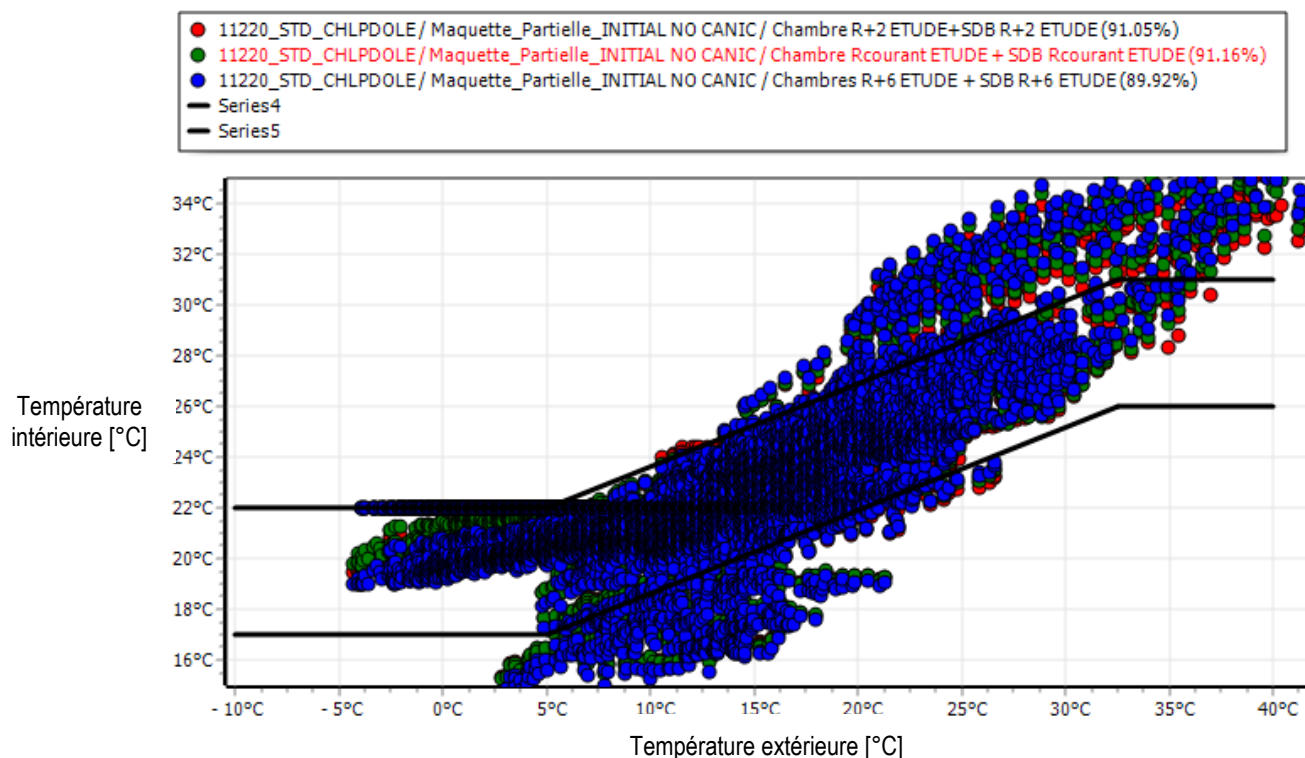
● 11220_STD_CHLPDOLE / Maquette_Partielle_INITIAL NO / Chambre R+2 ETUDE+SDB R+2 ETUDE (95.15%)
● 11220_STD_CHLPDOLE / Maquette_Partielle_INITIAL NO / Chambre Rcourant ETUDE + SDB Rcourant ETUDE (94.59%)
● 11220_STD_CHLPDOLE / Maquette_Partielle_INITIAL NO / Chambres R+6 ETUDE + SDB R+6 ETUDE (93.85%)
 — Series4
 — Series5

Température
intérieure [°C]



Température extérieure [°C]

4.2.6. EPISODE CANICULAIRE - ZONE DE BRAGER



4.3. Etat INITIAL - Comparaison des besoins de chauffage et apports solaires par orientation

4.3.1. ORIENTATION SO - ETE NORMAL – BESOINS DE CHAUFFAGE ET APPORTS SOLAIRES

Situation	Orientation	Zone thermique	Besoins de chauffage	Apports solaires
R+2	SO	Chambre / SDB R+2	1133 kWh	1365 kWh
ETG. COURANT	SO	Chambre / SDB COURANT	868 kWh	1366 kWh
R+6	SO	Chambre / SDB R+6	2411 kWh	1374 kWh

4.3.1. ORIENTATION NO - ETE NORMAL – BESOINS DE CHAUFFAGE ET APPORTS SOLAIRES

Situation	Orientation	Zone thermique	Besoins de chauffage	Apports solaires
R+2	NO	Chambre / SDB R+2	1446 kWh	812 kWh
ETG. COURANT	NO	Chambre / SDB COURANT	1135 kWh	814 kWh
R+6	NO	Chambre / SDB R+6	2616 kWh	828 kWh

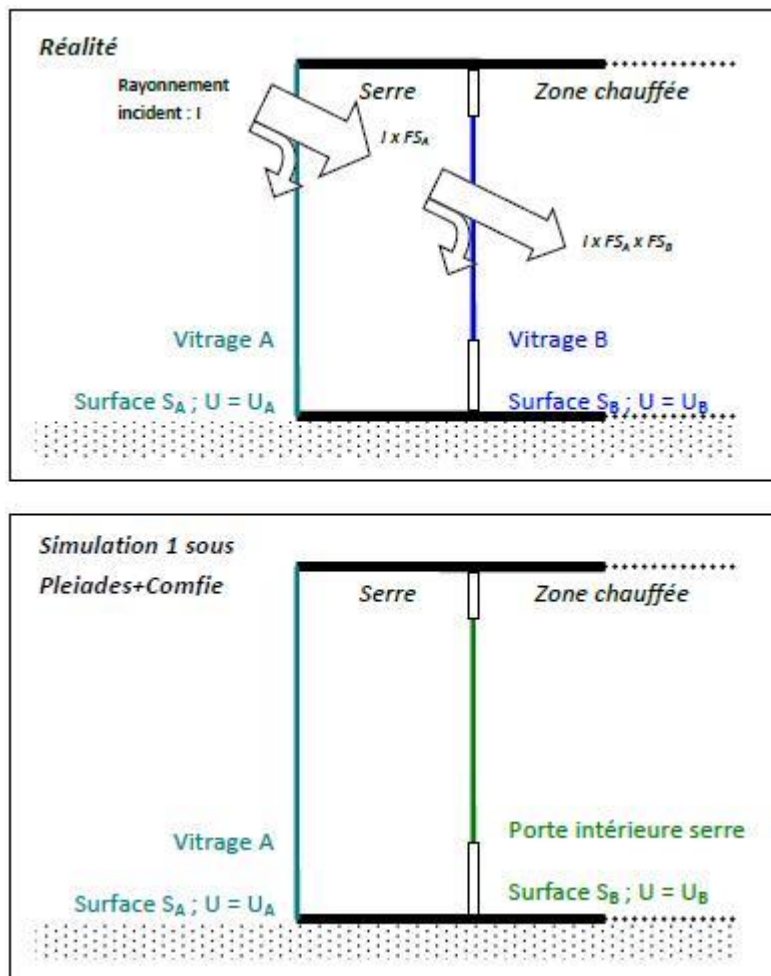
5. Sous-partie 2 – Maquette réduite – Etat Projet

Le vitrage mis en place pour la façade double peau dans le cadre de cette première variante est le SGG COOL-LITE XTREME 60/28.

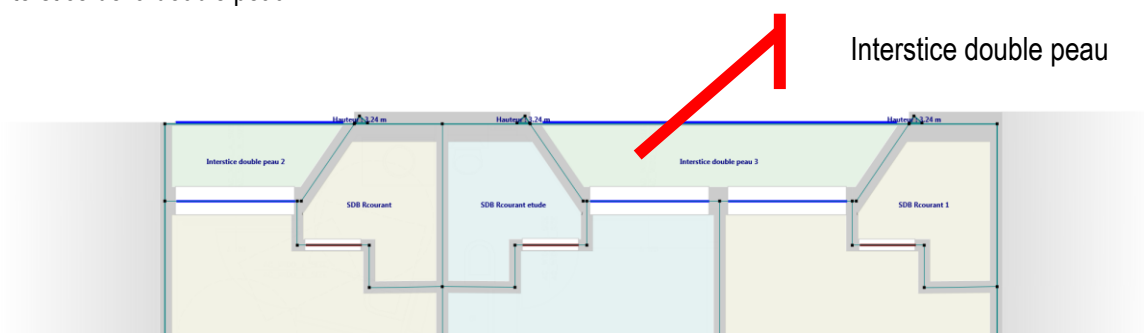
On suppose pour toutes ces simulations que les grilles de la façade double peau sont closes.

5.1. Performance de la façade – Simulation 1

La performance obtenue avec la mise en place de la nouvelle façade est estimée en plusieurs étapes.



La première étape consiste en une modélisation permettant de calculer les apports solaires arrivant dans l'interstice de la double peau.

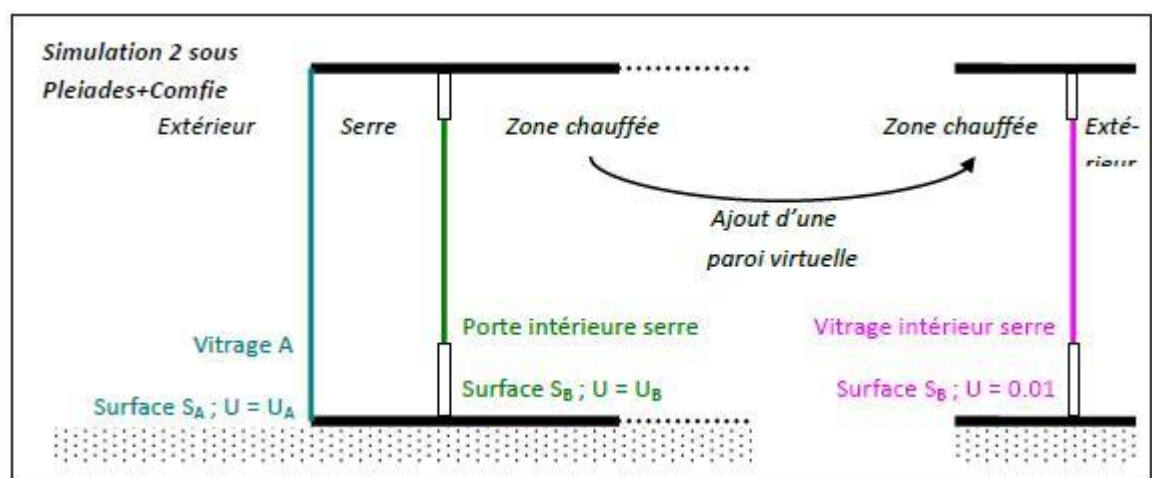




Les apports solaires **A vitrage double façade** sont équivalents à **10849 kWh**.

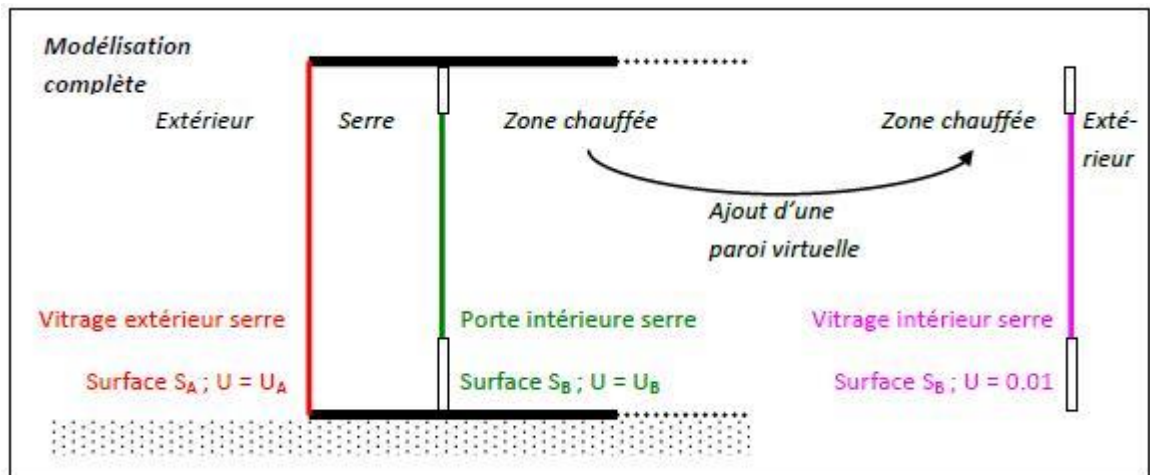
5.2. Performance de la façade – Simulation 2

La seconde simulation permet de déterminer la quantité d'apports solaires arrivant effectivement dans la zone chauffée *A zone chauffée*.



Les apports solaires **A zone chauffée** sont égaux à **736 kWh** avec le SGG COOL LITE EXTREME 60/28.

5.3. Performance de la façade – Modélisation complète



On calcule par différence des apports restants dans la double façade :

$$A \text{ double façade} = A \text{ vitrage double façade} - A \text{ zone chauffée} = 10849 - 736 = \mathbf{10113 \text{ kWh}}$$

On en déduit le facteur solaire du vitrage résultant à l'extérieur de la double façade :

$$FS = FSA \times A \text{ double façade} / A \text{ vitrage double façade} = 0.25 \times 10113 / 10849 = \mathbf{0.233}$$

5.1. Orientation SUD-OUEST – Etat Projet (sans amélioration ventilation)

Pour cet état projet intermédiaire, les simulations seront réalisées uniquement pour l'orientation SUD-OUEST.

5.1.1. ETE NORMAL - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION

Situation	Orientation	Zone thermique	Température maximale par zone (Température ext. 33.1°C)	Nombre d'heures annuel en période d'occupation > 28°C
R+2	SO	Chambre / SDB R+2	30.4 °C	370 h
ETG. COURANT	SO	Chambre / SDB COURANT	30.7 °C	438 h
R+6	SO	Chambre / SDB R+6	31.2 °C	575 h

👉 Par-rapport à l'état initial on remarque que, malgré une diminution de la température maximale atteinte le nombre d'heures de dépassement augmente. En effet le bâtiment est mieux isolé et cela provoque un « amortissement » des vagues de chaleur sur le temps. 👉

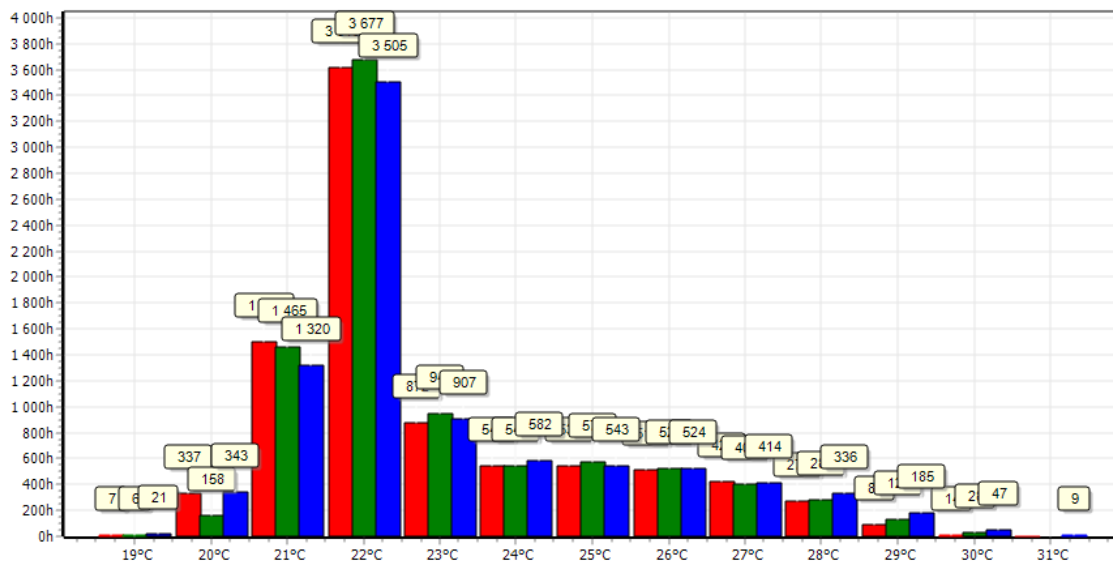
5.1.2. EPISODE CANICULAIRE - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION

Situation	Orientation	Zone thermique	Température maximale par zone (Température ext. 43.0°C)	Nombre d'heures annuel en période d'occupation > 28°C
R+2	SO	Chambre / SDB R+2	35.0 °C	1 617 h
ETG. COURANT	SO	Chambre / SDB COURANT	35.5 °C	1 624 h
R+6	SO	Chambre / SDB R+6	36.0 °C	1 712 h

On observe le même phénomène, encore accentué en période caniculaire.

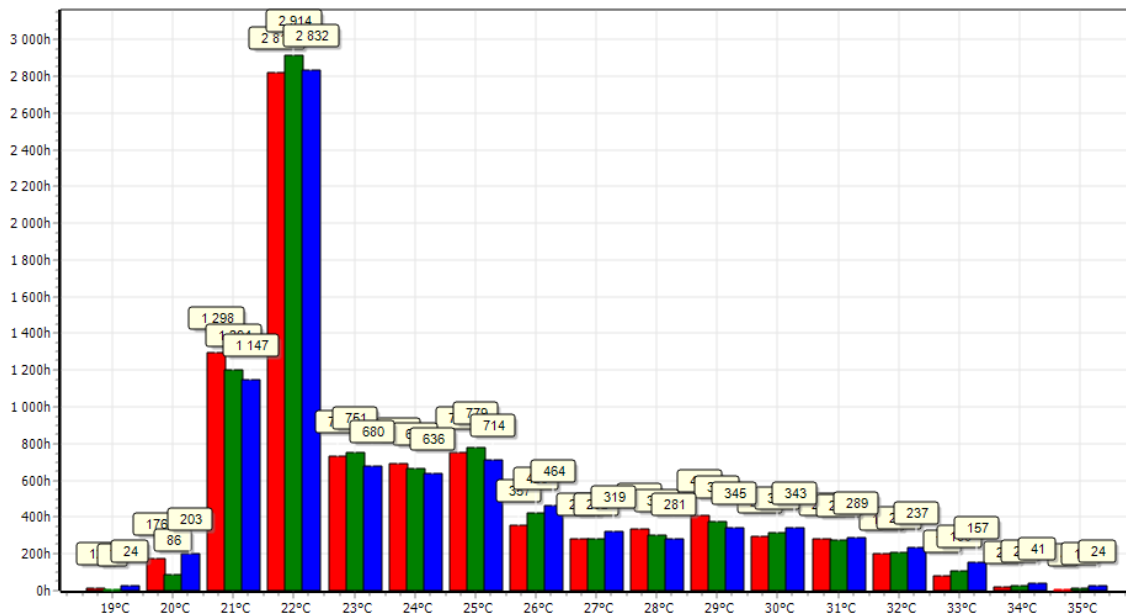
5.1.3. ETE NORMAL – HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION

■ 11220_STD_CHLPDOLE / Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE (+ventil+amm bati) SO / Chambre R+2 ETUDE+SDB R+2 ETUDE
■ 11220_STD_CHLPDOLE / Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE (+ventil+amm bati) SO / Chambre Rcourant ETUDE + SDB Rcourant ETUDE
■ 11220_STD_CHLPDOLE / Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE (+ventil+amm bati) SO / Chambres R+6 ETUDE + SDB R+6 ETUDE



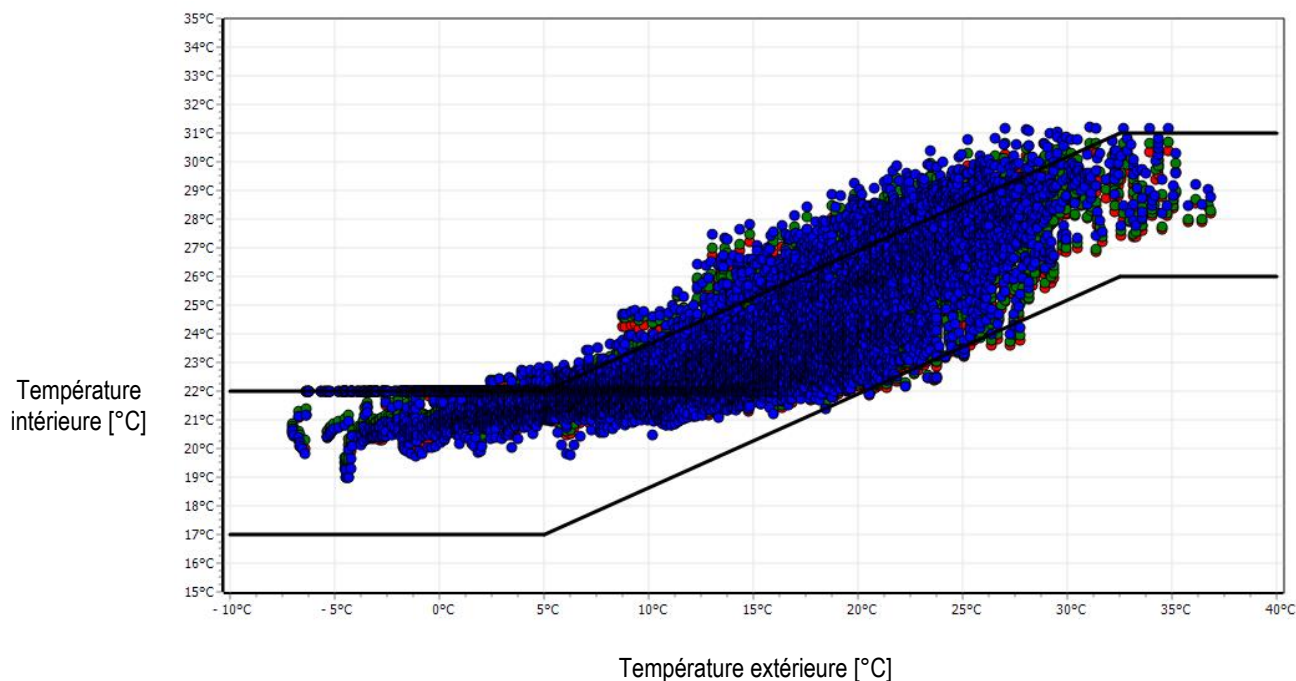
5.1.4. EPISODE CANICULAIRE - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION

■ 11220_STD_CHLPDOLE/ CANIC Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE (+ventil+amm bati) SO / Chambre R+2 ETUDE+SDB R+2 ETUDE
■ 11220_STD_CHLPDOLE/ CANIC Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE (+ventil+amm bati) SO / Chambre Rcourant ETUDE + SDB Rcourant ETUDE
■ 11220_STD_CHLPDOLE/ CANIC Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE (+ventil+amm bati) SO / Chambres R+6 ETUDE + SDB R+6 ETUDE

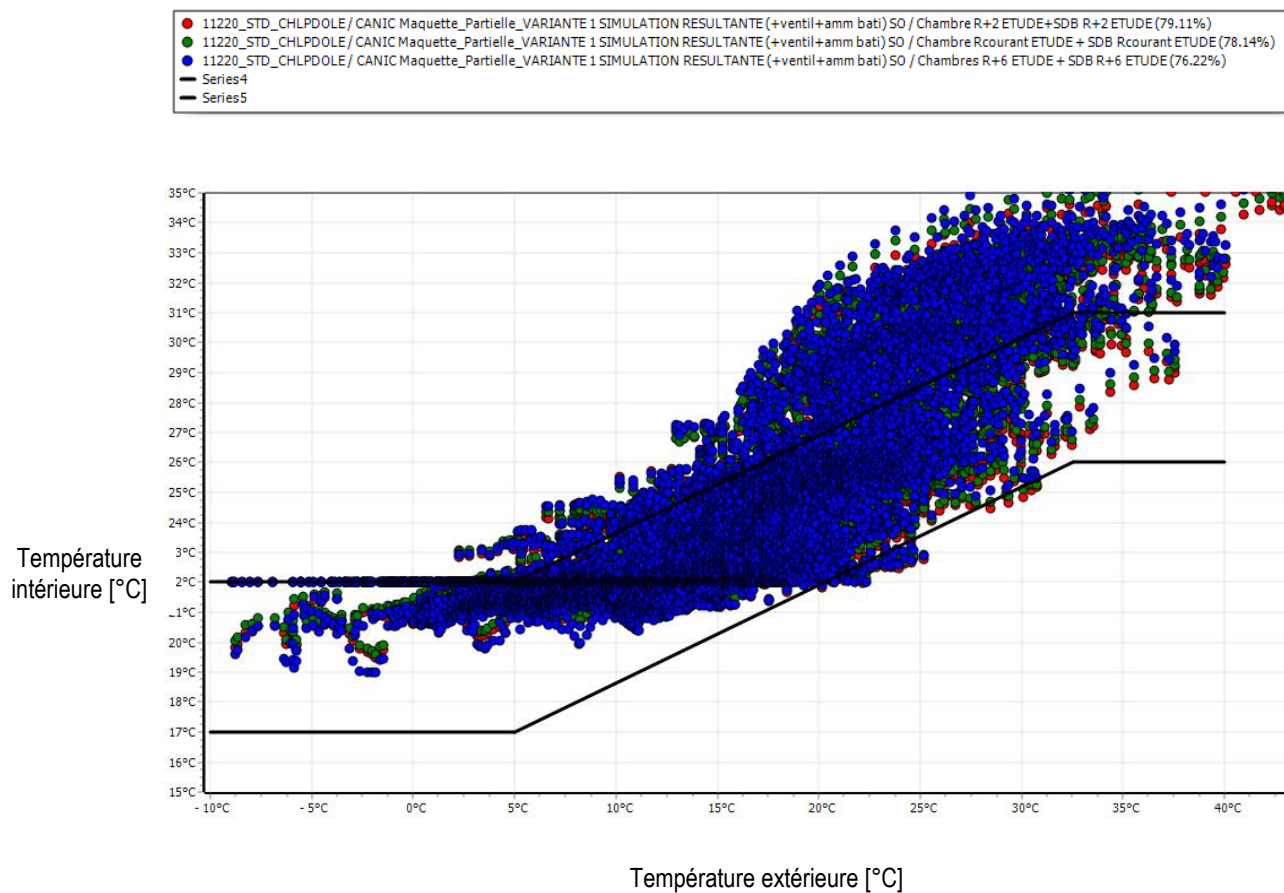


5.1.5. ETE NORMAL - ZONE DE BRAGER

● 11220_STD_CHLPDOLE/ Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE (+ventil+amm bati) SO / Chambre R+2 ETUDE+SDB R+2 ETUDE (94.31%)
● 11220_STD_CHLPDOLE/ Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE (+ventil+amm bati) SO / Chambre Rcourant ETUDE + SDB Rcourant ETUDE (92.66%)
● 11220_STD_CHLPDOLE/ Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE (+ventil+amm bati) SO / Chambres R+6 ETUDE + SDB R+6 ETUDE (90.6%)
— Series4
— Series5



5.1.6. EPISODE CANICULAIRE - ZONE DE BRAGER



5.2. Orientation SUD-OUEST – Etat Projet (avec amélioration ventilation)

5.2.1. ETE NORMAL - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION

Situation	Orientation	Zone thermique	Température maximale par zone (Température ext. 33.1°C)	Nombre d'heures annuel en période d'occupation > 28°C
R+2	SO	Chambre / SDB R+2	28.5 °C	12 h
ETG. COURANT	SO	Chambre / SDB COURANT	28.7 °C	25 h
R+6	SO	Chambre / SDB R+6	29.4 °C	113 h

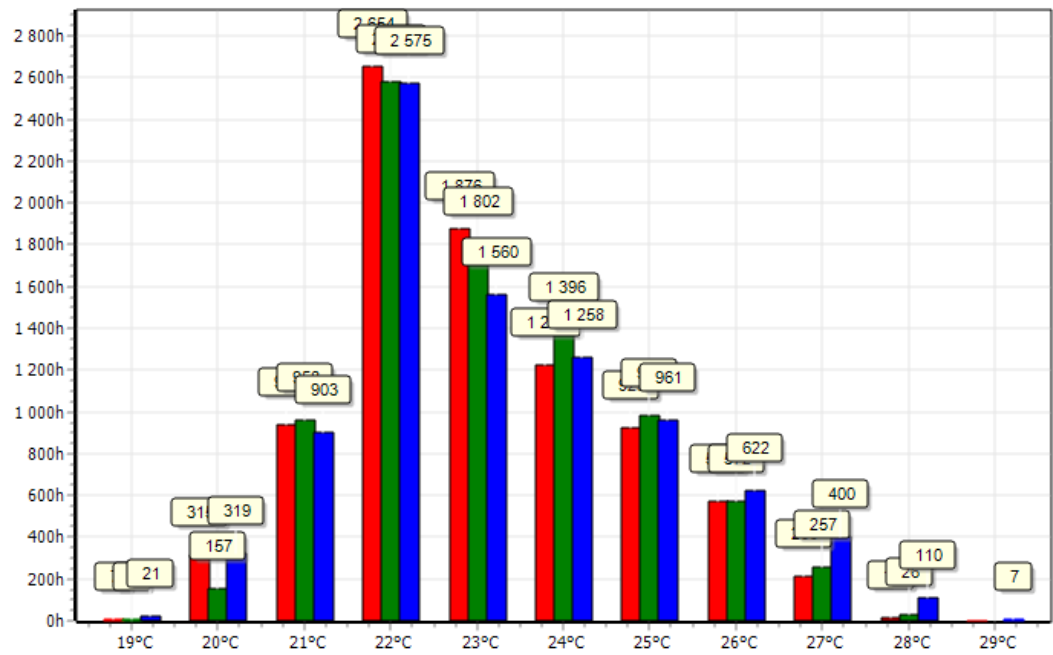
👉 L'amélioration du système de ventilation va permettre de corriger l'inconfort. 👈

5.2.2. EPISODE CANICULAIRE - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION

Situation	Orientation	Zone thermique	Température maximale par zone (Température ext. 39.2°C)	Nombre d'heures annuel en période d'occupation > 28°C
R+2	SO	Chambre / SDB R+2	32.4 °C	256 h
ETG. COURANT	SO	Chambre / SDB COURANT	32.6 °C	259 h
R+6	SO	Chambre / SDB R+6	33.5 °C	351 h

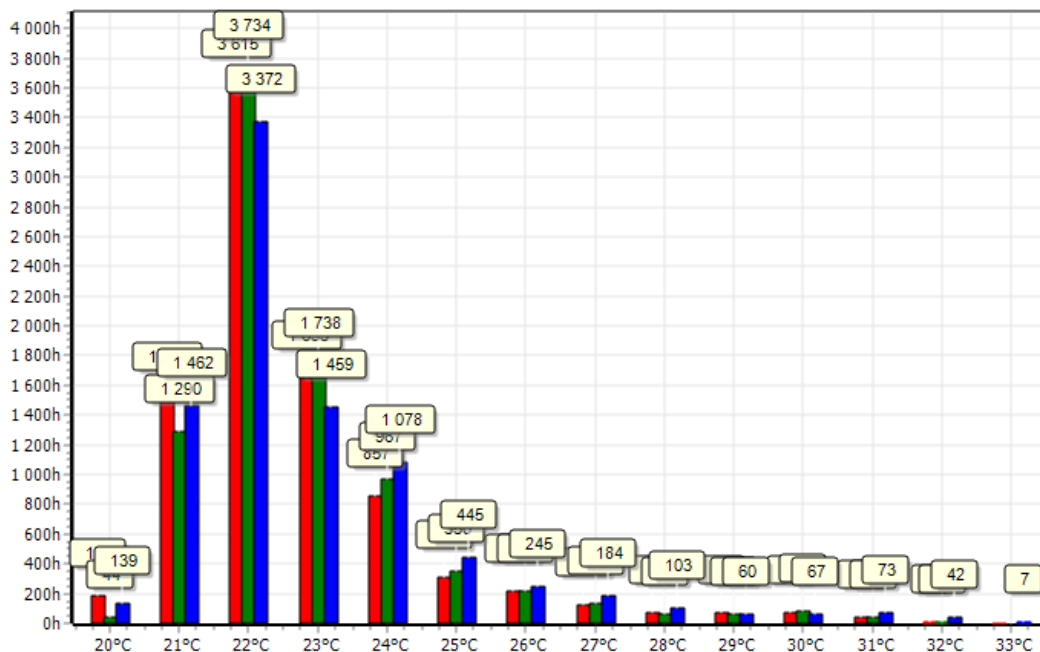
5.2.3. ETE NORMAL – HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION

✓	11220_STD_CHLPDOLE/Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE SO (+ventil+amm bati+DF80%BYP17°C) / Chambre R+2 ETUDE+SDB R+2 ETUDE
✓	11220_STD_CHLPDOLE/Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE SO (+ventil+amm bati+DF80%BYP17°C) / Chambre Rcourant ETUDE + SDB Rcourant ETUDE
✓	11220_STD_CHLPDOLE/Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE SO (+ventil+amm bati+DF80%BYP17°C) / Chambres R+6 ETUDE + SDB R+6 ETUDE



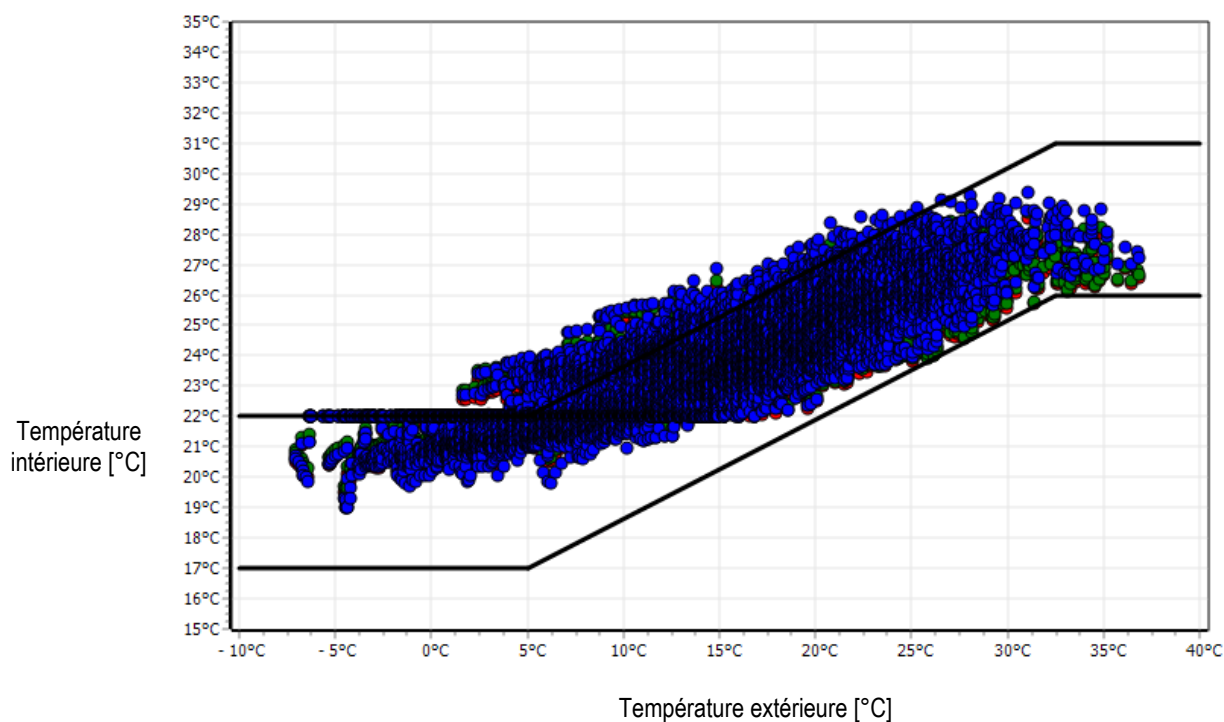
5.2.4. EPISODE CANICULAIRE - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION

■ 11220_STD_CHLPDOLE/Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE SO (CANIC+ventil+amm bati+DF80%BYP17°C) / Chambre R+2 ETUDE+SDB R+2 ETUDE
 ■ 11220_STD_CHLPDOLE/Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE SO (CANIC+ventil+amm bati+DF80%BYP17°C) / Chambre Rcourant ETUDE + SDB Rcourant ETUDE
 ■ 11220_STD_CHLPDOLE/Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE SO (CANIC+ventil+amm bati+DF80%BYP17°C) / Chambres R+6 ETUDE + SDB R+6 ETUDE

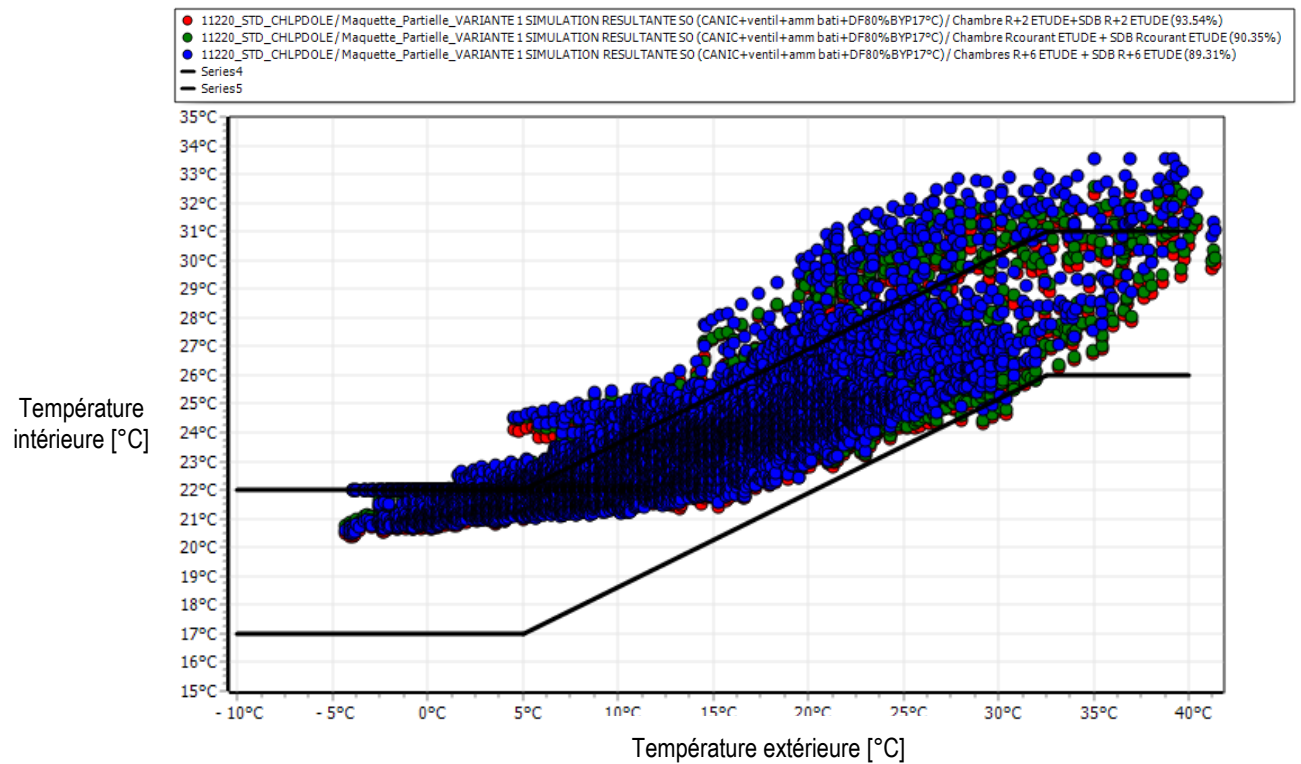


5.2.5. ETE NORMAL - ZONE DE BRAGER

■ 11220_STD_CHLPDOLE/Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE SO (+ventil+amm bati+DF80%BYP17°C) / Chambre R+2 ETUDE+SDB R+2 ETUDE (94.73%)
 ■ 11220_STD_CHLPDOLE/Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE SO (+ventil+amm bati+DF80%BYP17°C) / Chambre Rcourant ETUDE + SDB Rcourant ETUDE (92.63%)
 ■ 11220_STD_CHLPDOLE/Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE SO (+ventil+amm bati+DF80%BYP17°C) / Chambres R+6 ETUDE + SDB R+6 ETUDE (91.52%)
 — Series4
 — Series5



5.2.6. EPISODE CANICULAIRE - ZONE DE BRAGER



5.1. Orientation NORD-OUEST – Etat Projet (avec amélioration ventilation)

5.1.1. ETE NORMAL - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION

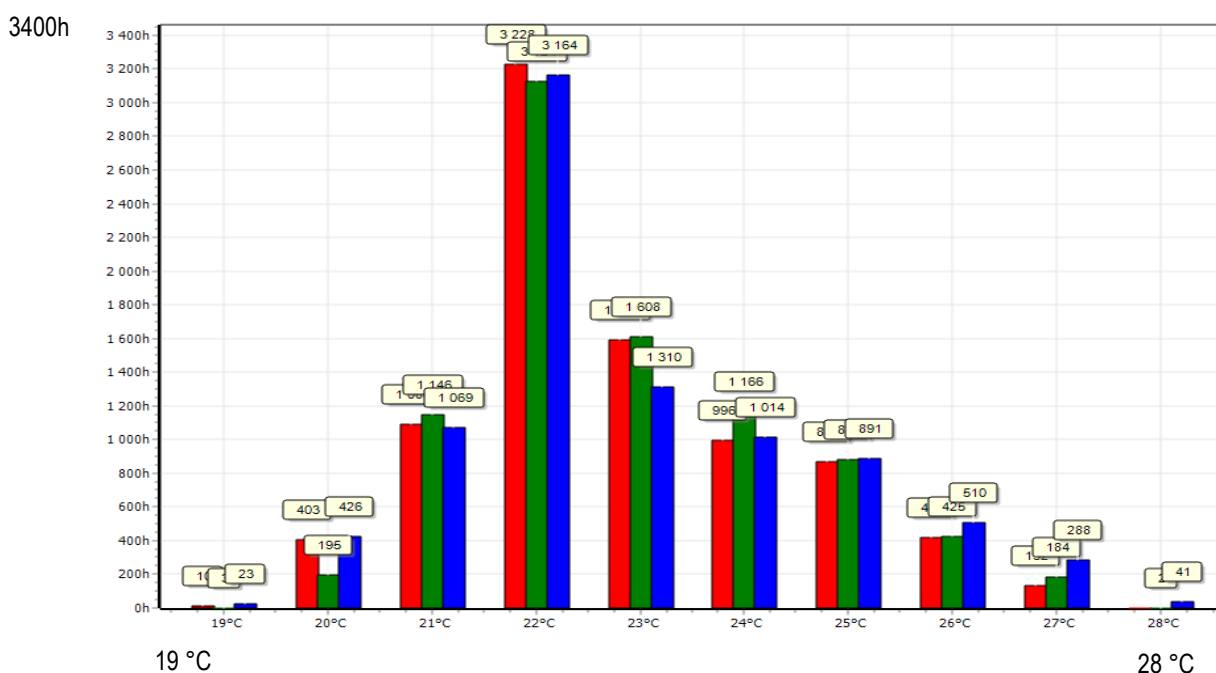
Situation	Orientation	Zone thermique	Température maximale par zone (Température ext. 33.1°C)	Nombre d'heures annuel en période d'occupation > 28°C
R+2	NO	Chambre / SDB R+2	27.9 °C	0 h
ETG. COURANT	NO	Chambre / SDB COURANT	28.0 °C	2 h
R+6	NO	Chambre / SDB R+6	28.6 °C	35 h

5.1.2. EPISODE CANICULAIRE - NOMBRE D'HEURES CUMULEES EN PERIODE D'OCCUPATION

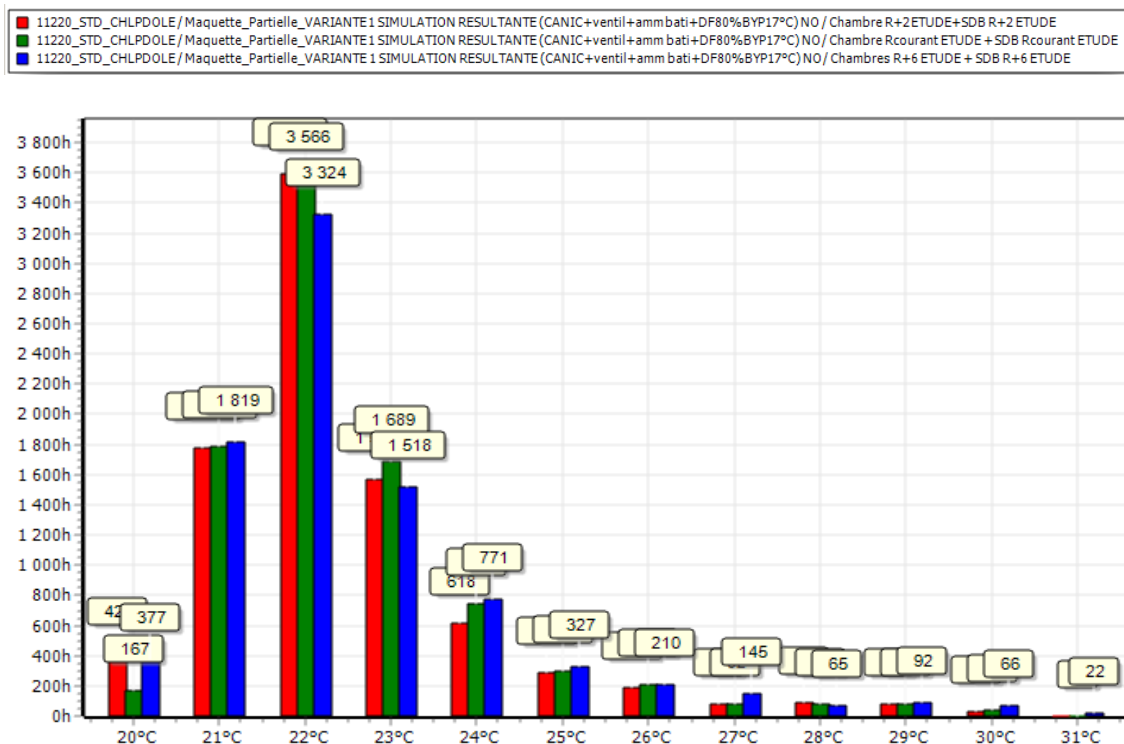
Situation	Orientation	Zone thermique	Température maximale par zone (Température ext. 39.2°C)	Nombre d'heures annuel en période d'occupation > 28°C
R+2	NO	Chambre / SDB R+2	30.9 °C	194 h
ETG. COURANT	NO	Chambre / SDB COURANT	31.1 °C	201 h
R+6	NO	Chambre / SDB R+6	31.8 °C	243 h

5.1.3. ETE NORMAL - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION

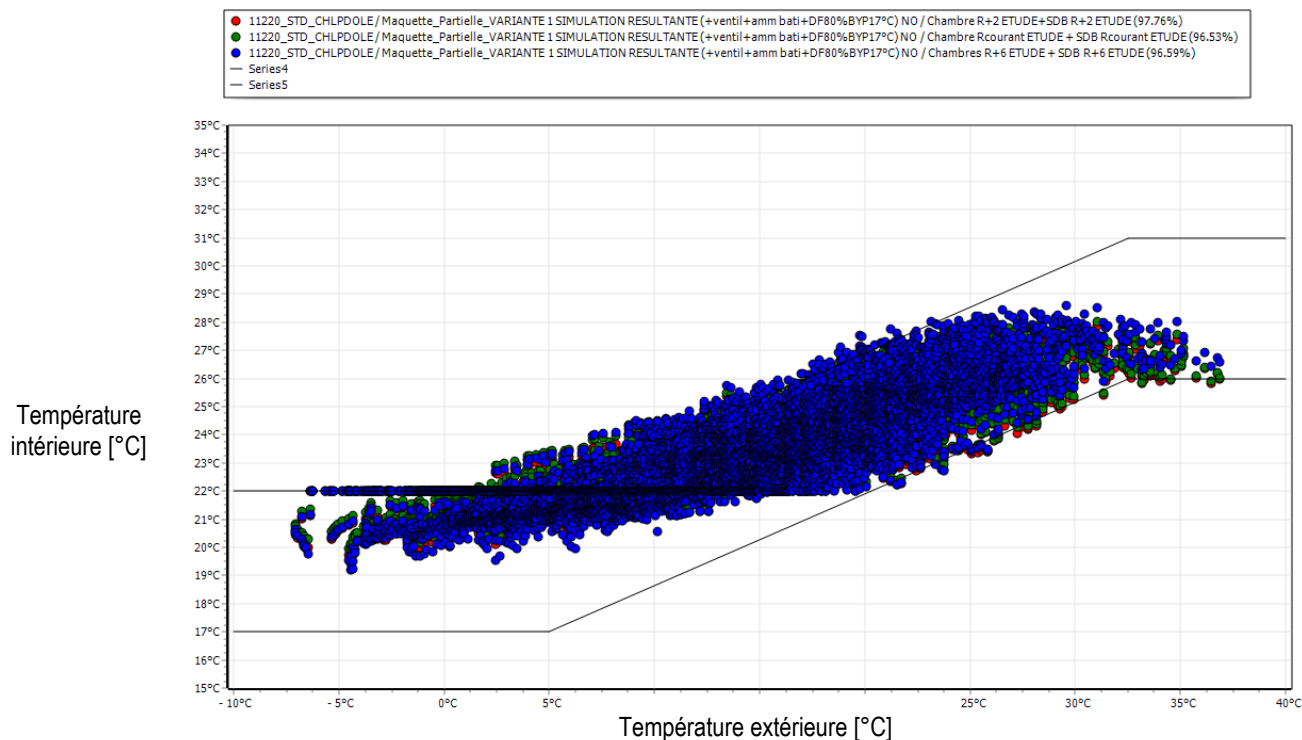
☒ 11220_STD_CHLPDOLE / Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE (+ventil+amm bati+DF80%BYP17°C) NO / Chambre R+2 ETUDE+SDB R+2 ETUDE
☒ 11220_STD_CHLPDOLE / Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE (+ventil+amm bati+DF80%BYP17°C) NO / Chambre Rcourant ETUDE + SDB Rcourant ETUDE
☒ 11220_STD_CHLPDOLE / Maquette_Partielle_VARIANTE 1 SIMULATION RESULTANTE (+ventil+amm bati+DF80%BYP17°C) NO / Chambres R+6 ETUDE + SDB R+6 ETUDE



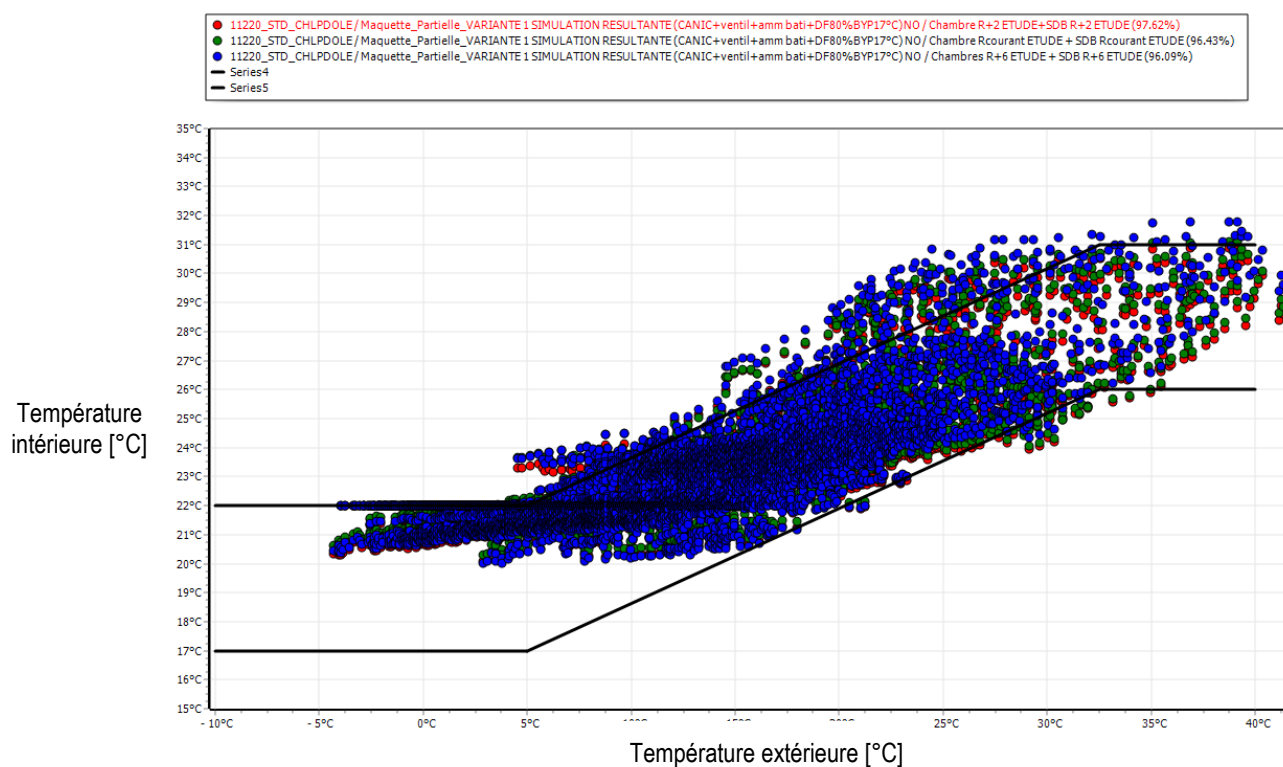
5.1.4. EPISODE CANICULAIRE - HISTOGRAMME DES TEMPERATURES EN OCCUPATION



5.1.5. ETE NORMAL - ZONE DE BRAGER

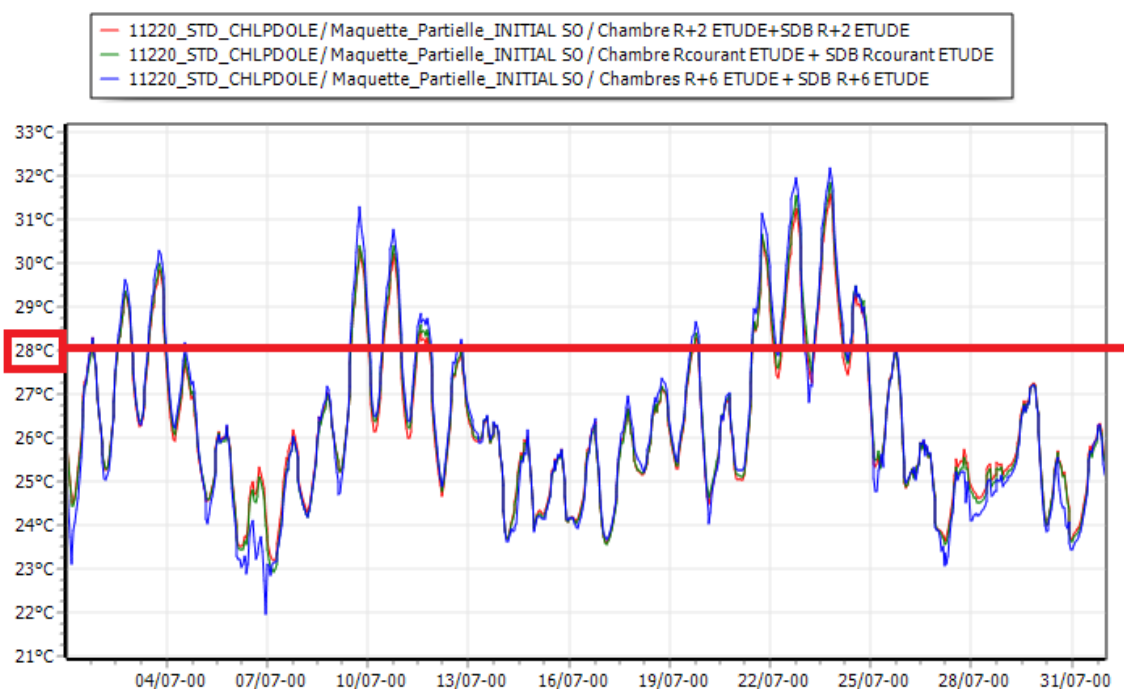


5.1.6. EPISODE CANICULAIRE - ZONE DE BRAGER

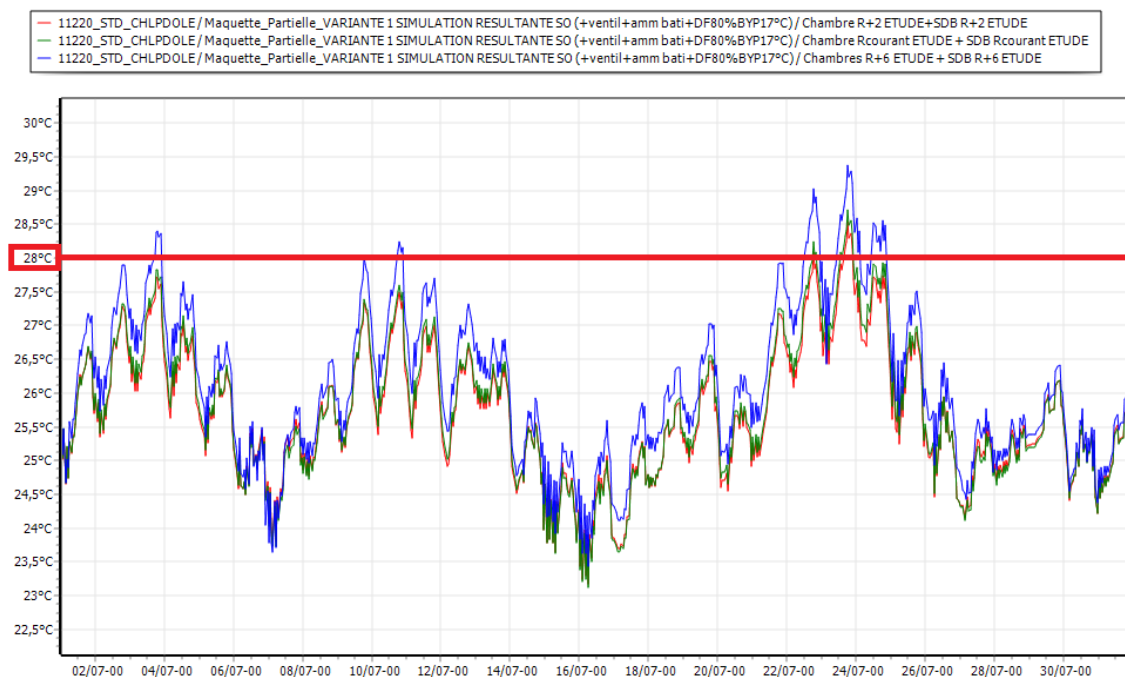


5.2. ETE NORMAL - comparaison températures JUILLET (avec amélioration ventilation)

5.2.1. ETAT INITIAL - ORIENTATION SO - ETE NORMAL - TEMPERATURES JUILLET



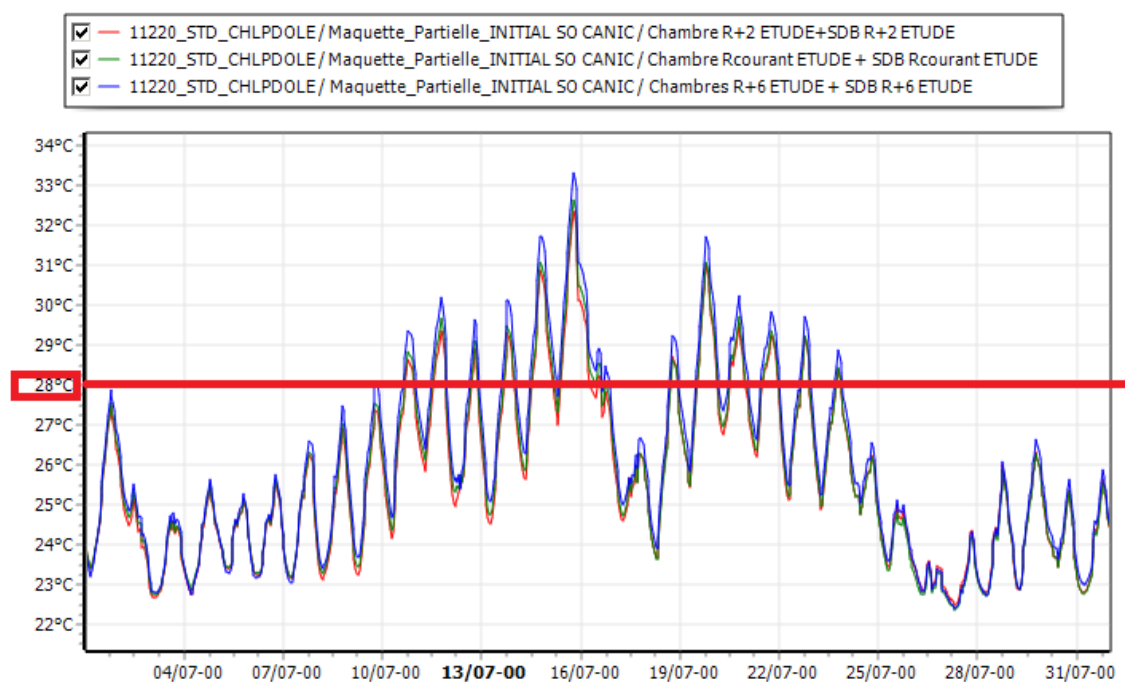
5.2.2. ETAT PROJET - ORIENTATION SO - ETE NORMAL - TEMPERATURES JUILLET



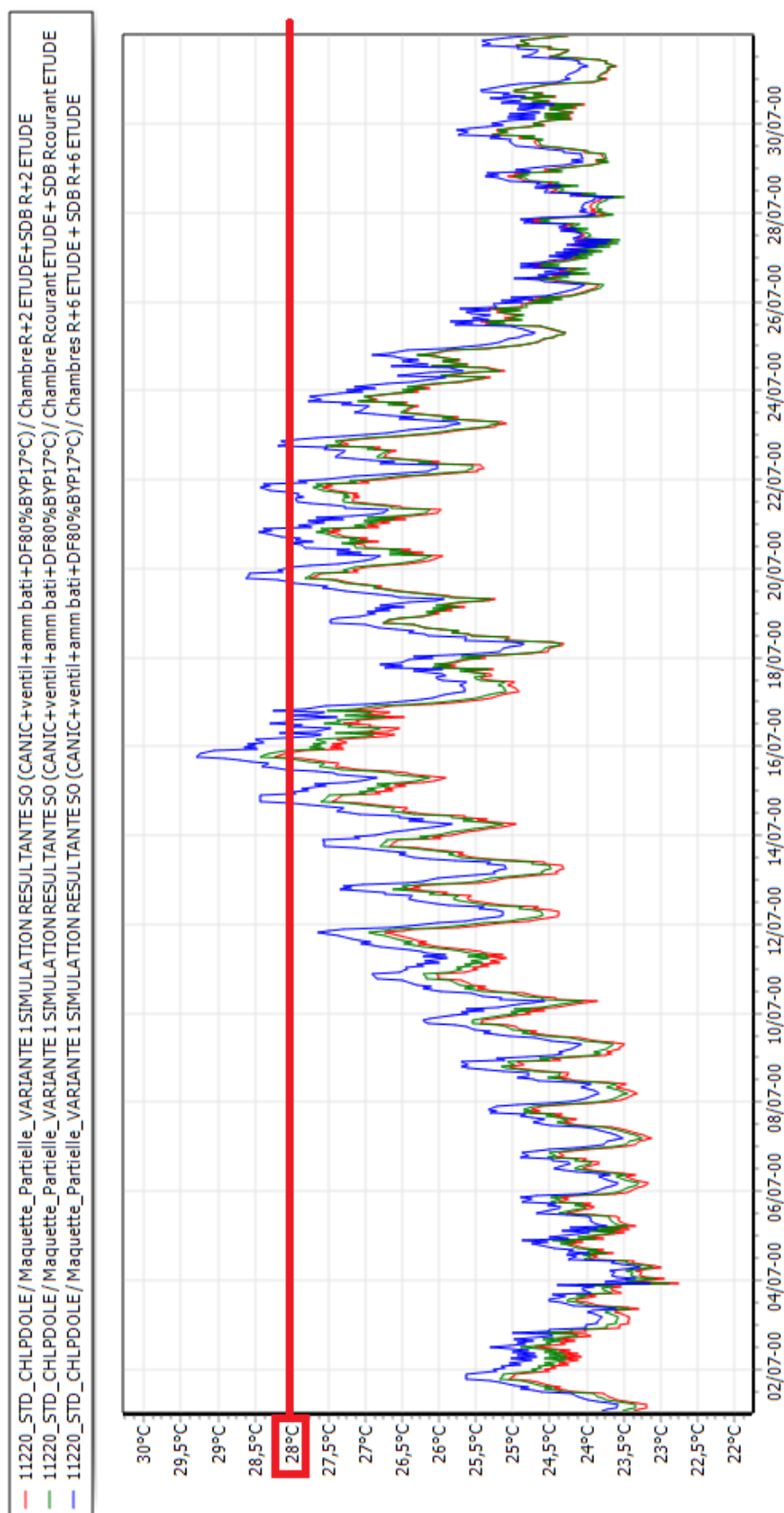
On remarque le bénéfice apporté par la mise en place des améliorations sur la température intérieure des zones.

5.3. EPISODE CANICULAIRE - comparaison températures JUILLET (avec amélioration ventilation)

5.3.1. ETAT INITIAL - ORIENTATION SO - EPISODE CANICULAIRE - TEMPERATURES JUILLET



5.3.2. ETAT PROJET (AVEC AMELIORATION VENTILATION) -
ORIENTATION SO - EPISODE CANICULAIRE - ETE NORMAL
- TEMPERATURES JUILLET



5.4. Etat PROJET - Comparaison des besoins de chauffage et apports solaires par orientation

5.4.1. SANS AMELIORATION VENTILATION - ORIENTATION SO - ETE NORMAL - BESOINS DE CHAUFFAGE ET APPORTS SOLAIRES

Situation	Orientation	Zone thermique	Besoins de chauffage	Gains BCh // EI	Apports solaires
Multiple	SO	Interstice double peau	0 kWh	-	9508 kWh
R+2	SO	Chambre / SDB R+2	700 kWh	38 %	Indirects
ETG. COURANT	SO	Chambre / SDB COURANT	484 kWh	44 %	Indirects
R+6	SO	Chambre / SDB R+6	724 kWh	70 %	Indirects

5.4.2. AVEC AMELIORATION VENTILATION - ORIENTATION SO - ETE NORMAL - BESOINS DE CHAUFFAGE ET APPORTS SOLAIRES

Situation	Orientation	Zone thermique	Besoins de chauffage	Gains BCh // EI	Apports solaires
Multiple	SO	Interstice double peau	0 kWh	-	9508 kWh
R+2	SO	Chambre / SDB R+2	554 kWh	51%	Indirects
ETG. COURANT	SO	Chambre / SDB COURANT	378 kWh	56%	Indirects
R+6	SO	Chambre / SDB R+6	585 kWh	76%	Indirects

5.4.3. AVEC AMELIORATION VENTILATION - ORIENTATION NO - ETE NORMAL - BESOINS DE CHAUFFAGE ET APPORTS SOLAIRES

Situation	Orientation	Zone thermique	Besoins de chauffage	Gains BCh // EI	Apports solaires
Multiple	NO	Interstice double peau	0 kWh	-	6055 kWh
R+2	NO	Chambre / SDB R+2	698 kWh	52%	Indirects
ETG. COURANT	NO	Chambre / SDB COURANT	480 kWh	58%	Indirects
R+6	NO	Chambre / SDB R+6	768 kWh	71%	Indirects

2^{ème} Partie : Estimation des consommations

Les modélisations sous la forme de maquettes simplifiée ont permis d'obtenir une estimation de la réduction des besoins énergétiques obtenus avec la mise en place des améliorations de l'état projet.

A-partir de ces modélisations, on réalise une estimation des gains obtenus sur les consommations pour les locaux impactés.

On commence en premier lieu par déterminer un état initial puis on réalise en second lieu des calculs relatifs à l'état projeté.

 **NOTA :** Les éléments de calculs de l'état initial présenté à la suite sont basés sur l'étude de consommation réalisée en 2009. 

6. Bases pour l'estimation des consommations

6.1. Bases climatiques

Département	:	39
Altitude	:	250 m
Zone Hiver	:	H1
Zone Eté	:	Ec
Température extérieure de base	:	-11 °C
Température intérieure par défaut	:	20 °C
Station de base météorologique	:	DOLE-TAUAUX
DJU base 18 en occupation (confort)	:	2 591 DJU

6.2. Bases thermiques

Température intérieure de confort	:	20°C
Volume chauffé (hors annexe)	:	66 565 m ³

6.3. Occupation et intermittence de fonctionnement

Occupation des locaux	:	continu
Intermittence du bâti :		0,95

6.4. Rendement d'installation de chauffage / ventilation

Rendement de génération de chauffage	: 99 %
Rendement d'émission chauffage	: 95 %
Rendement de distribution chauffage	: 94 %
Rendement de régulation chauffage	: 97 %
Rendement global chaufferie	: 86 %

7. Sous-partie 1 – Estimation des consommations - État initial

L'état initial sera défini à-partir de factures énergétiques du site ; les factures énergétiques disponibles portent sur la période 2016 à 2021 (pour partie). Les consommations sont fournies de manière mensuelle.

👉 Les données de consommations disponibles ne sont pas directement relatives à la zone et il sera nécessaire de réaliser un ratio de consommations ; en effet aucun sous-comptage n'est disponible pour permettre de mieux préciser les données (il est prévu la mise en place de compteurs dans le futur). 👉

Les données de consommation portent pour 42 600 m² sur les 47 350 m² du site étudié.

La partie bâtiment objet de l'étude représente une surface d'environ 23 400 m².

NOTA INFORMATIF :

- Dans le cadre du décret tertiaire, les données de consommation pour l'année 2020 ne peuvent pas être sélectionnées comme année de référence à cause de la pandémie.
- Dans le cadre du décret tertiaire qui n'est pas l'objet de la présente étude, les consommations électriques seront à analyser.

On suppose que les consommations mensuelles de juin à septembre sont principalement induites par la préparation d'eau chaude sanitaire.

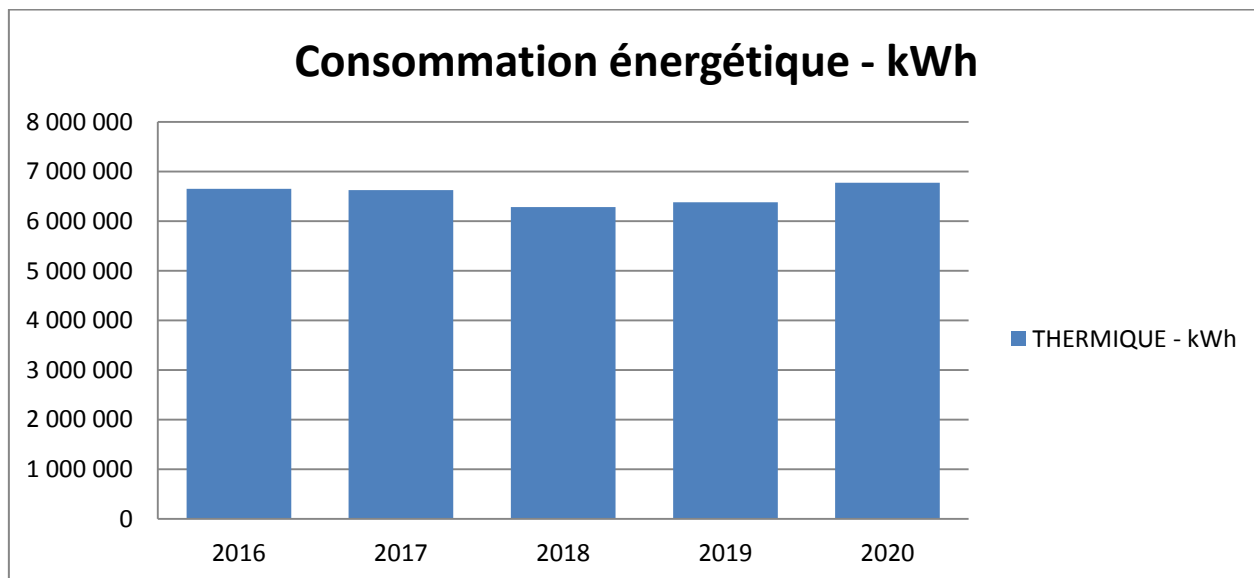
Les degré-jour unifiés ont été récupérés depuis le site internet Infoclimat à l'adresse suivante :

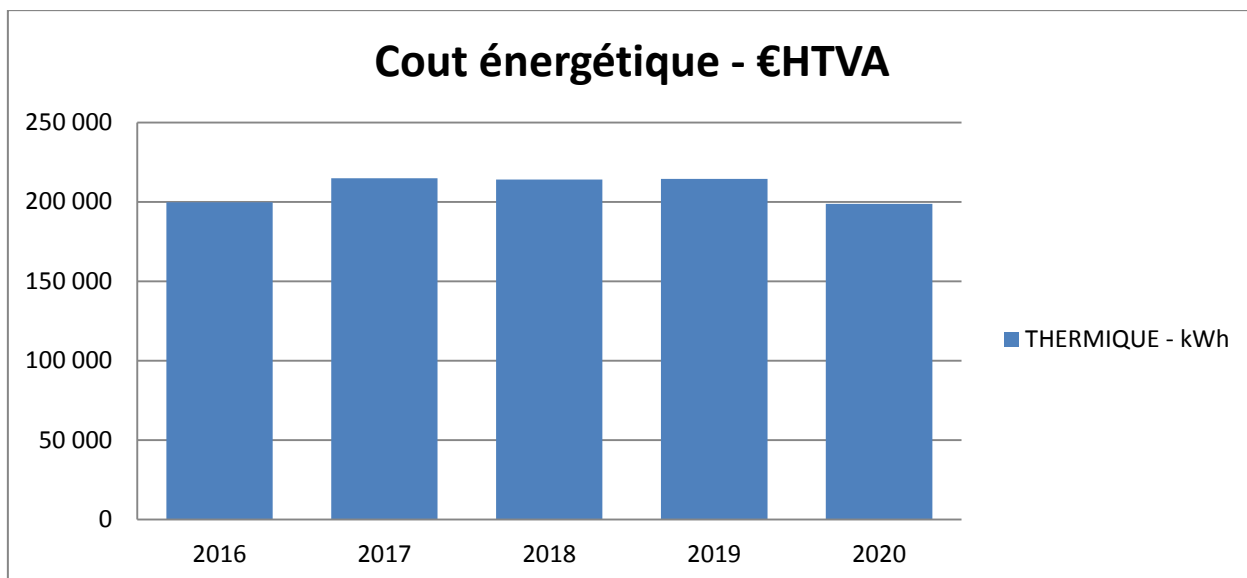
Lien internet Infoclimat : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2020/dole-tavaux/valeurs/07386.html>

Le tableau ainsi que les graphiques à la suite présentent la synthèse des consommations annuelles d'énergie thermique pour le site ainsi que des coûts énergétiques.

CONSOMMATIONS ANNUELLES (kWh)					
	2016	2017	2018	2019	2020
THERMIQUE - kWh	6 653 000	6 622 000	6 282 000	6 381 000	6 770 000

En moyenne, sur la période 2016-2020, les consommations s'élèvent à 6 541 600 kWh.





7.1. Définitions du Degré Jour Unifié

Afin de pouvoir comparer les consommations énergétiques, il est nécessaire de connaître la rigueur climatique des années étudiées. L'unité représentative de la rigueur climatique est le Degré Jour Unifié : D.J.U. Le DJU est établi par rapport à une température de non chauffage théorique dite Température de base DJU. Souvent cette valeur vaut 18 °C, des bases 20 °C voire 22 °C existent cependant.

Pour une journée le D.J.U. vaut :

Valeur 0 --> si $T_{moy} > T^{\circ} \text{ Base } ^{\circ}\text{C}$

Valeur $(T^{\circ}\text{C Base} - T_{moy})$ si $T_{moy} < T^{\circ} \text{ base } ^{\circ}\text{C}$

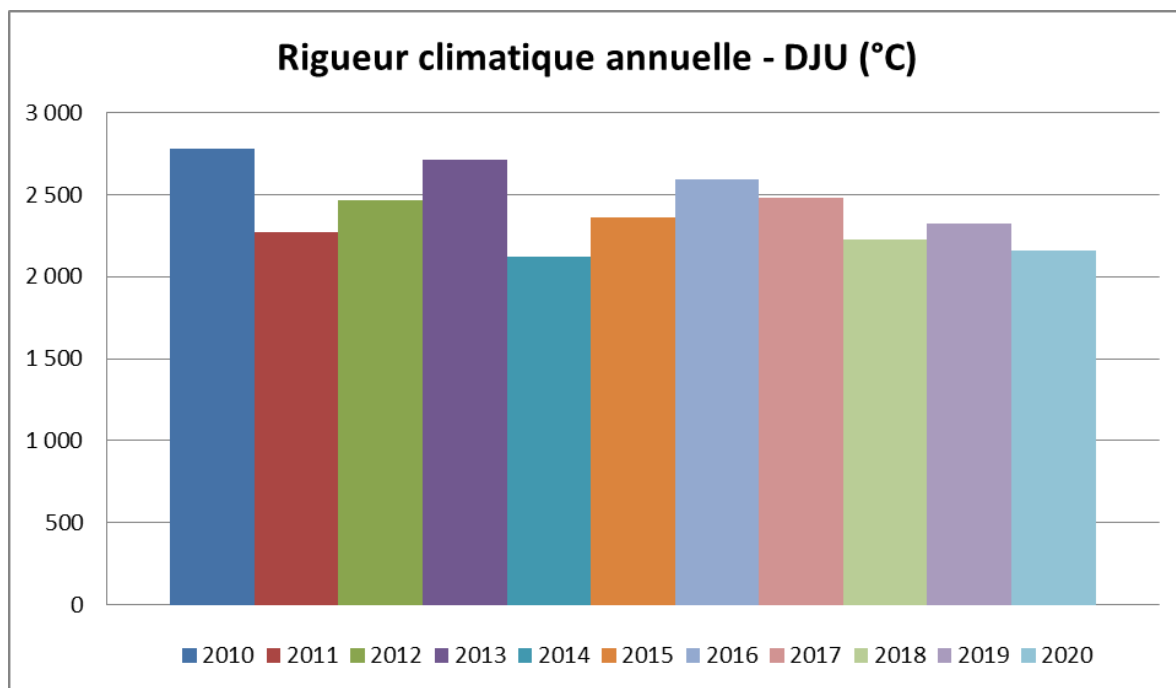
Le D.J.U. annuel est obtenu en additionnant les D.J.U. journaliers. Plus la valeur du D.J.U. est élevée, plus l'hiver est rigoureux. Le D.J.U. annuel normal correspond à un hiver « moyen ».

On ignore les DJU pour les mois de Juin à Septembre (hors saison de chauffe).

DJU annuel

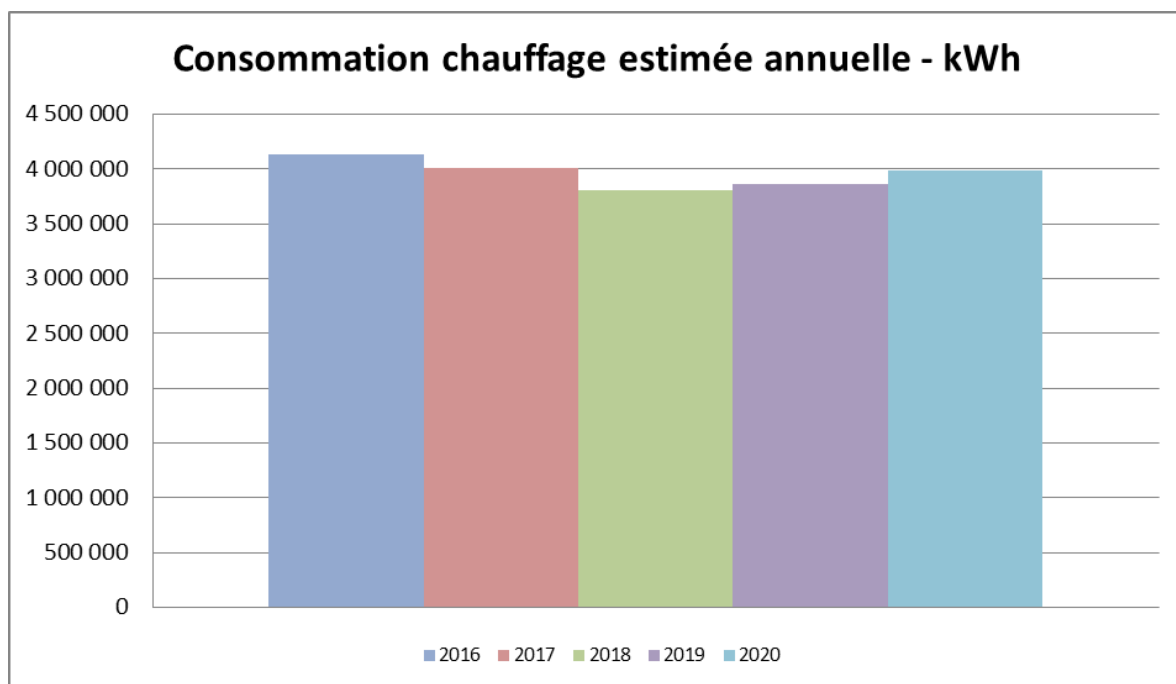
Les DJU annuels sont présentés par le biais du tableau suivant ; en moyenne, en excluant les mois hors saison de chauffe, on arrive à une valeur égale à 2 408 (2 591 en prenant en compte les mois en saison de chauffe).

DEGRES JOURS MENSUELS (FONCTION DE LA ZONE GEOGRAPHIQUE) - DJU (°C)											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Janvier	572	457	428	484	373	451	401	575	333	485	419
Février	407	388	538	478	319	415	358	318	453	347	290
Mars	355	286	250	382	283	320	361	254	350	272	308
Avril	203	150	234	231	184	202	236	242	143	221	158
Mai	165	113	116	192	137	129	149	126	93	172	108
Juin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Juillet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Août	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Septembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Octobre	221	185	175	130	137	208	226	181	174	140	195
Novembre	329	309	324	364	264	288	334	360	294	318	296
Décembre	526	386	399	450	423	349	526	429	390	369	387
TOTAL	2 779	2 273	2 465	2 710	2 118	2 361	2 591	2 483	2 230	2 324	2 159



7.2. Ratio kWh/DJU et consommations initiales

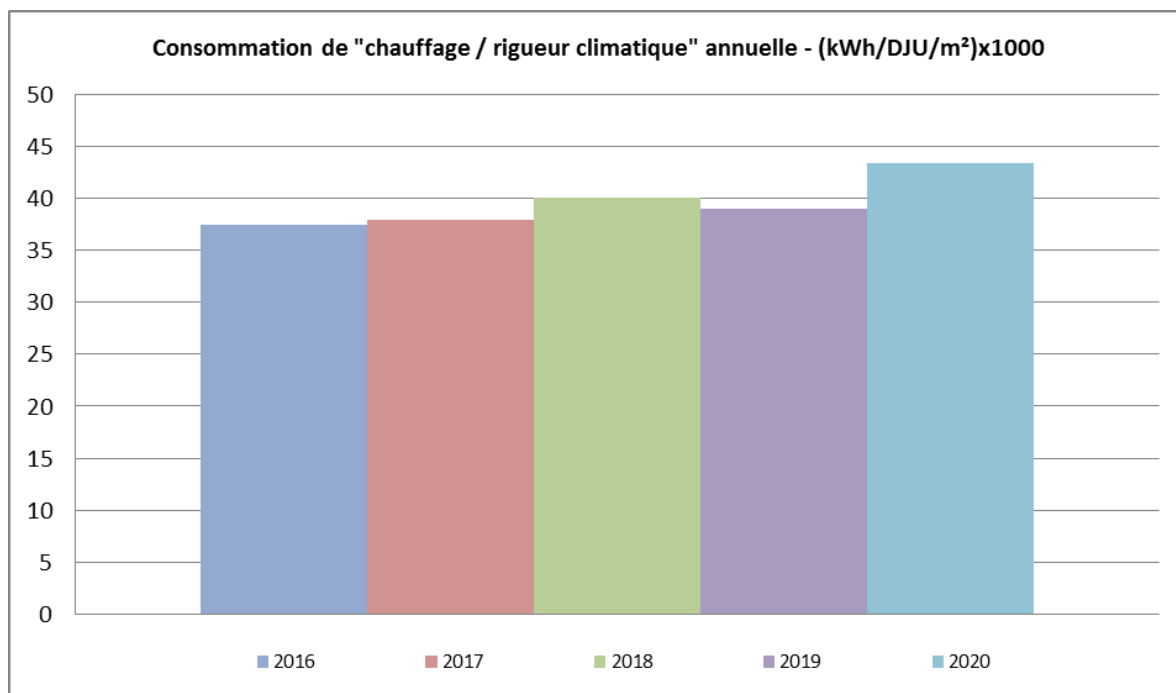
On estime que les consommations des mois de juin à septembre sont majoritairement induites par les systèmes de préparation d'ECS. Ces consommations pour la préparation d'ECS représentent 215 MWh en moyenne mensuelle.



Le ratio ramené au DJU se calcule en divisant la consommation annuelle d'énergie pour le chauffage du bâtiment (exprimée en kWh) par l'indice de dureté climatique de l'année considérée (Degré Jour Unifié exprimé en DJU). Il permet d'identifier le profil des consommations sur les années étudiées indépendamment de la dureté climatique.

Ce ratio doit normalement être constant.

Il représente un bon indicateur permettant d'identifier les surconsommations inexpliquées sur une année et de rechercher les causes dans une étude plus approfondie.



Commentaires :

Le ratio de consommations semble relativement stable entre 2016 et 2019. L'année 2020 est marquée par une augmentation du ratio (ouverture des fenêtres plus fréquente, etc...).

On définira le ratio de consommation de chauffage en valeur moyenne de la période 2016-2019 :

39 (kWh/DJU/m²)x1000.

On en déduit une estimation des consommations pour les 23 400 m² étudiés : **2 197 MWh pour le chauffage pour une rigueur climatique moyenne de 2 408 DJU.**

Cette consommation représente environ 14 000 €HT.

On calcule les besoins initiaux de la partie de bâtiment étudiée :

Consommations de chauffage = Besoins de chauffage / rendement global chaufferie

Besoins de chauffage = 2197 x 0.86 = ~ **1 889 MWh**

👉 Les gains de consommation seront estimés à partir de cette valeur ainsi que des estimations de la simulation thermique dynamique. 👉

8. Sous-partie 2 – Estimation des consommations – État projet façade bioclimatique (avec amélioration ventilation).

On estime les gains de consommations à-partir des gains de besoins estimés par la simulation thermique dynamique.

On prend pour hypothèse que chaque étage participe de manière identique aux besoins énergétiques globaux.

Le gain obtenu sur les besoins pour la partie étudiée est calculé à 37%.

Les besoins énergétiques après projet sont donc réduits à **1 192 MWh soit un gain de 696 MWh.**

Ces besoins peuvent être transformés en consommations pour le chauffage : **1 386 MWh pour 23 400 m².**

👉 On estime les consommations globales futures à **5 370.6 MWh soit une réduction des consommations globales de 12%.** 👈

9. LUMIERE NATURELLE DANS LES CHAMBRES

Il a été modélisé les apports de lumière naturelle dans les chambres pour les différentes orientations principales du projet de manière à déterminer les impacts de la réalisation de la façade double peau.

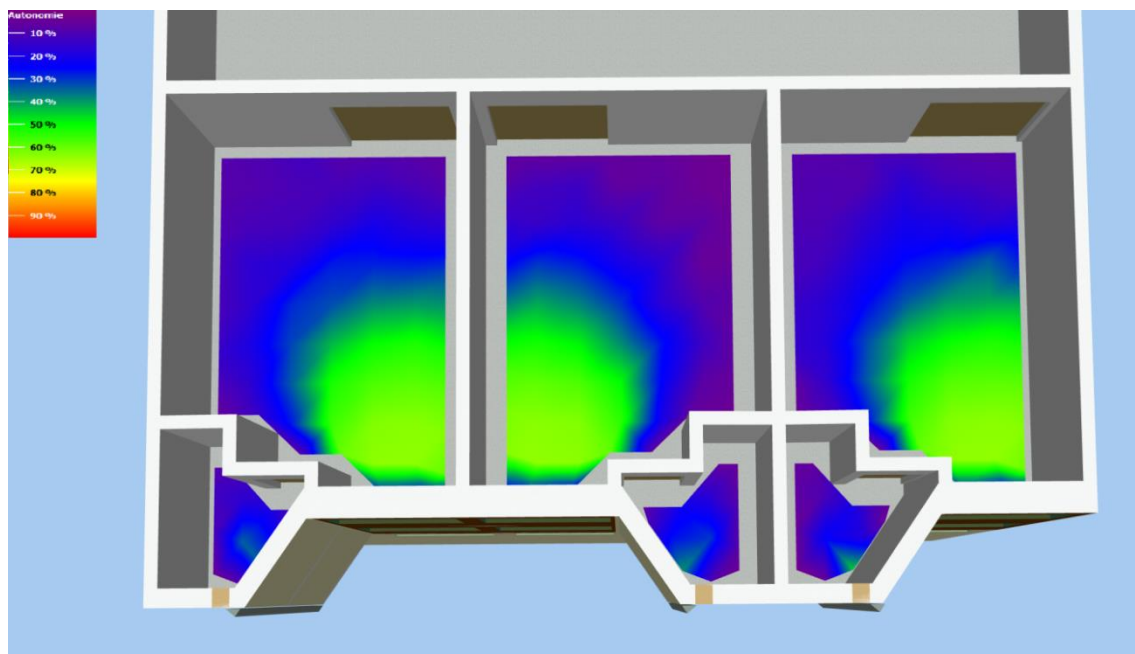
Il sera indiqué l'autonomie atteinte pour les locaux prenant pour hypothèse des besoins en lumière de 300 lux de 6h à 21h sur un plan de 0,7 m.

9.1. Etat initial – Apports de lumière naturelle

Pour rappel, on prend en hypothèse la transmission lumineuse des menuiseries de l'état initial égale à **0,65**.

9.1.1. ORIENTATION NO

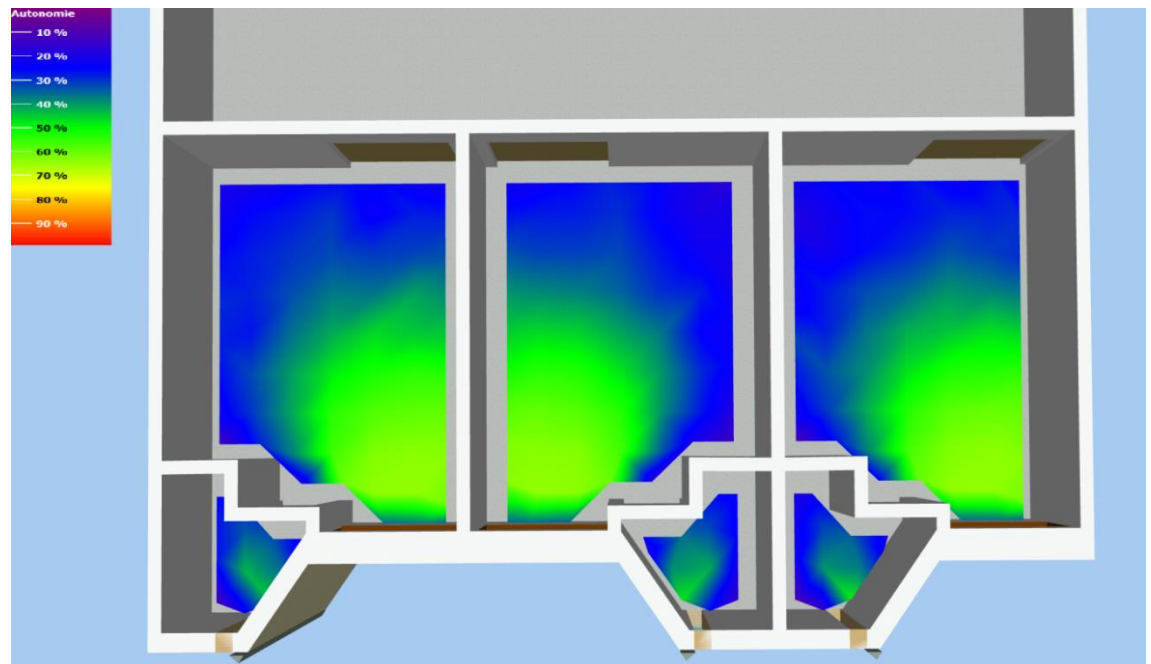
L'autonomie de lumière naturelle atteint un maximum de 64% suivant le scénario défini dans la zone la plus favorable (devant la fenêtre de la chambre). A l'entrée de la chambre l'autonomie est égale à 7% environ.



INITIAL - Calcul de l'autonomie en lumière naturelle pour des chambres orientation NO.

9.1.2. ORIENTATION SO

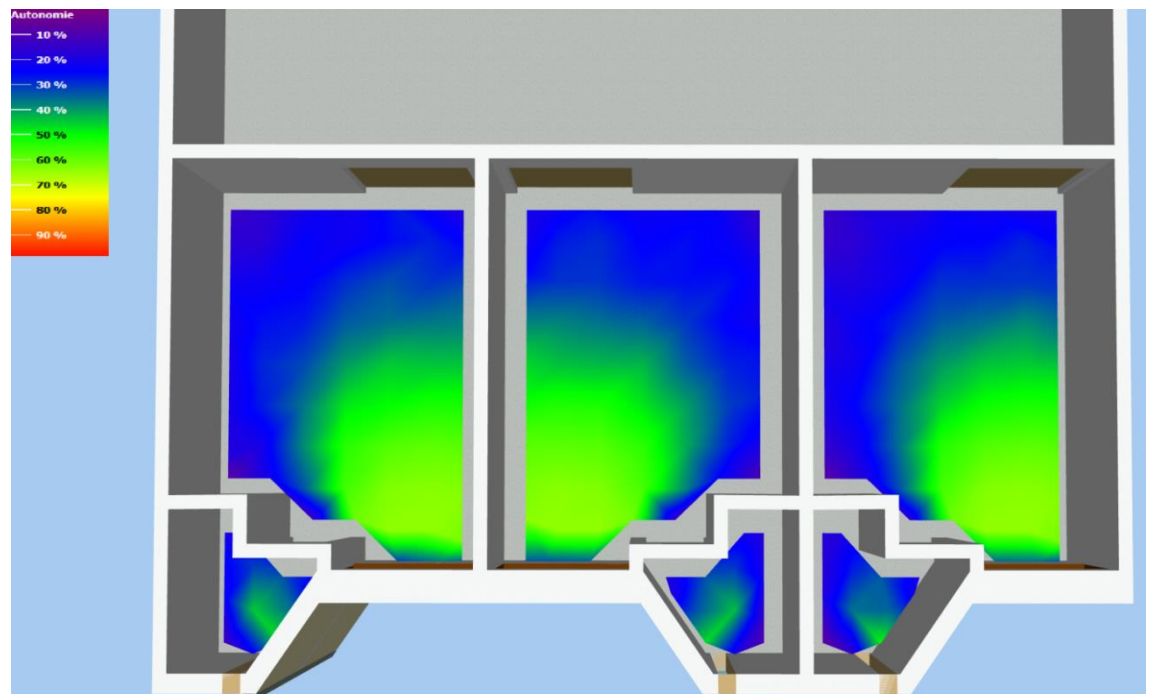
L'autonomie de lumière naturelle atteint un maximum de 64% suivant les scénarios définis dans la zone la plus favorable (devant la fenêtre de la chambre). A l'entrée de la chambre l'autonomie est égale à 20%.



INITIAL - Calcul de l'autonomie en lumière naturelle pour des chambres orientation SO.

9.1.3. ORIENTATION SE

L'autonomie de lumière naturelle atteint un maximum de 64% suivant les scénarios définis dans la zone la plus favorable (devant la fenêtre de la chambre). A l'entrée de la chambre l'autonomie est égale à 15%.



INITIAL - Calcul de l'autonomie en lumière naturelle pour des chambres orientation SE.

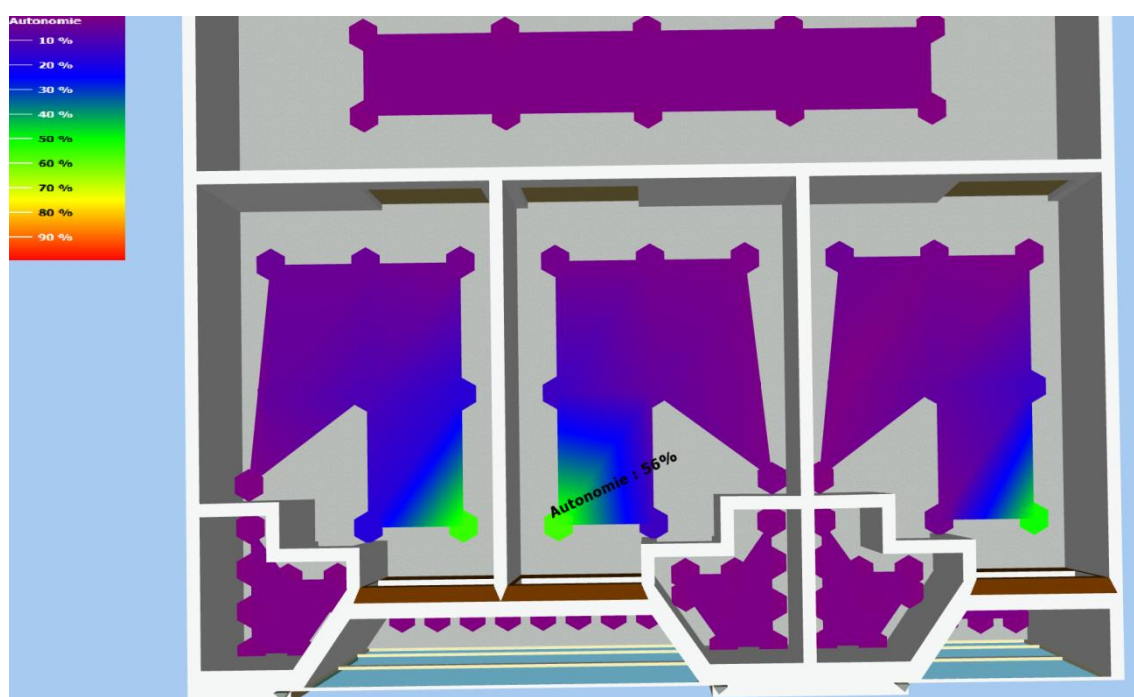
9.2. Etat Projet – Apports de lumière naturelle

Pour rappel, l'état projet prévoit la mise en place d'une façade bioclimatique équipée d'un verre SGG COOL LITE XTREME 60/28, le vitrage de la façade double peau dispose d'une transmission lumineuse égale à 0,6. La transmission lumineuse résultant de la mise en place de la façade double peau est estimée à **0,35**.

👉 Les salles de bains/WC ne disposent plus d'apports de lumière naturelle au regard de la condamnation de leur ouvrant dans le cadre du projet. 👉

9.2.1. O R I E N T A T I O N N O

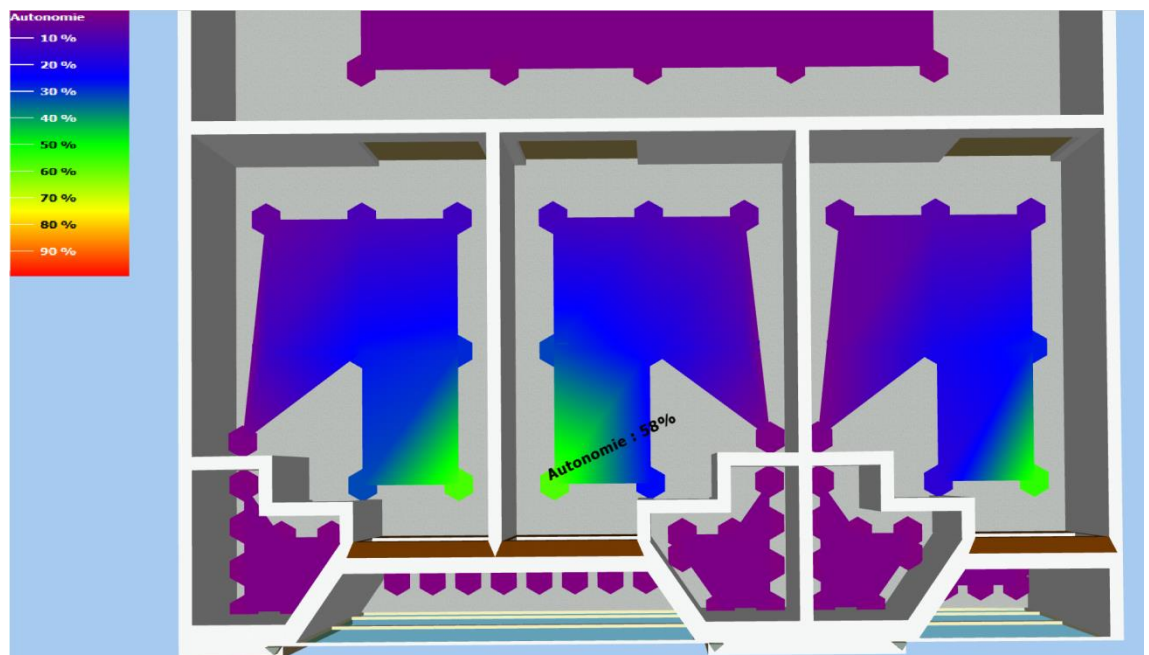
Pour l'orientation NO, on remarque que l'autonomie au point le plus favorable est réduite de 64% à 56%.



ETAT PROJET - Calcul de l'autonomie en lumière naturelle pour des chambres orientation NO.

9.2.2. ORIENTATION SO

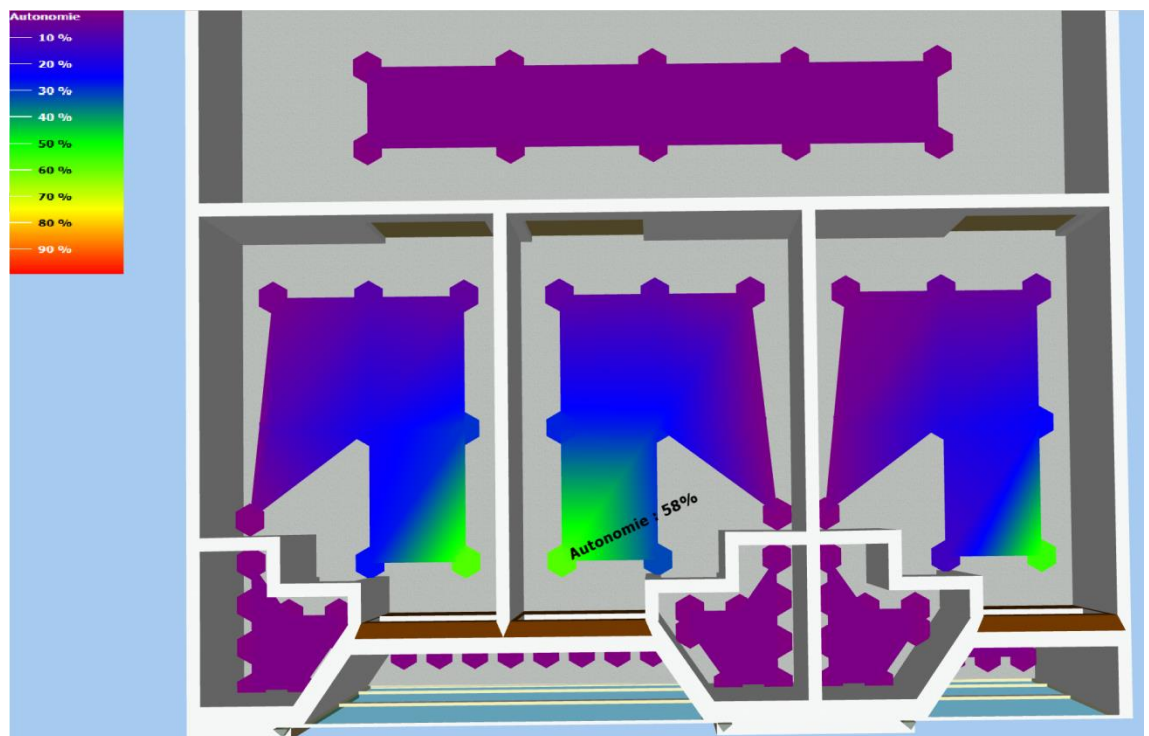
A hypothèses de fonctionnement identiques, la mise en place de la double peau induit la réduction de l'autonomie en lumière naturelle ; la valeur maximale est réduite de 64% à 58%.



ETAT PROJET - Calcul de l'autonomie en lumière naturelle pour des chambres orientation SO.

9.2.3. ORIENTATION SE

On observe une réduction de la valeur maximale identique à l'orientation SO pour l'orientation SE.



ETAT PROJET - Calcul de l'autonomie en lumière naturelle pour des chambres orientation SE.


10. CONCLUSION

La simulation thermique dynamique du bâtiment a permis d'apporter les enseignements suivants :

- La mise en place des façades double peau permettra de réduire les infiltrations des façades existantes, les usagers profiteront ainsi d'un confort amélioré (réduction des courants d'air froid à côté des menuiseries existantes à la performance dégradée).
- Sans amélioration du système de ventilation, les simulations montrent que le confort estival sera dégradé ; en effet, le système de double façade a un effet de décalage de besoins (les besoins énergétiques pour le chauffage sont réduits alors que les besoins énergétiques pour le rafraîchissement sont augmentés).
- Pour l'état projet intégrant uniquement l'amélioration du bâti, comme les besoins de rafraîchissement sont augmentés et qu'il n'y a pas de système permettant de répondre au besoin, l'inconfort augmente.
- La validation du confort thermique défini comme justifiant le non dépassement de plus de 60h au-dessus de 28°C dans l'année avec la mise en place de la variante projet (avec amélioration ventilation) avec un scénario météorologique standard.
- Les objectifs fixés pour la simulation sont partiellement atteints ; en effet on note que lors de la simulation « canicule 2003 » les niveaux d'inconfort observés pour les différentes simulations dépassent la valeur fixée en objectif. Ces niveaux d'inconfort sont toutefois à relativiser car les simulations ont été réalisées dans un cas plutôt défavorable en termes d'hypothèses d'occupation et d'apports internes. Le confort pourrait encore être amélioré avec la mise en place de stratégies de gestion de protections solaires pilotées ou encore avec l'augmentation des débits de ventilation en période estivale.
- La réalisation du projet permettra une réduction des consommations de chauffage globales pour le site d'environ 12% (37% en considérant uniquement le bâtiment amélioré et hors ECS).
- Au regard des obligations relatives à la loi ELAN, le décret tertiaire publié le 23 juillet 2019 est entré en application. Ce décret impose aux propriétaires et locataires de bâtiments tertiaires supérieurs à 1000 m² une diminution de leurs consommations d'énergie de 40% en 2030, 50% en 2040 et 60% en 2050. Les gains énergétiques visés seront calculés à partir d'une consommation de référence déterminée sur une année de référence choisie entre 2010 et 2019. Les consommations de l'année de référence devront être saisies sur une plateforme nationale gérée par l'ADEME. Des obligations d'affichage, de publication et de transmission témoignant du respect ou non de l'obligation seront mises en place en vue de développer la valeur verte des biens. Des contrôles et des sanctions sont prévus pour les organismes ne respectant pas leurs obligations. Le décret tertiaire vise l'accélération de la transition énergétique par le biais de la rénovation du parc immobilier existant.
 - Le centre hospitalier Louis Pasteur est concerné par le décret tertiaire et se doit donc de mettre en place une démarche de réduction de ses consommations énergétiques.
 - Les travaux d'amélioration énergétique proposés dans le présent rapport s'inscrivent dans la démarche allant vers le décret tertiaire ; il sera toutefois nécessaire d'aller encore plus loin dans la recherche des gisements d'économies et la mise en place d'action d'améliorations pour atteindre les objectifs fixés. En effet il est pris en hypothèse de calcul l'absence de modifications sur les systèmes de l'hôpital, alors que des gains non négligeables pourraient être obtenus en optimisant ce poste.

La simulation des apports de lumière naturelle nous apprend les éléments suivants :

- La mise en place d'une façade double peau va légèrement réduire l'autonomie lumineuse pour les pièces.
- Il sera nécessaire de faire quelques compromis sur les apports lumineux pour disposer d'un meilleur confort thermique dans les locaux et bénéficier d'une réduction des consommations.

 **Une fiche de synthèse est jointe en annexe du présent rapport. Cette fiche reprend le résultat des différentes simulations pour une chambre située à un étage courant suivant l'orientation Sud-Ouest suivant une météo normale ; elle donne un aperçu de l'évolution comportementale de l'intégralité du bâtiment.** 