



Bureau d'Etudes Techniques
Chauffage – Climatisation – Ventilation – Plomberie – Electricité

Construction d'un bâtiment d'Activités / Logistique à BRUGUIERES / St JORY (31)



Notice de Calcul Simulation énergétique dynamique

Maitre d'ouvrage :



CARGO
6 avenue Saint-Granier
ZAC Saint-Martin du Touch BP
53169
31027 Toulouse Cedex 3
Tél. 05.34.55.45.65

AMO :

Bernard Chanas
105 Impasse Isidore
Lazare
84440 Robion

Bureau d'Etudes Fluides :



SARL ATIS
72, Bd Gambetta
29200 BREST
Tél. 02.98.46.32.19
E-mail : atis@atis.bzh

Indice B

Création : 11-09-2019

Modifié : 15-10-2019



Société au capital social de 200 000 € - RCS 505 371 070 Brest – Code APE 7112B – Siret 505 371 070 00036
Siège : 72 Bd Gambetta 29200 BREST Tél : 02 98 46 32 19 Fax : 02 98 43 59 93 – Courriel : atis@atis.bzh



Sommaire

1. INTRODUCTION	3
1.1 PROJET CONCERNE ET OBJECTIFS DU MAITRE D'OUVRAGE	3
1.2 METHODOLOGIE UTILISEE	3
1.3 NOMENCLATURE	4
2. DONNEES ADMINISTRATIVES	5
3. REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DU MODELÉ ETUDIE	6
3.1 ENVIRONNEMENT	6
3.2 VUE 3D	6
3.3 PLAN DES NIVEAUX.....	7
3.4 MASQUES ET OMBRAGE PAR L'HORIZON	8
3.5 ZONAGE THERMIQUE	10
3.6 ÉTATS DE SURFACE	11
4. HYPOTHÈSES DE CALCUL – SOLUTION DE BASE	12
4.1 SYSTEME CONSTRUCTIF	12
4.2 ÉLÉMENTS TECHNIQUES	17
5. SIMULATION DYNAMIQUE	18
5.1 FICHIER METEO.....	18
5.2 HYPOTHESES DE CALCUL ET SCENARIOS DE FONCTIONNEMENT.....	20
6. RÉSULTAT DE LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE	29
6.1 ÉTUDE DU CONFORT D'ETE DE LA CELLULE 4.....	29
6.2 ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DES TEMPERATURES DES CELLULES 2 ET 3	36
7. OPTIMISATIONS DU PROJET	39
7.1 INTRODUCTION	39
7.2 PROPOSITION D'OPTIMISATION CELLULE 4	40
7.3 PROPOSITION D'OPTIMISATION CELLULE 2 ET 3	52
7.4 SCENARIO RETENU	54
8. CONCLUSION.....	56

1. INTRODUCTION

1.1 Projet concerné et objectifs du maitre d'ouvrage

Le maitre d'ouvrage a décidé d'entreprendre la construction d'un bâtiment d'un entrepôt de stockage et de logistique situé à Saint Jory (31).

Le bâtiment comporte les zones ci-dessous :

- Une cellule N°1 où sont localisés les quais de chargement et de déchargement.
- Deux cellules N°2 et N°3 comprenant les magasins automatisés de grande hauteur
- Une cellule N°4 avec mezzanine comprenant un système à navette pour le stockage et la préparation des commandes ainsi qu'un système de convoyage pour le transport des marchandises
- Une Cellule N°5 pour le conditionnement des commandes
- Plusieurs zones de bureaux L1, L2 et L3

La maîtrise d'ouvrage a souhaité réaliser une étude de simulation dynamique afin d'apporter des réponses sur les préoccupations de :

- Étudier le confort d'été pour les occupants de la zone mezzanine dans la cellule 4.
- Vérifier que le bâtiment ne sera pas soumis à une température insuffisante afin de maintenir les cellules 2 et 3 en condition de hors gel pendant la saison hivernale.

L'étude d'optimisation par simulation thermique dynamique se limitera à l'étude des paramètres suivants :

- Vérifier les conditions de confort thermique d'été du bâtiment dans les conditions réelles
- Estimer l'inconfort d'été produit par le modèle numérique
- Évoquer et quantifier des pistes d'optimisation afin d'apporter des améliorations aux surchauffes constatées dans les locaux.

1.2 Méthodologie utilisée

Nous utiliserons les logiciels suivants :

- Le module modeleur de PLEIADES+COMFIE pour la modélisation 3D.
- Le module éditeur de PLEIADES+COMFIE pour l'analyse du confort d'été.

Modélisation du bâtiment :

A cette étape, toutes les parois du bâtiment sont saisies. Cette modélisation intègre également l'ensemble des ombres portées par les retours de parois, casquettes, masques lointains (bâtiments proches, arbres, etc., ...). Le bâtiment est orienté et positionné selon sa latitude et sa longitude pour intégrer précisément la course du Soleil.

Zonage :

Le bâtiment ainsi constitué est ensuite divisé par zones homogènes. Ce découpage permet de suivre l'ensemble des paramètres, notamment les consommations et les températures, sur des zones précises (partie de bâtiment, local particulier).

Prise en compte des éléments du bâti et des paramètres techniques :

La constitution du bâti ainsi que tous les autres paramètres qui influenceront le comportement futur du bâtiment sont décrits à cette étape. La zone géographique sera notamment associée à un fichier très complet qui retrace, heure par heure, l'impact de la météo sur le bâtiment : température

extérieure, couverture nuageuse, énergie solaire, etc.... La ventilation des locaux, les consignes de chauffage sont également définies à cette étape.

Simulation et exploitation des résultats :

Tous les paramètres précédemment renseignés seront analysés et pris en compte pour déterminer le comportement sur une année type. Ainsi, l'évolution des températures, des besoins de chaleur ou de froid pour chaque pièce ou pour le bâtiment complet sera disponible. L'objectif est d'utiliser ces résultats selon les besoins du projet, afin d'améliorer le comportement hygrothermique du bâtiment, de conforter les choix retenus et/ou de proposer des améliorations.

1.3 Nomenclature

DPE : Diagnostic de performance énergétique

Up : coefficient de transmission thermique d'une paroi ($W/m^2.K$)

U : coefficient de transmission surfacique ($W/m^2.K$)

Uw : coefficient de transmission thermique d'une menuiserie ($W/m^2.K$)

Ug : coefficient de transmission thermique du vitrage de la menuiserie ($W/m^2.K$)

Ud : coefficient de transmission thermique d'une porte ($W/m^2.K$)

R : Inverse du flux thermique à travers un mètre carré d'un système pour une différence de température d'un kelvin entre les deux faces de ce système ($K/m^2.W$)

λ : Conductivité thermique du matériau ($W/m.K$)

Ψ : Coefficient de pont thermique linéique ($W/m.K$)

χ : Coefficient de pont thermique ponctuel ($W/m.K$)

CEP : Consommation conventionnelle du bâtiment en énergie primaire ($kWhEP/m^2.an$)

PSE : polystyrène expansé

ECS : Eau chaude sanitaire

TL : Transmission lumineuse d'un vitrage ou d'une paroi translucide (%)

Sw : facteur solaire de la menuiserie (de 0 à 1)

Sg : facteur solaire du vitrage



2. DONNEES ADMINISTRATIVES

Maître d'ouvrage	
Nom :	CARGO
Adresse	6 avenue Saint-Granier ZAC Saint-Martin du Touch BP 53169 31027 Toulouse
Contact tél/mél :	

Maître d'œuvre	
Nom :	KARDHAM
Adresse	38 rue Alfred Duméril 31400 Toulouse
Contact tél/mél :	

Bureau d'étude thermique	
Nom :	Bureau étude Atis
Adresse	72 Boulevard Gambetta 29200 Brest
Contact tél/mél :	0298463219

Bureau de contrôle	
Nom :	
Adresse	
Contact tél/mél :	

Opération	
Nom :	Construction d'un bâtiment d'Activités
Adresse	Logistique à BRUGUIERES St JORY (31)
Stade d'avancement	1

Pleiades+Comfie, version 5.19.8.1

3. REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DU MODELÉ ETUDIÉ

Nous avons effectué une saisie du bâtiment en 3D.

3.1 Environnement

Zone climatique : H2c

Altitude : 115 m

Distance à la mer : + 5 km du littoral

Protection site : Modérément abrité

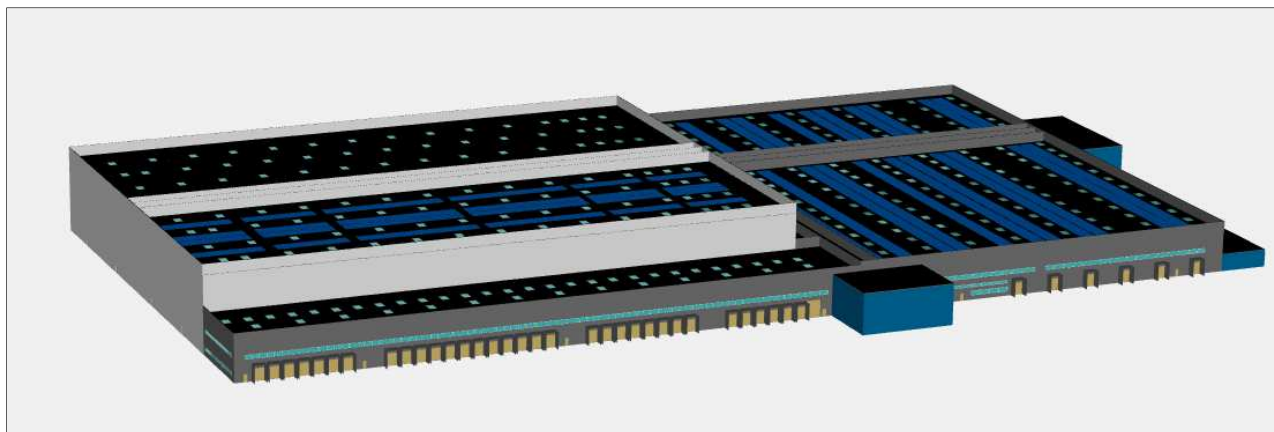
Température hiver : -5°C

Zone de bruit : BR1

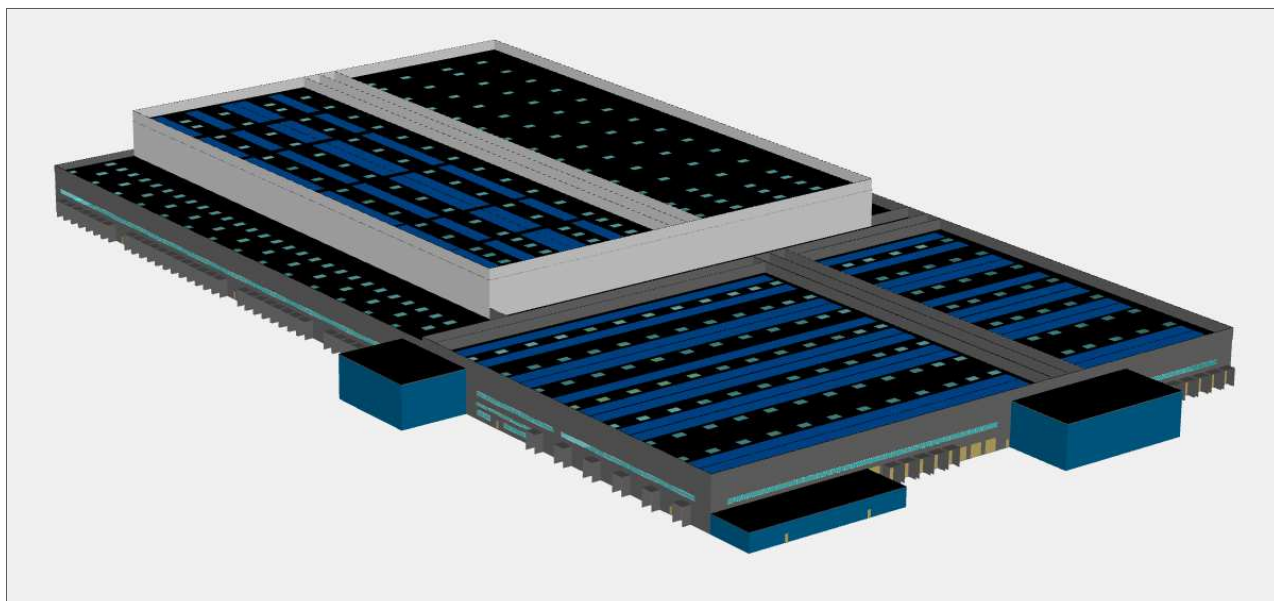
3.2 Vue 3D

Nous pouvons apercevoir ci-dessous des captures d'écrans du bâtiment.

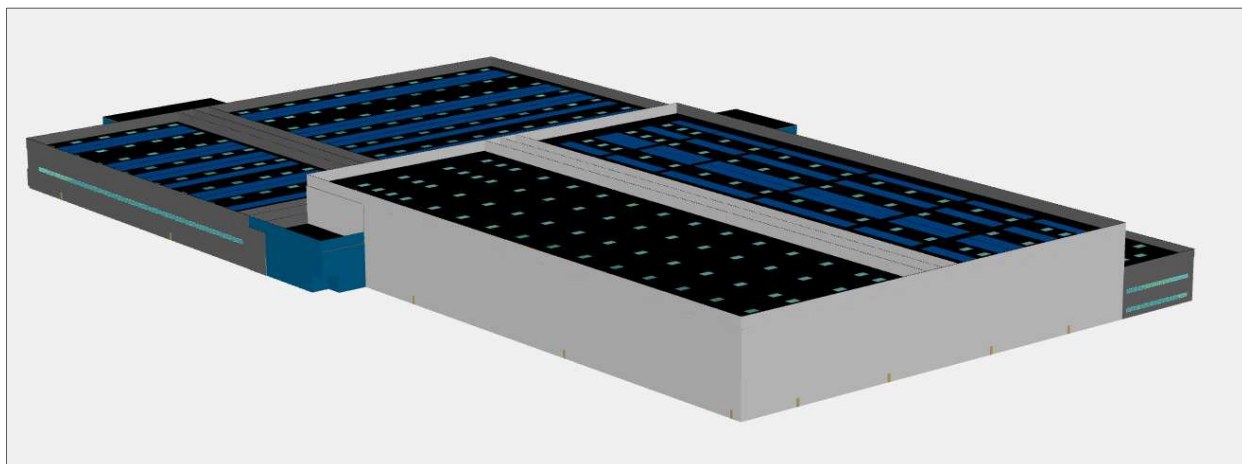
Façade Nord / Ouest :



Façade Sud / Ouest :

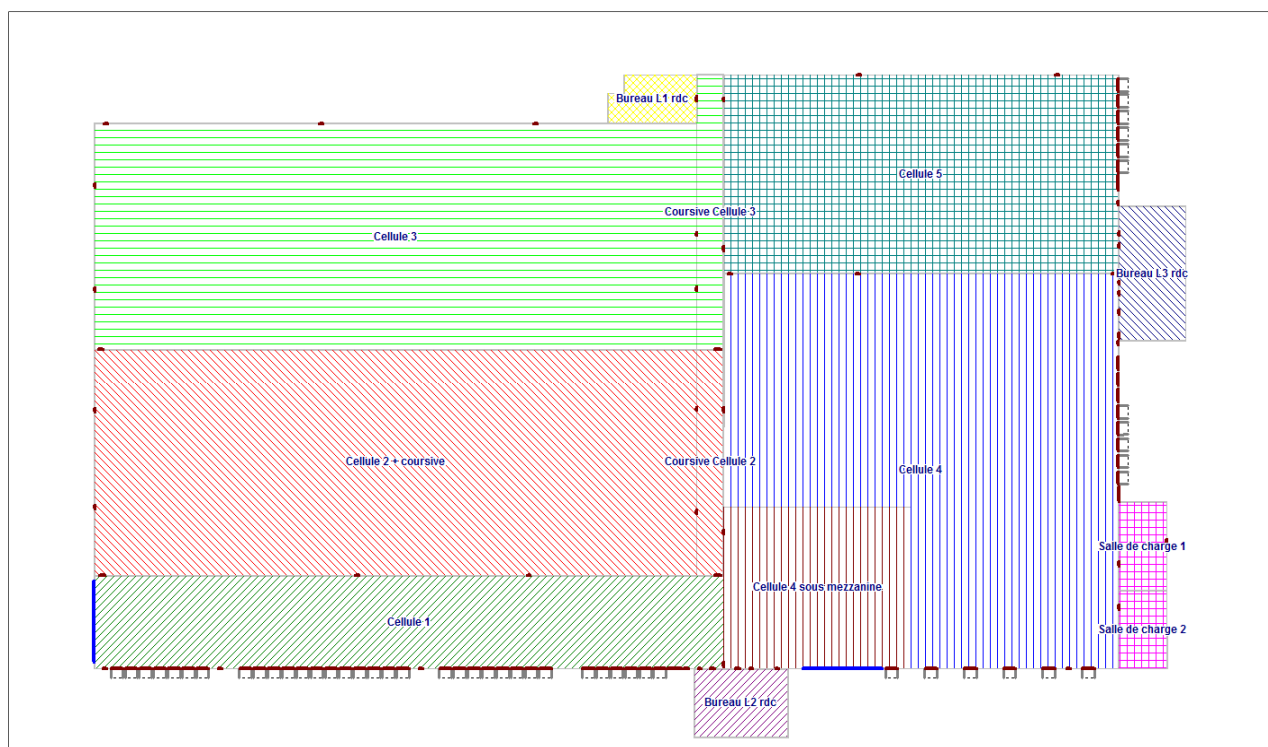


Façade Nord / Est :

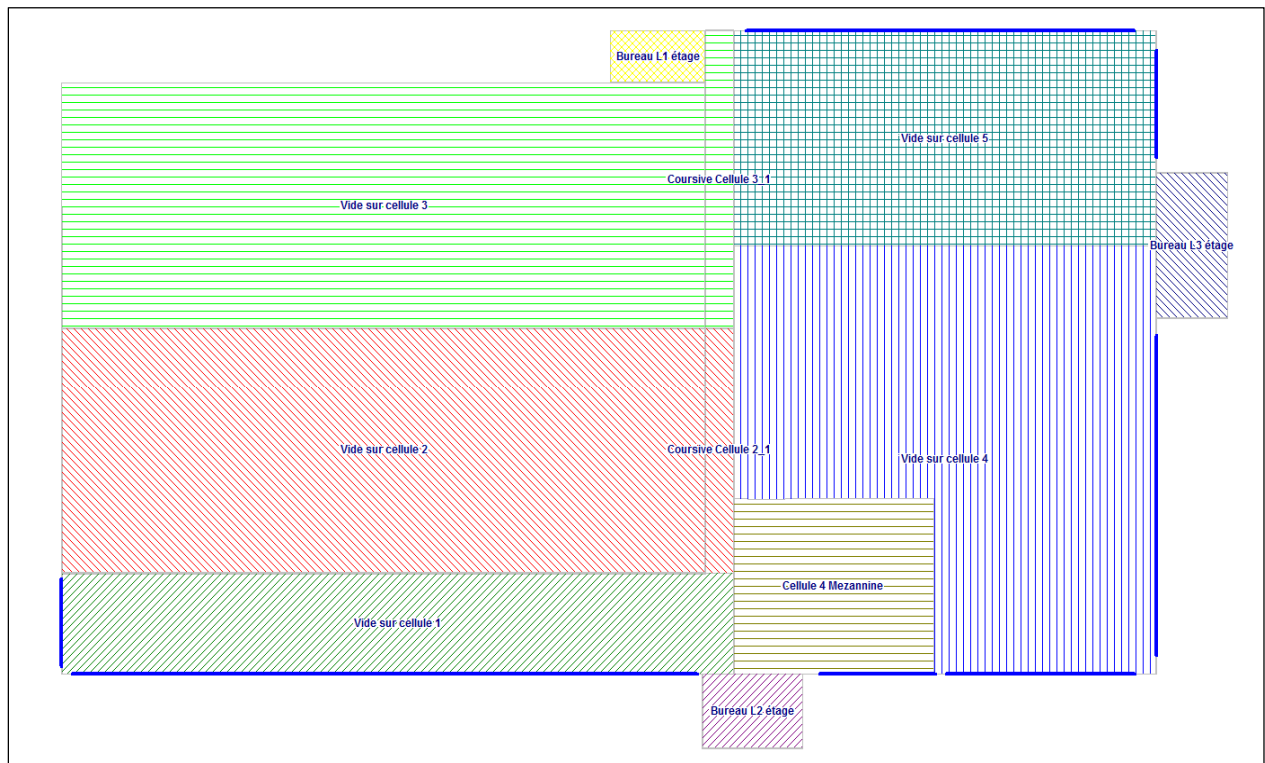


3.3 Plan des niveaux

Niveau Rez de chaussée :



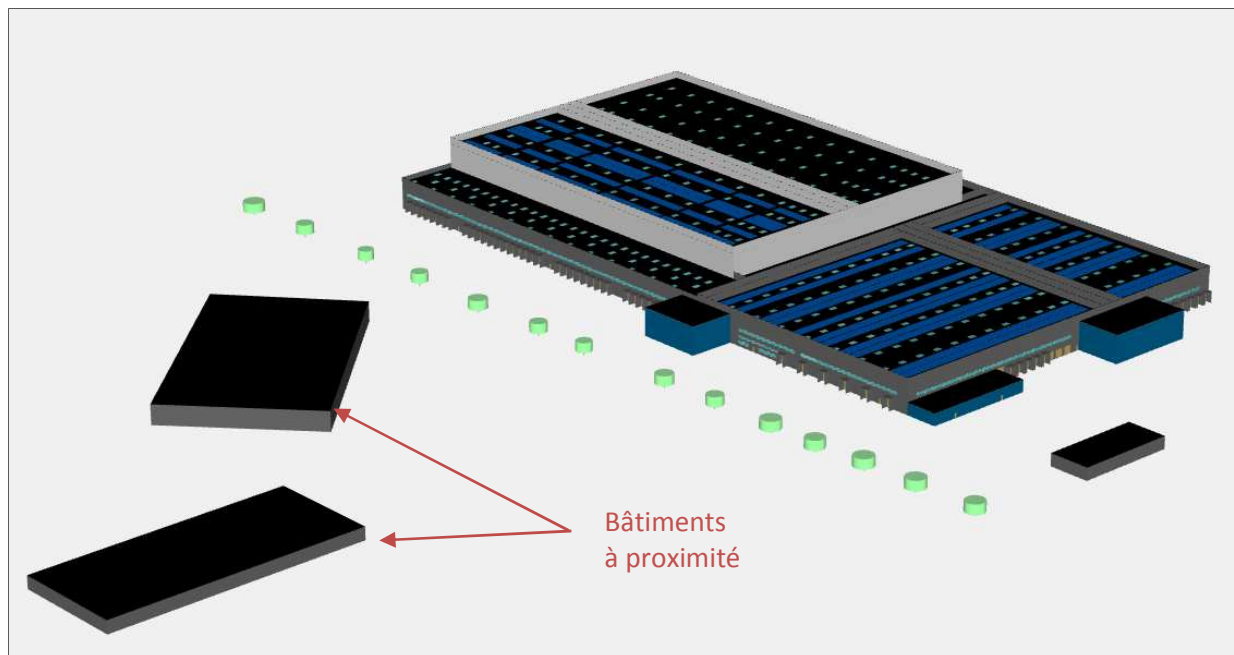
Niveau Mezzanine :



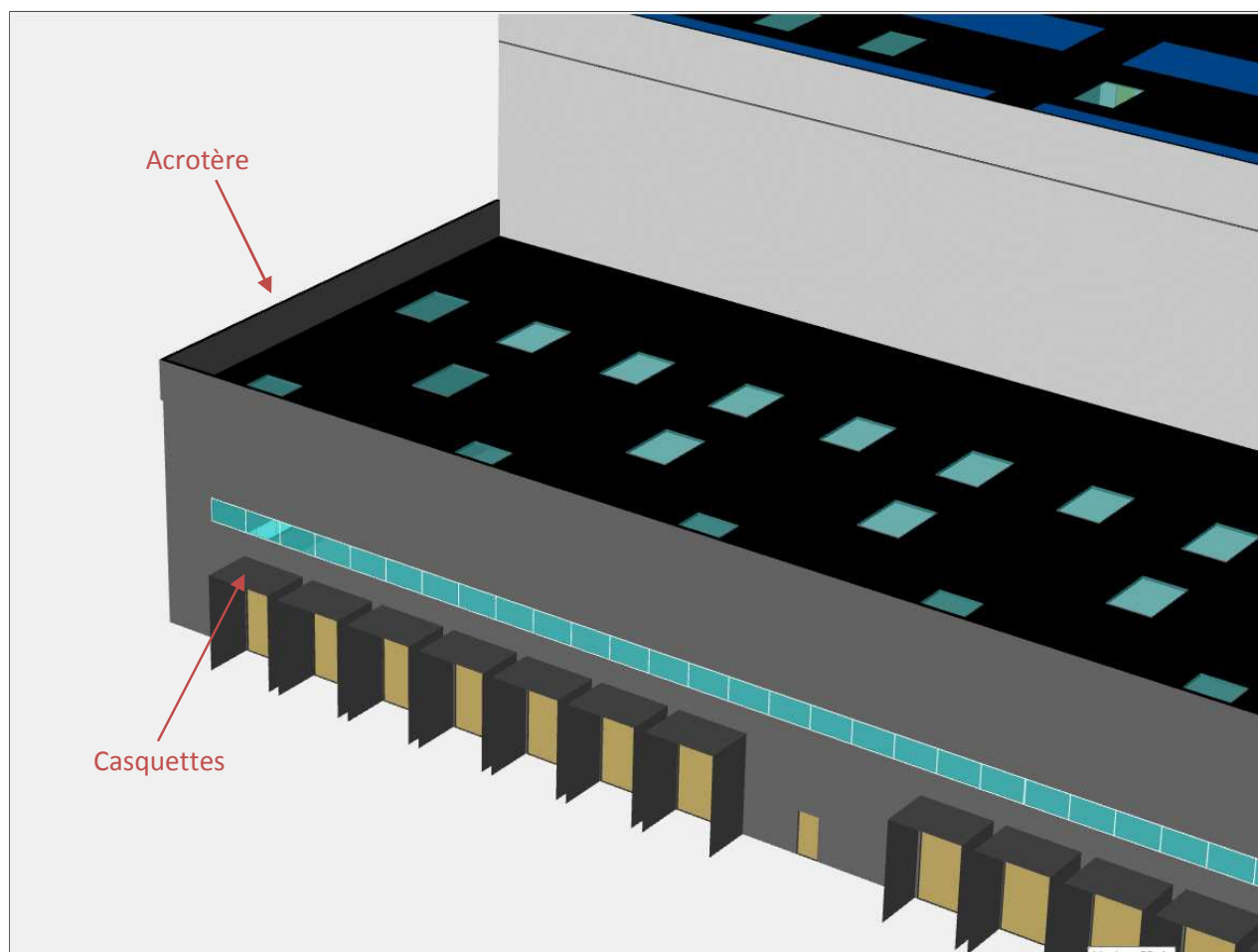
3.4 Masques et ombrage par l'horizon

La modélisation intègre également la prise en compte des différents types de masques du bâtiment :

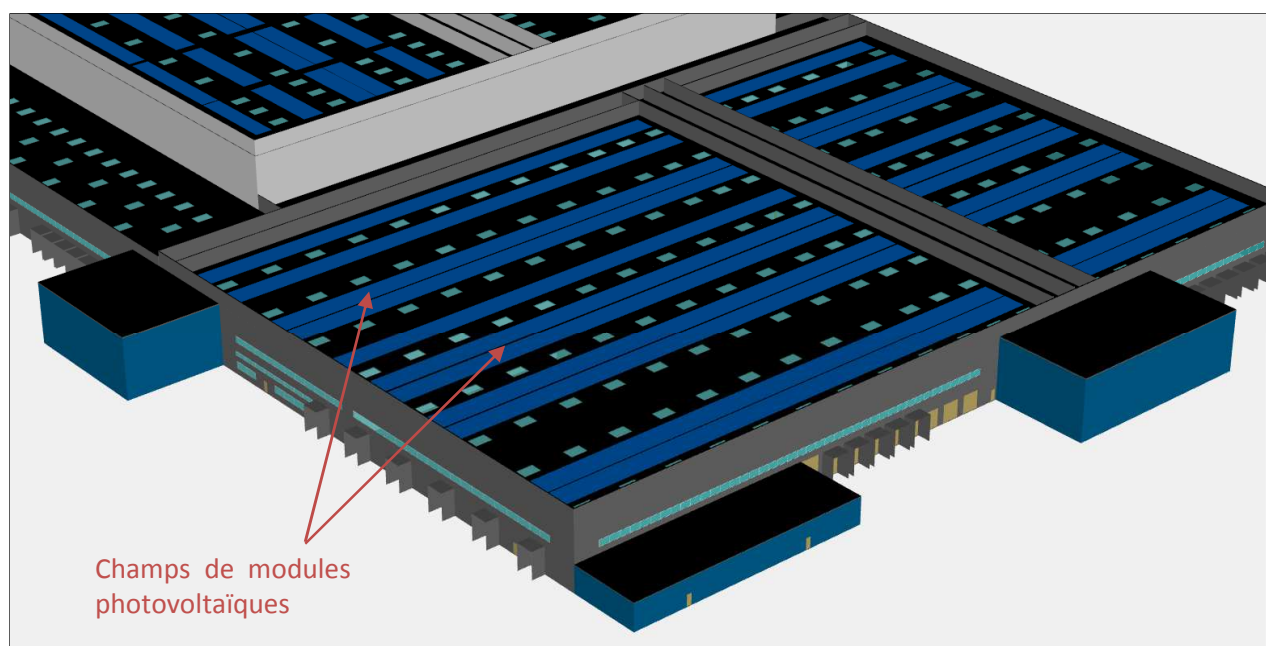
LES MASQUES LOINTAINS concernent les masques engendrés par les infrastructures et bâtiments situés à proximité du bâtiment étudié. Ils sont saisis au niveau du bâtiment, en définissant pour chaque niveau la distance et la hauteur du masque.



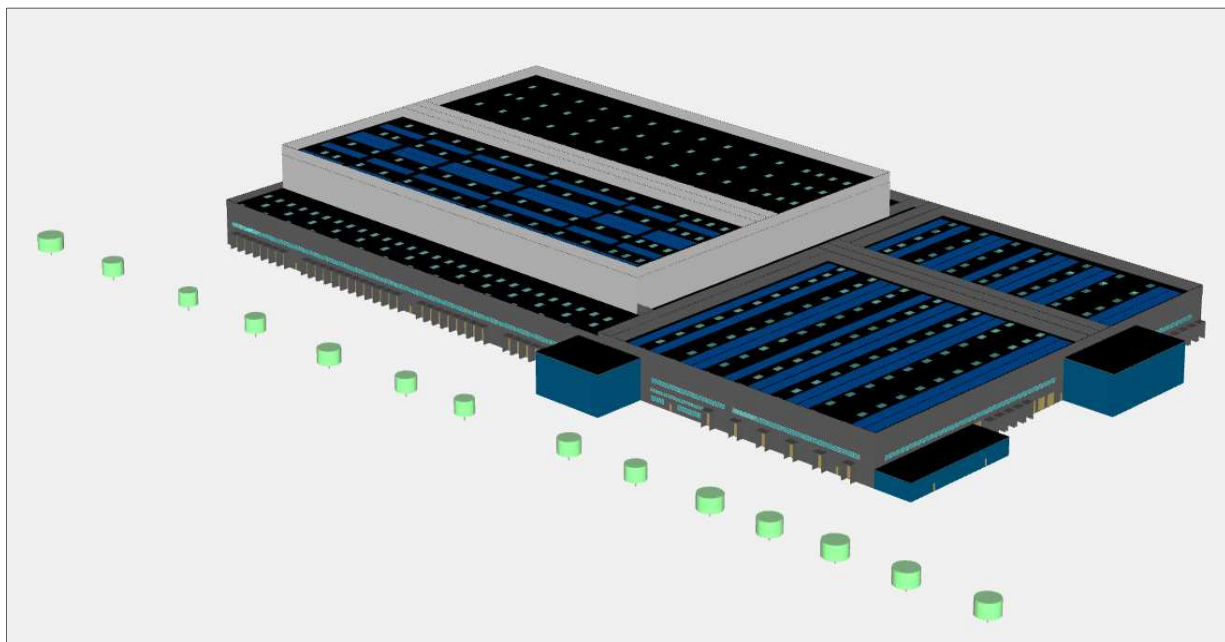
LES MASQUES PROCHES sont à saisir pour chaque baie. Ils concernent les encadrements de baies, et casquettes.



Les masques liés aux modules photovoltaïques :



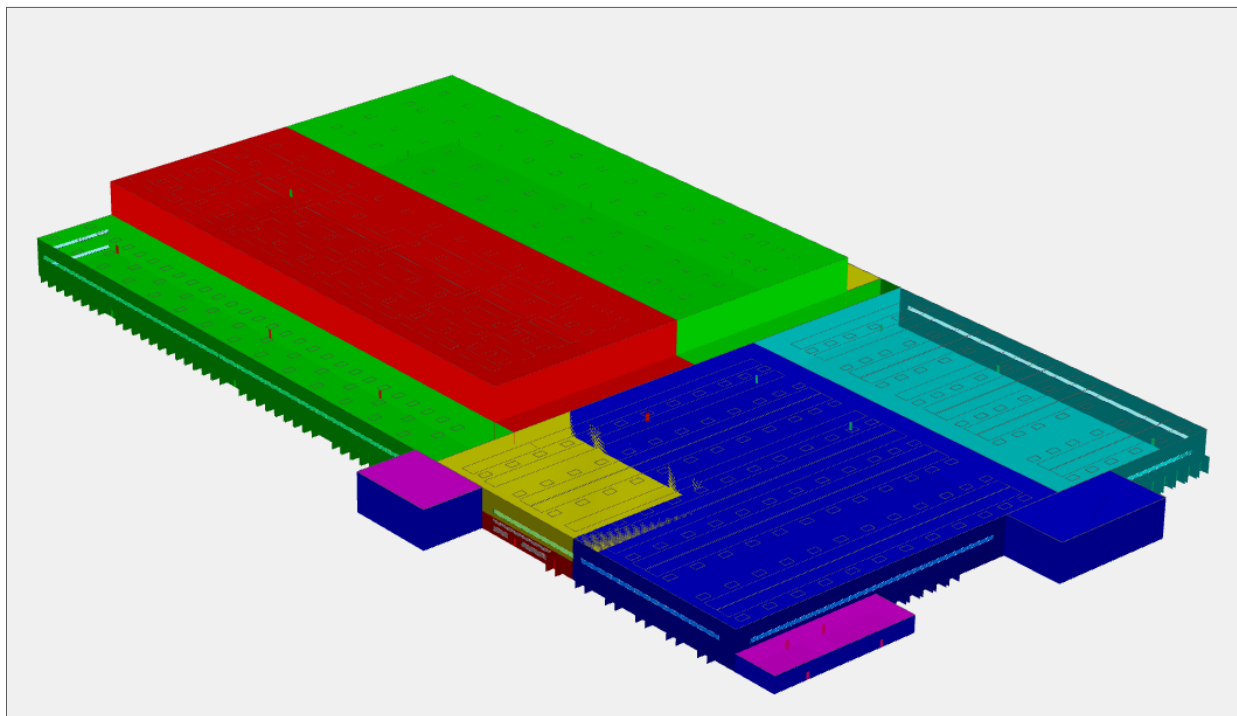
LES MASQUES VÉGÉTAUX : arbres végétation ...



3.5 Zonage thermique

Le logiciel Pléiades+Comfie utilise des zones thermiques pour résoudre les équations. Elles sont définies par des regroupements de pièces différenciés selon les aspects suivants : orientation dans l'espace, occupation, puissance dissipée (apports internes), ventilation, consignes et programmation des périodes de chauffage.

On visualise le découpage des différentes zones définies ci-dessous :



Remarque : sur le schéma ci-dessus, il peut y avoir plusieurs zones possédant les mêmes couleurs, mais qui sont tout de même différenciées. Nous pouvons apercevoir les vues en plans des zones thermiques. Dans le cadre de cette étude, les différentes pièces définies dans une zone peuvent être définies suivant des usages types. Ces usages comprennent notamment des scénarii conventionnels définis pour les simulations (horaires d'éclairage, apports internes, consignes de températures...).

Voici la liste des zones thermiques définies par typologie dans le projet :

Zone	Pièces	Surface (m ²)	Volume (m ³)
Cellule 1		4438.65 m ²	50292.84 m ³
	Cellule 1	4438.65 m ²	50292.84 m ³
Cellule 2		10872.37 m ²	229851.08 m ³
	Coursive Cellule 2	449.30 m ²	5157.98 m ³
	Cellule 2 + coursive	10423.06 m ²	224693.09 m ³
Cellule 3		10981.97 m ²	231028.25 m ³
	Coursive Cellule 3	545.69 m ²	6264.52 m ³
	Cellule 3	10436.28 m ²	224763.73 m ³
Cellule 4		9638.69 m ²	109217.58 m ³
	Cellule 4	9638.69 m ²	109217.58 m ³
Cellule 5		5990.78 m ²	67875.41 m ³
	Cellule 5	5990.78 m ²	67875.41 m ³
Bureau L1		618.31 m ²	3521.94 m ³
	Bureau L1 rdc	297.64 m ²	1437.62 m ³
	Bureau L1 étage	320.66 m ²	2084.32 m ³
Bureau L2		971.49 m ²	5503.47 m ³
	Bureau L2 rdc	485.74 m ²	2346.14 m ³
	Bureau L2 étage	485.74 m ²	3157.33 m ³
Bureau L3		1356.95 m ²	7687.14 m ³
	Bureau L3 rdc	678.47 m ²	3277.02 m ³
	Bureau L3 étage	678.48 m ²	4410.11 m ³
Cellule 4 mezzanine		2309.91 m ²	15014.42 m ³
	Cellule 4 Mezzanine	2309.91 m ²	15014.42 m ³
Cellule 4 sous mezzanine		2310.92 m ²	11161.77 m ³
	Cellule 4 sous mezzanine 1	2310.92 m ²	11161.77 m ³
Salle de charge		602.06 m ²	2907.97 m ³
	Salle de charge 2	280.62 m ²	1355.40 m ³
	Salle de charge 1	321.44 m ²	1552.57 m ³

3.6 Etats de surface

Les états de surfaces représentent les propriétés de transmission ou d'absorption des flux énergétiques par les parois (conduction, rayonnement...). En l'absence de couleur définie dans le projet, nous considérons les valeurs par défaut suivantes :

Nom	Couleur	Émissivité	Absorptivité	Réfectivité
Face externe type 1	Bardage gris clair	0.90	0.25	0,8
Face externe type 2	Bardage gris foncé	0.90	0.60	0,43
Plancher	Béton	0.88	0.7	0,3
Toiture externe	Etacnhéité noire	0.13	0.80	0,35
Face interne	Acier	0.25	0.22	0,78
Plafond	Acier	0.25	0.22	0,78

4. HYPOTHÈSES DE CALCUL – SOLUTION DE BASE

4.1 Système constructif

Nous résumons dans le tableau ci-dessous les hypothèses de construction retenues pour la modélisation du bâtiment :

A noter que l'ensemble de l'Entrepôt n'est pas soumis à la RT2012.

4.1.1 Composition des parois opaques

4.1.1.1 Dallage sur terre plein

1-Dallage cellule 01	Dalle béton 22cm Non isolé
2-Dallage Cellules 02 & 03	Dalle béton 25cm Non isolé
3-Dallage cellule 04	Dalle béton 17cm Non isolé
4-Dallage cellule 05	Dalle béton 18cm Non isolé
5-Dallage coursive	Dalle béton 15cm Non isolé

4.1.1.2 Couverture

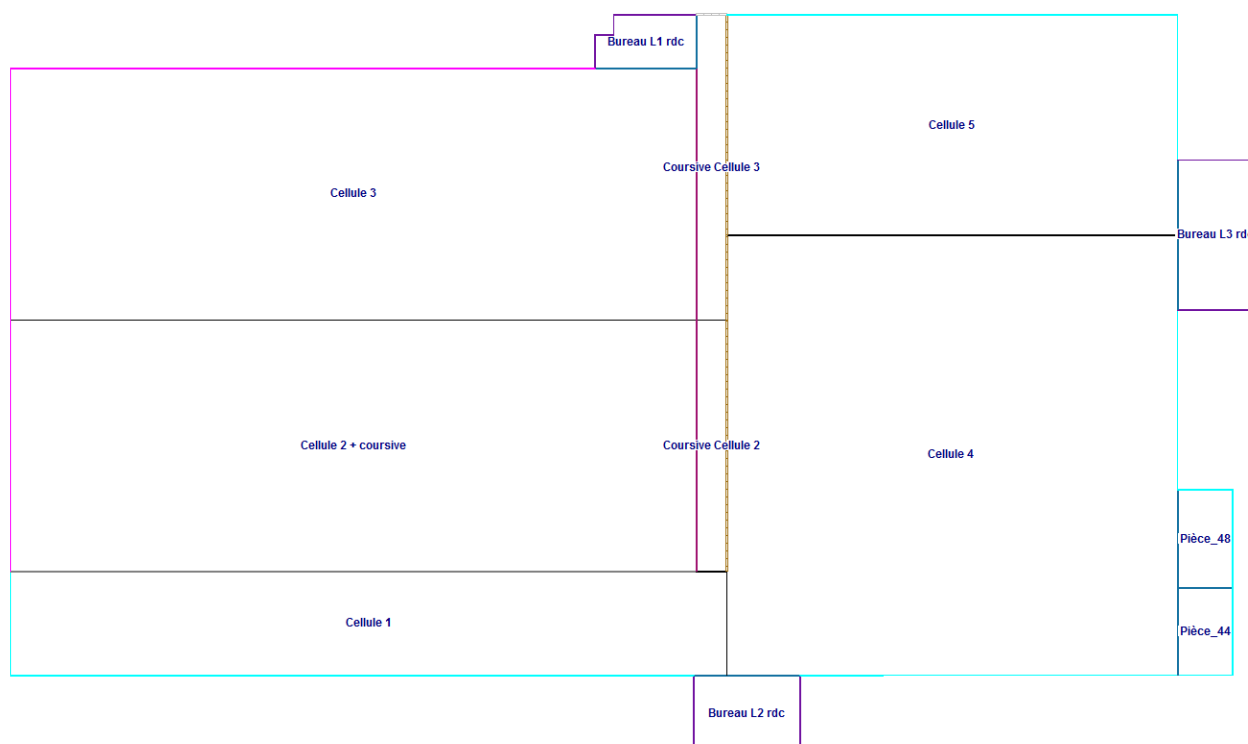
1-Toiture cellule 01	Étanchéité de type bicouche élastomère Isolant d'épaisseur 80mm R= 2,05 m ² .K/W Bac acier
2-Toiture Cellules 02 & 03	Étanchéité de type bicouche élastomère Isolant d'épaisseur 60mm R= 1,50 m ² .K/W Bac acier
3-Toiture Cellules 04 & 05	Étanchéité de type bicouche élastomère Isolant d'épaisseur 120mm R= 3,30 m ² .K/W Bac acier
4-Toiture Coursive	Étanchéité de type bicouche élastomère Isolant d'épaisseur 60mm R= 1,65 m ² .K/W Bac acier

4.1.1.3 Murs extérieurs

Paroi 01 : BARDAGE PANNEAUX SANDWICH CF2h00	Bardage Isolant 120mm laine de roche R= 3,10 m ² .K/W
Paroi 02 : MUR BÉTON CF 2h00	Voile béton 15cm
Paroi 03 : MUR BÉTON CF2h00 + BARDAGE PANNEAUX SANDWICH CF2h00	Voile béton 15cm Isolant 120mm laine de roche R= 3,10 m ² .K/W Bardage
Paroi 04 : BARDAGE DOUBLE PEAU HORIZONTAL	Isolant feutre 100mm R = 2,50 m ² .K/W Bardage

Paroi 05 : MUR SÉPARATIF CF2h00 + BARDAGE DITO CELLULES AU-DESSUS	Maçonnerie épaisseur 20cm CF2h00 BARDAGE
Paroi 06 : MUR SÉPARATIF CF2h00 + BARDAGE DOUBLE PEAU ISOLE	MUR SÉPARATIF CF2h00 Epaisseur : 15cm Isolant feutre 100mm R = 2,50 m².K/W Bardage double peau
Paroi 07 : BARDAGE PANNEAUX SANDWICH CF2h00	Isolant 120mm laine de roche R= 3,10 m².K/W Bardage
Paroi 08 : MUR CF2h00 + BARDAGE SIMPLE PEAU ISOLE	Mur béton épaisseur 15cm, isolant épaisseur 100mm, R = 2,50 m².K/W, Bardage simple peau

Le plan de zonage ci-dessous permet de localiser les différentes parois :

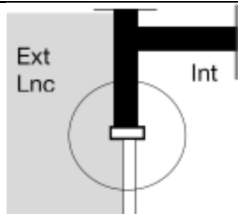
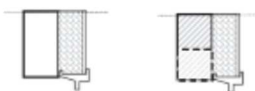
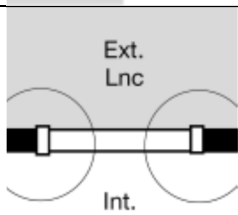



Rez de chaussée
A1328-Paroi type 1 (panneau sandwich)
A1328-Paroi type 2 (mur béton)
A1328-Paroi type 3 (MUR BETON BARDAGE)
A1328-Paroi type 4 (BARDAGE)
A1328-Paroi type 5 (MUR SÉPARATIF)
A1328-Paroi type 6 (MUR SÉPARATIF ISOLE)
A1328-Paroi type 7 (BARDAGE PANNEAU SANDWICH)
A1328-Paroi type 8 (MUR SÉPARATIF ISOLE)
A1328-Paroi type 9 bureau

4.1.2 Traitement des ponts thermiques

Tous les ponts thermiques pris en compte dans le cadre de cette étude sont définis dans le tableau ci-dessous :

Nom	ψ	Type de pont thermique	Illustration
a - Acier-Bardage double peau sur longrine / plancher bas	0.37		
b - Acier- Angle rentrant bardage - bardage	0.47		
b - Acier- Angle sortant bardage - bardage	0.47		
b - Acier- Bardage double peau avec un plancher haut - couverture 60mm	0.69		
b - Acier- Bardage double peau avec un plancher haut - couverture 120mm	0.52		
OB.3.1. Mi1-Me1	0.12		
OB.5.6. Pl12me1 en rideau	0.14		
ITI 5.1.1-Appui déporté et men. nu intérieur-compl. isol. derrière appui	0.13		

ITI 5.2.1-Men. au nu intérieur	0.00		
ITI 5.3.1-Men. au nu intérieur	0.00		

4.1.3 Composition des parois non opaques

4.1.3.1 Menuiseries extérieures

Les menuiseries seront en aluminium châssis à rupture de pont thermique double vitrage classique 4/16/4 à isolation renforcée et remplissage argon, intercalaire thermiquement amélioré.

- $U_w \leq 1,6 \text{ W/m}^2.\text{K}$ moyen,
- $S_w \leq 0.36$ moyen,
- $U_g = 1,00 \text{ W/m}^2.\text{K}$,
- $Tlw \geq 0,56$ moyen,

4.1.3.2 Polycarbonate

Les parties translucides des polycarbonates seront de la gamme ARCOPLUS 547 CRISTAL et auront les caractéristiques ci-dessous :

- $U \leq 1,0 \text{ W/m}^2.\text{K}$
- Facteur solaire : 70%,
- Transmission lumineuse : 65%

Les polycarbonates auront les caractéristiques globales suivantes :

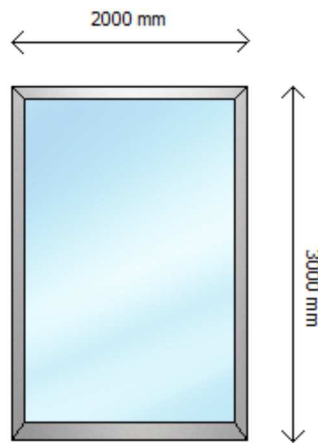
Caractéristiques globales	Coeff U_w ($\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$)	Facteur Solaire S_w
Polycarbonate 22.00x0.80	1.15	0.57
Polycarbonate 82.00x1.20	1.13	0.63
Polycarbonate 22.20x1.0	1.16	0.61
Polycarbonate 81.00x1.20	1.13	0.63
Polycarbonate 27.00x1.2	1.12	0.63
Polycarbonate 101.70x1.20	1.12	0.63

4.1.3.3 Lanterneaux

Les parties translucides des lanterneaux seront les suivants :

- Remplissages de type PCA10 Parois incolores
- $U_t \leq 2,7 \text{ W/m}^2.\text{K}$ et $U_{vert} \leq 2,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$
- Transmission lumineuse : 68% (Td65)
- Facteur solaire : 70% (g)

Les lanterneaux seront de la gamme Bluetek auront les caractéristiques globales suivantes :

Caractéristiques globales		Nombre vitrages	Coeff Uw (W/(m².K))	Facteur Solaire Sw		
		2	2.7	0.58		
Ouverture		Non ouvrable				
	Surface (m²)	% cadre	Uf (W/(m².K))	Facteur solaire Sf		
Cadre	1.12	18.71	2.7	0.06		
	Surface (m²)	% vitrage	Ug (W/(m².K))	Facteur solaire Sg (incidence nulle)	Longueur intercalaire (m)	Ψ intercalaire (W/(m.K))
Vitrage	4.88	81.29	2.70	0.70	9.04	0.060

4.1.3.4 Portes sectionnelles

Portes d'accès de plain-pied :

- Dimensions : 4,00m x 5,00mh,
- Section pleine vitrée sur un panneau
- Coefficient U = 1,6W/m²/K,

Portes sectionnelles de quais :

- Dimensions : 2,70m x 3,00mh,
- Section pleine vitrée sur un panneau,
- Coefficient U = 2,0W/m²/K,

Portes métalliques :

- U = 1,8W/m².K

4.1.4 Gestion des ouvertures :

Afin d'étudier le comportement en été du bâtiment, le renouvellement en air pourra être assuré par la gestion des ouvertures des portes sectionnelles

Les menuiseries extérieures et les polycarbonates seront considérés comme non ouvrables.

Les portes sectionnelles comporteront un cycle d'ouverture équivalent à deux heure par jour pour la mise à quai des marchandises.

4.2 Éléments techniques

4.2.1 Ventilation

Cellules :

Les cellules ne comporteront pas de système de renouvellement d'air hygiénique dans les zones à occupation (cellule 1, 4 et 5) ou de process d'aspiration spécifique.

Les cellules 2 & 3 comportent des grilles à ventelles asservies uniquement pour les entrées d'air désenfumage et il ne sera donc pas tenu compte de ces dispositifs dans l'étude.

Bureaux :

Nous ferons l'hypothèse que l'installation de ventilation mécanique sera de type double flux dans les bureaux (zone soumise à la RT2012). Elle permettra d'assurer les apports d'air neuf hygiénique, la récupération d'énergie sur l'air extrait, la filtration de l'air, le préchauffage de cet air en hiver, le rafraîchissement nocturne par « free-cooling » en été et en mi-saison.

Ils sont récapitulés dans le tableau suivant :

Zone	VMC DF	
	Débit Air extrait (m3/h)	Débit Air soufflé (m3/h)
Bureau L1	750	750
Bureau L2	750	750
Bureau L2	500	500

4.2.2 Éclairage :

L'éclairage des locaux sera le suivant :

Localisation	Appareils d'éclairage	Commande d'éclairage
Cellule 1	Puissance 4 w/m²	Gestion fractionnée de l'éclairage en 4 zones d'éclairage par cellule
Cellule 2	-	Sans gestion
Cellule 3	-	Sans gestion
Cellule 4	Puissance 4 w/m²	Gestion fractionnée de l'éclairage en 4 zones d'éclairage par cellule
Cellule 5	Puissance 4 w/m²	Gestion fractionnée de l'éclairage en 4 zones d'éclairage par cellule
Bureaux	Puissance 6 w/m²	Commande par interrupteur simple allumage

4.2.3 Perméabilité à l'air

L'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment sera définie pour une valeur d'un bâtiment de type entrepôt de stockage soit $Q_4 = 5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$.

5. SIMULATION DYNAMIQUE

5.1 Fichier météo

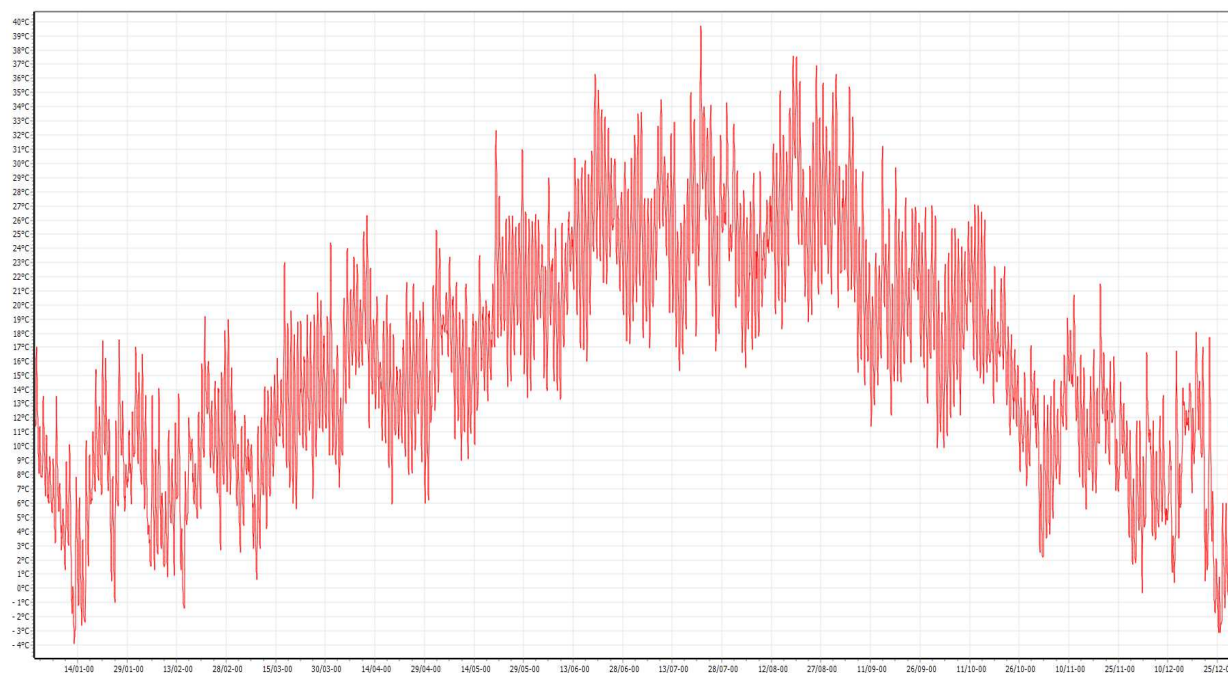
5.1.1 Etude du confort d'été

Le fichier météo utilise **les températures moyennes maximales sur les dernières années** pendant la période estivale pour le site de Toulouse.

Le tableau ci-dessous présente les records de température **maximale** mensuelle pour le site de Toulouse.

	janv.	fev.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	dec.	Toute la période
Temp. Maxi	21,2	24,1	27,1	30	33,9	40,2	40,2	40,7	35,3	31,8	24,3	21,1	40,7
extrême	15- 1955	27- 2019	21- 1990	13- 1949	29- 1943	27- 2019	08- 1982	04- 2003	08- 1966	02- 2011	01- 1968	17- 1987	le 04 août 2003

Ce fichier météo permet de soumettre à des conditions estivales sévères avec un pic de température de 40°C sur un mois mais n'intègre pas les maximales mensuelles sur toute l'année.



Les stations météo intègrent également les données de :

- Vitesse et orientation du vent pour les calculs aérauliques détaillés
- Humidité de l'air extérieur pour les calculs de climatisation
- Température d'eau froide pour la consommation d'ECS
- Position solaire pour la production solaire thermique

5.1.2 Etude des températures en hiver

Le fichier météo utilise **les températures minimales mensuelles sur 10 ans** pour le site de Toulouse.

Le tableau ci-dessous présente les records de température minimale pour le site de Toulouse.

- Température **Mini** moyenne
- Température **Mini** extrême
- Température **Maxi minimale**
- Température **Mini maximale**

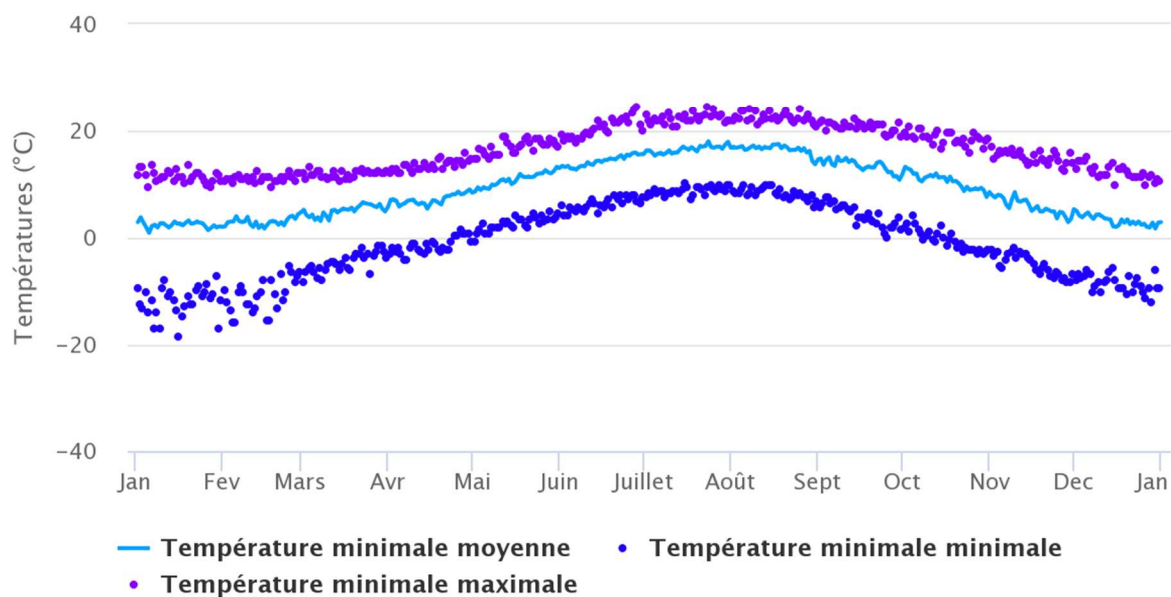
	janv.	fev.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	dec.	Toute la période
Tempé. Mini moyennes	2,4	3	5	7,1	10,9	14,3	16,5	16,5	13,4	10,5	5,8	3,2	9,1
Tempé. Mini extrême	-18,6 16-1985	-19,2 15-1956	-8,4 01-2005	-4,3 06-1911	-0,8 01-1960	4 02-1962	7 17-1922	5,5 30-1986	0 25-1931	-3 29-1949	-8,3 28-1890	-12 28-1962	-19,2 le 15 fev. 1956
Tempé. Maxi minimale	-8,4 08-1985	-9,6 10-1956	-0,8 05-1971	5,3 12-1986	6,9 04-2010	11,2 03-1936	16 01-2012	14,7 30-1938	11,2 28-1932	5,6 28-2018	-0,8 30-1934	-5,2 15-1933	-9,6 le 10 fev. 1956
Tempé. Mini maximale	13,6 19-2007	12,3 13-2017	13,1 03-2007	15,9 28-1987	19 11-1945	24,5 28-2005	24,6 23-2019	24,1 25-2000	22,2 13-1911	20,6 03-1985	16,8 01-1968	15 05-1953	24,6 le 23 juil. 2019

Nous observons que la température maximale minimale est de -9.60°C et la température extrême minimale est de -19.10°C.

L'écart entre ces deux températures est donc important puisqu'il s'élève à 10°C. Les températures extrêmes minimales peuvent seulement survenir lors d'une année exceptionnelle.

Normales journalières de température mini 1981–2010 à Toulouse–Blagnac

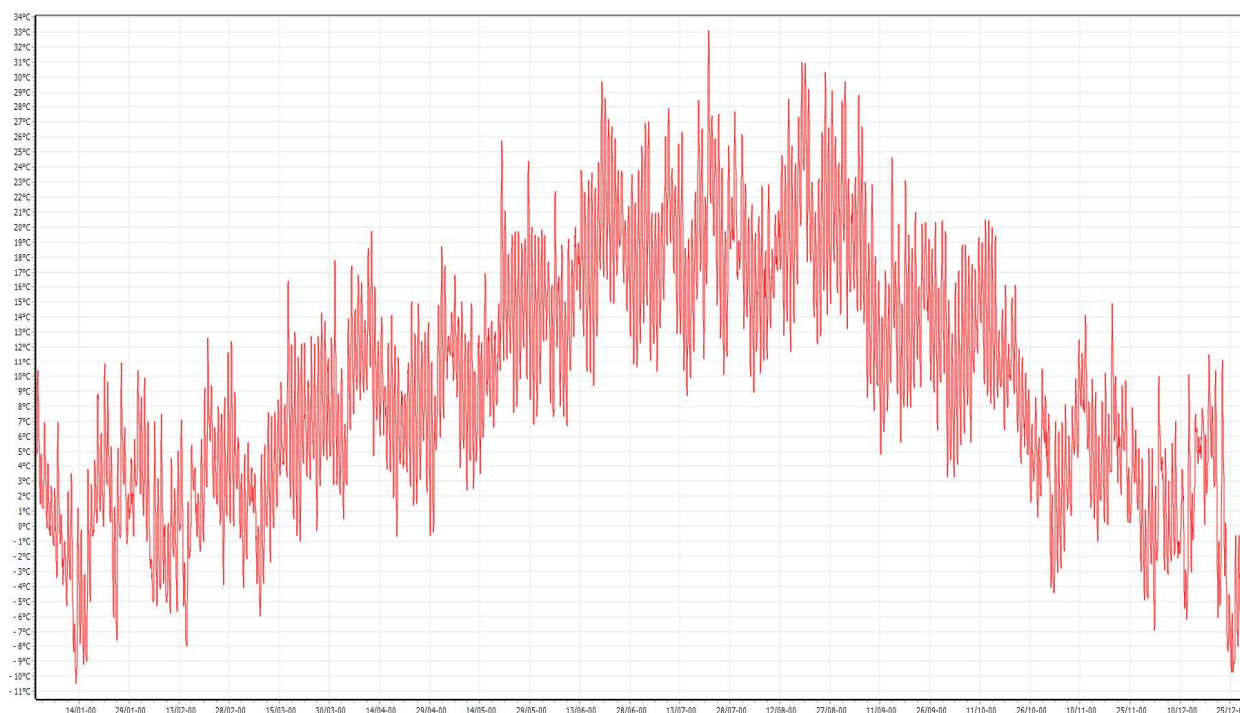
et extrêmes globales 1927–aujourd'hui



infoclimat.fr

L'étude de l'évolution de la température opérative des cellules 2 et 3 ne sera pas réalisée à partir des conditions de température extérieure extrêmes minimales, mais à partir des conditions maximales minimales avec un pic minimal de température d'environ -10°C.

Afin d'étudier de l'évolution de la température opérative des cellules 2 et 3, nous utiliserons donc le fichier météo ci-dessous :



5.2 Hypothèses de calcul et scénarios de fonctionnement

Après avoir saisi l'ensemble du bâtiment suivant la configuration de base (chapitre précédent), nous utiliserons ce modèle pour la suite de l'étude.

Nous procédons à l'ajout des systèmes dynamiques de comportement du bâtiment pour l'étude du confort d'été et du confort d'hiver.

Les effectifs max seront retenus afin d'évaluer le confort d'été du projet dans les conditions estivales défavorables.

5.2.1 Occupation du bâtiment

L'étude est réalisée sur la base des occupations moyennes des différents locaux afin de se rapprocher du fonctionnement réel du bâtiment.

Le planning d'occupation hebdomadaire et annuel pour chaque local est le suivant :

- Planning entrepôt (cellule 1,4,5)

		Hypothèse occupation						
	Planning	L	M	M	J	V	S	D
Planning hebdo	1h							
	2h							
	3h							
	4h							
	5h							
	6h	100% occupation	100% occupation	100% occupation	100% occupation	100% occupation	100% occupation	
	7h							
	8h							
	9h							
	10h							
	11h							
	12h							
	13h							
	14h							
	15h							
	16h							
	17h							
	18h							
	19h							
	20h							
	21h							
	22h							
	23h							

	Planning	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dece
Planning annuel	1	Semaine type 1	Semaine type 1	Semaine type 1	Semaine type 1	Semaine type 1	Semaine type 1	Semaine type 1	Semaine type 1	Semaine type 1	Semaine type 1	Semaine type 1	Semaine type 1
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
	8												
	9												
	10												
	11												
	12												
	13												
	14												
	15												
	16												
	17												
	18												
	19												
	20												
	21												
	22												
	23												
	24												
	25												
	26												
	27												
	28												
	29												
	30												
	31												

• Planning Bureau :

	Planning	Hypothèse occupation						
		L	M	M	J	V	S	D
Planning hebdo	1h							
	2h							
	3h							
	4h							
	5h							
	6h							
	7h							
	8h							
	9h							
	10h							
	11h							
	12h							
	13h							
	14h							
	15h							
	16h							
	17h							
	18h							
	19h							
	20h							
	21h							
	22h							
	23h							

	Planning	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dece
Planning annuel	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
	8												
	9												
	10												
	11												
	12												
	13												
	14												
	15												
	16												
	17												
	18												
	19												
	20												
	21												
	22												
	23												
	24												
	25												
	26												
	27												
	28												
	29												
	30												
	31												

5.2.2 Apports internes

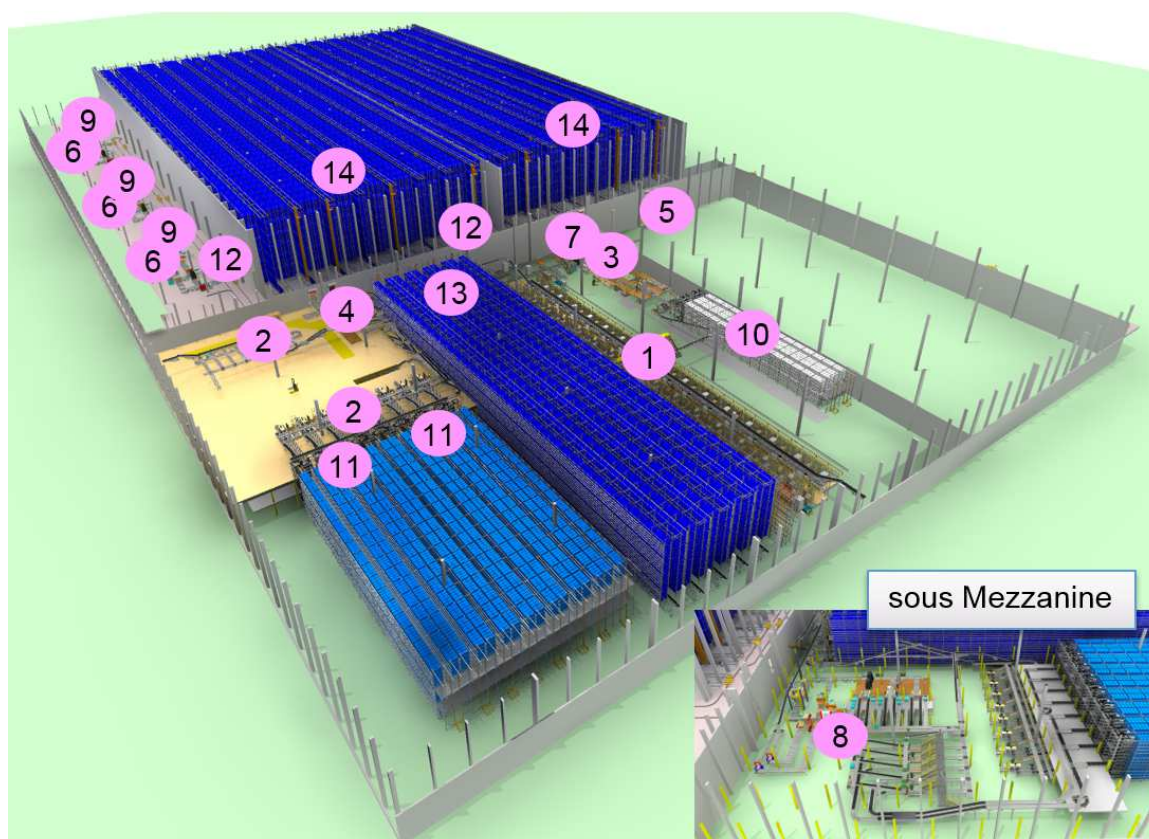
Les charges internes prises en compte dans le logiciel de simulation sont celles liées aux occupants ainsi qu'aux dégagements de chaleur des machines sous forme de chaleur sensible (ordinateurs, écrans, électroménager...).

Pour l'occupation, nous considérons un apport de 80 W dans les bureaux par occupant. Le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble des occupations suivant par local :

Zone	Occupation
Cellule 1	19
Cellule 2	-
Cellule 3	-
Cellule 4	38
Cellule 4 Espace mezzanine	20
Cellule 4 Espace sous mezzanine	20
Cellule 5	12
Bureau L1	30
Bureau L2	30
Bureau L3	20

L'occupation sera modulée en fonction de l'activité associée au planning de chaque local.

Les puissances dissipées par les moteurs électriques des machines seront évaluées dans chaque cellule suivant les bilans de puissance des équipements de mécanisation fournis par l'entreprise Dematic. Les machines seront en fonctionnement en permanence pendant les horaires d'occupation hormis les équipements de type convoyeur qui sont temporisés (bouton marche arrêt). Le plan ci-dessous récapitule la localisation des machines :



Il convient de rappeler qu'une partie de l'énergie absorbée par les moteurs se transforme en chaleur. La puissance thermique dégagée par le moteur est déduite du rendement moteur indiqué par le constructeur et de la puissance motrice par la relation $Q_t = P \cdot ((1/\eta) - 1)$.

Les puissances des machines considérées sont donc les suivantes :

N°	Cellule	Système	Type de produit	Puissance installée	Rendement	Puissance dissipée max
1	Cellule 4	MCS	Remplissage	33 kW	0,7	9,9
2	Cellule 4 mezzanine	MCS	Vidage	140 kW	0,71	40,7
3	Cellule 4	BK-25	Remplissage	69 kW	0,7	20,7
4	Cellule 4 mezzanine	BK-25	Vidage	48 kW	0,69	14,8
5	Cellule 5	BK-25	Ferme	9 kW	0,715	2,5
6	Cellule 1	BK-25	Quai-TK	209 kW	0,76	50,1
7	Cellule 4	Third party equipments	Remplissage	59 kW	0,695	18,0
8	Cellule 4 sous mezzanine	Third party equipments	Vidage	116 kW	0,695	35,2
9	Cellule 1	Third party equipments	Quai-TK	91 kW	0,7	27,3
10	Cellule 4	DMS	Montage	33 kW	0,72	9,2
11	Cellule 4	DMS	Vidage	83 kW	0,72	23,3
12	Cellule 1	Monorail DSB	Monorail	145 kW	0,725	39,8
13	Cellule 4	AS/RS Warehouse	ML	160 kW	0,75	39,9
14	Cellule 3 et 2	AS/RS Warehouse	SRU	935 kW	0,725	257,1

Afin d'obtenir une puissance dissipée moyenne, l'entreprise Dematic nous a également fourni un profil type d'utilisation pour ce type de machine.

N°	Profil d'utilisation	Profil d'utilisation des machines															
		Équipe 1								Équipe 2							
		Heures	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		10%	40%	60%	60%	70%	60%	50%	40%	50%	60%	60%	70%	60%	50%	40%	
1	MCS	1,0	4,0	6,0	6,0	7,0	6,0	5,0	4,0	5,0	6,0	6,0	7,0	6,0	5,0	4,0	
2	MCS	4,1	16,3	24,4	24,4	28,5	24,4	20,4	16,3	20,4	24,4	24,4	28,5	24,4	20,4	16,3	
3	BK-25	2,1	8,3	12,4	12,4	14,5	12,4	10,3	8,3	10,3	12,4	12,4	14,5	12,4	10,3	8,3	
4	BK-25	1,5	5,9	8,9	8,9	10,4	8,9	7,4	5,9	7,4	8,9	8,9	10,4	8,9	7,4	5,9	
5	BK-25	0,3	1,0	1,5	1,5	1,8	1,5	1,3	1,0	1,3	1,5	1,5	1,8	1,5	1,3	1,0	
6	BK-25	5,0	20,0	30,1	30,1	35,1	30,1	25,1	20,0	25,1	30,1	30,1	35,1	30,1	25,1	20,0	
7	Third party equipments	1,8	7,2	10,8	10,8	12,6	10,8	9,0	7,2	9,0	10,8	10,8	12,6	10,8	9,0	7,2	
8	Third party equipments	3,5	14,1	21,1	21,1	24,7	21,1	17,6	14,1	17,6	21,1	21,1	24,7	21,1	17,6	14,1	
9	Third party equipments	2,7	10,9	16,4	16,4	19,1	16,4	13,6	10,9	13,6	16,4	16,4	19,1	16,4	13,6	10,9	
10	DMS	0,9	3,7	5,5	5,5	6,4	5,5	4,6	3,7	4,6	5,5	5,5	6,4	5,5	4,6	3,7	
11	DMS	2,3	9,3	14,0	14,0	16,3	14,0	11,7	9,3	11,7	14,0	14,0	16,3	14,0	11,7	9,3	
12	Monorail DSB	4,0	15,9	23,9	23,9	27,9	23,9	19,9	15,9	19,9	23,9	23,9	27,9	23,9	19,9	15,9	
13	AS/RS Warehouse	4,0	16,0	23,9	23,9	27,9	23,9	20,0	16,0	20,0	23,9	23,9	27,9	23,9	20,0	16,0	
14	AS/RS Warehouse	25,7	102,8	154,2	154,2	179,9	154,2	128,5	102,8	128,5	154,2	154,2	179,9	154,2	128,5	102,8	

5.2.3 Fonctionnement des systèmes techniques : chauffage

- Planning de chauffage hebdomadaire, correspondant à l'occupation du bâtiment.

Entrepôt (cellules) :

Les cellules ne seront pas maintenues en température par un système de chauffage.

Cellule 1 : hors gel au minima, pas de rafraîchissement

Cellules 2 et 3 : hors gel,

Cellule 4, zone mezzanine en R+1: hors gel,

Cellule 5 : hors gel

Bureaux :

Chauffage condition normale : 19 °C

Chauffage condition partielle : 17 °C

	Zone	Bureau						
	Planning	L	M	M	J	V	S	D
Planning hebdo	1h	17°C	17°C	17°C	17°C	17°C	17°C	17°C
	2h							
	3h							
	4h							
	5h							
	6h							
	7h							
	8h	19°C	19°C	19°C	19°C	19°C	19°C	
	9h							
	10h							
	11h							
	12h							
	13h							
	14h							
	15h							
	16h							
	17h							
	18h	17°C	17°C	17°C	17°C	17°C	17°C	
	19h							
	20h							
	21h							
	22h							
	23h							

- Planning de chauffage annuel, correspondant à l'occupation du bâtiment.

	Planning	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dece
Planning Chauffage	1	Chauffage Fonctionnement	Chauffage Fonctionnement	Chauffage Fonctionnement	Chauffage Fonctionnement	Chauffage Fonctionnement	Chauffage Arret	Chauffage Arret	Chauffage Arret	Chauffage Arret	Chauffage Fonctionnement	Chauffage Fonctionnement	Chauffage Fonctionnement
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
	8												
	9												
	10												
	11												
	12												
	13												
	14												
	15												
	16												
	17												
	18												
	19												
	20												
	21												
	22												
	23												
	24												
	25												
	26												
	27												
	28												
	29												
	30												
	31												

La période de chauffe définie dans le cadre de cette étude s'étale du 15 octobre au 15 mai.

5.2.4 Fonctionnement des systèmes techniques : climatisation

- Planning horaire : Fonctionnement en permanence

Entrepôt (cellules) :

Les cellules ne seront comporteront pas de système de rafraîchissement

Bureaux :

Climatisation condition normale : 26 °C

5.2.5 Fonctionnement des systèmes techniques : ventilation

- Planning de ventilation hebdomadaire, correspondant à l'occupation du bâtiment.

Bureaux :

	Zone	Bureau						
	Planning	L	M	M	J	V	S	D
Planning hebdo	1h	Arrêt ventilation	Arrêt ventilation	Arrêt ventilation	Arrêt ventilation	Arrêt ventilation	Arrêt ventilation	Arrêt ventilation
	2h							
	3h							
	4h							
	5h							
	6h							
	7h							
	8h	Fonctionnement ventilation	Fonctionnement ventilation	Fonctionnement ventilation	Fonctionnement ventilation	Fonctionnement ventilation	Fonctionnement ventilation	
	9h							
	10h							
	11h							
	12h							
	13h							
	14h							
	15h							
	16h							
	17h							
	18h	Arrêt ventilation	Arrêt ventilation	Arrêt ventilation	Arrêt ventilation	Arrêt ventilation	Arrêt ventilation	
	19h							
	20h							
	21h							
	22h							
	23h							

- Planning de ventilation annuel, correspondant à l'occupation du bâtiment.

La ventilation sera en fonctionnement toute l'année.

5.2.6 Fonctionnement des systèmes techniques : éclairage

Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs des niveaux d'éclairement définis dans cette étude :

Désignation	Éclairage moyen Em en Lux
Cellule 1	250 lux (sur plan de travail à hauteur 1m)
Cellule 2 et 3	-
Cellule 4 et 5	150 lux dans les allées de rack, 250 lux dans les zones de préparation
Cellule 4 mezzanine	250 lux
Bureaux	500 lux

Le fonctionnement de l'éclairage est asservi à l'occupation du bâtiment.

5.2.7 Fonctionnement des systèmes techniques : Occultation

Les menuiseries des cellules ne comportent pas de protection solaire.

6. RÉSULTAT DE LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

Dans un premier temps, nous allons simuler le bâtiment sur une année complète afin d'analyser les données permettant de :

- Étudier le confort d'été pour les occupants de la zone mezzanine dans la cellule 4.
- Vérifier que le bâtiment ne sera pas soumis à une température insuffisante afin de maintenir les cellules 2 et 3 en condition de hors gel pendant la saison hivernale.

Dans les prochains chapitres, nous étudierons les différentes zones à travers des propositions d'optimisation par rapport au projet de référence permettant de réduire les surchauffes dans la cellule 4 et d'éviter une dérive trop importante des températures dans les cellules 2 et 3.

Dans le cas présent, nous avons étudié une référence avec l'intégration des différentes hypothèses de fonctionnement du bâtiment.

6.1 Étude du confort d'été de la cellule 4

6.1.1 Évaluation du confort d'été

Le confort thermique se définit comme la satisfaction exprimée à l'égard de l'ambiance thermique du milieu environnant.

Les sensations thermiques de l'homme sont liées principalement à l'équilibre thermique du corps dans son ensemble. Cet équilibre est influencé par son activité physique et par son vêtement ainsi que par les paramètres de l'environnement : température de l'air, température moyenne de rayonnement, vitesse de l'air et humidité de l'air.

La simulation thermique dynamique permet d'établir l'évaluation de la température opérative d'une zone. La température opérative représente une moyenne entre la température ambiante dans laquelle est situé l'occupant et la température de surface des différentes parois composant le milieu. Elle tient compte des échanges liés aux phénomènes d'échange calorifique par convection et rayonnement. Cette étude permet donc d'établir la température résultante moyenne et n'a pas vocation à définir la température localisée à un point précis.

Il convient en outre de rappeler que le confort est une notion personnelle et subjective : la température optimale de confort n'est pas identique pour chaque individu d'une population placée dans une ambiance thermique.

6.1.2 Critère de confort d'été

Nous avons soumis le projet à des conditions estivales sévères. Le fichier météo défini utilise les températures maximales mensuelles sur les trois dernières années pour la période estivale (de mai à septembre). Le projet n'est cependant pas soumis à des conditions de canicule.

Nous allons vérifier les conditions de confort thermique du bâtiment en période estivale. Dans cet objectif, nous avons donc fixé les critères d'analyse de confort d'été :

- Pour les zones à occupation continue, une température résultante dans les espaces à occupation prolongée ne dépassant pas 28°C plus de 2% du temps d'occupation dans l'année.

Autres paramètres de simulation :

- Les surchauffes sont estimées durant toute l'année

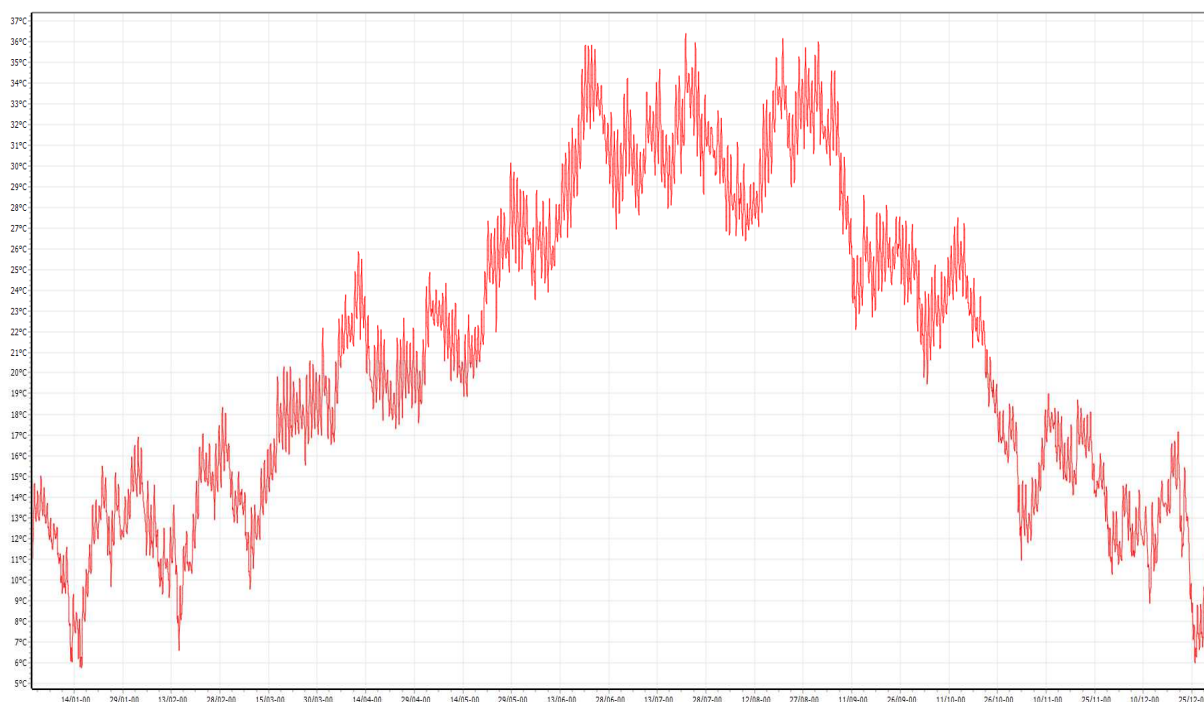
Dans un souci de lisibilité, nous introduisons un autre critère d'estimation des surchauffes : c'est le **nombre d'heures** de température résultante $>28^{\circ}\text{C}$ sur la période d'occupation.

6.1.3 Résultats de la simulation

Nous affichons le nombre d'heures de surchauffe résultante de 28°C de la zone mezzanine de la cellule 4 pour la simulation de base dans le tableau suivant :

Zone	Inconfort au-dessus de 28°C	
	Taux d'inconfort (%)	Heures $> T^{\circ}$ inconfort (h)
Cellule 4 mezzanine	23 %	1035 h
Cellule 4 sous mezzanine	22 %	978 h

Le graphique ci-dessous représente l'évolution de la température annuelle de la cellule 4 mezzanine:

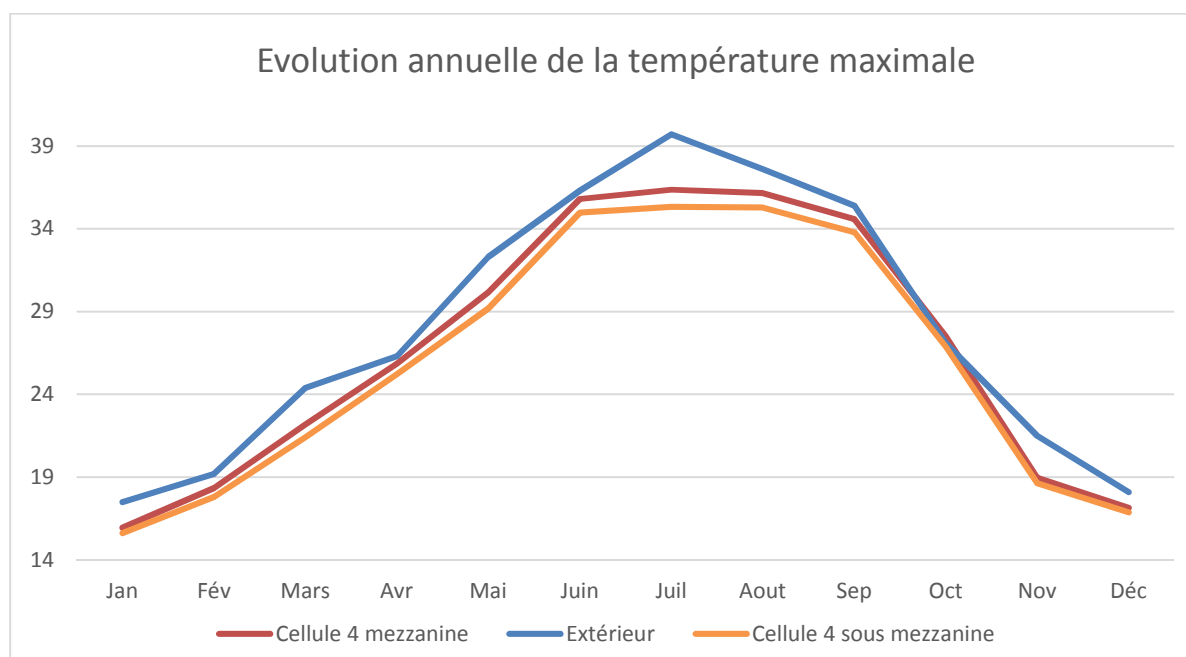


Observations :

La mezzanine de la cellule 4 mezzanine présente des risques importants de surchauffe avec un taux d'inconfort de 23%.

Le tableau affiché ci-dessous représente la répartition annuelle des températures maximales :

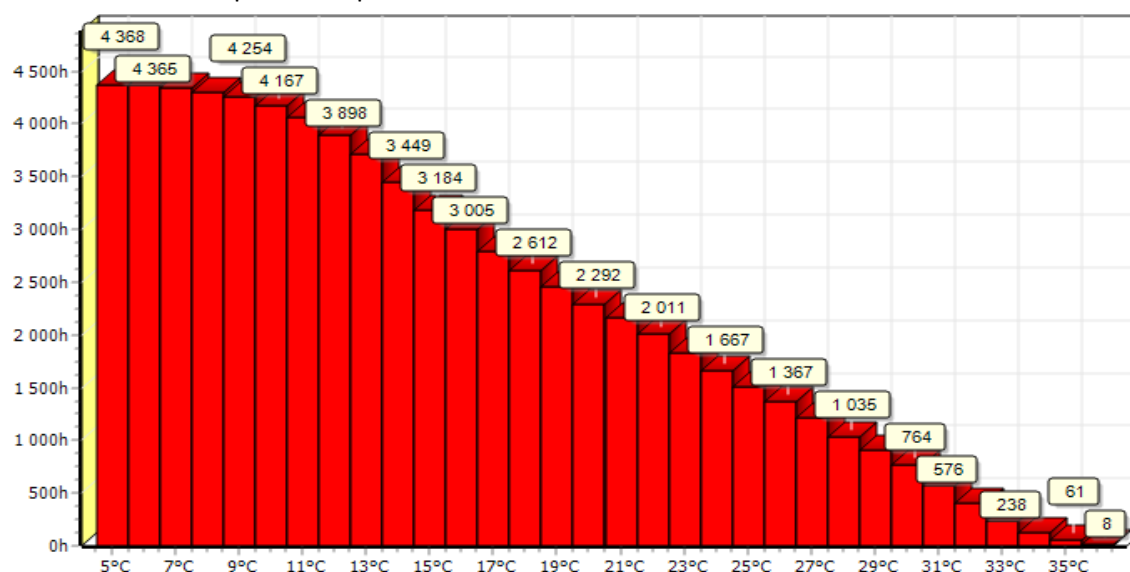
Zone	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Cellule 4 mezzanine	15.95	18.35	22.20	25.87	30.16	35.82	36.38	36.16	34.60	27.53	18.97	17.16
Cellule 4 sous mezzanine	15.63	17.81	21.43	25.23	29.20	34.98	35.33	35.30	33.80	26.89	18.64	16.89
Extérieur	17.51	19.21	24.41	26.31	32.31	36.31	39.71	37.61	35.41	27.11	21.51	18.11



L'évolution de la courbe des températures résultantes maximales de la mezzanine de la cellule 4 est très semblable à celle de l'évolution de la température maximale extérieure sur une année. Nous constatons également l'absence de déphasage entre ces deux courbes, ceci s'explique par la faible inertie du bâtiment lié à la structure de bâtiment principalement constituée de parois légères bardage. L'inertie thermique d'un bâtiment est la capacité d'un matériau à emmagasiner de la chaleur (ou du froid) pour le restituer ensuite progressivement. Plus un matériau est lourd et compact, plus il a une inertie thermique importante.

Conclusion :

Les critères de confort d'été ne sont donc pas respectés pour la zone mezzanine de la cellule 4. Nous proposerons des optimisations pour l'ensemble de ces zones afin de satisfaire à l'objectif fixé soit un taux de surchauffe au-dessus de 28°C inférieurs à 2% du temps d'occupation dans l'année. Le graphique ci-dessous permet de visualiser plus précisément la répartition des heures au-dessus des différentes températures pour la zone suivante :



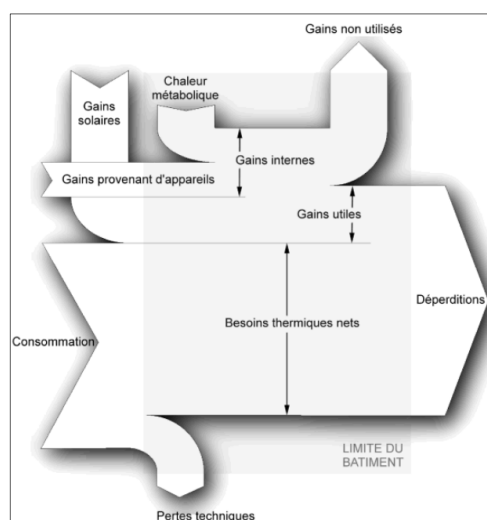
6.1.4 Analyse du confort d'été

6.1.4.1 Répartition des apports

Nous réalisons un diagramme de Sankey de façon à vérifier l'impact de chaque flux énergétique.

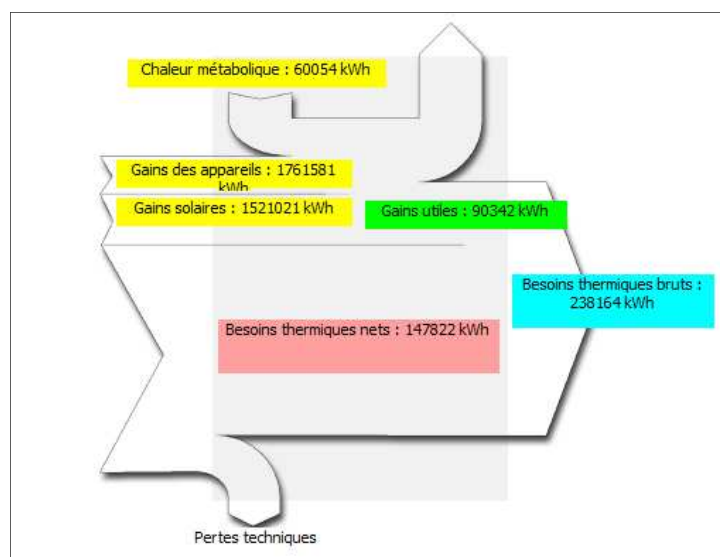
Ce diagramme est en effet un indicateur fiable permettant de visualiser le comportement du bâtiment et permet d'analyser la répartition des apports afin de prévenir les risques de surchauffe.

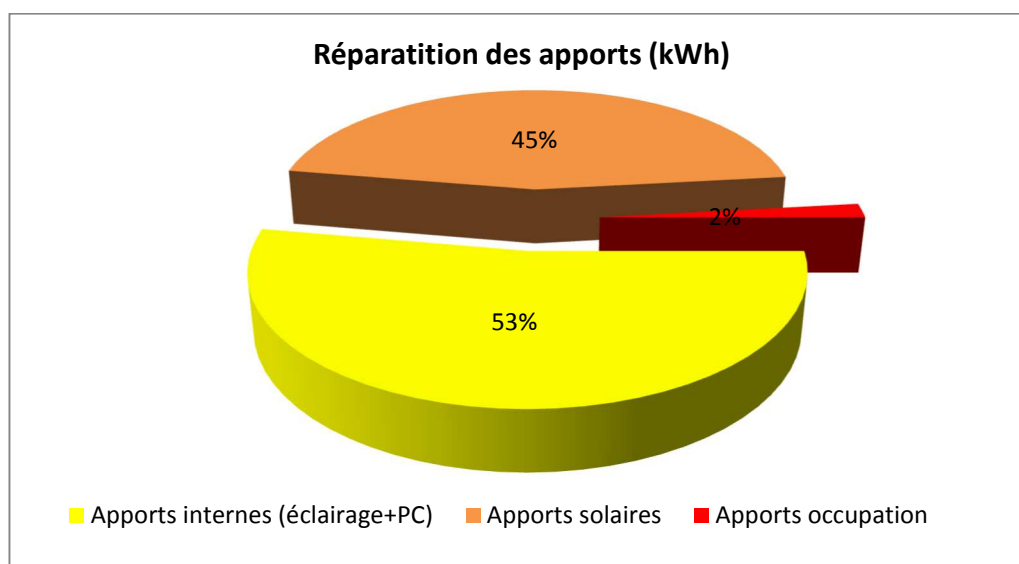
Le diagramme se présente suivant le principe ci-dessous :



Selon les cas et les périodes de l'année, les gains de chaleur ne sont pas toujours utiles. Par exemple, il arrive que même en hiver, les gains de chaleur dus aux apports solaires surviennent lorsque la température de consigne est déjà atteinte. La disponibilité de ces gains est donc décalée par rapport au besoin réel. C'est pour tenir compte de ce phénomène qu'un rendement d'utilisation des gains et des pertes est calculé. Celui-ci dépendra de la proportion pertes/gains et de la classe de masse thermique du bâtiment (inertie du bâtiment).

Sur notre projet, la répartition des apports est la suivante :





Observations :

Les apports internes et les apports solaires représentent les principaux postes dégageant de la chaleur.

- Les gains solaires correspondent à une part importante des apports totaux. De plus, les lanterneaux représentent 77% de la surface totale des parois translucides et baies vitrées.

Paroi non opaque (hors zone bureau)			
Orientation	Inclinaison	Surface	Pourcentage
Horizontal	0	2089	76,90%
Vertical ouest	90	44,4	1,63%
Vertical sud	90	331,61	12,21%
Vertical Est	90	129,6	4,77%
Toiture nord	90	122,04	4,49%
Total		2716,65	

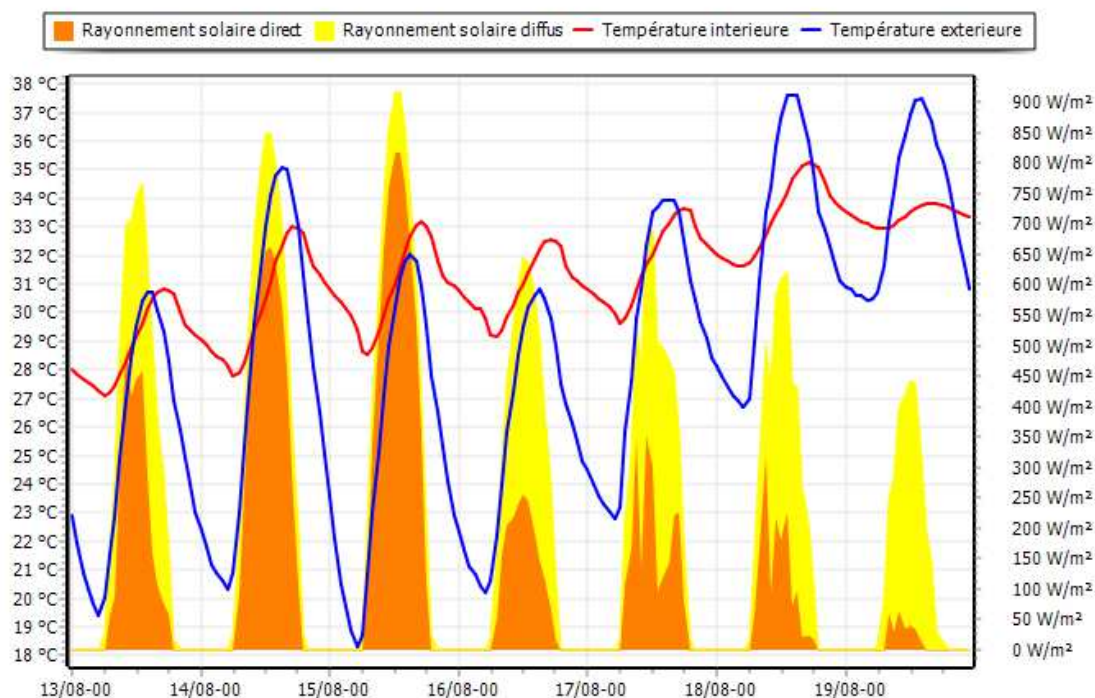
- Les apports internes sont élevés en raison des puissances importantes dissipées par les moteurs des équipements des différentes cellules.

Conclusions :

Le bâtiment est en surchauffe puisque la somme des apports solaires et équipements est largement supérieure aux gains utiles que le bâtiment peut absorber. Dans des conditions de température sévères, le bâtiment ne parvient donc pas à évacuer efficacement la chaleur en été.

6.1.4.2 Graphique de température

Nous représentons sur le graphique l'évolution des températures pendant la semaine la plus chaude de l'année pour la zone mezzanine de la cellule 4 ci-dessous :



Observations :

Le graphique traduit une montée en température quotidienne des zones sur une semaine très chaude.

L'évolution de la courbe de température intérieure est similaire à celle de la température extérieure. La température extérieure représentée en bleue évolue avec un maximum de 35°C sur la journée du samedi. La variation entre températures le matin et en fin de journée atteint une amplitude moyenne de 10°C.

Nous observons la température intérieure résultante de la zone en rouge, l'augmentation progressive de cette température tout au long de la semaine pour atteindre un maximum de 35°C le samedi en fin d'après-midi. Nous remarquons également que le pic de température extérieure maximum atteint ce jour dépasse celui de la température intérieure. Nous n'observons donc pas de déphasage entre les deux courbes en raison de la faible l'inertie du bâtiment.

Par ailleurs, la chaleur accumulée n'est pas totalement évacuée pendant la nuit : la température, le matin, augmente progressivement de jour en jour.

Conclusion :

Dans des conditions de température sévères, le bâtiment ne parvient donc pas à évacuer efficacement la chaleur en été en raison des apports solaires et internes trop importants.

6.1.4.3 Courbes de Confort

Le confort est une notion personnelle et subjective : la température optimale de confort n'est pas identique pour chaque individu d'une population placée dans une ambiance thermique. De plus,

notre expérience nous permet d'affirmer qu'une température de 28°C ou encore de 26°C peut être élevée pour certains individus.

Le principe du confort adaptatif établit des plages de confort susceptibles de varier selon la capacité d'action de l'occupant, l'historique météorologique, l'intégration de l'habillement et de l'activité dans les représentations traditionnelles.

Les paramètres nécessaires pour l'évaluation du confort thermique avec cette méthode sont les suivants

- La température opérative (Top) : température intérieure en période d'occupation qui tient compte principalement de la température de l'air, du rayonnement thermique et de la vitesse de l'air ;
- La température extérieure (Text).

La simulation permet d'afficher les graphiques de la zone de Brager, cet indicateur supplémentaire permet de donner une image de l'évolution de la température intérieure en fonction de la température extérieure du moment.

La zone de Brager définit une zone de confort de 5°C de largeur qui correspond en réalité à 90% de personnes insatisfaites par la température de résultante. Chaque point représente une heure, s'il est situé entre ces 2 limites, le confort est assuré. Ainsi, la température de confort évolue en fonction de la température extérieure.



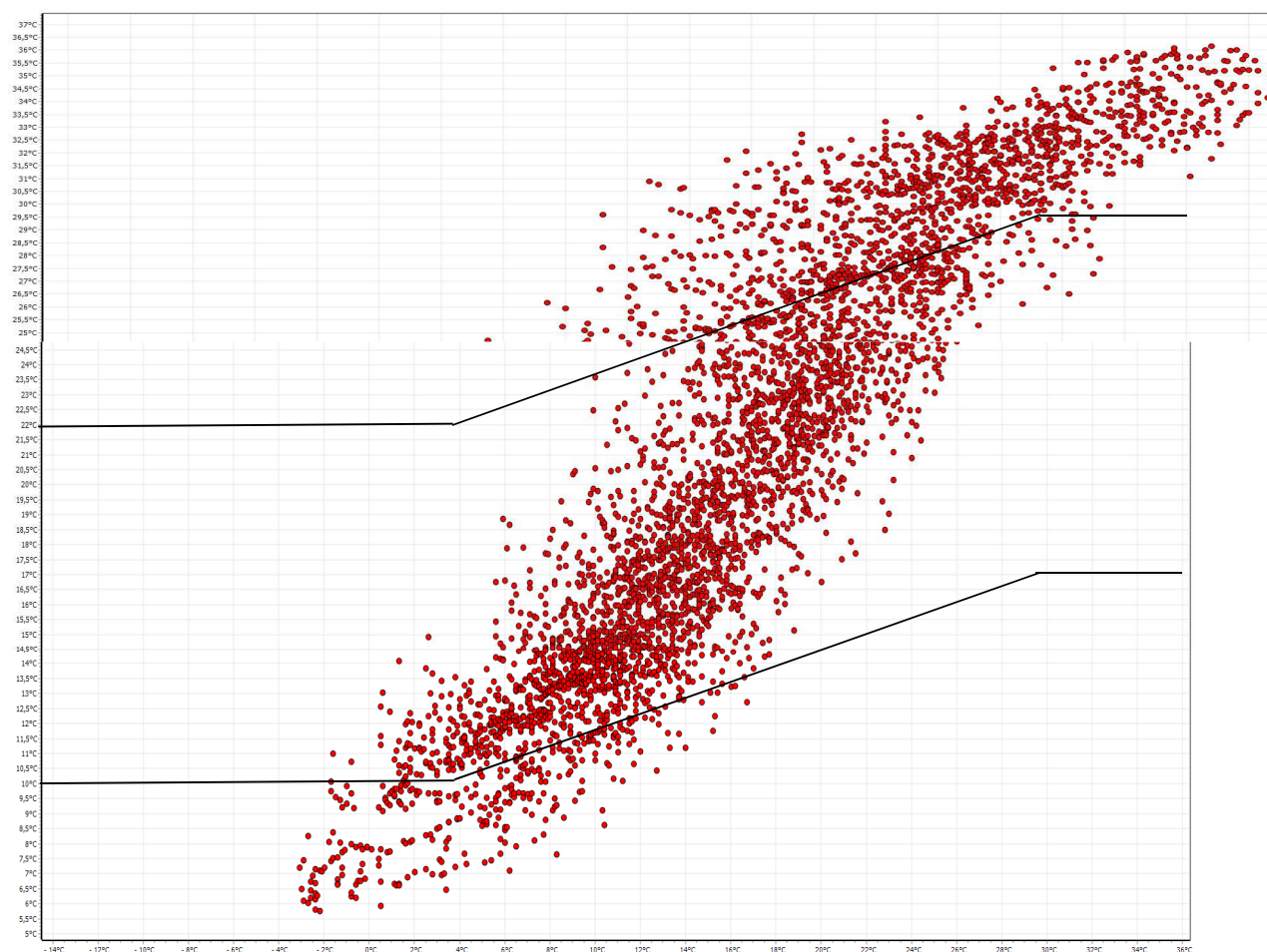
Nous représentons le graphique de la zone de Brager pour la mezzanine de la cellule 4.

Dans le cadre d'un bâtiment de stockage, nous pourrions établir une zone de confort plus large de 12°C de largeur entre la limite haute et basse.

Observations :

Nous remarquons que le nombre de points est important au-dessus de la limite de confort haute :

- Pourcentage de confort non atteint pour la zone mezzanine de la cellule 4. : 66.44 %



Conclusion :

Nous proposerons des optimisations dans le chapitre suivant afin de réduire les dépassements de température dans la zone affectée.

6.2 Étude de l'évolution des températures des cellules 2 et 3

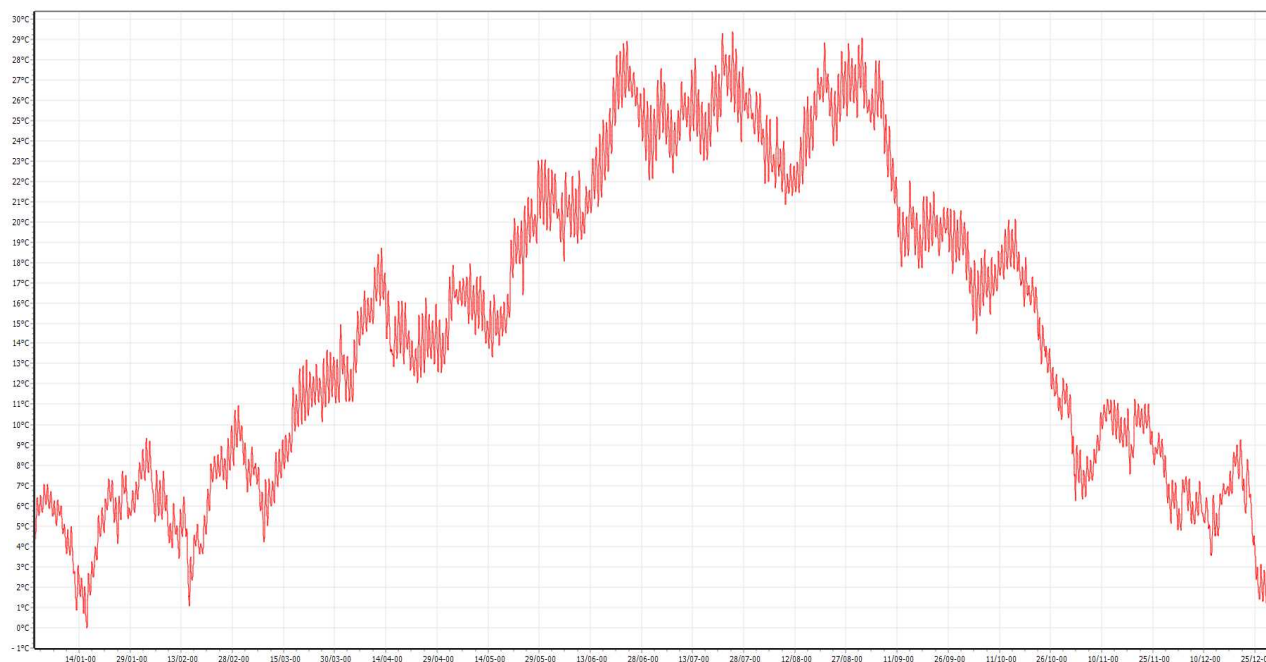
6.2.1 Introduction

Le but de cette partie est de vérifier que le bâtiment ne sera pas soumis à une température insuffisante afin de maintenir les cellules 2 et 3 en condition de hors gel pendant la saison hivernale. Dans cet objectif, l'étude permet d'établir l'évaluation de la température opérative de la zone représentant une moyenne entre la température ambiante dans laquelle est situé l'occupant et la température de surface des différentes parois composant le milieu. Cette étude permet donc d'établir la température résultante moyenne et n'a pas vocation à définir la température localisée à un point précis.

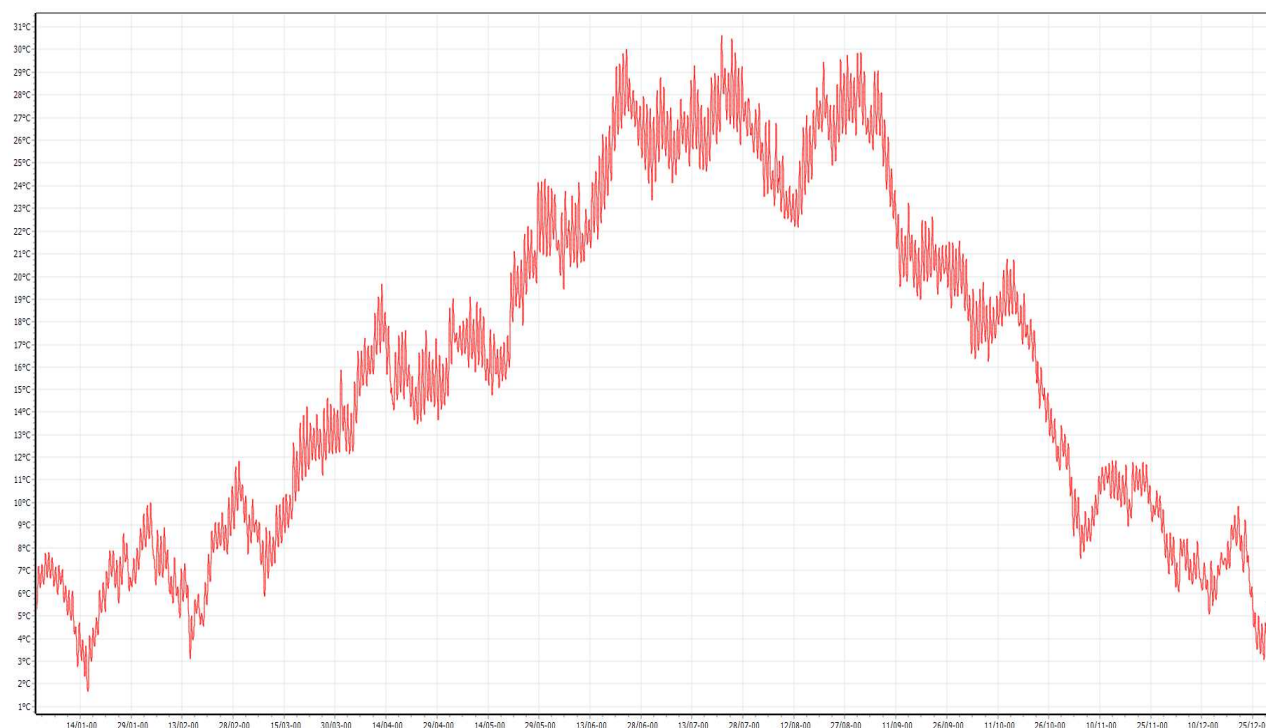
6.2.2 Résultats de la simulation

Les graphiques ci-dessous représentent l'évolution de la température résultante annuelle des cellules 2 et 3 :

Évolution annuelle température opérative cellule 2 :

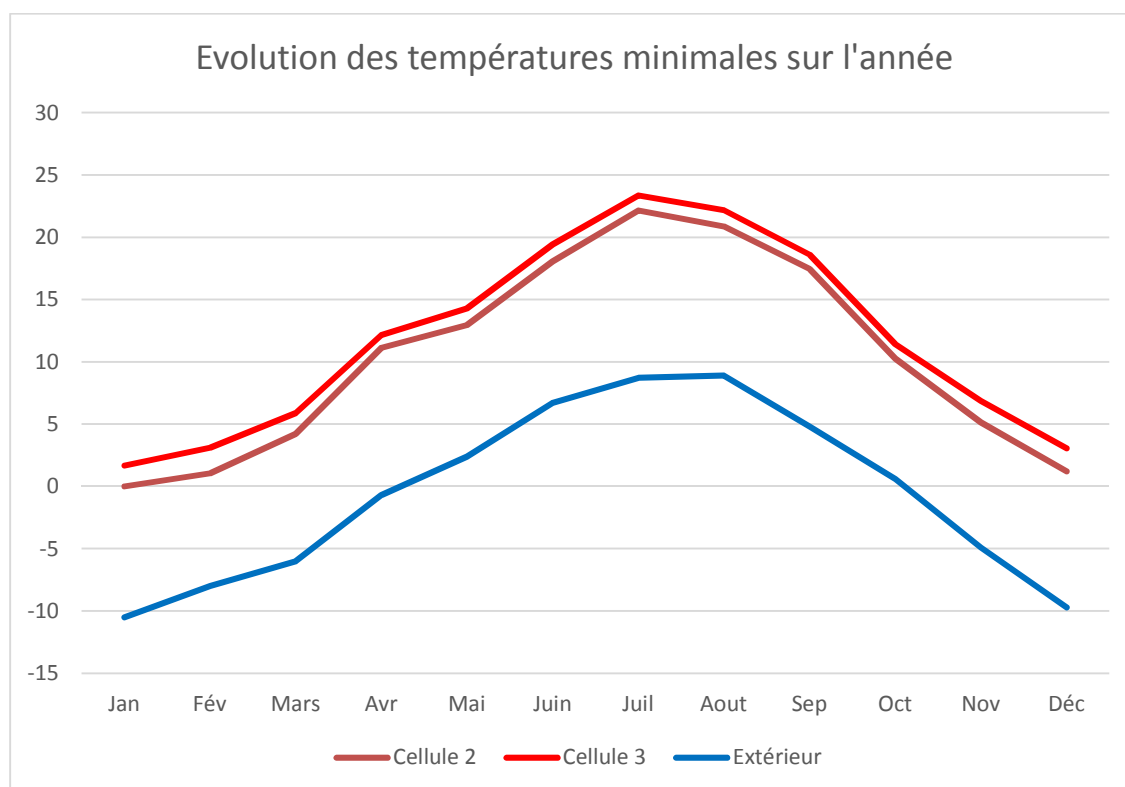


Ecolution annuelle température opérative cellule 3 :



Le tableau affiche ci-dessous représente la répartition annuelle des températures minimales :

Zone	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
Cellule 2	0.10	1.07	4.23	11.13	12.97	18.08	22.15	20.87	17.46	10.26	5.16	1.21
Cellule 3	1.69	3.12	5.89	12.17	14.31	19.45	23.38	22.18	18.62	11.43	6.87	3.07
Extérieur	-10.49	-7.99	-5.99	-0.69	2.41	6.71	8.71	8.91	4.81	0.61	-4.89	-9.69



6.2.3 Conclusion :

- La température résultante minimale atteinte dans la cellule 2 s'élève à 0.1°C pendant le mois de janvier.
- La température résultante minimale atteinte dans la cellule 3 s'élève à 1.69°C pendant le mois de janvier.

7. OPTIMISATIONS DU PROJET

7.1 Introduction

L'objectif de cette partie est d'évoquer des pistes d'optimisations afin d'apporter des améliorations au projet au niveau du confort d'été. Pour cela, nous allons évoquer des pistes d'amélioration en nous rendant compte de l'impact sur le confort d'été dans la mezzanine de la cellule 4 et elles seront comparées au projet de base.

Nous allons étudier l'impact des modifications suivantes :

- **Optimisation 1** : Remplissages des lanterneaux zénithaux et désenfumage de type PCA10 opale avec un coefficient de transmission lumineuse 61% (Td65) et facteur solaire 63% (g).
- **Optimisation 2** : Remplissages des lanterneaux zénithaux et désenfumage de type PCA16 opale avec un coefficient de transmission lumineuse 52% (Td65) et facteur solaire 54% (g).
- **Optimisation 3** : Remplissages des lanterneaux zénithaux et désenfumage de type PCA16 calor control avec un coefficient de transmission lumineuse 23% (Td65) et facteur solaire 31% (g).
- **Optimisation 4** : Remplacement de l'étanchéité de type bicouche élastomère auto-protégé de couleur noire par une membrane PVC de couleur gris clair.
- **Optimisation 5** : Mise en place d'une ventilation mécanique assurant un débit de 3 vol/h
- **Optimisation 6** : Mise en place d'une ventilation mécanique assurant un débit de 5 vol/h
- **Optimisation 7** : Mise en place d'une centrale de traitement d'air (débits 5 vol/h) équipée d'une batterie froide afin d'assurer le rafraîchissement de la mezzanine de la cellule 4 (puissance froid dimensionnée sur la base de 5 W/m3) en réduisant de quelques degrés la température de soufflage.
- **Optimisation 8** : Mise en place d'une centrale de traitement d'air (débits 5 vol/h) équipée d'une batterie froide afin d'assurer le rafraîchissement de la mezzanine de la cellule 4 (**puissance froid dimensionnée sur la base de 15 W/m3**) en réduisant de quelques degrés la température de soufflage.
- **Optimisation 9** : Ventilation naturelle par ouverture des lanterneaux de désenfumage par commande manuelle pendant l'été.
- **Optimisation 10** : Augmentation de l'épaisseur de l'isolation de la toiture bac acier de la cellule 4.

Nous allons proposer également des optimisations sur les cellules 2 et 3 pendant la saison hivernale afin d'étudier l'évolution des températures :

- **Optimisation 1** : Fonctionnement des équipements des cellules 2 et 3 en dehors des horaires d'occupation pendant les trois mois les plus froids (décembre, janvier et février) en régime établi.

Dans un premier temps, nous présentons les différentes variantes, les résultats seront présentés plus tard dans un tableau global.

Les optimisations sont indépendantes les unes des autres, le point de départ d'une variante est le modèle de base.

7.2 Proposition d'optimisation Cellule 4

7.2.1 Optimisation 1 : Lanterneau avec remplissage de type PCA10 opale

7.2.1.1 Description de l'optimisation

Nous proposons de remplacer le remplissage de type PCA10 Parois incolores des lanterneaux situés dans la cellule 4 (y compris mezzanine), par un remplissage de type PCA10 opale ou équivalent.

Caractéristiques :

- $U_t \leq 2,7W/m^2.K$ et $U_{vert} \leq 2,5W/m^2.K$
- Transmission lumineuse : 61% (Td65)
- Facteur solaire : 63% (g)

Ce produit est bon compromis afin de conserver une valeur élevée de facteur transmission lumineuse.

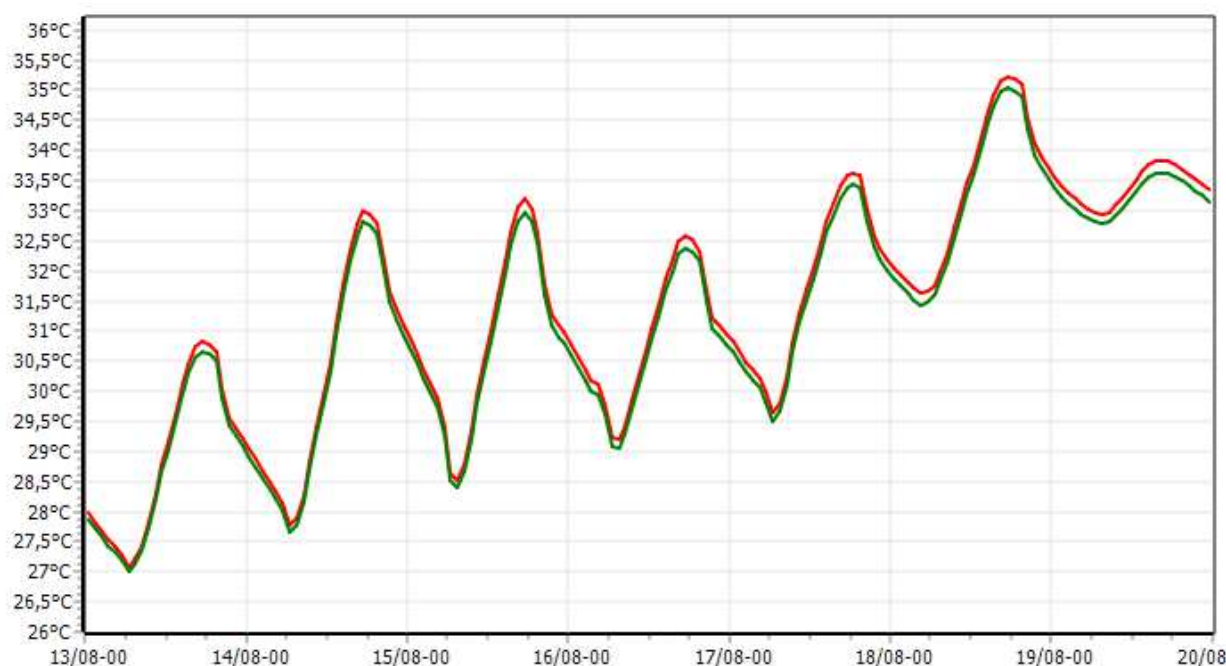
7.2.1.2 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats du taux d'inconfort (%) et du nombre Heures au-dessus de 28°C :

	Inconfort au-dessus de 28°C			
Zone	Cellule 4 Mezzanine		Cellule 4 sous Mezzanine	
	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)
Base	23 %	1035 h	22 %	978 h
Optimisation 1	22 %	1008 h	21 %	960 h

7.2.1.3 Graphique de températures

Le graphique ci-dessous permet de comparer l'évolution de la température de la base en rouge et de l'optimisation en vert pendant la semaine la plus chaude :



7.2.2 Optimisation 2 : Lanterneau avec remplissage de type PCA16 opale

7.2.2.1 Description de l'optimisation

Nous proposons de remplacer le remplissage de type PCA10 Parois incolores des lanterneaux situés dans la cellule 4 (y compris mezzanine), par un remplissage de type PCA16 opale ou équivalent.

Caractéristiques :

- $U_t \leq 2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ et $U_{\text{vert}} \leq 1.9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Transmission lumineuse : 52% (Td65)
- Facteur solaire : 54% (g)

Ce produit est bon compromis afin de conserver une valeur élevée de facteur transmission lumineuse.

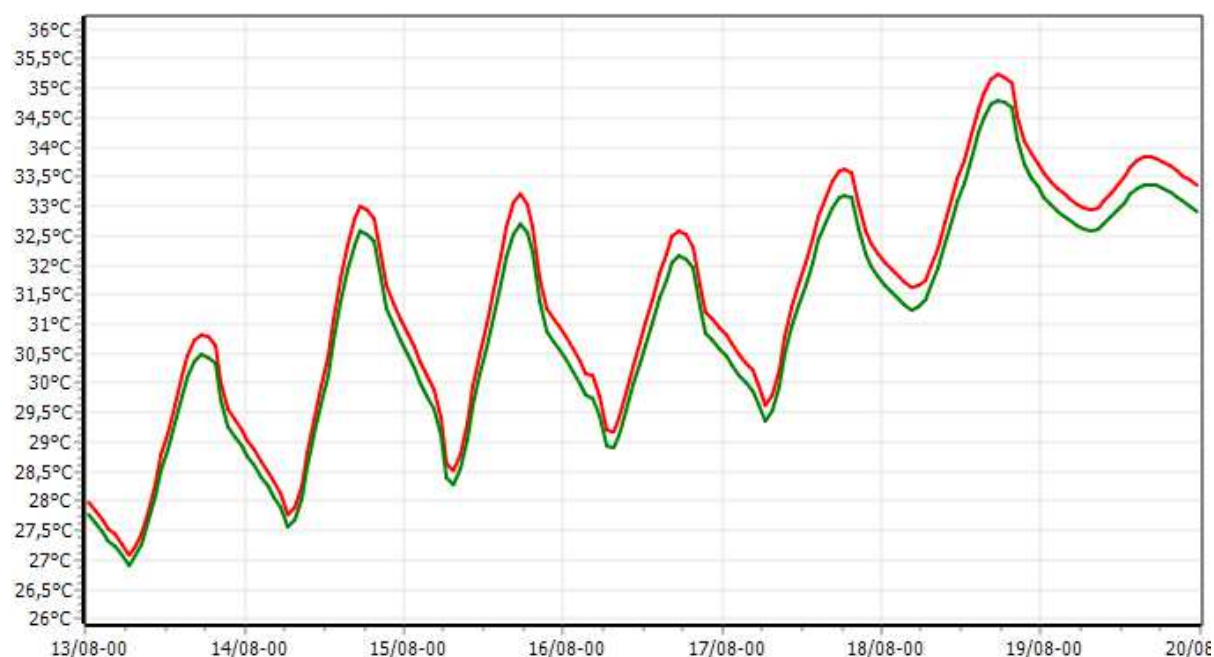
7.2.2.2 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats du taux d'inconfort (%) et du nombre Heures au-dessus de 28°C :

	Inconfort au-dessus de 28°C			
Zone	Cellule 4 Mezzanine		Cellule 4 sous Mezzanine	
	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)
Base	23 %	1035 h	22 %	978 h
Optimisation 2	21 %	983 h	21 %	941 h

7.2.2.3 Graphique de températures

Le graphique ci-dessous permet de comparer l'évolution de la température de la base en rouge et de l'optimisation en vert pendant la semaine la plus chaude :



7.2.3 Optimisation 3 : Lanterneau avec remplissage de type PCA16 calor control

7.2.3.1 Description de l'optimisation

Nous proposons de remplacer le remplissage de type PCA10 Parois incolores des lanterneaux situés dans la cellule 4 (y compris mezzanine), par un remplissage de type PCA16 opale ou équivalent.

Caractéristiques :

- $U_t \leq 2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ et $U_{\text{vert}} \leq 1.9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Transmission lumineuse : 23% (Td65)
- Facteur solaire : 31% (g)

Ce produit présente un facteur transmission lumineuse très bas.

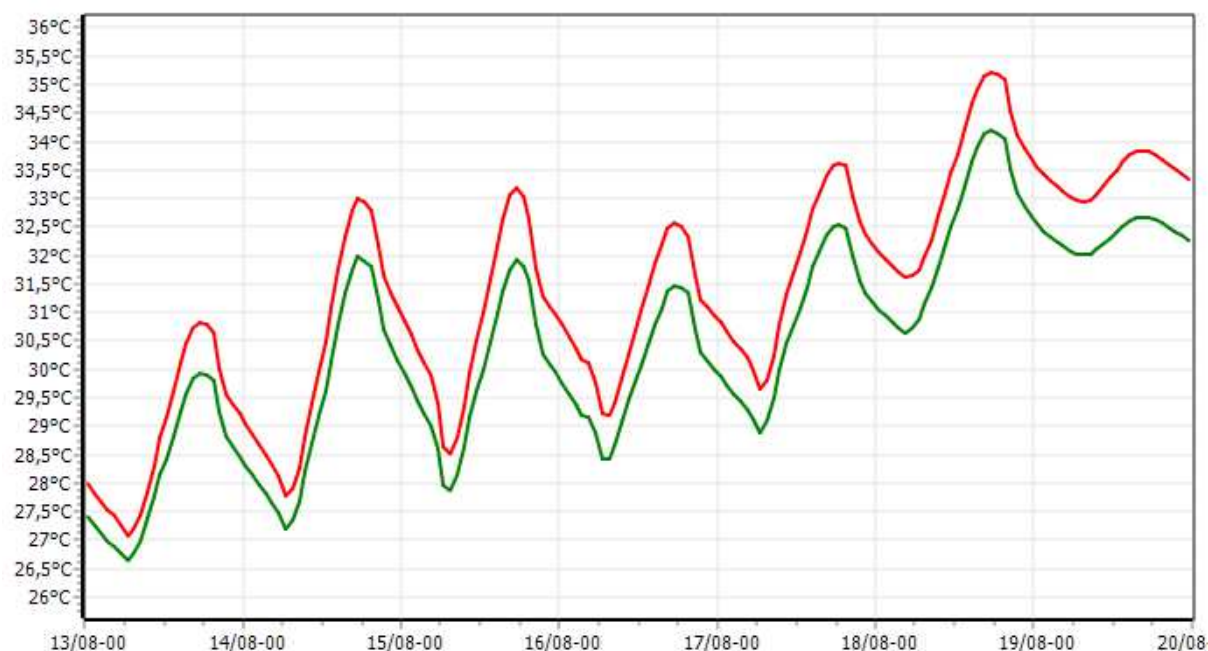
7.2.3.2 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats du taux d'inconfort (%) et du nombre Heures au-dessus de 28°C :

Zone	Inconfort au-dessus de 28°C			
	Cellule 4 Mezzanine		Cellule 4 sous Mezzanine	
	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)
Base	23 %	1035 h	22 %	978 h
Optimisation 3	20 %	917 h	19 %	888 h

7.2.3.3 Graphique de températures

Le graphique ci-dessous permet de comparer l'évolution de la température de la base en rouge et de l'optimisation en vert pendant la semaine la plus chaude :



7.2.4 Optimisation 4 : Toiture avec étanchéité par une membrane PVC de couleur gris clair.

7.2.4.1 Description de l'optimisation

Nous proposons de remplacer l'étanchéité de type bicouche élastomère auto-protégé de couleur noire par une membrane PVC de couleur gris clair.

Caractéristiques :

- Coefficient absorption solaire : 0.4
- Coefficient réflexion : 0.8

Cette modification permet de réduire la capacité de la surface de la toiture à absorber le rayonnement solaire et à accumuler de la chaleur.

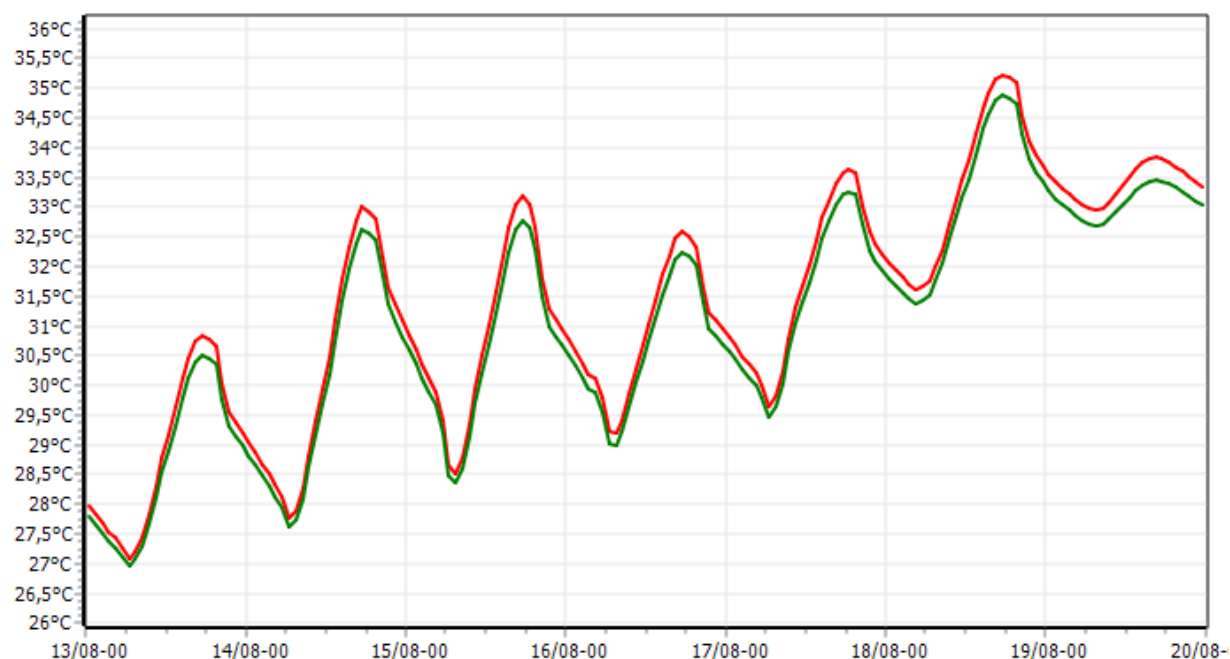
7.2.4.2 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats du taux d'inconfort (%) et du nombre Heures au-dessus de 28°C :

Zone	Inconfort au-dessus de 28°C			
	Cellule 4 Mezzanine		Cellule 4 sous Mezzanine	
	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)
Base	23 %	1035 h	22 %	978 h
Optimisation 4	22 %	992 h	21 %	952 h

7.2.4.3 Graphique de températures

Le graphique ci-dessous permet de comparer l'évolution de la température de la base en rouge et de l'optimisation en vert pendant la semaine la plus chaude :



7.2.5 Optimisation 5 : Ventilation mécanique double flux – Débit 3 vol/h

7.2.5.1 Description de l'optimisation

Nous proposons la mise en place d'une ventilation mécanique de type double flux afin d'assurer les apports d'air neuf par des diffuseurs de soufflage et la reprise de l'air par des diffuseurs d'extraction reliés à une centrale par un réseau de gaine de ventilation.

La centrale de traitement d'air pourra assurer le rafraîchissement nocturne par « free-cooling » en été en la faisant basculer sur un mode de ventilation nocturne qui déchargera la température de surchauffe pendant la nuit entre 20h et 6h.

- En fonctionnement mode été, les débits seront dimensionnés sur la base des débits de 3 vol/h afin d'obtenir un taux de brassage suffisant. (Fonctionnement tout air neuf)
- En fonctionnement mode hiver, les débits insufflés seront définis sur la base des débits hygiéniques par occupant.

La régulation de la ventilation se fera en fonction d'une horloge et de l'occupation.

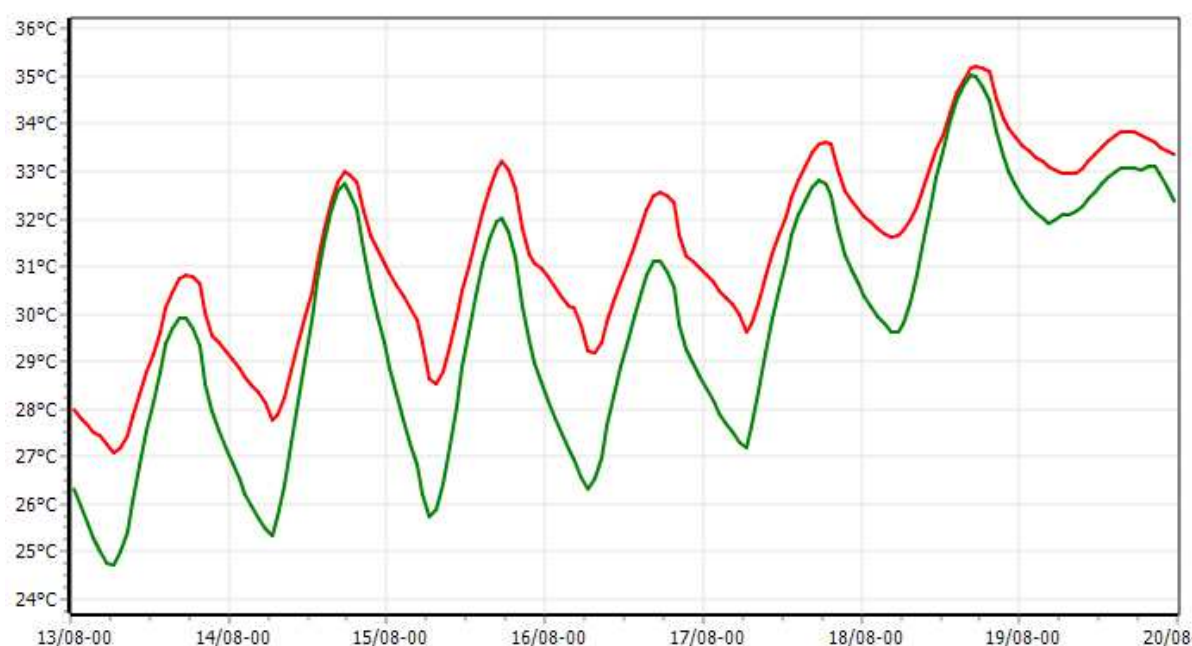
7.2.5.2 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats du taux d'inconfort (%) et du nombre Heures au-dessus de 28°C :

Zone	Inconfort au-dessus de 28°C			
	Cellule 4 Mezzanine		Cellule 4 sous Mezzanine	
	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)
Base	23 %	1035 h	22 %	978 h
Optimisation 5	16 %	715 h	15 %	693 h

7.2.5.3 Graphique de températures

Le graphique ci-dessous permet de comparer l'évolution de la température de la base en rouge et de l'optimisation en vert pendant la semaine la plus chaude :



7.2.6 Optimisation 6 : Ventilation mécanique double flux – Débit 5 vol/h

7.2.6.1 Description de l'optimisation

Dito optimisation 5

Les débits seront dimensionnés sur la base de 5 vol/h afin d'améliorer le taux de brassage.

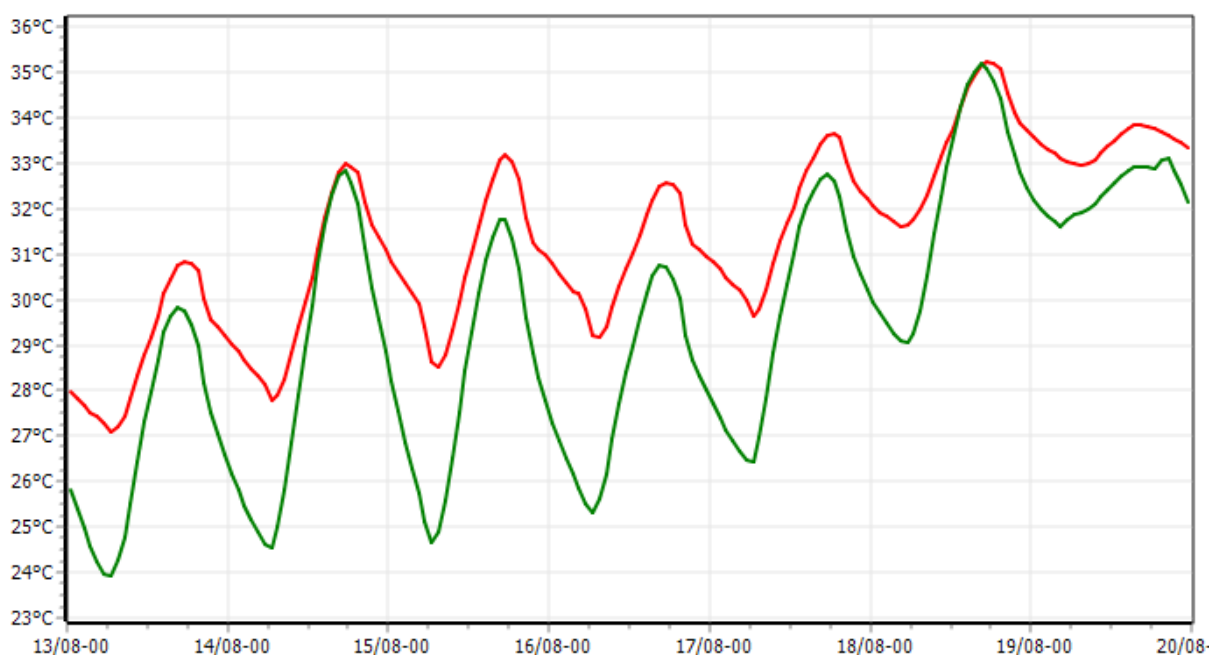
7.2.6.2 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats du taux d'inconfort (%) et du nombre Heures au-dessus de 28°C :

	Inconfort au-dessus de 28°C			
Zone	Cellule 4 Mezzanine		Cellule 4 sous Mezzanine	
	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)
Base	23 %	1035 h	22 %	978 h
Optimisation 6	14 %	614 h	13 %	583 h

7.2.6.3 Graphique de températures

Le graphique ci-dessous permet de comparer l'évolution de la température de la base en rouge et de l'optimisation en vert pendant la semaine la plus chaude :



7.2.7 Optimisation 7 : Traitement d'air - Raffraichissement par une batterie froide (puissance froid 5 W/m3)

7.2.7.1 Description de l'optimisation

Nous proposons la mise en place d'une centrale de traitement d'air équipée d'une batterie froide afin d'assurer le rafraîchissement de la mezzanine de la cellule (puissance froid dimensionnée sur la base de 5 W/m3) en réduisant de quelques degrés la température de soufflage.

Le débit sera défini sur la base de 5 vol/h, le pourcentage d'air neuf hygiénique sera modulé en fonction des besoins.

- Pendant l'été : Fonctionnement tout air neuf
- Pendant l'hiver : Pourcentage d'air hygiénique défini sur la base des apports d'air neuf par occupant pendant l'hiver.

La centrale de traitement d'air pourra assurer le rafraîchissement nocturne par « free-cooling » en été en la faisant basculer sur un mode de ventilation nocturne qui déchargera la température de surchauffe pendant la nuit entre 20h et 6h

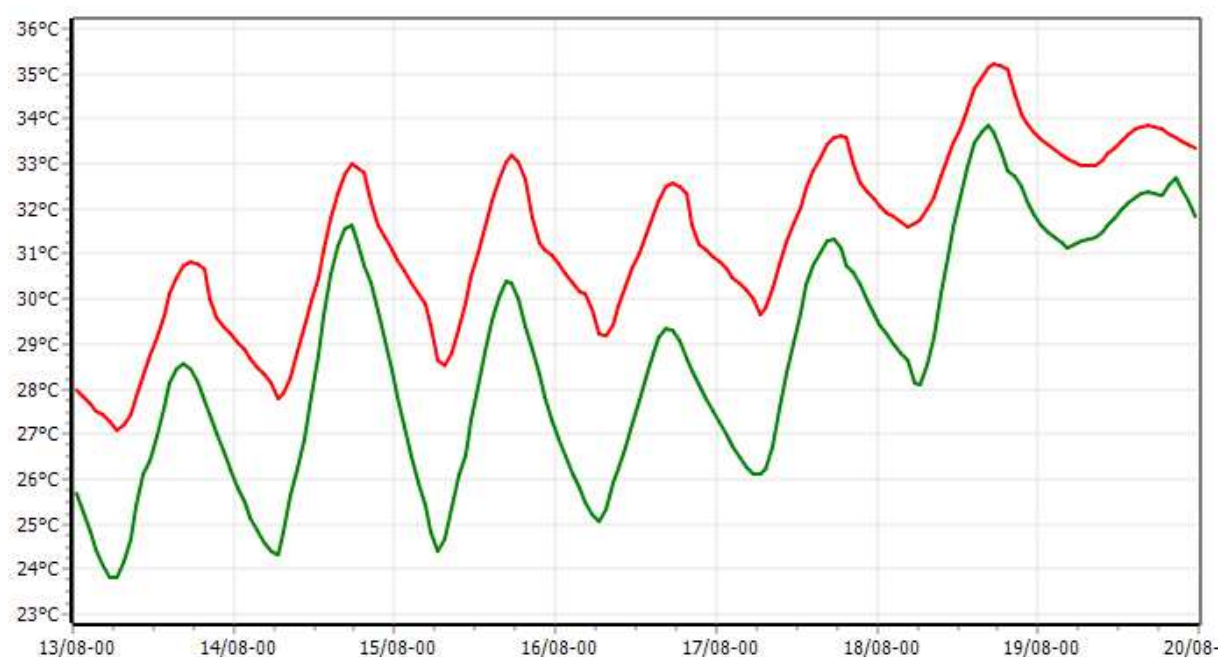
7.2.7.2 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats du taux d'inconfort (%) et du nombre Heures au-dessus de 28°C :

Zone	Inconfort au-dessus de 28°C			
	Cellule 4 Mezzanine		Cellule 4 sous Mezzanine	
	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)
Base	23 %	1035 h	22 %	978 h
Optimisation 7	9 %	430 h	9 %	409 h

7.2.7.3 Graphique de températures

Le graphique ci-dessous permet de comparer l'évolution de la température de la base en rouge et de l'optimisation en vert pendant la semaine la plus chaude :



7.2.8 Optimisation 8 : Traitement d'air - Rafraîchissement par une batterie froide (puissance froid 15 W/m3)

7.2.8.1 Description de l'optimisation

Nous proposons la mise en place d'une centrale de traitement d'air équipée d'une batterie froide afin d'assurer le rafraîchissement de la mezzanine de la **cellule (puissance froid dimensionnée sur la base de 15 W/m³)** en réduisant de quelques degrés la température de soufflage.

Le débit sera défini sur la base de 5 vol/h, le pourcentage d'air neuf hygiénique sera modulé en fonction des besoins.

- Pendant l'été : Fonctionnement tout air neuf
- Pendant l'hiver : Pourcentage d'air hygiénique défini sur la base des apports d'air neuf par occupant pendant l'hiver.

La centrale de traitement d'air pourra assurer le rafraîchissement nocturne par « free-cooling » en été en la faisant basculer sur un mode de ventilation nocturne qui déchargera la température de surchauffe pendant la nuit entre 20h et 6h

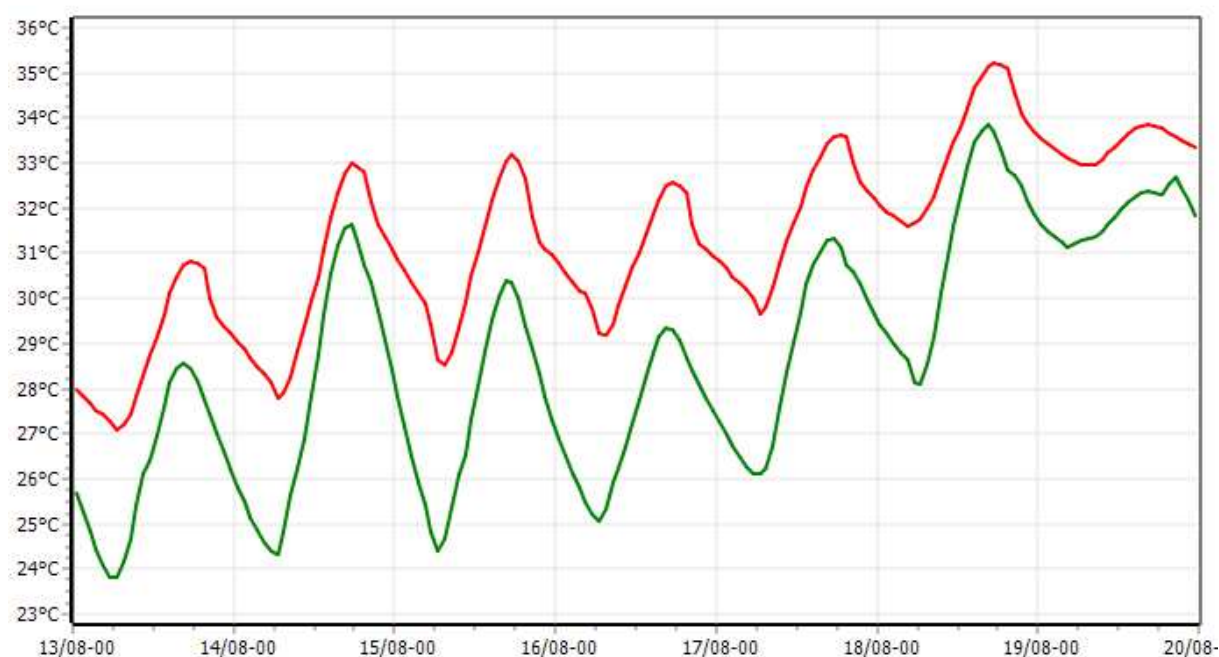
7.2.8.2 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats du taux d'inconfort (%) et du nombre Heures au-dessus de 28°C :

Zone	Inconfort au-dessus de 28°C			
	Cellule 4 Mezzanine		Cellule 4 sous Mezzanine	
	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)
Base	23 %	1035 h	22 %	978 h
Optimisation 7	5 %	302 h	5 %	289 h

7.2.8.3 Graphique de températures

Le graphique ci-dessous permet de comparer l'évolution de la température de la base en rouge et de l'optimisation en vert pendant la semaine la plus chaude :



7.2.9 Optimisation 9 : Ventilation naturelle par ouverture des lanterneaux

7.2.9.1 Description de l'optimisation

Nous proposons que l'ouverture de l'ensemble des lanterneaux de désenfumage de la cellule 4 soit asservie aux horaires d'occupation entre 6 heures et 21 heures pendant l'été afin d'assurer une ventilation naturelle.

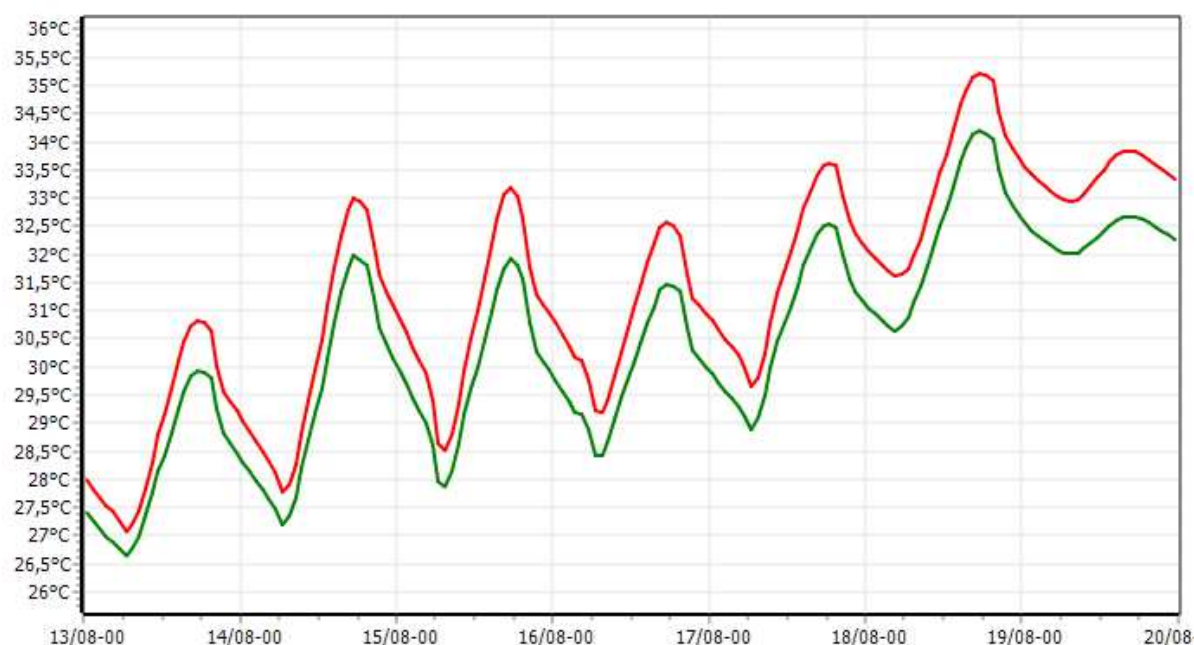
7.2.9.2 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats du taux d'inconfort (%) et du nombre Heures au-dessus de 28°C :

Zone	Inconfort au-dessus de 28°C			
	Cellule 4 Mezzanine		Cellule 4 sous Mezzanine	
	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)
Base	23 %	1035 h	22 %	978 h
Optimisation 8	19 %	830 h	18 %	809 h

7.2.9.3 Graphique de températures

Le graphique ci-dessous permet de comparer l'évolution de la température de la base en rouge et de l'optimisation en vert pendant la semaine la plus chaude :



7.2.10 Optimisation 10 : Augmentation de l'isolation de la toiture de la cellule 4

7.2.10.1 Description de l'optimisation

Nous proposons que l'épaisseur de l'isolation de la toiture Bac acier soit augmentée à 160 mm $R=4,40 \text{ m}^2.K/W$ au lieu de l'épaisseur de 120mm $R= 3,30 \text{ m}^2.K/W$ prévu en base.

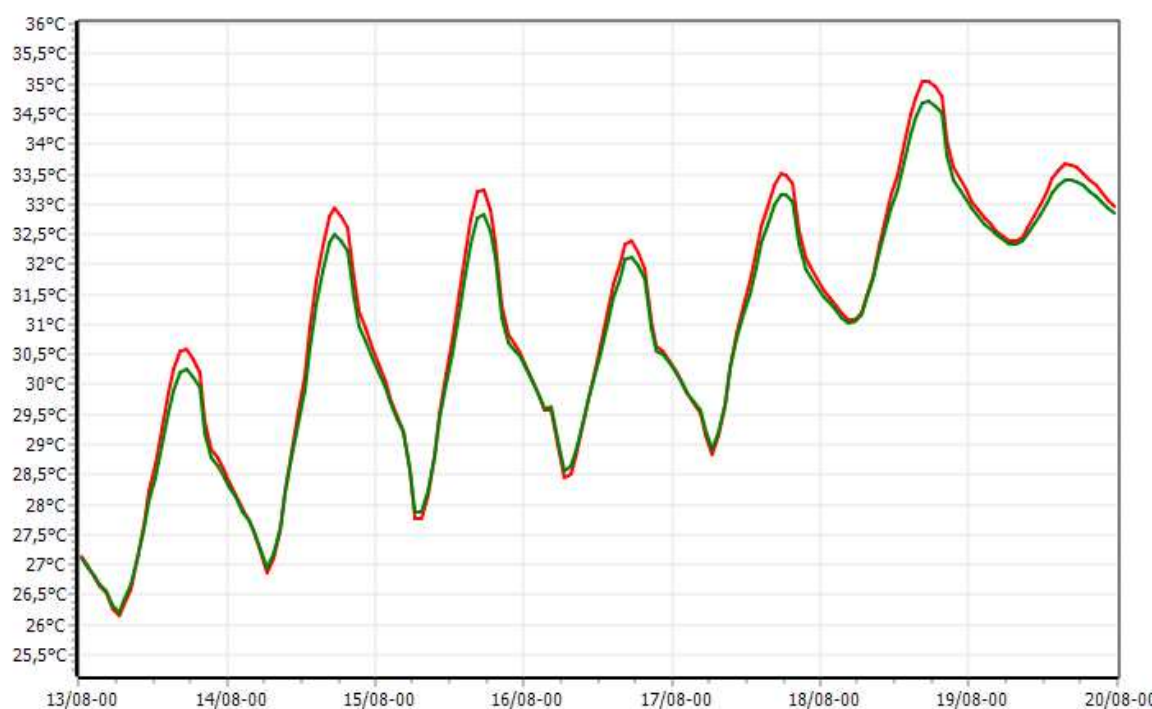
7.2.10.2 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats du taux d'inconfort (%) et du nombre Heures au-dessus de 28°C :

Zone	Inconfort au-dessus de 28°C			
	Cellule 4 Mezzanine		Cellule 4 sous Mezzanine	
	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)
Base	23 %	1035 h	22 %	978 h
Optimisation 7	22 %	992 h	21 %	950 h

7.2.10.3 Graphique de températures

Le graphique ci-dessous permet de comparer l'évolution de la température de la base en rouge et de l'optimisation en vert pendant la semaine la plus chaude :

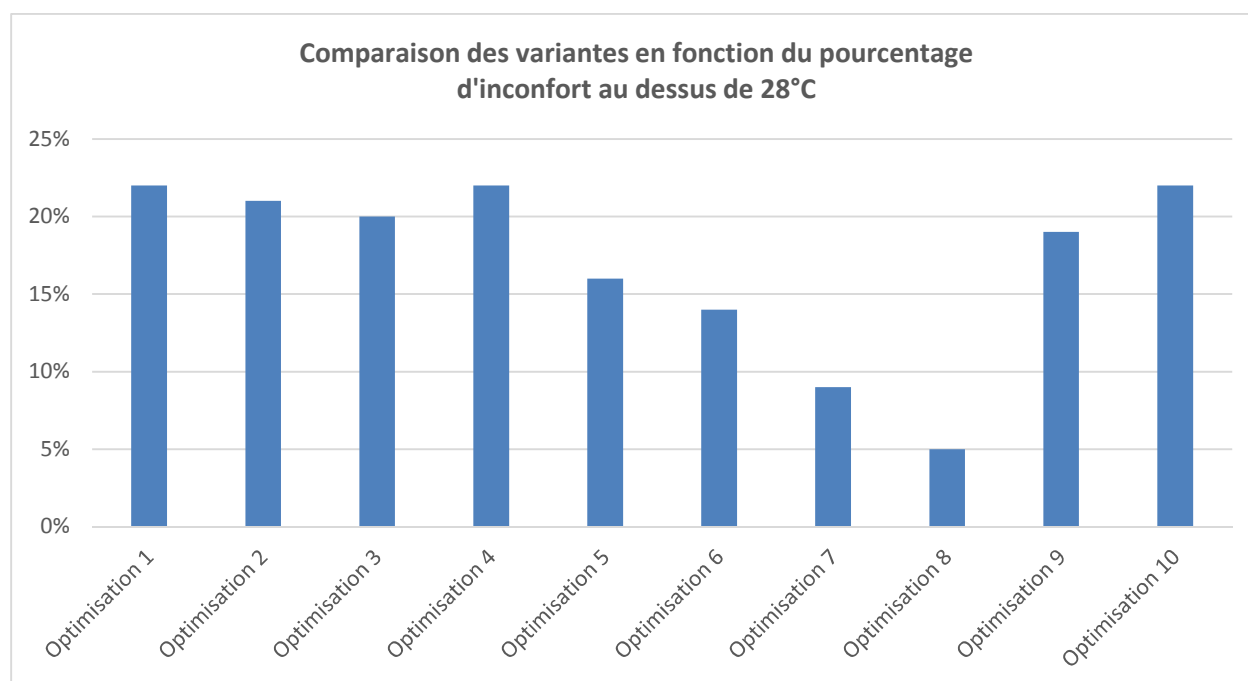


7.2.11 Tableau récapitulatif des optimisations

Le tableau récapitule l'ensemble des résultats des optimisations :

Numéro variante	Description optimisation	Inconfort au-dessus de 28°C		
		Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)	Gain en pourcentage
Base	-	23 %	1035 h	-
Optimisation 1	Lanterneau avec remplissage de type PCA10 opale	22 %	1008 h	3%
Optimisation 2	Lanterneau avec remplissage de type PCA16 opale	21 %	983 h	5%
Optimisation 3	Lanterneau avec remplissage de type PCA16 calor control	20 %	917 h	11%
Optimisation 4	Toiture avec étanchéité par une membrane PVC de couleur gris clair.	22 %	992 h	4%
Optimisation 5	Ventilation mécanique double flux – Débit 3 vol/h	16 %	715 h	31%
Optimisation 6	Ventilation mécanique double flux – Débit 5 vol/h	14 %	614 h	40%
Optimisation 7	Traitement d'air - Rafraichissement par une batterie froide (puissance 5 W/m3)	9 %	430 h	58%
Optimisation 8	Traitement d'air - Rafraichissement par une batterie froide (puissance 15 W/m3)	5 %	302 h	78%
Optimisation 9	Ventilation naturelle par ouverture des lanterneaux	19 %	830 h	19%
Optimisation 10	Augmentation de l'isolation de la toiture de la cellule 4	22 %	992 h	4%

Les pourcentages du temps d'occupation supérieur à la température limite de surchauffes sont récapitulés ci-dessous pour chacune des variantes proposées dans le graphique ci-dessous :



Conclusion :

- La solution la plus efficace avec un gain de 78% est la mise en place d'une centrale de traitement d'air équipée d'une batterie froide afin d'assurer le rafraîchissement de la cellule 4 pendant l'été (Optimisation 8). Cette solution garantit un taux de brassage efficace permettant de rabaisser la température de soufflage de l'air introduit dans le volume de la mezzanine de la cellule 4. La variante permet également d'assurer un déstockage nocturne de la chaleur accumulée pendant la journée.
- La solution de mise en œuvre d'un remplissage de type PCA16 calor control pour les lanterneaux zénithaux et désenfumage présente un gain de 11%. Ce produit permet de limiter les apports solaires par son contrôle solaire, mais réduit également le facteur de transmission lumineuse.
- La solution de ventilation naturelle par ouverture des lanterneaux de désenfumage par commande manuelle pendant l'été (Optimisation 9) est une variante intéressante avec un gain de 19%. Cependant, l'efficacité de cette solution est plus aléatoire puisqu'elle dépend de nombreux facteurs météo comme la vitesse du vent et tirage thermique.

7.3 Proposition d'optimisation Cellule 2 et 3**7.3.1 Optimisation 1 : Augmentation de l'isolation de la toiture des cellules 2 et 3****7.3.1.1 Description de l'optimisation**

Nous proposons de faire fonctionner les équipements des cellules 2 et 3, en dehors des horaires d'occupation et en période nocturne, pendant les trois mois les plus froids (décembre, janvier et février) en régime établi, la puissance dissipée par les machines sera donc en moyenne de 70% de la puissance nominale.

7.3.1.2 Résultats

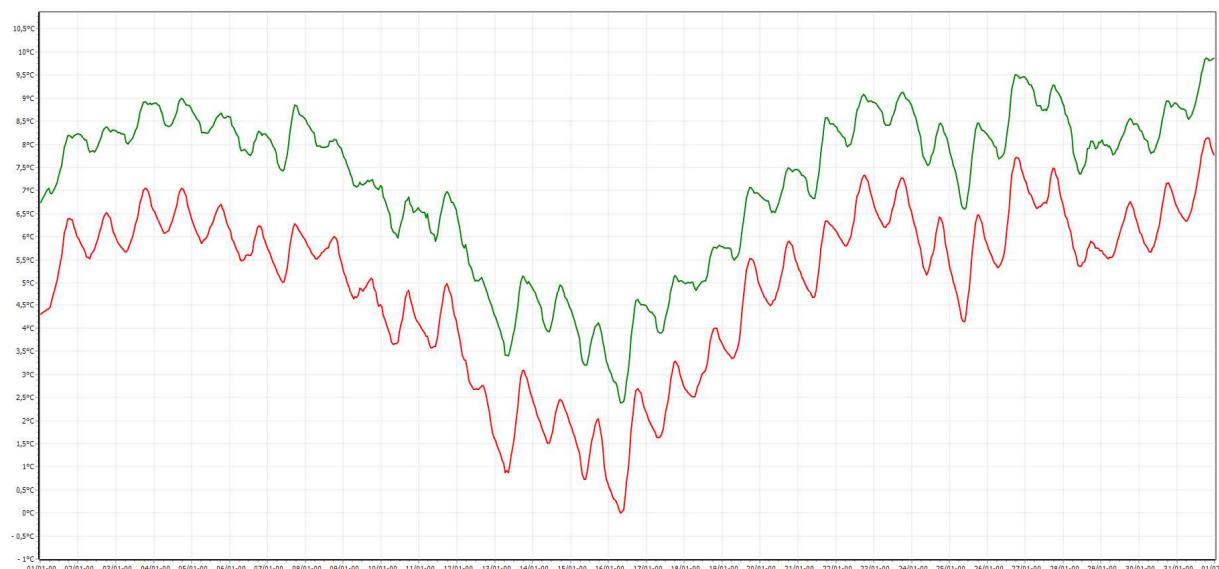
Le tableau ci-dessous présente des températures minimales annuelles :

Zone	Température minimale résultante	
	Cellule 2	Cellule 3
Base	0.1°C	1.69°C
Optimisation 1	2.39°C	4.17°C

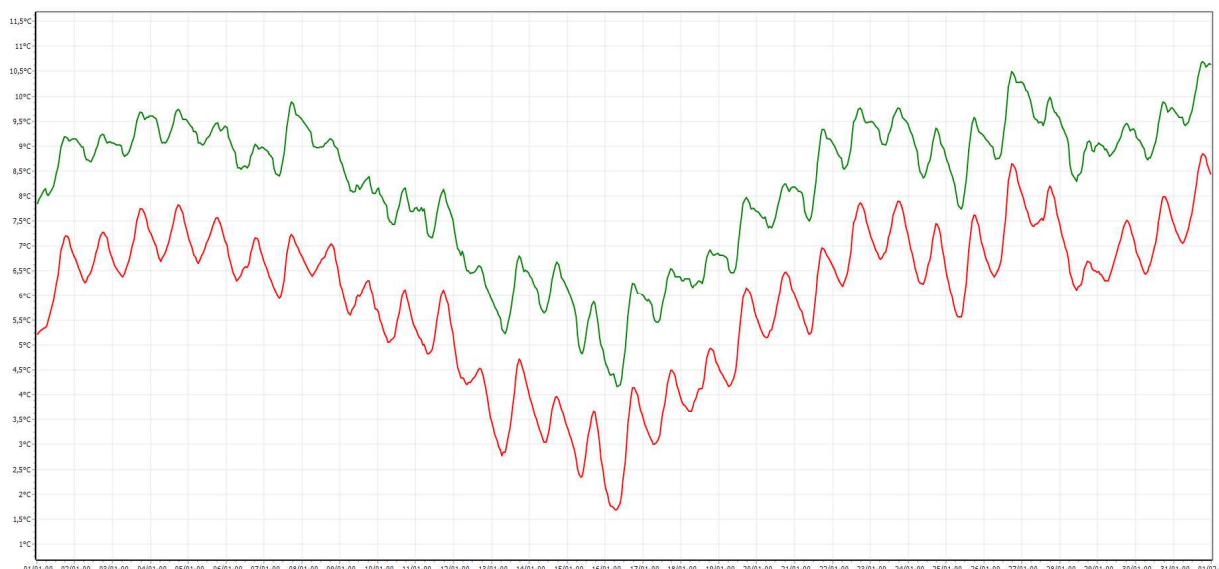
7.3.1.3 Graphique de températures

Les graphiques ci-dessous permettent de comparer l'évolution de la température de la base en rouge et de l'optimisation en vert pendant le mois le plus froid en janvier :

Évolution de la température opérative cellule 2 sur le mois de janvier :



Évolution de la température opérative cellule 3 sur le mois de janvier :



7.3.1.4 Conclusion

Le fonctionnement des équipements des cellules 2 et 3, en dehors des horaires d'occupation et en période nocturne, pendant les trois mois les plus froids (décembre, janvier et février) permet d'atteindre une température minimale résultante supérieure à 2°C.

Les conditions hors gel sont garanties pour le bâtiment sur une année dont la température extérieure minimale sur l'année ne descend pas en dessous de -10°C.

Il apparaît cependant que seule une puissance de chauffe additionnelle permettrait de garantir des conditions hors gel pour le bâtiment s'il était soumis à la température extrême minimale de -19,10°C. Cette température a été relevée lors de la période de 1927 à aujourd'hui pouvant survenir lors d'une année exceptionnelle.

7.4 Scénario retenu

7.4.1.1 Description du scénario

Nous avons étudié différentes pistes d'amélioration du confort d'été dans le chapitre précédent. Certaines optimisations s'avèrent plus efficaces que d'autres.

Une seule optimisation ne permet pas d'atteindre à elle seule l'objectif de 2% au-dessus de 28°C, nous proposons donc les combinaisons des optimisations suivantes :

- **Optimisation 2 :** Remplissages des lanterneaux zénithaux et désenfumage de type PCA16 opale avec un coefficient de transmission lumineuse 52% (Td65) et facteur solaire 54% (g).
- **Optimisation 4 :** Remplacement de l'étanchéité de type bicouche élastomère auto-protégé de couleur noire par une membrane PVC de couleur gris clair.
- **Optimisation 8 :** Mise en place d'une centrale de traitement d'air assurant le rafraichissement par une batterie froide (puissance frigo dimensionnée sur la base de 15 W/m3) afin de rabaisser la température de soufflage quelques degrés. (débits 5 vol/h)

7.4.1.2 Résultats

Les pourcentages du temps d'occupation supérieur à la température limite de surchauffes sont récapitulés ci-dessous :

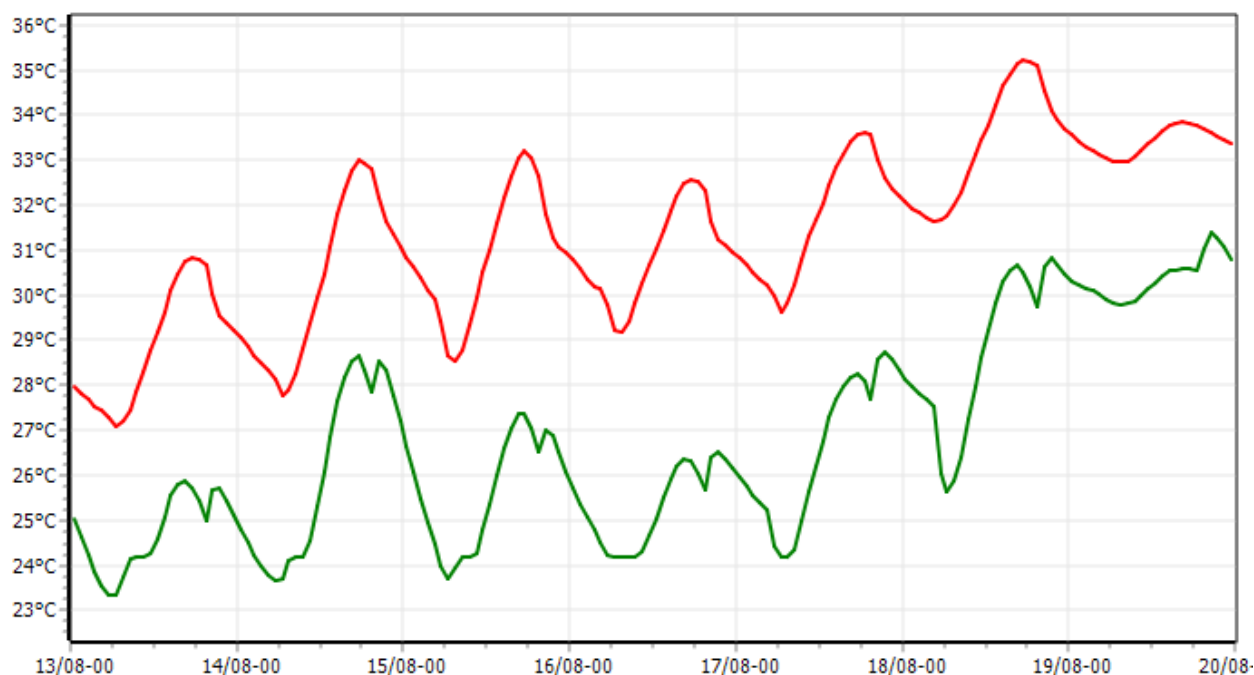
	Inconfort au-dessus de 28°C			
Zone	Cellule 4 Mezzanine		Cellule 4 sous Mezzanine	
	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)	Taux d'inconfort (%)	Heures > T° inconfort (h)
Base	23 %	1035 h	22 %	978 h
Scénario 1	2 %	130 h	2 %	103 h

7.4.1.3 Conclusion

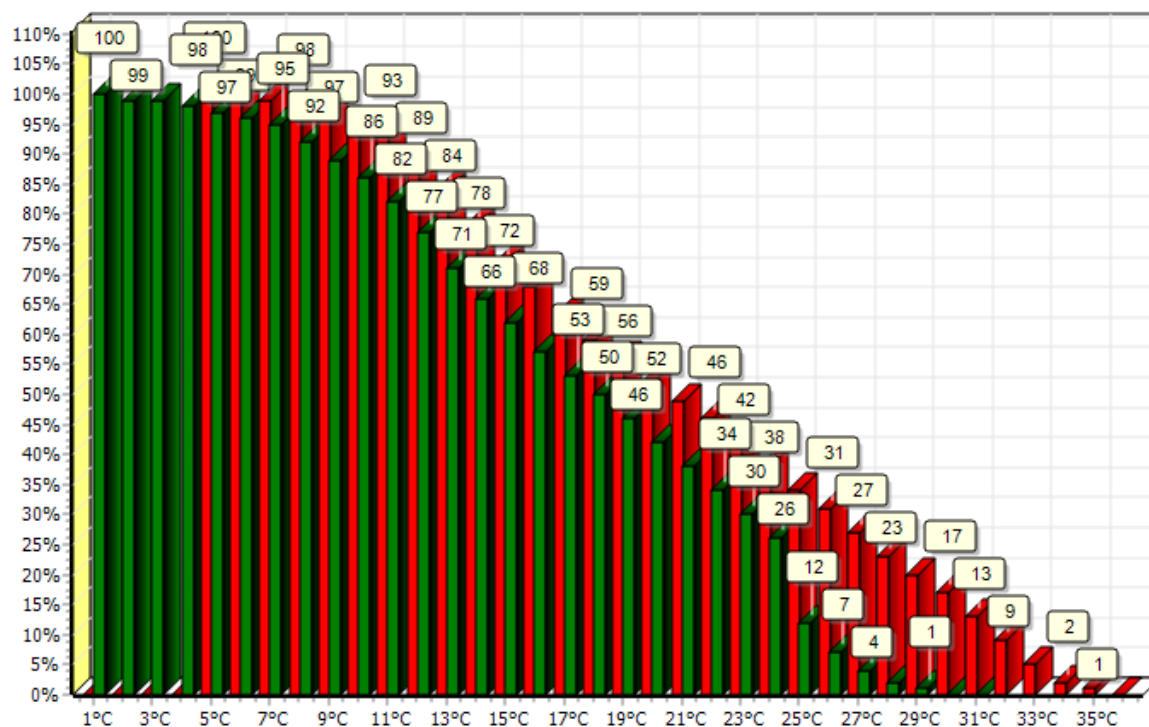
Le scénario cumulant les optimisations permet d'atteindre les objectifs d'une température de référence ne dépassant pas 28°C pendant plus de 2% du temps dans l'année (soit environ 10 jours alternés dans l'année).

Le recours à un système de rafraichissement par une unité de type centrale de traitement d'air avec une puissance de froid intégrée permet de rabaisser la température de soufflage et ainsi réduire les dépassements de température dans les locaux.

Le graphique ci-dessous permet de comparer l'évolution de la température de la base en rouge et du scénario en vert pendant la semaine la plus chaude :



Le graphique ci-dessous permet de comparer les taux de surchauffes en % au-dessus des différentes températures de la base en rouge et du scénario en vert :



8. CONCLUSION

La maîtrise d'ouvrage a souhaité réaliser une étude de simulation dynamique afin d'apporter des réponses sur les préoccupations de température et de confort du bâtiment.

Durant les périodes estivales, nous avons caractérisé le confort et l'inconfort généré pour la mezzanine de la cellule 4 en fonction de l'usage de l'utilisateur. Nous nous fixons les critères d'une température résultante dans les espaces à occupation prolongée ne dépassant pas 28°C pendant 2% du temps (soit environ 10 jours alternés dans l'année).

Il apparaît que le bâtiment présente des surchauffes importantes pendant l'été dans la mezzanine cellule 4 avec un taux d'inconfort de 23% en période d'occupation au-dessus de 28°C sur une année soumise à des conditions extérieures sévères avec un pic de température extérieure maximale de 40°C pendant l'été.

Nous avons donc réalisé des optimisations dans le but de réduire les surchauffes et il en ressort que seule une combinaison d'optimisation permettrait d'atteindre l'objectif.

Le scénario cumulant les optimisations 2 : Remplissages des lanterneaux zénithaux et désenfumage de type PCA16 opale + optimisation 4 : mise en place d'une étanchéité par une membrane PVC de couleur gris clair + optimisation 8 : Mise en place d'une unité de type centrale de traitement d'air avec une puissance de froid intégrée permet d'atteindre les objectifs d'une température de référence ne dépassant pas 28°C pendant plus de 2% du temps dans l'année.

Le but de l'étude est également de vérifier que le bâtiment ne sera pas soumis à une température insuffisante afin de maintenir les cellules 2 et 3 en condition de hors gel pendant la saison hivernale. Les résultats des simulations indiquent une température résultante minimale atteinte dans la cellule 2 s'élève à 0.1°C et la température résultante minimale atteinte dans la cellule 3 s'élève à 1.69°C pendant le mois de janvier pour une température extérieure minimale extrême de -10°C.

Nous avons étudié une optimisation au projet de fonctionnement des équipements des cellules 2 et 3, en dehors des horaires d'occupation et en période nocturne, pendant les trois mois les plus froids (décembre, janvier et février). Les résultats de la simulation permettent d'atteindre une température minimale résultante supérieure à 2°C.

Il apparaît cependant que seule une puissance de chauffe additionnelle permettrait de garantir des conditions hors gel pour le bâtiment s'il était soumis à la température extrême minimale de -19.10°C. Cette température a été relevée lors de la période de 1927 à aujourd'hui pouvant survenir lors d'une année exceptionnelle.