RÉHABILITATION ET RESTRUCTURATION DU BÂTIMENT N SUR LE SITE DE L'ARSENAL À BESANÇON

00-07_SIMULATIONS THERMIQUES DYNAMIQUES

EXE
Avril 2025 - Ind0
Albert & co

SOMMAIRE

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE 3
1.1. Généralités 3
1.2. Périmètre de l'étude 3
2. RAPPEL DES OBJECTIFS 3
3. OUTILS DE SIMULATION 5
3.1. Logiciels de simulation 5
3.2. Données météorologiques 5
4. MODELISATION DU PROJET 7
4.1. Bâtiment 7
4.2. Surfaces du projet 7
4.3. Masques 7
4.4. Menuiseries et Occultations 8
4.5. Stratégie de ventilation : Ventilation mécanique associée à de la ventilation naturelle 9
5. LOCAUX REPRESENTATIFS – CONFORT D'ETE 11
6.1 Repérage des locaux présentés 11
6.2 Synthèse des résultats 16
6.3 Résultats pour les locaux d'enseignement 18
6.4 Résultats pour les locaux à usage type bureaux 26
CONCLUSION GENERALE EXE 28

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le présent document est la mise à jour finale EXE de la note réalisée en phase PRO.

1.1. Généralités

De manière générale, la réalisation de simulations thermiques dynamiques permet :

- D'estimer les besoins de chauffage et de refroidissement
- De qualifier le confort estival et de déterminer les meilleures solutions à mettre en œuvre pour obtenir un confort satisfaisant
- De valider les choix et les variantes envisagées
- De valider les solutions de protections solaires ; mobiles et fixes.
- De comparer des solutions techniques et d'en estimer les performances, notamment en termes de systèmes de ventilation.

Elles sont réalisées à l'aide du logiciel PLEIADE - STD COMFIE - IZUBA version V6.25.3.1 et respectent la norme ISO 52016-1.
Il est rappelé qu'en aucun cas, les résultats obtenus ne garantissent les futures consommations des bâtiments.
Les rendus de type Diagramme de Brager sont des outils d'estimation du confort basés sur des données statistiques.

1.2. Périmètre de l'étude

Le présent rapport porte sur l'étude de la configuration suivante :

- Programme de complexe universitaire avec réhabilitation du bâtiment existant et surélévation

La configuration technique étudiée est la suivante :

- Ventilation Double-flux avec échangeur pour les amphithéâtres, la salle de spectacle, les espaces de travail et de bureaux,
- Ventilation simple-flux en extraction pour les espaces sanitaires et circulation.

Le logiciel Pléiades a été mis à jour (la précédente version utilisée était la 5.21.6.2).

2. RAPPEL DES OBJECTIFS

La présente étude vise à présenter les résultats sur les deux objectifs suivants :

. D'une part, le « garde-fou » relatif au confort intégré au cahier des charges programmatiques :
Température résultante dans les espaces à occupation prolongée ne dépassant pas 28°C plus de :
2.5% du temps d'occupation dans l'année.

. Temps en dehors de la zone de Brager < 10%

Ci-après tableau de synthèse des types d'espaces significatifs sur le plan du confort intérieur présentés dans le présent document.

Nota : Les débits des locaux non renseignés ci-après sont également implémentés tels que présentés dans les pièces d'études CVC.

Type de locaux	Pièces associées	Heure de fonctionnement ventilation	Q air neuf individuel/nominal ou total (m3/h/occ)	Q retenu (en occupation)
Amphi 1	L11.1_Amphi 1	cf. scénario d'occupation CVC	18	5328
Amphi 2	L13.1_Amphi 2	cf. scénario d'occupation CVC	18	3600
Amphi 3	L18.1_Amphi 3	cf. scénario d'occupation CVC	18	2736
Amphi 6	L15_Amphi 6	cf. scénario d'occupation CVC	18	900
Salle de spectacle	L22.1_Salle de Spectacle	cf. scénario d'occupation CVC	18	5400
Bureaux ≤ 10occ	Tous bureaux ≤ 10occ	cf. scénario d'occupation CVC	25	Variable
Bureaux > 10occ	Tous bureaux > 10occ	cf. scénario d'occupation CVC	18	Variable
Salle 25P	N12.1 – N12.2 …etc	cf. scénario d'occupation CVC	18	450
Salle 30P	J1 – I21.1 …etc	cf. scénario d'occupation CVC	18	540
Salle 35P	N11.1 – N11.2 …etc	cf. scénario d'occupation CVC	18	630
Salle 40P	B21.1 - B21.2…etc	cf. scénario d'occupation CVC	18	720
Salle 45P	F27 - C24…etc	cf. scénario d'occupation CVC	18	810
Salle 50P	N12.1 - N12.2…etc	cf. scénario d'occupation CVC	18	900
Locaux humides (sanitaires, ménage …etc)	K41.1 – K41.2 …etc	cf. scénario d'occupation CVC	30	*Variable Simple Flux Extraction*

3. OUTILS DE SIMULATION

3.1. Logiciels de simulation

Le logiciel utilisé prend notamment en compte :

- Les variations horaires
- Le taux d'occupation
- La puissance de l'éclairage et des équipements divers
- Des consignes de températures et du fonctionnement
- Les effets d'inertie thermique
- Le taux d'humidité
- Les effets de ventilation naturelle et notamment les coefficients de pression sur les façades en fonction du vent
- Les échanges thermiques entre les zones thermiques (par conduction, convection et rayonnement)

3.2. Données météorologiques

Le fichier météo donne heure par heure les valeurs de la température extérieure et le rayonnement global du soleil.

La simulation thermique dynamique utilise des fichiers météo dont les données sont des moyennes.

Le **modèle météo principal** retenu pour articuler la conception est une projection dite « Besançon 2070 » du pack *Stations Meteonorm* développé par la société Meteotest. Ces projections sont notamment utilisées dans le cadre des labélisations de type BREEAM. Elles prennent en compte le changement climatique sur base du scénario A1B du GIEC. La projection est ainsi comparable à un état « Besançon 2070 » en fonction de ce scénario A1B. La projection est réalisée sur base de relevés météorologiques réalisés à Besançon.

La modélisation a fait également ci-après l'objet d'un comparatif sur base d'un **modèle météo « secondaire** », à savoir le fichier météorologique « normatif » RT2012. Le site de Besançon est en zone météorologique dite « H1c ». Ce scénario météorologique est établi sur la base des moyennes d'année antérieures. Il est donc « favorable » au regard du confort d'été car ne prenant pas en compte les modifications météorologiques conséquences du changement climatique. Les relevés météorologiques sont réalisés à Macon et ont une correction par l'altitude.

Les résultats issus de ces simulations restent des résultats théoriques qui seraient fortement impactés en cas de canicule ou bien d'hiver rigoureux.

Le choix d'un fichier météorologique plus contraignant vise à **éprouver** le fonctionnement du bâtiment ; notamment avec un plateau mi- saison plus élevé que les moyennes passées.

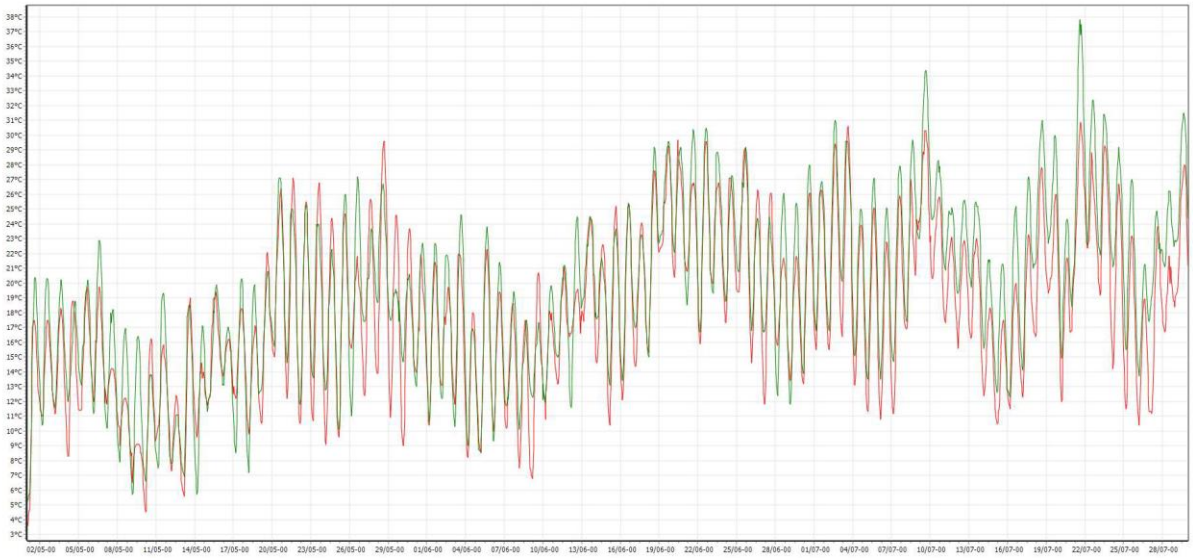
Le scénario appliqué vise à contraindre les conditions extérieures par une hausse globale des températures moyenne mais aussi des **pics de chaleurs** et ainsi renforcer la prise en compte de l'accentuation des phénomènes de vagues de chaleurs en termes d'intensité, de fréquence et de caractère **caniculaire** avec des températures nocturnes élevées.

Concernant ces deux scénarios, pour comparaison, les DJU – Degrés Jours Unifiés sont les suivants :

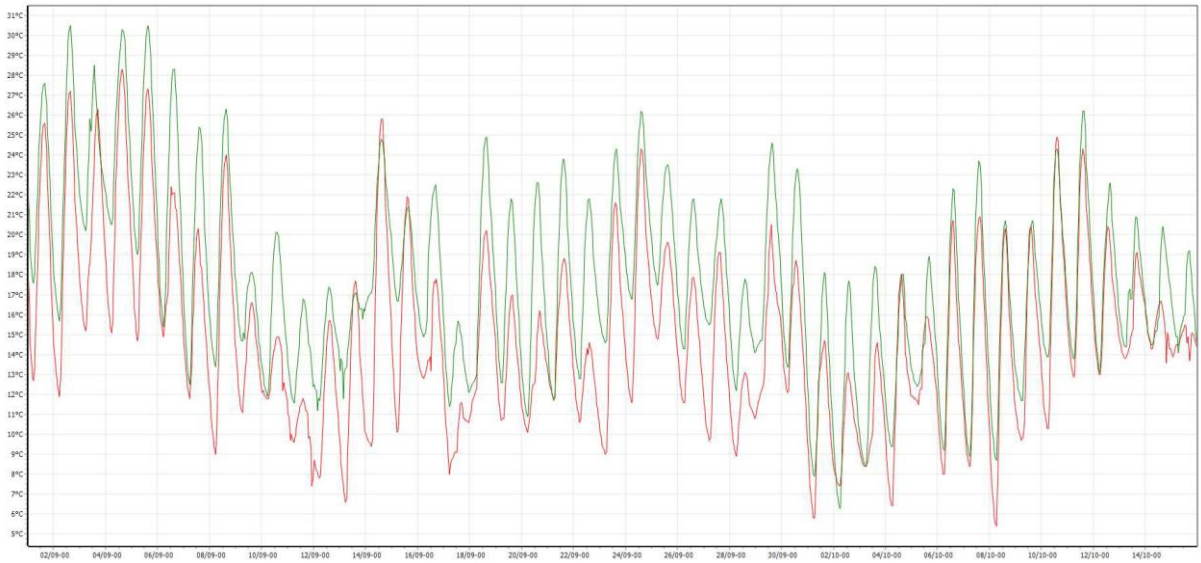
Période	***Fichier RT2012 – H1c***	**Fichier Besançon 2070**
Chauffage	*2315*	2331
Refroidissement	*454*	528

Ci-après graphique présentant les semaines les plus chaudes pour chaque type de modélisation météo : (les semaines diffèrent)

- en rouge Besançon 2070 A1B
- en vert Besançon selon RT2012 :



Mai – Juillet (3 mois)



Septembre – mi-octobre (1.5 mois)

4. MODELISATION DU PROJET

4.1. Bâtiment

Le projet comprend le bâtiment de l'Arsenal et son environnement urbain proche.

La STD prend en compte les interactions entre bâtiments ; notamment les effets de masque induits par leur proximité.

4.2. Surfaces du projet

Les surfaces projet et les cloisonnements des locaux sont tels qu'établis par la notice d'effectif et de surfaces.

4.3. Masques

Les masques engendrés par l'environnement sont pris en compte (végétalisation).

Les masques induits par les bâtiments et les aménagements sont pris en compte.

4.4. Menuiseries et Occultations

Les Menuiseries et leurs Occultations éventuelles sont saisies sur base des plans indice EXE et nomenclature Menuiseries extérieures.

Distinction faites des dimensions des Baies avec vitrage sur base de quatre types :

- Baies de RDC - Entresol
- Baies R+1
- « Baies » Murs rideaux vitrés en R+2 – R+3
- Fenêtres de toit

➢ Saisie des Occultations

Les Protections sont saisies conformément aux Valeur tabulées des règles Th-S ThL et ThU - Chapitre 1 introduction ; source CSTB.

Les protections implémentées référencés ci-avant en nomenclature de Menuiseries Extérieures « AP » ont les caractéristiques générales suivantes :
. Protection extérieure
. Store enroulable avec gestion manuelle non motorisée
. Ecartement avec la baie 10cm
. Classe d'étanchéité perméable
. Transparence Moyen

Les amphithéâtres du RDC sont eux équipés de stores intérieurs.

4.5. Stratégie de ventilation : Ventilation mécanique associée à de la ventilation naturelle

Le débit de ventilation (renouvellement d'air hygiénique) est assuré par des **CTAs double flux** dans les autres espaces d'enseignement et de travail :

- Equipement central de traitement avec batterie chaude et échangeur (performance base 0.9),
- Prise d'air extérieure,

Le débit de ventilation des locaux de type locaux techniques et locaux sanitaires est assuré par des VMC simple flux par extraction.

Les caractéristiques de gestion de la ventilation sont les suivantes :

- Débits CVC par pièce ; cf synthèse p4 et selon étude CVC

- Ventilation avant occupation des locaux par maintien des fenêtres en ouverture partielle en périodes de forte chaleur (type compas d'ouverture ou fenêtres à soufflet) ou ouverture précoce des fenêtres en début de journée par le personnel d'entretien.

La conception est ainsi telle que :

- La modélisation se base sur l'hypothèse **d'une ouverture des baies des locaux par le personnel d'entretien à partir de 6h ;**
  Elle peut être substituée par une relance par programmation des équipements de ventilation sur base du débit ½ nominal à parti de 6H du matin. (Période été, en gestion centrale bâtiment »)
- La composante manuelle de la gestion permet ainsi d'adapter l'ouverture ou non des baies à l'alternance d'épisodes de chaleur (notamment à l'entre-saison).
- Le scénario estime un cas défavorable où le personnel d'entretien ouvrirait les baies et où les usagers des locaux les laisseraient closes.
- **La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres permet une adaptation du confort au local par les usagers et s'adapte ainsi à la subjectivité de la notion de « confort » propre à l'individu.**
- **Elle permet également une appropriation de la gestion du confort par les usagers ; en cohérence avec la conception des systèmes du projet visant à limiter les équipements annexes.**

Hypothèses d'ouverture des fenêtres :

<u>Les hypothèses retenues pour les amphis sont les suivantes :</u>

Une ouverture entière entre 19 et 21h et le matin entre 6 et 8h, soit avant et après les périodes d'occupation

Valeur/Jour/Semaine | Année | Déselection

Valeurs

S	Nom	Valeur	Unité
	0	0	%
	25	25	%
	100	100	%

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
	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
	Eté	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0
	Week end été	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Semaines

Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Semaine hiver	Hiver	Hiver	Hiver	Hiver	Hiver	Hiver	Hiver
Semaine été	Eté	Eté	Eté	Eté	Eté	Week end été	Week end été

<u>Les hypothèses retenues pour les fenêtres des autres locaux, à partir du R+1</u>

Une ouverture complète le matin entre 6 et 9h

Valeurs

S	Nom	Valeur	Unité
	0	0	%
	25	25	%
	100	100	%

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
	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
	Eté	0	0	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Week end été	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Semaines

Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Semaine hiver	Hiver	Hiver	Hiver	Hiver	Hiver	Hiver	Hiver
Semaine été	Eté	Eté	Eté	Eté	Eté	Week end été	Week end été

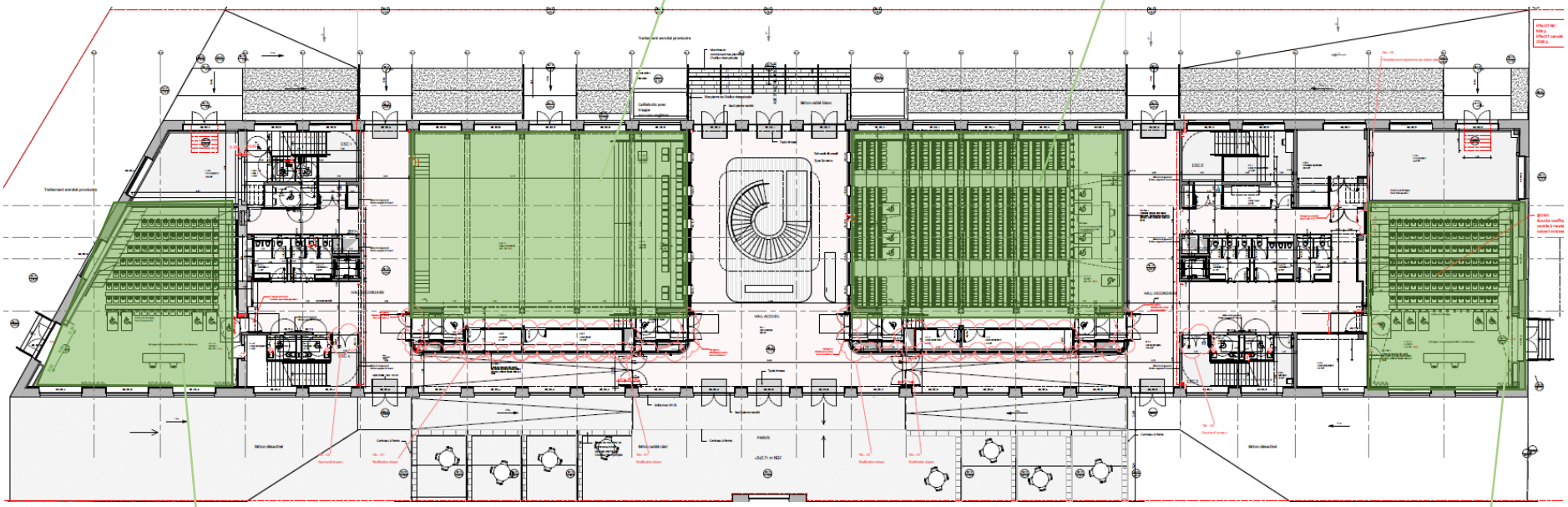
5. LOCAUX REPRESENTATIFS – CONFORT D'ETE

6.1 Repérage des locaux présentés

Repérage des locaux en RDC-ENS

L22.1_Salle polyvalente
Orientation Est

L11.1_Amphithéâtre 1
Orientation Est



L14.1_Amphithéâtre 3
Orientation Nord

L13.1_Amphithéâtre 2
Orientation Sud

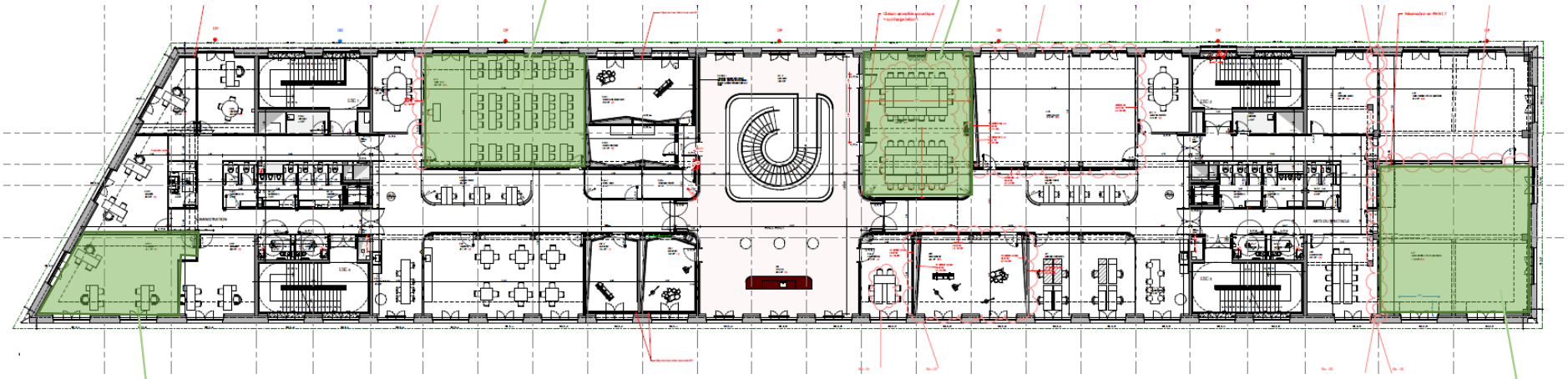
Repérage des locaux en R+1

N12.1_Salle 50P

Orientation Est

L15_Grande salle de réunion

Orientation Est



K22.2_Scolarité

Orientation Nord

A21_Salle Dédiée ADS

Orientation Sud/Sud-Ouest

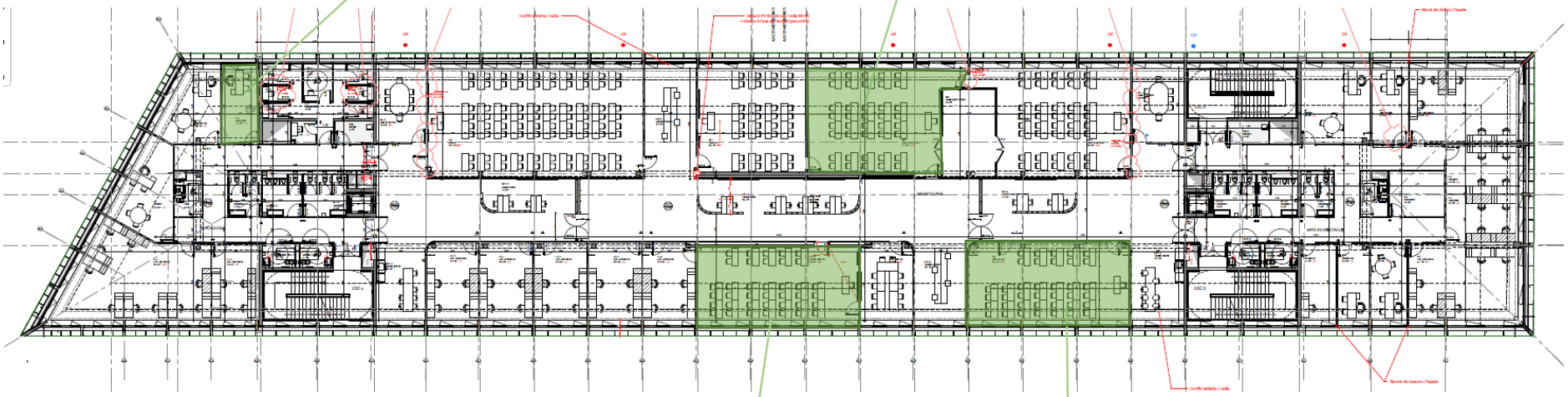
Repérage des locaux en R+2

F15_Secretariat

Orientation Nord/Nord-Est

B21.1_Salle de Musicologie

Orientation Nord/Nord-Est



F25.2_Grande_Salle_M2

Orientation Ouest

A24_Salle_M1_M2

Orientation Ouest

Repérage des locaux en R+3

N11.3_Salle 35p

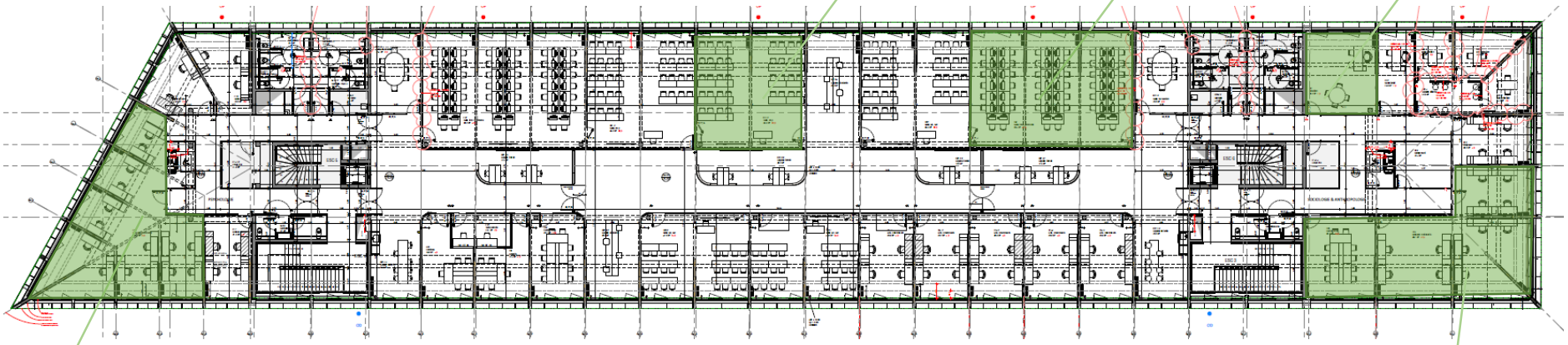
Orientation
Nord/Nord-Est

C24_Salle info commune

Orientation
Nord/Nord-Est

C11_Direction

Orientation
Nord/Nord-Est



F20_Bureaux doctorants

Orientation
Nord/Nord-Ouest

C15_Bureaux Doctorants

Orientation
Sud/Sud-Ouest

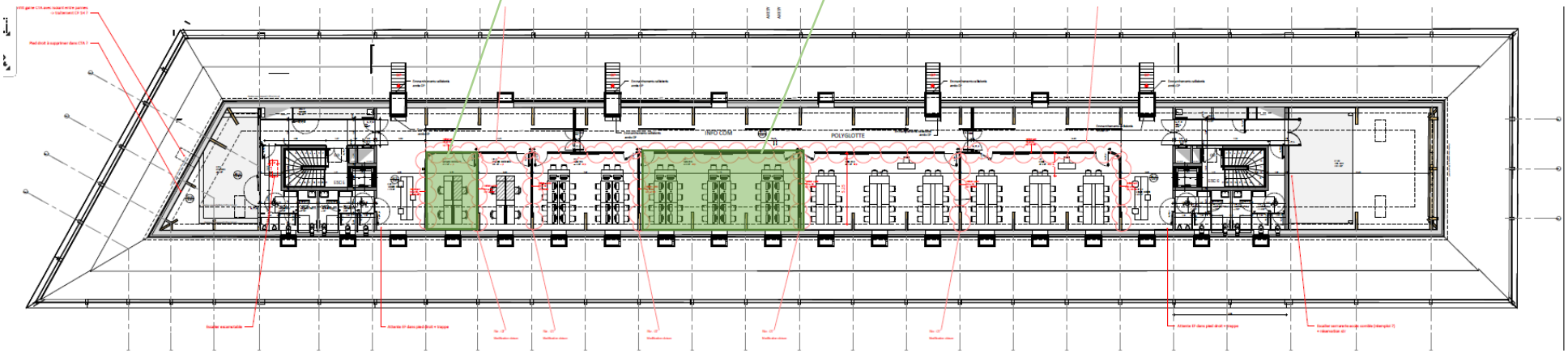
Repérage des locaux en R+4

I31.1_Bureaux_ Doctorants

Orientation Ouest

I21.1_Salle_Info

Orientation Ouest

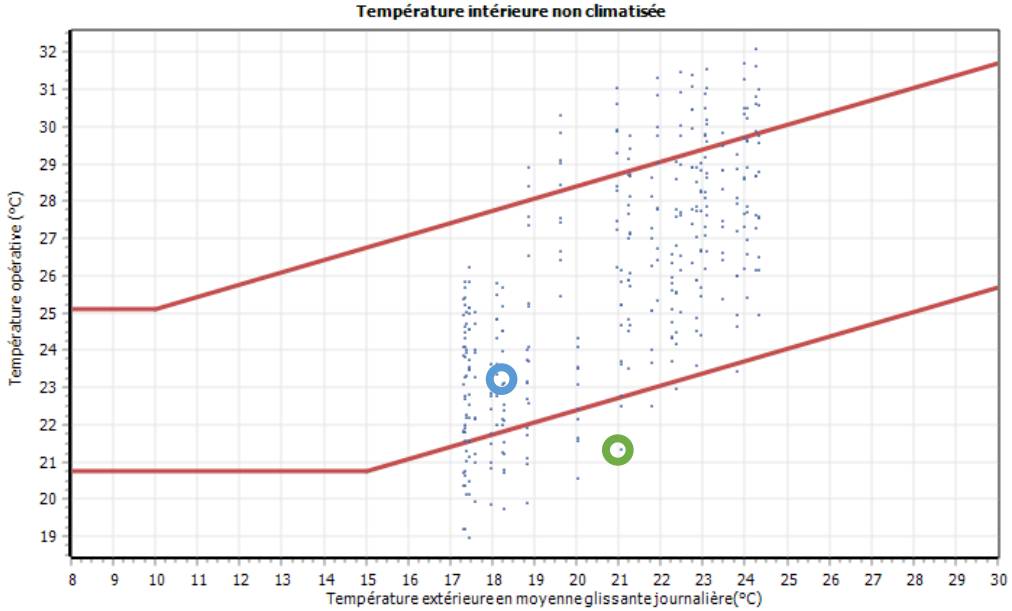


6.2 Synthèse des résultats

. Le programme définit un objectif d'un plafond à 2.5% du temps au-dessus de 28°C.

. La conception intègre un second indicateur, le diagramme de Brager. **Cette lecture** permet d'approcher la mise évidence de la notion de confort. Il prend en compte l'adaptation du corps à son environnement au fil des saisons et de leurs conditions « normales ».

L'exemple graphique ci-après est issu d'un autre projet : Une température opérative ressentie comme « agréable » lorsqu'il fait frais à l'extérieur (Cercle bleu), sera ressentie comme « froide » lorsqu'il fait chaud (Cercle vert)



. Par ailleurs, le projet fait l'objet d'une simulation selon deux typologies de données météorologiques, les données dites « RT 2012 » et les données dites « Besançon 2070 », voir 3.2 Données Météorologiques.

Les résultats détaillés ci-après sont tels que simulés sur base du scénario de projection « Besançon 2070 » **permettant d'estimer l'état de confort du bâtiment à 50 ans dans le cadre du scénario de réchauffement climatique A1B du GIEC.**

Pièces	***Scénario RT2012***	**Scénario Besançon 2070**	**Scénario Besançon 2070**
	Pourcentage d'heure > 28°C		**Pourcentage de temps en zone de confort « Brager »**
Amphi_1	10,9	17,3	71,8
Amphi_2	6,5	10,9	83,1
Amphi_3	4,2	7,2	87,7
Salle Polyvalente	8,9	11,2	68,3
R+1_A21_SALLE_DEDIEE_ADS	3,1	5,2	82,9
R+1_K22_SCOLARITE	0,1	0	100
R+1_L16_Amphi_6	2,6	4,4	93,3
R+1_N12_SALLE_50P	0,8	1,9	99,4
R+2_A24_SALLE_M1_M2_1	1,5	3,7	87,7
R+2_B21.1_SALLE_MUSICO	2	3,5	87,7
R+2_F15_SECRETARIAT	0	0	100
R+2_F25.2_GRANDE SALLE_M2	1,4	3,3	89,1
R+3_C11_DIRECTION	0,2	0	100
R+3_C15_BUREAUX DOCTORANTS	0,2	0,8	100
R+3_C24_SALLE_INFO_COMMUNE	1,8	3,1	92,9
R+3_F14.2_ENS_CHERCHEURS	2,4	3,4	96
R+3_N11.3_SALLE_35P	3	4,6	92,9
R+4_I21.1_SALLE_INFO 1	2,7	4	85,4
R+4_I31.1_BUREAUX_DOCTORANTS	0	0,6	100

6.3 Résultats pour les locaux d'enseignement

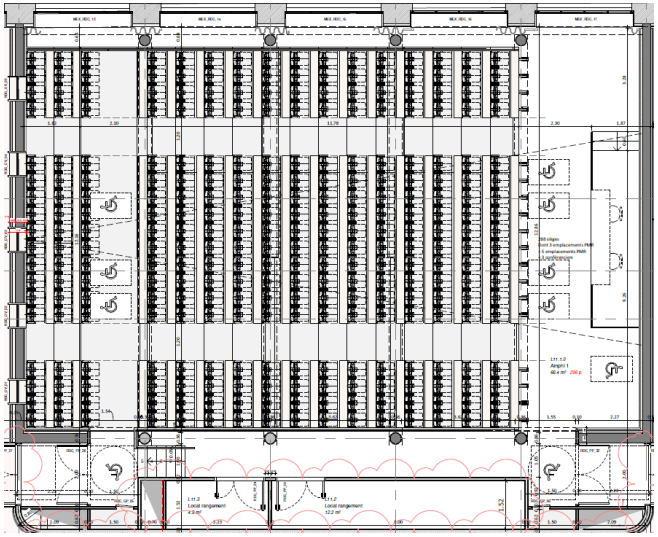
6.3.1 Analyse de la saisie d'un local type « grand effectif »

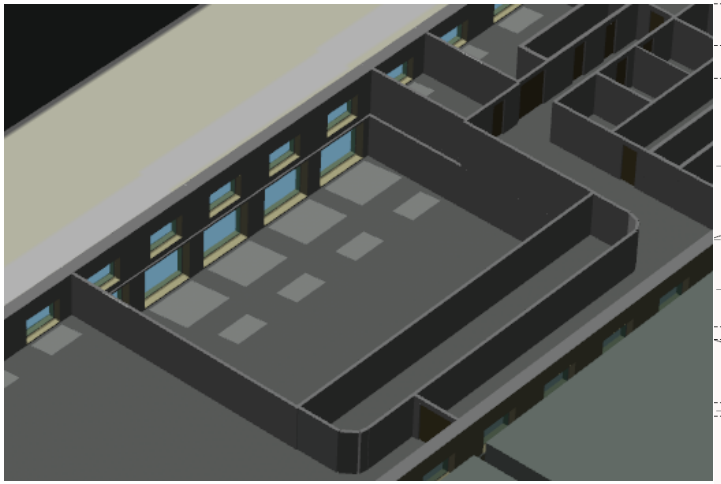
➔ Lecture à partir du local L11_Amphithéâtre 1 - Orientation Est

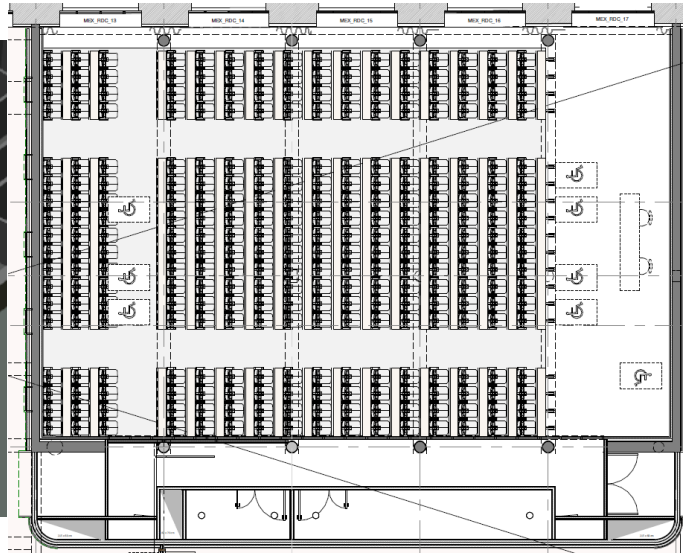
Rappel d'hypothèse :

- Utilisation en période universitaire et hors période universitaire « vacances » (base 60% du nominal) ; l'occupation type de référence est 296 personnes.
- En été, et mi- saison sous condition de température, mise en route de la ventilation à 25% du nominal 2h avant utilisation du local.
- Prise en compte de période de rotation toutes les 2 heures (débits nominaux occupation réduite « 1/2h sans occupant »)
- Les besoins en ventilation sont couverts à 100% par une ventilation mécanique double flux

Il s'agit d'un local en « double niveau » sur le RDC et l'Entresol. La modélisation permet la prise en compte de cette « double hauteur ».







Type: Occupation

Relatif(%) à la valeur de base — Valeur de base: 296 — Unité: Occupants

Valeur/Jour/Semaine — Année — Déselection

Valeurs

S	Nom	Valeur	Unité
	Occupation scolaire	100	%
	Vacances	40	%
	RAS	0	%
	conférences/cours du soir	50	%

Jours — Afficher le nom

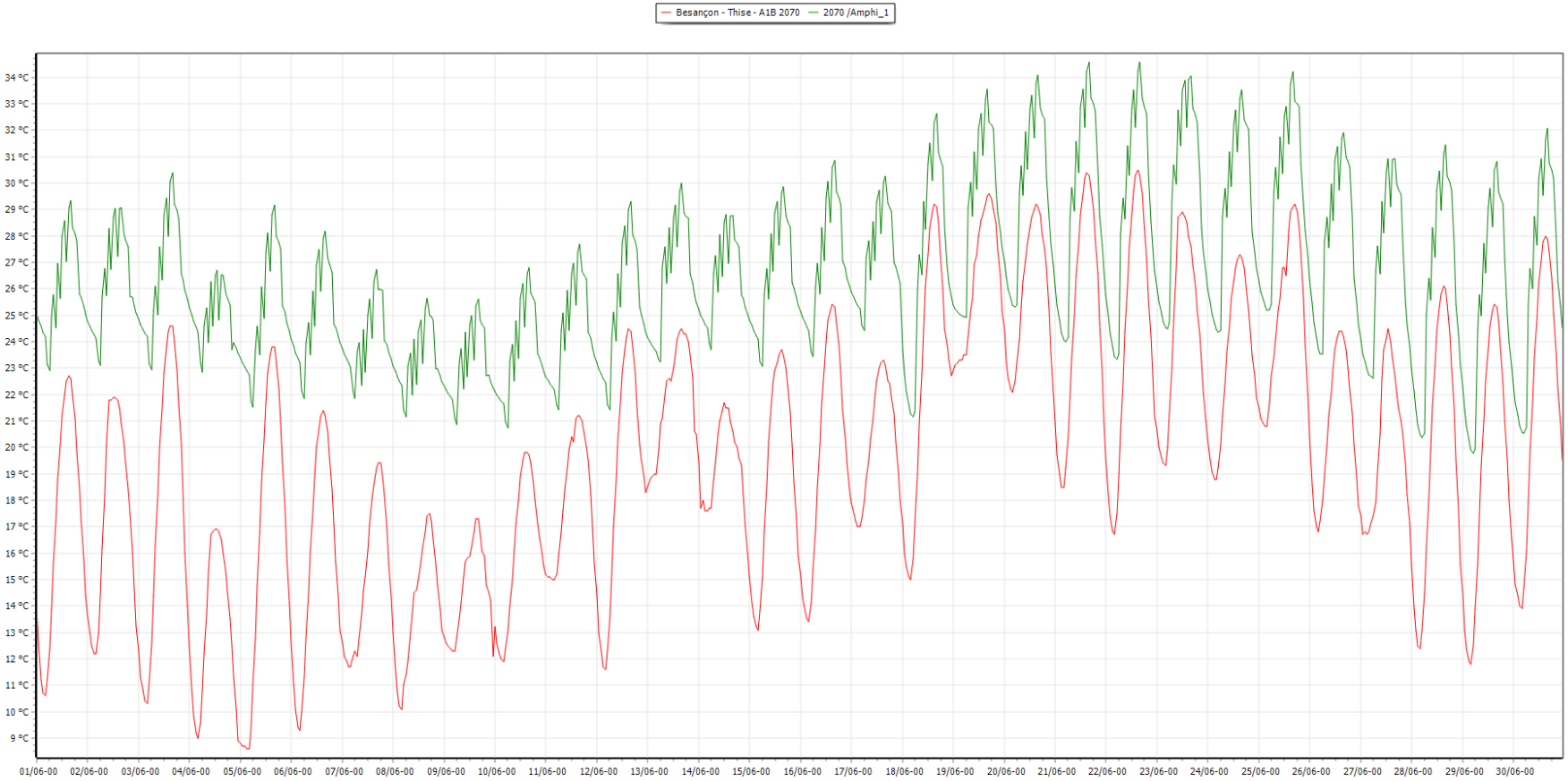
S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	L/Ma/Me/J/V	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	50	100	50	100	100	50	100	100	50	50	50	0	0	0
	RAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mercredi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	30	40	30	40	40	30	40	40	0	0	0	0	0	0
	Vacances	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	30	40	30	40	40	30	40	40	0	0	0	0	0	0

Semaines

Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Semaine	L/Ma/Me/J/V	L/Ma/Me/J/V	Mercredi	L/Ma/Me/J/V	L/Ma/Me/J/V	RAS	RAS
Vacances	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS

Aperçu d'occupation

***Nota générique** : Les scénarios sont des projections d'un usage supposé des locaux.*



Courbe des températures – L11_Amphithéâtre 1 – JUIN
Température opérative du local (vert) et température extérieure (rouge)

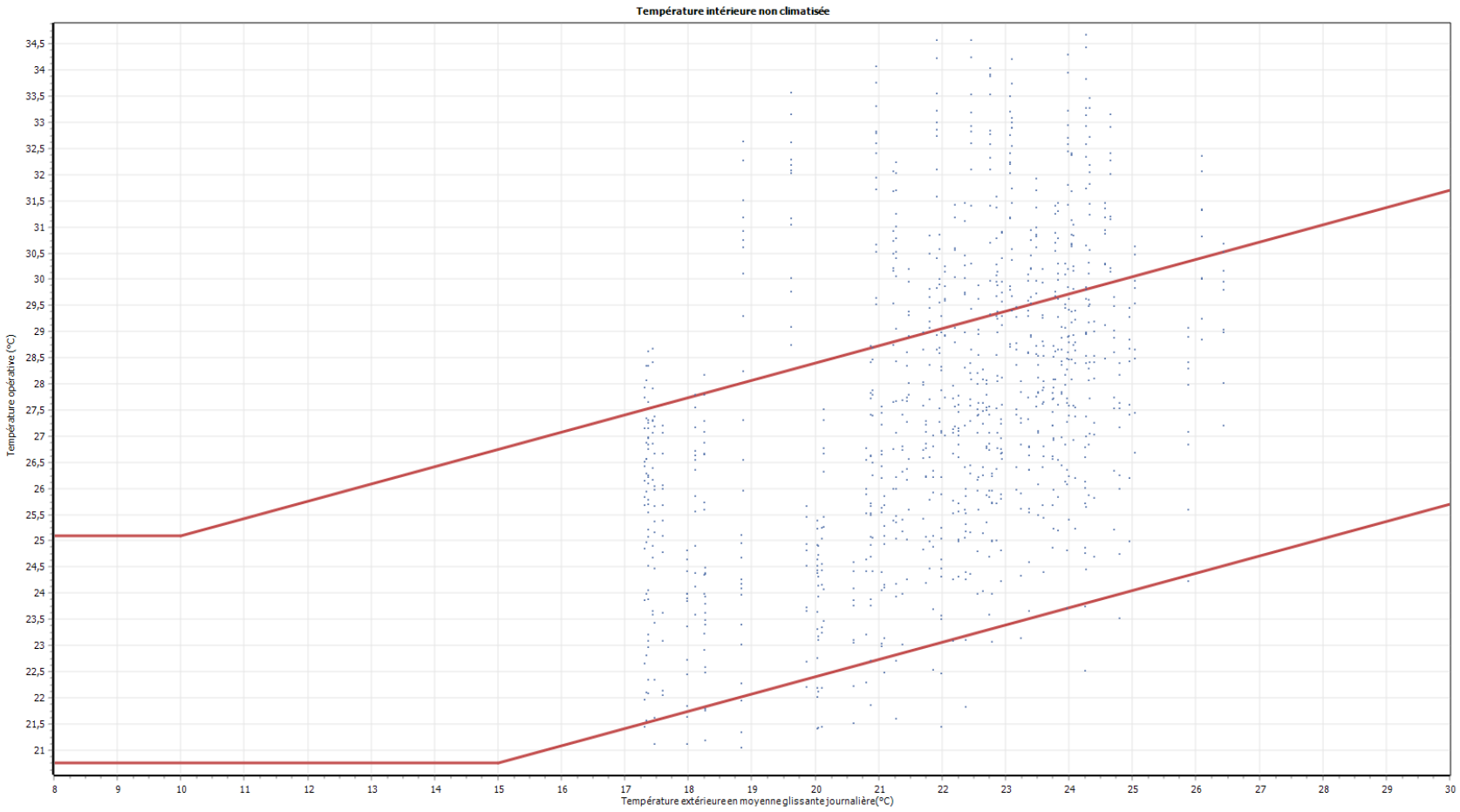


Diagramme de Brager sur l'année – Amphithéâtre 1

Taux de confort selon diagramme = 71.8% (Inconfort 28.2)

On observe notamment une tendance des températures opératives à figurer dans la partie « chaude » du graphique.

6.3.2 – Comparaison de locaux d'usages proches

➔ <u>Lecture avec le local L13_Amphithéâtre 2 – Orientation Sud / Sud-Ouest</u>

Rappel d'hypothèse :

- Utilisation en période universitaire et hors période universitaire « vacances » (base 60% du nominal) ; l'occupation type de référence est 200 personnes.
- En été, et mi-saison sous condition de température, mise en route de la ventilation à 25% du nominal 2h avant utilisation du local.
- Prise en compte de période de rotation toutes les 2 heures (débits nominaux occupation réduite « 1/2h sans occupant »)
- Les besoins en ventilation son couvert à 100% par une ventilation mécanique double flux
-

Il s'agit d'un local en « double niveau » sur le RDC et l'Entresol ; voir 6.1.1 L11_Amphitéatre 1 pour la prise en compte en 3D

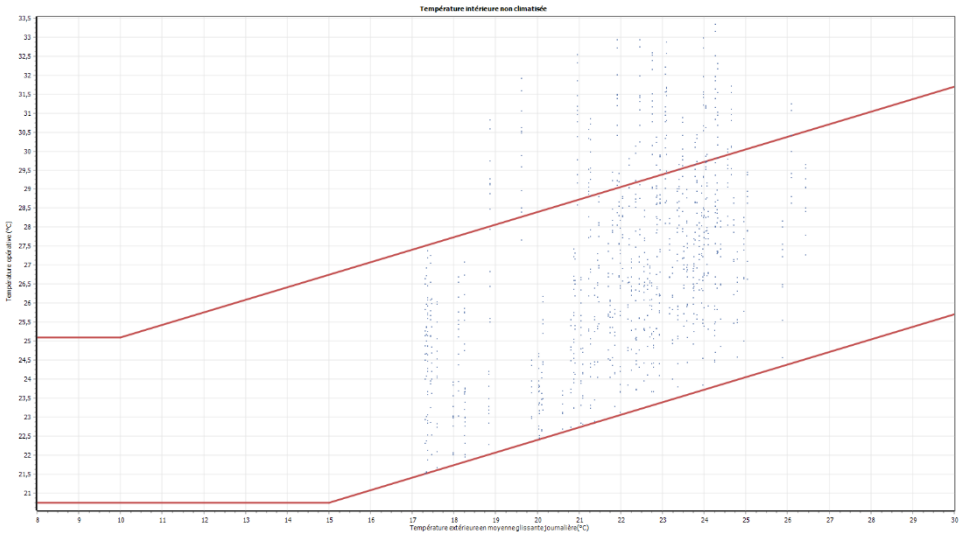


Diagramme de Brager – focus période chaude

Amphithéâtre 2 – 83.1% de confort

On observe notamment une tendance des températures opératives à figurer dans la partie « chaude » du graphique.

6.3.4 Présentation du cas particulier de la salle polyvalente

Rappel d'hypothèse :

- Utilisation en période universitaire et hors période universitaire ; l'occupation type de référence est 220 personnes.
- En été, et mi- saison sous condition de température, mise en route de la ventilation à 25% du nominal 2h avant utilisation du local.
- Prise en compte d'un usage en soirée jusqu'à 21h
- Les besoins en ventilation sont couverts à 100% par une ventilation mécanique double flux.

Il s'agit d'un local en « double niveau » sur le RDC et l'Entresol. La modélisation permet la prise en compte de cette « double hauteur ».

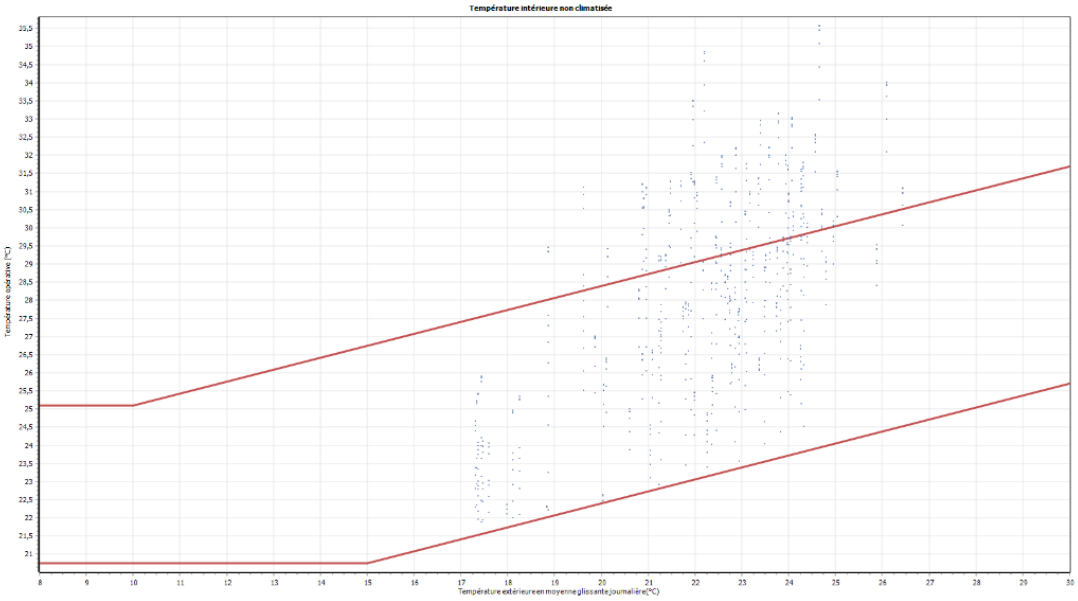


Diagramme de Brager – focus période chaude

Salle polyvalente – 71.29% de confort

➔ Lecture avec le local R+2_A24_Salle_M1_M2 – Orientation Ouest

Rappel d'hypothèse :

- Utilisation en période universitaire ; l'occupation type de référence est 38 personnes.
- **En été, et mi- saison, selon les conditions extérieures de la période, les occupants ont recours à la ventilation naturelle complémentaire par ouverture des fenêtres. En l'état il n'est pas prévu d'ouverture des fenêtres la nuit.**
- Les débits de ventilation « hygiéniques » restent couverts dans tous les cas par la ventilation mécanique.

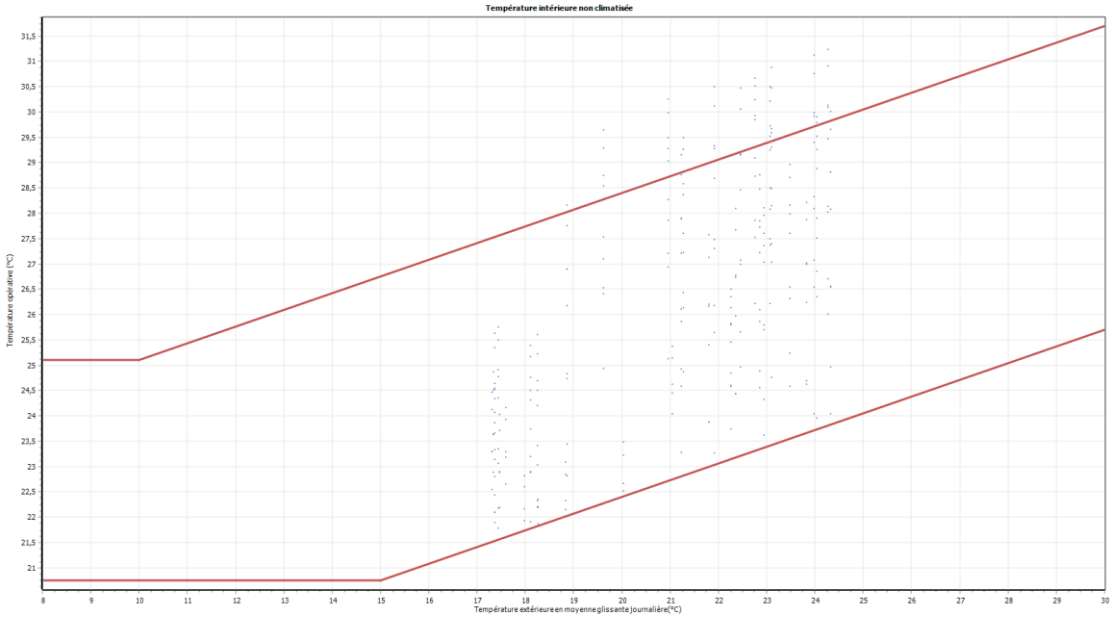


Diagramme de Brager – focus période chaude

Taux de confort 87.7%

➔ Lecture avec le local R+4_I21.1_Salle_Info – Combles

Rappel d'hypothèse :

- Utilisation en période universitaire ; l'occupation type de référence est 30 personnes.
- **En été, et mi- saison, selon les conditions extérieures de la période, les occupants ont recours à la ventilation naturelle complémentaire par ouverture des fenêtres. En l'état il n'est pas prévu d'ouvertures des fenêtres la nuit.**
- Les débits de ventilation « hygiéniques » restent couverts dans tous les cas par la ventilation mécanique.

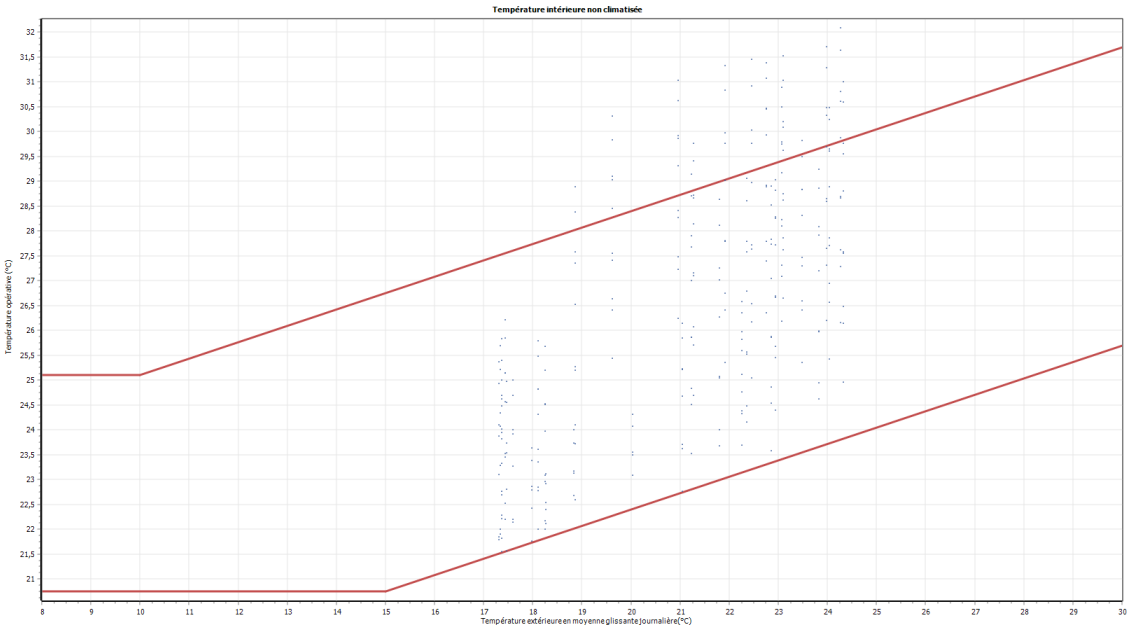


Diagramme de Brager – focus période chaude

Taux de confort 85.4%

6.4 Résultats pour les locaux à usage type bureaux

Les locaux sont conçus sur base d'un usage mixte ventilation mécanique (débits réglementaires) et ventilation naturelle (confort « d'été »).

➔ Lecture à partir du local R+3_C15_Bureaux_Doctorants - Orientation Ouest

Rappel d'hypothèse :

- Utilisation en période universitaire et en périodes de « vacances » ; l'occupation type de référence est 40 personnes.
- **En été, et mi- saison, selon les conditions extérieures de la période, les occupants ont recours à la ventilation naturelle complémentaire par ouverture des fenêtres. En l'état il n'est pas prévu d'ouvertures des fenêtres la nuit.**

  En été, et mi- saison occupation à 40% de l'effectif nominal pour prise en compte de la rotation des effectifs.
- Les débits de ventilation « hygiéniques » restent couverts dans tous les cas par la ventilation mécanique.

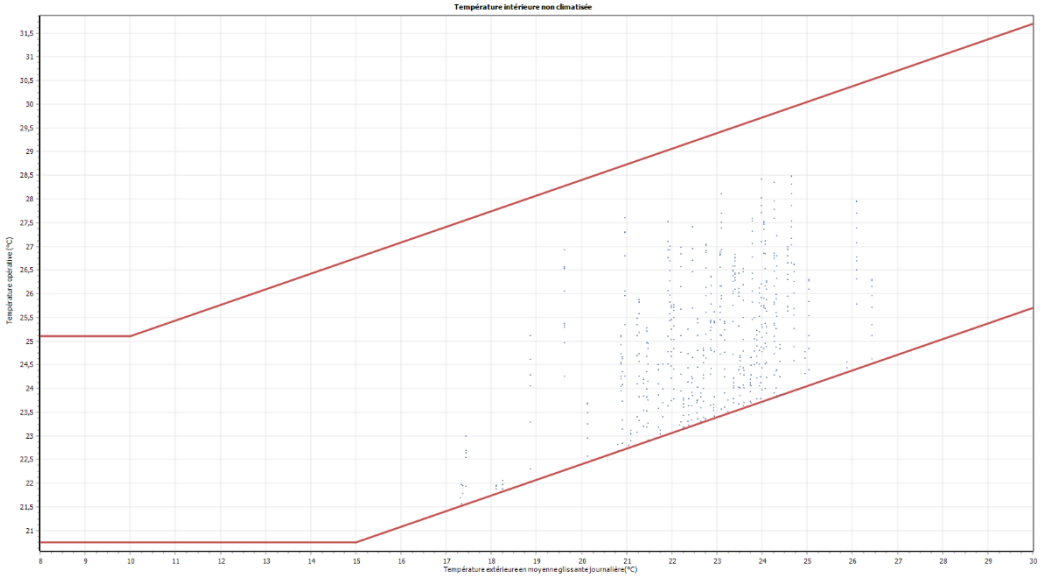


Diagramme de Brager – focus période chaude

Taux de confort 100 %

➔ <u>Lecture à partir du local R+4_I31_Bureaux_Docotorants – Combles/Sous toiture</u>

Rappel d'hypothèse :

- Utilisation en période universitaire et en périodes de « vacances » ; l'occupation type de référence est 40 personnes.
- **En été, et mi- saison, selon les conditions extérieures de la période, les occupants ont recours à la ventilation naturelle complémentaire par ouverture des fenêtres. En l'état il n'est pas prévu d'ouvertures des fenêtres la nuit.**

  En été, et mi- saison occupation à 40% de l'effectif nominal pour prise en compte de la rotation des effectifs.
- Les débits de ventilation « hygiéniques » restent couverts dans tous les cas par la ventilation mécanique.

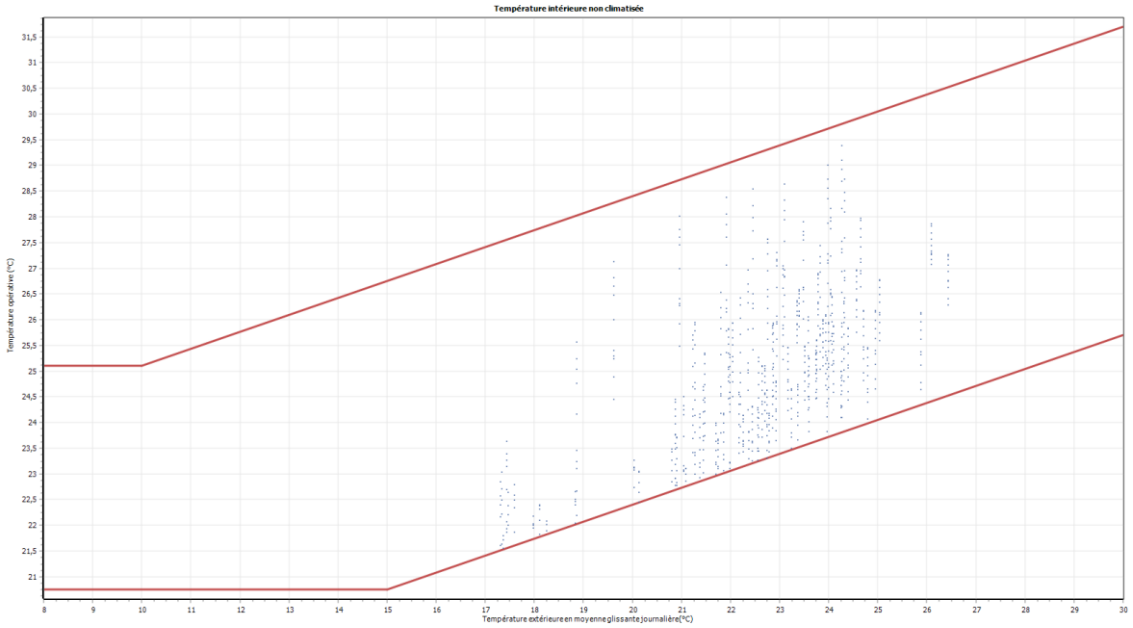


Diagramme de Brager – focus période chaude

Taux de confort 100 %

CONCLUSION GENERALE EXE

SYNTHÈSE DES RESULTATS

Nota 1 : Rappel de lecture, certaines pièces sont utilisées sur les mois de vacances estivales (hypothèses de fonctionnement ; voir p19)

Nota 2 : La zone de confort « Brager » prend en compte deux seuils de température, un bas, l'autre haut (cf 6.2). L'étude met en évidence une forte tendance à des températures dans le « bas » du confort de Brager en été. Dans certaines pièces, par exemple à ensoleillement plus faible, cela peut conduire à une température inférieure au seuil bas de confort en été.

Les hypothèses d'utilisation ont fait l'objet d'une mise à jour selon :

- Les derniers plans, à savoir une mise à jour des surfaces,
- Les effectifs d'occupation et des débits règlementaires associés
- Les modifications apportées sur l'enveloppe : parois et menuiseries
- Les apports liés aux dégagements de chaleur venant des pièces à forte occupation du RDC, amphithéâtres et salle polyvalente. Ces pièces étaient dans la précédente version ventilées grâce à des puits climatiques, qui sont désormais ventilées par double flux.
- Le logiciel Pléiades a fait l'objet de mise à jour sur ces méthodes de calculs depuis 2021

La mise à jour de modélisation du projet et des simulations de la phase EXE montre des résultats plus défavorables en termes de confort d'été.

Également,

- Le bâtiment existant possède une forte capacité d'inertie qui est valorisée au travers de l'utilisation d'un correcteur thermique interne (chaux-chanvre)
- A noter que les modélisations actuelles et moteurs de calcul de type Pléiade-Comfie ont une approche imparfaite du comportement du chaux-chanvre. Cette « problématique » est partagée avec les autres outils numériques disponibles. Plusieurs études se sont penchées sur cette question et notent une sous-estimation aussi bien en termes de performances phase « fraiche » que lors des périodes « chaudes ». Les calculs prennent notamment mal en compte la réaction hygrothermique du matériau ainsi que ses capacités à réguler l'humidité de l'air dans des proportions favorables au confort.
- Par ailleurs la ventilation naturelle par les ouvertures permet une gestion fine des espaces par les utilisateurs. Si les modélisations de type diagramme de Brager permettent une lecture intéressante, le confort est une donnée subjective qui dépend également de l'humidité ambiante. **La ventilation apporte ainsi une modularité du confort cohérente avec les ressentis individuels.**
- Les résultats de la STD confirment les grandes hypothèses techniques du projet (isolation, menuiseries extérieures, équipements CVC …).

Les résultats de la modélisation du confort selon les données météorologiques « Besançon 2070 » et **permettant d'estimer l'état de confort du bâtiment à 50 ans dans le cadre du scénario A1B du GIEC de réchauffement climatique** sont les suivantes :

Pièces	Scénario Besançon 2070 Pourcentage de temps en zone de confort « Brager »
Amphi_1	71,8
Amphi_2	83,1
Amphi_3	87,7
Salle Polyvalente	68,3
R+1_A21_SALLE_DEDIEE_ADS	82,9
R+1_K22_SCOLARITE	100
R+1_L16_Amphi_6	93,3
R+1_N12_SALLE_50P	99,4
R+2_A24_SALLE_M1_M2_1	87,7
R+2_B21.1_SALLE_MUSICO	87,7
R+2_F15_SECRETARIAT	100
R+2_F25.2_GRANDE SALLE_M2	89,1
R+3_C11_DIRECTION	100
R+3_C15_BUREAUX DOCTORANTS	100
R+3_C24_SALLE_INFO_COMMUNE	92,9
R+3_F14.2_ENS_CHERCHEURS	96
R+3_N11.3_SALLE_35P	92,9
R+4_I21.1_SALLE_INFO 1	85,4
R+4_I31.1_BUREAUX_DOCTORANTS	100

On observe dans l'ensemble des résultats cohérents avec l'ordre de grandeur attendu en programmation et études d'un confort aux environs de 90% sur diagramme de Brager. L'objectif s'éloigne dans les locaux à forte occupation, notamment les amphithéâtres et la salle polyvalente : une occupation importante pendant une période chaude, sans possibilité d'ouvrir les fenêtres la nuit, et avec uniquement des stores intérieurs, sont autant de facteurs qui expliquent les résultats de confort défavorables.