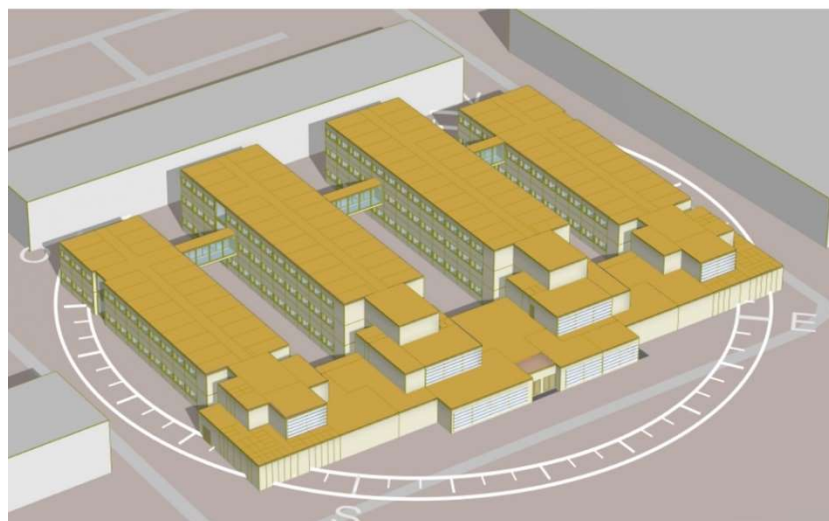


Reference dossier : Greenation_Rapport_PT3_DEWOITINE__0194_RAFRAICHISSEMENT_D

PT3 – Rapport Analyse Simulations Thermiques été/ hiver – Programme Technique

BRETIGNY SUR ORGE (91) - IRBA – Bâtiment 0194
***Rafrachissement du bâtiment DEWOITINE Assistance à maîtrise
d'ouvrage – Etudes thermiques***



Interlocuteur Greenation

Vincent VANEL

Tél: 06 04 65 04 37

vincent.vanel@greenation.fr

REALISATION DE LA SIMULATION THERMIQUE



19 rue Jean Bleuzen
92170 Vanves
contact@greenation.fr

Bertrand FONDANECHÉ
Tél : 06 51 24 74 54
bertrand.fondaneche@greenation.fr

Vincent VANEL
Tél: 06 04 65 04 37
vincent.vanel@greenation.fr

CLIENT

ÉTAT - MINISTÈRE DES ARMÉES
ÉTABLISSEMENT DU SERVICE
D'INFRASTRUCTURE DE LA DEFENSE D'ÎLE-DE
France



Madame IMI (LTN) Marion SABOK
Chef de projet technique
SGA-IDF/DIV INV/BCO/PCO1
Base des Loges, 8 avenue du président Kennedy
78100 SAINT GERMAIN EN LAYE

Tel : 01.39.21.27.46
Mobile : 06.17.42.47.19
PNIA : 861 782 27 46
www.defense.gouv.fr/sga

SUIVI DES EVOLUTIONS

Date	Indice	Etape	Personne(s) en charge	Vérification
05/08/2024	-	Visite du site	Vincent VANEL	-
07/11/2024	-	Visite n°2 du site	Vincent VANEL	-
13/10/2024	A	Rendu du premier rapport général	Vincent VANEL	LTN SABOK
18/11/2024	A	Rendu des rapports PT1 et PT2	Vincent VANEL	LTN SABOK
22/11/2024	B	Mise à jour des rapports PT1 et PT2	Vincent VANEL	LTN SABOK
22/11/2024	A	Rendu du rapport PT3	Vincent VANEL	LTN SABOK
05/12/2024	B	Mise à jour du rapport PT3	Vincent VANEL	LTN SABOK
12/12/2024	C1	Mise à jour du rapport PT3	Vincent VANEL	LTN SABOK
17/01/2025	D	Mise à jour du rapport PT3	Vincent VANEL	LTN SABOK

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	5
1.1 RAPPEL DE L'OBJECTIF DE LA MISSION	5
1.2 METHODOLOGIE UTILISEE	5
2. OBJET DE L'ETUDE	6
3. CONTEXTE REGLEMENTAIRE	7
4. ANALYSE DU PROGRAMME EXISTANT	7
5. ARGUMENTS EN FAVEUR DU TRAITEMENT THERMIQUE DU BATIMENT EXISTANT	8
6. ELEMENTS DU PROGRAMME EXISTANT	12
7. ANALYSE ET ORIENTATION DES SOLUTIONS TECHNIQUES	16
8. ANALYSE DU COMPORTEMENT THERMIQUE DU BATIMENT	18
9. SYNTHÈSE DE LA MISSION	20
10. ETAT DES LIEUX DU SITE	22
10.1 DONNEES GENERALES	22
10.2 DONNEES D'USAGE	23
10.2.1 Horaires du site	23
10.2.2 Fréquentation du site	23
11. EXIGENCES DU PROGRAMME	24
11.1 EXIGENCES REGLEMENTAIRES	24
11.1.1 Conditions de travail	24
11.1.2 Accessibilité PMR	24
11.1.3 Réglementations relatives aux lots techniques	24
11.2 GUIDE METHODOLOGIQUE DU MINISTERE DES ARMEES	28
11.3 INSTALLATIONS CLASSEES (ICPE, IOTA)	29
11.4 SECURITE INCENDIE	29
11.5 EXIGENCES ENVIRONNEMENTALES	29
11.5.1 Démarche Haute Qualité Environnementale	29
11.6 PERFORMANCE ÉNERGETIQUE	29
11.6.2 Prestation à réaliser	29
11.7 CERTIFICAT D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE (CEE)	30
11.8 EXIGENCES SURFACIQUES	30
11.8.1 Réhabilitation	30
11.8.2 Exigences particulières en phase de réalisation	30
11.9 EXIGENCES PARTICULIERES EN PHASE DE REALISATION	31
11.10 EXIGENCES CONCERNANT LA MAINTENANCE ET L'ENTRETIEN	31
11.10.1 Exploitation	31
11.10.2 Maintenance	34
12. SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE	35
12.1 HYPOTHESES DE SIMULATIONS	35
12.2 ANALYSE DE L'INCONFORT ESTIVAL	36
12.3 RESULTATS DETAILLES DE LA STD ET SED :	39
12.4 CHOIX DES BUREAUX LES PLUS REPRESENTATIFS (ECHANTILLONNAGE) :	40
12.5 CONSOMMATIONS SIMULEES	41
13. PRECONISATIONS DE TRAVAUX	42
13.1 PRESENTATION DES PRECONISATIONS SIMULEES	42
13.2 DESCRIPTIF DES PRECONISATIONS SIMULEES	44
13.2.1 Action 01 : Installation d'une CTA avec module froid	44
13.2.2 ACTION 02 : Protection solaire par des casquettes	47
13.2.3 ACTION 03 : Installation des brises soleil orientables (BSO)	49
VARIANTE SPECIALE : INSTALLATION DE FILM SOLAIRE SUR FAÇADES SPECIFIQUES SI	50
13.2.4 ACTION 04 : Ventilation des circulations et passerelles	53

13.2.5	ACTION 05 : Isolation thermique et végétalisation de toiture terrasse (aile E).....	56
13.2.6	ACTION 06 : Isolation Thermique Extérieure des façades	58
13.2.7	Action 07 : Installation de systèmes individuels de climatisation.....	60
13.3	TABEAU DE SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS	66
14.	SCÉNARIOS DE TRAVAUX	68
14.1	SCENARIO 1 : CTA PARTIELLE + SOLUTIONS PASSIVES	69
14.1.1	Synthèse globale et pour la moyenne des quatre échantillons	69
14.2	SCENARIO 2 : CTA PARTIELLE + ITE + ITT	71
14.2.1	Synthèse globale et pour la moyenne des quatre échantillons	71
7.3	SCENARIO 3 : SOLUTIONS PASSIVES SUR ENVELOPPE + VENTILATION	73
7.3.1	Synthèse globale et pour la moyenne des quatre échantillons	73
7.4	SCENARIO 4 : SOLUTIONS PASSIVES SUR ENVELOPPE ITE+ITT + CLIMATISATION INDIVIDUELLE.....	75
7.4.1	Synthèse globale et pour la moyenne des quatre échantillons	75
7.5	SCENARIO 5 : SOLUTION PASSIVES SUR ENVELOPPE BSO + CTA PARTIELLE + RT	77
7.5.1	Synthèse globale et pour la moyenne des quatre échantillons	77
7.6	SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS	79
7.6.1	Planification des travaux.....	82
15.	COUT GLOBAL.....	85
16.	CONCLUSION	87

1. Introduction

1.1 Rappel de l'objectif de la mission

La mission a eu pour objectif d'analyser le comportement thermique du bâtiment et de dresser des propositions de solutions d'améliorations de la performance énergétique et du confort d'été à travers des simulations thermiques dynamiques.

L'objectif de l'opération consiste en la finalisation de l'abaissement de la température globale du bâtiment 0194 afin d'améliorer le confort thermique de ses usagers.

Néanmoins, suivant les besoins exprimés, les solutions techniques simulées pourront conduire à des propositions touchant la qualité architecturale et/ou spatiale du bâtiment.

Les préconisations issues des simulations thermiques constituent le socle d'un programme destiné à :


- améliorer les inconforts d'été et d'hiver
- améliorer la performance énergétique du bâtiment
- adapter les locaux à un usage plus économe
- répondre aux obligations réglementaires
- répondre aux enjeux environnementaux

1.2 Méthodologie utilisée

L'intervention de Greenation s'est déroulée selon une méthodologie en 3 étapes :

ETAPE N°1
PT1 : Visite et collecte des données du site Rédaction du rapport d'analyse des documents existants afin de mettre en évidence les scénarios à retenir
ETAPE N°2
PT2 : Relevés du bâtiment, Modélisation énergétique par simulation thermique dynamique, calcul des apports et déperditions. Simulations d'actions et scénarios
ETAPE N°3
PT 3 : Simulations et préconisations des solutions et scénarios retenus les plus efficaces au regard des objectifs. Analyse et rédaction du programme de travaux à présenter aux usagers.

Nous avons utilisé le logiciel Pléiades pour les simulations du bâtiment étudié.

Méthode par simulation thermique et Énergétique dynamique (SED - STD)	
 STD COMFIE	Cette méthode permet de simuler le comportement thermique de votre bâtiment en tenant compte des différents phénomènes physiques : apports solaires, échanges au travers des parois, circulation de l'air, inertie thermique, action des occupants, etc. À partir des températures et des besoins de chauffage et de froid obtenus, il est possible d'analyser le confort hygrothermique, dimensionner les ouvertures et les protections solaires, évaluer l'effet de la ventilation naturelle...

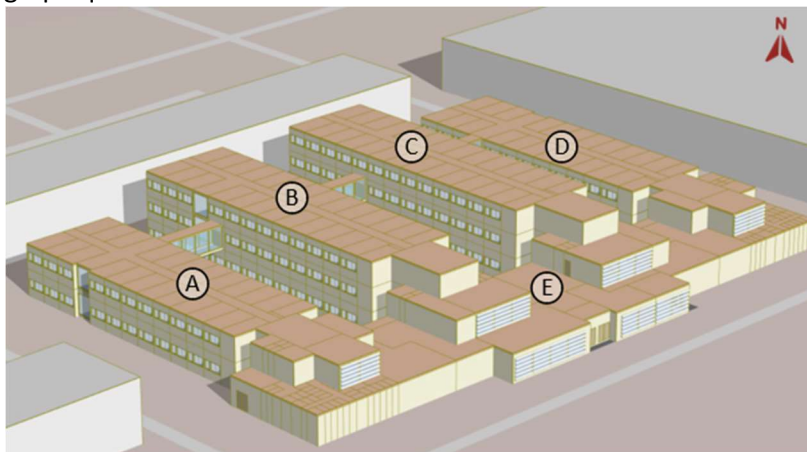
2. OBJET DE L'ÉTUDE

Le bâtiment « DEWOITINE » est un ensemble composé d'éléments modulaires industrialisés. Celui-ci a été livré en 2009 et n'a jamais connu de réhabilitation depuis.

Il est constitué d'un bâtiment principal en Rez-de-chaussée (aile E) et de quatre ailes perpendiculaires accueillant les bureaux (ailes A, B, C, D).

Celles-ci sont desservies à partir d'une coursive située dans la partie arrière du bâtiment E. Les ailes A et D sont en R+1 tandis que les ailes B et C sont en R+2.

Les bâtiments A, B, C et D sont reliés entre eux par des galeries de liaison au niveau R+1. Voici la représentation graphique 3D du bâtiment :



Le bâtiment se compose ainsi de 236 bureaux (répartis dans les ailes A, B, C et D) et occupés par 350 à 380 personnes environ.

De par sa conception structurelle (armatures métalliques, surface vitrée prédominante, faible inertie, protections solaires hétérogènes), le bâtiment est concerné par un inconfort thermique estival important.

Ainsi, lors des mois d'été ou lors de journée fortement ensoleillée, les températures intérieures augmentent drastiquement, notamment dans les derniers étages.

Les éléments du programme initial indiquent des températures intérieures supérieures à 37°C (avec des pics au-delà de 41°C), inconfortant les occupants.

Pour des raisons sanitaires, de productivité des équipes et de respect du code du travail, il a été envisagé dès 2017 par l'ESID Ile de France et le CETID d'évaluer la mise en place d'un programme permettant d'assurer des températures acceptables en lien avec les réglementations régissant les bâtiments tertiaires de bureaux.

L'objectif de l'opération est de limiter les montées en température dans les locaux selon deux cibles :

Cible 1 : température moyenne max $\leq 28^{\circ}\text{C}$ et

Cible 2 : durée d'inconfort $\leq 50\text{h}$.

La finalité de l'abaissement de la température globale du bâtiment DEWOITINE est d'améliorer le confort thermique de ses usagers. Les travaux concerneront l'approche combinée d'amélioration de l'enveloppe et de solutions actives ; ils viseront également à réduire significativement le taux d'inconfort estival, en maintenant les températures intérieures dans les limites définies par les cibles « utilisateurs » dans le respect des normes en vigueur.

Deux axes majeurs seront à considérer :

- Diminuer l'exposition des façades au soleil, diminuant ainsi la surchauffe intérieure lors de l'exposition.
- Créer un système de balayage d'air des circulations, rafraichissant ainsi les couloirs.

3. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

La stratégie ministérielle de performance énergétique (SMPE) 2020-2023 fixe six objectifs : réduire la consommation d'énergie, favoriser la consommation d'énergies renouvelables, améliorer l'efficacité énergétique sur les emprises, développer un parc immobilier tertiaire économe en énergie, mener des expérimentations sur l'autoconsommation d'énergie renouvelable et privilégier le raccordement des sites à un réseau de chaleur ou de froid urbain.

Depuis 2010, le SID est engagé dans cette transition énergétique. Il déploie de nombreuses actions pour optimiser et réduire les consommations d'énergie du ministère des Armées :

- travaux de rénovation énergétique ;
- contrats de performance énergétique ;
- systèmes de management de l'énergie ;
- sensibilisation à l'éco-responsabilité ;
- stratégies d'achats pour optimiser les dépenses en énergie ;
- formation de ses énergéticiens à la transition énergétique et numérique de l'immobilier ;
- déploiement de spécialistes de la gestion de l'énergie du patrimoine répartis dans ses établissements ;
- autoconsommation et stockage ou redistribution des surplus ;
- contrats innovants d'énergies vertes à coûts garantis ;
- remplacement des chaudières fioul par des solutions moins carbonées ;
- déploiement d'ombrières photovoltaïques ;
- application des normes Bâtiment basse consommation (BBC) au parc tertiaire du ministère...

4. ANALYSE DU PROGRAMME EXISTANT

L'analyse du programme a été effectuée à partir des données fournies par le MOA, notamment :

Annexe A : Programme Initial

Annexe B : Diagnostic Structure

Annexe C : Etudes Thermiques CETID

Annexe D : DOE_DR (DOCUMENTS DR NON DIFFUSABLE SUR PLACE)

Annexe E : Plans des locaux CIRISI_DR (DOCUMENTS DR NON DIFFUSABLE SUR PLACE)

Annexe F : Documents techniques complémentaires : consommation énergétique électrique 2021-2023, Liste des climatisations pour locaux techniques spécifiques,

5. Arguments en faveur du traitement thermique du bâtiment existant

En été, l'usager peut décider de n'activer la **climatisation** des locaux que lorsque la température des bureaux est supérieure à 26 °C (+/- 2°C), là encore sans que cette mesure à elle seule ne soit considérée comme une modification importante des conditions de travail.

Aucun lien n'est établi entre un travail dans un bureau chauffé à une température proche de 26 °C et des effets sur la santé. Pour autant, l'augmentation des températures dans les bureaux peut générer un inconfort thermique et provoquer une fatigue accrue et une déshydratation, et affecter l'activité du salarié (baisse de la vigilance, augmentation des temps de réaction). On considère qu'au-delà de 30 °C pour une activité sédentaire et 28 °C pour une activité légère, la chaleur peut constituer un risque pour les salariés. Écart de température entre l'intérieur des locaux et l'extérieur Préférentiellement 6 à 8 °C maximum, pour éviter les désagréments en entrant ou en sortant.

Pour autant, le ressenti thermique est une notion complexe à appréhender car dépend de nombreux paramètres.

Le **confort thermique** est une sensation liée à la température ambiante de l'environnement de travail et à la nature de l'activité. La température de confort thermique permet à une personne de maintenir, dans ces conditions, son équilibre thermique en utilisant un minimum d'énergie pour lutter contre le froid ou le chaud.

Toutefois, la température de l'air n'est qu'un des 6 paramètres qui influencent la sensation de confort thermique. La température de confort thermique dépend également des perceptions individuelles, de l'habillement, de la vitesse de l'air, de la température humide et sèche et de rayonnement.

REPÈRES DE CONFORT THERMIQUE POUR UNE ACTIVITÉ LÉGÈRE (TYPE ACTIVITÉ DE BUREAU)	
Température de l'air ambiant	23 à 26 °C pour les périodes estivales 21 à 23 °C pour les périodes hivernales
Écart de température entre l'intérieur des locaux et l'extérieur	Préférentiellement 6 à 8 °C maximum, pour éviter les désagréments en entrant ou en sortant
Degré d'humidité relative	40 à 70 %
Vitesse de l'air au niveau des opérateurs	Inférieur ou égal à 0,2 m/s

Tableau 1 : conditions moyennes de confort thermique dans les bureaux à activité légère
(source : INRS- **Code du travail : Legifrance (R. 4534-138, R.4223-13 à 15, R.4213-7 et 8 et R.4542-12, D.4161-2)** ; Norme ISO11079 (froid)/ ISO7730 et NFX35-203 (modéré)/ ISO7933 ; EN 12515 et NFX35-204 (chaud)/ ISO 10551)
<https://www.sante-securite-paca.org/risques-et-prevention/conception-des-locaux-de-travail/ambiance-et-confort-thermique>

Des températures ambiantes sensiblement différentes de celles recommandées ci-dessus n'engendreront généralement pas d'effets directs pour la santé des salariés lors d'une activité de bureau. Néanmoins celles-ci peuvent générer un **inconfort thermique** qui peut être vécu comme une dégradation des conditions de travail, et ainsi possiblement favoriser certains facteurs de risques psychosociaux (augmentation des exigences psychologiques, sentiment de manque de reconnaissance, dégradation des rapports sociaux...).

Pour diminuer les dépenses énergétiques dans les bureaux, il est généralement demandé en été d'avoir recours à une température minimale de 26°C. Cette température devant être adapté à l'activité physique des travailleurs.

La température des parois ayant une influence sur le confort ressenti, celles-ci doivent n'être ni trop froide en hiver, ni trop chaudes en été. ($T_{\text{confort}} = (T_{\text{air}} + T_{\text{parois}}) / 2$).

On distingue 4 sources d'inconfort local :

- une asymétrie dans la température de rayonnement,
- une vitesse d'air trop importante,
- une température du sol trop basse ou trop haute,
- une stratification verticale des températures.

Il y a trois modes de transfert thermique : la conduction (échanges de chaleur par contact), la convection (mélange d'advection et de diffusion) et le rayonnement.

Afin de limiter les pertes (ou les gains) d'énergie thermique il est nécessaire de limiter ces trois modes de transfert.

Ainsi, dans un même local, la personne qui est assise juste à côté de la surface vitrée n'aura pas la même température de rayonnement que celle qui est au fond du local.

Valeurs admissibles :

La norme EN 7730 définit, pour trois catégories d'ambiance et de lieu les exigences à respecter tant pour l'ambiance générale que pour les paramètres d'inconfort local. Ces exigences sont spécifiées dans le tableau ci-après :

Catégorie	État thermique du corps dans son ensemble		Inconfort local			
	PPD %	PMV	DR %	PD % dû à		
				une différence verticale de la température de l'air	un sol chaud ou froid	une asymétrie de la température de rayonnement
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$	< 30	< 10	< 15	< 10

(Extrait de la norme NF EN 7730)

Tableau 2 : Catégories d'ambiance thermique

DR : indice traduisant le % de personnes gênées par un courant d'air.

PD : indice traduisant le % de personnes insatisfaites en fonction des trois paramètres d'inconfort local.

D'une manière générale nous recommandons d'atteindre des conditions d'ambiance thermique permettant de se maintenir dans les limites :

$$-0,5 < P.M.V. < +0,5$$

Ce qui correspondra à un pourcentage d'insatisfaits (PPD) limité à 10 %, sachant qu'avec des températures opératives optimales, la répartition des ressentis entrainera toujours à minima 5% d'insatisfait.

Par ailleurs, selon la norme EN 15251 régissant les critères d'ambiance intérieure dans les zones de bureaux (catégorie III) (en lien avec les indicateurs de confort PMV-PPD de la norme EN ISO 7730), il est souhaitable d'obtenir une température opérative pour le rafraîchissement (Bureau individuel (fermé ou ouvert), salle de réunion avec une activité sédentaire (~ 1,2 met) et vêtements léger (0.5 clo) comprise entre 23 et 26°C, la température de confort étant de 28°C (+/-2°C).

Tenue vestimentaire	Repère en « clo »	R en m². °C/W
Nu	0	0
Short	0,1	0,0155
Tenue tropicale type : short, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et sandales.	0,3	0,046
Tenue d'été légère (pantalon léger, chemise à col ouvert et à manches courtes, chaussettes légères et chaussures)	0,5	0,0775
Tenue de travail légère (chemise de travail en coton à manches longues, pantalon de travail, chaussettes de laine et chaussures)	0,7	0,108
Tenue d'intérieur pour l'hiver (chemise à manches longues, pantalon, pull-over à manches longues, chaussettes épaisses et chaussures)	1	0,155
Tenue de ville traditionnelle (complet avec pantalon, gilet et veston, chemise, chaussettes de laine et grosses chaussures)	1,5	0,232

Température d'équilibre thermique

La température d'ambiance T à laquelle le corps est à l'équilibre thermique dépend de la puissance P produite par le corps et de l'isolation R . La formule empirique, en °C, est :

$$T = 31 \text{ °C} - P \cdot R, \text{ en unités internationales.}$$

Si R est en clo, la formule devient :

$$T = 31 \text{ °C} - 0,155 \cdot P \cdot R.$$

En prenant une valeur de clo à 0.4 et une puissance dissipative de 50 W, la température d'équilibre thermique « idéale » serait d'environ 28°C.

Les bornes de cet intervalle dépendent de la température extérieure, d'où le caractère « adaptatif ».

Note : explication sur les notions de « met » et « clo » :

Le clo est une unité mesurant l'isolation thermique utilisée pour les vêtements (clothes en anglais).

1 clo = 0,155 m² K W⁻¹

C'est l'isolation qui permet à une personne au repos de maintenir l'équilibre thermique dans une atmosphère à 21 °C. Au-dessus, la personne transpire, en dessous, elle ressent le froid.

Le MET correspond au niveau d'activité en lien avec les valeurs de métabolisme :

1 met (équivalent métabolique) = 3,5 ml d'O₂/kg par min

Activité	M en W/m²	met
Repos, couché	45	0,8
Repos, assis	58	1
Repos, debout	70	1,2
Activité légère, assis (bureau, domicile, école, laboratoire)	70	1,2
Activité debout (achat, laboratoire, industrie légère)	95	1,6
Activité debout (vendeur, travail ménager, travail sur machines)	116	2,0
Activité moyenne (travail lourd sur machine, travail de garage)	165	2,8

Un dépassement de ces plages peut donc être autorisé, sachant qu'après une succession de journées chaudes, nous avons la capacité à mieux supporter la chaleur.

Il est ainsi acceptable d'avoir des écarts admissibles correspondants à 3-5% du temps.

3 %/5 % d'une période	Journalière minutes	Hebdomadaire heures	Mensuelle heures	Annuelle heures
Heures de travail	15/24	1/2	5/9	61/108
Heures totales	43/72	5/9	22/36	259/432

Des mesures en phase travaux (AOR) suivant N ISO 7726 (EN 12599) permettront des mesures d'ambiance thermique afin de valider les solutions mises en place (Les mesures doivent être réalisées dans des pièces représentatives, dans différentes zones et orientations, avec des charges différentes, pendant des périodes d'utilisation représentatives).

A noter que selon la RE2020, l'indicateur qui permet d'évaluer l'inconfort est le degrés-heures d'inconfort : DH qui s'exprime en °C.h. Il représente le niveau d'inconfort perçu par les occupants. Plus concrètement, cet indicateur s'apparente à un compteur qui cumule, sur l'année, chaque degré ressenti inconfortable de chaque heure.

Les degrés inconfortables sont conventionnellement ceux qui dépassent les 26 ou 28°C suivant les configurations extérieures.

La RE2020 définit 2 seuils que la température intérieure au bâtiment ne doit pas dépasser pour éviter tout inconfort :

- La nuit, le seuil de température est de 26°C
- Le jour, un seuil de température adaptatif qui se situe entre 26° et 28°C

Les DH sont la somme des degrés ressentis inconfortables de chaque heure pour chaque jour de l'année. **Si ce compteur ne dépasse pas 350 °C.h, la RE2020 juge le bâtiment confortable même en période caniculaire sans système de refroidissement complémentaire.**

En conclusion, ce qui semble important pour optimiser le confort d'été (en plus du confort thermique global limité autour de 28°C), c'est qu'il faut **éviter les inconforts locaux et qu'il est important que l'occupant puisse jouer lui-même sur son environnement** (ouverture de fenêtre par exemple).

Cette mesure sera donc plus pertinente pour un bâtiment low-tech.

Les inconforts locaux peuvent être dus à la présence de courant d'air, à un gradient vertical de température excessif, à une température de sol trop élevée ou trop basse, ou encore à un rayonnement asymétrique par rapport à l'individu (fenêtre froide, sources de chaleur localisées d'un seul côté du corps...).

L'objectif de l'opération est de limiter les montées en température dans les locaux selon deux cibles :

Cible 1 : température moyenne max ≤ 28°C et

Cible 2 : durée d'inconfort < 50h.

Nous suggérons de respecter également les critères suivants de la norme ISO 7730 :

1. L'asymétrie de température de rayonnement de fenêtres (ou d'autres surfaces verticales) doit être inférieure à 10°C (mesure à 0,6 m du sol). Cette mesure consiste donc à comparer comment la chaleur est échangée par rayonnement de chaque côté du corps vers l'environnement. Si le déséquilibre dépasse 10°C entre la T°moyenne des parois vers la fenêtre et la T°moyenne des parois vers le fond du local, la personne est en état d'inconfort.
2. L'asymétrie de température de rayonnement d'un plafond tiède (chauffé) doit être inférieure à 5°C (mesure à 0,6 m du sol).

Au-delà de cette valeur, davantage de personnes sont insatisfaites par l'excédent de chaleur autour de leur tête.

3. La température de surface du sol doit normalement être comprise entre 19 et 26°C,
4. La stratification verticale des températures doit être limitée à 3°C entre 0,1 et 1,1 m au-dessus du sol.

6. Eléments du programme existant

L'analyse des documents fournis ont permis de conserver et simuler un certain nombre d'actions suggérées afin d'en évaluer les plus efficaces.

Les préconisations techniques du programme établi par ATIXIS reprenaient celles établies par le CETID pour abaisser les températures intérieures des locaux (avis technique GC-17-003 du 24/04/2017).

Synthèse de la composition des parois :

Descriptions	Coefficient de Transmission thermique	(Valeur réglementaire RT Existant de l'arrêté du 03 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants modifié en 2017)
Murs extérieur (doublage isolé + bardage métallique extérieur)	$U_p \leq 0.28 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$U_p = 0.31 \text{ W/m}^2.\text{K}$
Toiture (bac acier isolé avec LdV en plénum)	$U_p \leq 0.27 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$U_{ph} = 0.19 \text{ W/m}^2.\text{K}$
Planchers bas	$U_p \leq 0.30 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$U_{pb} = 0.33 \text{ W/m}^2.\text{K}$
Menuiseries (châssis métalliques et baies vitrées toute hauteur)	$U_w \leq 1.4 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$U_w \leq 1.9 \text{ W/m}^2.\text{K}$

L'objectif premier du bâtiment « éphémère » DEWOITINE était de bénéficier d'un maximum de lumière naturelle. Cependant, ces vitrages participent fortement aux phénomènes de surchauffes estivales, dont les cages d'escalier et les galeries de liaison entre ailes.

Une réflexion sur les occultations a été menée lors de la conception du bâtiment (brise soleil aile E et stores extérieurs métalliques sur certaines façades des bureaux exposés Sud et Sud- Ouest).

Pour autant, de par sa conception (conception légère avec peu d'inertie, nombreux ponts thermiques, beaucoup de surfaces vitrées, accumulation de la chaleur en intérieur, ...), le bâtiment est soumis à la surchauffe, notamment en période estivale.

En effet, il se caractérise par des matériaux extérieurs à forte diffusivité (alors que cela devrait être l'inverse) et des matériaux intérieurs à faible effusivité (alors que cela devrait être l'inverse).

L'isolant des doublages est du PU et des plénums en laine de verre ne présentent pas particulièrement de propriétés d'emmagasiner de l'énergie (faible effusivité).



Ainsi, pour le confort d'été il faudrait augmenter l'inertie par transmission côté extérieur et pour l'hiver augmenter l'inertie par absorption en intérieur.

Cela a comme conséquence l'atteinte de températures intérieures excessives, notamment aux étages supérieurs, accentuée par le phénomène de stratification de l'air chaud.

Le tableau ci-dessous issu de la STD effectuée par le CETID indique les heures et le taux d'inconfort sur l'année des occupants pour chaque zone de bureaux sur la base de 28°C.

Zones	Apports solaires	Heures > T°d'inconfort	Taux d'inconfort
	kWh	h	%
Bureaux ouest aile A RDC	5 875	137	6
Bureaux ouest aile A R+1	5 887	148	6
Bureaux est aile A RDC	4 663	167	7
Bureaux est aile A R+1	5 307	196	8
Bureaux ouest aile B RDC	4 251	134	6
Bureaux ouest aile B R+1	5 379	153	7
Bureaux ouest aile B R+2	6 422	175	7
Bureaux est aile B RDC	5 683	193	8
Bureaux est aile B R+1	6 429	214	9
Bureaux est aile B R+2	8 375	267	11
Bureaux ouest aile C RDC	4 196	130	6
Bureaux ouest aile C R+1	5 053	148	6
Bureaux ouest aile C R+2	6 726	175	7
Bureaux est aile C RDC	5 545	191	8
Bureaux est aile C R+1	6 716	222	9
Bureaux est aile C R+2	8 170	264	11
Bureaux ouest aile D RDC	2 950	119	5
Bureaux ouest aile D R+1	3 971	136	6
Bureaux est aile D RDC	7 464	213	9
Bureaux est aile D R+1	7 490	221	9

Figure 16 : Tableau récapitulatif des heures d'inconfort

Voici l'équivalent sur les températures maximales atteintes dans ces zones.

Zones	Apports solaires kWh	Température maximale °C
Bureaux ouest aile A RDC	5 875	40,81
Bureaux ouest aile A R+1	5 887	40,45
Bureaux est aile A RDC	4 663	35,03
Bureaux est aile A R+1	5 307	35,71
Bureaux ouest aile B RDC	4 251	39,43
Bureaux ouest aile B R+1	5 379	39,76
Bureaux ouest aile B R+2	6 422	41,71
Bureaux est aile B RDC	5 683	35,62
Bureaux est aile B R+1	6 429	35,85
Bureaux est aile B R+2	8 375	37,35
Bureaux ouest aile C RDC	4 196	38,56
Bureaux ouest aile C R+1	5 053	38,50
Bureaux ouest aile C R+2	6 726	40,82
Bureaux est aile C RDC	5 545	35,79
Bureaux est aile C R+1	6 716	36,89
Bureaux est aile C R+2	8 170	38,48
Bureaux ouest aile D RDC	2 950	36,31
Bureaux ouest aile D R+1	3 971	37,41
Bureaux est aile D RDC	7 464	37,02
Bureaux est aile D R+1	7 490	37,84
Circulation aile A	5 811	36,92
Circulation aile B	8 843	37,29
Circulation aile C	6 241	36,82
Circulation aile D	4 237	36,53
Galerie de liaison AB	9 557	41,52
Galerie de liaison BC	11 889	41,29
Galerie de liaison CD	9 056	40,05

Figure 17 : Tableau récapitulatif des apports solaires et des températures maximales

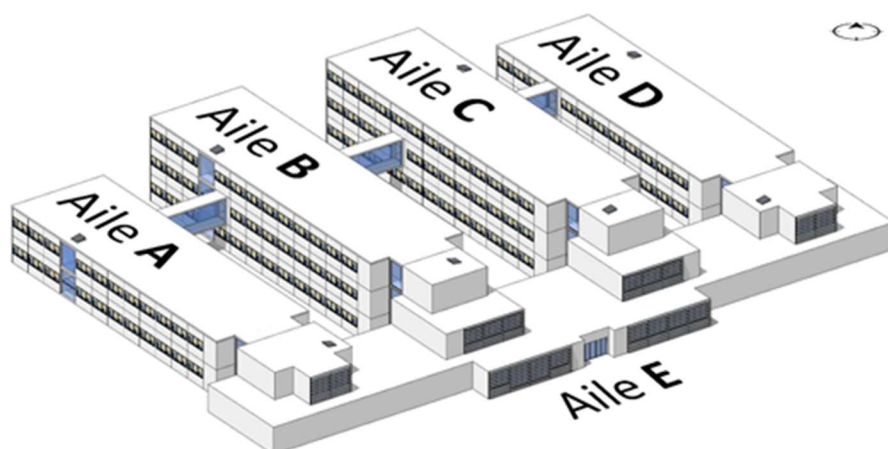
Ces températures élevées ont été confirmées par des mesures enregistrées à l'été 2020 (R+2 des ailes B et C), supérieures à 35°C.

7. Analyse et orientation des solutions techniques

Dans le cas du bâtiment DEWOITINE, les températures d'été grimpent rapidement car la structure ne présente pas d'inertie, est majoritairement constitué de métal (conducteur) et de surface vitrée, avec nombreux points de faiblesse d'étanchéité à l'air.

Ainsi le front de chaleur traverse rapidement les cloisons, s'accumule dans les doublages, percole à travers les mortaises et les faux plafonds.

Comme il n'existe pas de système mécanique de ventilation et d'évacuation des calories, l'air se stratifiant et s'accumulant en partie haute, le bâtiment monte très vite en température, notamment aux derniers étages et dans les bureaux exposés au rayonnement sud/ sud-ouest.



Vue 3D du bâtiment (source Atixis)

Ailes	Étage			Total	Surface Unitaire	Total
	1	2	3			
A	23	22	-	45	11,36	511,20 m ²
B	25	23	25	73	11,36	829,28 m ²
C	25	23	25	73	11,36	829,28 m ²
D	23	22	-	45	11,36	511,20 m ²
Nombre total des bureaux				236	Superficie totale des bureaux	
					2680,96 m²	

Tableau 3 : Récapitulatif des surfaces de bureaux

Description	Surface/U	Nombre par Aile				Surface par Aile			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Fenêtres bureaux	0,91 m ²	135	213	213	135	122,85 m ²	193,83 m ²	193,83 m ²	122,85 m ²
Baie vitrée toute hauteur	6,82 m ²	6	9	9	6	40,92 m ²	61,38 m ²	61,38 m ²	40,92 m ²
Galeries de liaison TYPE 1	48,00 m ²	1			1	48,00 m ²			48,00 m ²
Galeries de liaison TYPE 2	65,14 m ²		1				65,14 m ²		
Fenêtres sur façade principale	4,24 m ²	2	3	3	2	8,48 m ²	12,72 m ²	12,72 m ²	8,48 m ²
Fenêtres façade arrière	0,00 m ²								
Baies vitrées Façade Principale TYPE 1	4,00 m ²				6				24,00 m ²
Baies vitrées Façade Principale TYPE 2	6,14 m ²				2				12,28 m ²
Baies vitrées sur cours intérieures	-				3				80,91 m ²

Tableau 2 - Superficie des superficies vitrées

Total de surface vitrée : **1077,78 m²**
dont **641,21 m²** exposés au soleil

Tableau 4 : Récapitulatif des surfaces vitrées

➤ Températures intérieures :

- Les résultats de la simulation montrent des températures intérieures dépassant les 35°C, en particulier dans les zones fortement exposées au rayonnement solaire.
- Les périodes de la journée les plus critiques sont celles où le rayonnement solaire est le plus intense, aggravé par l'absence de masques ou de protection solaire.

Aile	Niveau	T° min moyenne [°C]	T° max moyenne [°C]	
A	RDC	15,94	37,60	
	R+1	15,16	42,90	
B	RDC	15,93	37,24	
	R+1	15,70	38,87	
	R+2	15,25	41,71	
C	RDC	15,79	37,35	
	R+1	16,00	39,01	
	R+2	15,25	41,86	
D	RDC	15,93	34,20	
	R+1	15,17	40,32	
E	RDC	16,00	30,66	
	R+1	14,13	31,40	

Tableau 5 : températures moyennes par ailes du bâtiment

- Températures dans les circulations et cages d'escaliers : 37°C – 40°C
- Températures dans les coursives AB/BC/CD : > 40°C
- Température max moyenne échelle bâtiment : 37 .76°C

Au regard des spécificités du bâtiment (différence de hauteur, orientations selon la journée, nombre étage), chaque aile verra une adaptation spécifique et ponctuelle des simulations des préconisations techniques.

Le bilan thermique pris en compte dans notre analyse est la somme de toutes les charges thermiques externes et internes.

La méthode utilisée pour le calcul des charges :

- les apports extérieurs : ensoleillement, conduction à travers les parois, infiltration d'air extérieur et renouvellement d'air.
- les apports intérieurs : occupants, machines, éclairage, évaporation.

8. Analyse du comportement thermique du bâtiment

Le bâtiment de par sa conception structurelle est basée sur une armature métallique avec une surface vitrée prédominante, une faible inertie thermique (à la fois de transmission, absorption et superficielle), et des protections solaires hétérogènes, le rend particulièrement vulnérable à l'inconfort thermique estival.

La nature des matériaux extérieurs (vêtements, brise soleil, occultant métalliques) ainsi que la typologie des revêtements des toitures provoquant un fort effet d'albédo et de réverbération, accentuant encore davantage l'augmentation de la charge thermique extérieure.

Notamment, la toiture en bac acier et les panneaux sandwich avec une isolation en laine minérale ou synthétique peut dense et peu effusif présente une inertie thermique insuffisante, aggravant les gains thermiques en période estivale.

L'encombrement ou l'espace insuffisant au niveau des plénums dans les différents niveaux, ainsi que la résistance mécanique limitée de la toiture-terrasse, compliquent certaines actions et solutions techniques, comme l'installation d'une CTA pour l'ensemble du bâtiment. Cela nécessite une réflexion approfondie pour concevoir des solutions adaptées.

Bien que certaines menuiseries présentent des protections solaires extérieures, cette charge thermique associée aux apports internes, à une faible inertie et de nombreuses infiltrations d'air entraînent une augmentation rapide de la température dans les ailes, s'accumulant du fait d'un manque d'évacuation par ventilation des calories et accentué par l'effet de serre des passerelles qui du fait d'un non cloisonnement avec les autres ailes provoque un déferlement de chaleur dans les étages.

Ceux-ci étant connectés entre eux et l'air se stratifiant par effet cheminée, les étages supérieurs sont logiquement les plus chauds avec un delta de plus de 10 à 14°C avec le RdC de l'aile E par exemple.

La ventilation nocturne n'étant pas maîtrisée (voir absente), la charge thermique du lendemain est déjà présente et au cours de la saison printemps/ été, il fait de plus en plus chaud tôt dans le bâtiment.

Le bâtiment E, bien que fortement exposé, présente des caractéristiques thermiques spécifiques qui lui confère des températures limitées dans l'existant (31°C en température max moyenne).

Ceci est dû à une combinaison d'éléments thermiques bénéfiques :

- Une dalle béton apportant de l'inertie,
- Un SAS d'entrée créant une zone tampon,
- Un ombrage des autres bâtiments,
- Des matériaux de revêtement dans le hall plus effusif,
- Des baies vitrées ombragées côté jardin avec pelouse (donc moins d'albédo),
- Des protections solaires (brises-soleil),
- Des zones climatisées limitant l'effet parois chaudes,
- Des cassettes climatisantes dans les salles de réunion,

Ces éléments participent au confort d'été maîtrisé naturellement dans cette aile et à réduire la température maximale moyenne dans cette aile.

Toutefois, bien que raisonnables au regard des températures maximales constatées dans les autres ailes, ces mesures restent insuffisantes pour atteindre les cibles de confort thermique fixées dans cette mission (écart de 3°C avec la cible 1 et 96h pour la cible 2 (taux d'inconfort 7%)).

Cela justifie la nécessité de mettre en place des solutions passives, telles que l'isolation des toitures-terrasses ou leur végétalisation, afin d'améliorer les performances thermiques globales de l'aile E (diminuer la charge entrante, augmenter l'inertie), la charge thermique étant par ailleurs évacuée par la ventilation.

De plus, pour garantir l'atteinte des objectifs de confort thermique dans des espaces spécifiques, tels que les salles de réunion, il est indispensable d'envisager l'installation de climatiseurs individuels de type multi-split.

Ces équipements permettraient d'assurer un contrôle précis de la température dans ces zones critiques, tout en complétant les autres mesures passives mises en œuvre.

Axes d'amélioration :

Pour répondre aux défis thermiques du bâtiment, il est essentiel de combiner des **actions passives** afin de limiter l'apport thermique extérieur dans le temps, et ponctuellement **actives** afin d'améliorer le confort thermique tout en tenant compte des contraintes structurelles.

- **Actions passives :**

Privilégier des solutions visant à réduire en priorité les apports solaires (charge thermique extérieure) et à améliorer l'inertie thermique du bâtiment, telles que :

- La mise en place de protections solaires efficaces, comme des brises-soleil, des casquettes ou encore de la végétation sur les toitures, afin de limiter les surchauffes estivales.
- Le renforcement de l'isolation thermique des toitures et des murs, qui contribuerait à stabiliser les températures intérieures et à réduire les déperditions énergétiques.

- **Actions actives :**

Pour l'excédent de charge thermique, mettre en œuvre des équipements pour réguler activement la température intérieure, en particulier dans les zones les plus affectées :

- Envisager l'installation d'une CTA avec module froid, spécifiquement pour les bureaux situés aux derniers étages, les plus sujets aux surchauffes. Cette solution ciblée tient compte des difficultés liées à la structure du bâtiment, notamment les toitures et les gaines intérieures, qui ne facilitent pas les travaux lourds pour une CTA couvrant l'ensemble des ailes.
- Installer des climatiseurs individuels (multi-splits) dans l'ensemble des bureaux, ce qui permettrait un contrôle précis de la température et une amélioration immédiate du confort thermique.

En combinant ces approches, il sera possible de réduire les températures maximales, d'améliorer le confort thermique des occupants et de répondre aux objectifs fixés, tout en intégrant les contraintes spécifiques du bâtiment.

9. Synthèse de la mission

Le présent rapport est basé sur les relevés et plans fournis/ documents fournis par le MOA.

La visite principale a été effectuée le **5 août 2024** (fin de matinée). Nous avons eu accès à l'ensemble du bâtiment et des couloirs des étages.

La simulation s'établit principalement sur les relevés suivants :

- Caractéristiques constructives du bâtiment : plans, modes constructifs, qualité des matériaux et composants
- Systèmes techniques qui le composent : chauffage, éclairage, auxiliaires
- Utilisation propre : fréquentation, type activités pratiquées, plannings

La présente étude comprend 2 parties.

La première partie comprend la description et l'analyse des résultats des diverses simulations :

- Références météorologiques,
- Le bâti, avec le calcul détaillé des apports et déperditions,
- Les différents fluides (électricité, gaz),
- La détermination théorique des besoins

Les diverses simulations ont été présentées lors du PT2 en prenant en compte les divers critères suivants :

- **Coûts de mise en œuvre ;**
- **Avantages / Inconvénients ;**
- **Abaissement des températures ; Economies d'énergie**
- **Contraintes d'installations et d'exploitation ;**
- **Coûts de maintenance.**

La deuxième partie concerne la présentation des moyens financiers à mettre en œuvre et le phasage prévisionnel des travaux pour **améliorer l'existant suivant un scénario d'intervention.**

Cela permettra d'étaler l'investissement dans le temps et de se rendre compte dès la tranche de travaux 1 de l'efficacité de la solution.

A noter que durant les travaux, le site continue son fonctionnement normal (horaire 8h-17h), ce qui implique que les abords du chantier soient protégés et interdits au personnel extérieur au chantier. Les équipements et systèmes installés ne doivent pas comporter de risques sur les personnes et équipements en place.

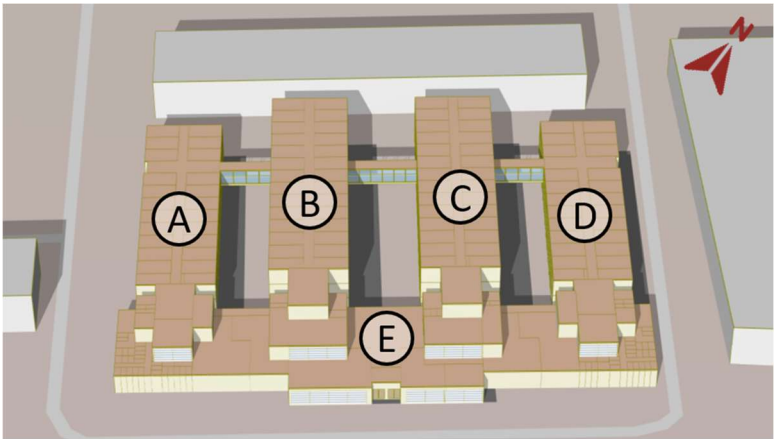
Les travaux au voisinage de certains bureaux et salle de réunions pourront nécessiter une restriction d'actions et une adaptation des créneaux d'intervention.

Les préconisations mises en évidences lors de la mission indiquent les résultats suivants pour les 5 ailes :

- **Scénario 1** - CTA partielle + ensemble des 5 solutions passives de l'enveloppe + RT
Coût TVX : 2 484 346 € TTC – Durée TVX : 13 mois TVX (3 mois de PP comprise)
- **Scénario 2** - CTA partielle + ITE et Isolation des toitures terrasses + RT
Coût TVX : 1 977 660 € TTC – Durée TVX 13 mois TVX (3 mois de PP comprise)
- **Scénario 3** - Ensemble des 5 solutions passives de l'enveloppe + RT
Coût TVX : 2 013 106 € TTC – Durée TVX 13 mois TVX (3 mois de PP comprise)
- **Scénario 4** - Climatisation individuelle des bureaux + ITE et Isolation des toitures terrasses + RT
Coût TVX : 1 506 420 € TTC – Durée TVX 17 mois TVX (3 mois de PP comprise)
- **Scénario 5** - CTA partielle + solution passive la plus efficace (BSO) + RT
Coût TVX : 864 546 € TTC – Durée TVX 8 mois TVX (3 mois de PP comprise)

10. ETAT DES LIEUX DU SITE

10.1 Données générales

Adresse	IRBA – Place Général Valérie André 91200 Brétigny-Sur-Orge
Orientation du site	
Année de construction	2004
Nombre d'étages	5 Ailes : 1 principal à RDC (E) et 4 perpendiculaires en R+1 (A et D) et en R+2 (B et C)
Surface	SDP _{totale} : 5198m ²
Usages	Bâtiment modulaire pour activité de recherche avec 236 bureaux occupés par 350 à 380 personnes
Travaux antérieurs	Aucun.
Périmètre de l'étude)	L'ensemble du bâtiment modulaire avec ses 5 ailes

10.2 Données d'usage











10.2.1 Horaires du site

Le site est globalement occupé en continu durant les horaires ouverts de travail.




10.2.2 Fréquentation du site

Les cinq ailes du bâtiment, dédiées à la recherche biomédicale militaire, comprennent un total de 236 bureaux. Ces espaces accueillent principalement des chercheurs, du personnel administratif et technique, ainsi que des visiteurs occasionnels pour des réunions ou des collaborations. En fonction des activités simultanées dans ces ailes, nous avons estimé qu'il pouvait y avoir au maximum 300 personnes présentes en même temps dans l'ensemble du bâtiment, réparties entre les bureaux, les espaces de travail communs et les zones de circulation.

Analyse du confort des usagers

Confort	Description	Evaluation
Hivernal 	Le confort hivernal dans le bâtiment est globalement satisfaisant, grâce à un système de chauffage collectif performant. Ce dispositif garantit une répartition homogène de la chaleur, évitant ainsi les désagréments généralement associés à des températures insuffisantes durant les périodes froides. Les bureaux et espaces communs bénéficient donc d'un environnement confortable en hiver.	
Estival 	En revanche, le confort estival présente des défis importants. L'architecture du bâtiment, avec une surface vitrée conséquente, favorise des apports solaires élevés. Ces apports, combinés aux matériaux réfléchissants des façades et à l'absence de protections solaires efficaces, entraînent une surchauffe rapide des espaces intérieurs, notamment dans les étages supérieurs. Ces conditions rendent l'occupation prolongée inconfortable pendant les périodes de forte chaleur.	
Lumineux 	Aucun inconfort lumineux n'a été reporté. Nous avons pu constater que sur certaines parties du hall, la nuit, l'éclairage pouvait être insuffisant.	
Acoustique 	Il n'y a pas de bruit particulier dans les locaux ou à proximité.	
Renouvellement d'air (ventilation) 	Concernant le renouvellement d'air, celui-ci est assuré naturellement dans les bureaux. Des mortaises intégrées aux menuiseries et l'ouverture des fenêtres permettent un renouvellement d'air non permanent et non maîtrisé, car dépendant des conditions extérieures et des habitudes des occupants. Pour autant il n'y a pas d'extraction d'air. Ce système pourrait être amélioré pour offrir un contrôle plus précis et efficace sur la qualité de l'air intérieur, particulièrement en été ou en cas de pollution.	

Le nombre de pictogrammes correspond au niveau de confort selon la légende ci-dessous :

Légende :		Confort faible
		Confort moyen
		Confort bon

11. Exigences du programme

11.1 Exigences réglementaires

11.1.1 Conditions de travail

Le Code du Travail ne définit aucune limite ni de température maximale dans les locaux bureautiques mais impose aux employeurs de veiller à renouveler régulièrement l'air dans les locaux fermés où les salariés sont amenés à travailler (Article R 4121-1) et de leur fournir des conditions de travail confortables.

L'article R 4121-1 du code de travail indique qu'une ventilation continue d'air doit être prévue d'un débit minimal de 25 m3 par heure et par occupant dans les espaces bureautiques.

La norme NF X35-203/ISO 7730 relative au confort thermique considère que la température idéale pour un travail bureautique doit être maintenue entre 20°C et 22°C.

L'INRS (Institut National de Recherche et de Santé) considère que :

- au-delà de 30 °C, la chaleur représente un risque pour les salariés ;
- au-dessus de 33 °C, la température est considérée comme un véritable danger ;

11.1.2 Accessibilité PMR

SANS OBJET.

11.1.3 Réglementations relatives aux lots techniques

11.1.3.1 Exigences réglementaires CFO

Toutes les installations doivent répondre aux règles de l'art, aux normes et règlements en vigueur, notamment :

- **Règles générales :**
 - NF C 12-100 et 101 : Textes officiels relatifs à la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques.
 - NF C13-100 : Postes de livraison alimentés par un réseau public de distribution HTA (jusqu'à 33 kV) (Janvier 2006)
 - NF C 15-100 : Installations électriques à basse tension (Juin 2015)
 - UTE C 15-103 : Installations électriques à basse tension. Guide pratique. Choix des matériels électriques (y compris des canalisations), en fonction des influences externes (Mars 2004)
 - UTE C 15-105 : Méthode simplifiée pour la détermination des sections des conducteurs et le choix des dispositifs des protections – Guide pratique (Juillet 2003)
 - UTE C 15-106 : Guide pratique. Section des conducteurs de protection. Des conducteurs de terre et des conducteurs de liaisons équipotentiels (Décembre 2003)
 - UTE C 15-520 : Installations électriques à basse tension – Guide pratique – Canalisations – Modes de pose – Connexions (Juillet 2007)
 - NF EN 60529 : Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP)
 - NF C 20-012 : Degrés de protection procurés par des enveloppes (Octobre 1992)
 - NF C 20-030 : matériels électriques à basse tension – Protection contre les chocs électriques. Règles de sécurité (Juillet 1977)
 - NF C 20-455 : Essais relatifs aux risques du feu – Méthodes d'essai – Essais au fil incandescent et guide (Décembre 1989)

- NF C 32-321 : Conducteurs et câbles isolés pour l'installation. Câbles rigides et isolés polyéthylène réticulé sous gaine de protection en polychlorure de vinyle. Série U1000 R2V (Avril 1982).
- NF EN 50525-1 : Câbles électriques – Câbles d'énergie basse tension de tension assignée au plus égale à 450/750V (U0/U) (Mars 2012)
- Décret n° 2010-301 du 22 mars 2010 modifiant le décret n° 72-1120 du 14 décembre 1972 relatif au contrôle et à l'attestation de la conformité des installations électriques intérieures aux règlements et normes de sécurité en vigueur
- Décret n°88-1056 du 14 Novembre 1988 (J.O. du 24 Novembre 1988). Protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques.
- NF EN 60439-6 : Ensembles d'appareillage à basse tension — Partie 6 : Systèmes de canalisation préfabriquée (Décembre 2012)
- NF EN 61439-3 : Ensembles d'appareillage à basse tension - Partie 3 : tableaux de répartition destinés à être utilisés par des personnes ordinaires (DBO) (Septembre 2012)

11.1.3.2 Exigences réglementaires GTB

Toutes les installations doivent répondre aux règles de l'art, aux normes et règlements en vigueur, notamment :

- Règles générales :
- NF C 15-100 : Installations électriques à basse tension (Juin 2015)
- Décret n°88-1056 du 14 Novembre 1988 (J.O. du 24 Novembre 1988). Protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques.

11.1.3.3 Exigences réglementaires CVC

Toutes les installations doivent répondre aux règles de l'art, aux normes et règlements en vigueur, notamment :

- Règles générales :
- Décret no 2010-1269 du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions.
- RT Existant : arrêté du 22 mars 2017 modifiant l'arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants.
- Arrêté du 13 juin 2008 relatif à la performance énergétique des bâtiments existants de surface supérieure à 1000 m², lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants. Cet arrêté définit les exigences réglementaires applicables et le niveau de performance à atteindre pour la RT « globale ».
- Arrêté du 08 août 2008 portant approbation de la méthode de calcul Th-C-E ex prévue par l'arrêté du 13 juin 2008 relatif à la performance énergétique des bâtiments existants de surface supérieure à 1000 mètres carrés, lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants. Cet arrêté approuve la méthode réglementaire TH-CE ex utilisée pour le calcul de la consommation conventionnelle d'énergie des bâtiments existants dans le cadre de la réglementation thermique des bâtiments existants.

Lorsqu'un Maître d'Ouvrage décide de remplacer, d'installer un élément d'isolation, un équipement de chauffage, de production d'eau chaude, de refroidissement, de ventilation ou un équipement d'éclairage, il doit installer des produits de performance supérieure aux caractéristiques minimales mentionnées dans l'arrêté du 3 mai 2007 et modifié au 1er janvier 2018.

Dans ce cas, il doit être vérifié si la RT Globale ou la RT Éléments par Éléments doit être appliquée.

La réglementation Thermique « Élément par Élément » exige :

<ul style="list-style-type: none"> • Hausse des exigences de performances thermiques pour les parois opaques ; 	Pris en compte ;
<ul style="list-style-type: none"> • Hausse des exigences pour les parois vitrées : $U_w \leq 1.9 \text{ W (m}^2\text{.K) ;}$ 	Installation de films anti-UV, des stores extérieurs et des brise-soleils ;
<ul style="list-style-type: none"> • Ventilation : pour les pièces principales non ventilées, en cas d'isolation des parois ou remplacement des baies, obligation de créer des entrées d'air ; 	Installation d'un système de ventilation ou de refroidissement ;
<ul style="list-style-type: none"> • Confort d'été : exigences sur le facteur solaire en cas de remplacement de protection solaire, remplacement de fenêtres de toit ou remplacement de baies ou façades rideaux pour les bâtiments tertiaires ; 	Pris en compte ;
<ul style="list-style-type: none"> • Chauffage / Eau chaude sanitaire / Refroidissement / Ventilation : <ul style="list-style-type: none"> ○ Suppression des exigences déjà prévues par les règlements éco-conception ; ○ Renforcement des exigences sur l'isolation des réseaux ; ○ Renforcement des exigences sur les émetteurs à effet joule avec une variation temporelle de 0.6K et option de détection de présence ou détection d'ouverture des fenêtres ; ○ Classe de régulation IV ou plus pour les dispositifs de chauffage centralisé ; ○ Dans les bâtiments tertiaires, obligation d'avoir des systèmes indépendants de ventilation pour des usages différents et obligation de réguler la ventilation en fonction de l'occupation. 	Installation d'un système de ventilation ou de refroidissement ;

- Décret n° 2017-919 du 9 mai 2017 (applicable au 1er juillet) modifiant les articles R. 131-28-7 et R. 131-28-9 du code de la construction et de l'habitation
 - Décret n° 2016-711 du 30 mai 2016 relatif aux travaux d'isolation en cas de travaux de ravalement de façade, de réfection de toiture ou d'aménagement de locaux en vue de les rendre habitables
 - Circulaire du 9 mai 1985 relative au commentaire technique des décrets 84-1093 et 84 1094 du 7 décembre 1984
 - Arrêté ministériel du 23 Juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage, à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, des bureaux ou recevant du public.
 - L'arrêté du 13 avril 1988 relatif aux équipements et aux caractéristiques thermiques dans les bâtiments à usage de bureaux ou de commerces
 - La représentation normalisée et symbole NFX 08,
 - NF EN 13779 relative à la ventilation dans les bâtiments non résidentiels (Juillet 2007)
 - L'ensemble des D.T.U. et des Règles de Calculs édité par le C.S.T.B., et en particulier
 - ♣ DTU 60 : Plomberie - Sanitaire
 - ♣ DTU 65 : Chauffage
 - ♣ DTU 68 : Ventilation mécanique
 - ♣ DTU 70 : Installations électriques
 - Les prescriptions de la direction départementale des services de sécurité.
 - Articles R. 175-1 à R. 175-5-1 du code de la construction et de l'habitation, créés par le décret n° 2020-887 du 20 juillet 2020 relatif au système d'automatisation et de contrôle des bâtiments non résidentiels et à la régulation automatique de la chaleur.
 - Décret n° 2023-259 du 7 avril 2023 relatif aux systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments tertiaires, **ISO 6946 : 2007 – Décembre 2007**
- Composants et parois de bâtiments – Résistance thermique et coefficient de transmission thermique – Méthode de calcul

- norme ISO 13789 : 2007 – Décembre 2007

Performance thermique des bâtiments – Coefficient de transfert thermique par transmission et par renouvellement d'air – Méthode de calcul

- norme ISO 13790 : 2008 – Mars 2008

Performance thermique des bâtiments – Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des locaux

- norme ISO 10211 : 2007 – Décembre 2007

Ponts thermiques dans les bâtiments – Flux thermiques et températures superficielles – Calculs détaillés

- norme NF EN 15217 – Mars 2008

Performance énergétique des bâtiments – Méthodes d'expression de la performance énergétique et de certification énergétique des bâtiments

- norme NF EN ISO 13786 – Juillet 2008

Performance thermique des composants de bâtiments – Caractéristiques thermiques dynamiques – Méthodes de calcul

2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
<div>2020</div> <div>22</div> <div>juillet</div> <div>Entrée en vigueur du décret n° 2020-887</div>	<div>2021</div> <div>21</div> <div>juillet</div> <div>1 an après la publication du décret n° 2020-887</div>		<div>2023</div> <div>09</div> <div>avril</div> <div>Entrée en vigueur du décret n° 2023-259</div>	<div>2024</div> <div>08</div> <div>avril</div> <div>1 an après la publication du décret n° 2023-259</div>	<div>2025</div> <div>1er</div> <div>janvier</div>		<div>2027</div> <div>1er</div> <div>janvier</div>	
Bâtiments neufs équipés d'un système* dont la puissance nominale utile est supérieure à 290 kW **								
				Bâtiments neufs équipés d'un système* dont la puissance nominale utile est supérieure à 70 kW **				
					Bâtiments équipés d'un système* dont la puissance nominale utile est supérieure à 290 kW			
			Bâtiments équipés d'un système* dont la puissance nominale utile est supérieure à 70 kW, lors du renouvellement de ce système*				Bâtiments équipés d'un système* dont la puissance nominale utile est supérieure à 70 kW	

11.1.3.4 Exigences réglementaires Plomberie

Toutes les installations doivent répondre aux règles de l'art, aux normes et règlements en vigueur, notamment :

- Règles générales :
- DTU 60 : Plomberie - Sanitaire

11.1.3.5 Exigences réglementaires Plomberie

Toutes les installations doivent répondre aux règles de l'art, aux normes et règlements en vigueur, notamment :

- Règles générales :
- Le règlement européen F-Gaz 2014 relatif à la réduction des émissions de gaz à effet de serre provenant des fluides frigorigènes.
- La norme NF EN 378 relative aux exigences de sécurité et les procédures de gestion des risques pour les installations de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur.
- Les normes de qualité de l'air intérieur relatives à l'impact des installations sur la qualité d'air intérieur des espaces climatisés.

11.1.3.6 Exigences réglementaires Base Vie

Toutes les installations doivent répondre aux règles de l'art, aux normes et règlements en vigueur, notamment :

- **Règles générales :**

- R232-2-2 : Article du code du travail relatif à l'installation de locaux vestiaires
- R. 232-2-3 : Article du code du travail relatif à l'installation de sanitaires (lavabos, moyens de nettoyage, séchage ou essuyage)
- R. 232-2-4 : Article du code du travail relatif à l'installation de douches
- R. 232-2-5 : Article du code du travail relatif à l'installation de cabinets d'aisance (WC, urinoirs)
- R. 232-10-1 : Article du code du travail relatif à l'installation de locaux réfectoires.

11.2 Guide méthodologique du Ministère des Armées

D'autres directives ont été publiées par plusieurs organismes de l'État afin d'apporter du conseil au Maître d'Ouvrage par rapport aux solutions pratiques et non énergivores.

Le guide méthodologique pour les bâtiments du Ministère des Armées, publié en Mars 2016 par le Centre Référent Performance Énergétique (CRPE) détaille ce sujet :

• Concilier performance énergétique et confort d'été :

o Se protéger des apports solaires

- ♣ Activer les protections solaires dès que le soleil éclaire les fenêtres, sans attendre l'inconfort ;

- Une bonne gestion des protections solaires permet de gagner -4 à -5°C sur la température intérieure.

- ♣ Fermer complètement les volets en cas d'absence.

o Dissiper la chaleur intérieure

- ♣ Ouvrir les fenêtres lorsque (et seulement si) la température extérieure est inférieure à la température intérieure ;

- ♣ Utiliser des brasseurs d'air ne baisse pas la température, mais améliorent notablement le ressenti. Les ventilateurs de plafond sont à privilégier si la hauteur sous plafond le permet, pour éviter un effet courant d'air trop directionnel ;

- Ventilateur : un mouvement d'air dont la vitesse est supérieure à 1m/s procure un ressenti de diminution de 4°C environ sur la peau ;

- Ventilation nocturne : -1 à -5°C (efficace surtout dans les bâtiments à forte inertie).

- ♣ Selon les consignes locales, ouverture des fenêtres et portes intérieures la nuit.

o Minimiser les apports internes

- ♣ Couper tous les équipements non nécessaires : éteindre son PC et l'écran pendant la pause déjeuner, les réunions, éviter l'éclairage artificiel,

o Adapter l'organisation

- ♣ Se positionner loin des parois chaudes ;
- ♣ Les autres adaptations organisationnelles relèvent du commandement.

- Utilisation limitée de la climatisation :

- o La mise en route de ces systèmes est interdite si la température intérieure est inférieure ou égale à 27°C;
- o L'utilisation du système de refroidissement ne doit pas produire une différence de température intérieure / extérieure supérieure à 5°C ;
- o Le système de refroidissement doit être arrêté lorsque le local est inoccupé.

11.3 Installations classées (ICPE, IOTA)

SANS OBJET

11.4 Sécurité Incendie

En l'absence de notice de sécurité, nous supposons que le bâtiment est traité par compartimentage.

Ce point sera à confirmer par le Maître d'œuvre et le Contrôleur Technique dans le cadre des études de conception. Dans ce cas de figure, le cloisonnement intérieur est réputé non coupe-feu et non pare-flamme.

Le bâtiment est réputé désenfumé naturellement par balayage d'air de façade à façade, par ouverture des fenêtres. Il n'y a donc pas de contre-indication réglementaire vis-à-vis de la sécurité incendie pour la mise en place des grilles de transferts décrites au 6.2.3.

11.5 Exigences Environnementales

SANS OBJET

11.5.1 Démarche Haute Qualité Environnementale

SANS OBJET.

11.6 Performance Énergétique

De par sa conception structurelle, le bâtiment DEWOITINE est soumis à des fluctuations de températures importantes en périodes estivale et hivernale, auxquelles sont exposés les occupants, et tout particulièrement ceux des ailes B et C au R+2.

11.6.1.1 Scénario conventionnel

SANS OBJET.

11.6.2 Prestation à réaliser

SANS OBJET.

11.7 Certificat d'Economie d'Énergie (CEE)

Aucun certificat d'économie d'énergie n'est demandé à ce stade de la part du Maître d'Ouvrage afin de financer le projet.

Pour autant, le choix des matériaux et des équipements respectera les exigences de performance des fiches standardisées ADEME pour l'obtention des CEE. Les matériaux seront notamment certifiés ACERMI et les caissons de ventilation à faible consommation d'énergie.

11.8 Exigences surfaciques

11.8.1 Réhabilitation

Des travaux de réagencement de quelques locaux peuvent être envisagés afin d'installer des équipements et/ou de faire passer des réseaux de ventilation ou de climatisation. Des modifications sur la menuiserie peuvent être envisagées afin d'installer des équipements ou d'améliorer l'aération des locaux.

Pour les renforts structuraux et/ou l'installation de structures autoportantes, fixations de double peau, les ancrages des BSO, les longrines, etc... feront l'objet d'une étude par un BE structure afin de valider les dimensionnements et reports de charges nécessaires à l'implantation des nouveaux équipements, notamment en toiture- terrasses.

11.8.1.1 Amiante et Plomb

L'usage de l'amiante dans les constructions a été interdit en 1997.
Le bâtiment modulaire, objet de cette opération, a été livré en 2009.

11.8.1.2 Diagnostic de déchets préalables à la déconstruction

SANS OBJET.

11.8.2 Exigences particulières en phase de réalisation

SANS OBJET.

11.9 Exigences particulières en phase de réalisation

En cas de déplacement des occupants, une faisabilité logistique doit être établie avec l'accompagnement des utilisateurs de l'IRBA pour décider du phasage et de l'emplacement des locaux tampons qui hébergeront les occupants durant la période de travaux.

Le bâtiment modulaire situé près du Mess a été identifié par les utilisateurs de l'IRBA, comme pouvant accueillir les utilisateurs pendant la période de travaux. Des aménagements et des ameublements adaptés aux besoins des utilisateurs seront à prévoir avant le déplacement des occupants.

11.10 Exigences concernant la maintenance et l'entretien

11.10.1 Exploitation

Les nouveaux équipements à installer interviennent d'une manière passive ou active à minimiser les rayons solaires et refroidir les locaux intérieurs jusqu'à atteindre des températures confortables pour les utilisateurs.

Certains des équipements décrits dans le présent document peuvent être très énergivores, il est donc important de surveiller leur consommation d'énergie et de les programmer pour s'adapter aux horaires d'occupation des bâtiments.

Il est recommandé de planifier la maintenance des équipements pour assurer leur bon fonctionnement. La sensibilisation des utilisateurs et occupants du site peut contribuer à optimiser l'exploitation des équipements en adoptant des comportements responsables.

Le Maître d'Œuvre indiquera, après études approfondies, les débits d'air et les réglages spécifiques pour les équipements afin de refroidir le bâtiment de la manière la plus efficiente possible.

Dans le cas de la mise en place de cassettes de climatisation individuelles, celles-ci sortent du cadre INFRASTRUCTURE.

11.10.1.1 Installations techniques

Les coûts liés à l'utilisation de la CVC représentent une part non négligeable des coûts d'exploitation. Les réglementations et les normes sur la gestion de l'énergie de plus en plus exigeantes, les contraintes environnementales et écologiques plus présentes, la volonté de réduire les coûts de fonctionnement dans les bâtiments sont des facteurs qui entraînent **une amélioration permanente des technologies de gestion et de régulation de la CVC.**

La régulation permet de contrôler, de gérer, de surveiller, d'optimiser les installations de froid, de chauffage, de ventilation et de climatisation. Par exemple, elle compare une grandeur à régler (la consigne) à la grandeur mesurée par un organe de détection (capteur, calcul, etc.). Elle agit de façon à faire diminuer cet écart et à atteindre le point de consigne.

Depuis longtemps maintenant, les fournisseurs d'équipement CVC ont intégré une meilleure gestion leurs matériels (CTA, Chaufferie, etc.) pour optimiser leur fonctionnement (automatisation, démarrage en cascade, etc.). L'évolution a été permanente et la régulation électronique intégrée permet une régulation adaptée à toutes les utilisations.

La réglementation thermique actuelle plus exigeante impose des modes de régulation performants pour **assurer le confort et réaliser des économies d'énergie**. De ce fait, les fabricants de contrôleurs ou d'automates ont dans leurs catalogues tout un arsenal de produits adaptés. Ces appareils complètent les automatismes des équipementiers et permettent de gérer facilement et automatiquement la température, l'hygrométrie, la qualité de l'air, les périodes de moindre activité (périodes nocturnes, les week-ends, etc.).

La régulation suit les nouvelles technologies et plus particulièrement les réseaux ouverts de communication (bus de terrain, protocole TC/IP). Elle est maintenant intégrée dans les solutions de GTB / GTC et dans les outils de supervision.

11.10.1.2 Le chauffage et l'eau chaude

Dans le cas où des cassettes et climatiseurs individuels sont prévus, il sera nécessaire de prévoir l'évacuation des condensats dans un réseau d'évacuation EU.

Dans le cas de l'installation de robinets thermostatiques, il n'est pas prévu d'apporter de modification sur le réseau de distribution. Cependant, l'adaptation en chaufferie des pompes et éventuelles sondes de températures sur boucles retour sera à prévoir pour le bon fonctionnement de cette régulation terminale.

11.10.1.3 L'électricité, courants faibles et courant forts

Dans le cas de l'installation de systèmes CVC, le tableau général et sous-divisionnaire devront intégrer des lignes dédiées en puissance et protections différentielles, tout comme prévoir un comptage énergétique par ailes (en lien avec chaque groupe extérieurs et caissons).

Si la mise en place d'une GTC pour le CVC est mise en place, un réseau de communication dédiée et une salle de pilotage/ supervision seront à prévoir.

11.10.1.4 Les ascenseurs et monte- charges

SANS OBJET

11.10.1.5 Politique de comptage

Dans la lignée du [Dispositif Eco-Energie Tertiaire](#) (DEET ou « Décret Tertiaire »), et **afin de massifier le suivi et l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments en exploitation**, le Décret **BACS** « Building Automation & Control Systems » **constitue un dispositif réglementaire complémentaire doté d'objectifs techniques spécifiques**, et d'une portée plus large.

Le **plan de sobriété énergétique**, initialement annoncé le 6 octobre 2022 par le gouvernement, a pour objectif **l'atteinte de la neutralité carbone d'ici 2050**, en cohérence avec la **SNBC** (Stratégie Nationale Bas Carbone) et **l'objectif de neutralité carbone de l'UE**.

Dans ce contexte, la généralisation de la mise en place d'une GTB au sein des bâtiments, a été identifiée dans le cadre de ce plan pour faciliter l'atteinte des objectifs fixés.

Le décret BACS s'inscrit dans cette dynamique, tout en consistant dans la transposition dans la loi française des articles 8, 14 et 15 de la directive européenne 2010/31/UE du 30 mai 2010, relative à la Performance Énergétique des Bâtiments.

Le décret numéro 2023-259 du 7 avril 2023 a apporté des modifications aux dispositions de la version initiale du décret 2020-887. Il vise à déterminer les moyens permettant d'atteindre les objectifs fixés par le décret tertiaire.

Notamment chaque bâtiment tertiaire non résidentiel est tenu d'installer une Gestion Technique du Bâtiment (GTB).

Pour les installations où la puissance du système CVC dépasse 290 kW, la mise en place doit être effectuée d'ici le 1er janvier 2025.

Norme et Classes de Performance de la GTB

La norme NF EN ISO 52120-1:2022 définit 4 classes de performance, qui dépendent des fonctions de la GTB.

Le décret BACS impose la mise en place d'une GTB de classe A ou B selon la norme NF EN ISO 52120-1:2022 pour tous les bâtiments du secteur tertiaire.

La GTB doit donc être idéalement de classe B, mais au regard des besoins et usages du bâtiment, une classe C pourrait suffire pour respecter le décret BACS. En effet, la classification B implique des fonctionnalités de régulation avancées pour la GTB qui apparaissent disproportionnées dans le projet.

La GTB prescrite par le Décret BACS doit permettre de réaliser diverses fonctions, notamment :

- Remontée d'information centralisée, monitoring et suivi des consommations
- Régulation individuelle par pièce
- Régulation en fonction des températures extérieures
- Programmation horaire
- Lecture et écriture des états des différents points contrôlés
- Archivage des consommations énergétiques

Les usages régulés incluent les postes principaux tel que le chauffage (production, distribution, émission), la climatisation (production, distribution, émission), la ventilation et l'éclairage.

Contrôle Périodique obligatoire de la GTB

La GTB prescrite par le Décret BACS doit permettre de réaliser diverses fonctions, notamment :

Depuis avril 2023, le texte du décret BACS est accompagné d'un Arrêté imposant un contrôle périodique qui peut varier de 2 à 5 ans pour ces systèmes :

- Une révision dans les 2 ans suivant l'installation ou le remplacement du BACS ou d'un système technique qui lui est relié
- Puis fréquence de 5 ans

Le présent programme ne développe pas spécifiquement l'implémentation d'une GTB qui doit faire l'objet d'une étude dédiée au regard de la solution CVC qui sera retenue.

11.10.2 Maintenance

Les équipements actifs décrits dans le présent document (Traitement d'air, refroidissement adiabatique, climatisation, ...) doivent être maintenus d'une manière régulière afin de prolonger leurs durées de vie et avoir un rendement optimal de ces machines.

Les opérations de maintenance incluent :

- Nettoyage des filtres
- Inspection des vannes et de l'étanchéité
- Entretien des pompes
- Nettoyage de l'évaporateur et du condenseur
- Vérification des niveaux d'eau et de pression

Il est recommandé d'inspecter visuellement le fonctionnement de ces équipements d'une manière régulière et réaliser une maintenance préventive tous les 6 mois à un an.

Cependant, selon les spécifications de chaque équipement, le constructeur peut proposer une trame d'entretien et de maintenance. Il est important de suivre les recommandations spécifiques du fabricant pour chaque système individuel.

Toute intervention de maintenance doit être effectuée par des spécialistes. Nous conseillons le MOA d'inclure un contrat de maintenance avec le MOE responsable de la fourniture, l'installation et la mise en marche de ces équipements. Celui-ci, en lien avec le CSPS sera tenu de fournir un DIUO pour chaque système CVC installé.

Une garantie de durée de vie doit être incluse dans les marchés des entreprises :

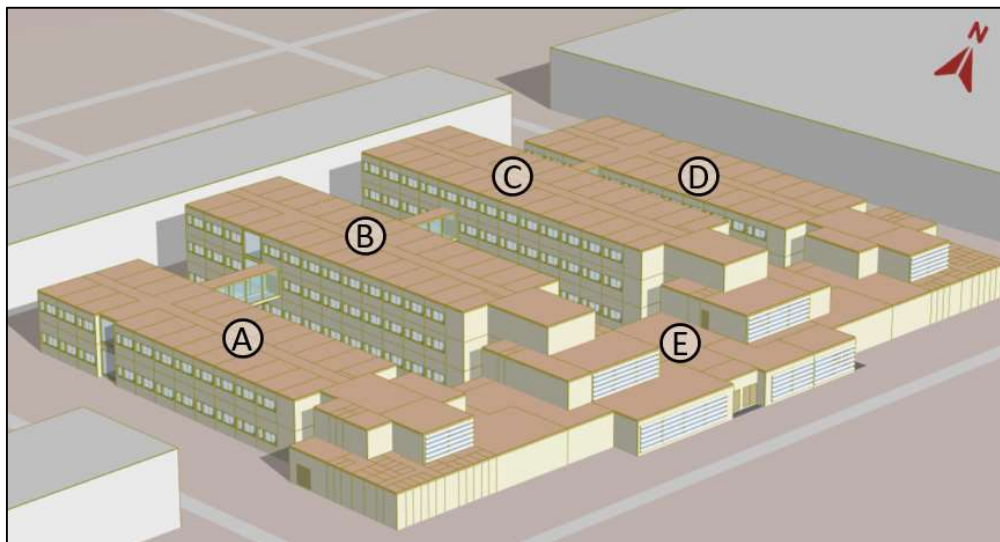
- Les solutions passives directement exposées au soleil et aux intempéries (films anti-UV, Stores extérieurs) doivent avoir une durée de vie minimale de 10 ans.
- Les structures légères (double-façades, double-peau) doivent être résistantes aux intempéries et aux éléments extérieurs pouvant impacter la durée de vie des matériaux utilisés
- Les équipements de climatisation, refroidissement adiabatique ou d'extracteurs doivent justifier une durée de vie minimale de 20 ans.

Toute intervention de maintenance doit être effectuée par des spécialistes. Nous conseillons le MOA d'inclure un contrat de maintenance avec le MOE responsable de la fourniture, l'installation et la mise en marche de ces équipements.

12. Simulation thermique dynamique

Les calculs réalisés permettent de déterminer les consommations énergétiques été et hiver selon les différents scénarios, options comprises.

Les résultats STD : permettant une modélisation fine du comportement du bâtiment, et donc de l'impact des scénarios d'amélioration énergétique proposés



Vue 3D du bâtiment

12.1 Hypothèses de simulations

Fichier météo	Evry – été chaud
Longitude	2°26'24" E
Latitude	48°37'48" N
Altitude du site	77.7 m
Saison de chauffage :	
Semaine de début	42
Semaine de fin	18
DJU en période de chauffe	2293
DJU période estivale	2092
Limite haute d'inconfort	28°C
Limite basse d'inconfort	16°C
Chaleur humaine	80 W/occupant
Humidité occupants	0,055 kg/h/occupant
Infiltration	0,05 vol/h

Commentaire : Le fichier météo « Eté Chaud » utilisé permet de tester le projet en conditions climatiques estivales sévères. Il utilise les températures maximales mensuelles sur 10 ans.

12.2 Analyse de l'inconfort estival

La limite haute d'inconfort estival a été fixée à **28°C**.

Les résultats de la simulation thermique dynamique sont présentés ci-dessous :

Bâtiment existant	
Apports solaires net [kWh]	334 134
Heures d'inconfort moyennes [h] (>28°C)	538
Température maximale atteinte [°C]	45.2
Température minimale atteinte [°C]	13,9

Le nombre d'heures d'occupation au-delà de la température d'inconfort d'été est de 538 heures, ce qui correspond à environ 22 jours. Bien que ce soit nettement moins élevé que certaines situations extrêmes, cela reste une durée significative qui peut fortement impacter le confort des occupants et la productivité, notamment lors des périodes de chaleur intense.

Sur le graphique présent sur la page suivante, on peut observer la température intérieure d'un bureau échantillon « C225 » ([en bleu](#)) et la température extérieure ([en rouge](#)) sur une année complète puis sur le deuxième graphique du 22 juin au 11 août.

On constate que dès le mois de mars les premiers pics de chaleur sont enregistrés et qu'à partir de fin mai et jusqu'à début septembre des températures globalement supérieures à 30°C sont mesurées.

La courbe de température intérieure est constamment supérieure à celle de la température extérieure.

Par exemple, en journée pour une température extérieure de 28.3°C, la température ressentie à l'intérieur est de 37.6°C (voir [cercle rouge](#)). Il y a donc plus de 9 degrés d'écart (**aucun amortissement de l'amplitude** de l'onde de chaleur). La nuit, alors que la température extérieure diminue et atteint 19°C, la température intérieure ne descend pas en dessous de 29°C.

Deux premières solutions permettraient de ralentir ce phénomène :

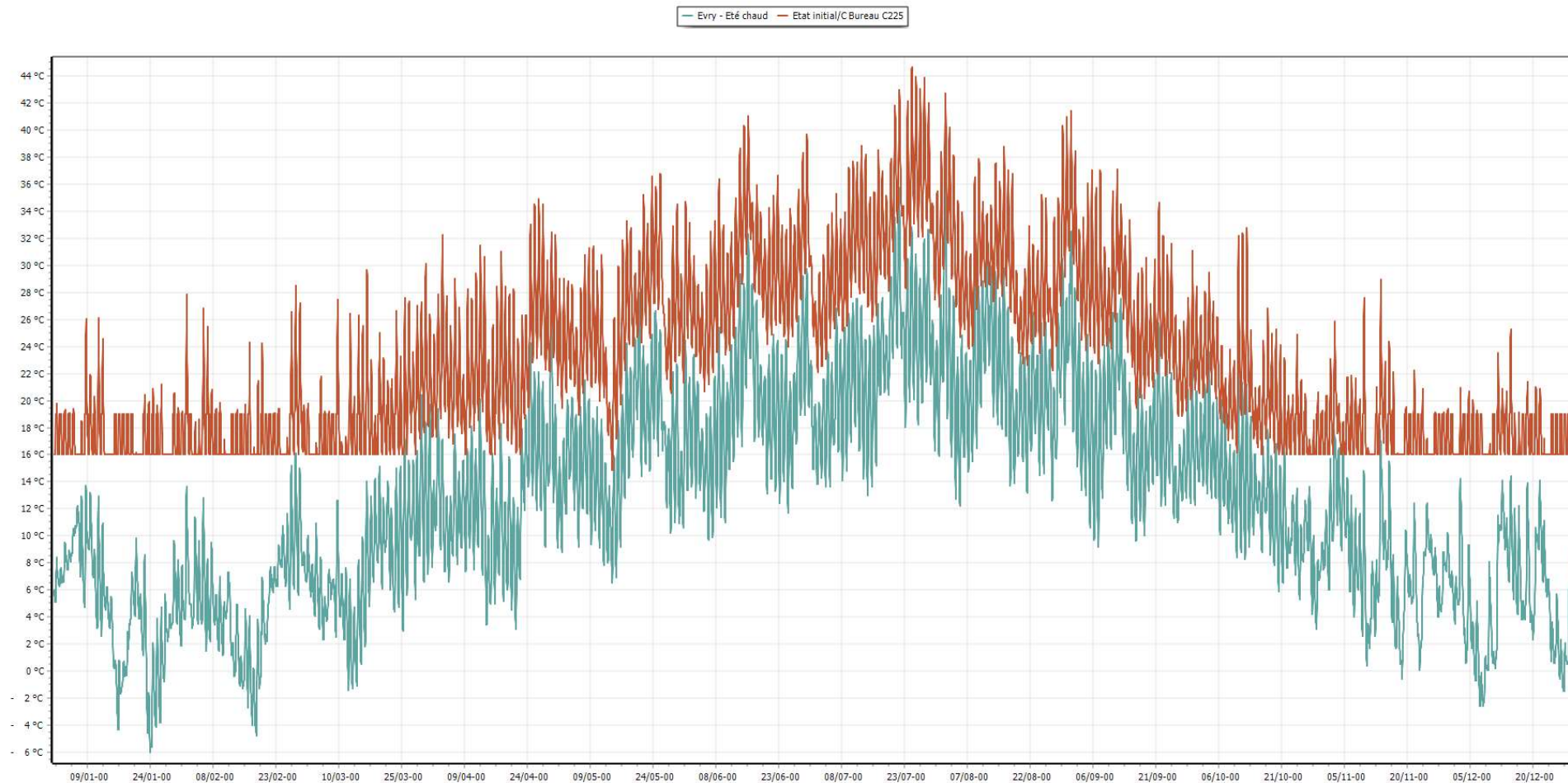
- Empêcher les calories de rentrer dans le bâtiment en installant des protections solaires sur fenêtres. Ainsi les températures intérieures seraient mieux contrôlées la journée.
- Evacuer les calories la nuit à l'aide d'un système de sur-ventilation nocturne naturelle. La température intérieure diminuerait de manière significative la nuit afin de commencer la journée suivante sur une base de température moins haute et donc de réduire l'amplitude.

Sur le deuxième graphique on constate **l'absence de déphasage thermique**.

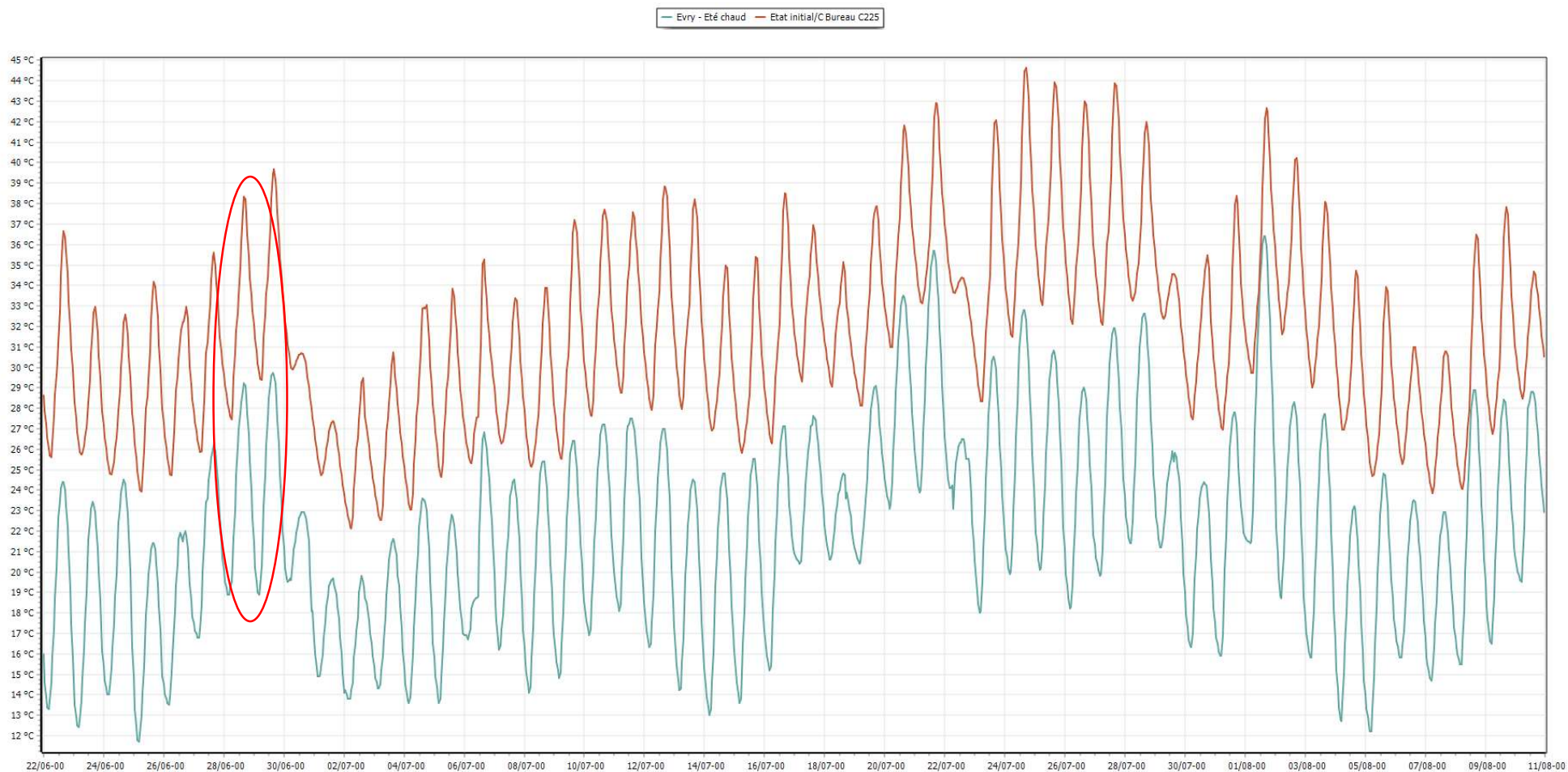
Dès qu'il y a un pic de chaleur extérieur, instantanément un pic de chaleur à l'intérieur est ressenti.

Cela est dû à la faible performance thermique des parois (bien qu'isolées avec 8 cm de PU) et à l'absence d'inertie. Le front de chaleur n'est jamais différé.

En période hivernale, de fin décembre à fin février des températures inférieures à 16°C sont enregistrées fréquemment avec une température minimale atteinte de 13,10°C. Ce qui est très bas.



Représentation graphique de la température extérieure et de la température intérieure du hall sur une année complète



Représentation graphique de la température extérieure et de la température intérieure du hall du 22 juin au 11 août

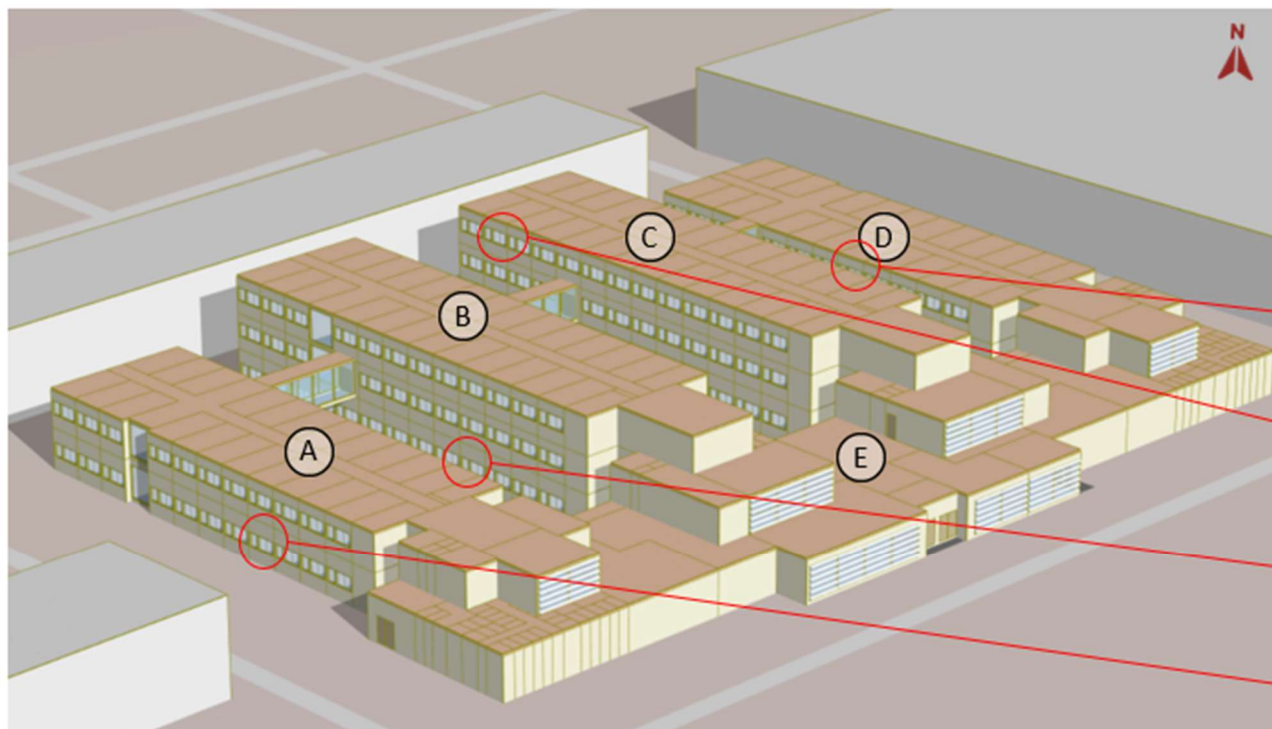
12.3 Résultats détaillés de la STD et SED :

Aile	Niveau	T° min moyenne [°C]	T° max moyenne [°C]	Consommation chauffage (existant) [KWh-ef]	Consommation refroidissement (existant) [KWh-ef]
A	RDC	15,94	37,60	413 049	9 927
	R+1	15,16	42,90		
B	RDC	15,93	37,24		
	R+1	15,70	38,87		
	R+2	15,25	41,71		
C	RDC	15,79	37,35		
	R+1	16,00	39,01		
	R+2	15,25	41,86		
D	RDC	15,93	34,20		
	R+1	15,17	40,32		
E	RDC	16,00	30,66		
	R+1	14,13	31,40		

Tableau 6 : Températures intérieures moyennes / consommation chauffage et refroidissement selon la STD

- Les résultats de la simulation montrent des températures intérieures dépassant les 35°C, en particulier dans les zones fortement exposées au rayonnement solaire.
- Les périodes de la journée les plus critiques sont celles où le rayonnement solaire est le plus intense, aggravé par la présence hétérogène de masques ou de protection solaire.

12.4 Choix des bureaux les plus représentatifs (échantillonnage) :



- Aile D : bureau D121 au R+1
- Aile C : bureau C225 au R+2
- Aile B : bureau B009 au RDC (sous étage intermédiaire)
- Aile A : bureau A009 au RDC (sous le dernier étage)

Pour approfondir l'étude, nous avons pris comme échantillon les bureaux les plus représentatifs, en choisissant les zones les plus défavorisées en termes de température, c'est-à-dire des bureaux où les températures étaient les plus élevées, afin de comparer ces résultats au projet global.

12.5 Consommations simulées

La répartition des consommations d'électricité est basée sur différentes données et informations recueillies sur site :

- > L'inventaire des équipements et leurs caractéristiques
- > Les temps de fonctionnement

Le calcul de consommation d'un équipement est le produit d'une puissance par un temps de fonctionnement en tenant compte du taux de charge (souvent appelé foisonnement) de cet équipement.

Le récapitulatif des simulations est présenté dans le tableau suivant :

Répartition des consommations		kWh
Usage	Energie	EF/PCS
Chauffage	Gaz naturel	413 049
Auxiliaire chauffage	Electricité	466
Refroidissement	Electricité	9 461
Usage Spécifique	Electricité	172 682
TOTAL		595 658

13. Préconisations de travaux

13.1 Présentation des préconisations simulées

La démarche effectuée consistera à rechercher les solutions pour prévenir le risque d'inconfort d'été.

Objectif :

- Atteindre une moyenne de température $\leq 28^{\circ}\text{C}$ sur l'ensemble du bâtiment.
- Abaisser le temps d'inconfort à moins de 50 heures par an.

Les scénarios sont basés sur une approche technique mêlant réponse aux besoins fonctionnels, performance énergétique/ environnementale et coût global, constituant ainsi les 3 piliers de développement durable.

Les principaux éléments à prendre en considération sont :

- Plans d'architecte : Détails de la structure interne du bâtiment ; enveloppe du bâti, surfaces utile, surfaces vitrée, volumes, etc.
- Orientation des locaux
- Matériaux de construction du bâtiment.
- Dimensions des locaux : longueur, largeur, hauteur.
- Conditions extérieures du service : locaux adjacents conditionnées ou non, ensoleillement maximum du local.
- Conditions à maintenir à l'intérieur des locaux (température et humidité relative).
- Destination et occupation des locaux : type d'activité, nombres de personnes et durée d'occupation du local.
- Appareils techniques, type d'éclairage, moteurs : emplacement, puissance nominale, durée de fonctionnement.

Le module de dimensionnement de climatisation permet de se rapprocher au plus près des conditions réelles d'utilisation du bâtiment, en prenant en compte :

- Les propriétés physiques des matériaux (inertie, déphasage).
- Les conditions météorologiques sur une année type en fonction de la zone géographique.
- Les scénarios d'occupation pour pouvoir quantifier les apports métaboliques (chaleur dissipée par les occupants).
- Les puissances dissipées par les appareils électriques (ordinateurs et machines).

Bien qu'il soit évident que les solutions actives de refroidissement telles que l'intégration d'une Centrale de Traitement de l'Air thermodynamique ou de climatiseurs individuels soient les plus logiques pour atteindre la température de confort souhaité, il a été soutenu l'idée d'une approche plus responsable consistant à d'abord réduire les besoins de manière passive. Par ailleurs, elles répondent aussi aux solutions vertueuses selon les recommandations du MINARM.

Ainsi, cela permettrait de réduire tant les besoins de puissance en froid que les plages d'utilisation active, limitant ainsi les consommations d'énergie et réduisant de facto les coûts d'investissement et de gestion en exploitation.

Certaines de ces solutions, bien qu'ayant un impact architectural, technique et économique fort permettent également de réduire les consommations énergétiques en hiver.

Notre approche a donc consisté à simuler les actions et les scénarios suivants :

9 Actions simulées :

- **A1 : Installation de CTA avec module froid (derniers niveaux)**
- **A2 : Protection solaire par des casquettes (en R+1 et R+2),**
- **A3 : Occultation active (BSO)**
- **A4 : Ventilation des circulations et passerelles,**
- **A5 : Isolation thermique et végétalisation des toitures terrasses,**
- **A6 : Isolation Thermique Extérieure des façades,**
- **A7 : Installation de systèmes de climatisation individuels**
- **A8 : Option régulation terminale de chauffage RT (installation des robinets thermostatiques)**
- **A9 : Option plantation d'arbres entre les ailes**

5 Scénarios simulés :

- 1) **Scénario 1** : CTA partielle + ensemble des 5 solutions passives de l'enveloppe + RT
- 2) **Scénario 2** : CTA partielle + ITE et Isolation des toitures terrasses + RT (+ option arbres)
- 3) **Scénario 3** : Ensemble des 5 solutions passives de l'enveloppe + RT,
- 4) **Scénario 4** : Climatisation individuelle des bureaux + ITE et Isolation des toitures terrasses + RT,
- 5) **Scénario 5** : CTA partielle + solution passive la plus efficace (BSO) + RT

Le tableau ci-dessous présente les interventions étudiées dans le cadre de l'étude.

		Intitulé de la préconisation	Dépense	Consommations	Efficacité passive	Efficacité énergétique active	Conversion d'énergie	Confort
Travaux sur le bâti	Action 02	Installation des casquettes		✓ *	✓			✓
	Action 03	Installation des brises soleil orientables (BSO)		✓ *	✓			✓
	Action 05	Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	✓	✓	✓			✓
	Action 06	Isolation par l'extérieur des murs	✓	✓	✓			✓
Travaux sur les systèmes	Action 01	Installation d'une CTA avec module froid (derniers niveaux)		✓	✓			✓
	Action 04	Ventilation des circulations				✓		
	Action 07	Installation de systèmes de climatisation individuels				✓		

* Gain en consommation énergétique en été comparé à un scénario intégrant les actions 07 ou 08 (car la protection solaire réduit les apports solaires, ce qui diminue les besoins en refroidissement, tout en augmentant légèrement les besoins en chauffage).

13.2 Descriptif des préconisations simulées

13.2.1 Action 01 : Installation d'une CTA avec module froid

Espace concerné

Les bureaux des étages supérieurs

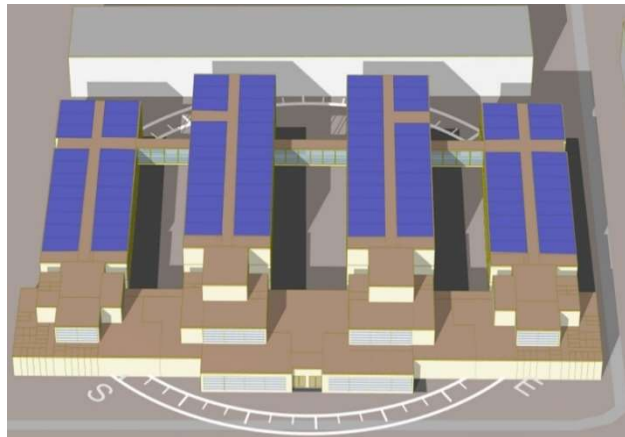
Illustration



Diffuseur d'air



CTA VEX725H



Motivation du choix

L'installation de quatre Centrales de Traitement d'Air (CTA) équipées d'un module froid permet de réguler la température intérieure des bureaux situés aux derniers niveaux des ailes A, B, C et D, notamment en période de surchauffe. Ce système garantit une régulation thermique optimale, offrant ainsi un confort intérieur adapté aux besoins des occupants pendant les périodes de forte chaleur.

En plus de son rôle dans la régulation de la température, la CTA permet également d'améliorer la qualité de l'air intérieur. Elle assure un renouvellement constant de l'air en filtrant les particules et en gérant l'humidité. Ce processus contribue à un environnement de travail sain et agréable, essentiel pour le bien-être des occupants.

Cependant, bien que la CTA offre une solution efficace et complète, son installation représente un investissement important. L'achat de l'équipement, ainsi que l'infrastructure nécessaire pour la mise en place de la ventilation, engendrent des coûts supplémentaires par rapport à d'autres systèmes de refroidissement tels que des climatiseurs individuels. De plus, bien que la consommation énergétique de la CTA soit plus efficace qu'une climatisation traditionnelle, son fonctionnement pendant les périodes de chaleur intense peut entraîner des coûts énergétiques non négligeables.

Contraintes liées aux gaines de distribution :

Les plénums existants dans les circulations présentent une hauteur limitée (25 à 40 cm), insuffisante pour intégrer des gaines de dimensions minimales (40x35 cm).

Les traversées verticales des étages nécessitent des sections importantes (700x800 mm), difficiles à intégrer dans les espaces actuels, encombrés par des réseaux de fluides, de télécommunication, ou encore des rails structurels.

Solutions alternatives non viables :

Le passage des gaines en apparents réduirait la hauteur sous plafond à des niveaux non conformes (2,1 à 2,2 m), affectant l'esthétique et la fonctionnalité des circulations et nécessiterait la dépose de tous les faux plafonds.

L'abaissement des plénums pour loger les gaines impliquerait des modifications majeures et coûteuses, notamment des dévoiements d'infrastructures existantes (éclairage, rails, détecteurs incendie, etc.), ce qui est incompatible avec un site occupé.

Contraintes structurelles :

La portance limitée des structures métalliques de la toiture terrasse (100 kg/m^2) empêche l'installation d'une CTA centrale sans renforcer la structure, une opération coûteuse et invasive.

L'installation au pied des bâtiments nécessiterait des piquages importants en façade ou des espaces techniques spécifiques, non disponibles actuellement.

Solution recommandée :

La décentralisation en quatre modules CTA, installés en toiture pour alimenter uniquement les étages supérieurs, permet de répondre efficacement aux besoins tout en minimisant les contraintes structurelles et d'intégration. Cette solution, bien qu'elle nécessite des percements en toiture, est techniquement réalisable avec une attention particulière portée à l'étanchéité à l'air et à l'eau.

Mise en œuvre

Coût travaux prévisionnel (TTC) : 471 240 €

Coût maintenance prévisionnel annuel (TTC) : 5000 €

Les quatre CTA seront installées sur les toitures-terrasses des ailes A, B, C et D, avec un système de renforcement de la toiture pour supporter le poids des unités (environ 207 kg/m^2 , alors que la toiture actuelle supporte 100 kg/m^2). Ce renforcement est nécessaire pour garantir la stabilité et la sécurité de l'installation, mais peut également générer des coûts supplémentaires et prolonger la durée de mise en œuvre, en raison de l'ajout de longrines et d'autres dispositifs de soutien.

Le raccordement des CTA aux diffuseurs d'air sera effectué en creusant la toiture-terrasse pour acheminer les canalisations et les gaines d'air vers les bureaux des niveaux supérieurs. Ce raccordement direct garantit un traitement de l'air optimal dans les espaces concernés tout en minimisant l'impact sur l'enveloppe du bâtiment.

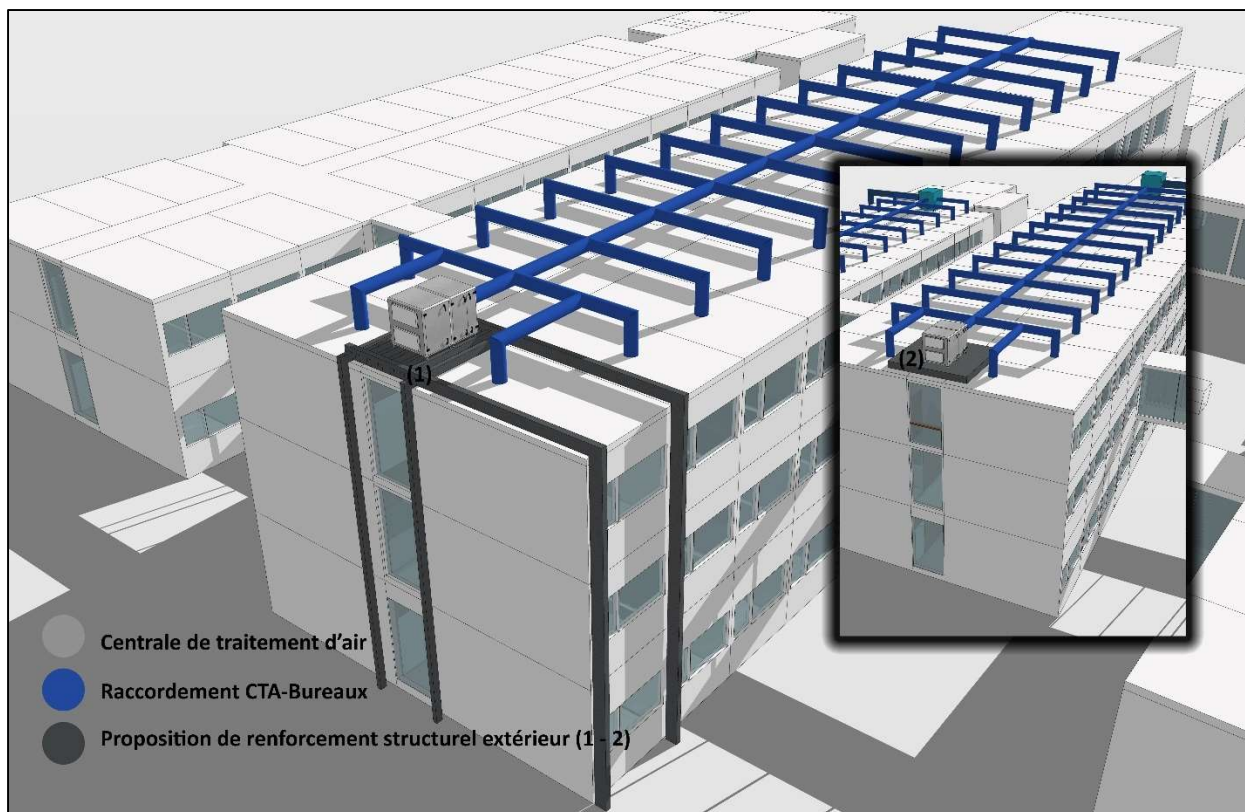
Mise en place d'un planning de fonctionnement adapté.

Point d'attention

Il est crucial de vérifier régulièrement l'équilibrage aérodynamique de l'installation pour assurer une distribution uniforme de l'air et des températures dans les bureaux. Cela permettra de maintenir une efficacité optimale du système tout en garantissant un confort thermique constant. De plus, un entretien régulier des filtres et des composants internes de la CTA est essentiel pour préserver la qualité de l'air et la performance de l'installation.

En raison de l'investissement élevé pour l'installation de la CTA et des coûts potentiels liés à sa consommation énergétique, il est important de prévoir une gestion efficace de l'entretien et un suivi des performances pour optimiser l'utilisation de l'équipement et minimiser les coûts d'exploitation à long terme. Il sera nécessaire de prévoir un contrat de maintenance pour l'entretien de la CTA.

Schéma explicatif prévisionnel de la CTA :



Le maître d'œuvre devra définir l'emplacement idéal de la CTA, dimensionner les gaines d'air principales et secondaires, et proposer un système de renforcement adapté à l'état actuel de la toiture-terrasse, afin d'assurer une installation sécurisée et conforme aux besoins du bâtiment.

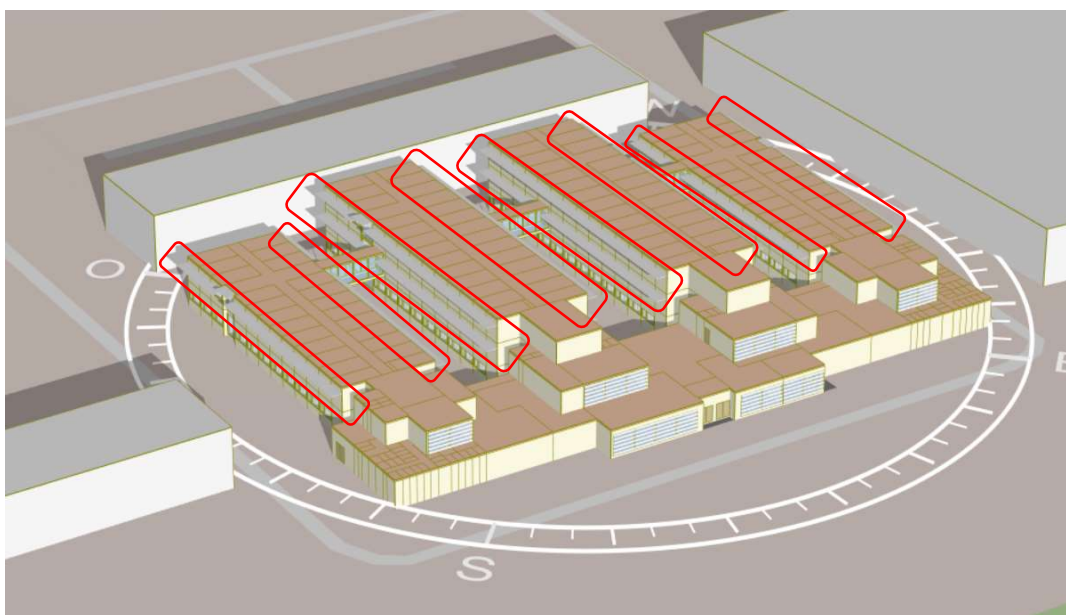
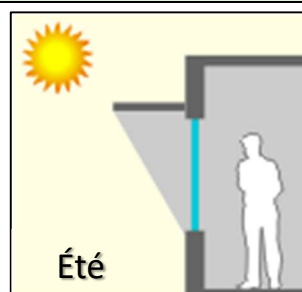
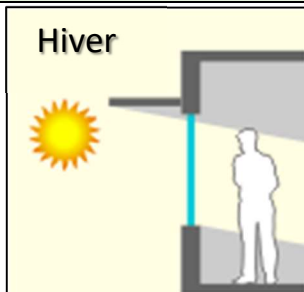
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Régulation thermique optimale : L'installation d'une Centrale de Traitement d'Air (CTA) permet un contrôle précis de la température intérieure, en particulier pour les bureaux des derniers étages des ailes A, B, C et D, pendant les périodes de surchauffe. Cela garantit un confort thermique optimal pour les occupants. Qualité de l'air améliorée : En plus du refroidissement, la CTA permet de renouveler l'air dans les bureaux, contribuant ainsi à une meilleure qualité de l'air intérieur, avec une gestion de l'humidité et un filtrage des particules. 	<ul style="list-style-type: none"> L'installation d'une CTA nécessite un investissement important en raison de l'achat de l'équipement et de la mise en place de l'infrastructure de ventilation, ce qui peut générer un surcoût par rapport à d'autres solutions de rafraîchissement. La CTA nécessite un entretien régulier pour garantir son bon fonctionnement, notamment le nettoyage des filtres et des éléments du système. Bien que plus efficace qu'une climatisation traditionnelle, le fonctionnement de la CTA implique une consommation d'énergie qui peut être élevée pendant les périodes de forte chaleur, ce qui peut affecter les coûts énergétiques. L'installation de la CTA présente une certaine complexité, notamment en raison de la nécessité de renforcer la toiture pour supporter le poids de l'équipement (environ 207 kg/m² et la toiture supporte 100kg/m²). Ce renforcement structurel peut générer des coûts supplémentaires et nécessiter un temps de mise en œuvre plus long (fixation de longrines). Mise en conformité décret BACS (GTB/GTC) : coûts supplémentaires pour courant faible, superviseur...

13.2.2 ACTION 02 : Protection solaire par des casquettes

Menuiseries concernées

Menuiseries des façades orientées sud-est et sud-ouest, premiers et deuxièmes étages des ailes A, B, C et D (463ml).

Illustration



Motivation du choix

Les façades orientées sud-est et sud-ouest sont fortement exposées au soleil, ce qui entraîne une surchauffe importante des bureaux, particulièrement en été.

Cette exposition directe au rayonnement solaire augmente les besoins en climatisation, créant ainsi un inconfort thermique pour les occupants et des coûts énergétiques élevés. Pour répondre à cette problématique, l'installation de casquettes permet de réduire les apports solaires directs sur les menuiseries, améliorant ainsi le confort thermique des bureaux. En limitant l'impact du rayonnement thermique, cette solution contribue à maintenir une température agréable à l'intérieur des espaces de travail, tout en réduisant la dépendance à la climatisation.

De plus, en diminuant la surchauffe des espaces intérieurs, cette protection solaire contribue à une meilleure efficacité énergétique et à des économies substantielles en termes de consommation d'énergie. Cela permet de concilier confort et performance énergétique tout en assurant un cadre de travail optimal pour les occupants.

Mise en œuvre

Coût travaux prévisionnel (TTC) : 138 780 €

Coût maintenance prévisionnel annuel (TTC) : 500 €

Les casquettes seront fabriquées en bois, un matériau durable et écologique. Le bois présente l'avantage d'être renouvelable, recyclable et ayant une faible empreinte carbone par rapport aux matériaux traditionnels comme l'acier ou l'aluminium.

En outre, le bois est un excellent régulateur thermique et contribue à la réduction des apports solaires tout en étant esthétiquement agréable. Les casquettes en bois seront traitées pour résister aux intempéries et aux variations climatiques, garantissant ainsi une longue durée de vie et une faible maintenance.

Ce choix de matériau respecte les normes environnementales et s'intègre parfaitement dans une démarche de construction durable. Il est également essentiel que le bois utilisé pour les casquettes ne soit pas réfléchissant afin d'éviter tout éblouissement ou réflexion du rayonnement solaire qui pourrait affecter les espaces voisins ou entraîner des nuisances visuelles. Ce critère sera pris en compte lors de la sélection du matériau et de la finition pour garantir un confort optimal.

Point d'attention

Il sera nécessaire de vérifier la capacité des façades à supporter le poids des casquettes et de coordonner l'installation avec l'architecte afin de respecter les normes esthétiques du bâtiment.

Des études structurelles seront menées pour valider la faisabilité de l'installation et garantir la sécurité des occupants. Une étude spécifique devra également être menée pour évaluer et valider le système d'ancrage des casquettes afin de garantir leur résistance aux charges climatiques, notamment au vent et aux intempéries.

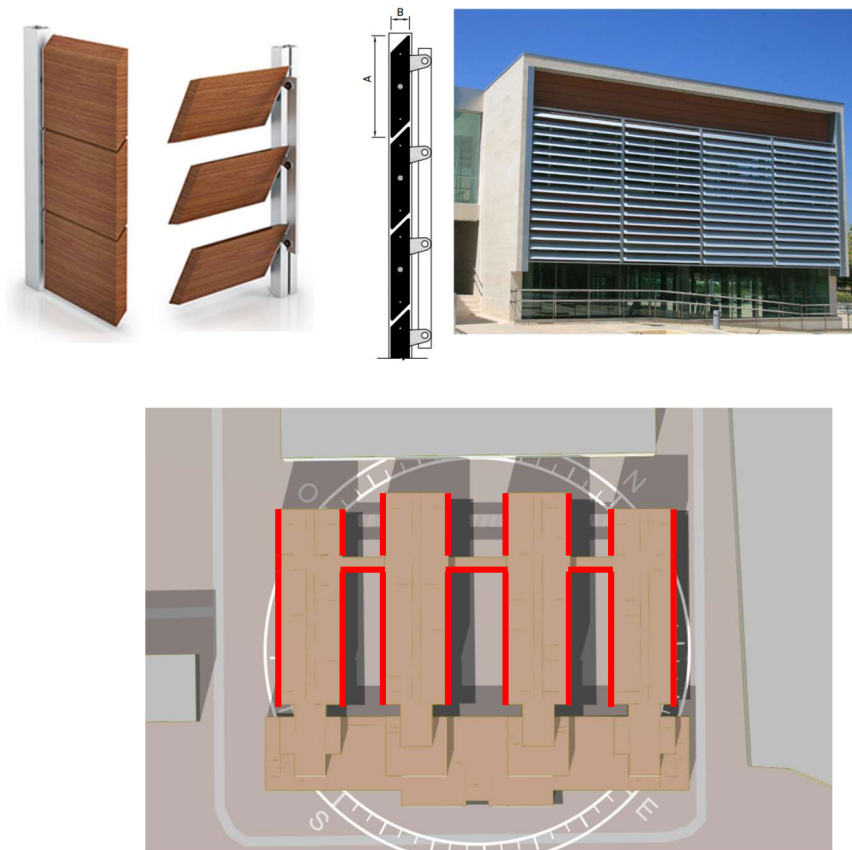
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Réduit l'impact du rayonnement solaire direct aux étages R+1 et R+2 Diminue les besoins en climatisation pour les bureaux des étages supérieurs Améliore le confort thermique en été pour les étages exposés Mise en œuvre relativement simple et rapide 	<ul style="list-style-type: none"> Les bureaux au RDC sont moins protégés du rayonnement solaire, Peut affecter l'esthétique de la façade du bâtiment Une étude spécifique devra également être menée pour évaluer et valider le système d'ancrage des casquettes afin de garantir leur résistance aux charges climatiques, notamment au vent et aux intempéries.

13.2.3 ACTION 03 : Installation des brises soleil orientables (BSO)

Menuiseries concernées

Ensemble de toutes les menuiseries orientées sud-est et sud-ouest (surface totale de menuiserie : 1 079 m²).

Illustration



Motivation du choix

Les brises-soleil orientables (BSO) en bois permettent de réduire les apports solaires en été tout en préservant une bonne visibilité vers l'extérieur. En plus de leur fonction de protection solaire, ces systèmes offrent une grande flexibilité. Grâce à l'orientation ajustable des lames, les BSO peuvent être réglés en fonction de l'ensoleillement, optimisant ainsi la gestion thermique du bâtiment tout en maintenant le confort visuel des occupants. Le choix du bois, matériau durable et esthétiquement chaleureux, renforce l'intégration des BSO dans le bâtiment, tout en étant respectueux de l'environnement.

Mise en œuvre

Coût travaux prévisionnel (TTC) : 310 705 €

Coût maintenance prévisionnel annuel (TTC) : 1500 €

La mise en œuvre des BSO concernera 1079 m² de menuiserie et impliquera la pose de brises-soleil orientables en bois. Ces BSO seront fixés sur les fenêtres existantes, permettant un réglage facile de l'orientation des lames pour optimiser l'ombrage tout au long de la journée. Le bois utilisé pour ces brises-soleil sera traité contre les intempéries pour garantir une durabilité accrue et résister aux conditions extérieures.

Le réglage de l'angle des lames sera effectué manuellement, mais une option motorisée pourra être envisagée pour une plus grande flexibilité et un meilleur confort d'utilisation.

Point d'attention

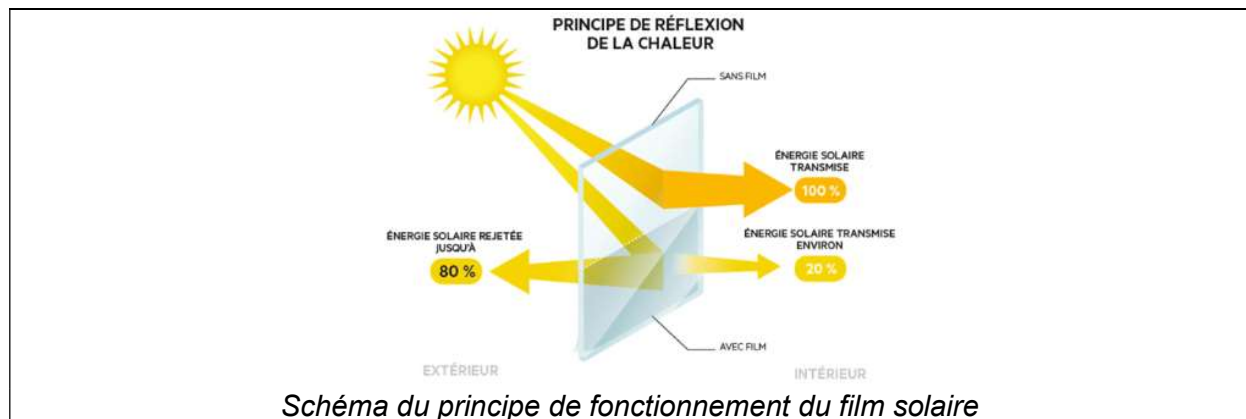
Il est important de bien ajuster l'orientation des lames des BSO en fonction de l'ensoleillement et des saisons pour maximiser l'efficacité. De plus, un entretien régulier des mécanismes orientables et du bois est recommandé pour éviter l'usure et garantir leur fonctionnement optimal sur le long terme.

Variante spéciale : Installation de film solaire sur façades spécifiques SI

L'installation d'un film solaire sur le vitrage des baies « pompier » sera effectué en remplacement des BSO.

Ce film pour vitrage, à poser côté extérieur, permettra de lutter contre l'effet de serre.

En effet le rayonnement solaire qui traverse le vitrage provoque un échauffement des murs, sols et mobiliers qui eux-mêmes réémettent un rayonnement piégé à l'intérieur du local, augmentant considérablement la température de l'air.



L'objectif est de choisir un film qui filtre les IR (infra-rouge) source de chaleur afin de réduire la température des espaces situés sous la verrière. Le film solaire réfléchit les rayons du soleil qui atteignent la surface vitrée, il permet en moyenne de rejeter entre 70 et 90% de chaleur (cela dépend du type du film sélectionné). Ainsi le facteur solaire g (rapport entre l'énergie traversant le vitrage et l'énergie solaire totale incidente) du vitrage est diminué.

Cela permettra un gain minimum de 5°C en limitant la diffusion de la chaleur dans les ailes.

Il est possible de garder une transmission lumineuse satisfaisante même en installant ces films solaires, cela dépend encore une fois du type de film choisi.

Chiffrage de l'investissement :

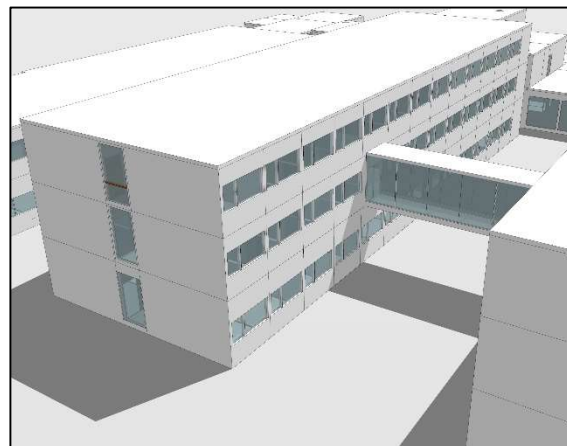
L'investissement pour le l'installation d'un film solaire est d'environ 50 € HT / m² de film solaire.

Il serait intéressant et fortement conseillé d'en installer également sur les vitrages verticaux latéraux des cages d'escalier.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Régulation homogène des apports solaires • Diminue les surchauffes et réduit l'éblouissement • Contribue à la réduction des consommations énergétiques en été 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduit les apports solaires en hiver, ce qui peut entraîner une surconsommation de chauffage • Coût d'installation et d'entretien potentiellement élevé • Nécessite un entretien régulier pour garantir l'efficacité et la durabilité des BSO

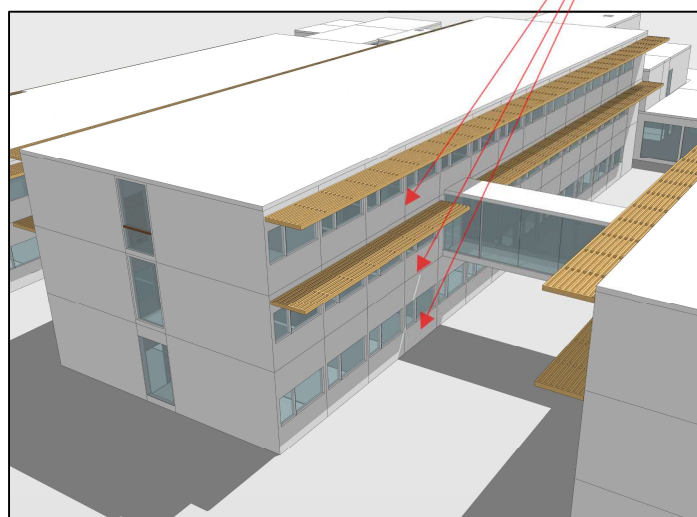
Comparaison entre la protection solaire par des casquettes et par des brises soleil orientables (BSO) :

La différence entre les deux techniques réside dans leur fonctionnement : les brise-soleils orientables assurent une protection **homogène tout au long de la journée**, mais ils ne protègent que les fenêtres, laissant une grande partie **des parois exposée**. En revanche, les casquettes offrent **une protection moins uniforme** dans la journée (leur efficacité dépend de la position du soleil), mais elles permettent **de protéger une surface plus importante des parois extérieures**, particulièrement durant les heures les plus chaudes.

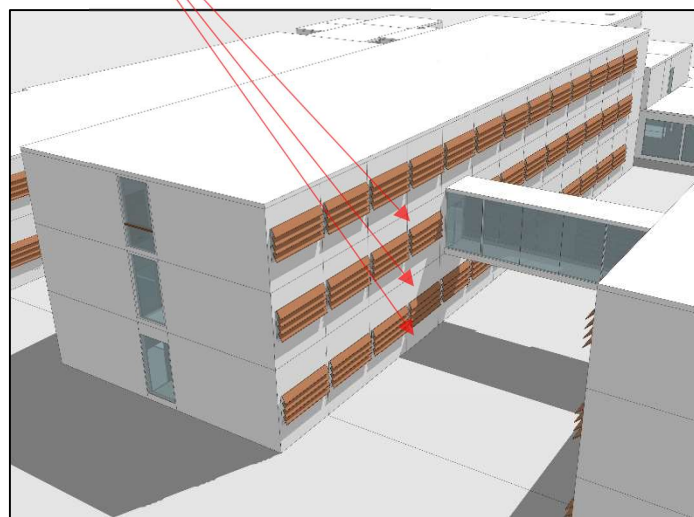


Modèles 3D : état initial non protégé

Ombre portée
(à 13h50 en Aout)



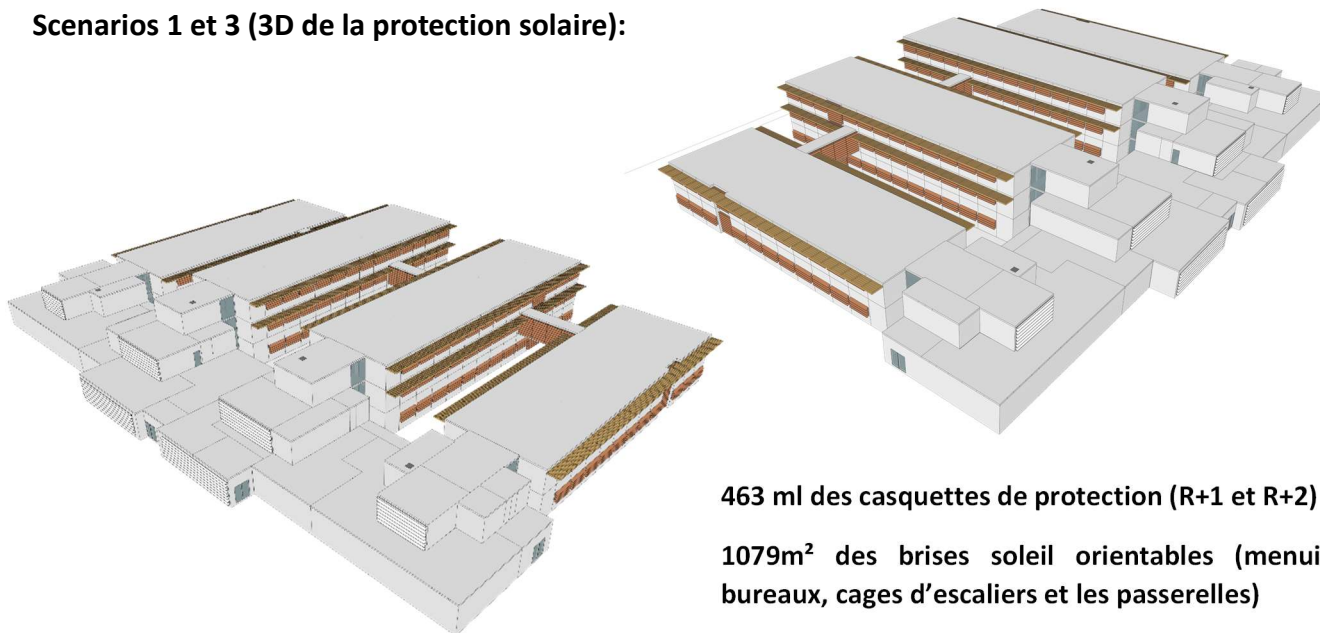
Modèles 3D : Casquettes



Modèles 3D : BSO

Modèles 3D explicatifs des protections solaires par scénario :

Scenarios 1 et 3 (3D de la protection solaire):

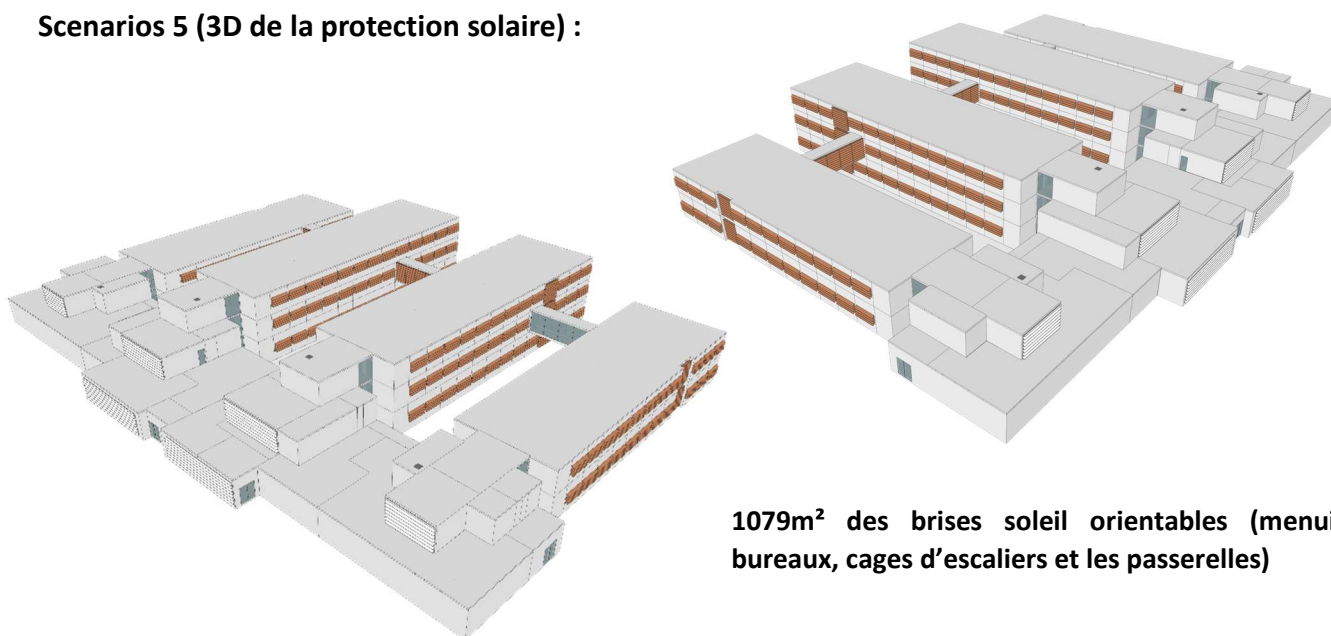


463 ml des casquettes de protection (R+1 et R+2)

1079m² des brises soleil orientables (menuiseries bureaux, cages d'escaliers et les passerelles)

Modèles 3D : protection extérieure Scénarios 1 et 3

Scenarios 5 (3D de la protection solaire) :



1079m² des brises soleil orientables (menuiseries bureaux, cages d'escaliers et les passerelles)

Modèles 3D : protection extérieure Scénarios 5

13.2.4 ACTION 04 : Ventilation des circulations et passerelles

Zones concernés

Circulations des bureaux dans tous les étages.

Illustration



Grille (portes ou impostes bureaux)



Ventilation SF



Motivation du choix

Installer des systèmes de ventilation dans les espaces de circulation permet d'évacuer la chaleur accumulée pendant la journée et de favoriser un refroidissement passif efficace. En créant des entrées d'air et en nettoyant les dispositifs existants, l'air circulera mieux et permettra de réduire la température intérieure lorsque celle-ci devient élevée. L'ajout de petites grilles en bas des portes des bureaux favorisera la circulation de l'air, assurant ainsi une ventilation continue, même lorsque la température augmente, et réduira la dépendance à la climatisation, tout en optimisant la gestion thermique globale du bâtiment.

Mise en œuvre

Coût travaux prévisionnel (TTC) : 57 200 €

Coût maintenance prévisionnel annuel (TTC) : 2000 €

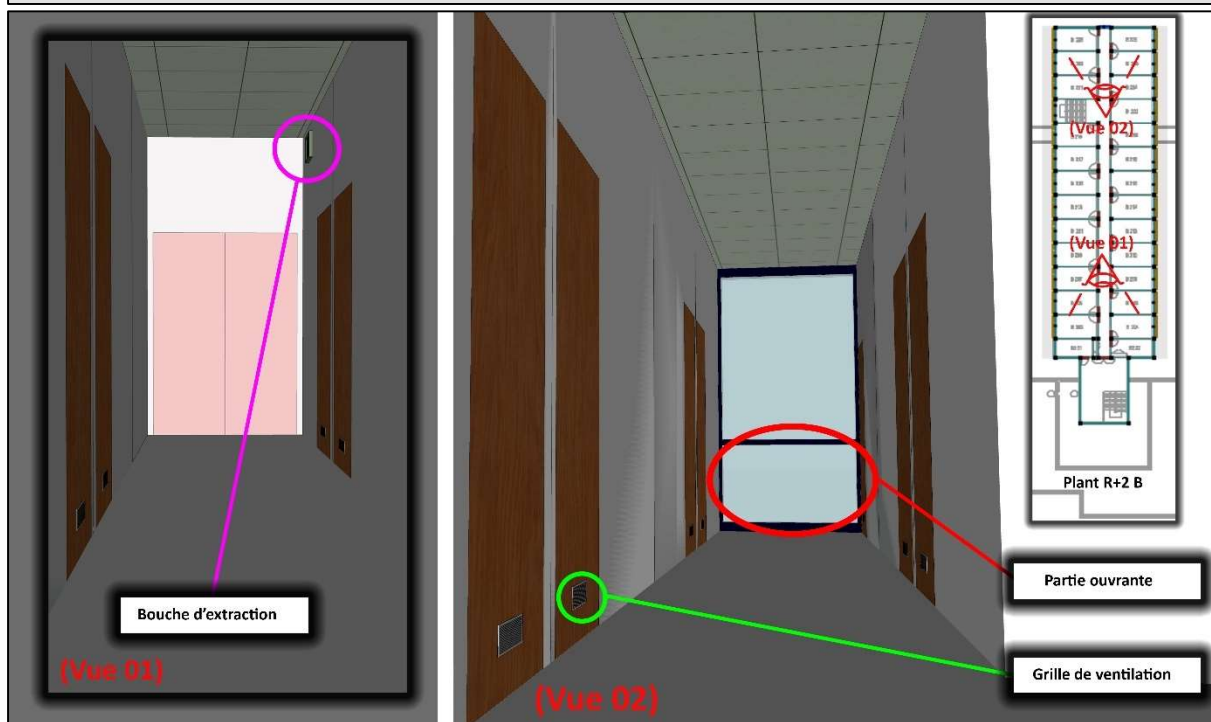
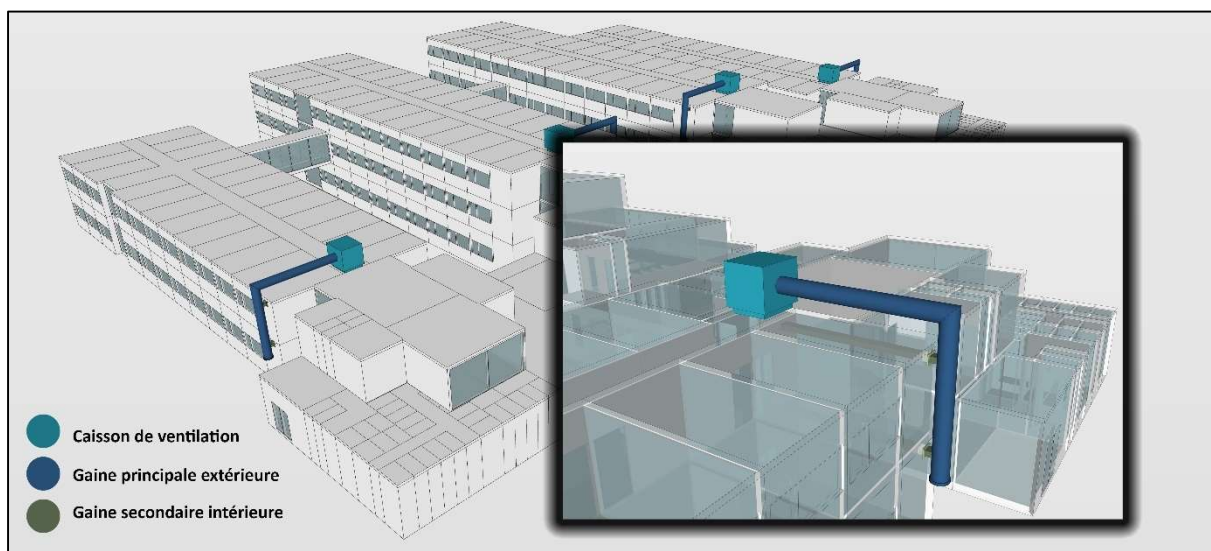
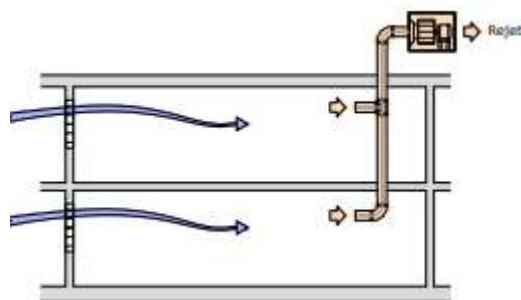
Cette action consiste à installer 4 caissons de ventilation sur la toiture-terrasse pour extraire un débit d'air global correspondant à environ 2 volumes d'air par heure, soit un total de 5 464 m³/h. Deux caissons identiques, chacun ayant un débit maximal de 1 040 m³/h, seront dédiés aux ailes A et D. Pour les ailes B et C, deux autres caissons, avec un débit maximal de 1 692 m³/h chacun, seront installés.

Le raccordement des caissons devra être étudié par le maître d'œuvre. Une solution possible pourrait être de faire passer une gaine extérieure depuis la toiture-terrasse le long du mur extérieur des locaux communs, traversant ces derniers pour atteindre les espaces de circulation. Cette approche garantira une distribution efficace de la ventilation dans les zones concernées.

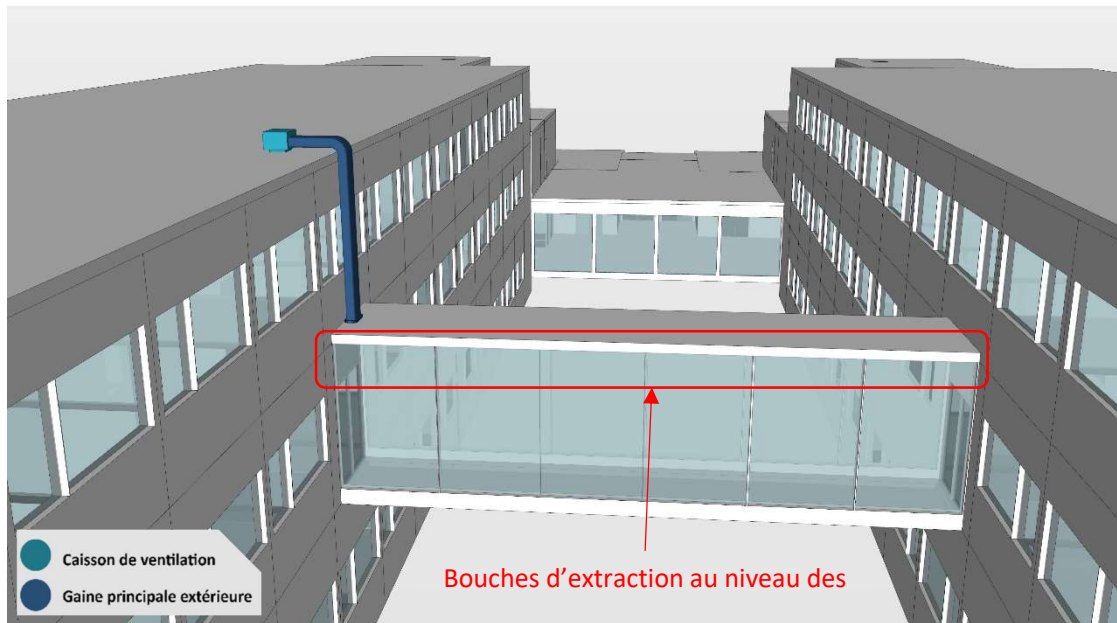
Point d'attention

Un soin particulier sera apporté au dimensionnement des caissons pour éviter les nuisances sonores. Il est essentiel de maintenir une maintenance régulière des caissons pour garantir une ventilation optimale. De plus, il faudra vérifier que les grilles en bas des portes sont régulièrement nettoyées pour ne pas nuire à la performance de la ventilation. Enfin, il est crucial que l'ensemble des débits d'air des entrées d'air dans les menuiseries soit équivalent au débit d'air extrait par la ventilation afin d'éviter de créer une dépression dans le bâtiment, ce qui pourrait perturber l'efficacité du système de ventilation et affecter le confort thermique.

Schéma explicative de système de ventilation :



Le dimensionnement des caissons de ventilation, des gaines principales, des gaines secondaires et des bouches d'extraction devra être réalisé par le maître d'œuvre, afin de garantir une performance optimale et une adaptation parfaite aux besoins spécifiques du bâtiment.



Ventilation des passerelles (démagasinage de la chaleur accumulée dans les passerelles)

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Permet d'évacuer la chaleur accumulée dans les espaces de circulation • Améliore la qualité de l'air dans les circulations et les bureaux, contribuant à un environnement de travail plus sain 	<ul style="list-style-type: none"> • Peut nécessiter des ajustements architecturaux pour installer les systèmes de ventilation, ce qui pourrait impliquer de creuser certaines parois pour intégrer des conduits d'air • Exige une vérification et un ajustement des débits d'air dans les bureaux pour les adapter au débit de la ventilation des circulations, ce qui peut impliquer un surcoût de mise en œuvre • Effet limité dans les périodes de forte chaleur

13.2.5 ACTION 05 : Isolation thermique et végétalisation de toiture terrasse (aile E)

Zones concernées

Isolation : Toitures-terrasses des ailes A, B, C et D.

Végétalisation : Toiture-terrasse de l'aile E

Illustration



Motivation du choix

Les toitures-terrasses des ailes A, B, C et D sont actuellement isolées, mais l'isolant existant est insuffisant et l'inertie thermique des parois est faible. Cela entraîne des déperditions de chaleur en hiver et des risques de surchauffe en été. L'ajout d'une isolation renforcée permet de mieux contrôler les températures intérieures, en réduisant les besoins en climatisation et en chauffage, et en augmentant le confort thermique des espaces.

La végétalisation de la toiture-terrasse de l'aile E, quant à elle, permet de réguler les températures en été, de gérer les eaux pluviales et d'améliorer la biodiversité, tout en apportant une dimension esthétique au bâtiment.

Mise en œuvre

Coût travaux prévisionnel (TTC) : 494 720 €

Coût maintenance prévisionnel annuel (TTC) : 2000 €

Isolation thermique :

Pose d'une nouvelle couche d'isolation en laine de roche avec une résistance thermique $R = 7,6\text{m}^2.\text{K/W}$.

Cette isolation sera installée sur les toitures-terrasses des ailes A, B, C et D pour améliorer les performances thermiques globales du bâtiment, tout en minimisant les déperditions de chaleur et les risques de surchauffe.

Végétalisation de toiture :

La toiture-terrasse de l'aile E sera équipée d'un système de végétalisation comprenant une couche végétale, un système de drainage et d'irrigation. Cela permettra d'augmenter l'inertie thermique en été, de gérer les eaux pluviales et de contribuer à l'intégration paysagère du bâtiment.

Point d'attention

Il est crucial de vérifier la résistance structurelle des toitures des ailes A, B, C et D avant d'ajouter la nouvelle couche d'isolation thermique. Des études seront nécessaires pour valider la capacité portante des structures à supporter l'isolation renforcée.

Pour la végétalisation de l'aile E, il faudra s'assurer que le système de drainage et d'irrigation soit correctement installé et qu'un entretien régulier soit effectué pour garantir la durabilité et l'efficacité du système. Des vérifications périodiques de l'état de la végétation seront également nécessaires pour préserver la qualité de l'installation.

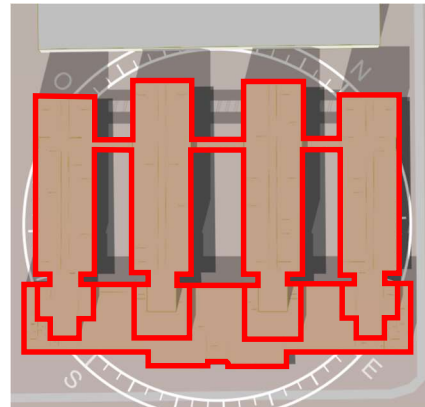
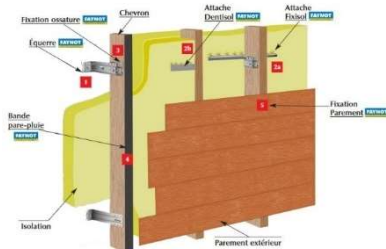
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Améliore l'isolation thermique et l'inertie du bâtiment, • La végétalisation contribue à l'isolation naturelle (aile E), surtout en été en amortissant le front de chaleur, 	<ul style="list-style-type: none"> • Poids additionnel pour la structure (nécessite une vérification de solidité), • Interfaces avec les équipements CVC, sécurité gardes- corps existants et évacuation EP • Coût d'installation et d'entretien de la végétalisation • L'efficacité de l'isolation est limitée en raison de l'isolant existant, bien que son épaisseur ne soit pas significative, ce qui peut réduire l'impact de l'action sur la performance thermique globale

13.2.6 ACTION 06 : Isolation Thermique Extérieure des façades

Zones concernées

Façades extérieures de bâtiment

Illustration



Motivation du choix

Les murs extérieurs du bâtiment sont actuellement insuffisamment isolés, ce qui entraîne des déperditions thermiques. L'isolation par l'extérieur permet de réduire ces pertes tout en améliorant le confort thermique intérieur et en stabilisant la température des espaces. Cette solution améliore l'efficacité énergétique globale du bâtiment, tout en réduisant les besoins en chauffage et en climatisation.

Le système de double peau avec un bardage extérieur offre une solution esthétique et technique performante.

Ce système assure une bonne isolation thermique tout en permettant une finition de qualité, avec une protection optimale de l'isolant contre les intempéries. Le choix du bardage est flexible entre un bardage en claire voie bois ou un matériau composite non réfléchissant. Il est crucial que le matériau composite ne soit pas réfléchissant pour ne pas créer des effets indésirables d'ensoleillement ou de réflexion lumineuse.

Mise en œuvre

Coût travaux prévisionnel (TTC) : 929 100 €

Coût maintenance prévisionnel annuel (TTC) : 1200 €

L'isolation des murs extérieurs sera réalisée avec des panneaux en fibre de bois de 160 mm d'épaisseur, offrant une résistance thermique $R = 4.1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Ces panneaux seront directement intégrés à la structure de la double peau, qui sera installée à l'aide d'un système d'ossature métallique ou bois. Cette ossature permettra de fixer les panneaux isolants et de maintenir le bardage extérieur.

Le bardage extérieur sera composé soit de claire voie bois, offrant un rendu esthétique naturel, soit d'un matériau composite non réfléchissant, qui sera choisi pour ses propriétés techniques (résistance, durabilité) et esthétiques. Le matériau composite doit impérativement être non réfléchissant pour éviter des effets d'éblouissement ou des réflexions lumineuses.

Point d'attention

Il est essentiel de vérifier la résistance de la structure pour supporter l'ensemble de la double peau et du bardage avec l'isolant intégré. L'aspect esthétique doit être validé par les Architectes des Bâtiments de France (ABF), si nécessaire. Le matériau composite choisi pour le bardage doit impérativement être non réfléchissant afin d'éviter des effets lumineux indésirables. Il est également crucial de traiter les ponts thermiques et de garantir l'étanchéité des raccords aux menuiseries pour optimiser la performance thermique.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Réduit les déperditions thermiques, améliorant l'efficacité énergétique globale du bâtiment • Ne réduit pas l'espace intérieur, contrairement à une isolation intérieure, • Améliore l'inertie de transmission des parois verticales (le choix du matériau de revêtement de la double peau sera primordial), • Permet un maintien de l'activité, 	<ul style="list-style-type: none"> • L'efficacité de l'isolation est limitée en raison de l'isolant existant, bien que son épaisseur ne soit pas significative, ce qui peut réduire l'impact de l'action sur la performance thermique globale • Coût d'installation très élevé par rapport aux gains énergétiques et d'amélioration de température. • La mise en œuvre est relativement complexe en raison de la nature des parois existantes, ce qui engendre des coûts supplémentaires pour les adaptations et la gestion des matériaux. • Nécessite des ajustements architecturaux, notamment pour les menuiseries et les façades existantes. Etude de structure et géotechnique à prévoir pour la portance et fixation de la nouvelle structure • Traitement spécifique des interfaces avec mortaises et acrotères

13.2.7 Action 07 : Installation de systèmes individuels de climatisation

Espace concerné

L'ensemble des bureaux des ailes A, B, C et D

NOTA BENE : L'achat du matériel fera partie d'une enveloppe autre que celle prévue par l'infra.

Illustration



Multi-split : Unité extérieure + plusieurs unités intérieures

Motivation du choix

L'installation de climatiseurs individuels est une solution efficace pour gérer la température de manière précise dans chaque bureau. Cette approche permet de répondre aux besoins spécifiques de chaque espace tout en offrant un contrôle direct des températures par les occupants. Elle ne dépend pas du système de climatisation central du bâtiment, offrant ainsi une plus grande flexibilité et autonomie dans le réglage de la température, sans perturber le système global de refroidissement du bâtiment.

L'avantage principal de cette solution est son efficacité individuelle, qui permet d'adapter précisément chaque climatiseur aux conditions spécifiques de chaque bureau. Cela garantit un confort thermique optimal, même dans des bureaux de tailles ou d'expositions différentes, tout en permettant aux utilisateurs de personnaliser leur environnement de travail.

Cependant, bien que cette solution offre de nombreux avantages en termes de contrôle, elle implique un investissement en termes d'achat et d'installation des équipements. De plus, les climatiseurs individuels peuvent entraîner une consommation énergétique élevée si plusieurs unités sont utilisées simultanément sur une longue période. Il est donc essentiel de gérer l'utilisation de ces appareils de manière à optimiser leur efficacité tout en limitant l'impact sur les coûts énergétiques.

Mise en œuvre

Coût travaux prévisionnel (TTC) : 560 220 €

Coût maintenance prévisionnel annuel (TTC) : 2500 €

L'installation consistera en la mise en place de 39 unités extérieures, avec un climatiseur pour chaque bureau afin d'assurer un refroidissement optimal dans chaque espace. Les unités intérieures seront installées dans les murs des bureaux. Le raccordement entre les unités extérieures et intérieures se fera à l'aide de conduits spécifiques pour garantir une efficacité maximale.

Le plan d'installation et de raccordement doit être étudié et proposé par le maître d'œuvre afin d'assurer une distribution optimale des conduits et un raccordement conforme aux contraintes techniques du bâtiment. Le maître d'œuvre devra également s'assurer que l'installation respecte les normes de sécurité et d'efficacité énergétique, tout en optimisant l'utilisation de l'espace dans les bureaux.

Chaque climatiseur sera dimensionné en fonction de la taille et des caractéristiques thermiques de chaque bureau. Une étude préalable devra être réalisée pour déterminer la capacité nécessaire de chaque unité, en

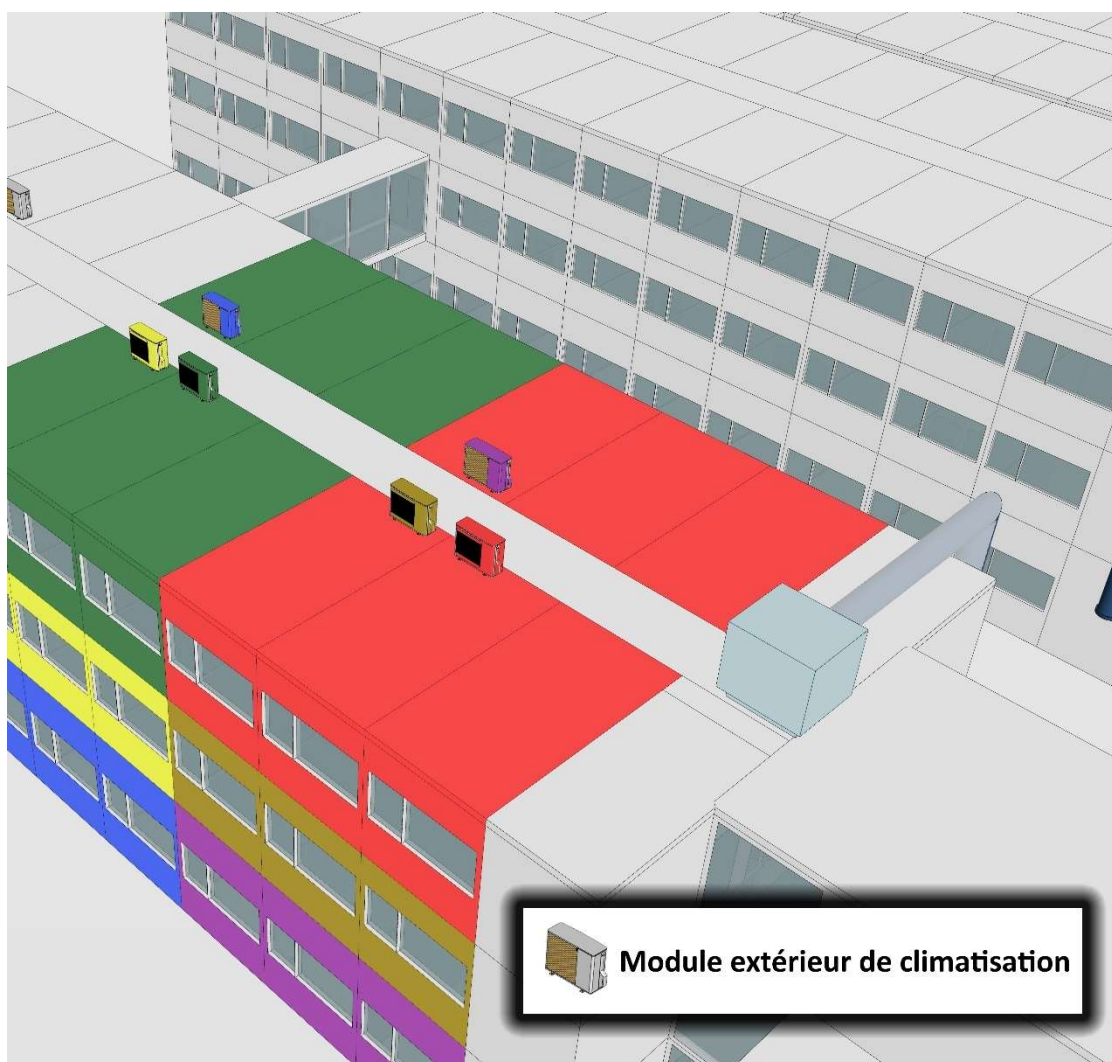
prenant en compte l'isolation, l'exposition et la superficie de chaque bureau. L'installation devra être réalisée conformément aux normes en vigueur, notamment en termes de sécurité et de rendement énergétique.

Point d'attention

Il est important de s'assurer que la capacité de chaque climatiseur soit correctement adaptée à la taille et aux besoins thermiques spécifiques de chaque bureau. Un climatiseur trop petit risquerait de ne pas être suffisamment efficace, tandis qu'un climatiseur trop puissant pourrait entraîner une consommation énergétique inutile. Ainsi, un dimensionnement précis et une vérification de la capacité de chaque unité sont essentiels pour garantir une performance optimale et éviter une surconsommation d'énergie.

En outre, l'entretien des climatiseurs individuels est crucial pour leur bon fonctionnement. Un entretien régulier, incluant le nettoyage des filtres et la vérification des niveaux de gaz réfrigérant, permet de maintenir une performance optimale tout en prolongeant la durée de vie des équipements. Les climatiseurs doivent également être installés de manière à respecter les normes acoustiques, afin de ne pas générer de nuisances sonores qui affecteraient le confort des occupants. Le respect de ces normes garantit un environnement de travail agréable et silencieux.

Enfin, le plan d'installation et de raccordement proposé par le maître d'œuvre doit être minutieusement étudié pour éviter toute interférence entre les systèmes et optimiser l'espace disponible dans les bureaux. Une installation bien pensée et conforme aux recommandations techniques assurera une gestion efficace de la température tout en minimisant l'impact visuel et acoustique.



Proposition d'emplacements pour les modules extérieurs de climatisation en toiture (1 module pour 6 bureaux).

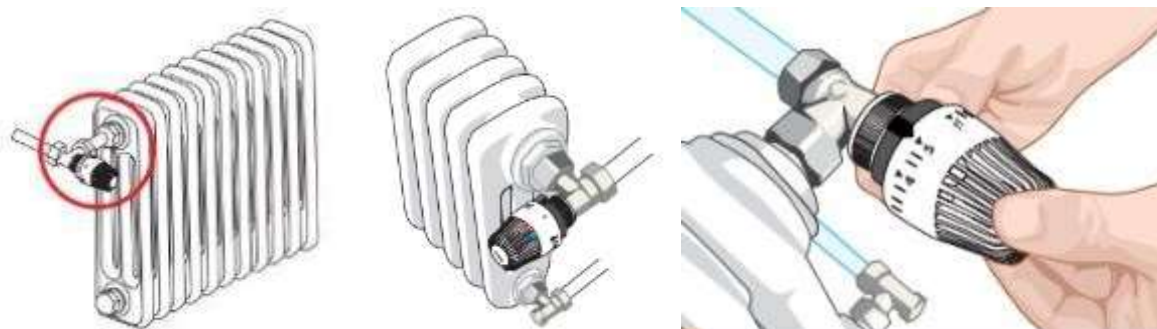
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Refroidissement autonome : L'installation de climatiseurs individuels permet un contrôle précis de la température dans chaque bureau, offrant ainsi un confort thermique personnalisé pour chaque occupant, • Réduction de la surconsommation : En permettant une régulation locale, chaque bureau peut être ajusté en fonction des besoins spécifiques de ses occupants, ce qui évite une consommation d'énergie excessive pour le refroidissement de l'ensemble du bâtiment. • L'installation des climatiseurs individuels est relativement simple comparée à un système centralisé comme la CTA, nécessitant principalement la pose des unités extérieures et intérieures, ce qui peut réduire le temps de mise en place. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation énergétique élevée : Les climatiseurs individuels peuvent entraîner une consommation énergétique importante, surtout lorsqu'ils sont utilisés simultanément dans plusieurs bureaux. Cela pourrait se traduire par une hausse des factures d'électricité, en particulier lors des pics de chaleur estivaux. • Maintenance et entretien : Chaque unité nécessite un entretien régulier, y compris le nettoyage des filtres et la vérification du bon fonctionnement des systèmes, ce qui peut entraîner des coûts récurrents. De plus, la gestion de l'entretien pour un grand nombre d'unités peut être complexe. • Selon la disposition et la configuration des bureaux, l'installation des climatiseurs pourrait nécessiter des travaux d'aménagement supplémentaires, notamment pour acheminer les conduits et garantir une bonne circulation de l'air. Cela peut occasionner des coûts supplémentaires et prolonger le délai d'installation. • Evacuer les condensats : via tuyaux en PVC raccordés au réseau des eaux usées. Sinon vidange des condensats manuellement depuis le bac des condensats.

Option ACTION 08 : Mise en place de robinets thermostatiques

Espace concerné

Les Radiateurs dans les bureaux et circulations

Illustration



Motivation du choix

Un chauffage collectif n'est efficace que si la chaleur est répartie uniformément entre tous les espaces. Cependant, les besoins en chauffage varient selon la taille des pièces, leur exposition au soleil, leur situation dans le bâtiment et leur occupation. L'installation de robinets thermostatiques permet de réguler la température de chaque pièce de manière autonome en ajustant le débit d'eau chaude passant dans les radiateurs. Cette régulation assure non seulement un meilleur confort thermique mais aussi une réduction de la consommation énergétique en évitant les surchauffes dans les espaces bénéficiant de chaleur naturelle.

Mise en œuvre

Coût travaux prévisionnel (TTC) : 82 600 €

Coût maintenance prévisionnel annuel (TTC) : 1000 €

L'installation des robinets thermostatiques sera réalisée sur les radiateurs des bureaux. Les robinets devront offrir une variation temporelle de 0,30 K. Un équilibrage et un réglage précis du réseau de chauffage seront effectués pour garantir la performance optimale du système.

Points d'attention

Les robinets thermostatiques agissent uniquement sur le débit, ce qui peut entraîner de légers bruits dans le circuit de chauffage. Ces bruits peuvent être atténués par l'installation de variateurs de vitesse et de pompes à débits variables dans la chaufferie.

De plus, pour éviter tout déséquilibre du réseau, il est essentiel d'installer des pompes à débits variables ainsi que des robinets d'équilibrage et de maintien de la pression différentielle. Cette intervention doit être réalisée par un chauffagiste agréé, car un mauvais équilibrage, dû par exemple à la fermeture des radiateurs dans certaines pièces, pourrait provoquer des dysfonctionnements et altérer l'efficacité du système.

Si ces installations ne sont pas disponibles, il est nécessaire de les installer.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Permet un contrôle précis de la température dans chaque bureau, offrant un confort thermique optimal pour les occupants. Réduit la consommation d'énergie en ajustant la température en fonction des besoins spécifiques de chaque espace. 	<ul style="list-style-type: none"> Les utilisateurs doivent être conscients de l'utilisation optimale pour éviter des ajustements fréquents. Nécessite un entretien régulier pour garantir leur bon fonctionnement (réglages, vérification de la précision des capteurs).

*** L'action de régulation terminale n'a aucun impact direct sur le confort d'été ou les gains en température intérieure. Elle est proposée uniquement comme une option pour optimiser la gestion du chauffage en hiver et réduire les consommations énergétiques en hiver.**

Option ACTION 09 : Implantation de végétation

Espace concerné

L'extérieur du bâtiment, principalement autour des ailes A, B, C et D.

Illustration



Platanus x hispanica



Motivation du choix

L'implantation d'arbres à proximité du bâtiment vise à créer un ombrage naturel, réduisant ainsi l'impact du rayonnement solaire direct sur les étages inférieurs (RDC et R+1). Cette solution passive contribue à diminuer les besoins en climatisation pour les bureaux situés aux niveaux inférieurs tout en améliorant le confort thermique global et l'environnement extérieur.

En outre, la végétation joue un rôle important dans la réduction de la température extérieure immédiate et l'amélioration du microclimat autour du bâtiment. Cela offre une protection passive contre le rayonnement solaire tout en créant un environnement agréable et visuellement attrayant pour les occupants.

Cependant, cette action présente des limites. Les bureaux situés aux étages supérieurs (R+2 et au-delà) bénéficieront moins de l'ombrage des arbres, à moins d'opter pour des essences de grande hauteur. De plus, le temps de développement des arbres (établissement du feuillage après 3 à 5 ans) constitue un délai à considérer avant que les bénéfices soient pleinement ressentis.

Mise en œuvre

Coût travaux prévisionnel (TTC) : 72 240 €

Coût maintenance prévisionnel annuel (TTC) : 3000 €

La mise en œuvre consistera à planter des arbres à proximité immédiate des ailes du bâtiment, en évitant les zones qui pourraient interagir avec des réseaux ou des infrastructures souterraines. Une étude préalable devra identifier les espèces d'arbres les plus adaptées aux conditions locales (climat, sol, espace disponible) et garantir leur implantation optimale pour un ombrage efficace.

Un plan d'entretien devra être établi, comprenant l'élagage régulier, le ramassage des feuilles mortes, ainsi que la vérification de l'état de santé des arbres afin d'assurer leur durabilité. Des mesures d'irrigation devront également être prévues durant les premières années de croissance.

Points d'attention

Il est essentiel de prévoir un espace suffisant pour le développement des racines et des cimes des arbres afin de garantir leur santé à long terme et d'éviter les interactions négatives avec les infrastructures.

Le temps de développement des arbres doit être pris en compte. Les bénéfices en termes d'ombrage seront significatifs uniquement après 3 à 5 ans, une fois que les arbres auront atteint leur maturité.

L'entretien des arbres (taille, ramassage des feuilles, éventuels traitements phytosanitaires) entraîne des coûts récurrents qu'il faut prévoir dans le budget global.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Réduit l'impact du rayonnement solaire direct aux étages RDC et R+1 • Diminue les besoins en climatisation pour les bureaux des étages inférieurs • Création d'ombrage naturel. • Réduction de la température extérieure immédiate. • Protection passive contre le rayonnement solaire. • Amélioration du microclimat autour du bâtiment. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les bureaux au étages supérieurs sont moins protégés du rayonnement • Temps de développement végétatif des arbres (bénéfice de feuillage après 3-5 ans) • Entretien et élagage (ramassage feuille ...)

Option ACTION 10 : Implantation d'une GTB

Espace concerné

L'ensemble du bâtiment serait concerné par l'installation et le pilotage d'une GTB dans le cadre du décret BACS.

Mise en œuvre

Coût travaux prévisionnel (TTC) : 92 000 €

Coût maintenance prévisionnel annuel (TTC) : 6 000 €

L'installation d'un GTB doit faire l'objet d'une étude dédiée dès qu'un scénario de travaux sera validé. En effet, cela déterminera complètement les équipements CVC à piloter et la classe de pilotage. A noter, qu'il existe des dérogations possibles dans l'implémentation du décret BACS en fonction du temps de retour sur investissement après travaux de l'action selon les postes à piloter (chauffage, ventilation et/ ou climatisation).

L'étude dédiée permettra notamment de justifier in fine de l'intérêt d'une telle solution et d'établir les TRI associés afin d'évaluer si la mise en œuvre entre dans le cadre dérogatoire ou non du décret tertiaire.

13.3 Tableau de synthèse des différents scénarios

Scénario	Existant	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3 (passif)	Scénario 4	Scénario 5 (CTA+BSO+RT)
sur 4 échantillons						
Température max moy (°C)	42,2	27,6	32,8	31,8	29,6	27,7
Gain de température (°C)	/	14,5	9,4	10,3	12,6	14,5
Durée Inconfort moy (h/an)	677	14,5	225	89	9,75	17,5
Taux inconfort (%)	26,05	0,82	8,66	3,72	0,4	0,8
sur bâtiment						
Consommation Energie Été (kWh/an)	9 927,00	53 581,00	86 743,00	8 679,00	193 308,00	55 832,00
Consommation Energie Hiver (kWh/an)	413 049,00	357 131,00	305 047,00	354 587,00	305 449,00	473 594,00
Gain Energie Hiver (%)	/	13,5	26	14	26	6
Investissement (€ TTC)	/	2 484 345,92 €	1 977 660,00 €	2 013 105,92 €	1 506 420,00 €	864 545,92 €
Coût Global sur 20 ans (€ TTC/an)	/	7 085 788,77 €	6 582 346,30 €	5 971 582,62 €	7 212 465,61 €	5 433 559,05 €

Tableau 7 : Tableau température et inconfort des 4 échantillons / consommation ensemble de bâtiment. Investissement hors GTB

Ensemble de bâtiment	Heures > T° Inconfort [h]	Taux d'inconfort [%]	T° max moyenne [°C]	Δ T [°C]	Investissement [€ TTC]
Etat initial	538,42	21,32	37,8	-	-
Action 01-Installation d'une CTA avec module froid (derniers niveaux)	171,06	7,14	31,5	6,23	471 240,00 €
Action 02-Protection solaire par des casquettes (en R+1 et R+2)	340,15	13,76	34,9	2,84	138 780,00 €
Action 03-Protection solaire par des brises soleil orientables (BSO)	102,65	4,81	31,8	5,91	310 705,92 €
Action 04-Ventilation des circulations	473,42	18,93	37,1	0,71	57 200,00 €
Action 05-Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	516,49	20,51	37,2	0,52	494 720,00 €
Action 06-Isolation par l'extérieur des murs	529,12	20,88	37,2	0,53	929 100,00 €
Action 07-Installation de climatiseurs individuels	9,19	0,87	29,0	8,77	560 220,00 €
Action 08-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	538,42	21,32	37,8	0,00	82 600,00 €
Scénario 1 : Action 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 8 (option)	18,47	1,50	28,0	9,71	2 484 345,92 €
Scénario 2 : Action 1 + 5 + 6 + 8 (option)	165,82	6,90	31,1	6,71	1 977 660,00 €
Scénario 3 : Action 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 8 (option)	82,69	4,09	31,3	6,42	2 013 105,92 €
Scénario 4 : Action 5 + 6 + 7 + 8 (option)	5,88	0,72	28,5	9,22	1 506 420,00 €
Scénario 5 : Action 1 + 3 + 8 (option)	22,13	1,59	28,3	9,50	864 545,92 €

Tableau 8 : Tableau de synthèse des actions et scénarios pour l'ensemble du bâtiment. A noter que ce tableau n'inclue pas le coût d'intégration de la GTB.

*L'implantation d'arbres entre les ailes permet d'abaisser en moyenne de 1°C l'ensemble des ailes mais ponctuellement jusqu'à 3°C pour certains bureaux (exemple : bureau A009).

Commentaires

La différence entre le scénario 1 et 3 est un gain énergétique d'environ 15% en hiver pour le scénario 1 du fait d'une meilleure isolation de l'enveloppe et régulation terminale du système de chauffage.

A noter également que ce sont bien les températures aux derniers étages qui impactent l'inconfort global du bâtiment. Ainsi, leur traitement prioritaire permet d'abaisser globalement la durée et le taux d'inconfort dans le bâtiment, même sans rafraîchir les étages intermédiaires ou RdC.

Le bâtiment E ne présente pas d'inconfort particulier. Une meilleure isolation de la toiture terrasse ainsi qu'une ventilation dédiée pour une meilleure qualité de l'air permettront d'abaisser la température max intérieure moyenne à 28°C.

Le scénario 4, bien qu'efficace sur l'atteinte des objectifs de confort estival, gains énergétiques l'hiver (robinets thermostatiques) et coût brut d'achat, coûte globalement beaucoup plus cher sur 20 ans, notamment du fait d'une forte consommation énergétique en période chaude. Par ailleurs, le renouvellement complet au bout de 20 ans (au mieux) de l'ensemble des modules intérieurs de climatisation provoquerait un coût immédiat supplémentaire de presque 600 k€ en plus des 7.2 M€ de coût cumulé d'exploitation.

Remarque générale :

L'indice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), décrit par la norme ISO 7730, prédit le pourcentage de personnes insatisfaites car trouvant l'ambiance thermique trop chaude ou trop froide, sur base de l'échelle de sensations thermiques. ("**NF EN ISO 7730 – Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PVM et PPD et par des critères de confort thermique local**").

Cet indice peut être déterminé soit par des tables, soit par le calcul, sur la base de mesures et d'observations.

En été, la réglementation concerne essentiellement les travailleurs soumis à des contraintes thermiques élevées en milieu industriel (*norme ISO 7243 pour le calcul de l'indice WBGT et norme ISO 7933 pour le calcul de l'indice de Sudation Requisite*).

Ainsi, un bureau en été, même avec une température de 30°C, reste encore largement en dessous des seuils de ces normes.

14. Scénarios de travaux

Cette partie a pour objectif de combiner les différentes préconisations détaillées précédemment afin de créer des scénarios de travaux.

En effet, les gains énergétiques, économiques et environnementaux ne peuvent pas être additionnés entre eux lorsque l'on décide de créer des scénarios, puisqu'il y a des synergies entre les différentes solutions.

Cette partie aura donc pour but de mettre en relation les préconisations possibles et de donner l'ensemble des potentiels d'améliorations.

Nous avons réalisé les combinaisons suivantes entre préconisations afin de créer des scénarios :

			Scénarios				
			Scénario 01	Scénario 02	Scénario 03	Scénario 04	Scénario 05
Travaux sur le bâti	Action 02	Installation des casquettes	X		X		
	Action 03	Installation des brises soleil orientables (BSO)	X		X		X
	Action 05	Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	X	X	X	X	
	Action 06	Isolation par l'extérieur des murs	X	X	X	X	
Travaux sur les systèmes	Action 01	Installation d'une CTA avec module froid (derniers niveaux)	X	X			X
	Action 04	Ventilation des circulations et passerelles	X		X		
	Action 07	Installation de systèmes de climatisation individuels				X	
Travaux optionnels	Action 08	Régulation terminale de chauffage	X	X	X	X	X

Commentaires

L'investissement de chaque scénario est également renseigné dans la suite du rapport.
Cet investissement est estimé au niveau de la phase programme et ne remplace en aucun cas le chiffrage réalisé par des entreprises.

Il sera également nécessaire de réaliser différents diagnostics complémentaires (structure, électricité, géotechnique, etc.) selon le choix du scénario réalisé. Le cout de ses études n'est pour le moment pas considéré.
De même pour les frais d'honoraires.

14.1 Scénario 1 : CTA partielle + solutions passives

14.1.1 Synthèse globale et pour la moyenne des quatre échantillons

	Bâtiment existant	Scénario 1
Valeurs par rapport à la moyenne des quatre échantillons	Heures d'inconfort [h]	677
	Gain sur le confort [%]	-
	Température maximale [°C]	42,20
	Gain en température [°C]	-
	Efficienne Confort (investissement €/ °C abattement)	-
	Consommation énergétique Hiver	413 049
	Gain énergétique Hiver (%)	-
	Consommation énergétique Été	9 927
	Gain énergétique Été (%)	-

Type d'action	Dénomination	Coût
Travaux sur le bâti	Action 02-Protection solaire par des casquettes (en R+1 et R+2)	138 780
	Action 03-Protection solaire par des brises soleil orientables (BSO)	310 706
	Action 05-Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	494 720
	Action 06-Isolation par l'extérieur des murs	929 100
Travaux sur les systèmes	Action 01-Installation d'une CTA avec module froid (derniers niveaux)	471 240
	Action 04-Ventilation des circulations	57 200
Travaux optionnels	Action 08-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	82 600
Coût des travaux		2 484 345,92 €
Coût entretien/ Maintenance annuelle		13 200,00 €
Coût énergétique prévisionnel annuel		94 688,17 €
Coût Global annuel (Année 1) (€/an)		2 592 234,09 €

Commentaires

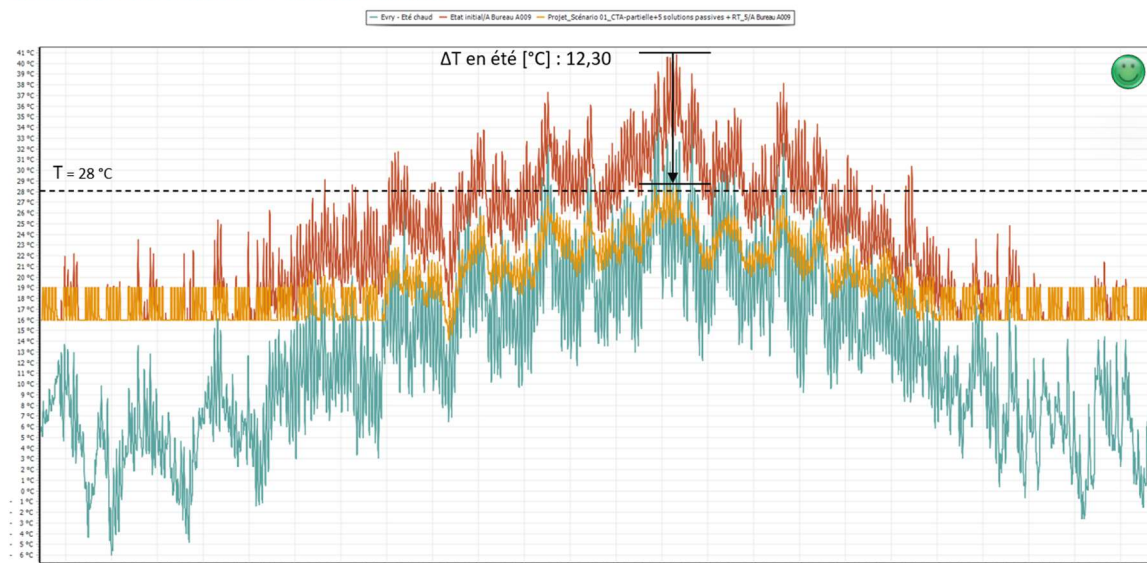
Ce scénario regroupe les action 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 8(option).

Il inclut une protection solaire complète avec des casquettes et des brise-soleil orientables pour les orientations sud-est et sud-ouest, l'amélioration de l'isolation de l'enveloppe (toitures-terrasses et murs extérieurs), et la mise en place de la ventilation des espaces de circulation pour évacuer la chaleur accumulée.

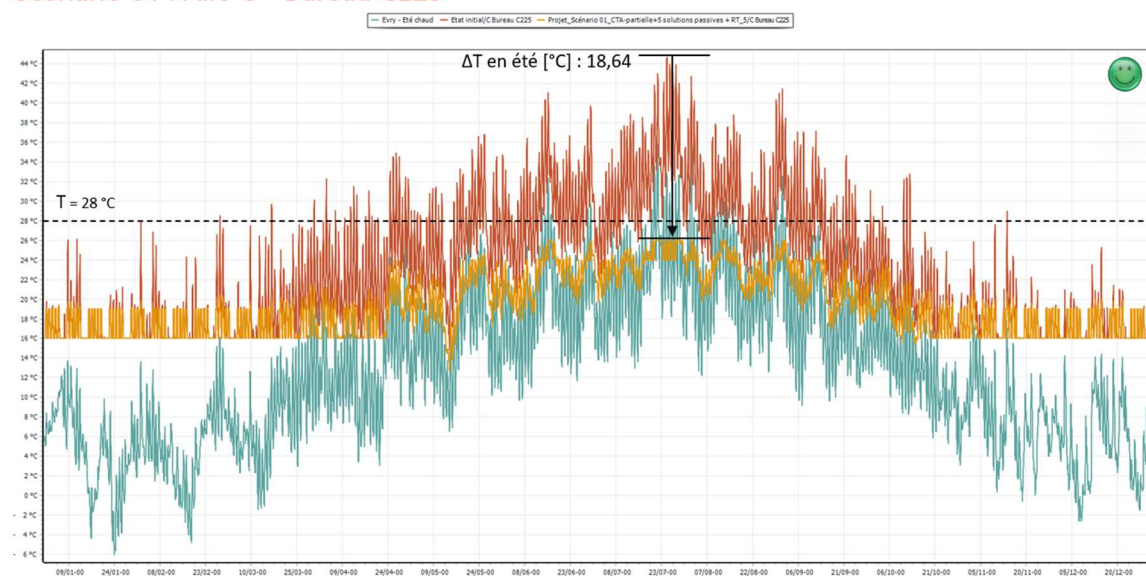
En moyenne, sur les quatre échantillons les plus défavorables, le gain en température atteint **14,58 °C**, tandis que le nombre maximal d'heures d'inconfort est réduit à **14,50 heures**.

La CTA permet de refroidir les bureaux des derniers niveaux, tandis que la régulation terminale par robinets thermostatiques assure un contrôle individuel de la température en hiver, garantissant un confort thermique optimal et une efficacité énergétique renforcée.

Scénario 01 : Aile A - Bureau A009



Scénario 01 : Aile C - Bureau C225



Commentaires

Les courbes ci-dessus représentent les températures des bureaux A009 et C225 à l'état existant et selon le scénario 1 et les températures extérieures pendant une année.

14.2 Scénario 2 : CTA partielle + ITE + ITT

14.2.1 Synthèse globale et pour la moyenne des quatre échantillons

	Bâtiment existant	Scénario 2
Valeurs par rapport à la moyenne des quatre échantillons	Heures d'inconfort [h]	677
	Gain sur le confort [%]	67%
	Température maximale [°C]	42,20
	Gain en température [°C]	-9,38
	Efficience Confort (investissement €/ °C abattement)	210948
	Consommation énergétique Hiver	413 049
	Gain énergétique Hiver (%)	26%
	Consommation énergétique Eté	9 927
	Gain énergétique Eté (%)	-774%

Type d'action	Dénomination	Coût
Travaux sur le bâti	Action 05-Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	494 720
	Action 06-Isolation par l'extérieur des murs	929 100
Travaux sur les systèmes	Action 01-Installation d'une CTA avec module froid (derniers niveaux)	471 240
Travaux optionnels	Action 08-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	82 600
Coût des travaux		1 977 660,00 €
Coût entretien/ Maintenance annuelle		9 200,00 €
Coût énergétique prévisionnel annuel		97 285,89 €
Coût Global annuel (Année 1) (€/an)		2 084 145,89 €

Commentaires

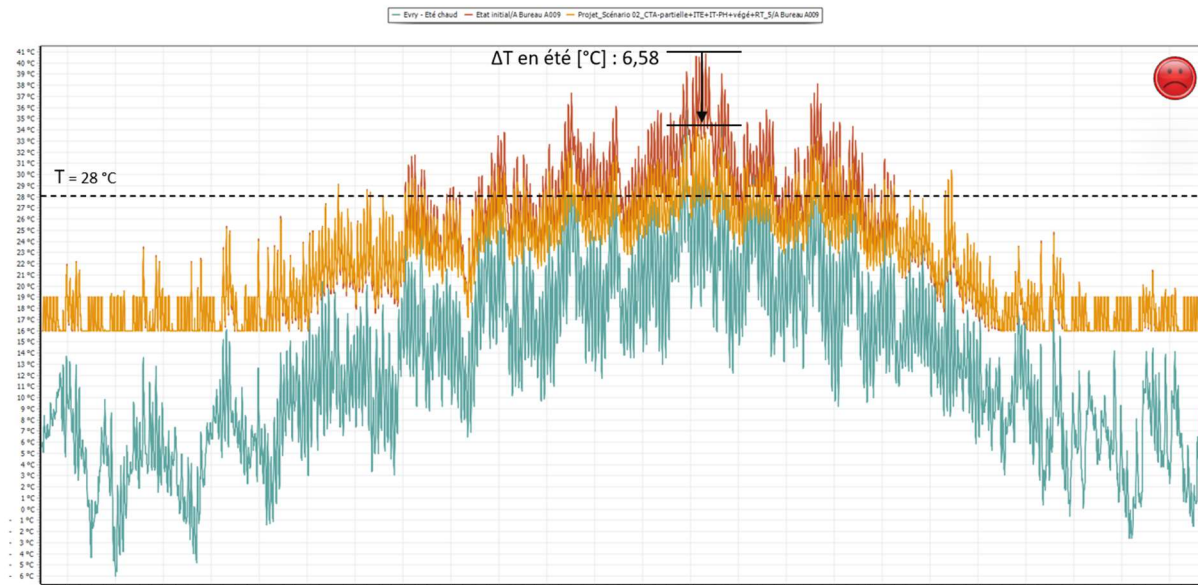
Ce scénario regroupe les actions 1, 5, 6 et 8(option). Il comprend la mise en place de la CTA pour le refroidissement des bureaux et se concentre sur l'amélioration de l'isolation thermique de l'enveloppe, avec l'isolation et la végétalisation des toitures-terrasses (isolation pour les ailes A, B, C et D et végétalisation pour l'aile E) ainsi que l'isolation par l'extérieur des murs (ITE).

L'objectif est de réduire les déperditions thermiques et d'éviter les surconsommations énergétiques.

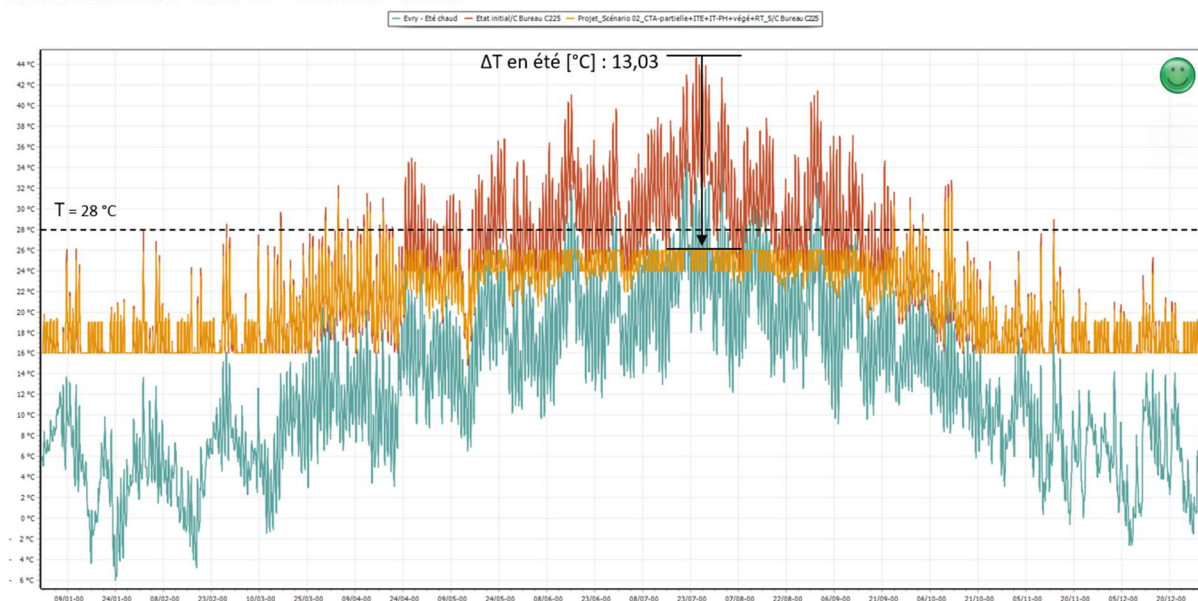
En moyenne, sur les quatre échantillons les plus défavorables, le gain en température atteint **9,38 °C**, tandis que le nombre maximal d'heures d'inconfort est réduit à **225.25 heures**.

La régulation terminale, grâce aux robinets thermostatiques dans les bureaux, assure un contrôle optimal de la température, renforçant le confort thermique et l'efficacité énergétique.

Scénario 02 : Aile A - Bureau A009



Scénario 02 : Aile C - Bureau C225



Commentaires

Les courbes ci-dessus représentent les températures des bureaux A009 et C225 à l'état existant et selon le scénario 2 et les températures extérieures pendant une année.

7.3 Scénario 3 : Solutions passives sur enveloppe + Ventilation

7.3.1 Synthèse globale et pour la moyenne des quatre échantillons

	Bâtiment existant	Scénario 3
Valeurs par rapport à la moyenne des quatre échantillons		
Heures d'inconfort [h]	677	89,00
Gain sur le confort [%]	-	87%
Température maximale [°C]	42,20	31,85
Gain en température [°C]	-	-10,34
Efficiences Confort (investissement €/ °C abattement)	-	194613
Consommation énergétique Hiver	413 049	354 587
Gain énergétique Hiver (%)	-	14%
Consommation énergétique Été	9 927	8 679
Gain énergétique Été (%)	-	13%

Type d'action			
Travaux sur le bâti	Dénomination	Coût	
	Action 02-Protection solaire par des casquettes (en R+1 et R+2)	138 780	€TTC
	Action 03-Protection solaire par des brises soleil orientables (BSO)	310 706	€TTC
	Action 05-Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	494 720	€TTC
	Action 06-Isolation par l'extérieur des murs	929 100	€TTC
Travaux sur les systèmes	Action 04-Ventilation des circulations	57 200	€TTC
Travaux optionnels	Action 08-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	82 600	€TTC
Coût des travaux		2 013 105,92 €	€TTC
Coût entretien/ Maintenance annuelle		8 200,00 €	€
Coût énergétique prévisionnel annuel		83 185,11 €	€
Coût Global annuel (Année 1) (€/an)		2 104 491,03 €	€TTC

Commentaires

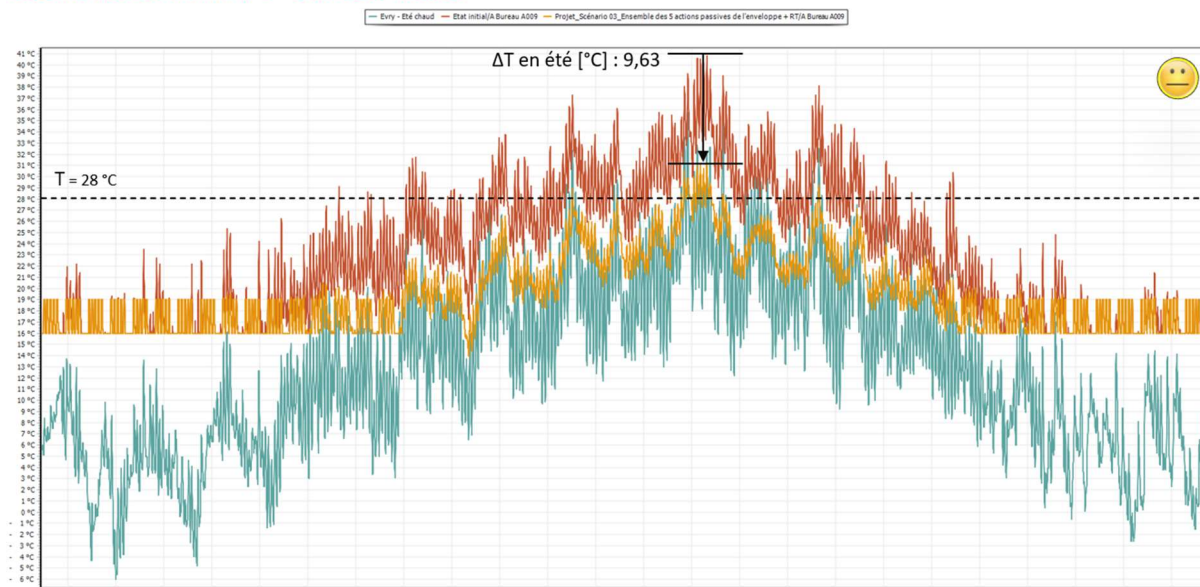
Ce scénario regroupe les actions 2, 3, 4, 5, 6 + option 8.

Il met en place cinq solutions techniques passives pour l'amélioration de l'enveloppe, en intégrant des protections solaires par casquettes et brise-soleil orientables, l'isolation thermique des toitures-terrasses (avec végétalisation pour l'aile E) et des murs, ainsi que la ventilation des circulations pour favoriser un refroidissement passif.

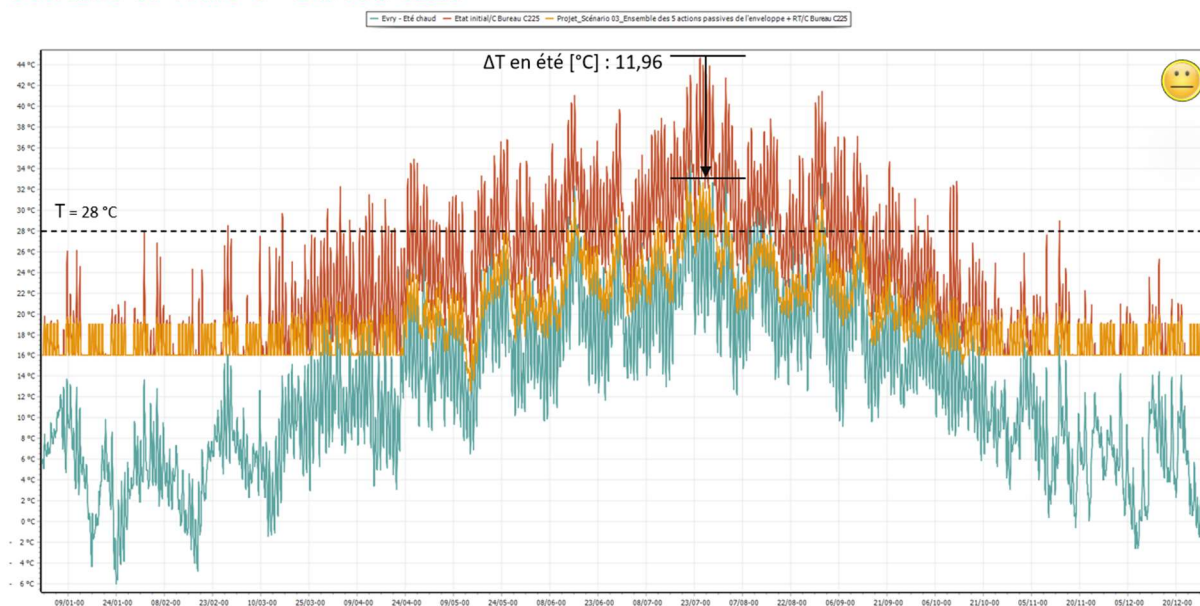
En moyenne, sur les quatre échantillons les plus défavorables, le gain en température atteint **10,34 °C**, tandis que le nombre maximal d'heures d'inconfort est réduit à **89,00 heures**.

La régulation terminale par robinets thermostatiques dans les bureaux optimise le confort thermique et réduit les besoins énergétiques, contribuant ainsi à une gestion thermique plus efficace du bâtiment.

Scénario 03 : Aile A - Bureau A009



Scénario 03 : Aile C - Bureau C225



Commentaires

Les courbes ci-dessus représentent les températures des bureaux A009 et C225 à l'état existant et selon le scénario 3 et les températures extérieures pendant une année.

7.4 Scénario 4 : Solutions passives sur enveloppe ITE+ITT + Climatisation individuelle

7.4.1 Synthèse globale et pour la moyenne des quatre échantillons

Valeurs par rapport à la moyenne des quatre échantillons	Bâtiment existant		Scénario 4
	Heures d'inconfort [h]	677	9,75
	Gain sur le confort [%]	-	99%
	Température maximale [°C]	42,20	29,61
	Gain en température [°C]	-	-12,58
	Efficiency Confort (investissement €/ °C abattement)	-	119739
	Consommation énergétique Hiver	413 049	305 449
	Gain énergétique Hiver (%)	-	26%
	Consommation énergétique Eté	9 927	193 308
	Gain énergétique Eté (%)	-	-1847%

Type d'action	Dénomination	Coût	
Travaux sur le bâti	Action 05-Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	494 720	€TTC
	Action 06-Isolation par l'extérieur des murs	929 100	€TTC
Travaux sur les systèmes	Action 07-Installation de climatiseurs individuels	560 220	€TTC
Travaux optionnels	Action 08-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	82 600	€TTC
Coût des travaux		1 506 420,00 €	€TTC
Coût entretien/ Maintenance annuelle		4 200,00 €	€
Coût énergétique prévisionnel annuel		123 971,08 €	€
Coût Global annuel (Année 1) (€/an)		1 634 591,08 €	€TTC

Commentaires

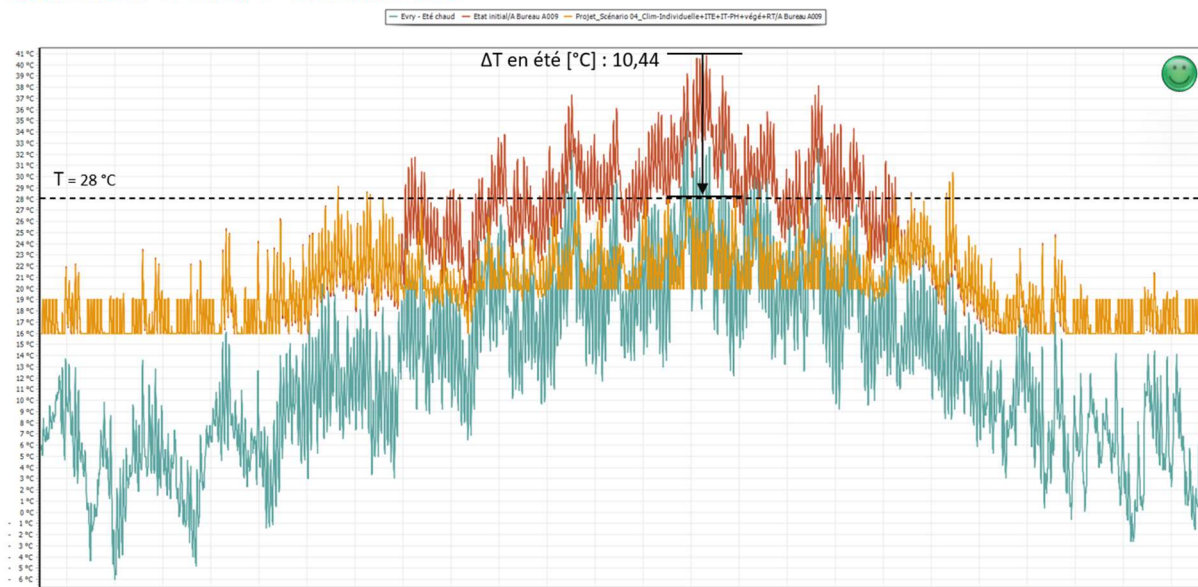
Ce scénario regroupe les actions 5, 6, 7 et 8 (option).

Il propose l'installation de climatiseurs individuels dans tous les bureaux des ailes A, B, C et D pour une gestion autonome du refroidissement. Il inclut également l'isolation thermique des toitures-terrasses (avec végétalisation pour l'aile E) et des murs par l'extérieur (ITE) afin de limiter les déperditions de chaleur et d'améliorer l'efficacité énergétique.

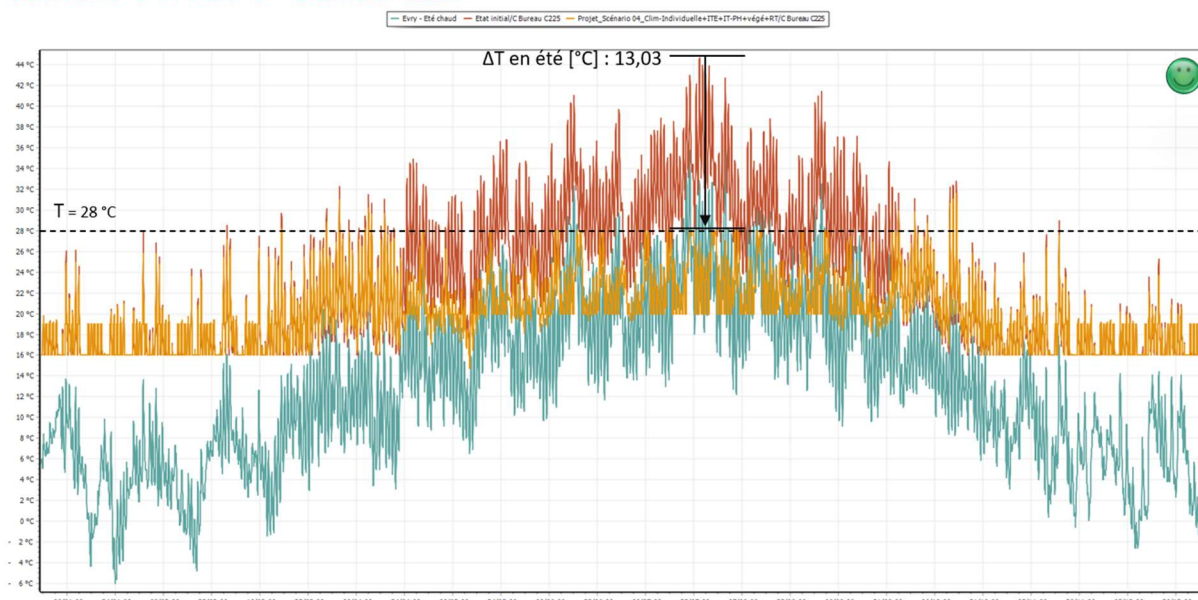
En moyenne, sur les quatre échantillons les plus défavorables, le gain en température atteint **12,58 °C**, tandis que le nombre maximal d'heures d'inconfort est réduit à **9,75 heures**. Ce qui permet d'atteindre les deux objectifs cibles

La régulation terminale via des robinets thermostatiques dans les bureaux permet un ajustement précis de la température, garantissant un confort thermique optimal et une consommation d'énergie maîtrisée.

Scénario 04 : Aile A - Bureau A009



Scénario 04 : Aile C - Bureau C225



Commentaires

Les courbes ci-dessus représentent les températures des bureaux A009 et C225 à l'état existant et selon le scénario 4 et les températures extérieures pendant une année.

7.5 Scénario 5 : Solution passives sur enveloppe BSO + CTA partielle + RT

7.5.1 Synthèse globale et pour la moyenne des quatre échantillons

Valeurs par rapport à la moyenne des quatre échantillons	Bâtiment existant		Scénario 5
	Heures d'inconfort [h]	677	17,50
	Gain sur le confort [%]	-	97%
	Température maximale [°C]	42,20	27,73
	Gain en température [°C]	-	-14,46
	Efficiences Confort (investissement €/ °C abattement)	-	59783
	Consommation énergétique Hiver	413 049	387 601
	Gain énergétique Hiver (%)	-	6%
	Consommation énergétique Été	9 927	55 572
	Gain énergétique Été (%)	-	-460%

Type d'action	Dénomination	Coût	
Travaux sur le bâti	Action 03-Protection solaire par des brises soleil orientables (BSO)	310 706	€TTC
Travaux sur les systèmes	Action 01-Installation d'une CTA avec module froid (derniers niveaux)	471 240	€TTC
Travaux optionnels	Action 08-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	82 600	€TTC
Coût des travaux		864 545,92 €	€TTC
Coût entretien/ Maintenance annuelle		7 500,00 €	€
Coût énergétique prévisionnel annuel		99 428,29 €	€
Coût Global annuel (Année 1) (€/an)		971 474,21 €	€TTC

Commentaires

Ce scénario regroupe les actions 1 et 3 + option 8.

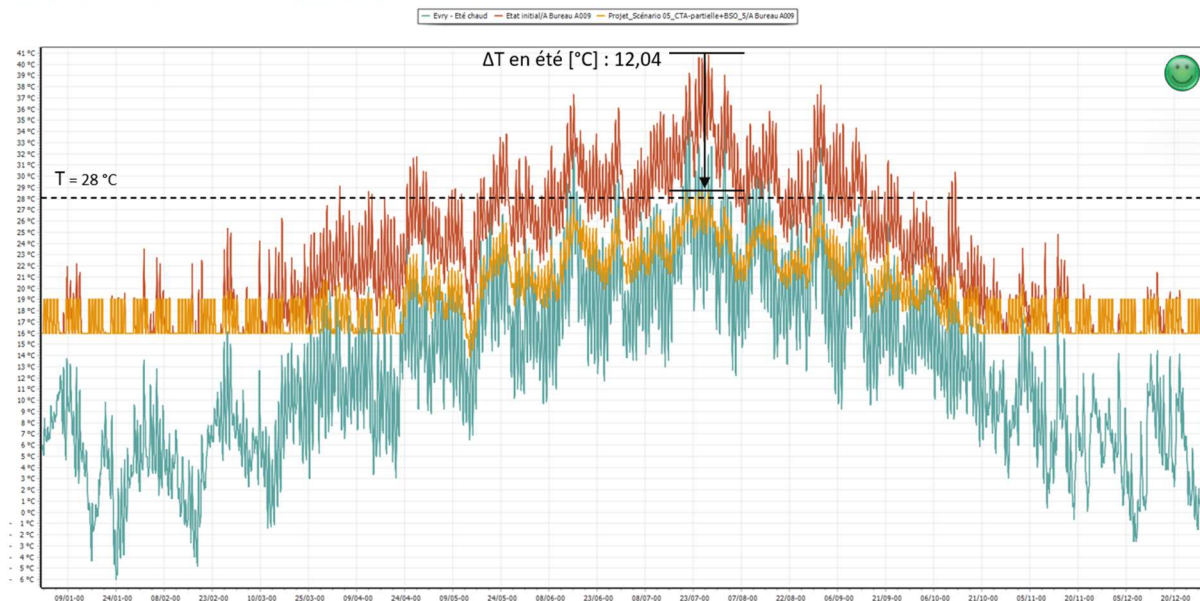
Il combine l'installation de la Centrale de Traitement d'Air (CTA) avec module froid pour assurer le refroidissement des bureaux des derniers étages et une protection solaire passive efficace grâce aux brise-soleil orientables (BSO) en bois pour les menuiseries orientées sud-est et sud-ouest.

En moyenne, sur les quatre échantillons les plus défavorables, le gain en température atteint **14,46 °C**, tandis que le nombre maximal d'heures d'inconfort est réduit à **17,50 heures**. Ce qui permet d'atteindre les deux objectifs cibles

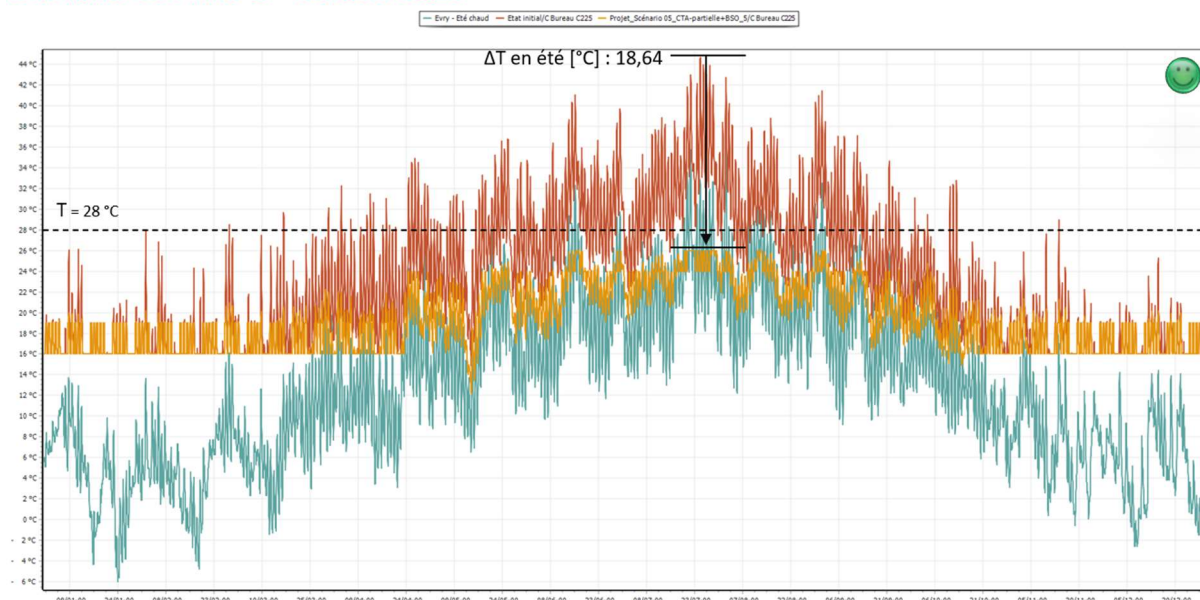
La régulation terminale via des robinets thermostatiques dans les bureaux permet un ajustement précis de la température, garantissant un confort thermique optimal et une consommation d'énergie maîtrisée.

Cette configuration permet de réduire les apports solaires tout en optimisant le confort thermique intérieur en période de surchauffe.

Scénario 05 : Aile A - Bureau A009



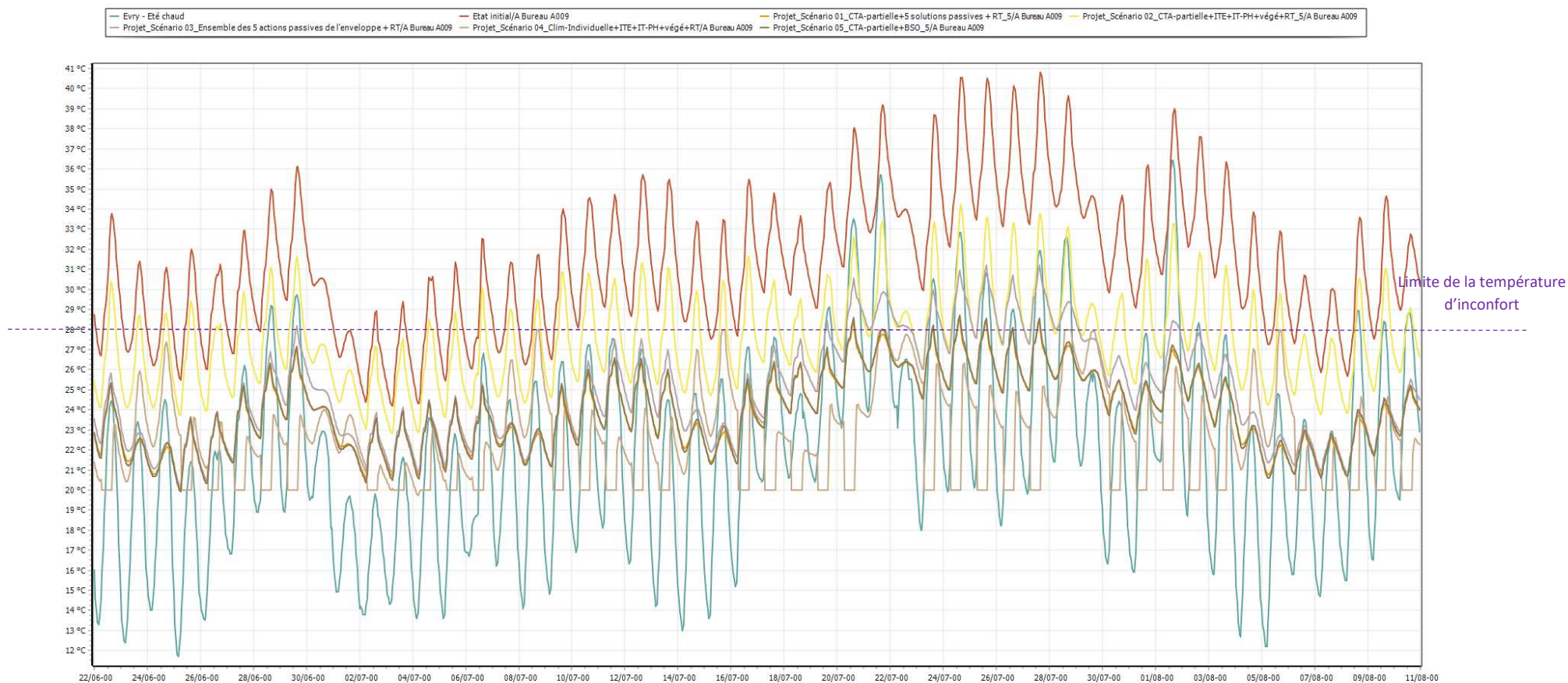
Scénario 05 : Aile C - Bureau C225



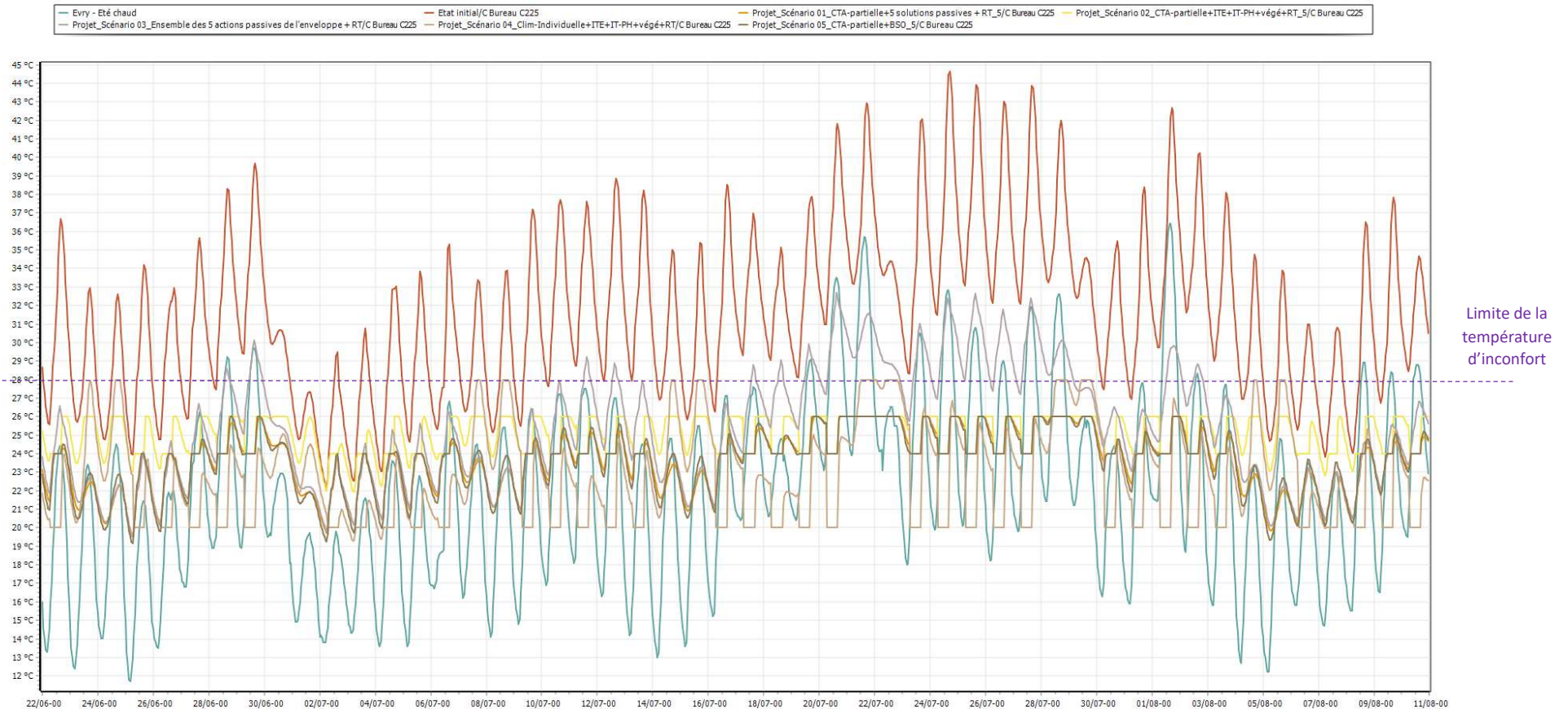
Commentaires

Les courbes ci-dessus représentent les températures des bureaux A009 et C225 à l'état existant et selon le scénario 5 et les températures extérieures pendant une année.

7.6 Synthèse des scénarios



Aile A - Bureau A009



Aile C - Bureau C225

Commentaires

Les 5 scénarios permettent d'améliorer le confort en été en réduisant les températures par rapport à l'état existant.

Ensemble de bâtiment	Heures > T° Inconfort [h]	Taux d'inconfort [%]	T° max moyenne [°C]	Δ T [°C]	Investissement [€ TTC]
Etat initial	536,42	21,32	37,8	-	-
Action 01-Installation d'une CTA avec module froid (derniers niveaux)	171,08	7,14	31,5	6,23	471 240,00 €
Action 02-Protection solaire par des casquettes (en R+1 et R+2)	340,15	13,76	34,9	2,84	138 780,00 €
Action 03-Protection solaire par des brises soleil orientables (BSO)	102,65	4,81	31,8	5,91	310 705,92 €
Action 04-Ventilation des circulations	473,42	18,93	37,1	0,71	57 200,00 €
Action 05-Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	516,49	20,51	37,2	0,52	494 720,00 €
Action 06-Isolation par l'extérieur des murs	529,12	20,88	37,2	0,53	929 100,00 €
Action 07-Installation de climatiseurs individuels	9,19	0,87	29,0	8,77	560 220,00 €
Action 08-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	536,42	21,32	37,8	0,00	82 600,00 €
Scénario 1 : Action 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 8(option)	18,47	1,50	28,0	9,71	2 484 345,92 €
Scénario 2 : Action 1 + 5 + 6 + 8(option)	165,82	6,90	31,1	6,71	1 977 660,00 €
Scénario 3 : Action 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 8(option)	82,69	4,09	31,3	6,42	2 013 105,92 €
Scénario 4 : Action 5 + 6 + 7 + 8(option)	5,88	0,72	28,5	9,22	1 506 420,00 €
Scénario 5 : Action 1 + 3 + 8(option)	22,13	1,59	28,3	9,50	864 545,92 €

Tableau 9 : Synthèse des résultats de simulations thermiques à l'échelle du bâtiment, et rappel des coûts associés. A noter que ce tableau n'inclue pas le coût d'intégration de la GTB.

Scénarios	Quantité	Unité	Prix unit (€TTC)	Coût travaux prévisionnel (€TTC)	Coût maintenance prévisionnel annuel (€/TTC)	Coût énergétique prévisionnel annuel (€/TTC)	Total Coût global brut prévisionnel (€/TTC)	Coût global brut prévisionnel + 15% divers aléas (€TTC)	Gamme de maintenance	Durée de vie
Scénario 1				2 484 345,92 €	13 200,00 €	94 688,17 €	2 592 234,09 €	2 981 069,20 €	-	-
A1-Installation d'une CTA avec module froid (derniers niveaux)	4284	m3	110,00 €	471 240,00 €	5 000,00 €	-	-	-	2	15
A2-Protection solaire par des casquettes (en R+1 et R+2)	463	ml	300,00 €	138 780,00 €	500,00 €	-	-	-	4	30
A3-Protection solaire par des brises soleil orientables (BSO)	1079	m²	288,00 €	310 705,92 €	1 500,00 €	-	-	-	3	20
A4-Ventilation des circulations	2732	m3	20,94 €	57 200,00 €	2 000,00 €	-	-	-	3	20
A5-Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	3092	m²	160,00 €	494 720,00 €	2 000,00 €	-	-	-	4	30
A6-Isolation par l'extérieur des murs	3097	m²	300,00 €	929 100,00 €	1 200,00 €	-	-	-	4	30
A8-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	236	u	350,00 €	82 600,00 €	1 000,00 €	-	-	-	3	15
Scénario 2				1 977 660,00 €	9 200,00 €	97 285,89 €	2 084 145,89 €	2 396 767,77 €	-	-
A1-Installation d'une CTA avec module froid (derniers niveaux)	4284	m3	110,00 €	471 240,00 €	5 000,00 €	-	-	-	2	15
A5-Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	3092	m²	160,00 €	494 720,00 €	2 000,00 €	-	-	-	4	30
A6-Isolation par l'extérieur des murs	3097	m²	300,00 €	929 100,00 €	1 200,00 €	-	-	-	4	30
A8-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	236	u	350,00 €	82 600,00 €	1 000,00 €	-	-	-	3	15
Scénario 3				2 013 105,92 €	8 200,00 €	83 185,11 €	2 104 491,03 €	2 420 164,68 €	-	-
A2-Protection solaire par des casquettes (en R+1 et R+2)	462,6	ml	300,00 €	138 780,00 €	500,00 €	-	-	-	4	30
A3-Protection solaire par des brises soleil orientables (BSO)	1078,84	m²	288,00 €	310 705,92 €	1 500,00 €	-	-	-	3	20
A4-Ventilation des circulations	2732	m3	20,94 €	57 200,00 €	2 000,00 €	-	-	-	3	20
A5-Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	3092	m²	160,00 €	494 720,00 €	2 000,00 €	-	-	-	4	30
A6-Isolation par l'extérieur des murs	3097	m²	300,00 €	929 100,00 €	1 200,00 €	-	-	-	4	30
A8-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	236	u	350,00 €	82 600,00 €	1 000,00 €	-	-	-	3	15
Scénario 4				1 506 420,00 €	6 700,00 €	123 971,08 €	1 637 091,08 €	1 882 654,74 €	-	-
A5-Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	3092	m²	160,00 €	494 720,00 €	2 000,00 €	-	-	-	4	30
A6-Isolation par l'extérieur des murs	3097	m²	300,00 €	929 100,00 €	1 200,00 €	-	-	-	4	30
A7-Installation de climatiseurs individuels	39 m-e et 236 split	u	14 364,62 €	560 220,00 €	2 500,00 €	-	-	-	3	20
A8-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	236	u	350,00 €	82 600,00 €	1 000,00 €	-	-	-	3	15
Scénario 5				864 545,92 €	7 500,00 €	99 428,29 €	971 474,21 €	1 117 195,34 €	-	-
A1-Installation d'une CTA avec module froid (derniers niveaux)	4284	m3	110,00 €	471 240,00 €	5 000,00 €	-	-	-	2	15
A3-Protection solaire par des brises soleil orientables (BSO)	1078,84	m²	288,00 €	310 705,92 €	1 500,00 €	-	-	-	3	20
A8-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	236	u	350,00 €	82 600,00 €	1 000,00 €	-	-	-	3	15

Répartition détaillée des coûts par action et par scénario

7.6.1 Planification des travaux

Deux approches principales sont envisageables pour la conduite des travaux, chacune présentant des avantages et des inconvénients en termes de durée, de logistique et d'impact sur le site. Ces approches permettent d'adapter le phasage et la planification des interventions aux besoins spécifiques des utilisateurs et aux contraintes opérationnelles du projet.

Deux options possibles pour la conduite du projet :

Version 1 : Réalisation en une phase unique

- **Durée estimée :** 8 à 13 mois.
- **Avantages :**
 - Réduction globale de la durée du chantier.
 - Simplification de la logistique et de la coordination.
- **Inconvénients :**
 - Impact potentiel plus important sur le fonctionnement global du site durant toute la période des travaux.
 - Nécessité de reloger temporairement l'ensemble des utilisateurs pendant les interventions.

Version 2 : Réalisation en trois phases

- **Durée estimée :** 14 à 27 mois.
 - 1^{ère} tranche de travaux : bâtiments A et D
 - 2^{ème} tranche de travaux : bâtiment B et C
 - 3^{ème} tranche de travaux : végétalisation toiture bâtiment E
- **Avantages :**
 - Possibilité de maintenir une partie des activités sur le site.
 - Flexibilité dans la planification, permettant d'ajuster les interventions en fonction des disponibilités des espaces.
 - Retour d'expérience des premiers travaux,
- **Inconvénients :**
 - Allongement de la durée globale des travaux.
 - Coordination plus complexe entre les phases et risque de chevauchement des activités.
 - Pollution et nuisances accrues : allongement de la période de travaux engendrant davantage de nuisances sonores, de production de poussières et de pollution liée aux équipements de chantier, augmentant les perturbations pour les utilisateurs des ailes non traitées.
 - Risques de conflits entre les activités sur site et les opérations de chantier sur une période prolongée.

- 1ère tranche de travaux : bâtiments A et D « **4 à 6 mois** »
- 2ème tranche de travaux : bâtiment B et C « **5 à 8 mois** »
- 3ème tranche de travaux : Isolation des murs et végétalisation de la toiture du bâtiment E « **3 mois** »

La durée totale des travaux pour les bâtiments A, B, C, D et E est de « 8 à 13 mois »

IRBA – Place Général Valérie André 91200 Brétigny-sur-Orge

[illegible]

PLANNING PREVISIONNEL DE LA PHASE CONCEPTION - CONSULTATION – REALISATION « **sans phasage** »

15. Coût global

Le tableau du coût global de chaque scénario est présenté ci-dessous :

Solutions	Scénario 1		Scénario 2		Scénario 3		Scénario 4		Scénario 5	
	valeur année 0	valeur années 1 à N	valeur année 0	valeur années 1 à N	valeur année 0	valeur années 1 à N	valeur année 0	valeur années 1 à N	valeur année 0	valeur années 1 à N
Investissement initial (coût travaux) [TTC]	2 484 345,92 €	2 484 345,92 €	1 977 660,00 €	1 977 660,00 €	2 013 106 €	2 013 105,92 €	1 506 420,00 €	1 506 420,00 €	864 545,92 €	864 545,92 €
dépense d'énergie annuelle [TTC]	94 688 €	4 153 513,24 €	97 286 €	4 267 462,64 €	83 185 €	3 648 929,52 €	123 971 €	5 438 013,15 €	99 428 €	4 361 439,49 €
dépense d'entretien courant [TTC]	11 000,00 €	304 441,34 €	7 000,00 €	193 735,40 €	7 200,00 €	199 270,70 €	3 200,00 €	88 564,75 €	5 300,00 €	146 685,37 €
dépense gros entretien- remplacement [TTC]	2 200,00 €	143 488,27 €	2 200,00 €	143 488,27 €	1 000,00 €	110 276,49 €	3 500,00 €	179 467,70 €	2 200,00 €	60 888,27 €
Taux inflation énergie	7%		7%		7%		7%		7%	
Taux inflation entretien courant	3%		3%		3%		3%		3%	
Taux inflation gros entretien-remplacement	3%		3%		3%		3%		3%	
Période d'analyse	20		20		20		20		20	
Coût Global [TTC]		7 085 788,77 €		6 582 346,30 €		5 971 582,62 €		7 212 465,61 €		5 433 559,05 €

Tableau 10 : Comparaison des scénarios en coût global actualisé. (les années 1 à N correspondent à la durée de vie des équipements). A noter que ce tableau n'inclut pas le coût d'intégration de la GTB.

Nous remarquons de ce tableau que le principal poste de coût est lié à la consommation énergétique annuelle été/ hiver, quel que soit le scénario. Et celui-ci d'autant plus que le coût de l'énergie augmentera.

Ce qui implique que les solutions passives seront d'autant plus rentables dans une maîtrise de l'énergie pour maintenir un confort intérieur, puisque dans les décennies à venir, avec le changement climatique, il est plus que probable que la nécessité de climatiser davantage soit nécessaire.

Par ailleurs, nous constatons que ce sont bien les actions passives (notamment la mise en place de BSO sur l'ensemble des façades) qui permettent de diminuer l'inconfort et les dépenses énergétiques.

Bien que pour ce dernier (scénario 5 par exemple), il y ait une forme de « neutralisation » entre l'augmentation de la consommation énergétique l'hiver (du fait de moindre apport solaire) et le gain énergétique l'été par une moindre utilisation de la climatisation via la CTA.

Rappel Objectif pour les utilisateurs : température intérieure de confort <= 28°C et durée d'inconfort annuelle de 50 heures.

Scénario	Existant	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3 (passif)	Scénario 4	Scénario 5 (CTA+BSO+RT)
sur 4 échantillons						
Température max moy (°C)	42,2	27,6	32,8	31,8	29,6	27,7
Gain de température (°C)	/	14,5	9,4	10,3	12,6	14,5
Durée Inconfort moy (h/an)	677	14,5	225	89	9,75	17,5
Taux inconfort (%)	26,05	0,82	8,66	3,72	0,4	0,8
sur bâtiment						
Consommation Energie Été (kWh/an)	9 927,00	53 581,00	86 743,00	8 679,00	193 308,00	55 832,00
Consommation Energie Hiver (kWh/an)	413 049,00	357 131,00	305 047,00	354 587,00	305 449,00	473 594,00
Gain Energie Hiver (%)	/	13,5	26	14	26	6
Investissement (€ TTC)	/	2 484 345,92 €	1 977 660,00 €	2 013 105,92 €	1 506 420,00 €	864 545,92 €
Coût Global sur 20 ans (€ TTC/an)	/	7 085 788,77 €	6 582 346,30 €	5 971 582,62 €	7 212 465,61 €	5 433 559,05 €

Les scénarios 1, 3 et 5 sont donc globalement les plus pertinents/ performants été comme hiver.

L'implantation d'arbres entre les ailes permet d'abaisser en moyenne de 1°C l'ensemble des ailes mais ponctuellement jusqu'à 3°C pour certains bureaux (exemple : bureau A009).

A noter que ce tableau n'inclut pas le coût d'intégration de la GTB.

Lots de travaux					Efficacité			Nuisances	
Actions et scénarios	Espaces concernés	Coût travaux prévisionnel (€TTC)	Coût global brut prévisionnel (€/TTC)	Coût global brut prévisionnel + 15% divers aléas (€TTC)	Confort thermique	Impact consommation (été)	Impact consommation (hiver)	Principales nuisances	Evaluation des nuisances
Action 01-Installation d'une CTA avec module froid (derniers niveaux)	Refroidissement des bureaux situés dans les derniers étages des ailes A, B, C et D	471 240,00 €						Bruits, délocalisation des usagers, interruption des systèmes.	Forte
Action 02-Protection solaire par des casquettes (en R+1 et R+2)	Ailes A, B, C et D au dessus des fenêtres Sudbureaux des premiers et deuxième étages	138 780,00 €						Bruits, perturbations visuelles.	Moyenne
Action 03-Protection solaire par des brises soleil orientables (BSO)	Ailes A, B, C et D menuiseries orientées Sud-Ouest et Nord-Est Galeries de liaison R+1, menuiseries orientées Sud-Est	310 705,92 €						Bruits, perturbations visuelles, accès limité aux fenêtres.	Moyenne
Action 04-Ventilation des circulations	Circulations horizontales des Ailes A, B, C et D	57 200,00 €						Bruits, accès limité, poussières, perturbation des circulations.	Moyenne à forte
Action 05-Isolation et végétalisation des toitures-terrasses	Toitures terrasses des ailes A, B, C et D (isolation) Toitures terrasses de faille E (végétalisation)	494 720,00 €						Bruits, perturbation sous les toitures.	Moyenne
Action 06-Isolation par l'extérieur des murs	Murs extérieurs des ailes	929 100,00 €						Bruits, poussières, accès limité, perturbation des façades.	Forte
Action 07-Installation de climatiseurs individuels	Refroidissement des bureaux situés dans les ailes A, B, C et D	560 220,00 €						Bruits, délocalisation des usagers, interruption des systèmes.	Forte
Action 08-Régulation terminale (installation des robinets thermostatiques)	Radiateurs des bureaux dans les ailes A, B, C et D	82 600,00 €						Bruits, accès aux radiateurs, interruption temporaire.	Légère à moyenne
Scénario 1 : Action 1 +2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 8(option)		2 484 345,92 €	2 592 234,09 €	2 981 069,20 €					
Scénario 2 : Action 1 + 5 + 6 + 8(option)		1 977 660,00 €	2 084 145,89 €	2 396 767,77 €					
Scénario 3 : Action 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 8(option)		2 013 105,92 €	2 104 491,03 €	2 420 164,68 €					
Scénario 4 : Action 5 + 6 + 7 + 8(option)		1 506 420,00 €	1 637 091,08 €	1 882 654,74 €					
Scénario 5 : Action 1 + 3		864 545,92 €	971 474,21 €	1 117 195,34 €					

Tableau 11 : synthèse des actions et scénario

16. Conclusion

Les besoins énergétiques sont liés aux déperditions de l'enveloppe, et les solutions d'approvisionnement énergétiques doivent répondre aux besoins des occupants.

Les préconisations pour le confort estival deviennent d'autant plus primordiales avec le réchauffement climatique que l'on est en train de vivre (adaptation climatique). Les périodes de canicule seront plus longues et amplifiées. La combinaison des différentes solutions associée à une bonne gestion permettra alors de faire face à ce type de situation et d'amortir et de déphaser les températures.

D'après notre simulation, nous conseillons en premier lieu d'améliorer l'enveloppe thermique et la ventilation afin de réduire les déperditions et les apports.

De par la spécificité du bâtiment (ailes fortement exposées aux apports solaires), certaines solutions sont plus complexes à trouver et à mettre en œuvre, c'est pourquoi il est primordial que les choix réalisés soient adaptés au système constructif et ne détériore pas l'usage existant.

L'investissement pour l'isolation thermique extérieure par exemple à un coût non négligeable ; cela est surtout due à la grande surface à traiter et aux adaptations structurelles. Mais celle-ci apporte un grand bénéfice d'un point de vue thermique et de confort dans le temps.

Le deuxième point sur lequel le bâtiment a une énorme lacune est la ventilation (aucun système n'est présent). Celle-ci est primordiale, surtout dans un espace de travail et avec de grandes amplitudes de température.

Grâce à l'ensemble des préconisations passives (ventilation, amélioration de l'enveloppe thermique et protection solaires), les températures intérieures des scénarios 1, 4 et 5 permettent de descendre sous les 30°C même pendant les périodes de fortes chaleurs (amortissement important de l'amplitude de température d'environ 14.5°C).

Les scénarios 1 et 5 sont identiques en termes de performance de confort d'été avec des taux d'inconfort d'été réduits à moins de **1 % et une température de confort intérieur d'environ 27°C, ce qui est conforme aux prescriptions du code du travail.**

Mais ce qui les différencie est que le scénario 1 coûte presque 2.5 millions avec 13.5% de gains énergétiques en hiver, quand le scénario 5 coûte 864 546 euros avec un gain énergétique de 6% en hiver.

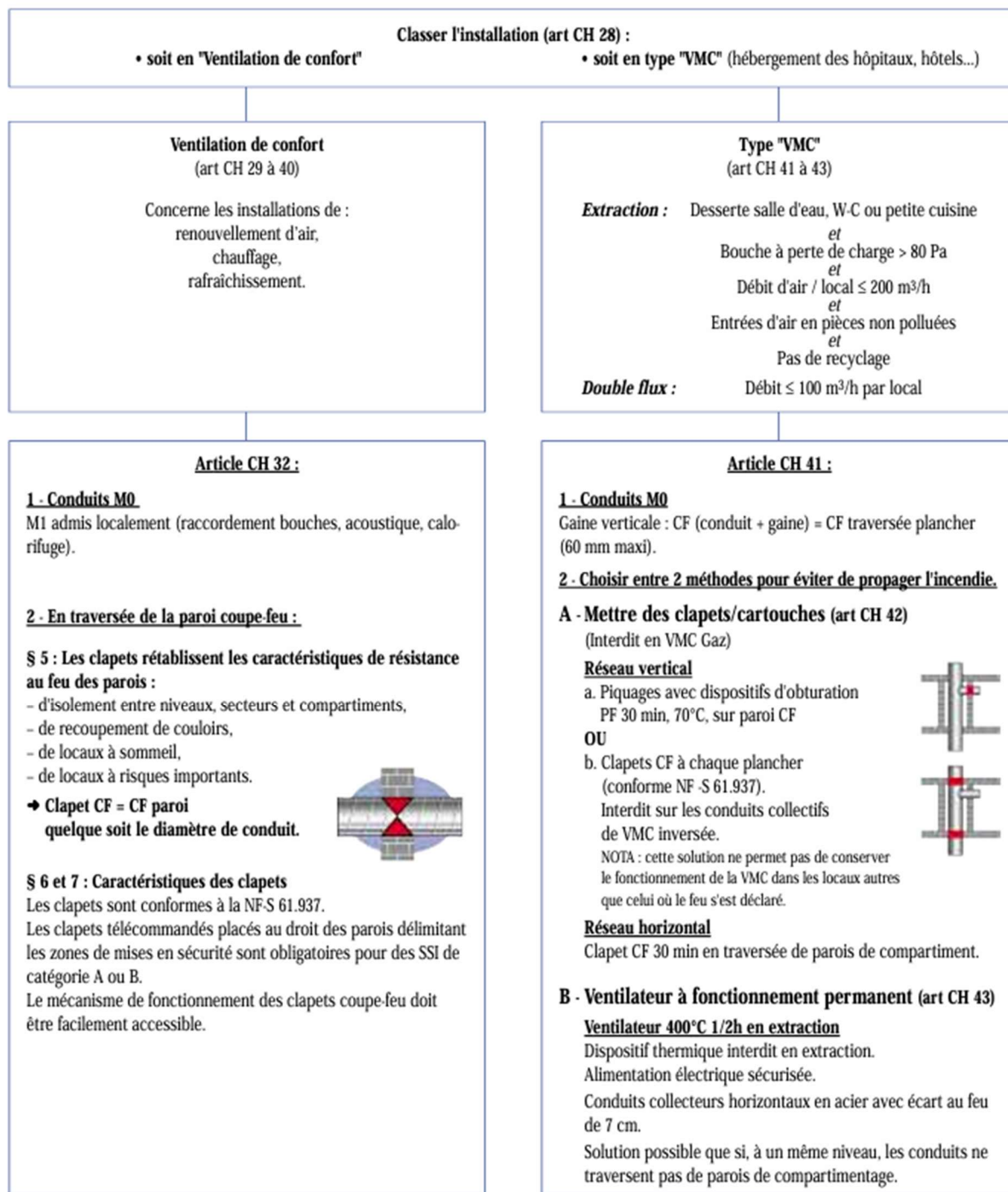
ANNEXES

ANNEXES 1 : Opérations à effectuer sur CTA

Équipement ↕	Description de l'opération à effectuer ↕	Périodicité recommandée ↕
Ventilateur	Vérification de l'intensité absorbée, de la pression différentielle, du débit d'air lorsque le ventilateur est en marche. Vérification de l'état de la transmission (pales, poulies, alignement, tension, absence de jeu sur les axes (moteur et ventilateur), de l'état d'usure de la courroie et de sa tension) lorsque le ventilateur est à l'arrêt Noter toute anomalie telle que bruit ou vibrations, usure de certaines pièces, ... Nettoyer les pales et dépeussier l'intérieur de la volute	Semestrielle
Batterie (chaud / froid)	Relever les pertes de charge des batteries Noter les températures d'entrée et de sortie de l'eau en amont et en aval des batteries Contrôler les raccordements des batteries et vérifier l'absence de fuites Inspecter le bac de récupération des condensats. Si présence de condensats vidange et désinfection du bac, inspection des siphons Nettoyer les éléments de l'échangeur thermique	Mensuelle
Humidificateur	Vérifier l'alimentation en eau, l'absence d'eau hors du caisson Nettoyer les buses de pulvérisation ou les injecteurs Nettoyer le bac de récupération Désinfecter l'ensemble de l'appareil	Trimestrielle
Filtres à air	Relevé la perte de charges des filtres. Vérifier visuellement le bon état des filtres Remplacement des filtres dont le remplacement systématique est prévu ou qui ont dépassés la valeur maximale de leur perte de charge (signe d'un colmatage) Après un changement de filtre HEPA, tester l'intégrité du filtre et l'étanchéité de son montage, relevé la perte de charge du filtre neuf.	Trimestrielle
Caissons	Dépeussier l'intérieur du caisson	Annuelle
Réseau aéraulique	Relever les pressions différentielles entre les différents locaux Vérifier visuellement l'état extérieur des conduites et de leur calorifugeage Vérifier l'absence de fuites au niveau des raccordements Vérifier l'état général et la propreté des bouches de soufflage et des grilles reprise Vérifier le bon fonctionnement des registres, des clapets, des volets des bouches de soufflage et des grilles reprise Nettoyer le réseau aéraulique	Annuelle
Registre	Vérification des pistons, Resserrage, graissage des rotules si nécessaire Vérification des fins de cours	Annuelle
Capteurs	Vérification métrologique des capteurs de température, d'hygrométrie, des capteurs de pression (manomètres à liquide, pressostats, ...)	Annuelle

PRESCRIPTIONS CONCERNANT LES SYSTÈMES AÉRAULIQUES

ARRÊTÉ DU 14.02.2000



L'équipe **Greenation**
vous remercie pour votre confiance

Pour toute information complémentaire, nous sommes à votre disposition

contact@greenation.fr