



UJPE Nîmes

Projet de restructuration et d'extension de l'UJPE de Nîmes

NT DCE SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

Référence document	Ind	Date	Observations
NT DCE SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE	0	27/04/2026	Première diffusion

Maître d'Ouvrage

DIRECTION TERRITORIALE PROTECTION JUDICIAIRE JEUNESSE GARD LOZERE (DTPJJ)
Unité judiciaire à priorité éducative – Site du mas du noyer
400 Chemin de L'Aérodrome
30 000 NIMES

Architecte mandataire

SEUIL ARCHITECTURE
18 rue Adonis
31200 TOULOUSE

UJPE Nîmes

Projet de restructuration et d'extension de l'UJPE de Nîmes



SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

Notice technique

DCE

Indice	Date	Rédaction	Vérification	Commentaire
0	27/04/2026	VSC	QHU	Première diffusion

SOMMAIRE

1	PRESENTATION DE L'ETUDE	3
1.1	Objet de l'étude	3
1.2	Contenu	3
2	METHODOLOGIE	4
2.1	Principe	4
2.2	Outils	4
3	DONNEES D'ENTREE	5
3.1	Période de simulation	5
3.2	Fichier météorologique	5
3.3	Modélisation géométrique	8
3.4	Zonage thermique	9
3.5	Performances de l'enveloppe	11
3.6	Scénarios	12
4	RESULTATS	16
4.1	Objectif	16
4.2	Approche générale	16
4.3	Approche par zone	20
5	CONCLUSION	32

1 PRESENTATION DE L'ETUDE

1.1 Objet de l'étude

Le présent rapport a pour objet de présenter la simulation thermique dynamique (STD), réalisée sur le projet d'extension et de réhabilitation de l'unité judiciaire à priorité éducative (UJPE) de Nîmes (30).

Cette étude sera mise à jour au cours des phases suivantes en fonction des modifications faites sur le projet.

A ce stade du projet, la simulation thermique dynamique permet d'appréhender le comportement thermique du bâtiment dans le but de justifier sa bonne conception d'un point de vue bioclimatique et technique. Ainsi, nous allons observer si les protections solaires et les équipements techniques mis en œuvre sont satisfaisants en fonction de la capacité du bâtiment à maintenir une température intérieure satisfaisante en période estivale.

1.2 Contenu

Ce rapport présente la méthodologie suivie pour réaliser une simulation thermique dynamique, en intégrant :

- Les caractéristiques du bâtiment : surfaces, catalogue des parois et des vitrages, volumétrie, etc.
- Le zonage thermique
- Les scénarios utilisés : apports internes, débits d'air neuf, occupation, etc.
- Les fichiers météorologiques utilisés.

L'analyse des résultats est également développée dans le présent rapport afin d'explicitier le comportement thermique du bâtiment en période estivale. Il est possible de définir le niveau de confort du bâtiment en observant l'évolution des températures intérieures en fonction des solutions mises en œuvre (performances des parois, protections solaires, inertie, technique de rafraîchissement passif, etc.).

2 METHODOLOGIE

2.1 Principe

La simulation thermique dynamique a pour objectif de définir le comportement futur du bâtiment en termes de températures intérieures, par rapport à un fonctionnement qui se veut le plus proche de la réalité et faisant intervenir divers scénarios (occupation, consignes de température, débits de ventilation, infiltrations d'air, puissance dissipée par les équipements internes, occultations, etc.).

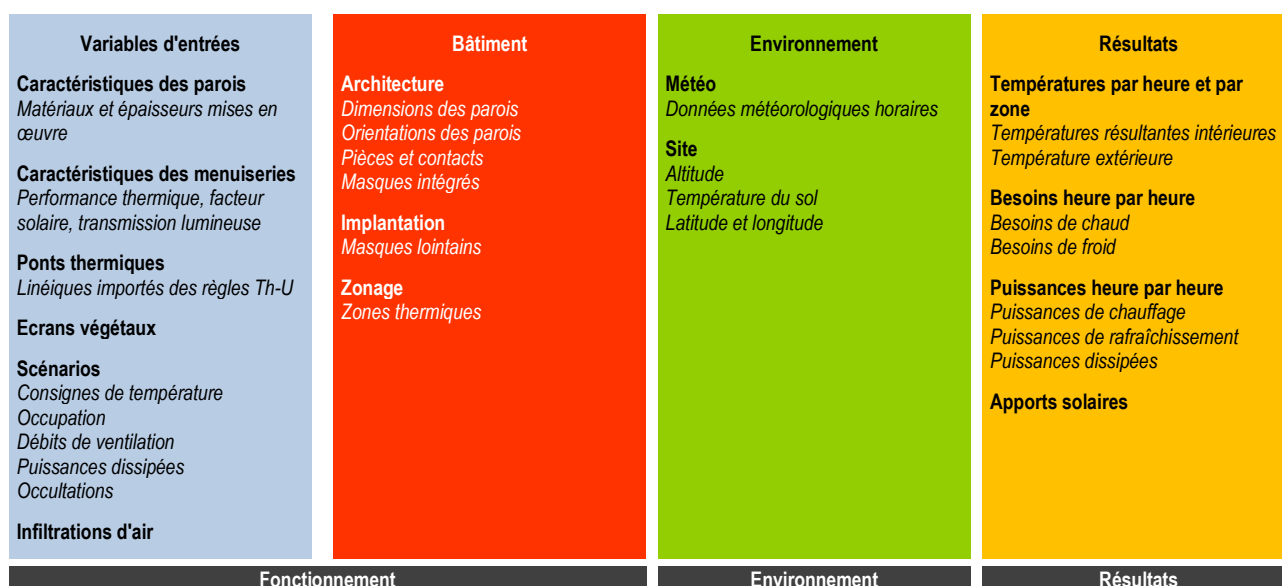
Pour le présent projet, l'ensemble des intervenants ont fourni les informations architecturales, techniques et fonctionnelles disponibles au stade d'avancement, et nécessaires à la réalisation de l'étude.

Afin de produire des résultats cohérents et fiables, le fonctionnement thermique du bâtiment est approché au plus près de la réalité et tient compte des éléments suivants :

- Bâti : Dimensions, orientations, caractéristiques des parois, surfaces vitrées, etc.
- Apports internes : Occupants, éclairage, matériel informatique, équipements scientifiques et autres
- Usages : Planning d'occupation et mode d'utilisation des différents équipements (programmation et régulation des installations thermiques, relance, surventilation nocturne, etc.).
- Météorologie : Conditions météorologiques locales par pas de temps horaires et sur toute l'année.

Le bâtiment est alors saisi dans sa totalité en tenant également compte des pièces inoccupées et non chauffées (locaux techniques). Il est ensuite découpé en différentes zones thermiquement homogènes afin de suivre pour chacune d'elle l'évolution des températures.

L'articulation des différents éléments intervenant dans la simulation thermique dynamique est représentée sur le schéma ci-après, qui permet de mieux appréhender les étapes logiques de la méthode utilisée.



2.2 Outils

La Simulation Thermique et Dynamique est réalisée à l'aide du logiciel PLEIADES 2025. La saisie géométrique du bâtiment (modélisation en 3 dimensions) est réalisée à l'aide du modèleur sur la base des plans projet phase PRO. Ce logiciel est développé par IZUBA ENERGIE. Les logiciels utilisés intègrent la version 6.26.3.1.

3 DONNEES D'ENTREE

La partie suivante a pour objectif de décrire les éléments du projet que nous avons pris en compte pour la réalisation de cette étude. Ces éléments, conformément à l'architecture du logiciel, sont de 3 ordres :

- Bâtiment (procédés constructifs, masques, zonage thermique, etc.) ;
- Environnement (localisation géographique du site et données météorologiques) ;
- Fonctionnement (scénarios).

Les différents scénarios pris en compte sont développés à la suite du présent rapport.

3.1 Période de simulation

Dans le premier cas, lors de l'étude du confort intérieur, la période de simulation s'étend sur l'ensemble de l'année, soit 52 semaines de simulations.

La période de chauffe du 15 octobre au 6 mai.

La période de rafraîchissement du 07 mai au 14 octobre.

3.2 Fichier météorologique

Pour la réalisation de cette simulation thermique dynamique, le fichier météorologique utilisé correspond à l'année 2040 pour la station météorologique Météo France de Nîmes. Ces données sont issues de la projection climatique scientifique, réalisée par le Groupement d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC).

A partir de ces données, nous avons généré à l'aide du logiciel METEOCALC développé par IZUBA ENERGIES le fichier météorologique dans un format compatible avec le logiciel utilisé, et tenant compte des éléments suivants :

- Date
- Heure
- Température d'air (°C)
- Humidité relative (%)
- Vitesse du vent (m/s)
- Rayonnement global horizontal (W/m²)
- Rayonnement direct horizontal (W/m²)
- Rayonnement diffus horizontal (W/m²)
- Nombre d'heures d'insolation (heures)

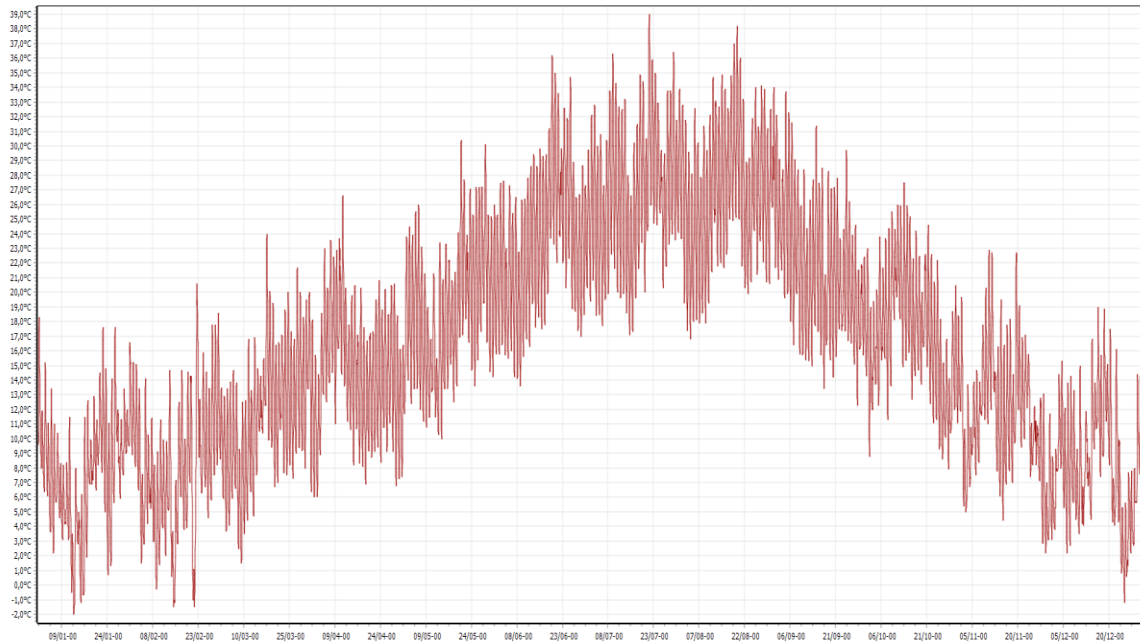
Le fichier météorologique issu de la période projetée en 2040 présente les caractéristiques suivantes :

- Température maximale : 39,0 °C
- Température minimale : -2,0 °C
- Température moyenne : 16,50 °C
- Rayonnement solaire global : 1 535 kWh/m²
- Nombre d'heures supérieures à 28°C : 829
- Nombre d'heures inférieures à 0°C : 61

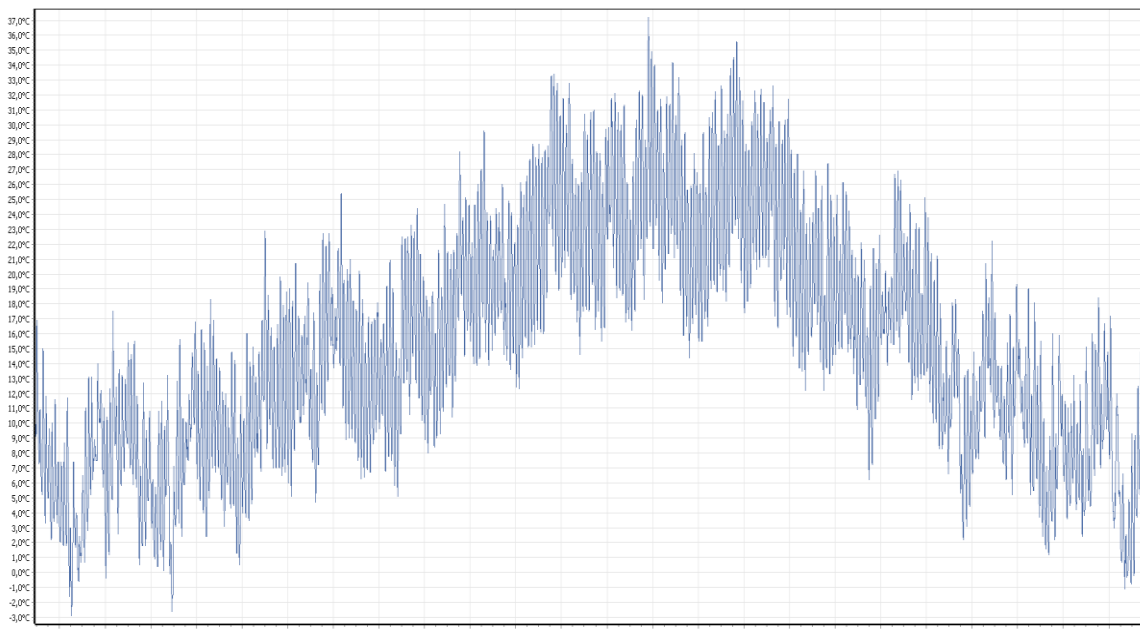
À titre de comparaison, le scénario de température « Nîmes moyen » (avant l'an 2000), comporte les données suivantes :

- Température maximale : 37,2 °C
- Température minimale : -3,0 °C
- Température moyenne : 15,3 °C
- Rayonnement solaire global : 1 501 kWh/m²
- Nombre d'heures supérieures à 28°C : 554
- Nombre d'heures inférieures à 0°C : 61

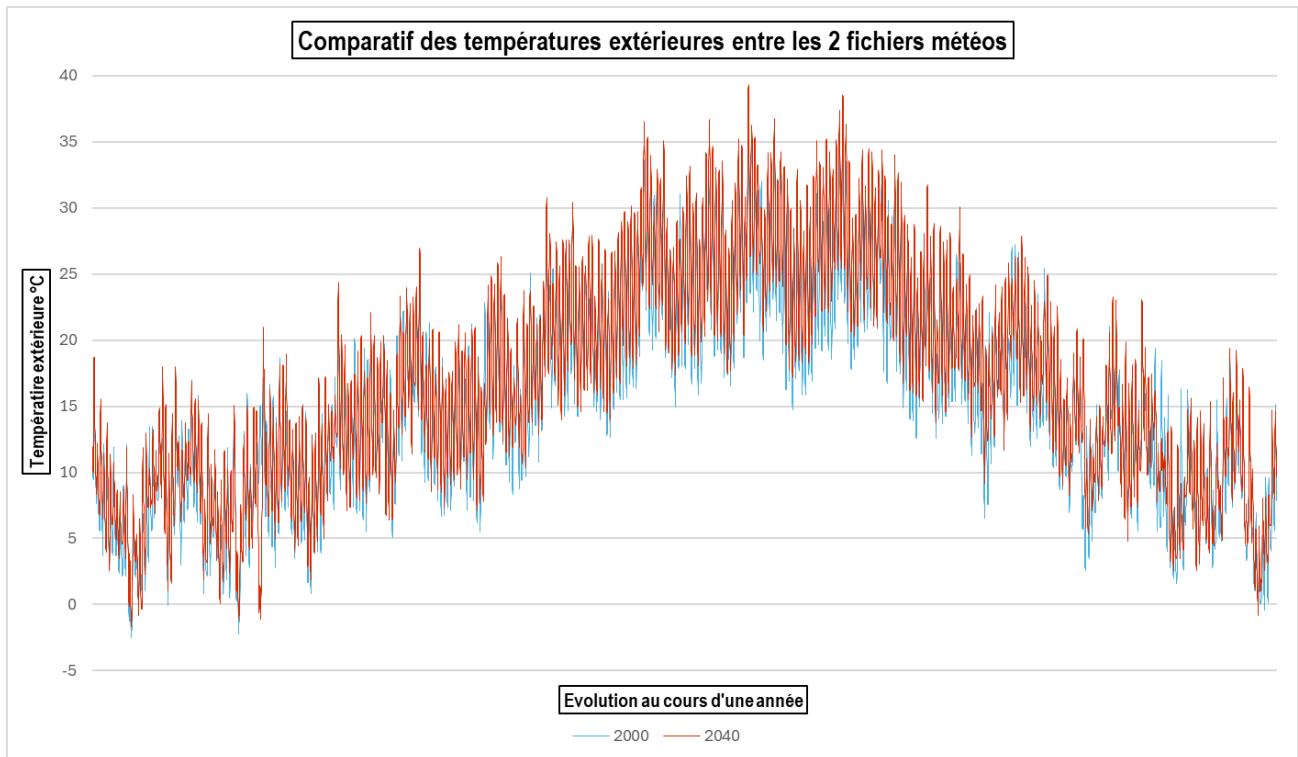
Ci-après, une représentation graphique des températures à l'horizon 2040 :



Ci-après, une représentation graphique des températures à l'horizon 2000 :



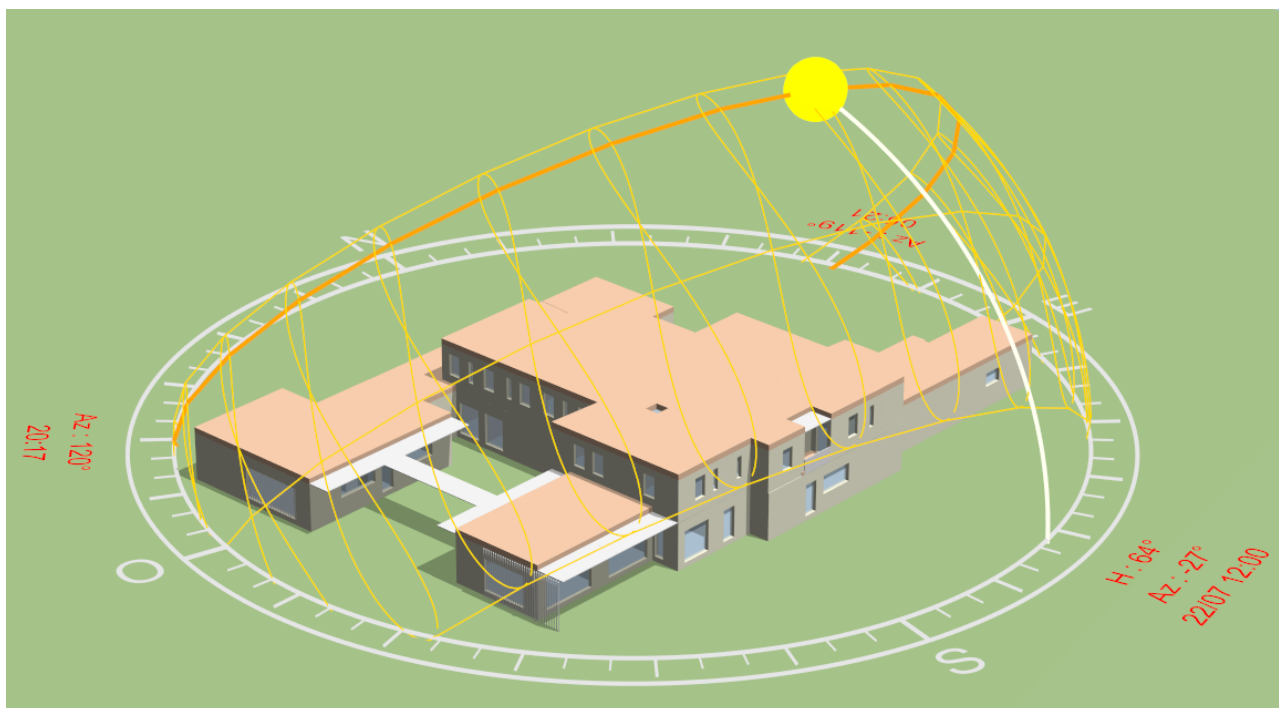
Grâce à ces graphiques, nous pouvons remarquer une intensification des phases à température dite « douces », notamment lors des périodes de mi-saison. En outre, la fréquence des pics de température est en nette augmentation.



La superposition des deux scénarios de température souligne de manière flagrante le détachement progressif de notre climat vers de nouveaux extrêmes et conditions moyennes de température.

3.3 Modélisation géométrique

Ci-dessous sont représentés l'héliodon et les ombrages issus de la modélisation géométrique des bâtiments du projet. Ils permettent de visualiser les ombres portées des parties du bâtiment les unes sur les autres, ainsi que l'exposition des façades en fonction de la période de la journée et de la saison.



Le 21 juin à 14h (midi solaire), l'ensemble de la façade SUD est ensoleillé. Plusieurs pièces bénéficient des protections solaires fixes (casquettes horizontales), notamment pour le rez-de-chaussée.

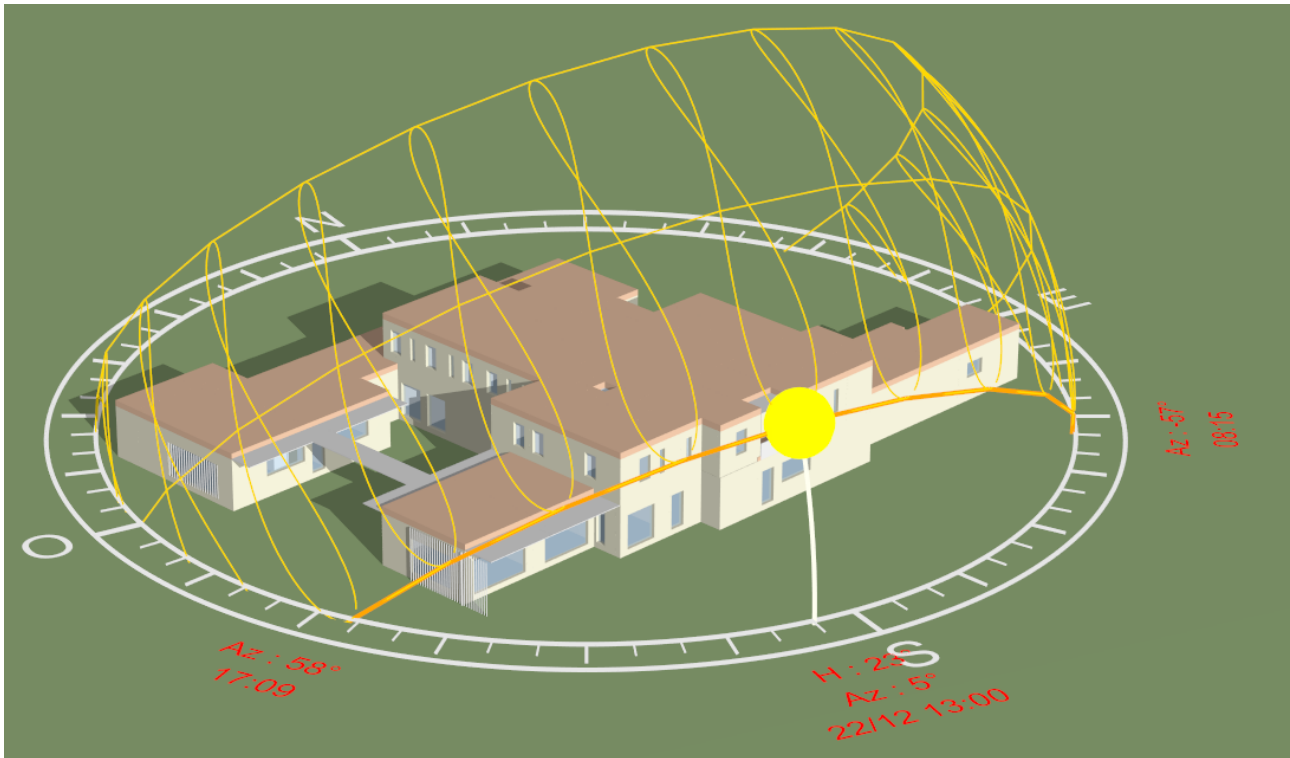
La salle polyvalente ainsi que la salle d'activité sont très bien protégées face aux risques de surchauffe solaire. Cependant, on remarque que la salle à manger ne bénéficie plus de son enfoncement. Les menuiseries concernées disposeront de protections solaires ou d'un double vitrage à très haute performance et à très faible Sw.

Cela ne signifie pas pour autant que ces locaux soient invulnérables à toutes sources d'inconfort. Les apports internes demeurent la cause prépondérante de l'élévation en température.

En revanche, tous les autres locaux dépourvus de protections fixes sont vulnérables à l'exposition prolongée à l'instar des chambres et des locaux administratifs en façade Sud-Ouest.



Grâce aux captures exposées ci-dessus, on remarque que la salle de réunion ne bénéficiera que tardivement du cache structurel du niveau supérieur. L'intégration d'une protection solaire ne peut pas être ignorée. En revanche, les locaux de l'entrée sont rapidement protégés face aux rayons ultraviolets.



Le 21 décembre à 13h (midi solaire) l'ensemble de la façade sud / sud-ouest est baigné de soleil. Cela facilitera les apports gratuits de chaleur, et in fine, d'une réduction des consommations de chauffage. Il s'avérera nécessaire de fournir des protections solaires mobiles pour être en capacité de doser cet apport et réaliser l'occultation.

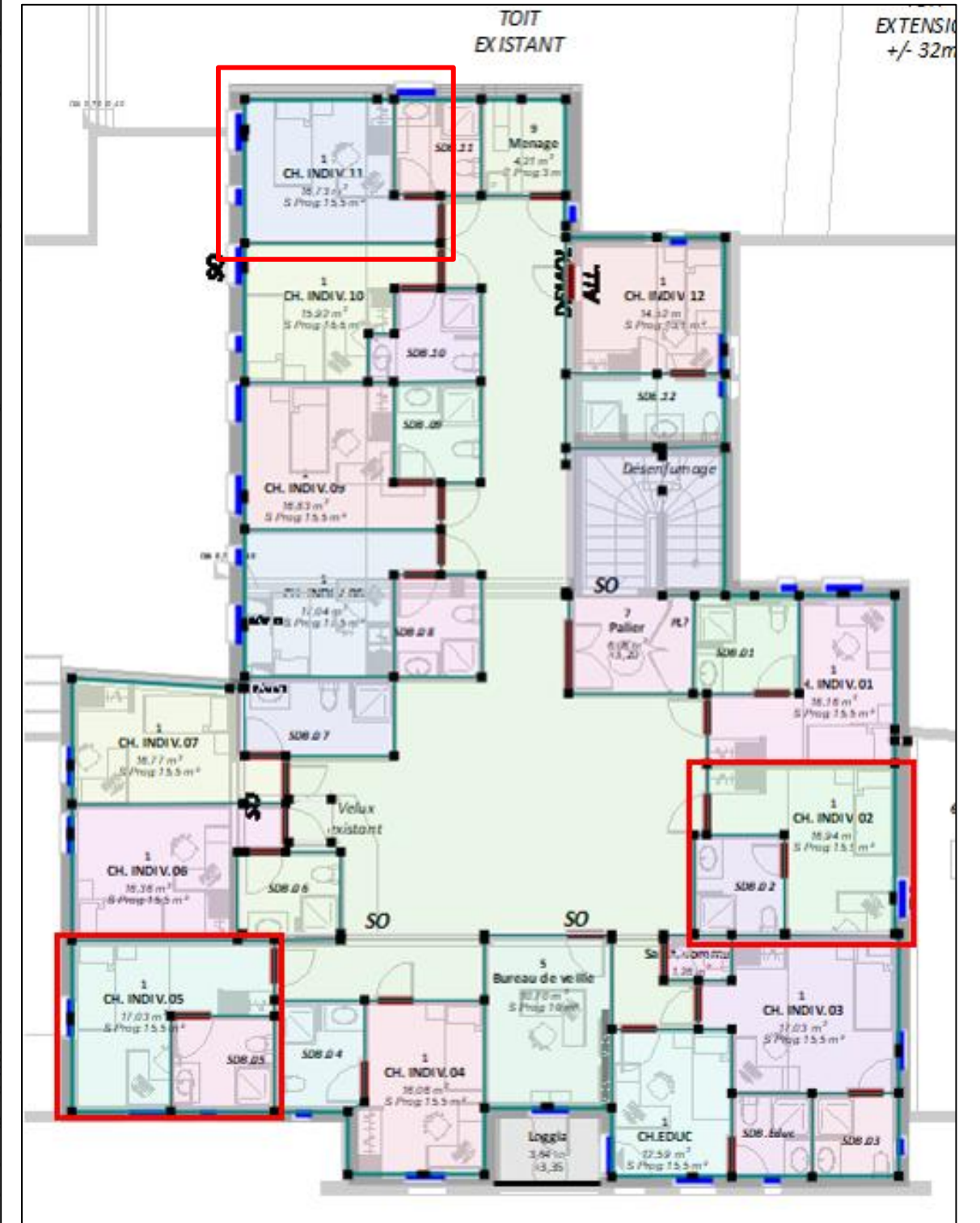
3.4 Zonage thermique

Les plans en A3 de niveau ci-dessous, issus du logiciel PLEIADES permettent d'identifier le zonage thermique réalisé.

Le bâtiment a été découpé en plusieurs zones thermiques. Chaque zone correspondant à un local afin de personnaliser le traitement thermique au plus proche du réel. De fait, l'intérêt réside dans l'observation de l'évolution des températures de chaque local et donc d'identifier les configurations les moins favorables.

Les locaux encadrés en rouge et repérés sur les plans en A3 ci-dessous feront l'objet de l'étude de confort.

Ils ont été sélectionnés afin d'avoir un panel complet (type de locaux, orientation, etc.) pour notre étude.



3.5 Performances de l'enveloppe

3.5.1 Procédés constructifs

Les différentes parois prises en compte dans la modélisation de l'enveloppe du bâti (murs, planchers et toitures) ainsi que les caractéristiques thermiques des menuiseries sont identiques à celles prises en compte dans l'étude thermique réglementaire et aux prescriptions des différents corps d'états à cette phase du projet.

Nature	Libellés parois opaques	Système constructif du bâti	Ep. isolant (cm)	R isolant m².K/W	Up W/m².K
Plancher bas					
Rénovation	PB01 – Isolation sous dalle floquée	Plancher béton sans ruptures de PTH	10	2,56	0,34
Extension	PB02 – Isolation sous dalle	Plancher béton avec planelle	20	5,60	0,17
Extension	PB03 – Isolation sous plancher sur extérieur	Plancher mixte bois béton	28	7,00	0,14
Planchers hauts					
Rénovation	PH01 – Toiture terrasse	Isolation par l'extérieur	18	8,41	0.12
Extension	PH02 – Toiture terrasse	Isolation par l'extérieur	20	9,13	0.11
Extension	PH03 – Toiture terrasse Loggia	Isolation par l'extérieur sur plot	10	4,68	0.21
Extension	PH04 – Toiture bois	Isolation sous rampant	20	9,14	0,11
Parois verticales					
Rénovation	ME01 – Parpaing	Isolation par l'intérieur	14	4,05	0,25
Extension	ME02 – Mur ossature bois	Ossature Bois et isolation en paille	26,5	5,88	0.17

3.5.2 Fenêtres et portes-fenêtres vitrée

Les menuiseries sont de type à châssis aluminium avec isolation thermique renforcée (ITR) et rupteur thermique, elles sont équipées de double vitrage type 4/16/4. Les caractéristiques prises en compte sont les suivantes :

Menuiseries ALU				Commentaires
U fenêtre	Uw cible & Ug	< 1,5 & 1,0	W/m².K	Variable selon la géométrie de la fenêtre : Ces valeurs seront modifiées à chaque phase d'étude selon l'avancement du projet.
Menuiserie à contrôle solaire	Ug cible	1,0	W/m².K	Menuiserie spéciale à contrôle solaire. Seulement la P04 et la P07 sont concernées.

Localisation : Tous les locaux

Nota : toutes les menuiseries seront conformes à l'article 22 de l'arrêté du 26 octobre 2010 : **Sauf si les règles d'hygiène ou de sécurité l'interdisent, les baies d'un même local autre qu'à occupation passagère s'ouvrent sur au moins 30 % de leur surface totale.**

Cette limite est ramenée à 10 % dans le cas des locaux pour lesquels la différence d'altitude entre le point bas de son ouverture la plus basse et le point haut de son ouverture la plus haute est égale ou supérieure à 4 m.

Vitrage				Commentaires
Facteur solaire vitrage – Type 1	Sw	40	%	Double-vitrage peu émissif remplissage argon
Facteur solaire vitrage – Type 2	Sw	29	%	Double-vitrage peu émissif remplissage argon
Transmission lumineuse vitrage – T1	Tl	60	%	-
Transmission lumineuse vitrage – T2	Tl	61	%	-

Localisation : Tous les locaux

3.5.3 Portes extérieures

Les portes extérieures ont les caractéristiques suivantes : **Ud < 1,8 W/m².K**

Localisation : SAS, locaux non chauffés

3.5.4 Protections solaires

Les protections solaires suivantes sont intégrées (suivant plan architecte, maquette 3D et détails) :

Protection fixe extérieure :

- Brises soleils fixes
- Casquette horizontales structurelles
- Brises soleils fixe ajustables

3.6 Scénarios

3.6.1 Infiltrations

Afin de tenir compte de l'étanchéité à l'air du bâtiment, un débit d'infiltration a été saisi dans la simulation thermique dynamique.

La valeur prise en compte dans le calcul est une valeur par défaut à **1.7 m³/h.m² de Paroi sous 4 Pa** (soit 1,2 volume/heure sous 50 Pa). L'objectif programmatique étant un respect strict de la perméabilité de référence, ce débit est conservé.

3.6.2 Ventilation mécanique

La ventilation mécanique est assurée par différents types de systèmes de ventilation (cf. notice CVC-PLB), à savoir :

- 3 Centrale de traitement d'air double flux au rez-de-chaussée
- 1 Centrale de traitement d'air simple flux pour les hébergements
- 1 Hottes d'extraction pour la zone de cuisine associée à une compensation par prise d'air neuf sur l'extérieur

Les CTA possèdent un échangeur d'énergie rotatif permettant d'avoir un rendement en moyenne de 80%. Les centrales fonctionnent sur les périodes d'occupation (régulation sur horloge par la GTC). Ainsi, la nuit et le week-end, il n'y a qu'un renouvellement d'air minimal du bâtiment correspondant à la ventilation des sanitaires et aux infiltrations. Les débits nominaux de ventilation sont répertoriés dans le tableau récapitulatif page suivante selon la notice CVC-PLB.

3.6.3 Freecooling et by-pass des échangeurs

En mi-saison, les échangeurs des centrales de traitement d'air double flux seront by-passés lorsque les conditions extérieures le permettent. Le principe du by-pass est de fonctionner en tout air neuf sans échanges de calories entre l'air vicié et l'air soufflé.

Le by-pass des échangeurs est intégré en base lors de la saisie des caractéristiques des CTA selon les conditions suivantes hors période de chauffe.

- Température Air neuf : > 12 °C
- Et Température d'Air repris : > 24 °C
- Condition : Température air neuf < Température d'air repris

En période de chauffage le by-pass est aussi activé s'il n'y a pas de besoin de chauffage et que la température extérieure est élevée selon les conditions suivantes :

- Température Air neuf : > 20 °C
- Et Température d'Air repris : > 19 °C
- Condition : Température air neuf < Température d'air repris

Enfin, un mode freecooling nocturne sera également pris en compte dans le scénario SIMU 05. Ce fonctionnement est prévu en saison de chauffe et en mi saison afin de permettre de ventiler le bâtiment au débit nominal en période nocturne et le week-end (inoccupation), lorsque les conditions de température intérieures et extérieures seront favorables. Le bâtiment pourra alors se décharger en calories durant la période d'inoccupation.

Le fonctionnement du freecooling nocturne est prévu de 21h à 7h selon les conditions suivantes :

- Avec démarrage si :
Température intérieure > 25°C
 - Avec arrêt si :
Température intérieure < 20°C
- OU :

- ### 3.6.4 Occupation

3.6.5 Occultation

Valeur/Jour/Semaine		Année	Déselection																							
Valeurs																										
+ S	Nom	Valeur	Unité																							
☐	Valeur	100	%																							
☐	Valeur 1	60	%																							
☐	Valeur 2	50	%																							
☐	Valeur 3	25	%																							
Jours																										
+ S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
☐	Hiver	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100
☐	Mi-saison	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	50	50	50	50	50	50	50	50	50	0	100	100	100	100
☐	Été	100	100	100	100	100	100	100	100	25	60	85	85	85	85	85	85	85	85	85	50	100	100	100	100	

3.6.7 Eclairage

3.6.8 Aération manuelle

Valeur/Jour/Semaine		Année			
Valeurs					
	S	Nom	Valeur	Unité	
	☒	Chage	0	%	
	☐	Décharge	100	%	
	☐	Semi	50	%	

3.6.9 Mauvais comportement

En coordination avec la référente BDO, il a été intégré une simulation d'ouverture inopinée des menuiseries par les occupants pendant des périodes à forte température. Le scénario est le suivant :

Valeur/Jour/Semaine		Année																								
Valeurs																										
S	Nom	Valeur	Unité																							
	Chage	0	%																							
	Décharge	100	%																							
	Semi	50	%																							
Jours																										☐ Afficher le nom
S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
	Été	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0	100	100	100	0	100	0	0	100	100	100	0	0
	Mi-saison	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	50	0	0	50	0	0	50	50	100	100	0	0	0	0	0
	Hiver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.6.10 Géocooling

Depuis l'APS, la volonté assumée de la solution géothermique permet d'intégrer une nouvelle source de rafraîchissement passif. Il a ainsi été intégré un scénario de puissance froide bridée en puissance par la puissance froide pouvant être extraite du sol.

Chaque local disposant d'un ventilo-convecteur bénéficiera de cette source de rafraîchissement libre de tout procédé thermodynamique.

3.6.11 Tableau récapitulatif

Local	Chauffage	Occupation					Apports	
		Jours	Heures	Effectif	Débit unitaire	Débit installé	Eclairage	Appareillages
N0 - 1 - Accueil parents	19°C	Lundi au Vendredi	De 10h00 à 12h00 et 14h00 à 16h00 // 3 fois par semaine	5 pers	25 m3/h/pers	125 m3/h	5 W/m²	-
N0 - 1 - Bureau RUE	19°C	Lundi au Vendredi	08H30 à 12h00 et 14h00 à 18h00	2 pers	25 m3/h/pers	50 m3/h	5 W/m²	100 W
N0 - 1 - Salle polyvalente	19°C	Toute la semaine	08H30 à 12h00 et 14h00 à 18h00	7 pers	25 m3/h/pers	375 m3/h	5 W/m²	200 W
N0 - 10 - Cabinet médical	19°C	Lundi au Vendredi	08H30 à 12h00 et 14h00 à 18h00	2 pers	25 m3/h/pers	50 m3/h	5 W/m²	50 W
N0 - 11 - Kitchenette	19°C	Lundi au Vendredi	De 12h00 à 14h00	5 pers	25 m3/h/pers	125 m3/h	5 W/m²	150 W
N0 - 12 - Bureau cuisinier	19°C	Lundi au Vendredi	08H30 à 12h00 et 14h00 à 18h00	1 pers	25 m3/h/pers	25 m3/h	5 W/m²	50 W
N0 - 2 - Salle d'activité	19°C	Toute la semaine	08H30 à 12h00 et 14h00 à 18h00	7 pers	25 m3/h/pers	375 m3/h	5 W/m²	100 W
N0 - 2 - Salle de sport	19°C	Toute la semaine	De 20h00 à 22h30 // De 14h00 à 16h00 le WE	15 pers	25 m3/h/pers	375 m3/h	5 W/m²	-
N0 - 3 - Salle d'activité scolaire	19°C	Lundi au Vendredi	De 09h00 à 10h00 // 10h30 à 12h00 // 14h00 à 16h00 // 16h30 à 18h00	10 pers	25 m3/h/pers	250 m3/h	5 W/m²	100 W
N0 - 3 - Salle de TV	19°C	Toute la semaine	De 20h00 à 22h30	7 pers	25 m3/h/pers	175 m3/h	5 W/m²	100 W
N0 - 3 - Secrétariat	19°C	Lundi au Vendredi	08H30 à 12h00 et 14h00 à 18h00	2 pers	25 m3/h/pers	50 m3/h	5 W/m²	100 W
N0 - 4 - Bureau direction	19°C	Lundi au Vendredi	08H30 à 12h00 et 14h00 à 18h00	1 pers	25 m3/h/pers	25 m3/h	5 W/m²	50 W
N0 - 4 - Bureau EDUC	19°C	Lundi au Vendredi	08H30 à 12h00 et 14h00 à 18h00	1 pers	25 m3/h/pers	25 m3/h	5 W/m²	50 W
N0 - 4 - Salle informatique	19°C	Lundi au Vendredi	08H30 à 12h00 et 14h00 à 18h00	5 pers	25 m3/h/pers	125 m3/h	5 W/m²	200 W
N0 - 6 - Salle à manger	19°C	Toute la semaine	De 7h30 à 8h30 // De 12h00 à 13h00 // De 19h00 à 20h00	15 pers	25 m3/h/pers	375 m3/h	5 W/m²	150 W
N0 - 7 - Salle de réunion	19°C	Lundi au Vendredi	Faible capacité // 2 fois par semaine Haute capacité // 1 fois par mois	6 pers // 18 pers	25 m3/h/pers	150 // 450 m3/h	5 W/m²	250 W
N0 - 8 - Bureau de passage	19°C	Lundi au Vendredi	08H30 à 12h00 et 14h00 à 18h00	2 pers	25 m3/h/pers	50 m3/h	5 W/m²	100 W
N0 - 8 - Cuisine	19°C	Toute la semaine	De 10h30 à 13h00	3 pers	25 m3/h/pers	75 m3/h	5 W/m²	
N0 - 9 - Bureau psychologue	19°C	Lundi au Vendredi	08H30 à 12h00 et 14h00 à 18h00	2 pers	25 m3/h/pers	50 m3/h	5 W/m²	50 W
N1 - 5 - Bureau de veille	19°C	Lundi au Vendredi	08H30 à 12h00 et 14h00 à 18h00	1 pers	25 m3/h/pers	25 m3/h	5 W/m²	50 W
Toutes chambres	19°C	Toute la semaine	De 22h30 à 08h00	1 pers	25 m3/h/pers	25 m3/h	5 W/m²	-

4 RESULTATS

Les résultats présentés ci-après précisent le niveau de confort atteint pour la période simulée pour l'ensemble des locaux, en indiquant le nombre d'heures de dépassement des 28°C en période d'occupation. Les locaux les plus sensibles sont alors étudiés dans le détail afin d'explicitier les solutions pour atteindre le niveau de confort attendu. L'évolution des températures intérieures dans les locaux concernés permettra d'illustrer l'impact des différentes solutions d'optimisation sur le confort des usagers.

4.1 Objectif

L'objectif fixé en termes de confort estival est défini dans le cahier des charges de l'opération ou programme technique. Il définit **la température limite de confort à 28°C**, et indique un nombre d'heures maximal de dépassement de cette température limite en période d'occupation représentant **3 % de l'occupation sur l'année**, sans faire appel à des systèmes de rafraîchissement actif.

En coordination avec la coordinatrice Bâtiment Durable Occitanie, les conditions limites sont :

- 90 heures par an, pour le logement ;
- 135 heures par an pour les espaces du rez-de-chaussée.

4.2 Approche générale

En première approche, en base, nous observons le nombre d'heures de dépassement des 28°C en période d'occupation ainsi que la température maximale atteinte pour l'ensemble des zones thermiques simulées.

Sont alors réalisées plusieurs simulations permettant d'observer le comportement thermique dans différentes conditions :

Récapitulatif des études menées :

- * **SIMU 01 :**
 - Fichier météo : Nîmes 2040
 - Avec apports solaires et sans apports internes
 - Sans by-pass des échangeurs, avec protections solaires fixes et sans ventilation nocturne mécanique
- * **SIMU 02 :**
 - Fichier météo : Nîmes 2040
 - Sans apports solaires et avec apports internes
 - Avec by-pass des échangeurs, avec protections solaires fixes et sans ventilation nocturne mécanique
- * **BASE :**
 - Fichier météo : Nîmes 2040
 - Avec apports solaires et apports internes
 - Avec by-pass des échangeurs, sans protections solaires fixes/occultations et sans ventilation nocturne mécanique
- * **SIMU 03 :**
 - Fichier météo : Nîmes 2040
 - Avec apports solaires et apports internes
 - Avec by-pass des échangeurs, avec protections solaires fixes/occultations et sans ventilation nocturne mécanique
- * **SIMU 04 :**
 - Fichier météo : Nîmes 2040
 - Avec apports solaires et apports internes
 - Avec by-pass des échangeurs, avec protections solaires fixes/occultations et avec ventilation nocturne mécanique
- * **SIMU 05 :**
 - Fichier météo : Nîmes 2040
 - Avec apports solaires et apports internes
 - Avec by-pass des échangeurs, avec protections solaires fixes/occultations, ventilation nocturne mécanique et géocooling
- * **SIMU 06 :**
 - Fichier météo : Nîmes 2040
 - Avec apports solaires et apports internes
 - Avec by-pass des échangeurs, avec protections solaires fixes/occultations, ventilation nocturne mécanique, et géocooling + ouvertures des menuiseries

* **SIMU 07 :**

- Fichier météo : Nîmes 2040
- Avec apports solaires et apports internes
- Avec by-pass des échangeurs, avec protections solaires fixes/occultations, ventilation nocturne mécanique, et géocooling + mauvaises ouvertures des menuiseries

4.2.1 Résultats // Températures maximales atteintes

Ci-dessous, le tableau récapitulant les températures maximales atteintes pour huit espaces types et pour les simulations effectuées (sans différenciation des périodes d'occupation et d'inoccupation).

Zone	BASE	SIMU 01		SIMU 02		SIMU 03		SIMU 04		SIMU 05		SIMU 06		SIMU 07	
	Tmax	Tmax	Δ/Base	Tmax	Δ/Base	Tmax	Δ/Base	Tmax	Δ/Base	Tmax	Δ/Base	Tmax	Δ/Base	Tmax	Δ/Base
N0 - 1 - Accueil parents	33	32	-1	32	-1	33	0	32	-1	28	-5	29	-5	31	32
N0 - 1 - Bureau RUE	35	35	0	35	-1	35	-1	35	-1	33	-2	34	-2	37	37
N0 - 1 - Salle polyvalente	39	39	0	38	0	39	0	39	0	38	-1	36	-3	38	38
N0 - 10 - Cabinet médical	34	33	-1	32	-1	33	-1	33	-1	29	-4	30	-3	33	33
N0 - 11 - Kitchenette	34	33	-1	33	-1	34	0	33	-1	33	-1	33	-1	35	36
N0 - 12 - Bureau cuisinier	33	32	0	32	-1	32	0	32	-1	29	-4	30	-3	31	32
N0 - 2 - Chambre PMR	33	33	0	30	-3	31	-2	31	-2	29	-4	33	0	36	37
N0 - 2 - Salle d'activité	39	38	0	38	-1	38	0	38	0	38	-1	36	-3	38	38
N0 - 2 - Salle de sport	37	37	0	37	0	37	0	37	0	32	-6	34	-3	37	37
N0 - 3 - Salle d'activité scolaire	35	33	-2	34	-1	35	0	34	-1	31	-4	30	-5	33	35
N0 - 3 - Salle de TV	33	31	-1	32	-1	32	-1	32	-1	28	-5	29	-3	31	32
N0 - 3 - Secrétariat	35	34	0	33	-1	34	-1	34	-1	30	-5	32	-3	34	35
N0 - 4 - Bureau direction	35	34	0	34	-1	34	-1	34	-1	29	-5	32	-2	35	35
N0 - 4 - Bureau EDUC	33	33	0	32	-1	32	-1	32	-1	28	-5	30	-3	32	32
N0 - 4 - Salle informatique	35	34	-1	34	-1	35	-1	34	-1	33	-3	32	-4	34	35
N0 - 6 - Salle à manger	36	35	-1	35	-1	35	-1	35	-1	33	-2	34	-2	37	38
N0 - 7 - Salle de réunion	35	35	0	32	-4	34	-1	33	-2	31	-4	35	0	37	37
N0 - 8 - Bureau de passage	34	33	-1	33	-1	34	0	34	0	30	-4	30	-4	32	33
N0 - 9 - Bureau psychologue	35	34	-1	33	-1	34	-1	33	-1	30	-5	31	-4	33	34
N1 - 1 - Chambre EDUC	35	35	0	32	-3	33	-2	33	-2	30	-5	35	0	38	38
N1 - 1 - Chambre n°1	32	32	0	31	-1	31	-1	31	-1	28	-4	31	-1	33	33
N1 - 1 - Chambre n°10	34	33	0	30	-3	31	-2	31	-2	28	-6	31	-3	34	34
N1 - 1 - Chambre n°11	34	34	0	31	-3	32	-2	32	-2	28	-6	31	-3	34	34
N1 - 1 - Chambre n°12	31	31	0	30	-2	31	-1	30	-1	29	-2	34	3	36	36
N1 - 1 - Chambre n°2	32	31	0	30	-2	31	-1	31	-1	27	-4	30	-2	32	32
N1 - 1 - Chambre n°3	32	32	0	31	-2	31	-1	31	-1	28	-5	30	-2	32	33
N1 - 1 - Chambre n°4	34	33	0	31	-3	32	-1	32	-1	28	-5	31	-2	33	34
N1 - 1 - Chambre n°5	35	35	0	31	-4	32	-3	32	-3	29	-6	34	-1	37	38
N1 - 1 - Chambre n°6	33	33	0	30	-3	31	-2	31	-2	26	-7	30	-3	32	32
N1 - 1 - Chambre n°7	33	33	0	30	-3	31	-2	31	-2	27	-6	30	-3	33	33
N1 - 1 - Chambre n°8	33	33	0	30	-3	31	-2	31	-2	27	-6	31	-2	33	34
N1 - 1 - Chambre n°9	34	34	0	30	-4	31	-3	31	-3	28	-6	32	-2	34	34
N1 - 5 - Bureau de veille	35	34	0	34	-1	34	0	34	0	31	-4	32	-3	35	35
Maximum	39	39	0	38	0	39	0	39	0	38	-1	36	3	38	38
Moyenne	34	34	0	32	-2	33	-	33	-1	30	-4	32	-2	34	35
Minimum	31	31	-2	30	-4	31	-3	30	-3	26	-7	29	-5	31	32

Grâce à ce panel de simulations, il apparaît que le présent bâtiment est plus impacté lors des pics de température par les apports internes que le climat extérieur. Néanmoins, nous pouvons relever une différence moyenne de 30 heures à l'avantage des apports extérieurs. Finalement, le bâtiment est tout autant impacté par les apports internes et externes. En effet, nous dénombrons peu de casquettes structurelles en façade est et ouest au contraire de la façade sud (celle de premier cran).

Les premières solutions dites de « revers » des apports solaires fonctionnent bien, avec une chute de 185 heures d'inconfort avec les brises soleil. On remarque une certaine efficacité du freecooling (ventilation nocturne, SIMU 4), notamment pour la salle d'activités scolaires. En revanche, ces deux solutions combinées ne suffisent pas à décharger les apports internes du bâtiment (SIMU04). Une autre solution de rafraîchissement passif s'impose.

À ce titre, dès la mise en fonctionnement du géocooling, seuls les locaux à forte occupation atteignent des durées d'inconfort insoutenables. Pour la plupart des locaux, nous sommes d'ores et déjà sous le seuil limite du niveau BDO argent !

La prise en compte d'une ouverture matinale et pré-nocturne des menuiseries permet de souligner qu'une simple ventilation manuelle (par ouverture des menuiseries, SIMU 6) permet de conformer tous les espaces au niveau d'inconfort requis. Hormis pour la salle polyvalente à six heures près (négligeable).

Seule la combinaison des solutions présentées fonctionne pour assurer un confort pérenne en période estivale.

4.2.2 Résultats // Taux d'inconfort

Ci-dessous, le tableau récapitulant le taux d'inconfort (%) (Rapport entre le nombre d'heures d'inconfort et le nombre d'heures d'occupation annuel) dans chaque zone thermique et pour les simulations effectuées (hors locaux à occupation passagère) :

Zone	BASE		SIMU 03		SIMU 04		SIMU 05		SIMU 06		SIMU 07	
	%		%	Δ/Base	%	Δ/Base	%	Δ/Base	%	Δ/Base	%	Δ/Base
N0 - 1 - Accueil parents	3,70%		0,00%	-3,70%	0,00%	-3,70%	0,00%	-3,70%	0,00%	-4%	0,00%	-4%
N0 - 1 - Bureau RUE	148,89%		115,56%	-33,33%	111,85%	-37,04%	0,00%	-148,9%	0,00%	-149%	48,89%	-100%
N0 - 1 - Salle polyvalente	168,15%		159,26%	-8,89%	157,78%	-10,37%	132,59%	-35,6%	4,44%	-164%	93,33%	-75%
N0 - 10 - Cabinet médical	152,59%		105,93%	-46,67%	85,93%	-66,67%	0,00%	-152,6%	0,00%	-153%	0,00%	-153%
N0 - 11 - Kitchenette	0,00%		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%	0,00%	0%	0,00%	0%
N0 - 12 - Bureau cuisinier	142,22%		105,19%	-37,04%	75,56%	-66,67%	0,00%	-142,2%	0,00%	-142%	0,00%	-142%
N0 - 2 - Chambre PMR	0,00%		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%	0,00%	0%	0,00%	0%
N0 - 2 - Salle d'activité	170,37%		164,44%	-5,93%	157,04%	-13,33%	125,19%	-45,2%	0,00%	-170%	97,78%	-73%
N0 - 2 - Salle de sport	1,48%		0,00%	-1,48%	0,00%	-1,48%	0,00%	-1,5%	0,00%	-1%	0,00%	-1%
N0 - 3 - Salle d'activité scolaire	242,22%		231,11%	-11,11%	177,04%	-65,19%	5,93%	-236,3%	0,00%	-242%	62,22%	-180%
N0 - 3 - Salle de TV	79,26%		62,96%	-16,30%	32,59%	-46,67%	0,00%	-79,3%	0,00%	-79%	0,00%	-79%
N0 - 3 - Secrétariat	174,07%		119,26%	-54,81%	106,67%	-67,41%	0,00%	-174,1%	0,00%	-174%	17,78%	-156%
N0 - 4 - Bureau direction	145,19%		109,63%	-35,56%	97,04%	-48,15%	0,00%	-145,2%	0,00%	-145%	2,22%	-143%
N0 - 4 - Bureau EDUC	150,37%		86,67%	-63,70%	66,67%	-83,70%	0,00%	-150,4%	0,00%	-150%	0,00%	-150%
N0 - 4 - Salle informatique	222,96%		189,63%	-33,33%	151,85%	-71,11%	44,44%	-178,5%	0,00%	-223%	74,07%	-149%
N0 - 6 - Salle à manger	71,85%		59,26%	-12,59%	48,89%	-22,96%	0,00%	-71,9%	0,00%	-72%	31,11%	-41%
N0 - 7 - Salle de réunion	0,00%		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%	0,00%	0%	0,00%	0%
N0 - 8 - Bureau de passage	188,15%		175,56%	-12,59%	145,93%	-42,22%	0,00%	-188,1%	0,00%	-188%	0,00%	-188%
N0 - 9 - Bureau psychologue	164,44%		114,07%	-50,37%	99,26%	-65,19%	0,00%	-164,4%	0,00%	-164%	0,00%	-164%
N1 - 1 - Chambre EDUC	0,00%		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%	0,00%	0%	50,00%	50%
N1 - 1 - Chambre n°1	33,33%		0,00%	-33,33%	0,00%	-33,33%	0,00%	-33,3%	0,00%	-33%	0,00%	-33%
N1 - 1 - Chambre n°10	65,56%		0,00%	-65,56%	0,00%	-65,56%	0,00%	-65,6%	0,00%	-66%	0,00%	-66%
N1 - 1 - Chambre n°11	64,44%		2,22%	-62,22%	0,00%	-64,44%	0,00%	-64,4%	0,00%	-64%	0,00%	-64%
N1 - 1 - Chambre n°12	0,00%		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%	0,00%	0%	63,33%	63%
N1 - 1 - Chambre n°2	103,33%		34,44%	-68,89%	17,78%	-85,56%	0,00%	-103,3%	0,00%	-103%	0,00%	-103%
N1 - 1 - Chambre n°3	94,44%		40,00%	-54,44%	18,89%	-75,56%	0,00%	-94,4%	0,00%	-94%	0,00%	-94%
N1 - 1 - Chambre n°4	67,78%		21,11%	-46,67%	12,22%	-55,56%	0,00%	-67,8%	0,00%	-68%	0,00%	-68%
N1 - 1 - Chambre n°5	0,00%		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,0%	0,00%	0%	25,56%	26%
N1 - 1 - Chambre n°6	82,22%		0,00%	-82,22%	0,00%	-82,22%	0,00%	-82,2%	0,00%	-82%	0,00%	-82%
N1 - 1 - Chambre n°7	68,89%		0,00%	-68,89%	0,00%	-68,89%	0,00%	-68,9%	0,00%	-69%	0,00%	-69%
N1 - 1 - Chambre n°8	55,56%		0,00%	-55,56%	0,00%	-55,56%	0,00%	-55,6%	0,00%	-56%	0,00%	-56%
N1 - 1 - Chambre n°9	27,78%		0,00%	-27,78%	0,00%	-27,78%	0,00%	-27,8%	0,00%	-28%	0,00%	-28%
N1 - 5 - Bureau de veille	140,00%		114,07%	-25,93%	103,70%	-36,30%	0,00%	-140,0%	0,00%	-140%	7,41%	-133%
Maximum	242%		231%	0%	177%	0%	133%	0%	4%	0%	98%	63%
Moyenne	92%		15%	10%	5%	-41%	-37%	-82%	-46%	-37%	-29%	-74%
Minimum	0%		0%	-82%	0%	-86%	0%	-236%	0%	-242%	0%	-188%

NOTA : Les résultats des taux d'inconfort présentés ci-dessus disposent d'une légende couleur répondant aux définitions suivantes :

- **Vert** : Zone dont le résultat du taux d'inconfort est conforme aux exigences ;
- **Orange** : Taux d'inconfort supérieur à l'objectif fixé (chambres et autres locaux).

Cette approche tricolore permet de faciliter la dégression de l'inconfort au fur et à mesure de la mutualisation des solutions passives. Le géocooling est prépondérant dans la qualité de vie en ces périodes de surchauffe.

Ces surchauffes sont soit issues d'hypothèses de modélisation pénalisantes (occupation, apports internes), soit issues des apports solaires transmis par les baies vitrées. Les chambres sont épargnées dès lors la mise en fonctionnement du géocooling.

La prise en compte d'un mauvais comportement révèle la forte vulnérabilité face à ces agissements. Ce comportement représentatif est épisodique selon le scénario. Or, s'il est régulier et généralisé, une surchauffe générale du bâtiment est inévitable. D'autant plus que l'inertie (à l'échelle globale) est faible. C'est l'une des raisons, pour laquelle un départ natif en froid actif doit être envisagé pour contrebalancer ces accros.

4.2.3 Résultats // Nombre d'heures d'inconfort

Le tableau ci-dessous reprend le nombre d'heure par local durant lesquelles la température est supérieure à 28°C afin de jauger le confort intérieur :

Zone	BASE	SIMU 1		SIMU 2		SIMU 3		SIMU 4		SIMU 5		SIMU 6		SIMU 7	
	28°C	Nb, 28°C	Δ/Base	Nb, 28°C	Δ/Base	Nb, 28°C	Δ/Base	Nb, 28°C	Δ/Base	Nb, 28°C	Δ/Base	Nb, 28°C	Δ/Base	Nb, 28°C	Δ/Base
N0 - 1 - Accueil parents	140	106	-34	104	-36	131	-9	90	-50	1	-139	1	-139	33	-107
N0 - 1 - Bureau RUE	336	309	-27	273	-63	291	-45	286	-50	76	-260	13	-323	201	-135
N0 - 1 - Salle polyvalente	362	351	-11	333	-29	350	-12	348	-14	314	-48	141	-221	261	-101
N0 - 10 - Cabinet médical	341	286	-55	212	-129	278	-63	251	-90	9	-332	0	-341	116	-225
N0 - 11 - Kitchenette	119	92	-27	96	-23	117	-2	99	-20	92	-27	78	-41	93	-26
N0 - 12 - Bureau cuisinier	327	267	-60	199	-128	277	-50	237	-90	25	-302	0	-327	105	-222
N0 - 2 - Chambre PMR	43	35	-8	23	-20	31	-12	31	-12	2	-41	5	-38	74	31
N0 - 2 - Salle d'activité	365	349	-16	331	-34	357	-8	347	-18	304	-61	119	-246	267	-98
N0 - 2 - Salle de sport	137	119	-18	119	-18	130	-7	119	-18	74	-63	73	-64	108	-29
N0 - 3 - Salle d'activité scolaire	462	305	-157	385	-77	447	-15	374	-88	143	-319	77	-385	219	-243
N0 - 3 - Salle de TV	242	167	-75	187	-55	220	-22	179	-63	3	-239	23	-219	88	-154
N0 - 3 - Secrétariat	370	311	-59	252	-118	296	-74	279	-91	26	-344	2	-368	159	-211
N0 - 4 - Bureau direction	331	302	-29	239	-92	283	-48	266	-65	8	-323	0	-331	138	-193
N0 - 4 - Bureau EDUC	338	303	-35	185	-153	252	-86	225	-113	0	-338	0	-338	87	-251
N0 - 4 - Salle informatique	436	303	-133	348	-88	391	-45	340	-96	195	-241	103	-333	235	-201
N0 - 6 - Salle à manger	232	188	-44	207	-25	215	-17	201	-31	94	-138	74	-158	177	-55
N0 - 7 - Salle de réunion	43	40	-3	34	-9	40	-3	36	-7	23	-20	6	-37	10	-33
N0 - 8 - Bureau de passage	389	294	-95	296	-93	372	-17	332	-57	29	-360	2	-387	125	-264
N0 - 9 - Bureau psychologue	357	295	-62	245	-112	289	-68	269	-88	15	-342	1	-356	135	-222
N1 - 1 - Chambre EDUC	40	35	-5	30	-10	35	-5	34	-6	16	-24	62	22	135	95
N1 - 1 - Chambre n°1	120	78	-42	48	-72	90	-30	88	-32	0	-120	4	-116	43	-77
N1 - 1 - Chambre n°10	149	113	-36	44	-105	79	-70	71	-78	0	-149	7	-142	75	-74
N1 - 1 - Chambre n°11	148	116	-32	52	-96	92	-56	82	-66	0	-148	7	-141	70	-78
N1 - 1 - Chambre n°12	47	34	-13	20	-27	31	-16	30	-17	7	-40	31	-16	147	100
N1 - 1 - Chambre n°2	183	122	-61	68	-115	121	-62	106	-77	0	-183	0	-183	48	-135
N1 - 1 - Chambre n°3	175	126	-49	76	-99	126	-49	107	-68	0	-175	1	-174	45	-130
N1 - 1 - Chambre n°4	151	108	-43	77	-74	109	-42	101	-50	1	-150	13	-138	59	-92
N1 - 1 - Chambre n°5	63	52	-11	31	-32	41	-22	40	-23	10	-53	29	-34	113	50
N1 - 1 - Chambre n°6	164	119	-45	47	-117	87	-77	77	-87	0	-164	0	-164	24	-140
N1 - 1 - Chambre n°7	152	113	-39	45	-107	86	-66	82	-70	0	-152	4	-148	67	-85
N1 - 1 - Chambre n°8	140	102	-38	42	-98	77	-63	69	-71	0	-140	1	-139	58	-82
N1 - 1 - Chambre n°9	115	91	-24	36	-79	63	-52	61	-54	0	-115	5	-110	69	-46
N1 - 5 - Bureau de veille	324	285	-39	262	-62	289	-35	275	-49	31	-293	6	-318	145	-179
Maximum	462	351	-3	385	-9	447	-2	374	-6	314	-20	141	22	267	100
Moyenne	222	179	-43	150	-73	185	-	168	-55	45	-177	27	-196	113	-109
Minimum	40	34	-157	20	-153	31	-86	30	-113	0	-360	0	-387	10	-264

L'occupation du présent bâtiment étant considérée stable au cours de l'année, l'inconfort en période estivale atteint de très haut niveaux. À ce stade, les pièces exposées en exposition sud-ouest sont très vulnérables, contrairement aux locaux moins exposés à l'instar de la salle de réunion. Synthèse par simulations

4.2.3.1. Simulation 01 // Apports internes

Cette simulation souligne la vulnérabilité de certains locaux quant aux hypothèses d'occupations et d'apports de chaleurs dissipées dans certains locaux. Les locaux à occupation non prolongée sont les moins impactés.

Les apports internes sont légèrement inférieurs aux apports solaires. La surchauffe est proportionnelle à l'occupation. Le niveau demeure très important. L'inertie n'est pas assez développée pour creuser l'écart avec les apports solaires.

4.2.3.2. Simulation 02 // Apports solaires

Cette configuration a pour objet d'observer le comportement thermique du bâtiment (sans occupation). Il s'agit essentiellement d'une simulation destinée à établir un comportement thermique de base sans traitement des apports de chaleur. Les systèmes permettant d'améliorer le confort intérieur des occupants sont modélisés dans les simulations suivantes.

On remarque que les locaux orientés au Sud ont tendance à surchauffer en été par rapport aux locaux équivalents, eux étant orientés au nord. La présence de surfaces vitrées orientées au Sud, entraîne intrinsèquement plus d'apport solaire. Même les locaux du RDC sont sujets à des surchauffes, y compris ceux avec des protections solaires fixes.

4.2.3.3. Simulation 03 // Protections solaires

Cette simulation reprend la configuration de la BASE (SIMU 01 et SIMU 02). L'objectif étant de simuler nos futures améliorations par rapport à un état initial (version témoin).

L'objectif de cette simulation a pour objet d'analyser le pouvoir de détournement des rayons du soleil par les dispositifs de protection (BSO, volets électriques, ...). On remarque que le pouvoir de protection est certain, et qu'il sera primordial d'intégrer au futur dossier de consultation des protections solaires extérieures.

4.2.3.4. Simulation 04 // Ventilation mécanique nocturne

Cette simulation reprend la configuration de la SIMU 03 avec la modélisation d'une ventilation mécanique nocturne. L'objectif étant d'observer si l'utilisation du principe de freecooling nous permet d'atteindre les objectifs de la maîtrise d'ouvrage sur le confort estival des usagers.

Ainsi en comparant les résultats de cette simulation avec la SIMU 03, on observe l'impact de la ventilation mécanique nocturne et sa capacité à décharger le bâtiment en calories en période estivale.

On s'aperçoit toutefois que les apports internes représentent une des causes importantes de la montée en température des locaux à forte variation d'occupation. Les locaux étant occupés durant la journée, pendant les périodes de fortes chaleurs, les conditions de température extérieure ne permettent pas toujours de réaliser du freecooling. Son efficacité est alors relativement limitée.

Il serait préférable de recourir à un système de rafraîchissement passif permettant de procéder à un rafraîchissement durant les périodes d'occupation et de pics de température extérieure (SIMU 05).

4.2.3.5. Simulation 05 // Arrivée du géocooling

L'objectif de cette simulation a pour objet d'analyser le pouvoir de contrebalancement du géocooling (en complément de toutes les autres simulations). Sa mise en œuvre élimine le ressenti de lourdeur pour tous les locaux sauf la salle polyvalente, la salle d'activité et la salle informatique.

Son fonctionnement est continu, et est plus efficace en période nocturne lorsque les sources d'apports internes ne sont plus d'actualité. La valeur ajoutée de cette technologie est démontrée.

4.2.3.6. Simulation 06 et 07 // Ventilation manuelle

Pour conclure, les deux dernières simulations présentent parfaitement la différence entre une ventilation naturelle de bon sens (profit de la fraîcheur naturelle et nocturne) pour évacuer les résidus d'inconfort, et une ventilation naturelle dépourvue de sens (mauvais agissement). Les résultats représentent bien les deux futures tangentes auxquelles l'UJPE peut tendre.

La simulation 06 atteste du respect du projet sur le confort thermique intérieur. La simulation 07 permet de confirmer la nécessité d'une production thermodynamique de froid afin d'être en mesure de combattre toutes anomalies d'entrée de chaleur.

Grâce à la production de froid actif, le présent bâtiment sera armé pour les conditions climatiques futures (horizon 2070 compris).

4.3 Approche par zone

Dans ce chapitre, il sera étudié l'évolution des températures, en fonction des différentes variantes simulées, et de la température extérieure, des 8 locaux représentatifs des différentes expositions du bâtiment suivants :

- R+1 // Chambre n°11
- R+1 // Chambre n°02
- R+1 // Chambre n°05
- RdC // Salle polyvalente
- RdC // Salle à manger
- RdC // Salle de réunion
- RdC // Salle informatique

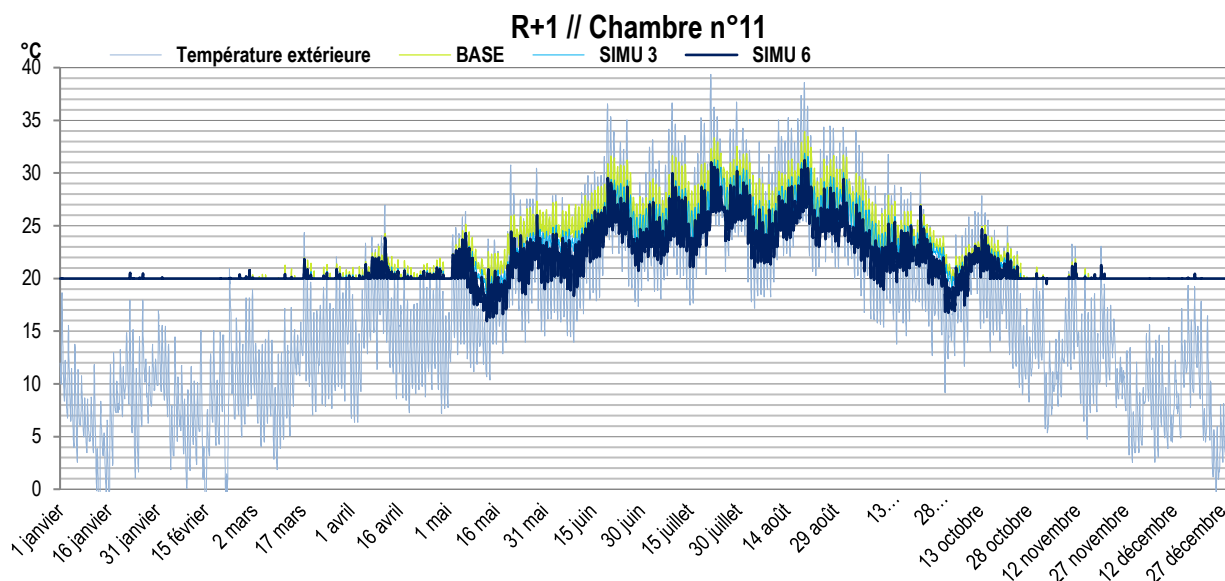
Dans les graphiques suivants : **Le scénario de Base est toujours représenté en vert clair.**

Les autres couleurs représentant les simulations intégrées dans le graphique sont les suivantes :

- SIMU 03 bleu
- SIMU 04 orange
- SIMU 05 violet
- SIMU 06 bleu marine
- SIMU07 rose

4.3.1 R+1 // Chambre n°11

4.3.1.1. Evolution des températures en saison estivale

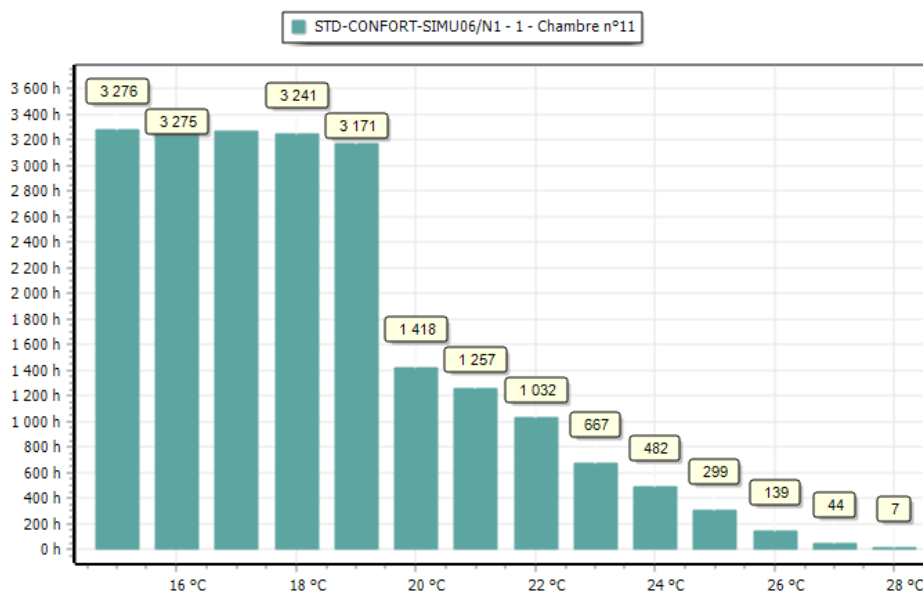


Le graphique ci-dessus représente l'évolution des températures intérieures simulées pour la onzième chambre individuelle. Cette pièce est doublement exposée avec une façade nord et sud-Ouest. Sur ce graphique on constate 2 tendances :

- La solution d'occultation présente une atténuation sensible de la température intérieure. Nous remarquons une forte dégression des pics de température.
- La solution géothermique surclasse l'occultation seule, avec plus de 3 degrés de moins lors des pics de température !

NOTA : Pour cette phase, l'étage n'est pas pourvu de ventilation double flux permettant le rafraîchissement passif, dit « freecooling ».

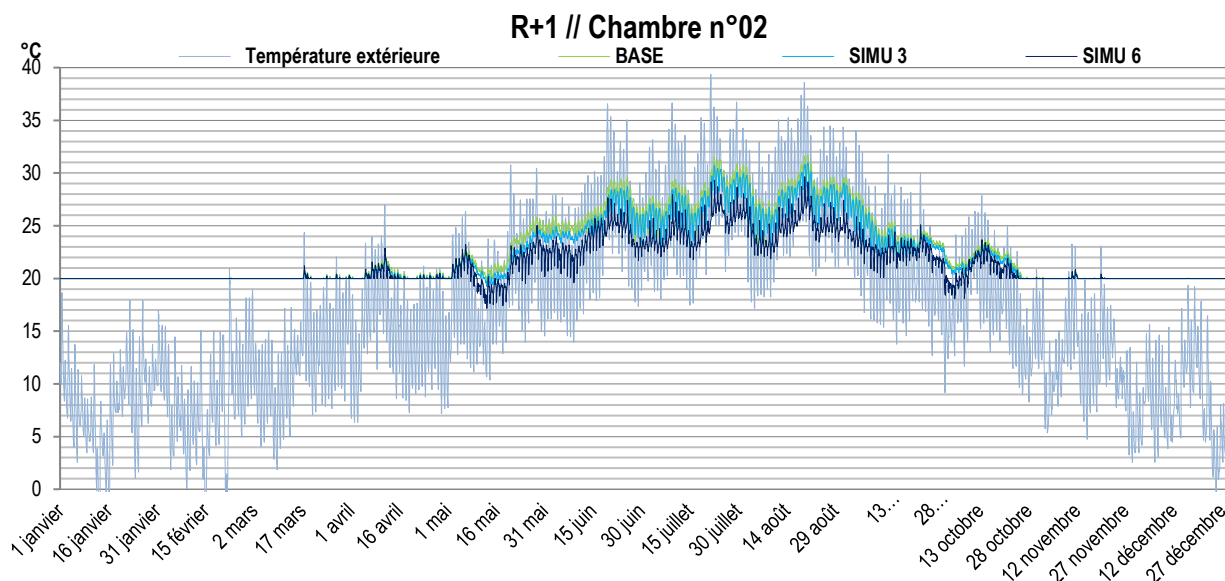
4.3.1.2. Evolution du nombre d'heures d'inconfort par degré



Le cumul du nombre d'heures d'inconfort en température opérative > 28 °C est présenté dans le graphique ci-dessus pour la simulation SIMU 6. Grâce au géocooling, l'inconfort n'est plus d'actualité.

4.3.2 R+1 // Chambre n°2

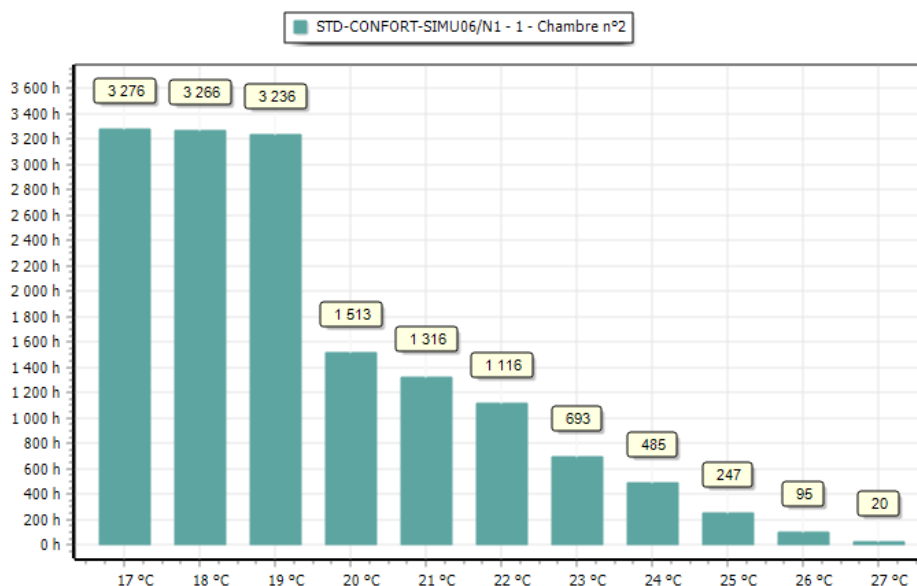
4.3.2.1. Evolution des températures annuelles



Le graphique ci-dessus représente l'évolution des températures intérieures simulées pour la deuxième chambre individuelle. Sur ce graphique, on constate les deux mêmes tendances que précédemment :

- La solution d'occultation présente une faible atténuation de la température intérieure. De par son exposition plein Est, la chambre n°2 n'est soumise que brièvement aux apports solaires. Cela explique le faible écart de présentation par rapport à la chambre n°11.
- Le géocooling confirme son pouvoir de rafraîchissement avec un écart égal à celui d'une pièce à forte exposition.

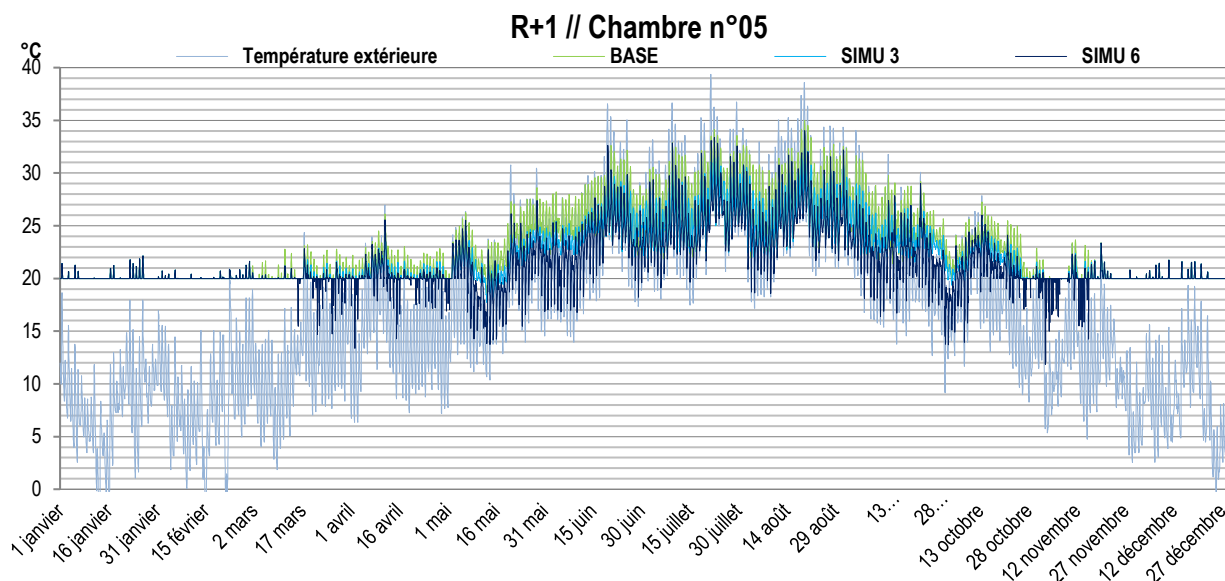
4.3.2.2. Evolution du nombre d'heures d'inconfort par degré



Le risque d'inconfort n'est plus d'actualité.

4.3.3 R+1 // Chambre n°5

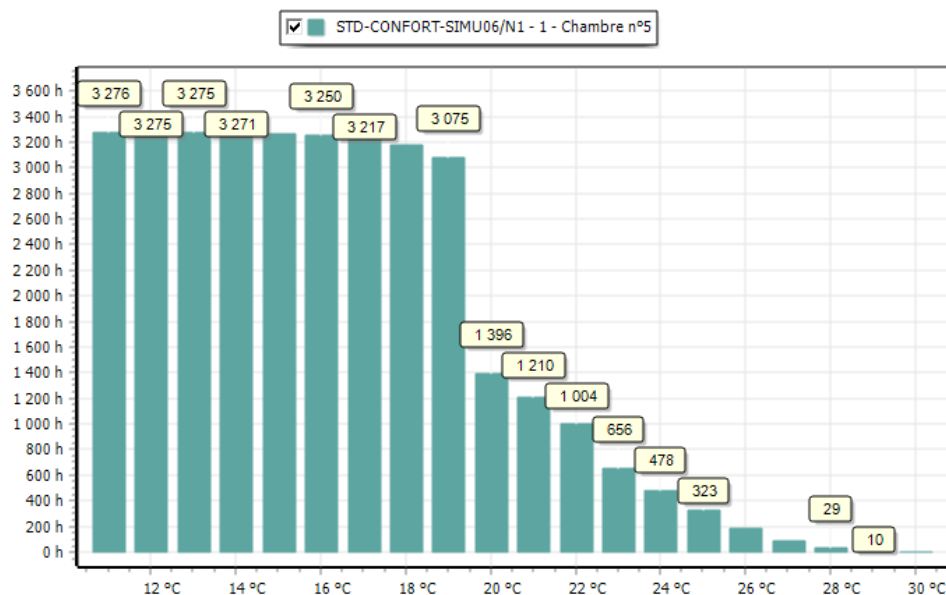
4.3.3.1. Evolution des températures annuelles



Le graphique ci-dessus représente l'évolution des températures intérieures simulées pour la cinquième chambre individuelle. Sur ce graphique on constate les deux mêmes tendances que précédemment :

- La solution d'occultation présente une atténuation performante. En revanche, le niveau d'apport solaire est tellement prépondérant, que la solution géothermique peine à creuser l'écart. Cette constatation est étayée par les forts pics de température au-dessus de 30°C ; événement que l'on ne retrouve pas sur les autres chambres étudiées.

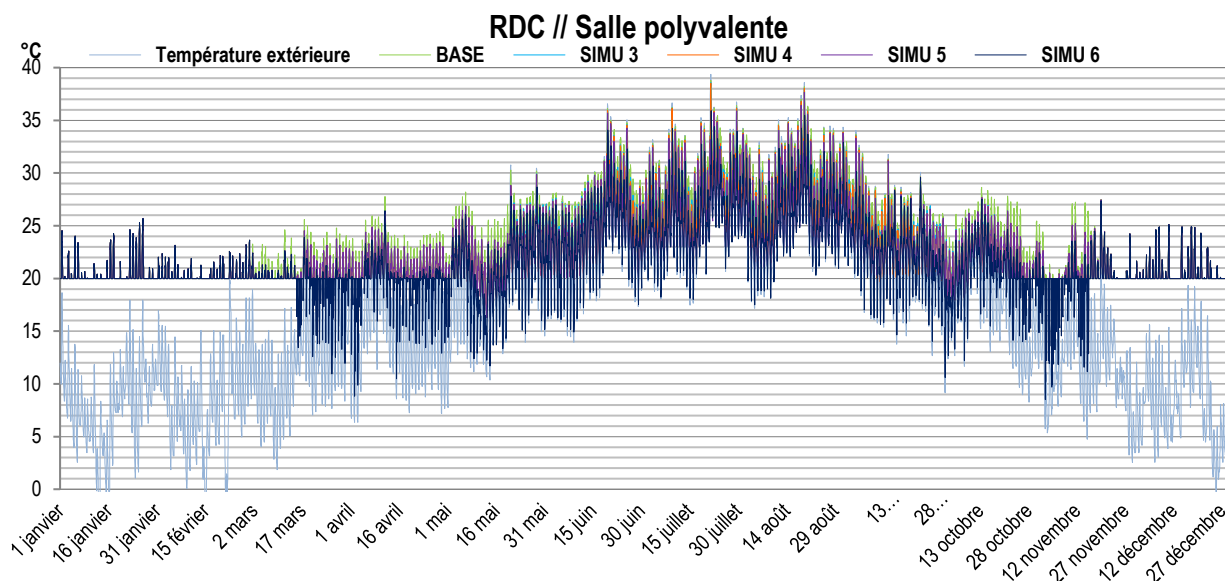
4.3.3.2. Evolution du nombre d'heures d'inconfort par degré



Le risque d'inconfort n'est plus d'actualité.

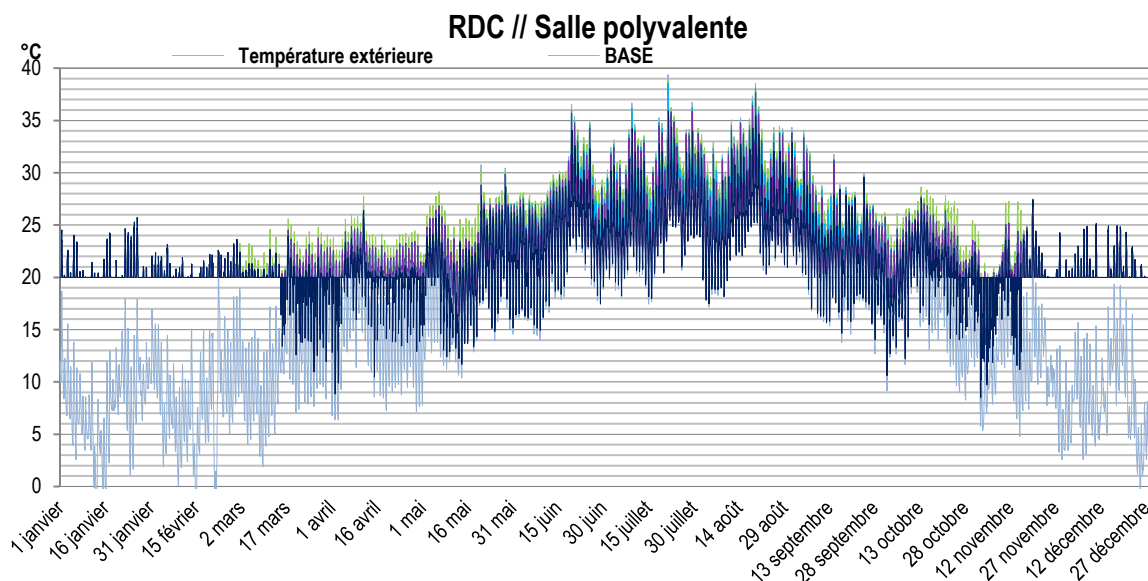
4.3.4 RDC // Salle polyvalente

4.3.4.1. Evolution des températures annuelles

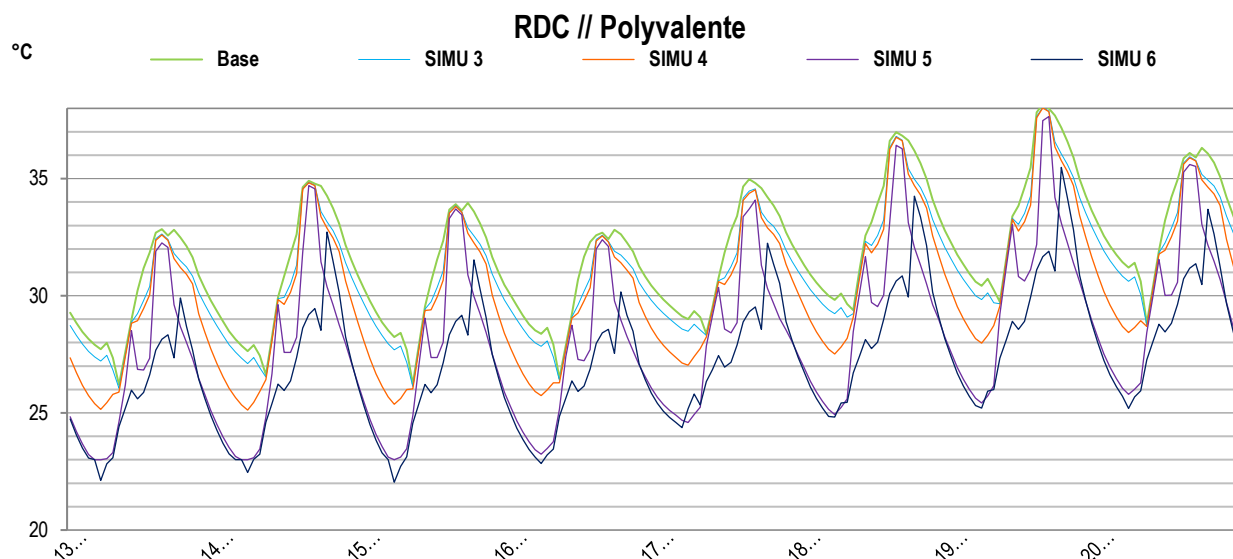


Le graphique ci-dessus représente l'évolution des températures intérieures simulées pour la salle de sport du rez-de-chaussée exposée Sud-Ouest. On distingue plusieurs tendances :

- Lors des pics de température (creux de l'été), on remarque que les solutions d'occultation peinent à creuser l'écart vers une situation de plein confort. Il ne faut pas se fier aux dégressions inférieures à 20°C en période de mi-saison (dégression de l'ouverture des menuiseries).

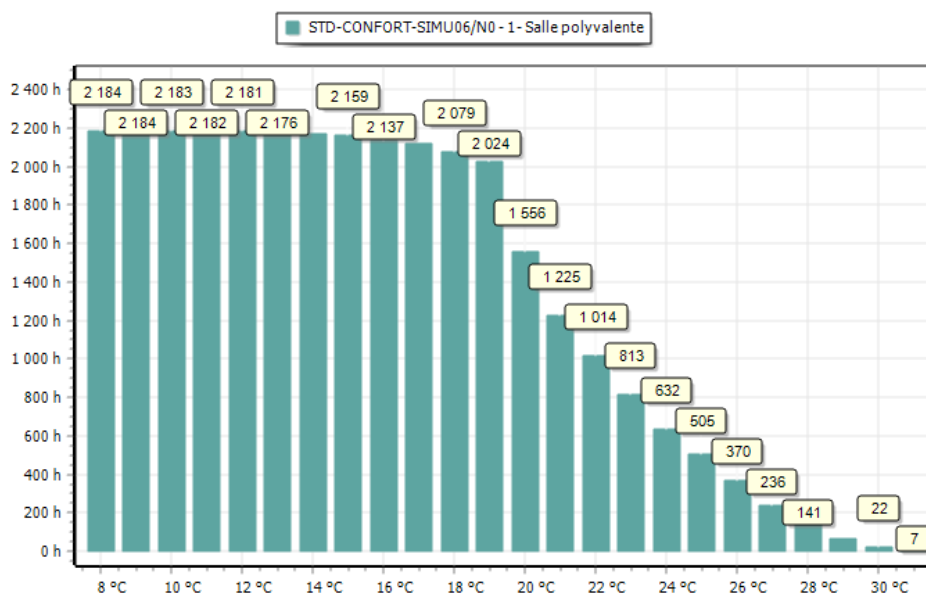


Le graphique ci-dessus représente la performance de l'occultation. On remarque que l'écart avec la solution de BASE est anecdotique. Cela traduit un taux de charge élevé en continu dans le local. La solution géothermique, aidée avec les ouvertures de menuiseries par les encadrants permettent de préserver le confort de l'espace.



En période de haute température, on distingue que le seul pouvoir de rafraîchissement passif capable de décharger la température est le géocooling. En effet, le freecooling affirme sa puissance de décharge par rapport à la BASE, sans pour autant diminuer la température opérative à des niveaux suffisamment bas pour assurer le ressenti de confort pendant toute la journée. L'écart est de plus 4 degrés en période d'occupation !

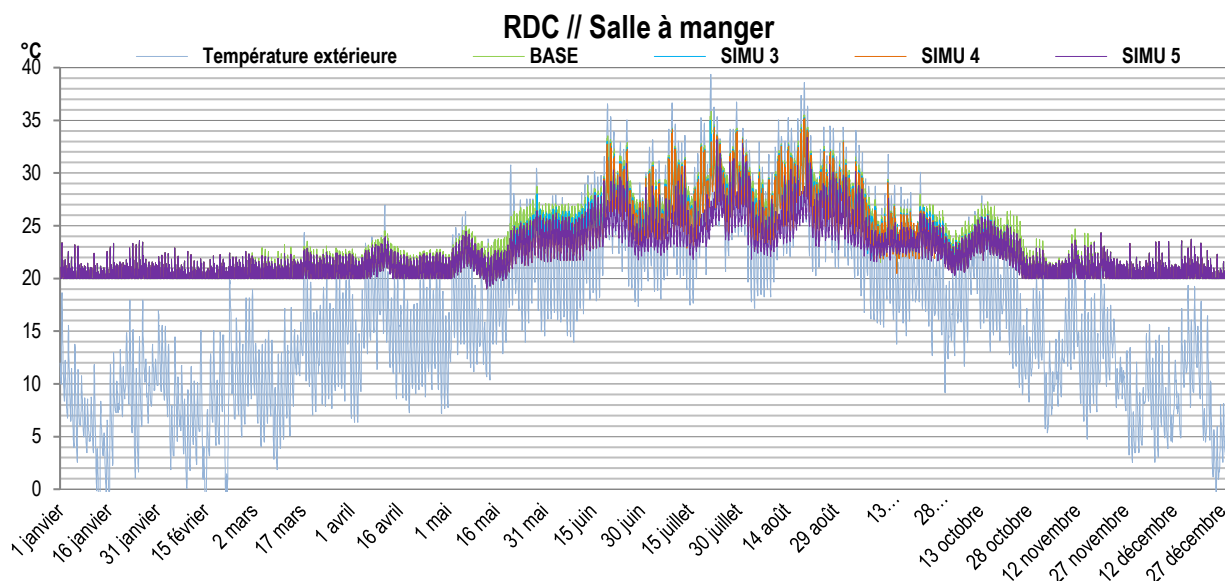
4.3.4.2. Evolution du nombre d'heures d'inconfort par degré



Au regard de l'occupation, le nombre d'heures d'inconfort reste acceptable, puisque nous approchons le seuil limite à six près.

4.3.5 RDC // Salle à manger

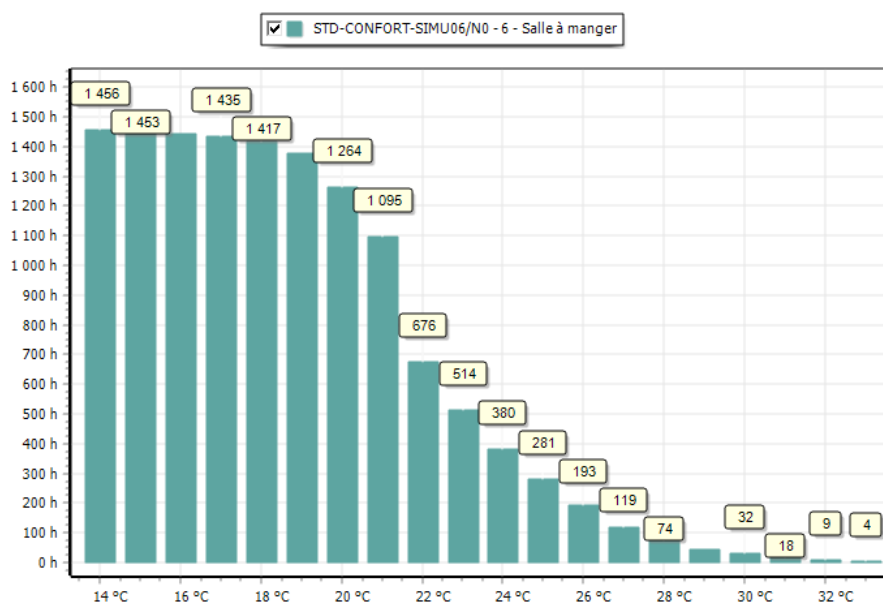
4.3.5.1. Evolution des températures annuelles



Le graphique ci-dessus représente l'évolution des températures intérieures simulées pour la salle à manger du rez-de-chaussée exposé Sud et Nord. On distingue plusieurs tendances :

- La solution de rafraîchissement passif (ventilation nocturne) couplée avec une occultation correcte parvient difficilement à faire bénéficier le local d'une diminution de la température opérative.
- À nouveau, seule la géothermie parvient à combler le manque de rafraîchissement restant pour atteindre le confort minimal.

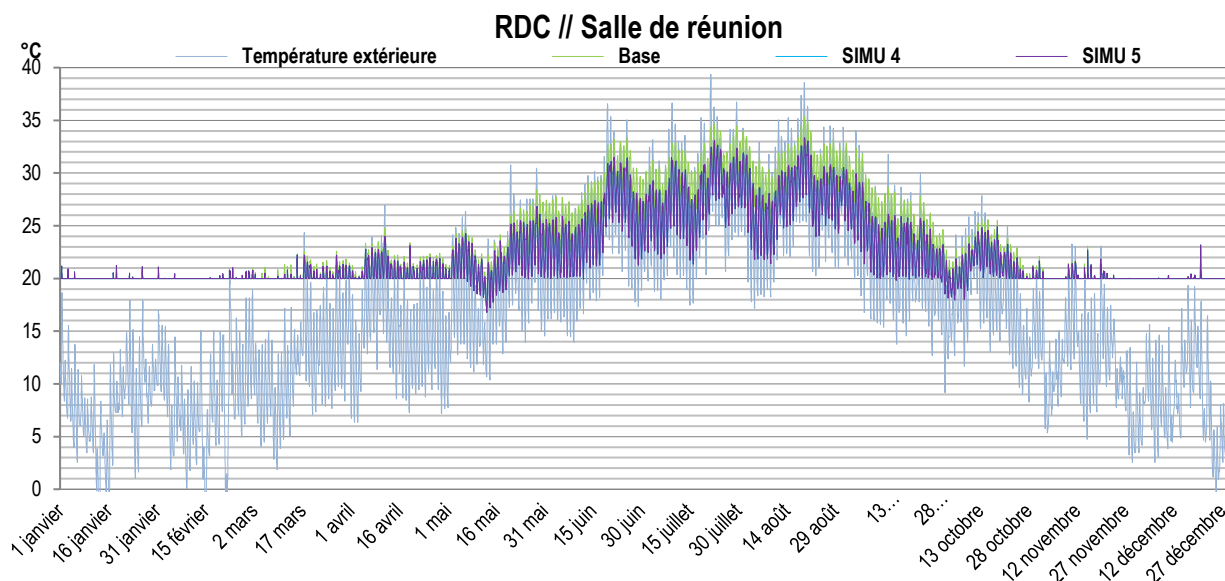
4.3.5.2. Evolution du nombre d'heures d'inconfort par degré



Malgré les montées en température, l'inconfort respecte la condition programmatique (89h < 135h).

4.3.1 RDC // Salle de réunion

4.3.1.1. Evolution des températures annuelles

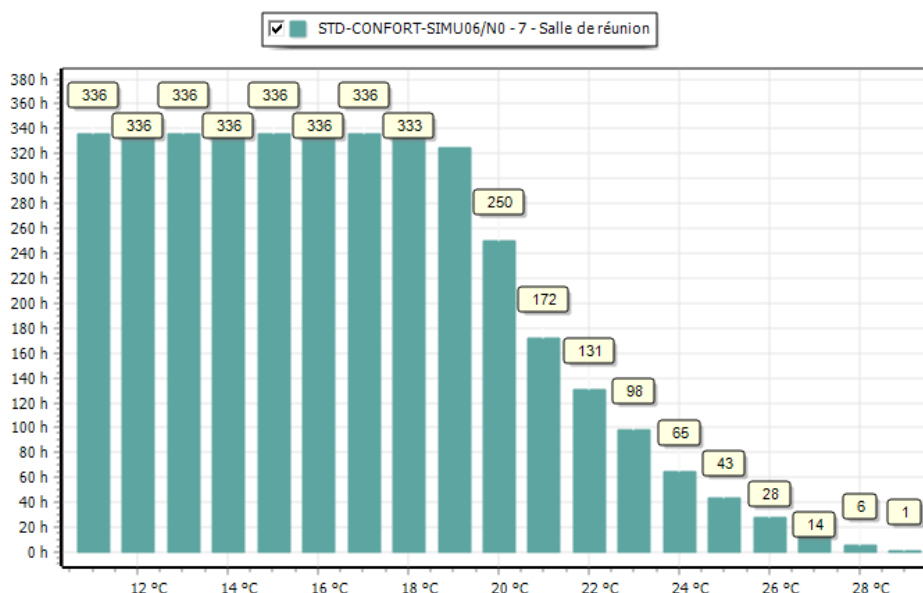


Le graphique ci-dessus représente l'évolution des températures intérieures simulées pour la salle de réunion.

On distingue plusieurs tendances :

- L'exposition en façade nord permet de ne pas être assujéti à des variations de température significatives. En effet, il n'apparaît que peu de fois où la température est supérieure à 30°C.
- À présent, au vu de la faible occupation de l'espace saisi, la température parvient à redescendre sous les 25°C avec le rafraîchissement passif. L'apport du géocooling, n'engendre pas plus de différence en raison de la faible occupation. La ventilation naturelle supplémentaire permet de réduire l'inconfort de 23 heures à 6 heures.

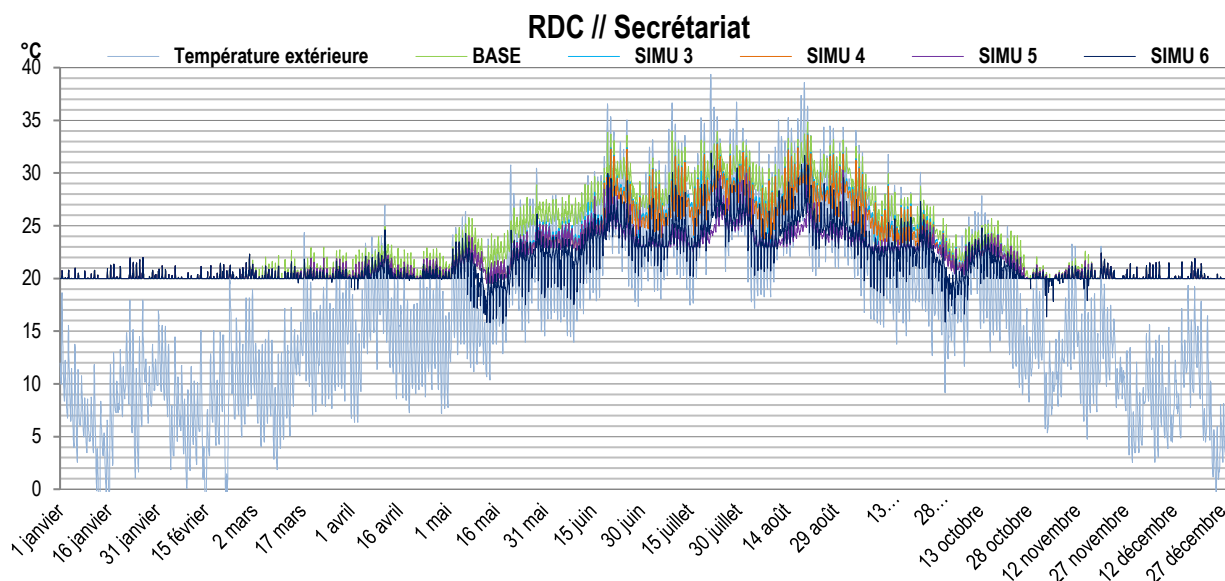
4.3.1.2. Evolution du nombre d'heures d'inconfort par degré



Le risque d'inconfort n'est plus d'actualité.

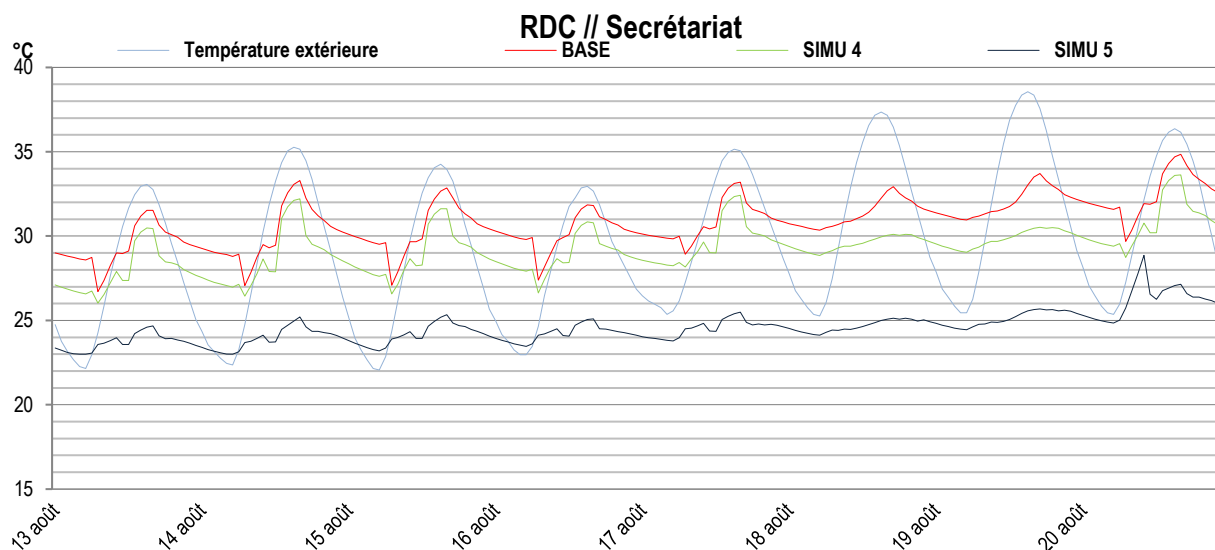
4.3.1 RDC // Secrétariat

4.3.1.1. Evolution des températures annuelles



Le graphique ci-dessus représente l'évolution des températures intérieures simulées pour le secrétariat du rez-de-chaussée exposé Sud-Ouest. On distingue plusieurs tendances :

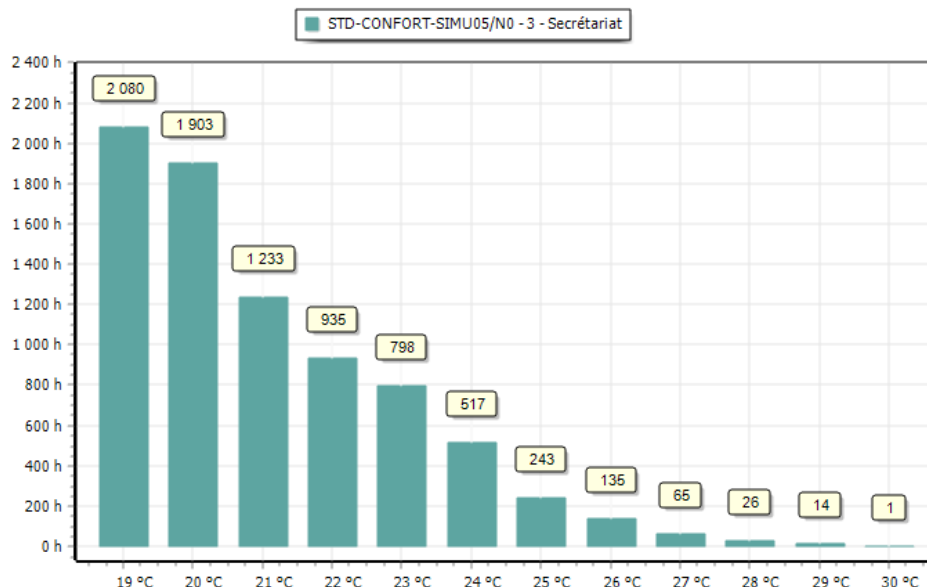
- La solution de rafraîchissement passif (ventilation nocturne) couplée avec une occultation correcte développe un réel différentiel avec la simulation de départ en période de mi-saison. En revanche, dans le creux de l'été, les pics de température au-dessus de 30°C sont récurrents.
- La géothermie surclasse à nouveau le freecooling, et permet d'avoir une température moyenne aux alentours de 25°C. La ventilation manuelle apporte un bénéfice certain, mais négligeable pour ce type de local en raison de la faible occupation.



Le graphique ci-dessus représente l'évolution des températures intérieures simulées pour le secrétariat pendant le creux de l'été. On remarque que seul l'apport du géocooling permet de se détacher de la simulation de BASE.

Le pouvoir du rafraîchissement passif en géothermie est prépondérant.

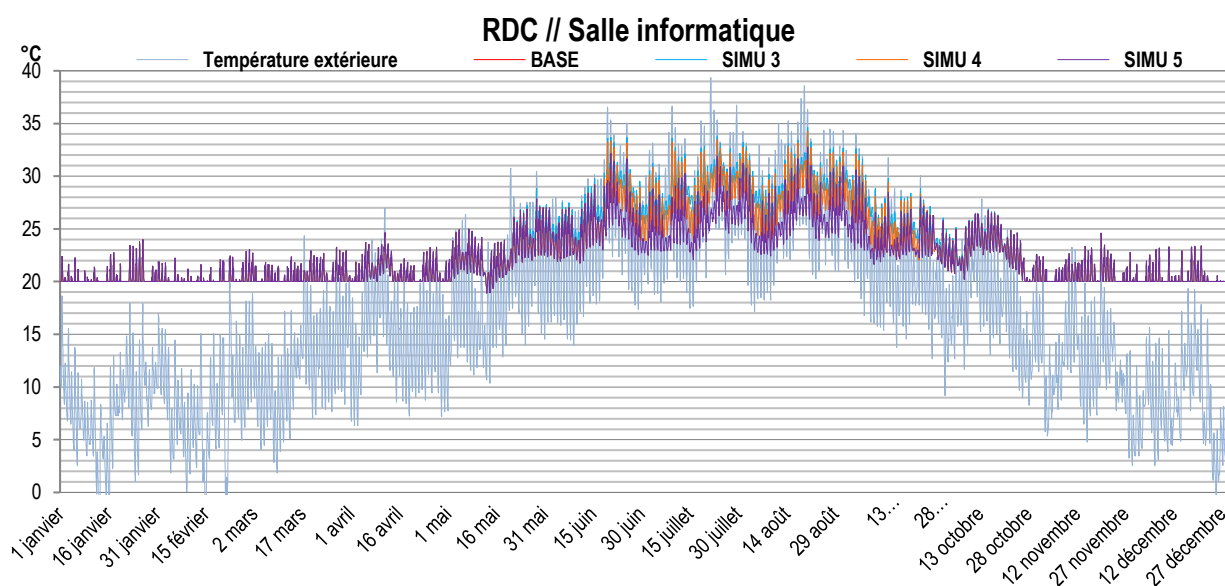
4.3.1.2. Evolution du nombre d'heures d'inconfort par degré



Sans considération de l'ouvrabilité scénarisée des menuiseries, l'inconfort ressenti est inférieur au seuil réglementaire.

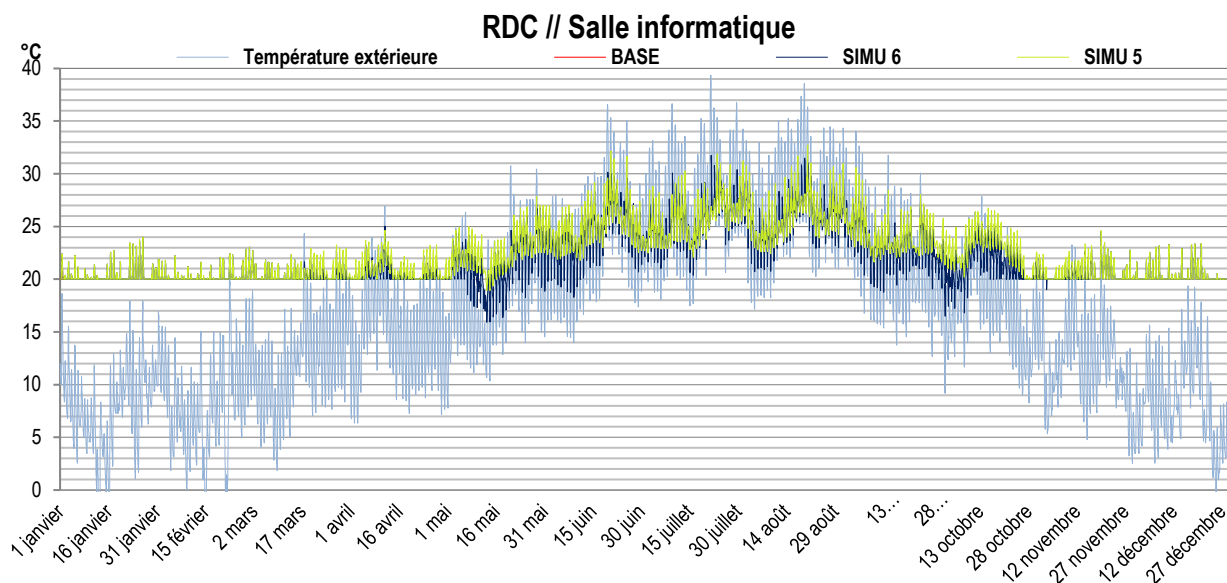
4.3.1 RDC // Salle informatique

4.3.1.1. Evolution des températures annuelles

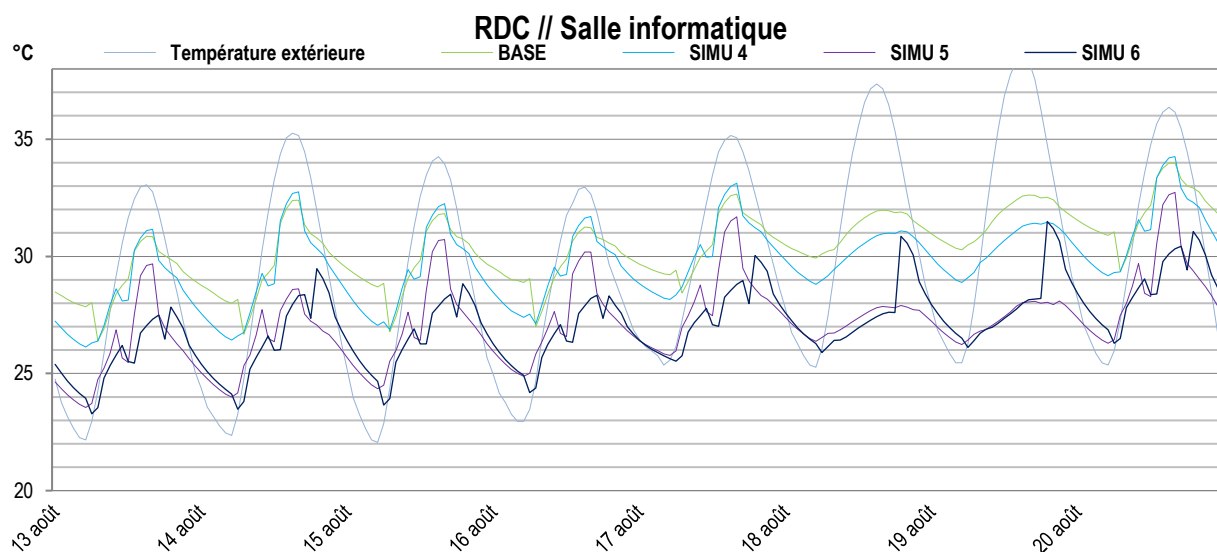


Le graphique ci-dessus représente l'évolution des températures intérieures simulées pour la salle informatique du rez-de-chaussée exposé Sud-Ouest. On distingue plusieurs tendances :

- Toutes les solutions de rafraîchissement passif sont victimes des pics de température liés au fonctionnement des appareillages informatiques. Néanmoins, la combinaison des solutions géothermiques permet d'avoir un fort écart avec la solution témoin. La température moyenne est aux alentours des 27°C en géothermie combinée et 30 degrés avec le sel freecooling.



Sur le graphique ci-dessus, on relève la différence entre la prise en compte d'une ouverture des menuiseries scénarisées ou sans. La superposition des courbes (couleurs changées) fait apparaître le potentiel de rafraîchissement gratuit à grand débit puisqu'on tire profit des températures fraîches du matin et de la fin de la soirée (quand l'occasion se présente). Cette simulation n°06, outre être une hypothèse, témoigne du potentiel d'ajustement de la charge interne du bâtiment disponible sans contrainte technique supplémentaire !



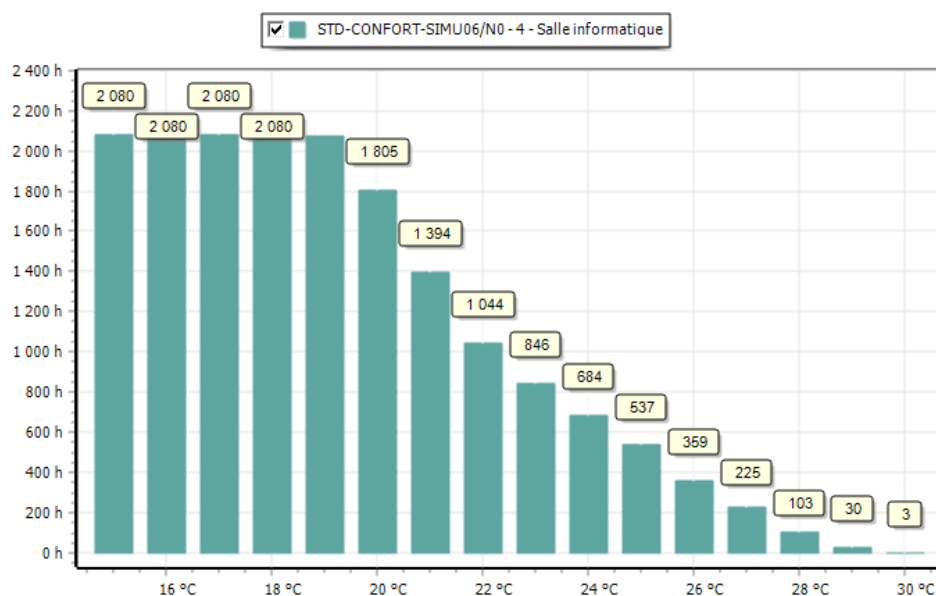
Le graphique ci-dessus représente l'évolution des températures intérieures simulées pour la salle informatique pendant le creux de l'été. À nouveau, on remarque que seul l'apport du géocooling permet de se détacher de la simulation de BASE.

Le pouvoir du rafraîchissement passif en géothermie est prépondérant. En revanche, on distingue (sur la courbe de la SIMU n°06), un relevé de température dû à l'ouvrabilité des menuiseries.

Cet effet est très intéressant car il nous rappelle la précaution à employer lors de cet usage. À quelques minutes près, il se peut que l'utilisateur n'intervienne pas suffisamment rapidement avant la remontée des températures extérieures. Pour preuve, sur la solution géothermie seule, il n'y a pas de remontée incongrue.

En conclusion, ce scénario de confort (SIMU n°06) est réalisable, mais il s'accompagne d'une veille attentive des températures extérieures.

4.3.1.2. Evolution du nombre d'heures d'inconfort par degré



Au regard de l'occupation, le nombre d'heures d'inconfort est acceptable (103 heures < 135 heures).

5 CONCLUSION

Sept simulations ont été proposées dans le présent document :

- Une simulation traduisant l'impact des apports solaires
- Une simulation traduisant l'impact des apports internes
- Une simulation dite « de départ » traduisant l'impact des apports solaires et internes combinés
- Une simulation traduisant l'impact des occultations
- Une simulation traduisant l'impact du freecooling et des occultations
- Une simulation traduisant l'impact des occultations, du freecooling et du géocooling
- Une simulation traduisant l'impact des occultations, du freecooling et du géocooling et de l'ouvrabilité des menuiseries
- Une simulation traduisant l'impact des occultations, du freecooling et du géocooling et de l'ouvrabilité des menuiseries selon un mauvais comportement

Dans un premier temps, il a été réalisé une simulation afin d'étudier le comportement thermique du bâtiment sans apports extérieurs. Un bâtiment à usage d'enseignement et de logements dispose d'une occupation importante (salles d'activités, salle à manger, etc.), source élevée d'apports de chaleur. Il en résulte ainsi un impact direct sur les besoins de chauffage (réduction de besoins de chauffage grâce aux apports internes) mais également des surchauffes en période estivale. Ces surchauffes sont constatées sur les résultats de la simulation de base où les objectifs de confort ne sont pas atteints.

Face à cette recherche d'amélioration des conditions de confort pendant les périodes d'occupation et de pics de chaleur extérieure, il a été étudié le gain de confort généré par et l'utilisation d'une ventilation mécanique nocturne avec des protections solaires.

L'apport de la ventilation nocturne sur le confort des occupants permet de procéder à du rafraîchissement limité aux contraintes liées aux températures extérieures. De fait, son apport sur l'amélioration du confort intérieur est présent mais ne permet pas à lui seul de réduire les conditions de température opérative au seuil d'inconfort fixé selon la démarche BDO.

En couplant cette solution avec une bonne gestion des menuiseries et du géocooling (rafraîchissement passif de la géothermie), tous les espaces sont en mesure de respecter les conditions programmatiques ! En effet, la force du géocooling est implacable pour décharger le bâtiment rénové (à faible inertie) en période nocturne et journalière, notamment pour les locaux de sommeil.

Les résultats de la Simulation Thermique Dynamique sont également à nuancer pour plusieurs raisons :

- Le fichier météo utilisé traduit des conditions météorologiques de 2040, représentant les conditions dues au dérèglement climatique. Ce dernier apporte aux applications concrètes du bâtiment un avant-goût des périodes caniculaires. Ce dernier démontre la nécessité d'augmenter les protections physiques extérieures, et de dresser un éventail de solutions passives avant de s'orienter vers une production de froid active. Le présent projet requiert au moins trois solutions passives. Seul le travail conjoint de ces solutions rend les conditions intérieures acceptables lors des périodes caniculaires.
- Les scénarios d'occupation restent théoriques et ne reflètent pas toujours l'occupation réelle de chaque local.
- Une des données dimensionnantes sur le confort estival est l'utilisation des locaux été. Cela est sévèrement pénalisant. Il nous semble nécessaire, dans la mesure où les scénarios sont approuvés, **d'inclure dès maintenant une production de rafraîchissement active**. À l'horizon 2070, aucun surcoût ne sera à déboursier par la maîtrise d'ouvrage pour combattre la dégradation du climat de la France métropolitaine. Une planification de froid active en secours dès cette période est un véritable atout pour la commune, et les occupants de surcroît.