

Bâtiment Couches Minces Site Saint-Jérôme

Audit énergétique en vue d'une programmation architecturale

		Date	10/06/2026
Chef de projet	Julien LACOMBE	Référence rapport	OP23-071
		N° version	2
Chargé d'études	-	Phase	Audit
Diffusion	Aix Marseille Université – AREP – Synapse		



Membre fondateur de



Qualification



Certification



Membre des réseaux



Siège social : 140-142 rue du Chevaleret - 75013 Paris
– Tél : 01 43 15 00 06 - mail@tribu-energie.fr

Agence de Rennes : 20 rue d'Isly - 35000 Rennes
– Tél : 02 85 52 16 72 – agence.bretagne@tribu-energie.fr

Agence de Lyon : 60 rue Jaboulay 69007 Lyon
– Tél : 09 78 81 40 99 – agence.rhone-alpes@tribu-energie.fr

sas au capital de 100 000 € ape 7112B rcs paris b 440 306 173

Suivi des indices

Nom du document	Date du document	Indice	Modifications apportées
TE-260417-JL-OP23-071-Couches Minces	17/04/2026	-	/
TE-260525-JL-OP23-071-Couches Minces	25/05/2026	1	Mise à jour à la suite de retours de chiffrage de Synapse
TE-260610-JL-OP23-071-Couches Minces	10/06/2026	2	Mise à jour des bouquets de travaux

Table des matières

SUIVI DES INDICES.....	1
------------------------	---

PARTIE A PRELIMINAIRES	4
-------------------------------------	----------

1. PRESENTATION DE L'ETUDE	4
2. DEROULEMENT DE LA MISSION DE L'AUDIT ENERGETIQUE	5
2.1 Eléments mis à disposition pour l'audit	5
2.2 Contenu de la mission.....	5
2.3 Visite et mesures réalisées.....	5
2.4 Travaux effectués	5
3. CONTEXTE REGLEMENTAIRE.....	6
3.1 Réglementation élément par élément dans les bâtiments existants.....	6
3.2 Réglementation globale dans les bâtiments existants	6
3.3 Réglementation applicable au projet	6
3.4 Dispositif Eco-énergie tertiaire	7

PARTIE B DESCRIPTION GENERALE DU SITE	8
--	----------

1. CARACTERISTIQUES DU SITE.....	8
2. DONNEES CLIMATIQUES.....	9
3. POTENTIEL PHOTOVOLTAÏQUE	10
4. ANALYSE DU CONFORT – RESSENTI USAGERS	10
5. DIAGNOSTICS AMIANTE, QAI ET ACCESSIBILITE	10

PARTIE C SYNTHESE	11
--------------------------------	-----------

1. ETAT DES LIEUX.....	11
2. BOUQUETS DE TRAVAUX ET EVOLUTION DES INDICATEURS	12
3. POSITIONNEMENT DEET	13

PARTIE D DESCRIPTION DETAILLEE DE L'ETAT INITIAL ET DES ACTIONS PROPOSEES : 14	
---	--

1. ENVELOPPE DU BATIMENT.....	14
1.1 Toitures.....	14
1.2 Murs	17
1.3 Fenêtres, portes et protections solaires.....	19
1.4 Plancher bas	27
1.5 Etanchéité à l'air.....	28
1.6 Ponts thermiques.....	28
1.7 Inertie thermique	28
2. SYSTEMES DE VENTILATION	29

3. EQUIPEMENTS	31
3.1 Chauffage.....	31
3.2 ECS	41
3.3 Eclairage	42
3.4 Autres équipements électriques.....	44

PARTIE E ANALYSE DES CONSOMMATIONS	46
---	-----------

1. CONSOMMATIONS ENERGETIQUES TOTALES ET CHOIX DE L'ANNEE DE REFERENCE	46
2. CONSOMMATIONS DE CHAUFFAGE SUR LE RESEAU.....	47
3. CONSOMMATIONS ELECTRIQUES.....	48
4. DISPOSITIF ECO ENERGIE TERTIAIRE	48
5. ANALYSE DES CONSOMMATIONS D'EAU.....	48

PARTIE F SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE A L'ETAT INITIAL	49
---	-----------

1. PRESENTATION DE LA MODELISATION	49
2. DEPERDITIONS	50
3. CONSOMMATIONS.....	50

PARTIE G BILAN DES ACTIONS PROPOSEES	51
---	-----------

1. PRESENTATION DES ACTIONS DE RENOVATION ET BOUQUETS DE TRAVAUX.....	51
2. CHIFFRAGE DES TRAVAUX	52
3. RESULTATS PAR VARIANTES DE TRAVAUX	54
3.1 Approche Energétique.....	54
3.2 Analyse financière	55
3.3 Analyse Carbone	56
4. RESULTATS PAR BOUQUETS DE TRAVAUX	57
4.1 Approche énergétique.....	57
4.2 Analyse financière	58
4.3 Analyse Carbone	59
4.4 Confort d'été	60

PARTIE H ANNEXES.....	61
------------------------------	-----------

ANNEXE 1 : LOCAUX VISITES	61
--	-----------

ANNEXE 2 : DETAILS DE LA STD	63
---	-----------

ANNEXE 3 : CONSOMMATIONS DE LA STD.....	67
--	-----------

ANNEXE 4 : GLOSSAIRE	69
-----------------------------------	-----------

1. GENERALITES	69
2. PAROIS OPAQUES, PAROIS VITREES ET ISOLATION	69
3. SYSTEMES ENERGETIQUES	71

4.	ABREVIATIONS, COEFFICIENTS ET PARAMETRES.....	75
----	---	----

Partie A Préliminaires

1. Présentation de l'étude

Aix-Marseille Université (AMU) est propriétaire du bâtiment **Couches Mince** situé sur le **Campus de Saint-Jérôme**. Cet ensemble, situé au 52 Avenue Escadrille Normandie Niemen à Marseille 13^{ème}, fait l'objet, en option, d'un marché de conception-réalisation dans le cadre d'une rénovation énergétique.

AMU a ainsi formulé le besoin de réalisation d'un « **diagnostic énergétique détaillé** » sur ce bâtiment dans le but de permettre, à partir d'une analyse des données du bâtiment, de dresser une proposition chiffrée et argumentée de programmes d'économie d'énergie afin notamment de respecter les obligations du Dispositif Eco-énergie tertiaire. L'objectif est d'amener le maître d'ouvrage à décider des investissements appropriés afin de réaliser des économies d'énergie de 40% en 2030, 50% en 2040 et 60% en 2050 ou d'atteindre les seuils du DEET en valeur absolue. **Cet audit doit pouvoir servir de base à l'établissement d'un programme de travaux dans le cadre de la rénovation de cet établissement.**

Tribu Energie a été mandaté afin de réaliser cet audit énergétique, se déroulant en quatre phases :

Phase 1 – Examen du bâtiment

Phase 2 – Bilan Energétique et préconisations

Phase 3 – Programmes d'amélioration

Phase 4 – Analyse financière

Une visite sur site de ce bâtiment a été effectuée le **10/04/2026**.

Ce rapport a pour but de mettre en évidence les points forts et faibles du bâtiment en termes de **confort** et de **consommations d'énergies**. Il passe par une analyse fine des données techniques et comportementales du site, permettant de fournir des réponses aux problèmes soulevés, chacune s'étayant d'une proposition de travaux qui seront évaluées en investissement et en gains d'énergie.

Ce rapport comporte un glossaire, en annexe.

Le travail effectué dans le cadre de cette mission est une étude comparative, **ce n'est pas une étude de conception**. Cette étude a pour objectif d'aider les décisionnaires dans leur choix, mais n'entre pas dans le cadre d'une mission d'ingénierie, d'une mission de définition ou de dimensionnement.

Les solutions proposées ci-après ne sont pas exhaustives et doivent être considérées comme une aide à la décision. Aucun document ou dire dans le cadre de cette mission ne peut servir de base à la réalisation de travaux quelconques. Le concepteur et l'entreprise réalisatrice de l'ouvrage sont seuls décisionnaires et responsables des actions à entreprendre.

Clause spécifique, concernant les calculs thermiques, de notre assureur MAF :

L'opération est réalisée dans le cadre de la réglementation RT_{ex} ; la maîtrise d'œuvre s'emploiera, dans le cadre de son obligation de moyen, à mettre en œuvre les solutions architecturales et techniques pour obtenir les performances thermiques visées ci-après.

Les résultats de consommations théoriques, obtenus à partir des logiciels de calculs, ne peuvent en aucun cas engager la maîtrise d'œuvre sur des consommations réelles dans la mesure où dans ces consommations réelles sont incorporées des consommations qui ne sont pas comptabilisées dans les réglementations et les modèles de calcul. En outre, le comportement des occupants et les conditions climatiques peuvent s'écarter notablement de la moyenne.

Les éventuelles contraintes particulières formulées par le maître d'ouvrage ne pourront en aucun cas introduire un lien entre les performances théoriques et les consommations réelles.

2. Déroulement de la mission de l'audit énergétique

2.1 Eléments mis à disposition pour l'audit

Document	OUI	NON	Commentaires
Factures d'énergie (électricité)		X	
Factures d'énergie (combustible)		X	
Factures d'eau		X	
Consommations annuelles (électricité)		X	Consommations réelles sur quelques mois de 2026
Consommations annuelles (combustible)		X	Consommations réelles 2023 à 2025 (RCU)
Consommations annuelles (eau)		X	
Contrat de maintenance de la chaufferie		X	L'exploitation et la maintenance thermique est réalisée par Dalkia avec un contrat comprenant la fourniture d'énergie (P1)
Contrat de maintenance des systèmes de ventilation		X	
Plan de masse (formats DWG ou PDF)	X		PDF
Plans de niveaux	X		
Elévations de façades	X		
Coupes	X		
Historique des travaux réalisés	X		
Diagnostic amiante	X		Commentaires en partie B
Diagnostic QAI	X		Commentaires en partie B
Diagnostic accessibilité	X		Commentaires en partie B

2.2 Contenu de la mission

La mission a consisté en :

- La récolte des données techniques
- L'exploitation et le traitement des données
- La modélisation du bâtiment et la simulation de son comportement avec le logiciel Pléiades + Comfie
- La proposition d'actions et de travaux pour le respect des seuils du Décret Tertiaire (selon connaissance réglementaire à date de réalisation de l'étude)

2.3 Visite et mesures réalisées

La visite s'est déroulée avec Edouard Champion et Clément Breton d'AMU.

Les locaux visités sont présentés en [Annexe 1](#).

Les mesures réalisées pendant la visite sont présentées ci-dessous :

Type de mesure	OUI	NON	Commentaires
Température intérieure des locaux chauffés	X		Entre 21 °C et 25 °C le jour de la visite.
Température intérieure des locaux non chauffés		X	-
Température extérieure	X		28°C le jour de la visite
Humidité intérieure (hygrométrie)		X	Il n'a pas été constaté de dégradations pouvant être dues à des problèmes d'humidité.
Thermographie infrarouge		X	
Débits d'air		X	
Intensité lumineuse		X	

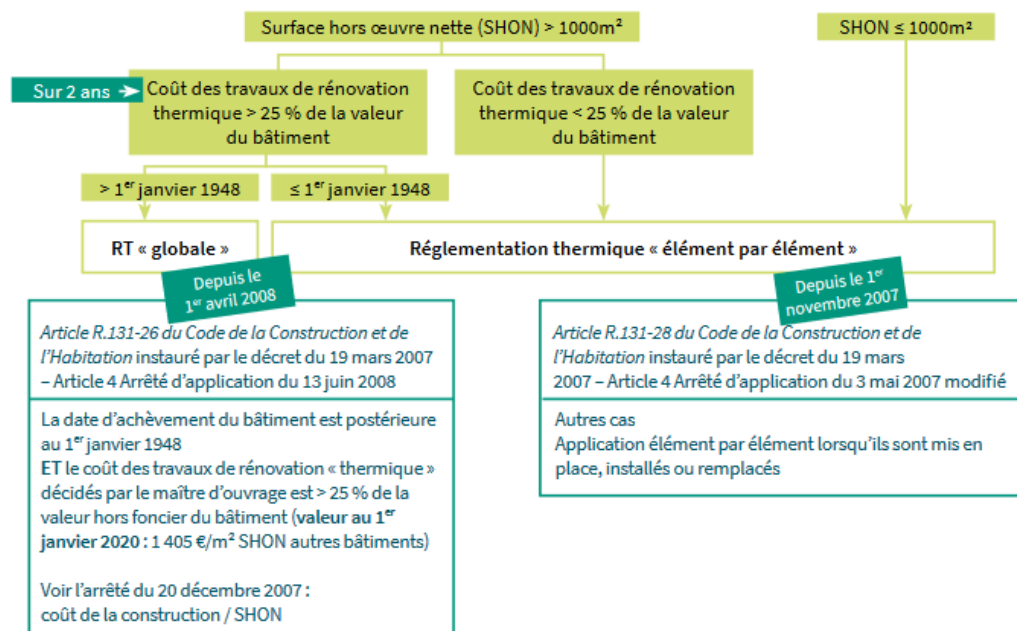
2.4 Travaux effectués

Quelques travaux sont intervenus ces dernières années, mais aucune rénovation d'ampleur :

- Rénovation de la chaufferie principale gaz en 2022

N.B. : Les locaux actuels de la Dirnum correspondent à l'emplacement d'un ancien Data Center.

3. Contexte réglementaire



3.1 Réglementation élément par élément dans les bâtiments existants

Depuis le 1er novembre 2007, dès que des travaux sont réalisés pour le remplacement ou la mise en œuvre d'isolation ou de systèmes (chauffage, eau chaude sanitaire, ventilation, rafraîchissement, éclairage), ils doivent respecter des performances minimales.

Par exemple, si les murs doivent être isolés → $R \geq 3,2 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (12 cm de laine de bois, par exemple).

Attention, ces performances minimales ne représentent pas l'optimum des prestations pour des réhabilitations performantes, ce ne sont que des minima réglementaires à respecter.

3.2 Réglementation globale dans les bâtiments existants

Ce bâtiment a été construit après 1948. La réglementation s'applique aux bâtiments de plus de 1000 m² construits après 1948, lors de travaux de réhabilitation importants (coût des travaux thermiques > 25% de la valeur du bâtiment, fixée à 1709€ HT/m² SHON pour les bâtiments à usage autre que d'habitation) dont le permis de construire ou de travaux est déposé après le 1^{er} avril 2008.

3.3 Réglementation applicable au projet

La réglementation applicable va dépendre du montant des travaux alloués à la partie purement thermique. Si ceux-ci dépassent 427 €HT/m², alors la RT globale sera la réglementation à appliquer. En deçà de ce seuil, c'est la RT élément par élément qui sera applicable.

3.4 Dispositif Eco-énergie tertiaire

A ces réglementations s'est récemment ajouté le Dispositif Eco-énergie tertiaire (entré en vigueur le 1^{er} octobre 2019) qui impose à tout bâtiment tertiaire de plus de 1 000 m² des objectifs de réduction de la consommation d'énergie finale. Ces objectifs sont exprimés en valeur relative par rapport aux consommations de l'année de référence (par exemple 2010) :



L'arrêté d'application du 24 novembre 2020 (paru au journal officiel le 17 janvier 2021) fixe les valeurs absolues à atteindre pour l'année 2030. Les outils de modulation des valeurs absolues de 2030 n'étant pas encore opérationnels, les valeurs des années 2040 et 2050 n'étant pas connues à ce stade et le patrimoine audité présentant des consommations sur l'année de référence relativement importantes, les valeurs exprimées en gain relatif sont celles utilisées dans ce rapport.

Les actions destinées à atteindre ces objectifs portent notamment sur :

- La performance énergétique des bâtiments ;
- L'installation d'équipements performants et de dispositifs de contrôle et de gestion active de ces équipements ;
- Les modalités d'exploitation des équipements ;
- L'adaptation des locaux à un usage économe en énergie et le comportement des occupants.

De plus, une plateforme informatique gérée par l'ADEME permet le recueil et le suivi de la réduction de la consommation d'énergie finale des bâtiments tertiaires.

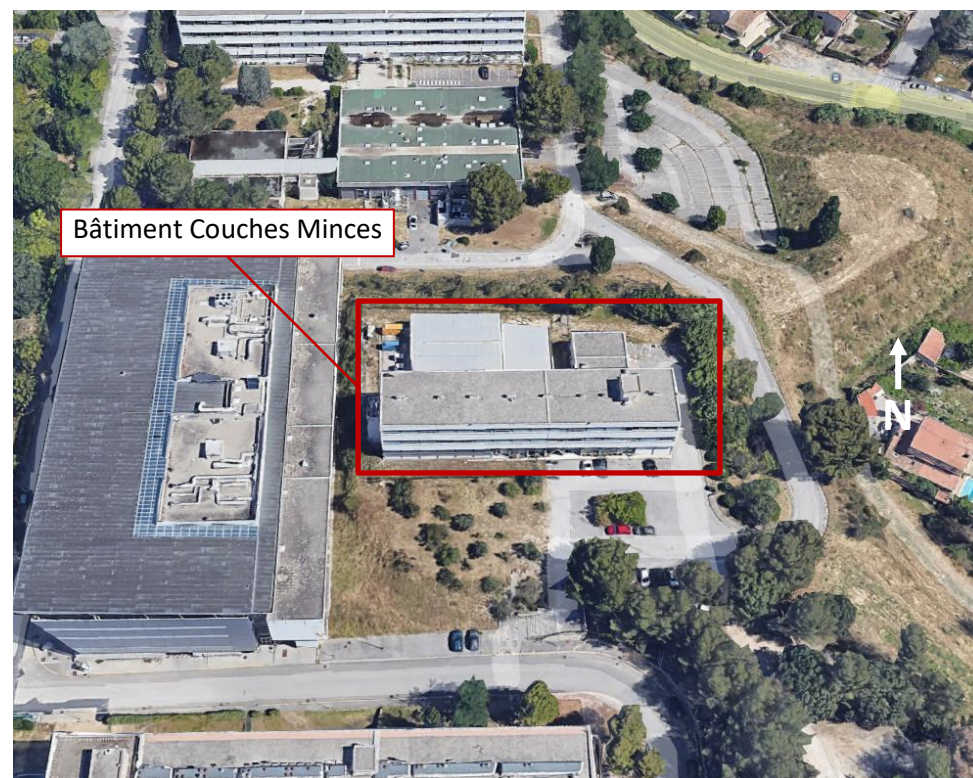
Ce bâtiment rentre dans le périmètre du dispositif éco-énergie tertiaire. L'analyse des factures sur 10 ans, et l'établissement de préconisations afférentes au DEET, sont appliqués à cet audit.

Partie B Description générale du site

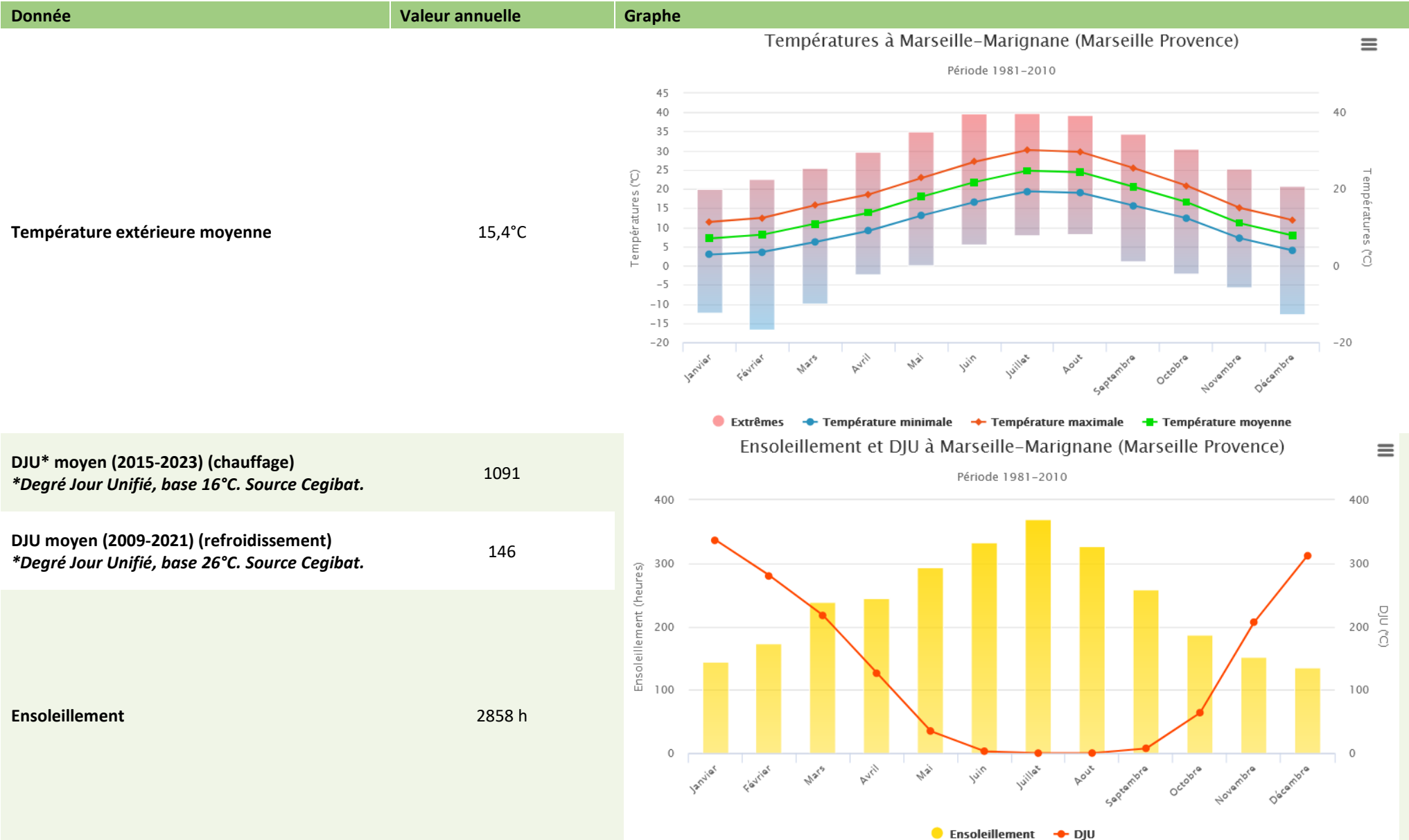
1. Caractéristiques du site

Nom	Bibliothèque Universitaire
Adresse	52 Avenue Escadrille Normandie Niemen Marseille 13 ^{ème}
Altitude moyenne	114 m
DJU base 16°C	1105
Nombre d'étages	3 niveaux
Surfaces utiles par bâtiment	1 934 m² SU
Orientations principales	Façades Nord / Sud
Mitoyennetés	Aucune (Hormis Data Center et Stockages non étudiés)
Masques	Bâtiment de 21 mètres de hauteur à l'Ouest ; nombreux arbres (jusqu'à 11 m, au Sud ; 6 mètres à l'Est) Jauges maximales de 114 personnes (Commission sécurité Incendie)
Occupation	Occupation journalière 8h -19h Fermeture annuelle en août et à Noël
Type de chauffage	Gaz naturel en chaufferie principale (1 sous-station pour ce bâtiment)
Objectif de performance énergétique	Rénovation performante avec obligation réglementaire DEET

N.B. : Les deux prolongements au rez-de-chaussée du bâtiment, Data Center et locaux de stockage (en rez-de-chaussée, Nord-Est), ne font pas partie du périmètre de l'étude.



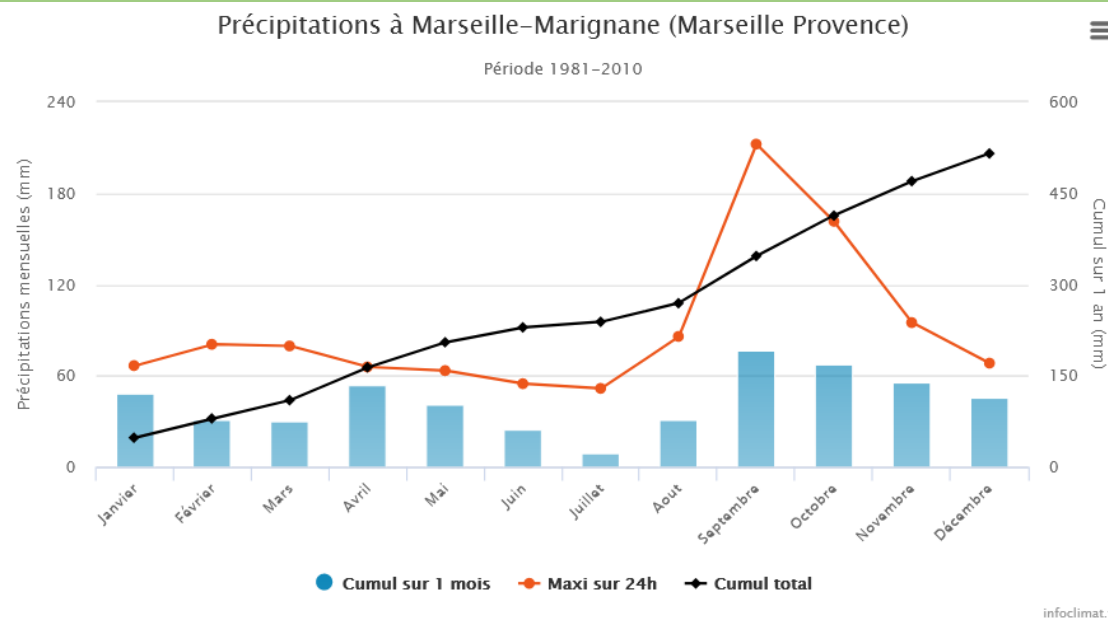
2. Données climatiques



Donnée	Valeur annuelle	Graphe
--------	-----------------	--------

Précipitations cumulées

515 mm



3. Potentiel Photovoltaïque

L'établissement est pré-identifié comme **idéal** en vue de la solarisation (mise en place de panneaux solaires photovoltaïques) pour la maîtrise d'ouvrage : les ombres portées par les bâtiments voisins en toiture sont faibles, il n'existe pas d'équipement technique en toiture et seulement un édicule de petite taille.

4. Analyse du confort – Ressenti usagers

Les usagers rencontrés lors de la visite, occupant les lieux depuis plusieurs années ont fait état de trois points marquants concernant le confort thermique :

- Au rez-de-chaussée, le bureau situé à l'angle Sud-Ouest (très vitré et moins bien desservi par l'équipement de climatisation) est très inconfortable du point de vue du confort estival
- Le premier et le deuxième étage, sont soumis à des très grandes différences de températures entre les façades Nord et Sud. Des différences flagrantes ont, en effet, été notées lors de notre visite
- Les bureaux du R+2 seraient très mal chauffés en hiver, par le réseau central de chauffage d'eau chaude

5. Diagnostics Amiante, QAI et Accessibilité

S'agissant de l'amiante, les rapports DTA font état de présence d'amiante dans les **panneaux de cloisons lisses préfabriquées en fibre ciment du rez-de-chaussée (Salle Informatique et bureaux) et dans les dalles de revêtement de sol**. De l'amiante dans les mastics de menuiseries extérieures aurait également été repéré, suivant un rapport amiante non transmis dans le cadre de cette mission.

Concernant la qualité d'air intérieur, aucun élément chiffrés ne nous a été transmis.

L'indice d'accessibilité du bâtiment est de 55% ; 10 obstacles « moteurs » ont été dénombrés.

Partie C Synthèse

1. Etat des lieux

DONNÉES ADMINISTRATIVES ET D'ACTIVITÉS

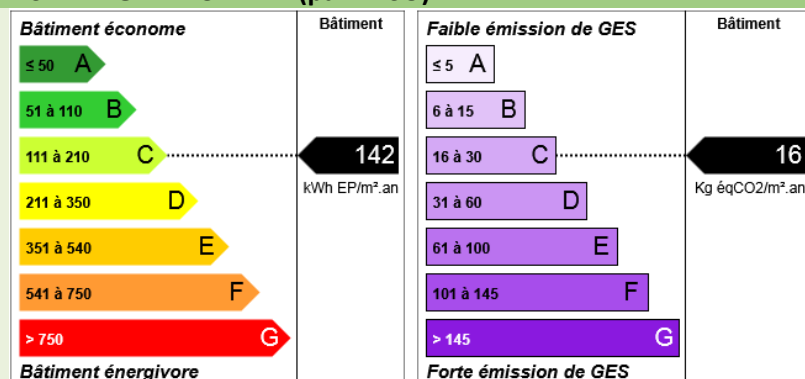
Nom	Bâtiment Couches Minces
Activité	Laboratoires, Bureaux
Adresse	52 Avenue Escadrille Normandie Niemen Marseille 13ème
Année de construction	1965
SU (Surface Utile chauffée)	1934 m²SU
Objectif de performance énergétique	Rénovation performante avec obligation réglementaire DEET
Type de chauffage	Gaz naturel en chaufferie principale (1 sous-station pour ce bâtiment)

BILAN DES CONSOMMATIONS ANNUELLES : MÉTHODE FACTURES

	Chauffage (kWh EF ou kWh PCI/an)	Electricité (kWh EF)
Année 2023 (comptage)	111 800	-
Année 2024 (comptage)	114 247	-
Année 2025 (comptage)	110 634	70 324*

Moyenne des consommations [kWh EF/m²SU.an] (comptage)	58.0	36.4
Comptage chauffage (hiver 2023/2024)		

ÉTIQUETTES ÉNERGIE ET CLIMAT (par m²SU)



OCCUPATION DE L'ÉTABLISSEMENT

Occupation hebdomadaire	Occupation en journée (8h-19h) du lundi au vendredi
Occupation annuelle	Fermeture annuelle en août Deux semaines de fermeture à Noël

BILAN CONFORT

Confort d'été	En dehors du bureau du RdC dans l'angle Sud-Ouest, la climatisation permet d'atteindre un niveau correct dans les locaux de la Dirnum. Le confort estival est passable dans les autres locaux.
Confort hygrothermique (Hiver)	Le confort hygrothermique est mauvais sur ce bâtiment avec un effet « paroi froide » important lié à des murs non isolés et à des menuiseries en simple vitrage.
Qualité d'air intérieur	La qualité d'air est mauvaise sur ce bâtiment, du fait de l'absence de ventilation.

DESCRIPTION SOMMAIRE DES PAROIS ET SYSTEMES

Murs extérieurs	Eléments en Béton préfabriqués, non isolés
Toiture	Toitures terrasses gravillonnées, très faiblement isolées
Menuiseries	Cas courant : menuiseries simple vitrage aluminium (films solaires au RdC) Vitrages Fixes en orientation Sud RdC / Fenêtres coulissantes, ailleurs Locaux orientés Nord de la Dirnum : Doubles Vitrages PVC
Protections solaires	Volets roulants mécaniques datant de la construction
Plancher bas	Dalle non isolées Présence partielle de faux-plancher
Ventilation	Ouverture des fenêtres
Type de chauffage	Radiateurs Eau Chaude Radiateurs Electriques
Climatisation	Ventilo-Convecteurs plafonniers et soufflage via faux-plancher sur la partie Ouest du rez-de-chaussée
Type d'ECS	Ballons électriques décentralisés
Eclairage	Partition équilibrée en surface entre des pavés LED et des tubes fluorescents T8

*basés sur les relevés décembre 2025, mais aussi janv./fév. 2026

3. Positionnement DEET

Le graphique ci-dessous présente les résultats en termes de consommations vis-à-vis du décret tertiaire (en kWh DEET (énergie finale) ; en prenant en compte la correction climatique).

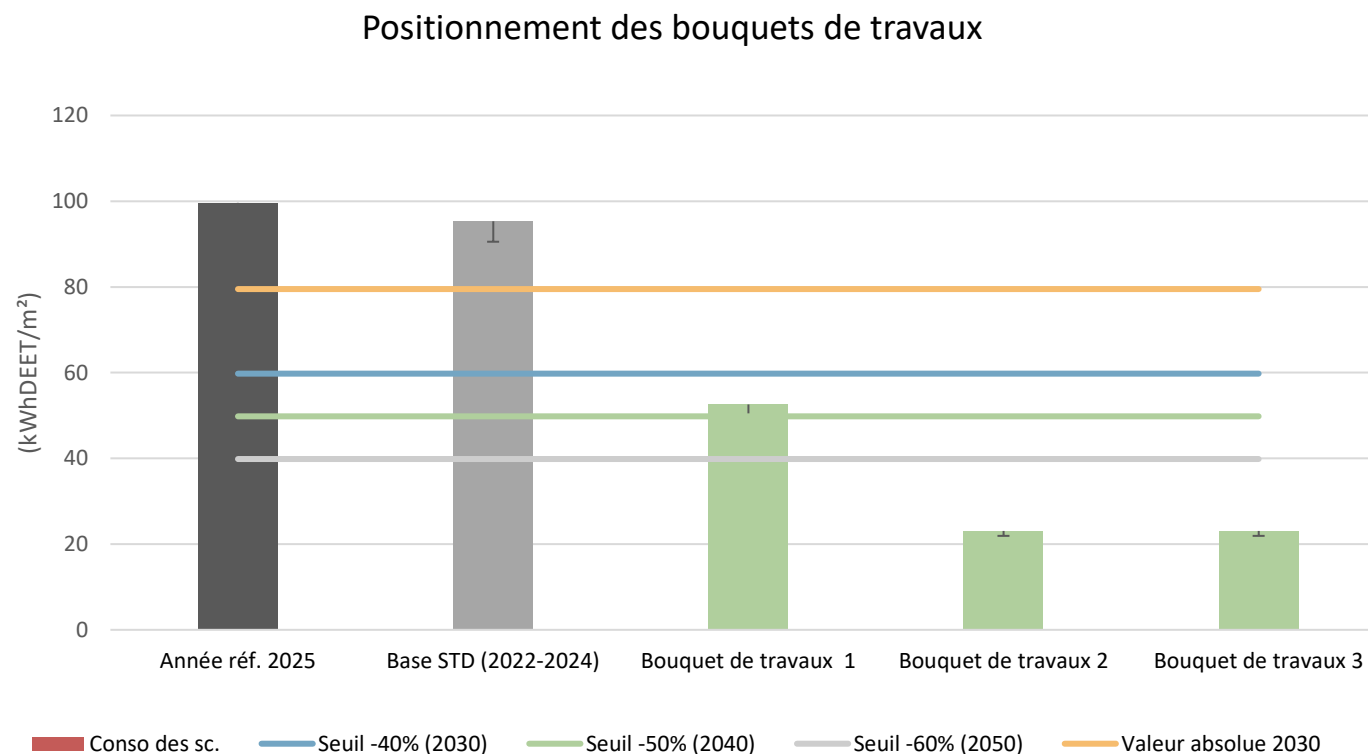


Figure 1 : Positionnement des bouquets de travaux vis-à-vis du décret tertiaire

Comme détaillé dans la section d'analyse des consommations, les données transmises ne permettent pas un positionnement rigoureux vis-à-vis des consommations actuelles (analyses habituelles sur 3 ans, et ici uniquement des données sur 3 mois et pas de données de comptage hors consommations du Data Center), néanmoins, le graphique ci-dessus, permet de dégager quelques ordres de grandeurs :

Il est établi que les bouquets des interventions prévisionnelles proposées dans le cadre des bouquets de travaux 2 et 3 sont très largement compatibles avec le **seuil de 2050** de réduction de consommation (seuil en valeur relative : -60% ; le seuil en valeur absolue de 2030 est lui aussi très largement atteint et les valeurs de 2040 et 2050 ne sont pas encore parues). En comparaison pure de simulation énergétique avant travaux / après travaux, la réduction de consommation s'établit autour de 75%, notamment du fait de l'autoconsommation électrique liée aux panneaux solaires photovoltaïque. Néanmoins, il sera impossible de couvrir l'intégralité des consommations à l'échelle du bâtiment.

Partie D Description détaillée de l'état initial et des actions proposées :

1. Enveloppe du bâtiment

1.1 Toitures

ETAT ACTUEL

Repérage

Une seule typologie de toiture existe sur le périmètre de ce bâtiment concerné par l'audit :

- Une toiture terrasse gravillonnée non accessible au public, située sur le deuxième étage :



Figure 2 : Plan de repérage des toitures

RECOMMANDATIONS

Potentielle implantation de panneaux photovoltaïques

La mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques paraît très pertinente sur cette toiture terrasse gravillonnée, du fait de l'absence de masque proches et du peu d'édicule de toiture (un seul).

Les panneaux à prévoir sont des panneaux horizontaux ou semi-horizontaux (inclinaison de 10°, système Soprasolar ou équivalent), dont **la compatibilité structurelle avec la toiture à mettre en œuvre sera à vérifier**. Cette inclinaison minimale de 10° est intéressante pour limiter l'encrassement sur les panneaux.

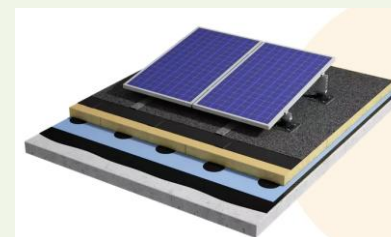


Figure 5 : Types de fixations prises en compte

Malheureusement, en l'absence de sous-comptage, il n'est pas possible à ce stade de déterminer de taux d'autoconsommation mais la réinjection d'électricité doit se concevoir sur le site de Saint-Jérôme à l'échelle du Campus afin de maximiser l'autoconsommation et d'avoisiner un taux d'autoconsommation de 100%.

N.B. : à compter du **premier janvier 2028, ce bâtiment sera soumis à obligation de solarisation**, la surface minimale de toiture à couvrir et les critères d'exonération doivent être définis par décret (travail ministériel en cours). Par ailleurs, une étude de structure sera à réaliser pour vérifier la possibilité d'implantation sur la toiture.

En première approche, une couverture maximale est retenue sur ce bâtiment et nous prévoyons une surface de panneaux de 450 m² sur cette toiture d'une surface totale de 750 m².

Toitures Terrasses gravillonnées inaccessibles

Aucune information ne nous a été communiquée concernant la mise en place d'isolant lors des réfections de toitures passées. La toiture conventionnelle (étanchéité située sur l'isolant) n'a pas permis de faire le relevé de l'épaisseur d'un éventuel isolant. Au vu de l'année de construction, dans les années 1960, et au vu des hauteurs d'acrotères qui restent importantes (de l'ordre de 15 / 20 cm), il est très peu probable qu'un isolant plus épais qu'à l'époque de la construction n'ait été mis en œuvre. L'isolant datant de la construction a même possiblement été conservé. Une épaisseur de 5 cm paraît être à considérer au vu de la date de construction.



Figure 3 : toitures terrasses inaccessibles

Les faux plafonds de laboratoires du R+2 (Service d'Optique Physiologique) ne sont pas des dalles de faux plafond 600 * 600 mais des faux plafonds en plaque de plâtre. Même si c'est peu probable, il n'a pas été possible de certifier l'absence d'isolant déroulé (laine de verre), à cet emplacement.

Toitures Terrasses gravillonnées inaccessibles

Nous conseillons d'effectuer une reprise de l'isolant et de mettre en œuvre un isolant permettant d'atteindre une résistance thermique $R > 7.5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ (à partir de 15 cm d'isolant polyuréthane). **L'épaisseur conseillée, et prise en compte dans l'étude, est de 16 cm.**

Le DTU 43.1 impose de laisser une hauteur de 15 cm entre l'étanchéité en partie courante et le haut du relevé d'étanchéité, **une réhausse d'acrotère devrait donc être à prévoir.**

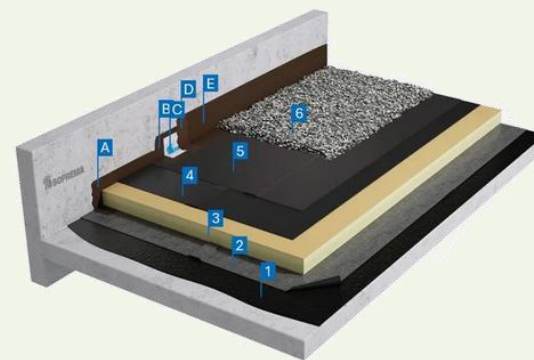


Figure 6 : Isolation toiture terrasse (ici, sans végétalisation)

Les DTU 43.1 à 43.5 concernant les travaux de toiture terrasse seront à respecter.

Des réhausse d'acrotères seront ainsi à prévoir après la mise en œuvre d'isolant.

La mise en place d'une toiture végétalisée pourrait être bénéfique mais représente quelques complexités, elle n'est pas proposée sur cette toiture : le gain serait principalement l'été, grâce à l'inertie supplémentaire et à l'évapotranspiration des végétaux. Pour une paroi avec un bon niveau d'isolation, le gain en hiver (sur les déperditions) est en revanche très limité.

N.B. : dans l'étude technico-économique concernant cette préconisation, les éventuels coûts de travaux hors isolation-étanchéité n'ont pas été pris en compte. L'étude structurelle devra confirmer que la toiture a la capacité de supporter une épaisseur de substrat de terre et déterminera quelle est l'épaisseur à envisager.

Composition de la paroi : Dalle de faux-plafond plaque de plâtre (1 cm) + Plénum (20 cm) + Dalle Béton (10 cm) + Isolant Th40 (5 cm) + Etanchéité (1 cm) + couverture gravillonnée (5 cm)

Etat : Correct

Coefficient U : 0.54 W/m².K (méthode Th-U)



Figure 4 : Performance thermique de la toiture

Mauvais: Pas d'isolation

Moyen: présence d'isolant dégradé et/ou $R < 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$

Bon: isolant en place, $3,5 < R < 7 \text{ m}^2\text{K/W}$

Très bon: $R > 7 \text{ m}^2\text{K/W}$

Vérification structurelle nécessaire afin de s'assurer que la reprise du poids des panneaux photovoltaïques ainsi que celle des gravillons est possible.

Si la structure ne permet pas la mise en place de gravillons, il sera intéressant de mettre en place un revêtement claire en toiture.

=====

Respect des conditions de CEE :

Resistance thermique de l'isolation supérieure ou égale à $4.5 \text{ m}^2\text{K/W}$

=====



R_{Tex}/élément : Les parois doivent respecter l'exigence de résistance thermique minimale R de l'ensemble paroi + isolant en m².K/W de 4,0.

1.2 Murs

ETAT ACTUEL

Murs extérieurs courants

Les murs extérieurs du bâtiment sont des murs en béton préfabriqués, non isolés. Ils présentent, notamment pour le pignon, situé en orientation est, de nombreux éclatements et fissures des bétons :



Figure 7 : Murs extérieurs du bâtiment (Façade Sud)



Figure 8 : Façade Nord et pignon Est

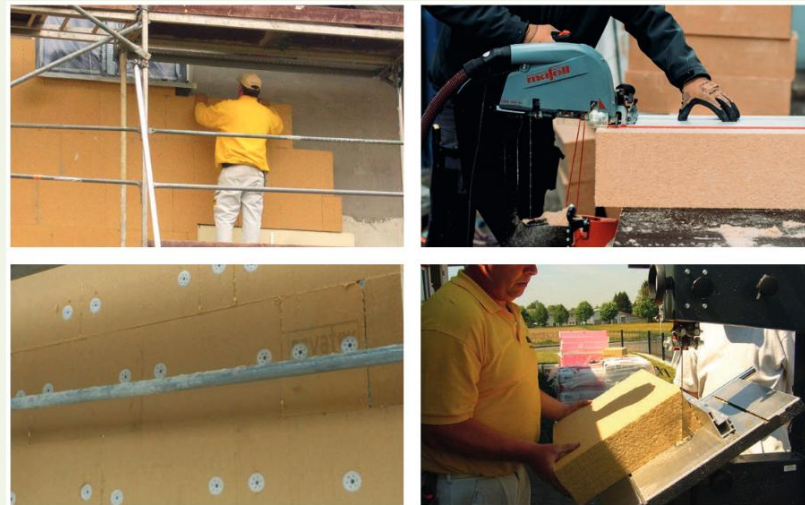
RECOMMANDATIONS

Murs extérieurs courants

Dans le cadre d'une rénovation d'envergure, nous préconisons de mettre en place une **isolation**. L'isolation par l'intérieur pourrait s'envisager mais :

- elle génère d'importants ponts thermiques à la liaison entre la façade et les refends et planchers intermédiaires ;
- elle nécessite une intervention à l'intérieur du bâtiment ;
- elle nécessiterait une dépose / repose des radiateurs et réseaux ;
- elle réduirait les surfaces utiles de l'établissement ;
- elle dégraderait l'inconfort estival avec une moindre inertie thermique.

Pour ce bâtiment, de façade très lisse et dans l'optique d'un programme de travaux « optionnel » permettant un gain important en matière de performance énergétique et de confort estival, un isolant collé sous enduit est proposé (avec reprises ponctuelles des béton piqués, mais conservation des éléments en béton préfabriqués). Cette technique aura l'avantage de la simplicité de pose mais n'offre pas une qualité esthétique poussée (équivalent à l'enduit déjà présent). Un produit pertinent nous paraît être le *Pavawall Smart* de Pavatex : cet isolant en laine de bois dispose d'un avis technique avec mise en œuvre sous enduit.



POSE DES PANNEAUX

DÉCOUPE DES PANNEAUX

Figure 10 : Exemple de produit sous avis technique : Pavawall Smart

Il n'a pas été repéré de doublage isolant lors de notre visite sur site. Aucune isolation n'est présente du côté extérieur du bâtiment.

Les éléments en béton préfabriqués ci-dessus sont des éléments de parement qui n'ont rien de structurel. La structure porteuse est une structure poteau poutre.

Composition de la paroi : Béton préfabriqué (15 cm) / lame d'air ventilé (1 cm) / Parement intérieur plâtre (1 cm)

Etat : Vétuste (armatures des bétons apparentes)

Coefficient U : 1.75 W/m².K (estimé d'après la méthode Th-U)

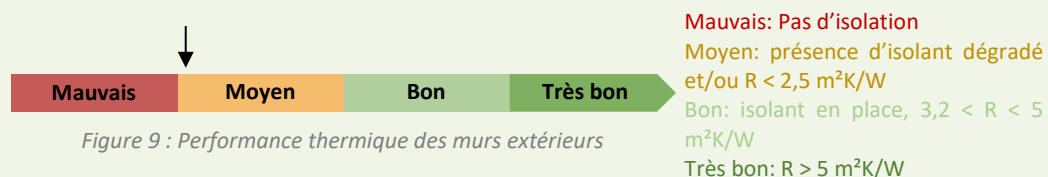


Figure 9 : Performance thermique des murs extérieurs

Une performance minimum consiste à viser $R > 4.5 \text{ m}^2\text{K/W}$, soit 15 cm au moins (dépend du type d'isolant choisi). **La préconisation faite dans cette étude est de 18 cm d'isolant laine de bois, soit un R de $4.7 \text{ m}^2\text{K/W}$.**

Au-delà des aspects énergétiques au cœur de ce diagnostic, les éclatements de béton présentés ci-contre seront à traiter.

N.B. : Il sera indispensable d'effectuer des **retours d'isolant** sur les embrasures des menuiseries avec $R > 1 \text{ m}^2\text{K/W}$ et il sera intéressant de combiner cette intervention à celle sur les menuiseries extérieures ou de prévoir les épaisseurs de tapées nécessaires au retour d'isolant lors du remplacement des menuiseries, si celui-ci est anticipé par rapport à l'ITE.

Nota : en termes de chiffrage de coûts travaux, une marge est prise en compte afin de pouvoir embarquer des travaux comprenant un bardage extérieur, si une unité architecturale avec le bâtiment TPR voisin était visé.

Les DTU 20.1, 23.1, 27.1, 41.2, 55.2 concernant l'isolation par l'extérieur sont à respecter.

=====

Respect des conditions de CEE :

Résistance thermique de l'isolation supérieure ou égale à $3,7 \text{ m}^2\text{K/W}$

=====



R_{Tex}/élément : Les parois doivent respecter l'exigence de résistance thermique minimale R de l'ensemble paroi + isolant en $\text{m}^2\text{K/W}$ de $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

1.3 Fenêtres, portes et protections solaires

ETAT ACTUEL

Trois types de fenêtres sont présents, un plan de repérage est fourni en annexe :

- Des fenêtres métalliques en simple vitrage avec film réfléchissant, en orientation Sud des bureaux du rez-de-chaussée (DirNum)
- Des fenêtres en doubles vitrages PVC 4/16/4, en orientation Nord des bureaux du rez-de-chaussée (DirNum)
- Des menuiseries en simple vitrage Aluminium, sur tout le reste du bâtiment

Menuiseries simples vitrages Alu. – Orientation Sud Dirnum :

Contrairement aux vitrages de la façade orientée Nord de cette partie du rez-de-chaussée, ces fenêtres sont des fenêtres métalliques en simple vitrage, dépourvues de protections solaires extérieures (présence uniquement de barreaux). Ces vitrages possèdent un film de protection solaire (film réfléchissant) positionné du côté extérieur afin de réémettre une partie du rayonnement solaire.

Nota : La façade Sud, très lisse, ne permet aucune protection solaire fixe par embrasure des menuiseries.



Figure 11 : Menuiseries extérieures de la DirNum en orientation Sud

RECOMMANDATIONS

Menuiseries en remplacement des simples vitrages Alu. :

Nous préconisons le remplacement par des **menuiseries aluminium**.

Des vitrages à contrôle solaire sont à prévoir en orientation Sud, Est et Ouest pour limiter les apports solaires.

Les caractéristiques ci-dessous sont à prévoir pour le respect des critères CEE :

- $U_w \leq 1.5 \text{ W/m}^2.\text{K}$ et $U_g < 1.1 \text{ W/m}^2.\text{K}$
- S_w (facteur solaire hors protection) = 0.4
- TI (transmission lumineuse) ≥ 0.5



Figure 20 : Menuiserie Double Vitrage Aluminium à rupteur de pont thermique

Ces fenêtres possèdent des occultations intérieures pour gérer l'éblouissement (stores lamelles verticales cf. photo, ci-dessous) :



Figure 12 : Menuiseries extérieurs de la DirNum en orientation Sud

A l'exception des trois premiers bureaux à gauche de l'entrée, de plancher légèrement plus bas que les bureaux suivants (numérotés 05 – 06 et 07, sur les plans transmis), les baies sont non ouvrables.

Protections solaires : Films solaires extérieurs

Etat : Vétuste

Caractéristiques thermiques menuiseries :

$U_w = 5.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ // $S_w = 0.45$ // $T_l = 0.50$



Figure 13 : Performance thermique des menuiseries

Mauvais: simple vitrage et/ou état très dégradé et/ou absence critique de protections solaires

Moyen: double vitrage ancien (plus de 15 ans) et/ou protections solaires peu efficaces

Bon: double vitrage récent moins de 15 ans

Très bon: double ou triple vitrage très récent

Nous recommandons le remplacement de ces fenêtres avec **dépose des ouvrants et des dormants** malgré les contraintes que cela va engendrer (milieu occupé, reprises de maçonnerie, peintures, etc..).

Cette opération nécessitera une vérification concernant la présence d'amiante, même si aucun matériau contenant de l'amiante n'a été relevé à cette date.



Les DTU 36.1, 37.1 et 37.2 sont à respecter.

=====

R_{Tex}/élément : Les fenêtres et portes-fenêtres : $U < 1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Une réduction de la surface vitrée de 30% est souhaitable (et prise en compte) pour les baies de grandes hauteurs de la DirNum, cf. ci-contre.

Afin de limiter les apports thermiques problématiques en été, des protections solaires extérieures seront à prévoir. Des **brises soleils extérieurs** sont prévus dans cet audit, mais des volets roulants peuvent également être retenus (moins coûteux, thermiquement aussi efficaces que les BSO, mais plus assombrissant, et générant des problématiques de perméabilité à l'air).

Il est conseillé la pose en tunnel de BSO (plutôt qu'en applique), couplée avec l'intervention d'isolation sur les façades, pour une meilleure durabilité.

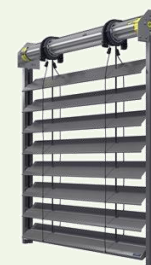


Figure 21 : Exemple de BSO, gamme Profalux

La mise en œuvre de Brise-Soleils fixes pourrait également s'envisager (même si elle serait plus pertinente sur d'autres bâtiments du campus de Saint-Jérôme) ; indispensable dans ce cas de conserver un rapport de profondeur de $0,5 \times$ hauteur de vitrage pour la casquette supérieure des vitrages sud et de conserver une couverture complète du vitrage pour les orientations Est / Ouest.

Les ouvrants à la française seront à privilégier par rapport aux ouvrants coulissants (meilleur ratio d'ouverture et meilleure durabilité).

Doubles vitrages PVC 4/16/4 :

Les menuiseries, en façade Nord, situées à l'opposé des fenêtres présentées ci-dessus, qui constituaient d'anciens garages sont des fenêtres en double vitrage PVC 4/16/4 :



Figure 14 : Menuiserie DV PVC 4/16/4

Comme le montre la photo ci-dessous, ces fenêtres sont équipées de volets roulants (plus anecdotique, au vu de l'orientation).

Protections solaires : Aucune

Etat : Correct

Caractéristiques thermiques menuiseries :

$U_w = 2.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ // $S_w = 0.5$ // $T_l = 0.60$



Figure 15 : Performance thermique des menuiseries

Mauvais: simple vitrage et/ou état très dégradé et/ou absence critique de protections solaires

Moyen: double vitrage ancien (plus de 15 ans) et/ou protections solaires peu efficaces

Bon: double vitrage récent moins de 15 ans

Très bon: double ou triple vitrage très récent

Doubles vitrages PVC 4/16/4 :

Ces fenêtres, relativement performantes, pourront être conservées dans le cadre d'une rénovation énergétique.

Fenêtres simple vitrage métallique :

Les fenêtres du reste de l'établissement sont des fenêtres métalliques coulissantes en aluminium, simple vitrage. Elles sont équipées de volets roulants (aux coffres non isolés) et parfois d'occultations intérieures :



Figure 16 : Menuiseries simple vitrage aluminium

Ces fenêtres représentent un piètre niveau de performance thermique (en hiver comme en été), ainsi qu'un mauvais niveau d'étanchéité à l'air.

Protections solaires : Volets roulants

Etat : Vétuste

Caractéristiques thermiques menuiseries :

$U_w = 5.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ // $S_w = 0.6$ // $T_l = 0.55$



Figure 17 : Performance thermique des menuiseries

Mauvais: simple vitrage et/ou état très dégradé et/ou absence critique de protections solaires

Moyen: double vitrage ancien (plus de 15 ans) et/ou protections solaires peu efficaces

Bon: double vitrage récent moins de 15 ans

Très bon: double ou triple vitrage très récent

Doubles vitrages PVC :

Un remplacement similaire à la préconisation pour les menuiseries en façade Sud de la DirNum est à prévoir.

Portes d'accès à l'escalier extérieur ou SAS Condamné :

Les portes permettant l'accès à l'escalier extérieur sont des portes métalliques comportant initialement des grilles de ventilation hautes et basses (ici bouchées) très peu étanches à l'air. L'ancienne porte permettant l'accès au SAS (condamnée) correspond à des planches en bois non isolées :



Figure 18 : Portes permettant d'accéder à l'escalier extérieur

Ces portes, datant de la construction du bâtiment, ne présentent pas de bonnes caractéristiques isolantes.

Protections solaires : Aucune

Etat : Passable

Caractéristiques thermiques menuiseries :

$U_d = 4.5 \text{ W/m}^2\text{K}$



Figure 19 : Performance thermique des menuiseries

Mauvais: simple vitrage et/ou état très dégradé et/ou absence critique de protections solaires

Moyen: double vitrage ancien (plus de 15 ans) et/ou protections solaires peu efficaces

Bon: double vitrage récent moins de 15 ans

Très bon: double ou triple vitrage très récent

Portes d'accès à l'escalier extérieur :

Ces portes pourront être remplacées par des portes isolantes ($U_d = 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$) et plus étanche à l'air.

=====

Respect des conditions de CEE :

Pas de CEE sur les portes (opaques) donnant sur l'extérieur

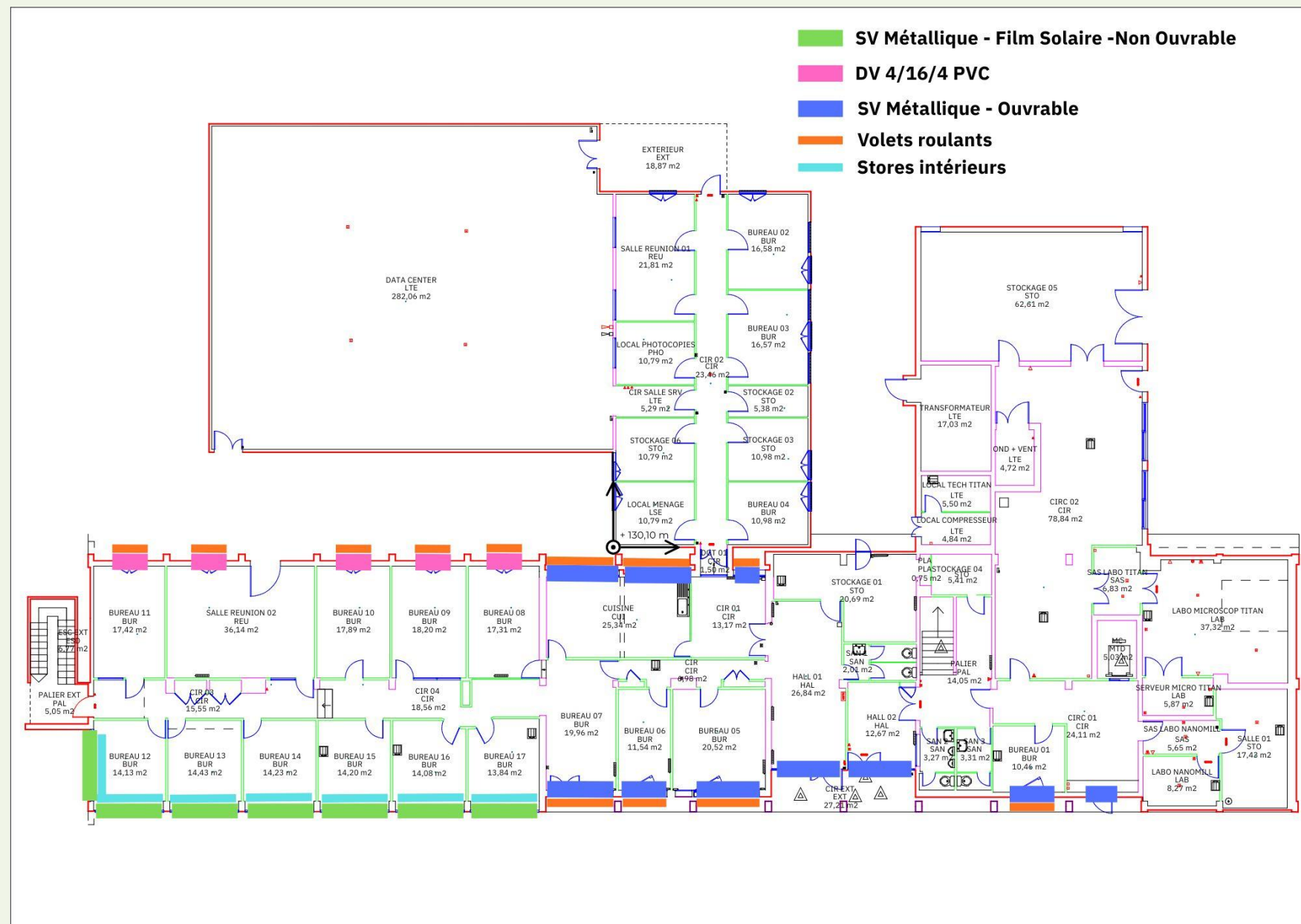
=====



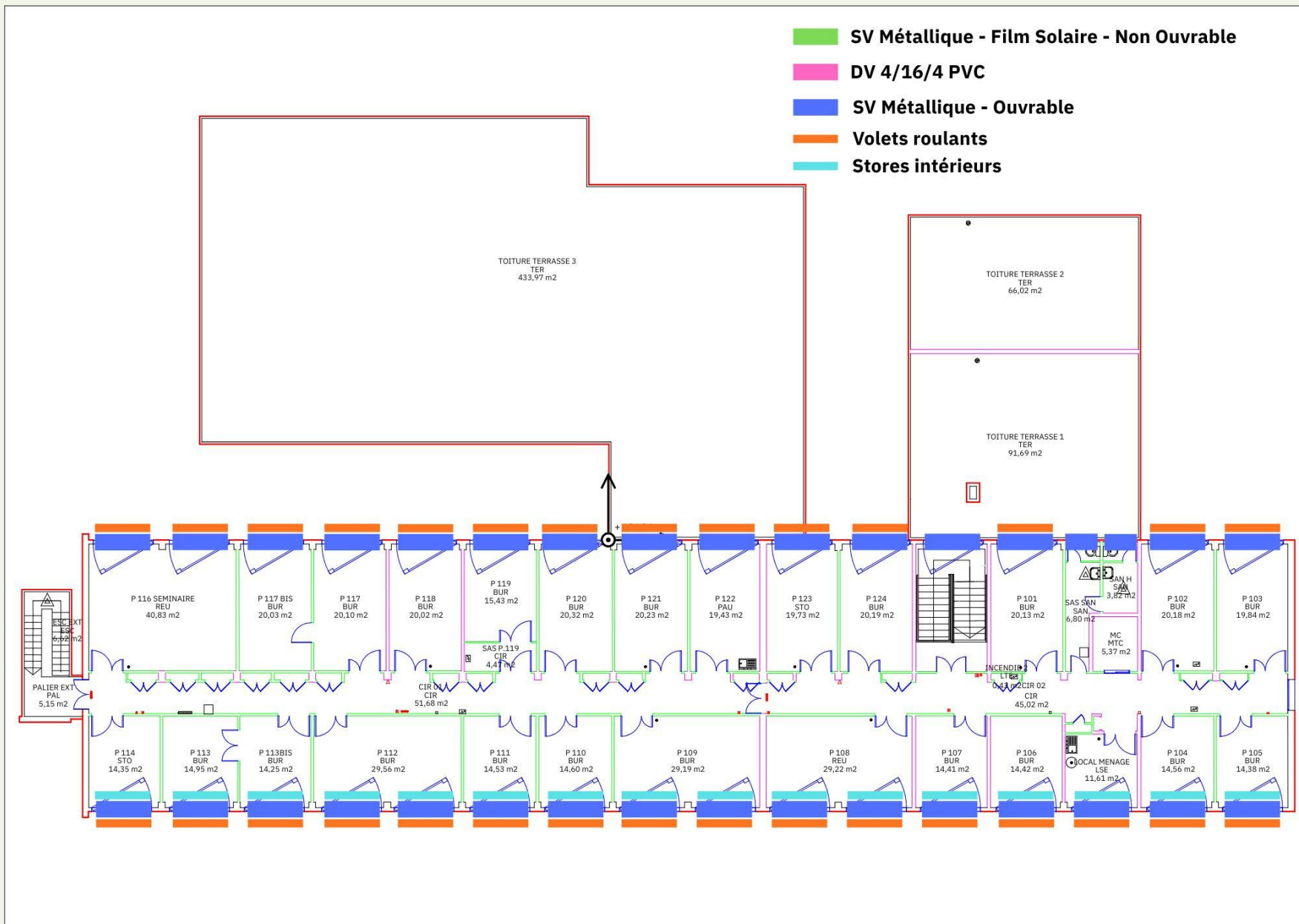
RTex/élément 2023 : pas d'exigences concernant les portes donnant sur l'extérieur (sauf en maison individuelle)

Repérage des menuiseries extérieures / Protections solaires :

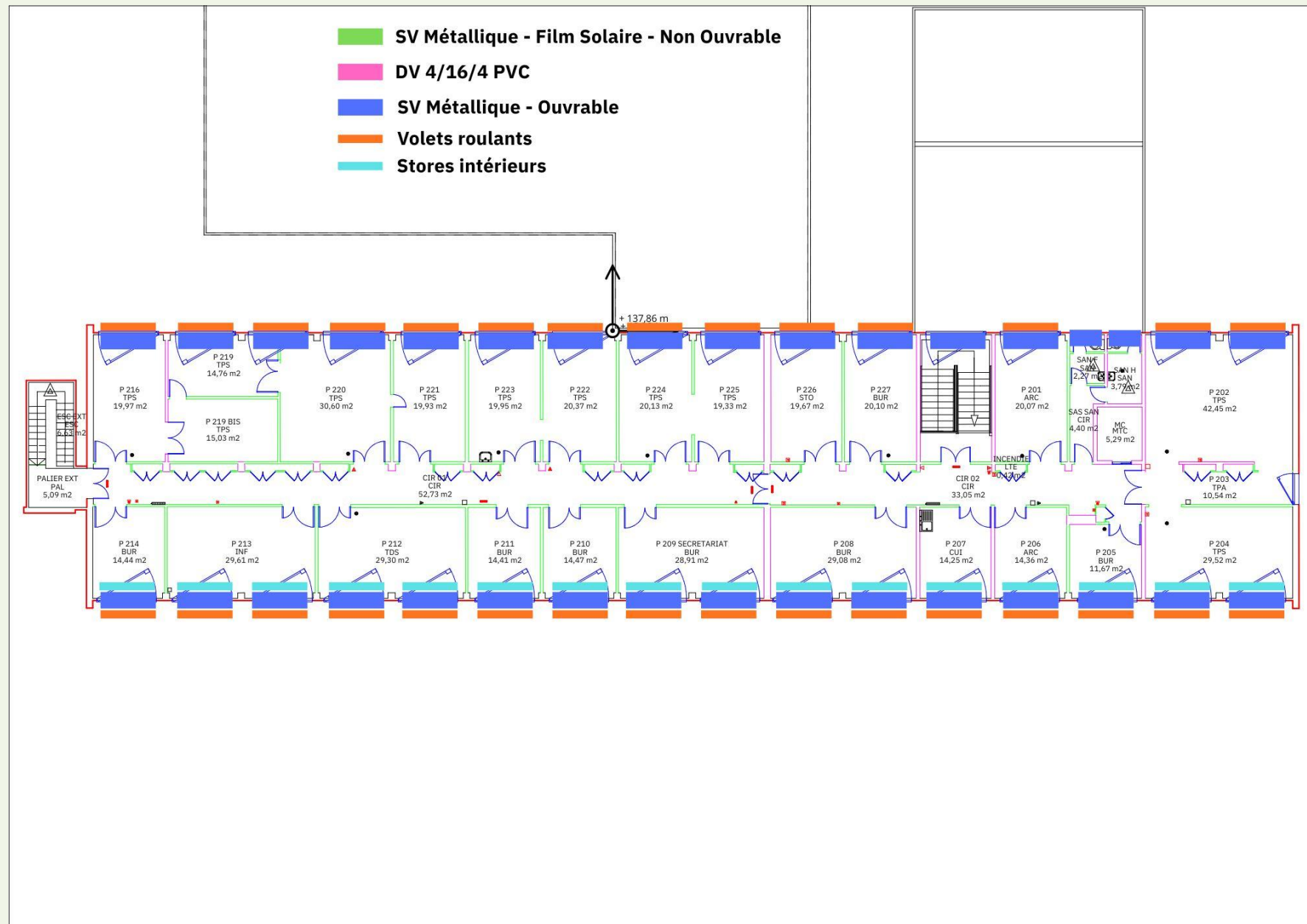
Rez-de-chaussée :



R+1 :



R+2 :



1.4 Plancher bas

ETAT ACTUEL

Planchers bas du rez-de-chaussée donnant sur terreplein :

Lors de notre visite, aucun élément n'a pu amener à penser que ce rez-de-chaussée se situait sur un niveau de vide sanitaire.

En revanche, faux-plancher existe sur une moitié du bâtiment servant au soufflage d'air frais décrit ci-après.



Figure 22 : Locaux de sous-sol non chauffés et non-occupés

Composition : Dalle Béton (15 cm)

Etat : Correct

Coefficient U- avec Faux-Plancher : 1.43 W/m².K (calcul à partir de la méthode Th-U)

Coefficient U- sans Faux-Plancher : 1.67 W/m².K (calcul à partir de la méthode Th-U)

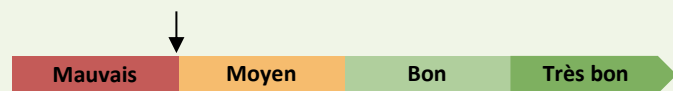


Figure 23 : Performance thermique du plancher bas

Mauvais: Pas d'isolation

Moyen: présence d'isolant dégradé et/ou $R < 1 \text{ m}^2\text{K/W}$

Bon: isolant en place, $1 < R < 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$

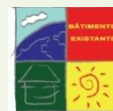
Très bon: $R > 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$

RECOMMANDATIONS

Planchers bas du rez-de-chaussée donnant sur terreplein :

Nous ne préconisons pas d'intervenir sur cette paroi, pour la partie Est du plancher, qui ne dispose pas de faux plancher.

Pour la partie Ouest du rez-de-chaussée : **il serait pertinent de voir le faux-plancher actuel déposé** et la mise en place d'un ragréage à niveau plus la mise en place d'un nouveau revêtement de sol (pas de gain énergétique, mais un meilleur indice d'accessibilité).



R_{Tex}/élément: Les parois doivent respecter l'exigence de résistance thermique minimale R de l'ensemble paroi + isolant en m².K/W de 2,1 W/m².K

1.5 Etanchéité à l'air

ETAT ACTUEL	RECOMMANDATIONS
L'étanchéité à l'air de ce bâtiment est mauvaise. Aucun relevé à la porte soufflante n'a été effectué, mais l'étanchéité à l'air est estimée à 4 m ³ /h.m ² sous 4 Pascals, dans la simulation énergétique.	L'étanchéité à l'air du bâtiment sera améliorée avec le remplacement des menuiseries ou la mise en œuvre d'une isolation thermique par l'extérieur, avec une pose soignée. Un Q4 de 1.5 m ³ /h.m ² sera à viser pour un bâtiment rénové.

1.6 Ponts thermiques

ETAT ACTUEL	RECOMMANDATIONS
Au regard du très faible niveau d'isolation, les ponts thermiques ne sont pas le sujet principal au niveau des déperditions. Malgré tout, la géométrie du bâtiment avec quelques planchers intermédiaires et murs de refend poussent pour une isolation à réaliser par l'extérieur pour limiter les ponts thermiques.	Afin de traiter le pont thermique de plancher bas, il est important de prolonger l'ITE en-dessous du niveau du terrain, sur toute la périphérie du bâtiment. Cela nécessite de réaliser une tranchée sur le pourtour du bâtiment, et de coller un isolant adéquat (polystyrène, par exemple) sur l'espace disponible en soubassement. Idéalement, on pourra réserver 50 cm de hauteur d'isolation, pour une résistance thermique proche de 3 (soit environ 8 à 10 cm).



Figure 24 : isolation périphérique de soubassement, dans la continuité de l'ITE

1.7 Inertie thermique

ETAT ACTUEL	RECOMMANDATIONS
L'inertie thermique de cet établissement est lourde : chaque niveau possède l'inertie de deux parois : la dalle de plancher bas et les murs de façade (l'inertie de la dalle de plancher haut, n'est pas profitable, du fait de la présence de faux-plafond).	Les solutions « avant-gardiste » de type parois à changement de phase pour gagner en inertie n'ont pas prouvé leur efficacité à ce stade et ne sont pas préconisées dans ce rapport.

2. Systèmes de ventilation

ETAT ACTUEL

Ventilation naturelle :

Il n'existe, pour l'heure, pas de ventilation mécanique centralisée sur ce bâtiment (les équipements de soufflage existant actuellement au rez-de-chaussée étant en circuits fermés avec reprise d'air dans les plenums ; on ne parle de ventilation à proprement parlé).

La ventilation naturelle est permise par des fenêtres coulissantes, lorsqu'elles ont conservé leur maniabilité. Il existe également quelques grilles d'entrées d'air, présentes en façade.



Figure 25 : Menuiseries ouvrables

Ces ouvrants ne sont jamais munis d'entrée d'air.

N.B. : les sanitaires sont également traités en ventilation par ouverture de fenêtres.

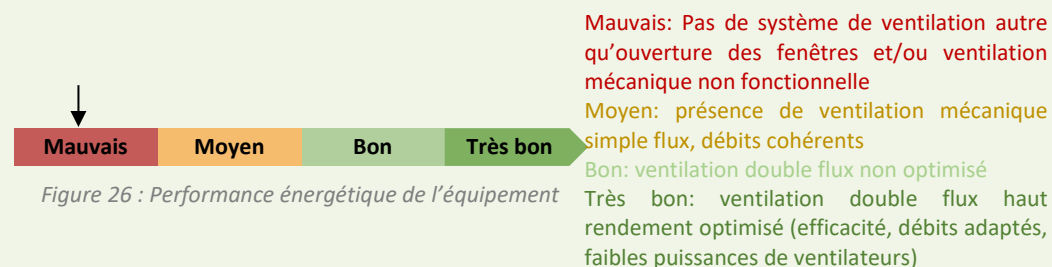


Figure 26 : Performance énergétique de l'équipement

RECOMMANDATIONS

Ventilation naturelle :

La ventilation naturelle est un bon complément à une ventilation mécanique, qui sera à conserver avec les nouvelles menuiseries.

Dans le cadre d'une rénovation performante, il sera néanmoins nécessaire de mettre en place une ventilation simple flux :

- permettant un bon renouvellement d'air
- limitant les déperditions (en hiver)

Au vu des faibles débits que représente la ventilation de ces locaux, une ventilation simple flux sera suffisante. Le schéma ci-dessous présente un système simple flux en extraction, mais un système en insufflation avec batterie chaude alimentée par la sous-station serait plus opportun pour le fonctionnement hivernal. Un module adiabatique doit également s'envisager.

Pour apporter une véritable performance et **respecter les critères CEE**, la ventilation simple flux doit présenter les caractéristiques suivantes :

- puissance électrique inférieure à 0.3 Wh/m³ pour chaque ventilateur
- être asservie à une détection de présence ou de CO₂.

Il sera nécessaire de permettre la télégestion de cette installation.

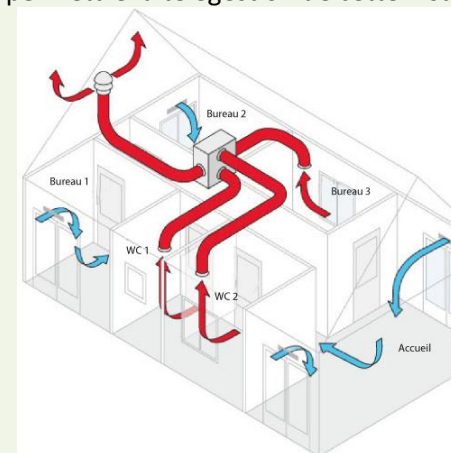


Figure 29 : Schéma ventilation simple flux en bâtiment tertiaire

Equipements de Façade - Autogyres :

Quelques aérateurs autogyres ont pu être repérés en façade du bâtiment (cf. exemple en façade Sud, ci-dessus). Leur état de fonctionnement n'a pas pu être déterminé lors de notre visite mais ces équipements nous sont apparus anciens et vétustes. Ces équipements peuvent s'apparenter à des équipements de ventilation simple flux par extraction.



Figure 28 : Equipements de type aérateur autogyre



Figure 27 : Performance énergétique de l'équipement

Mauvais: Pas de système de ventilation autre qu'ouverture des fenêtres et/ou ventilation mécanique non fonctionnelle

Moyen: présence de ventilation mécanique simple flux, débits cohérents

Bon: ventilation double flux non optimisé

Très bon: ventilation double flux haut rendement optimisé (efficacité, débits adaptés, faibles puissances de ventilateurs)

Brasseurs d'air pour améliorer le confort d'été :

Des brasseurs d'air plafonniers à pales (pas de contrainte de hauteur obligeant à la mise en œuvre de brasseurs d'air à induction) pourront être positionné **dans chaque laboratoire ou bureaux**.

La mise en place de brasseurs d'air est une solution de rafraîchissement sobre en énergie qui permet d'améliorer le confort d'été des occupants. La vitesse de l'air générée par les brasseurs favorise l'évapotranspiration à la surface du corps.

Pour garantir un écoulement d'air optimal et assurer la sécurité des occupants, les règles d'implantation suivantes sont retenues :

- Les brasseurs d'air seront installés à une distance minimale de 15 cm du faux plafond (ici brasseurs sur tige de 60 cm à privilégier)
- La hauteur minimale entre les pales et le sol est fixée à 2,30 m.

En première approche, **75 brasseurs d'air** sont prévus dans le présent audit. Un brasseur d'air couvre environ le rafraîchissement d'une surface de 15m².

3. Equipements

3.1 Chauffage

ETAT ACTUEL

Production de chaleur – Echangeurs :

La production d'eau chaude sur le bâtiment Couches Minces s'effectue via une sous-station se situant au sous-sol du bloc de jonction 1 (BJ1) du TPR. Cette sous-station est alimentée par un réseau primaire desservi par une chaufferie (chaudières gaz à condensation de 2022 pour une puissance totale de 8 MW). L'énergie de cette chaufferie est générée en régime d'eau 80°C/70°C sous deux bars de pression. La puissance de l'échangeur de cette sous-station est de 800 kW.



Figure 30 : Echangeur de chaleur sur réseau primaire

Le réseau primaire est géré par l'exploitant / mainteneur Dalkia. Comme le montre la photo ci-dessus, l'échangeur de chaleur n'est pas calorifugé.

Les schémas d'installations hydrauliques ne sont pas présents dans les sous-stations, mais la distribution s'effectue avec plusieurs colonnes montantes par façade.

RECOMMANDATIONS

Production de chaleur – Echangeurs :

Une production de chaleur plus vertueuse (avec un mix bois/gaz, par exemple) ne pourra se concevoir qu'à l'échelle globale du site. Cette intervention sur la chaufferie ne pourrait s'envisager qu'à long terme, au vu de l'intervention récente pour mettre en œuvre des chaudières gaz à condensation.

En revanche, l'isolation de l'échangeur (cf. préconisations ci-dessous) est une intervention prioritaire.

Au vu des problématiques d'alimentation en eau chaude du dernier niveau, il apparaît important :

- de programmer un désembouage de ce réseau
- s'il s'agit d'un problème persistant, de mettre en place un pot à boue magnétique dernière génération sur le retour du secondaire de cette sous-station
- de mettre en place la préconisation d'équilibrage évoquée ci-dessous

Etat : Correct



Figure 31 : Performance énergétique de la production

Mauvais: chauffage électrique direct ou chaudière gaz de plus de 20 ans, échangeur sans calorifuge

Moyen: générateur (chaudière ou pompe à chaleur) datant de 10 et 20 ans

Bon: générateur (chaudière ou pompe à chaleur) datant de 5 à 10 ans

Très bon: chaudière gaz condensation récente ou pompe à chaleur géothermique ou aérothermique de moins de 5 ans

Distribution/Régulation :

Deux pompes double sont présentes pour alimenter le circuit du départ vers ce bâtiment. Des calorifuges sont présents en sous-station mais les vannes, corps de pompe et les coudes de circuit ne sont pas calorifugés. Le niveau de calorifugeage est moyen sur la globalité de l'établissement.



Figure 32 : Absence d'isolation sur les éléments de réglage de la panoplie hydraulique

La température d'eau en sortie d'échangeur est pilotée via courbe de chauffe : loi d'eau sur la température extérieure. La sonde de température extérieure pour ce bâtiment n'a malheureusement pas été repérée lors de notre visite, mais sa présence a été confirmée par l'exploitant.

Distribution/Régulation :

Le niveau de calorifugeage est moyen. Un calorifugeage sera obligatoirement de classe 4 (exigence réglementaire). Les vannes, les pompes et ainsi que l'échangeur de chaleur devront être isolés par des housses isolantes, afin de limiter les pertes. Les coudes devront également être calorifugés. Il faudra aussi veiller à isoler les longueurs de canalisations non isolées pour l'heure. Les gains énergétiques associés aux calorifuges complémentaires sont difficilement quantifiables ; toutefois on estime qu'un corps de vanne non isolé correspond à la consommation d'un petit radiateur (très approximativement 100 à 200 Watt par corps de vanne non isolé).

Possibilité d'équilibrage des réseaux eau chaude - en pied de colonne

A l'occasion d'une discussion avec les agents de maintenance CVC du campus, il a été évoqué pour eux la très grande difficulté de l'équilibrage des installations de chauffage. Ceci rejoignait l'information donnée par les occupants de l'absence de chauffage au R+2 du bâtiment. Il apparaît donc indispensable de remplacer, voire d'ajouter des vannes de réglage en pied de colonne pour permettre un équilibrage fin des colonnes des distributions de chauffage. Dans l'hypothèse pessimiste d'une vanne de réglage par radiateur du R+1 (pris comme exemple pour le calcul), il faudrait compter 15 vannes en façade Sud et 15 vannes en façade Nord, soit 30 vannes de réglage à installer au total pour le bâtiment. Même s'il est impossible de quantifier le gain d'une telle intervention, les professionnels de ces interventions évoquent des gains pouvant aller jusqu'à 10-15 % des consommations de chauffage. Un gain de l'ordre de 5% nous paraît plus plausible ou à minima l'atteinte de niveaux de confort acceptables en hiver.

La gestion technique du bâtiment et l'éventuelle télégestion depuis un poste fixe n'ont pas pu être audités lors de notre visite.

Emission radiateurs en acier :

Ce bâtiment est chauffé par des radiateurs en acier, parfois munis de vannes de fermeture (au rez-de-chaussée) ou de robinets thermostatiques et des vannes, aux R+1 et R+2 :



Figure 34 : Chauffage radiateurs en acier

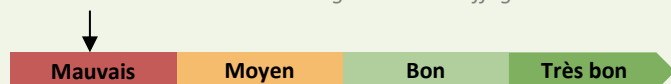


Figure 33 : Performance énergétique de l'émission

Mauvais: aucune régulation terminale sur les émetteurs

Moyen: présence de régulation terminale vétuste (plus de 15 ans)

Bon: présence de régulation terminale de moins de 15 ans

Très bon: présence de régulation terminale efficace et récente (moins de 5 ans)

N.B. : En capotant toutes les parties supérieures des radiateurs du R+1 et du R+2, on prive l'émetteur d'une grande partie de sa puissance disponible : ces radiateurs opèrent très majoritairement par rayonnement et peu par convection d'air ; les percements en partie supérieure des capotages bois n'ont donc pas une fonction très efficace.



Figure 48 : Vanne de réglage

Emission radiateurs en acier :

La mise en place de thermostats et vannes deux voies est simple à mettre en œuvre et ne peut avoir qu'un effet bénéfique sur la gestion des débits par radiateur. Plus le bâtiment est isolé, et plus une gestion fine des émetteurs est précieuse, car les gains solaires sont plus souvent suffisants pour chauffer une pièce, et l'arrêt des émetteurs est alors nécessaire ; là où un bâtiment avec de fortes déperditions comme actuellement aura besoin d'une émission de chauffage quasi constamment, et donc un besoin de régulation moindre. Le coefficient d'aptitude de la régulation thermostatique sera certifié à 0,3 °.



Figure 49 : Options de régulation terminales thermostatiques

Il sera important d'engager une vérification des plannings de consigne de chauffage en fonction de l'occupation réelle des locaux.

Un équipement pouvant gérer à la fois la fermeture du radiateur, le pilotage des éventuelles nouvelles cassettes de climatisation (cf. préconisation plus bas) et l'éclairage peut avoir du sens.

Enfin, le **retrait des éléments mobiliers en bois** sur les radiateurs paraîtra indispensable à une émission correcte de la chaleur disponible sur chaque radiateur.

Régulation de l'ensemble des installations du bâtiment :

L'arrêté du 7 avril 2023 relatif aux systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments tertiaires rend obligatoire la mise en œuvre d'une GTB de classe A ou B dès lors que des travaux de remplacement de générateur de chaleur

Chauffage par convecteurs ou radiateurs électriques

De nombreux convecteurs ou radiateurs électriques sont présents sur ce bâtiment :

- En système de chauffage de base pour les locaux situés en façade de la DirNum au rez-de-chaussée (anciens garages)
- En système d'appoint à un chauffage déclaré inopérant sur les étages R+1 et R+2 du bâtiment (des éléments d'appoint existent également au rez-de-chaussée du bâtiment)

Génération / Emission :

Les équipements des étages possèdent un mode de gestion du chauffage très sommaire pour les équipements d'appoint des étages (parfois même en gestion tout ou rien) et plus évolué pour les équipements du rez-de-chaussée (thermostatique).



Figure 35 : Soufflant ou convecteur électrique d'appoint au R+2



Figure 36 : Chauffage de base au rez-de-chaussée

Mauvais: aucune régulation terminale sur les émetteurs

Moyen: présence de régulation terminale vétuste (plus de 15 ans)

Bon: présence de régulation terminale de moins de 15 ans

Très bon: présence de régulation terminale efficace et récente (moins de 5 ans)



Figure 37 : Performance énergétique de l'émission

sont mis en œuvre. Elle devra définir **quatre allures de fonctionnement** au moins : confort / réduit / hors gel et arrêt.

Cette mise en œuvre de GTB devra nécessairement s'accompagner de pose de compteurs thermiques et électriques, à minima par niveau. Le suivi, l'enregistrement et l'analyse devra pouvoir s'effectuer au pas de temps horaires avec compilation mensuelle (cette dernière devra être conservée pendant 5 ans). Les données de GTB devront être rendues accessibles aux services techniques du site.

Les sous-compteurs seront à mettre en œuvre au niveau des tableaux divisionnaires et au niveau des départs d'eau chaude en sous-station. Des capteurs de températures devront également être mis en œuvre dans les locaux à occupation prolongée. La GTB devra pouvoir, pour chaque entité d'occupation :

- Afficher les sous-consommations électriques des prises de courant, éclairage, ballon ECS, ventilation des émetteurs et autres usages
- Afficher la température de la sonde
- Afficher et modifier le planning de consigne de température pour le jour, la semaine et le mois à venir

Des éléments de gestion de l'installation globale sont également à prévoir :

- Comptage énergétique et électrique de l'installation de RCU
- Comptage électrique par équipement de ventilation
- Comptage électrique global sur les pompes

Le gain qu'il est possible d'obtenir avec de tels équipements n'est pas simple à quantifier. Néanmoins, avec le pilotage actuel du bâtiment sur des plages horaires très larges (de 6h à 21h) ; il est clair qu'un gain pourra s'opérer avec un fonctionnement des équipements calé sur l'occupation.

Chauffage par convecteurs ou radiateurs électriques

Ces éléments ne seront plus utiles et pourront être déposés dans le cadre d'une rénovation énergétique du bâtiment. Par ailleurs, les radiateurs du rez-de-chaussée pourront être remplacés par des cassettes plafonnaires alimentées depuis de réseau de la sous-station.

Production Froid par Groupe Froid extérieur

Le rez-de-chaussée du bâtiment est traité par un système centralisé de climatisation, relativement atypique pour ce type d'établissement (lié à l'ancien usage de Data Center du rez-de-chaussée de ce bâtiment).

Groupes extérieurs :

Les deux groupes extérieurs AERMEC alimentant cette installation sont situés au nord du bâtiment :



Figure 38 : Groupe extérieur

Ces deux groupes extérieurs, montés en parallèle (1 modèle ANL202 de 2013 et de fluide frigorigène R410A et de puissance frigorifique 43,5 kW en régime de température 12-7°C par 35°C de température extérieure ; 1 modèle HMG0600 au R32 datant de 2023 et d'une puissance nominale de 60 kW), alimentent deux installations dans les locaux de la DirNum :

- L'équipement de soufflage en faux-plancher
- Des ventilo-convecteurs plafonniers

Production Froid par Groupe Froid extérieur

Du strict point de vue énergétique, il pourrait être intéressant de se passer de climatisation au rez-de-chaussée du bâtiment avec la mise en œuvre des préconisations listées ci-dessus et permettant d'améliorer le confort : protections solaires extérieures, vitrages réfléchissants, brasseurs d'air, modules adiabatiques de CTA.

N.B. : Le système au R410 A pourra être remplacé par un équipement répondant aux meilleurs standards en termes de performance énergétique et de fluides frigorigènes (R32, par exemple)

N.B. : à long terme, et impliquant la nécessité de création d'un local technique d'environ 10 m², il pourrait s'envisager la réinjection de calories sur le réseau « Couches Minces » depuis un désurchauffeur* de groupe froid (raccordés au groupes froids AERMEC du data center, s'ils sont compatibles avec ce type de raccord) et un ballon tampon. Le système devra pouvoir être by-passé en été pour éviter tout désordre lié à une surchauffe.

*Un désurchauffeur de groupe froid récupère uniquement la chaleur de désurchauffe des gaz chauds haute pression (60 à 90°C) avant qu'ils n'entrent dans le condenseur. Il s'agit d'un échangeur compact installé en série sur le circuit frigorifique

Distribution :

Le niveau de calorifugeage de la distribution est relativement faible, avec un isolant Armaflex très usé.



Figure 39 : Distribution d'eau glacée



Figure 40 : Calorifuges détériorés par les intempéries

Emission – Soufflage en faux-plancher :

Le principal équipement de diffusion du refroidissement est un équipement de soufflage en faux-plancher, muni d'une batterie froide. Comme le montre la photo ci-après, la reprise d'air s'effectue en faux-plafond, vraisemblablement en vrac dans le plénum.

Distribution :

Si une production d'eau glacée devait être conservée, la reprise du calorifuge de l'installation serait indispensable.

Le soufflage d'air s'effectue dans le faux-plancher, dans lequel des grilles sont présentes. Cet équipement fonctionne en recyclage d'air à 100%.



Figure 41 : Emission de climatisation du rez-de-chaussée ouest du bâtiment

Les locaux administratifs sont traités par ces grilles et par les défauts d'étanchéité des dalles de faux-plancher.

L'air soufflé, à notre connaissance, n'est pas gainé vers les bouches de soufflage mais soufflé en vrac.

Emission – Soufflage en faux-plancher :

Si une production d'eau glacée devait être conservée, ce mode d'émission du rafraîchissement devrait être déposé pour un remplacement par des cassettes plafonnaires disposant de ventilateurs performants (ventilateurs certifiés ErP : Energy Related Product), ces cassettes devront permettre l'atteinte d'une consigne $\pm 2^{\circ}\text{C}$ avec une régulation précise du thermostat (Coefficient d'Aptitude $< 0.3^{\circ}\text{C}$).



Figure 42 : Emission de froid par grille de faux-plancher

La régulation de ce système ne peut se faire que par une température unique de soufflage (pas de différenciation entre locaux, car pas de batteries froides terminales multiples). Il est possible que cette température varie en fonction de la température extérieure et que l'état de fonctionnement (tout ou rien) soit géré depuis un thermostat à l'intérieur du bâtiment.

Même si le mode de régulation de ce système de refroidissement peut apparaître correcte, il faut noter la piètre efficacité générale de cette émission de froid qui contribue plus à rafraîchir le faux plancher que les locaux eux-mêmes.

Mauvais: aucune régulation terminale sur les émetteurs

Moyen: présence de régulation terminale vétuste (plus de 15 ans)

Bon: présence de régulation terminale de moins de 15 ans

Très bon: présence de régulation terminale efficace et récente (moins de 5 ans)



Figure 43 : Performance énergétique de l'émission

Emission – Ventilo convecteur en faux-plafond :

Il existe deux types d'émetteurs au niveau des faux plafonds : des grilles de soufflage, gainées depuis un aérotherme et des ventilo-convecteur situés directement dans le plénum.

Emission – Soufflage en faux-plancher :

Si une production d'eau glacée devait être conservée, ce mode d'émission du rafraîchissement devrait être déposé pour un remplacement par des cassettes plafonniers disposant de ventilateurs performants (ventilateurs certifiés ErP : Energy Related Product), ces cassettes devront permettre l'atteinte d'une consigne +/- 2°C avec une régulation précise du thermostat (Coefficient d'Aptitude < 0.3 °C).



Figure 44 : Grilles de soufflage d'air refroidis

Il a été noté lors de notre visite, que certains locaux, comme le local à l'angle Sud-Ouest du bâtiment (le plus défavorisés vis-à-vis de l'inconfort estival) n'étaient pas traités par un gainable spécifique mais étaient sensés profiter de la surpression en faux-plafond, une grille vers le faux-plafond est seulement présente dans ce bureau.

Ce mode d'émission de froid, autant avec des grilles qui ont été obturées (laissant penser que le flux d'air est trop froid ou mal dirigé) qu'avec des locaux sensés n'être desservis que par la surpression du faux plafond, ne brille pas par l'efficacité énergétique qu'il représente.



Figure 45 : Gainables climatiseurs

La régulation des gainables passe par des thermostats présents dans chaque bureau qui permettent une régulation individualisée.

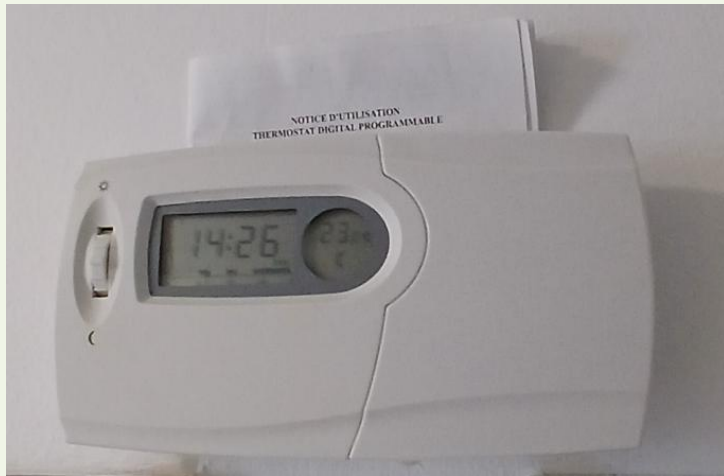


Figure 46 : Régulation des gainables

Note : comme pour le soufflage par le faux-plancher, la régulation des équipements a beau être correcte, leur efficacité énergétique globale laisse à désirer (les audits énergétiques s'intéressent globalement plus à la production et à la régulation car ce sont généralement les éléments prépondérants de performance et ce type de soufflage en vrac est très peu courant).



Figure 47 : Performance énergétique de l'émission

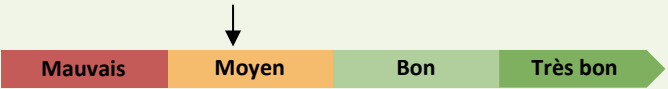
Mauvais: aucune régulation terminale sur les émetteurs

Moyen: présence de régulation terminale vétuste (plus de 15 ans)

Bon: présence de régulation terminale de moins de 15 ans

Très bon: présence de régulation terminale efficace et récente (moins de 5 ans)

3.2 ECS

ETAT ACTUEL	RECOMMANDATIONS
Production d'ECS : La production d'ECS passe uniquement par des ballons électriques « effet joule » décentralisés. La sous-station n'alimentant pas de ballon. Ces ballons sont très vraisemblablement présents en placard technique mais nous n'en avons pas relevé lors de notre passage sur site.  Figure 51 : Puisage d'ECS avec ballon dans un local attenant  Figure 50 : Performance énergétique des ballons ECS Mauvais: système ECS non adapté à l'usage ou au bâtiment Moyen: production ECS adaptée à l'usage et au bâtiment mais améliorable thermiquement Bon: production ECS adaptée à l'usage et au bâtiment Très bon: production ECS adaptée à l'usage et au bâtiment, thermiquement efficace	Production d'ECS : Le principe des ballons électriques décentralisés est intéressant sur cet établissement.

3.3 Eclairage

ETAT ACTUEL

Eclairage :

L'éclairage de ce bâtiment est très hétérogène avec des renouvellements au fil de l'eau et des réagencements intérieurs. Des équipements de type fluorescents T8, T5 et pavés LED sont présents sur le bâtiment. La majorité des bureaux n'a pas pu être relevée lors de notre visite, mais l'éclairage du rez-de-chaussée et du R+1 semblaient comporter une belle proportion d'équipements LED et T5 ; là où le R+2 comportait des tubes fluorescents T8, moins performants.



Figure 52 : Tubes fluorescents T5



Figure 53 : Tubes fluorescents T8

RECOMMANDATIONS

Eclairage :

Le remplacement des tubes fluorescents de type T8, des ampoules fluocompactes et halogènes par des luminaires de **type LED** doit se poursuivre. Cette intervention présente le double avantage d'amener des économies d'énergie et également une diminution des apports internes, synonyme d'un meilleur confort d'été.

A titre indicatif, le remplacement des lampes avec un passage du T8 au T5 représente des diminutions de puissances impliquées d'environ 15 % : par exemple 18 W -> 14W. Il est également possible, et plus intéressant, de remplacer les tubes fluorescents existants par des Tubes LED (pour certaines dimensions, notamment les Tubes T8 de 1,2 m), pour ces cas, on peut trouver des réductions de puissances d'environ 40 % par rapport au T8 majoritairement présents sur l'établissement.

Point de vigilance cependant : le placement de tubes LED dans un luminaire existant conçu pour tube fluorescent rend les marquages CE non valides, ce qui a pour effet de transférer la responsabilité du fabricant vers le gestionnaire qui doit endosser le respect des prescriptions de sécurité de son installation d'éclairage (source AFE). En cas de mise en place de tubes LED, c'est donc l'ensemble du luminaire, des tubes et de leur installation électrique qu'il conviendra de rénover.

Lorsque cela est possible, un fractionnement des installations pourra également être opéré, celui-ci est souvent déjà effectif.

Concernant la gestion de l'éclairage, les points suivants sont à prévoir : laisser au maximum la gestion de l'éclairage aux utilisateurs dans les salles de bureaux ou de labo, en revanche mettre en place systématiquement de la détection de présence dans les sanitaires et les circulations.



Figure 54 : Pavés LED

Le niveau de performance de l'éclairage peut donc être bon par endroit, mais il faut noter que la gestion de l'éclairage n'est, elle, pas performante car elle passe intégralement par des interrupteurs : pas de détection de présence relevée lors de notre passage dans les sanitaires ou les circulations.

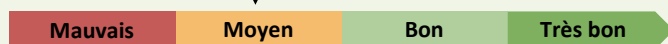


Figure 55 : Performance énergétique des éclairages

Mauvais: présence uniquement de sources lumineuses ancienne génération (incandescence, tubes fluorescents T8...)

Moyen: présence faible de luminaires performants (T5 ou LED), système de gestion adaptés

Bon: présence moyenne de luminaires performants (T5 ou LED), système de gestion adaptés

Très bon: présence importante ou unique de luminaires performants (T5 ou LED), système de gestion adaptés

N.B. : Il a été repéré, à plusieurs endroits, des cumuls d'équipements d'éclairage (T8 + LED ou T5+LED) qui font de ce bâtiment, un bâtiment généreusement éclairé du point de vue de l'éclairage artificiel.

3.4 Autres équipements électriques

ETAT ACTUEL

Equipements informatiques :

- Bien qu'étant hors du périmètre de la rénovation énergétique proposée, l'extension Nord du bâtiment Nord du bâtiment comporte un Data Center très consommateur en énergie (Process et Climatisation) dont il convient de retirer les consommations pour cette analyse
- Le reste du rez-de-chaussée de le DirNum comporte des équipements communs pour une occupation de bureaux : PC / Double Ecran / Photocopieur / Vidéoprojecteur / Ecran d'affichage des données du Data Center



Figure 56 : Equipements communs de bureautique au rez-de-chaussée

RECOMMANDATIONS

Equipements informatiques :

S'agissant de ces équipements électriques, du matériel possédant une consommation énergétique de classe A+ est à retenir dans le cadre d'un renouvellement.

Pour aller plus loin, des produits labellisés « Energy Star » peuvent être mis en place.

Autres équipements :

Ces usages correspondent aux usages liés à l'ascenseur ou à la salle de pause du personnel, avec des consommations **très anecdotiques** à l'échelle du bâtiment (Réfrigérateur ; Micro-Onde ; Machine à café).

Autres équipements :

Dans l'objectif de créer une approche vertueuse vis-à-vis des comportements occupants, il serait intéressant d'instrumenter le bâtiment sous-comptage et de permettre des remontées chiffrées et graphiques sur un poste de GTB (gestion technique du bâtiment), cf. obligation réglementaire évoquée plus haut.

Les gains obtenus sur les comportements des usagers sont généralement non négligeables mais ne sont malheureusement pas quantifiables via une simulation énergétique.

Partie E Analyse des consommations

1. Consommations énergétiques totales et choix de l'année de référence

Pour rappel, le DEET (Décret Eco-Energie Tertiaire) impose de prendre en compte une année entre 2010 et 2019 qui servira de référence pour calculer les gains énergétiques futurs, réalisés en 2030, 2040 et 2050.

Les consommations et DJU par année entre 2021 et 2025 sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	2023	2024	2025
Chauffage (kWh PCS ou facture)	111 800	114 247	110 634
Electricité (kWh)	70 324	70 324	70 324
DJU à 16°C	1 072	984	953
DJE 24°C	312	262	319
Chauffage (kWh DEET)	111 800	114 247	110 634
Refroidissement (kWh DEET)	0	0	0
Ajustement chauffage (Acefchauf(n))	-1 895	8 108	11 706
Ajustement climatisation (Acefrefroidissement(n))	-	-	-
Somme corrigée du DJU (Base : année moyenne)	180 229	192 679	192 664

L'année **2025** est considérée comme année de référence pour cet établissement.

Les consommations réelles sur l'année **2026**, sont en cours de récupération sur un point de comptage dédié.

2. Consommations de chauffage sur le réseau

Les graphiques ci-contre et ci-dessous représentent les consommations en **chauffage estimé** du bâtiment en 2021-2022 et **comptage réel partiel** sur 2023 (mois de janvier manquants) -2024-2025 et les DJU associés pour chaque année.

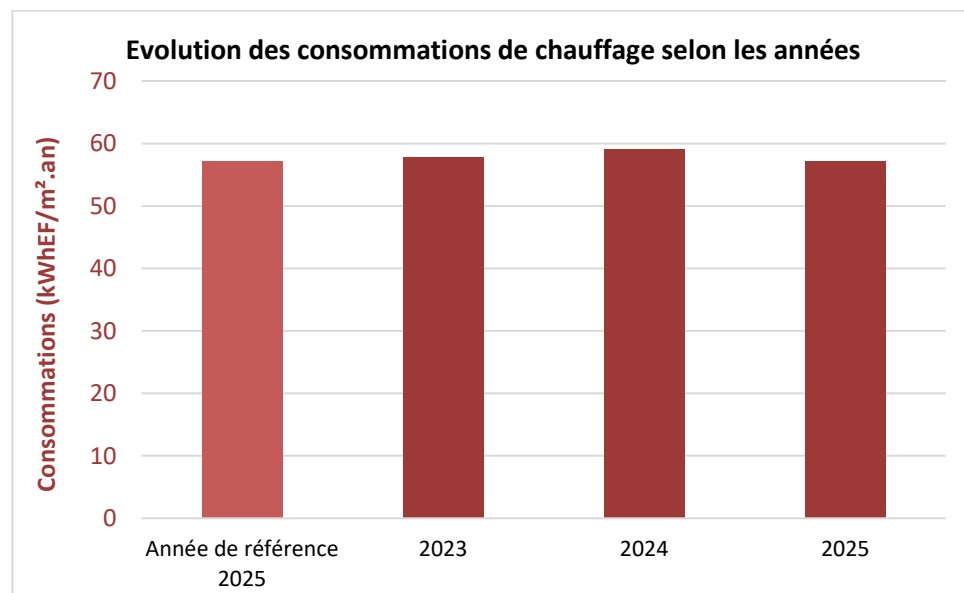


Figure 57 : Evolutions des consommations de chauffage entre 2023 et 2025

Les consommations de chauffage sont extrêmement stables sur les années 2023-2024-2025.

Elles s'établissent autour de 60 kWhEF/m². Attention, ce niveau de consommation peut paraître faussement « bas » (certains bâtiments d'enseignement pouvant largement dépasser les 100 kWhEF/m²), deux biais interviennent :

- D'après les échanges avec les occupants, le bâtiment serait assez largement sous chauffé (aux étages notamment)
- Il existe de nombreux équipements de **chauffage électrique**, qui ne sont pas sous comptés et qui ne sont donc pas intégrés à ces consommations

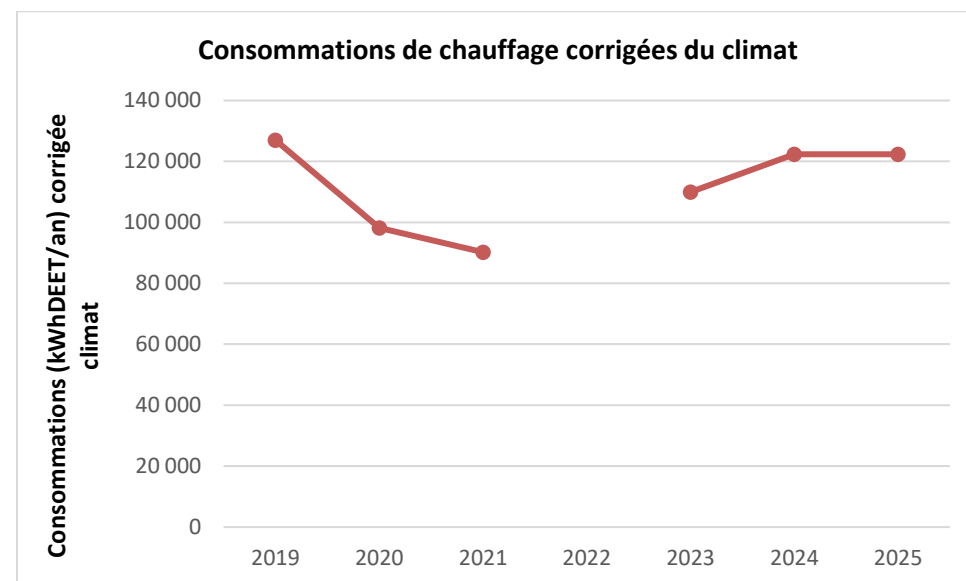


Figure 58 : Consommations de chauffage corrigées du climat

Pour ce bâtiment, il semble que les estimations de puisage sur le réseau de chaleur alimenté par la chaufferie (2019-2020-2021) soient du même ordre de grandeur que les consommations réelles (2023-2024-2025). Ce bâtiment est légèrement plus consommateur que la moyenne des bâtiments du campus.

3. Consommations électriques

Du fait du caractère récent de la pose des compteurs électriques, les données de consommations transmises ne couvrent pas la période nécessaire pour une analyse robuste (généralement 3 années de consommations, ici trois mois).

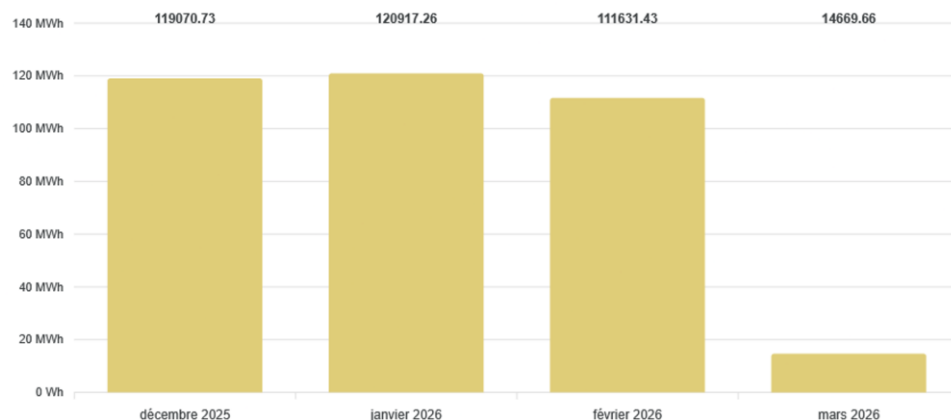


Figure 59 : Consommations électriques transmises

En outre, l'analyse spécifique à ce bâtiment est rendue complexe par l'absence de sous-comptage sur les consommations de process du Data Center voisin. Néanmoins, grâce à des profils horaires de consommation, il a été possible de déterminer une part à allouer aux consommations du Data Center :

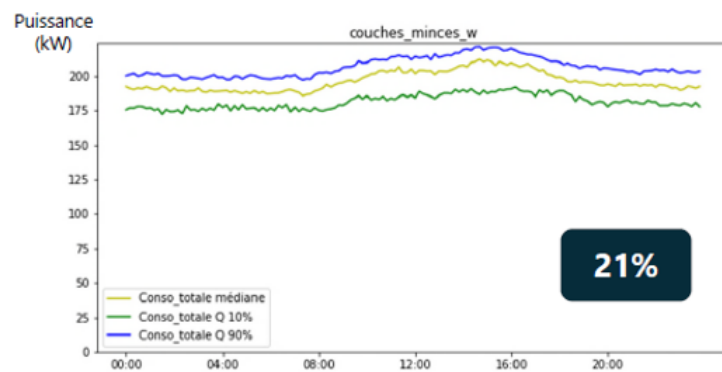


Figure 60 : Consommations électriques (énergie finale)

¹ Sur le même site, l'audit énergétique du bâtiment TPR avait amené à considérer une réduction de l'ordre de 15%.

La consommation en journée est de l'ordre de 10% plus importante que le talon de consommation que l'on attribue au Data Center (220 pour 200). Mais ces 10% ne concernent qu'environ la moitié de la journée. L'hypothèse est donc prise que les consommations électriques du bâtiment (PC, Photocopieur, Eclairage, Usages de salle Détente, Process de TP, Emission du rez-de-chaussée) représente 5 % du total des consommations transmises.

Ces hypothèses amènent à une consommation annuelle estimée de 36 kWhEF/m².an. Ces consommations sont très largement inférieures à la moyenne du campus (entre 2 fois et 3 fois inférieures). Elles caractérisent un bâtiment pour lequel peu d'usages de process sont présents mais qui comportent malgré tout quelques chauffages d'appoint électriques.

4. Dispositif Eco Energie Tertiaire

Dans le cadre du DEET, un gain est calculé **entre les consommations les plus récentes et l'année de référence**. L'objectif est ici de quantifier le chemin déjà parcouru et ainsi quantifier l'effort qui n'est plus à fournir pour l'atteinte des seuils du DEET.

Au vu du caractère incertain des données transmises, il est très délicat de déterminer le chiffre des réductions de consommations déjà effectué dans le cadre du décret tertiaire¹. Aucun gain n'est pris en compte.

5. Analyse des consommations d'eau

Aucune donnée de consommation d'eau n'a été transmise pour analyse.

Partie F Simulation thermique dynamique à l'état initial

1. Présentation de la modélisation

Une simulation thermique dynamique a été réalisée sur le logiciel Pléiades-Comfie afin de déterminer les déperditions et consommations théoriques des bâtiments et ainsi prévoir l'impact des consommations des différentes préconisations de travaux.

La version du logiciel utilisée est la version 6.26.3.3.

Le fichier météo pris en compte est celui de Marseille (13), avec la projection du GIEC à 2040 pour les conditions estivales, et le fichier « normal » pour les conditions de chauffe.

Le zonage thermique est présenté en [Annexe 2](#) et les détails de la STD en [Annexe 3](#).

La modélisation en trois dimensions de ce logiciel est présentée ci-dessous :

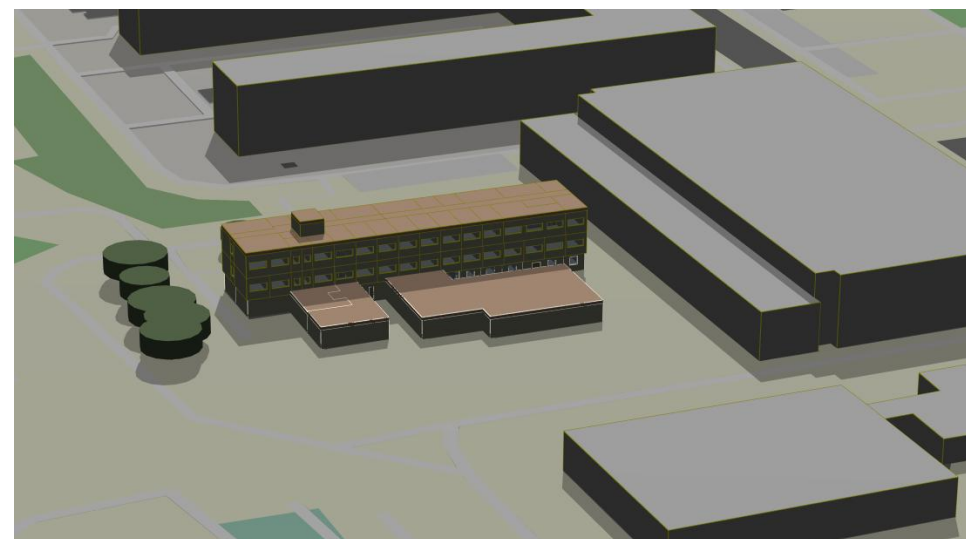
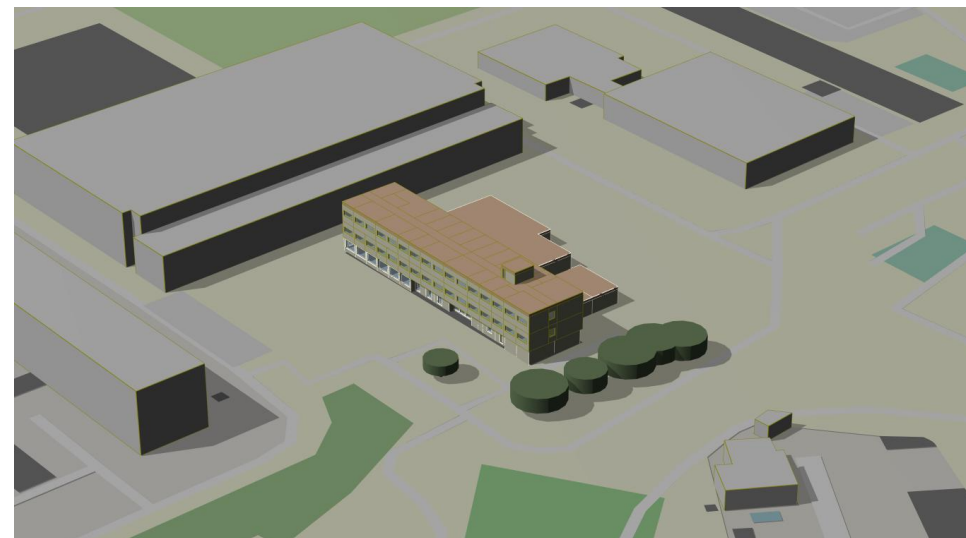


Figure 61 : Modélisation de l'établissement sur le logiciel Pléiades + Comfie

2. Déperditions

Le graphique ci-dessous présente les déperditions à **20°C** de cet établissement, à l'état initial :

On obtient un total de déperditions de 117 kW, soit 60 W/m² caractérisant un niveau **globalement médiocre d'isolation** avec des **déperditions importantes de murs extérieurs et de menuiseries**. La majorité des déperditions est due aux murs extérieurs (représente 37% du total). Les menuiseries extérieures, dont la grande majorité est en simple vitrage, sont les deuxièmes postes de déperditions avec 33%. Les ponts thermiques représentent 12 % des déperditions ; la toiture 8%. Les déperditions par infiltration / ventilation et par plancher bas sont plus anecdotiques, 6% et 4%.

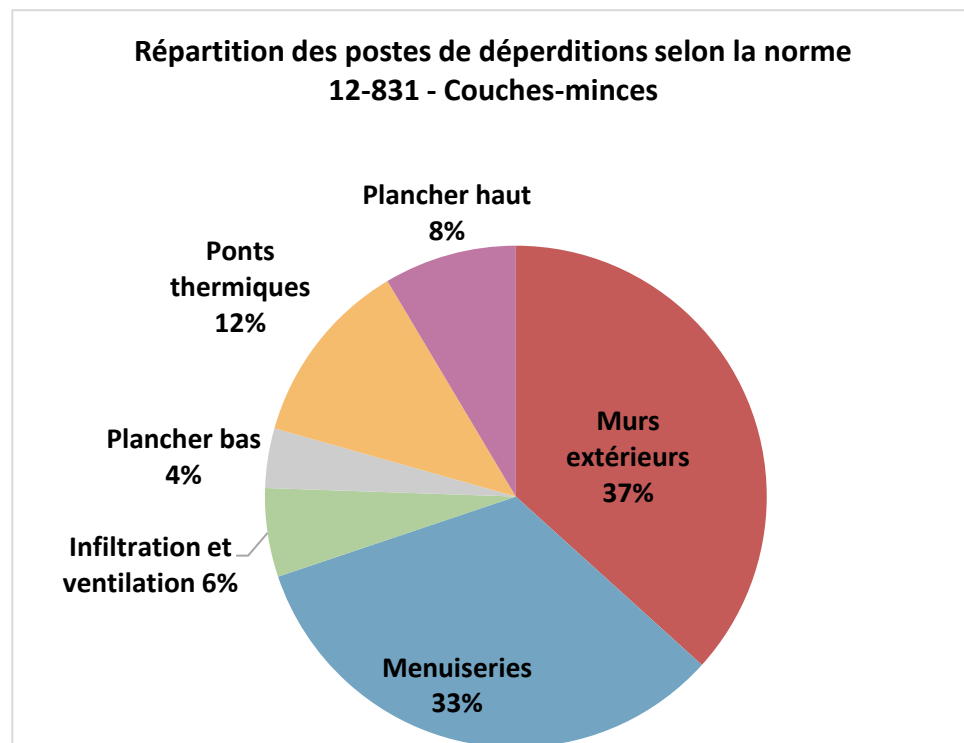


Figure 62 : Répartition des déperditions

3. Consommations

Voici les résultats de consommation de la simulation énergétique dynamique obtenus sur le logiciel PLéiades + Comfie :

REPARTITIONS DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES : LOGICIEL P+C (Energie finale)	
Consommations totales [kWhEF/an]	206 619
Consommations totales [kWhEP/m²SU.an]	164

Concernant les consommations de la sous-station, elles se montent à **103 kWh/DJU** dans la simulation pour **112 kWh/DJU** en moyenne sur 2023-2024-2025 (avec un écart de 8%, acceptable pour ce type de simulation).

Les consommations électriques sont de **86 MWh_{EF}** dans la simulation et **70 MWh_{EF}** sur la projection annuelle basée sur les trois mois transmis et les hypothèses évoquées plus haut (l'écart de 19% paraît important, mais le manque de fiabilité sur les données réelles de consommations ne permet pas de motiver une baisse des consommations de la simulation).

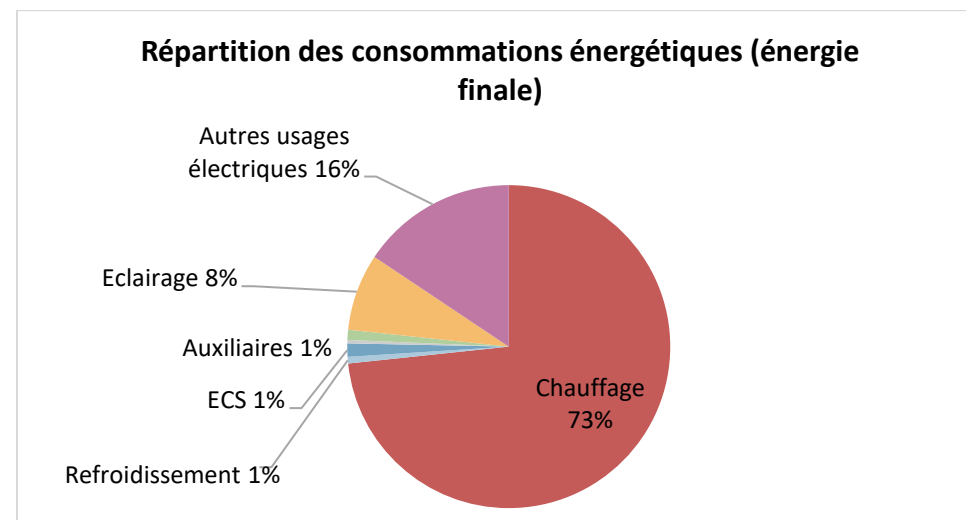


Figure 63 : Répartition des consommations énergétiques

Partie G Bilan des actions proposées

1. Présentation des actions de rénovation et bouquets de travaux

Le détail de chacune des actions proposées ci-dessous est formulé dans la colonne « recommandations » de la partie D du présent rapport.

Postes	Actions proposées	Variante de travaux associée	Intégration dans un bouquet de travaux
Production ENR	Mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques	Travaux 1	Bouquet de travaux 2
Toiture	Réfection/Ré-isolation de la Toiture terrasse inaccessible	Travaux 2	Bouquet de travaux 2
Façade	Isolation des murs par l'extérieur	Travaux 3	Bouquet de travaux 1
Menuiseries	Remplacement des menuiseries extérieures et des protections solaires	Travaux 4	Bouquet de travaux 1
Ventilation	Mise en place d'une ventilation simple flux	Travaux 5	Bouquet de travaux 1
Autre	Mise en œuvre de brasseurs d'air	Travaux 6	Bouquet de travaux 1
Production de Chauffage	Intervention en sous-station	Travaux 7	Bouquet de travaux 1
Régulation	Mise en place d'une régulation terminale performante	Travaux 8	Bouquet de travaux 1
Eclairage	Eclairage	Travaux 9	Bouquet de travaux 2
Emission de Chauffage	Mise en œuvre de cassettes plafonniers au rez-de-chaussée (et nouveaux groupes froids)	Travaux 10	Bouquet de travaux 2
Autre	Actions non valorisables : Retrait Faux-Plancher	Travaux 11	Bouquet de travaux 2
Autre	Actions non valorisables : Désamiantage	Travaux 12	Bouquet de travaux 1
Autre	Actions non valorisables : Récup. Data Center	Travaux 13	Bouquet de travaux 3

Par ailleurs, les mesures suivantes dont les gains ne peuvent être quantifiés par simulation thermique sont à envisager : **implication des occupants afin d'adopter des comportements vertueux et peu consommateurs (notamment par la mise en place de sous-comptage), vérification de l'adéquation des plannings de consigne de chauffage en fonction de l'occupation réelle, désembouage de l'installation, mise en place d'une gestion technique du bâtiment.**

3. Résultats par variantes de travaux

3.1 Approche Energétique

		Consommation en kWhEP	Gain annuel sur les consommations en % sur les kWh EP	Consommation en kWhEF	Gain annuel sur les consommations en % sur les kWh EF	Consommation en kWhEP/m²	Consommation en kWhEF/m²
Etat initial		318 140	-	206 619	-	164	107
Travaux 1	Mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques	220 307	31%	164 083	21%	114	85
Travaux 2	Réfection/Ré-isolation de la Toiture terrasse inaccessible	304 267	4%	197 069	5%	157	102
Travaux 3	Isolation des murs par l'extérieur	236 937	26%	143 099	31%	123	74
Travaux 4	Remplacement des menuiseries extérieures et des protections solaires	275 484	13%	177 204	14%	142	92
Travaux 5	Mise en place d'une ventilation simple flux	333 373	-5%	217 926	-5%	172	113
Travaux 6	Mise en œuvre de brasseurs d'air	323 108	-2%	208 779	-1%	167	108
Travaux 7	Intervention en sous-station	313 517	1,5%	202 151	2%	162	105
Travaux 8	Mise en place d'une régulation terminale performante	297 442	7%	191 534	7%	154	99
Travaux 9	Eclairage	310 534	2%	204 217	1%	161	106
Travaux 10	Mise en œuvre de cassettes plafonnieres au rez-de-chaussée (et nouveaux groupes froids)	299 701	6%	204 762	1%	155	106

La principale source d'économie d'énergie est l'isolation des murs par l'extérieur : 31% de réduction des consommations énergétique tous usages. Le remplacement des menuiseries extérieures permet 14% d'économie d'énergie. La mise en place d'une régulation thermostatique terminale 7%. L'isolation de la toiture a un impact non négligeable pour ce bâtiment : 5% de baisse des consommations. Les autres interventions dans le bâtiment ont des impacts plus négligeables voire négatif du point de vue des consommations pour la ventilation simple flux et la mise en place de brasseurs d'air.

N.B. : en considérant les 30% d'autoconsommation sur ce bâtiment, le gain de la mise en œuvre de panneaux photovoltaïques est de l'ordre de 21%. Pour l'analyse économique de ces panneaux, une variante en équivalent d'autoconsommation à 100% (concevable uniquement à l'échelle de l'entièreté du campus de Saint-Jérôme) est proposée (cf. ci-après).

3.3 Analyse Carbone

		Emissions de CO ₂ (kg _{CO2} /m ² . an)	Gain annuel sur les tonnes de CO ₂ en %
Etat initial		10,2	
Travaux 1	Mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques	10,2	-
Travaux 2	Réfection/Ré-isolation de la Toiture terrasse inaccessible	9,7	5%
Travaux 3	Isolation des murs par l'extérieur	6,7	34%
Travaux 4	Remplacement des menuiseries extérieures et des protections solaires	8,6	15%
Travaux 5	Mise en place d'une ventilation simple flux	10,8	-6%
Travaux 6	Mise en œuvre de brasseurs d'air	10,2	-1%
Travaux 7	Intervention en sous-station	9,9	3%
Travaux 8	Mise en place d'une régulation terminale performante	9,4	8%
Travaux 9	Eclairage	10,1	0,3%
Travaux 10	Mise en œuvre de cassettes plafonnères au rez-de-chaussée (et nouveaux groupes froids)	10,3	-1%

Il n'est pas proposé de modification du vecteur d'approvisionnement énergétique dans le cadre de cet audit, les gains en émission de CO₂ sont donc semblables aux gains énergétiques présentés plus haut ; avec des gains un peu plus importants pour les interventions réduisant les consommations de gaz.

N.B. : La modification qui aurait le plus grand impact sur les émissions du bâtiment se conçoit à l'échelle du site, avec l'éventuelle mise en place de chaufferie bois / appoint gaz en lieu et place de la chaufferie 100% gaz actuelle.

4. Résultats par bouquets de travaux

4.1 Approche énergétique

		Consommation en kWhEP	Gain annuel sur les consommations en % sur les kWh EP	Consommation en kWhEF	Gain annuel sur les consommations en % sur les kWh EF	Consommation en kWhEP/m²	Consommation en kWhEF/m²
Etat initial		318 140	-	206 619	-	164	107
Bouquet de travaux 1	ITE + Men. Ext. + Ventil. + Brasseurs + Sous-Station + Régul. Thermo. + Désamiantage	195 148	39%	109 703	47%	101	57
Bouquet de travaux 2	Bouquet de travaux 1 + PV + TT + Ecl. + Emission plafonnière au rez-de-chaussée + Faux-Planch.	67 138	79%	50 977	75%	35	26
Bouquet de travaux 3	Bouquet de travaux 2 + Récup Data Center	67 138	79%	50 977	75%	35	26

Le bouquet de travaux 1 possède déjà un gain énergétique important sur les consommations énergétiques avec -47% des consommations énergétiques finales par rapport à l'état initial, ainsi qu'un gain très intéressant sur le confort d'été. A partir du bouquet de travaux 2, très ambitieux pour ce bâtiment, les gains sont majuscules avec une réduction des consommations énergétique de l'ordre de 75% permise par un état initial peu performants, par des consommations de process assez limitées pour la partie du bâtiment étudiée et pas une génération photovoltaïque permettant de l'autoconsommation.

4.3 Analyse Carbone

		Emissions de CO2 (kg _{CO2} /m ² .an)	Gain annuel sur les tonnes de CO2 en %
Etat initial		10,2	-
Bouquet de travaux 1	ITE + Men. Ext. + Ventil. + Brasseurs + Sous-Station + Régul. Thermo. + Désamiantage	4,8	52%
Bouquet de travaux 2	Bouquet de travaux 1 + PV + TT + Ecl. + Emission plafonnière au rez-de-chaussée + Faux-Planch.	4,1	60%
Bouquet de travaux 3	Bouquet de travaux 2 + Récup Data Center	4,1	60%

La baisse des émissions de CO₂ serait très forte dès le bouquet de travaux 1 dont le niveau d'émission s'établit à 4,8 kg_{CO2}/m².an (gain de plus de 50%).

4.4 Confort d'été

Les résultats de l'état initial et des bouquets de travaux sont les suivants :

Zones	Cas de Base	Bouquet 1	Bouquet 2	Bouquet 3
Z05_RdC_Dir.Num_Bureaux Sud	7,8%	0,8%	0,7%	0,7%
Z06_RdC_Dir.Num_Bureaux	1,7%	0,2%	0,0%	0,0%
Z11_RdC_Labo.Titan_Bureaux	3,5%	0,1%	0,1%	0,1%
Z12_RdC_Labo.Titan_Labos-Serveur	27,8%	10,9%	11,3%	11,3%
Z15_R+1_Bureaux Sud	10,0%	4,1%	4,3%	4,3%
Z16_R+1_Bureaux Nord	9,2%	4,2%	3,7%	3,7%
Z17_R+1_Salle_de_réunion_Sud	9,4%	3,3%	3,1%	3,1%
Z18_R+1_Salle_de_réunion_Nord	9,4%	1,6%	1,9%	1,9%
Z23_R+2_Bureau_Sud	10,3%	4,5%	4,5%	4,5%
Z24_R+2_Bureau_Nord	9,7%	2,9%	3,0%	3,0%
Z25_R+2_TP_Sud	10,6%	3,9%	4,8%	4,8%
Z26_R+2_TP_Nord	9,6%	3,7%	4,1%	4,1%
Z27_R+2_Salle-info	10,6%	3,4%	4,0%	4,0%
Valeur Moyenne	10%	3,3%	3,5%	3,5%

A l'état initial le taux d'inconfort en occupation se situent autour des 10% d'inconfort, pour une projection suivant le scénario A1B 2040 du GIEC, à deux exceptions :

- Les locaux climatisés du rez-de-chaussée
- Un laboratoire qui n'a pas pu être visité mais pour lequel des apports internes de process ont été considérés

Après les travaux du bouquet 1, le niveau de confort est très largement amélioré, notamment du fait de la mise en place de brasseurs d'air. Les bouquets de travaux 2 et 3 s'établissent autour du même niveau de confort que le bouquet de travaux 1 ; pour ces bouquets de travaux, des phénomènes physiques se compensent : les apports solaires sont limités par les nouvelles menuiseries extérieures (apports divisés par 2) mais la bonne isolation du bâtiment provoque un confinement des apports de chaleur : il devient très compliqué de dissiper le moindre kW dégagé par un occupant, un PC, etc.

A titre informatif, le diagramme de Givoni de la zone 24 avant travaux et avec le bouquet de travaux 3 :

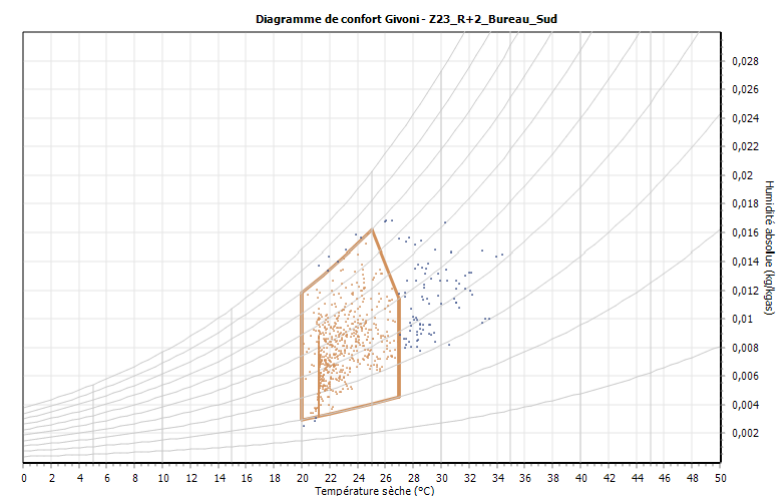


Figure 64 : Diagramme de Givoni de la zone 24 – Avant Travaux

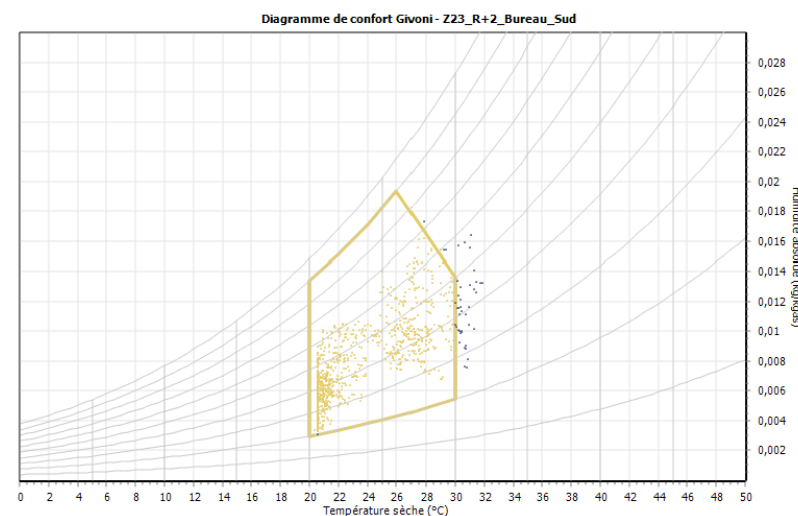


Figure 65 : Diagramme de Givoni de la zone 24 – Bouquet de travaux 3

Annexe 1 : Locaux visités

Les locaux suivants ont pu être visités :

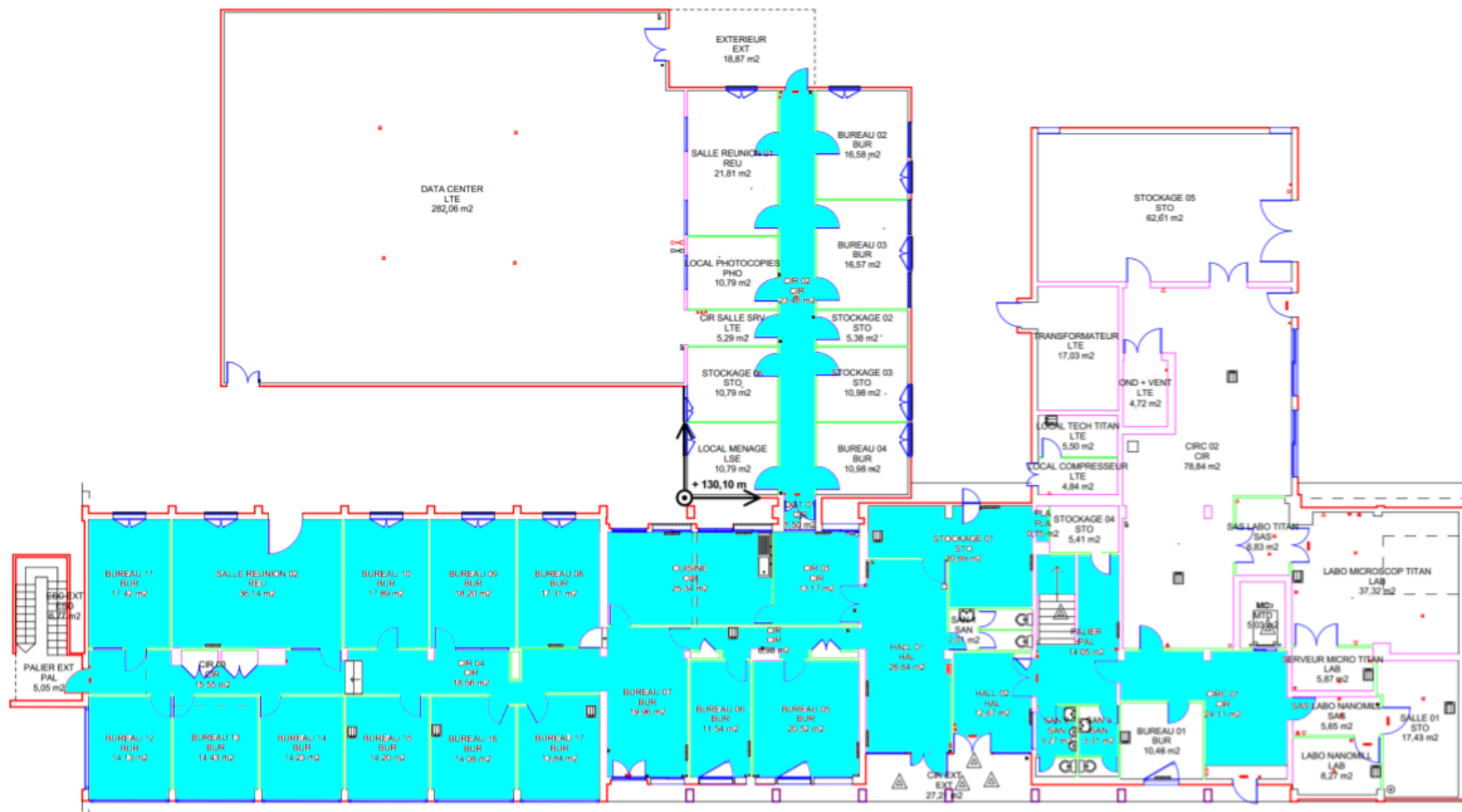


Figure 66 : Locaux visités au rez-de-chaussée



Annexe 2 : Détails de la STD

Le zonage retenu est le suivant :

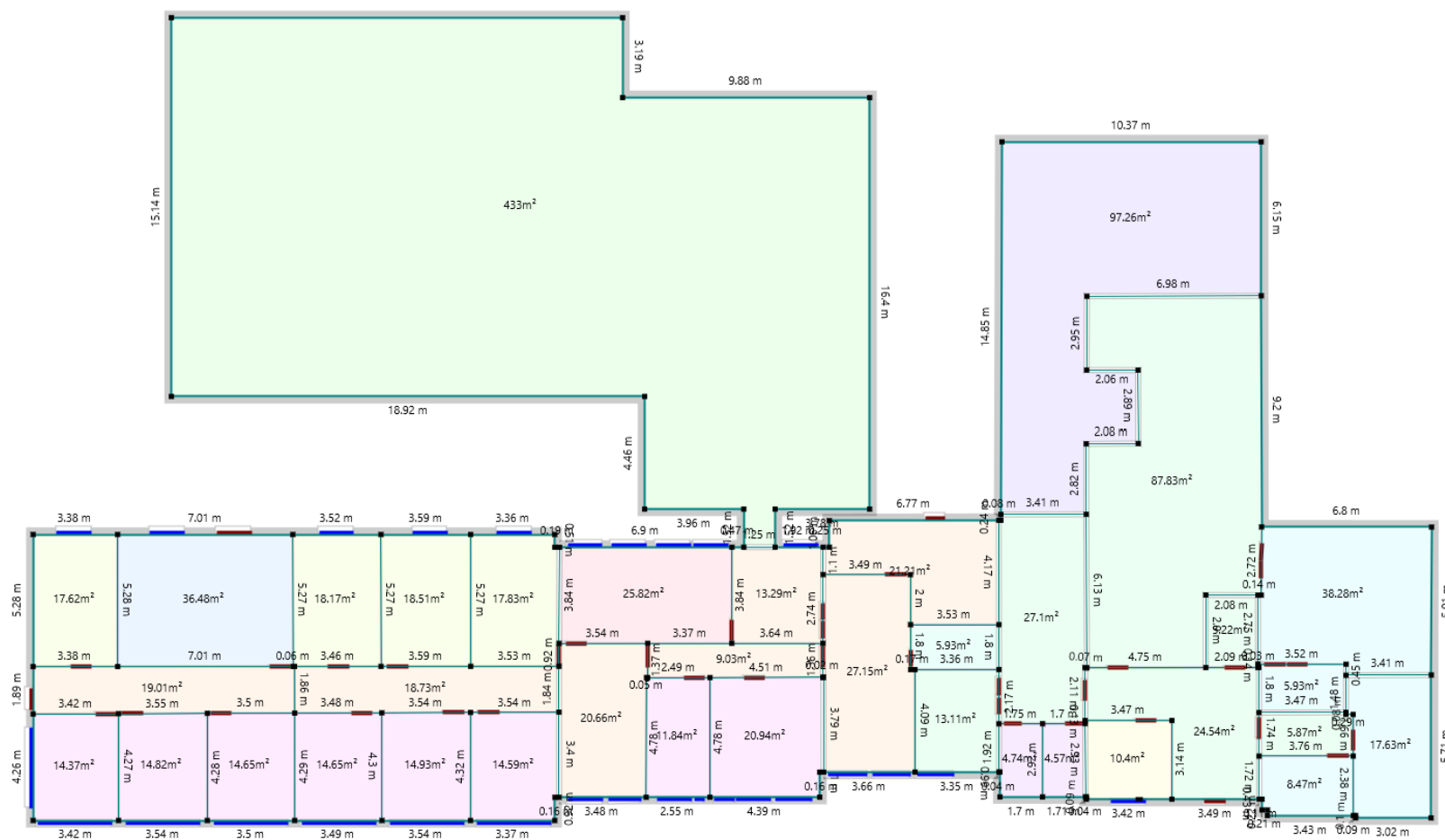


Figure 69 : Plan de zonage du Rez-de-chaussée

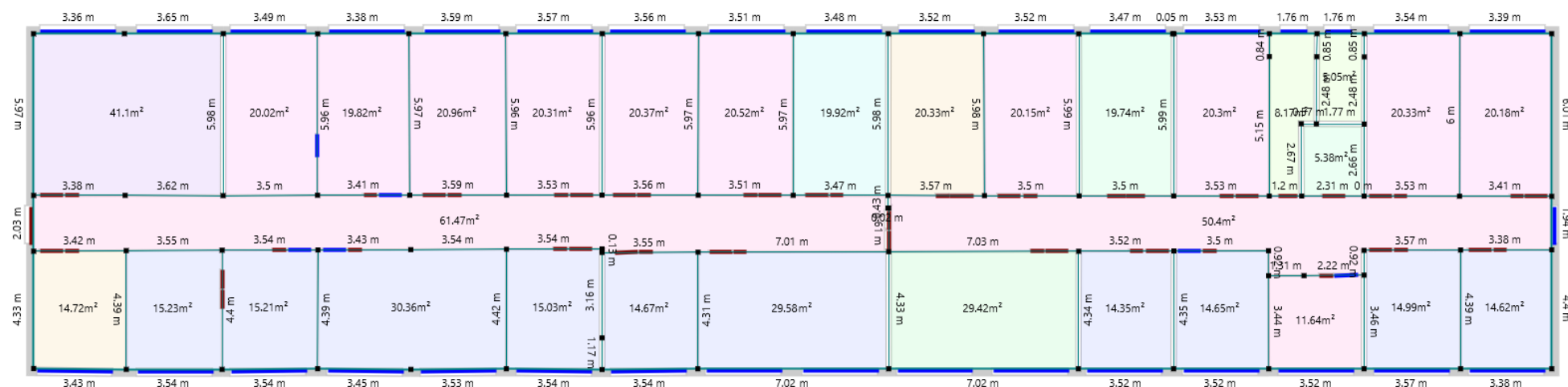


Figure 70 : Plan de zonage du R+1

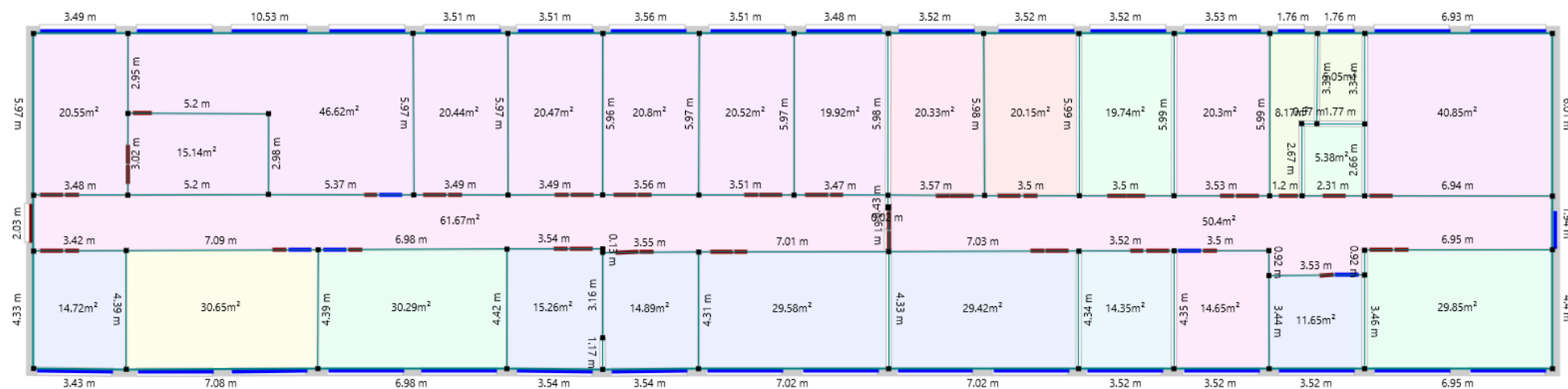


Figure 71 : Plan de zonage du R+2

Voici les déperditions obtenues par local à 20°C sans surpuissance, en W :

Pièce	Surface (m²)	Parois opaques	Baies et portes	Ponts	Conduction	Infiltration	Déperditions	Total (W/m²)
RdC_Dir.Num._Bureau 17	14,59	282	778	185	1 244	95	1 339	92
RdC_Dir.Num._Bureau 16	14,93	226	778	128	1 132	97	1 229	82
RdC_Dir.Num._Bureau 12	14,37	430	1 607	278	2 315	141	2 456	171
RdC_Dir.Num._Bureau 13	14,82	226	778	129	1 132	97	1 229	83
RdC_Dir.Num._Bureau 14	14,65	220	778	128	1 125	96	1 221	83
RdC_Dir.Num._Bureau 15	14,65	219	778	128	1 124	96	1 220	83
RdC_Labo.Titan_Salle 01	17,63	1 094	0	181	1 276	58	1 333	76
RdC_Labo.Titan_Labo Nano Mil	8,47	468	0	151	619	28	647	76
RdC_Labo.Titan_Bureau 01	10,40	369	290	147	807	68	875	84
RdC_Labo.Titan_Circu. 01	24,54	441	204	96	742	80	822	33
RdC_Dir.Num._Bureau 07	20,66	326	538	139	1 003	135	1 138	55
RdC_Dir.Num._Bureau 06	11,84	194	480	112	785	77	863	73
RdC_Dir.Num._Bureau 05	20,94	494	603	235	1 332	137	1 468	70
RdC_Labo.Titan_San 03	4,57	220	0	24	244	15	259	57
RdC_Labo.Titan_San 02	4,74	314	0	85	399	15	415	87
RdC_Dir.Num._Hall 01	27,15	278	844	167	1 289	177	1 466	54
RdC_Labo.Titan_Hall 02	13,11	317	408	104	829	86	914	70
RdC_Labo.Titan_Sas Nano Mil	5,87	30	0	0	30	19	50	8
RdC_Dir.Num._Circu.03	19,01	230	204	74	507	62	570	30
RdC_Dir.Num._Circu.04	18,73	91	0	0	91	61	152	8
RdC_Labo.Titan_Serveur	5,93	31	0	0	31	19	51	9
RdC_Dir.Num._Circu.	9,03	44	0	0	44	30	74	8
RdC_Labo.Titan_Labo. Microscope	38,28	1 611	0	203	1 813	125	1 938	51
RdC_Dir.Num._Sanitaires	5,93	29	0	0	29	19	49	8
RdC_Dir.Num._Bureau 11	17,62	997	94	174	1 265	115	1 380	78
RdC_Dir.Num._Salle Réunion 02	36,48	771	412	197	1 380	238	1 619	44
RdC_Dir.Num._Bureau 10	18,17	409	94	93	596	119	715	39
RdC_Dir.Num._Bureau 09	18,51	418	94	94	606	121	727	39
RdC_Dir.Num._Bureau 08	17,83	430	94	146	669	116	786	44
RdC_Dir.Num._Cuisine	25,82	658	798	254	1 710	169	1 879	73
RdC_Dir.Num._Circu.01	13,29	475	91	113	679	87	766	58
RdC_Dir.Num._Stockage 01	21,21	900	181	201	1 282	69	1 352	64
R+1_Bureau 10	14,67	415	417	112	944	110	1 054	72
R+1_Bureau 11	15,03	332	417	114	863	112	975	65
R+1_Bureau 13	15,23	341	417	114	872	114	986	65
R+1_Stockage 14	14,72	887	417	185	1 490	110	1 600	109
R+1_Bureau 13 BIS	15,21	340	417	114	871	114	985	65
R+1_Bureau 12	30,36	667	835	226	1 728	227	1 955	64
R+1_Bureau 09	29,58	824	835	223	1 882	221	2 103	71
R+1_Salle Réunion 08	29,42	1 009	835	223	2 067	220	2 287	78
R+1_Bureau 07	14,35	414	417	112	943	107	1 050	73
R+1_Bureau 06	14,65	406	417	112	935	110	1 045	71
R+1_Local Ménage	11,64	402	417	112	931	87	1 018	87
R+1_Bureau 04	14,99	348	417	112	878	112	990	66
R+1_Bureau 05	14,62	893	417	184	1 494	109	1 604	110
R+1_Circu.02	50,40	161	290	75	527	377	904	18

R+1_Circu.01	61,47	143	318	85	546	230	776	13
R+1_Bureau 03	20,18	1 115	417	207	1 740	151	1 891	94
R+1_Bureau 02	20,33	342	417	112	871	152	1 023	50
R+1_SAS San	8,17	184	149	59	392	61	453	56
R+1_Bureau 01	20,30	330	417	113	860	152	1 012	50
R+1_Bureau 24	20,15	329	417	113	859	151	1 010	50
R+1_Stockage 23	20,33	329	417	113	860	152	1 012	50
R+1_Bureau 17BIS	20,02	365	417	111	894	150	1 044	52
R+1_Salle Réunion 16	41,10	1 522	835	320	2 677	308	2 984	73
R+1_Salle_de_Pause_22	19,92	402	417	113	932	149	1 081	54
R+1_Bureau 21	20,52	416	417	113	947	154	1 100	54
R+1_Bureau 17	19,82	349	417	110	876	148	1 024	52
R+1_Bureau 20	20,37	424	417	114	955	152	1 107	54
R+1_Bureau 18	20,96	379	417	112	908	157	1 065	51
R+1_Bureau 19	20,31	376	417	112	906	152	1 058	52
R+1_San H	5,05	183	149	59	392	38	429	85
R+2_Bureau.10	14,89	540	417	146	1 104	114	1 217	82
R+2_Bureau.11	15,26	545	417	146	1 109	116	1 225	80
R+2_INF.13	30,65	1 086	835	292	2 213	234	2 446	80
R+2_Bureau.14	14,72	1 102	417	256	1 775	112	1 887	128
R+2_Secretariat.09	29,58	1 069	835	290	2 194	226	2 419	82
R+2_Bureau.08	29,42	1 070	835	290	2 195	224	2 419	82
R+2_CUI.07	14,35	538	417	145	1 100	109	1 210	84
R+2_ARC.06	14,65	538	417	145	1 100	112	1 212	83
R+2_Bureau.05	11,65	497	417	145	1 060	89	1 149	99
R+2_TPS.04	29,85	1 651	835	403	2 889	228	3 116	104
R+2_TPS.12	30,29	1 068	835	289	2 192	231	2 423	80
R+2_Circu.02	50,40	924	290	93	1 307	384	1 692	34
R+2_Circu.01	61,67	979	318	103	1 400	235	1 635	27
R+2_TPS.02	40,85	2 011	835	440	3 285	311	3 597	88
R+2_SAS San	8,17	322	149	75	546	62	608	75
R+2_ARC.01	20,30	746	417	146	1 309	155	1 463	72
RdC_Labo.Titan_Circu. 02	120,16	6 906	835	880	8 620	1 234	9 855	82
R+2_Bureau.27	20,15	612	417	145	1 175	154	1 328	66
R+2_Stockage.26	20,33	614	417	145	1 177	155	1 332	66
R+2_TPS.25	19,92	604	417	144	1 166	152	1 318	66
R+2_TPS.16	20,55	1 408	417	296	2 121	157	2 277	111
R+2_TPS.19BIS	15,14	204	0	0	204	58	261	17
R+2_TPS.24	20,52	609	417	145	1 171	156	1 328	65
R+2_TPS.22	20,47	610	417	145	1 172	156	1 328	65
R+2_TPS.21	20,44	608	417	145	1 170	156	1 326	65
R+2_TPS.23	20,80	620	417	146	1 183	159	1 342	65
R+2_TPS.20	46,62	1 626	1 252	435	3 313	356	3 669	79
R+2_San H	5,05	264	149	75	489	39	527	104

Annexe 3 : Consommations de la STD

	TRAVAUX (kWh EF)							
	Chauffage	Refroidissement	ECS	Eclairage	Auxiliaires de distribution	Ventilation	Usage spécifique	PV
Etat initial	154 423	3 551	1 861	8 633	332	1 858	35 961	0
Travaux 1	154 423	3 551	1 861	8 633	332	1 858	35 961	141 786
Travaux 2	144 918	3 509	1 861	8 633	331	1 856	35 961	0
Travaux 3	91 095	3 418	1 861	8 633	276	1 855	35 961	0
Travaux 4	125 596	2 979	1 861	8 619	336	1 852	35 961	0
Travaux 5	164 856	3 558	1 861	8 633	308	2 749	35 961	0
Travaux 6	154 423	3 551	1 861	8 633	332	4 018	35 961	0
Travaux 7	150 080	3 551	1 861	8 633	207	1 858	35 961	0
Travaux 8	140 211	2 740	1 861	8 633	306	1 822	35 961	0
Travaux 9	156 641	3 493	1 861	4 069	336	1 856	35 961	0
Travaux 10	151 957	2 767	1 861	8 633	318	3 265	35 961	0

	BOUQUETS DE TRAVAUX (kWh EF)							
	Chauffage	Refroidissement	ECS	Eclairage	Auxiliaires de distribution	Ventilation	Usage spécifique	PV
Etat initial	154 423	3 551	1 861	8 633	332	1 858	35 961	0
Bouquet de travaux 1	55 606	1 991	1 861	9 197	105	4 982	35 961	0
Bouquet de travaux 2	44 047	1 930	1 862	4 360	87	5 247	35 961	141 724
Bouquet de travaux 3	44 047	1 930	1 862	4 360	87	5 247	35 961	141 724

	TRAVAUX (kWh EF/m²)							
	Chauffage	Refroidissement	ECS	Eclairage	Auxiliaires de distribution	Ventilation	Usage spécifique	PV
Etat initial	79,8	1,8	1,0	4,5	0,2	1,0	18,6	0,0
Travaux 1	79,8	1,8	1,0	4,5	0,2	1,0	18,6	73,3
Travaux 2	74,9	1,8	1,0	4,5	0,2	1,0	18,6	0,0
Travaux 3	47,1	1,8	1,0	4,5	0,1	1,0	18,6	0,0
Travaux 4	64,9	1,5	1,0	4,5	0,2	1,0	18,6	0,0
Travaux 5	85,2	1,8	1,0	4,5	0,2	1,4	18,6	0,0
Travaux 6	79,8	1,8	1,0	4,5	0,2	2,1	18,6	0,0
Travaux 7	77,6	1,8	1,0	4,5	0,1	1,0	18,6	0,0
Travaux 8	72,5	1,4	1,0	4,5	0,2	0,9	18,6	0,0
Travaux 9	81,0	1,8	1,0	2,1	0,2	1,0	18,6	0,0
Travaux 10	78,6	1,4	1,0	4,5	0,2	1,7	18,6	0,0

	BOUQUETS DE TRAVAUX (kWh EF/m²)							
	Chauffage	Refroidissement	ECS	Eclairage	Auxiliaires de distribution	Ventilation	Usage spécifique	PV
Etat initial	79,8	1,8	1,0	4,5	0,2	1,0	18,6	0,0
Bouquet de travaux 1	28,8	1,0	1,0	4,8	0,1	2,6	18,6	0,0
Bouquet de travaux 2	22,8	1,0	1,0	2,3	0,0	2,7	18,6	73,3
Bouquet de travaux 3	22,8	1,0	1,0	2,3	0,0	2,7	18,6	73,3

Annexe 4 : Glossaire

1. Généralités

NOM	DÉFINITION
Inertie	Capacité d'un matériau à emmagasiner de la chaleur et de la restituer.
Perméabilité à l'air	Aptitude de l'enveloppe à se laisser traverser par l'air.
Energie primaire	Energie fossile équivalente nécessaire pour disposer d'1 kWh sur le lieu d'utilisation.
Energie finale	Energie réelle consommée par l'utilisateur.
Degré Jour Unifié	Différence entre la température extérieure et une température de référence permettant de réaliser des estimations de consommations d'énergie pour maintenir un bâtiment confortable en proportion de la rigueur de l'hiver ou de la chaleur de l'été.
Court terme	Actions à temps de retour sur investissement faible (objectif 2030 du DEET).
Moyen terme	Actions à temps de retour sur investissement moyen (objectif 2040 du DEET).
Long terme	Actions à temps de retour sur investissement long (objectif 2050 du DEET).

2. Parois opaques, parois vitrées et isolation

NOM	DÉFINITION
Parois opaques	
Acrotère	Elément d'une façade située au-dessus du niveau de la toiture ou de la terrasse pour constituer des rebords ou des garde-corps, pleins ou à claire-voie.
Combles perdus	Espace sous la toiture difficile, voire impossible à aménager à cause d'une hauteur libre moyenne insuffisante, ou d'une mauvaise disposition de la toiture.
Faux-combles	Partie supérieure d'un comble brisé, au-dessus du comble mansardé et de la ligne de bris de la toiture.
Toiture-terrasse	Toiture plate qui sert de couverture à un bâtiment. Elle peut rester inaccessible ou être utilisée comme espace à vivre ou espace accueillant des éléments techniques.
Rampant	Partie en pente de la face intérieure du toit.
Faux-plafond	Ou plafond suspendu est un plafond situé sous le plancher principal. Constitué généralement de matériaux légers comme des plaques de plâtre fixés sur une structure métallique.
Mur ou façade rideau	Type de façade légère qui assure la fermeture de l'enveloppe du bâtiment sans participer à sa stabilité Les panneaux sont appuyés devant les nez de plancher, étage par étage, sur un squelette fixe.
Mur ou façade semi-rideau	Constituée de deux parois, une intérieure lourde et l'autre extérieure légère, elle n'existe que lorsque la structure du bâtiment comporte des allèges en béton ou maçonneries. Elle est alternativement constituée de bandes horizontales étanches et de remplissages vitrés non étanches situés devant les allèges.

Façade légère	Façade constituée d'une ou plusieurs parois, dont la paroi extérieure, au moins, est caractérisée par une masse faible, généralement inférieure à 100 kg/m².
Bardage	Revêtement de façade fixé mécaniquement dans un plan distinct de ou de la maçonnerie avec une lame d'air ou un isolant thermique intermédiaire.
Chape flottante	Chape mince en mortier de ciment coulée sur une feuille plastique relevée à sa périphérie de sorte que l'ouvrage reste indépendant de son support.
Parois vitrées	
Ouvrant	Partie mobile de la menuiserie.
Dormant	Bâti fixe scellé à la maçonnerie sur lequel s'articule les vantaux.
Vantail ou battant	Châssis mobile d'une fenêtre ouvrable à la française ou à l'anglaise.
Châssis	Elément de fenêtre, fixe ou ouvrant, composée principalement d'un cadre recevant une parie vitrée, grillagée, pleine ou à claire-voie.
Clair de jour	Luminosité de la fenêtre dépendant de la plus ou moins grande largeur des profilés des montants.
Appui	Partie inférieure d'une baie sur laquelle repose la croisée ou le bloc baie.
Linteau	Elément qui ferme le haut d'une baie et soutient la maçonnerie située au-dessus de l'ouverture.
Tableau	Ouverture dans le mur pour accueillir la menuiserie.
Isolation	
Flocage	Procédé de réalisation de revêtements par application ou projection de courtes fibres textiles sur une surface préalablement enduite d'une substance adhésive.
Pare-vapeur	Feuille ou membrane étanche à la vapeur d'eau. Son rôle est d'empêcher ou d'entraver fortement le cheminement de la vapeur d'eau à travers les parois. Dans une isolation thermique, il importe de disposer l'écran vers l'intérieur du local afin d'éviter le risque de condensation de la vapeur dans l'épaisseur de l'isolant.
Frein vapeur	A la différence du pare-vapeur, le frein vapeur va laisser partiellement la vapeur d'eau passer, ils sont hygro variable (intelligent). Ainsi, les murs peuvent respirer tout en étant protégés.
Rupteur de pont thermique	Une barrette en polyamide armée de fibres de verre est introduite entre la partie extérieure et la partie intérieure du profilé.

3. Systèmes énergétiques

NOM		DÉFINITION
Généralité		
Compteur		Organe servant à mesurer la quantité d'énergie.
Sous-compteur		Subdivision du compteur principal permettant d'isoler les consommations par poste.
Gestion centralisée	technique	Assure le pilotage à distance d'une installation technique et la lecture d'informations : alarmes, mesures, états de marche, paramètres, etc. Plus précisément, elle permet la télégestion d'un système intégré sur un périmètre technique complexe, nécessitant une présence humaine.
Gestion bâtiment	technique du	Inclut la GTC avec un périmètre plus étendu. Elle permet d'avoir le contrôle de l'ensemble des lots d'un même bâtiment. Elle permet donc d'améliorer la performance énergétique du bâtiment en réalisant des économies d'énergie via : la régulation du chauffage, de la ventilation, du refroidissement, de l'éclairage, etc.
Chauffage et refroidissement		
DRV		(Débit Réfrigérant Variable) Type de pompe à chaleur avec émission directe dans les locaux par unité intérieur reliée à un groupe extérieur via un circuit de fluide frigorigène
Monotube		Chaque tube est continu et sans raccord du collecteur au radiateur. Le collecteur est relié à la source de chaleur, en général, la chaudière.
Monotube série		Tout le débit de l'installation traverse intégralement chaque corps de chauffe, cette solution, ni souple, ni confortable, ni économique n'est plus utilisée dans le neuf.
Monotube dérivé		Le monotube dérivé alimente successivement chaque radiateur, doté d'un robinet spécifique monotube, à partir d'une seule tuyauterie. Lorsque le radiateur est demandeur de chaleur, l'eau traverse le corps de chauffe, sinon elle est dérivée.
Bitube		Chaque radiateur est alimenté individuellement, aller et retour, à partir d'un collecteur. Les tubes d'alimentation et de retour sont passés dans des fourreaux dans la dalle béton armé ou la chape.
Chaudière à ventouse		Une chaudière à ventouse fonctionne en circuit étanche. Elle prélève directement l'air servant à la combustion du gaz et rejette les gaz brûlés également directement sur l'extérieur. Son fonctionnement ne nécessite pas de conduit de cheminée.
Ventouse		La ventouse servant à la prise d'air et à l'évacuation des gaz brûlés peut être horizontale et déboucher en façade, ou verticale et déboucher en toiture.
Chaudière condensation	gaz à	Son principe consiste à récupérer non seulement la chaleur des fumées mais aussi la chaleur latente de la vaporisation de l'eau produite par combustion de l'hydrocarbure gazeux, chaleur qui, avec des chaudières classiques, s'échappait par les gaz brûlés.
Chaudière mixte		Une chaudière peut assurer le chauffage seul (simple service) ou le chauffage et l'ECS (double service). Une chaudière mixte traite les deux.
Rendement d'une chaudière		Rapport de l'énergie fournie par la chaudière sur l'énergie consommée par celle-ci.
Rendement sur PCI		Quantité de chaleur obtenue en brûlant le combustible.

Veilleuse	Petite flamme permanente permettant l'allumage automatique du brûleur. Un allumage électronique peut dispenser de cette veilleuse et économiser sa consommation.
Allumage électronique	Dispense de la veilleuse, ce qui engendre des économies d'énergie. Le contrôle de flamme se fait par ionisation pour une grande sécurité.
Tirage forcé	Un système aspire l'air nécessaire à la combustion ou extrait les fumées pour augmenter le rendement.
Tubage	Tube introduit à l'intérieur d'un conduit de fumée existant.
PAC à absorption	Le principe des PAC à absorption est de fournir de la chaleur et/ou du froid par condensation et évaporation d'un frigorigène comme dans les machines à compression.
Radiateurs eau chaude	Les radiateurs sont fabriqués en acier, aluminium ou fonte.
Panneaux rayonnants	Emetteurs de chaleur par le rayonnement.
Plancher chauffant	Le principe de fonctionnement du plancher chauffant consiste à faire circuler de l'eau chaude dans des tubes ou à faire chauffer des câbles ou des fils électriques. Les planchers chauffants peuvent être réversibles, ils rafraîchissent alors l'été.
Convection	L'air du bâtiment est chauffé directement par un brassage forcé d'air réchauffé par les aérothermes ou générateurs d'air chaud.
Echangeur	Elément intérieur chauffé par la combustion du gaz sur lequel vient s'échauffer l'eau de chauffage ou l'ECS.
Puissance nominale	Performance moyenne annoncée par le constructeur de l'appareil.
Circulateur	Un circulateur ou une pompe assure et accélère la circulation de l'eau de chauffage ou de l'eau de refroidissement dans les systèmes de production, les réseaux de distribution et les émetteurs.
Robinet thermostatique	Positionné sur un radiateur à eau, permet de régler et maintenir une température en fonction de l'utilisation de la pièce et des apports de chaleur annexes (ensoleillement, chaleur humaine, chauffage d'appoint, ...).
Régulation modulante	Une régulation électronique modulante fait varier la combustion en fonction des besoins, dans la plage de puissance.
Thermostat	Le thermostat compare la température extérieure ou de consigne avec la température de l'eau de chauffage. Puis il enclenche le brûleur pour relancer la température de l'eau, en fonction des besoins.
Sonde de température extérieure	Mesure et enregistre les variations de la température extérieure et la transmet à la régulation de la production de chauffage.
Eau chaude sanitaire	
Point de puisage	Embout permettant de puiser de l'eau : robinet, douche, baignoire.

Thermostat	Limite automatiquement et en permanence la température de l'eau. Il régule le chauffage de l'eau en fonction des besoins.
Renouvellement d'air	
Bouche d'extraction	Orifice par lequel l'air est extrait d'un local.
Bouche de soufflage	Orifice par lequel l'air est soufflé dans un local.
Entrée d'air	Petite ventouse ou petite grille d'entrée d'air frais dans les locaux. Elle peut être située sur des menuiseries extérieures ou sur des parois. Elle peut également être de type hygroréglable pour s'adapter à l'humidité du local.
Autoréglable	Débit de renouvellement d'air constant.
Hygroréglable	Débit de renouvellement d'air qui s'adapte en fonction de l'humidité dans la pièce.
Ventilation autoréglable	Ventilation mécanique simple flux avec entrées d'air et bouches d'extraction autoréglables.
Ventilation simple flux	Dispositif de ventilation consistant à renouveler l'air dans les locaux, soit : - Par amenée d'air frais par des entrées d'air et d'extraire l'air vicié par une bouche d'extraction ; - Par apport d'air neuf via les bouches de soufflage.
Ventilation type A	hygroréglable Ventilation simple flux dont le débit d'extraction est asservi au taux d'humidité du local.
Ventilation type B	hygroréglable Ventilation simple flux à régulation de débit. L'ouverture des extractions et des entrées d'air sont asservies au taux d'humidité du local.
Ventilation double flux	Dispositif de ventilation comportant un échangeur permettant de récupérer entre 40% et 90% de l'énergie calorifique contenue dans l'air extrait.
Ventilation répartie	Système de ventilation des locaux d'habitation par extraction avec des petits ventilateurs de faible puissance disposés dans chaque pièce, et réglables manuellement selon les besoins.
Sonde ou registre CO ₂	Permet la modulation des débits d'air en fonction du taux de CO ₂ mesuré dans le local.
Détection de présence	Permet la modulation des débits d'air en fonction de l'occupation dans le local (sensible à la chaleur dégagée ou aux mouvements des occupants).
Eclairage	
Incandescent	Une lampe à incandescence est un luminaire qui éclaire en portant à incandescence par effet Joule un filament de tungstène. Ainsi, le filament émet de la lumière et de la chaleur par incandescence.
Halogène	Luminaire dont l'atmosphère gazeuse contient un halogène et qui permet un éclairage progressif.

Fluorescent	Lampe électrique de forme tubulaire.
Fluo-compact (LFC)	C'est un tube fluorescent dont le tube est miniaturisé, plié en deux, trois ou quatre, ou encore enroulé, doté d'un culot contenant un ballast électronique pour les lampes fluocompactes récentes, ou un ballast ferromagnétique pour les anciennes lampes fluocompactes.
LED	« Light Emitting Diode », également appelée DEL « Diode électroluminescente » est un dispositif opto-électronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique.
Ballast	Dispositif interposé entre l'alimentation et une ou plusieurs lampes à décharge et qui sert principalement à limiter le courant dans le circuit électrique. Un ballast peut aussi comporter un transformateur de la tension d'alimentation, des éléments de correction du facteur de puissance et peut, seul ou en combinaison avec un dispositif d'amorçage, assurer les conditions requises pour l'amorçage de la ou les lampes.
Eclairement	L'éclairement en un point d'une surface est le quotient du flux f reçue par un élément de la surface contenant le point, par l'aire A de cet élément. $E=f/A$, unité : lux (lumen/m ²)
Efficacité lumineuse	Quotient du flux lumineux émis par la puissance consommée par la lampe. Unité lm/W.
Puissance absorbée	La puissance absorbée (P) mesure en watts (W) la quantité d'énergie consommée par la lampe et son appareillage.
PS	Protection Solaire
Second jour	En éclairage naturel, une pièce est dite éclairée en second jour, lorsque la lumière naturelle doit traverser un premier local avant de pénétrer dans la pièce.

4. Abréviations, coefficients et paramètres

SIGLE	DÉFINITION
Généralités	
DEET	Décret Eco-Energie Tertiaire (ou Décret Tertiaire).
OPERAT	Observatoire de la Performance Energétique de la Rénovation et des Actions du Tertiaire. Plateforme numérique de l'ADEME pour réaliser les déclarations de consommations d'énergie.
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.
SDP	Surface de plancher (m ²).
SU	Surface utile (m ²).
SHOB	Surface hors œuvre brut ou surface de plancher développée (m ²).
SHON	Surface hors œuvre nette (m ²).
Ubat	Coefficient déperditif de l'enveloppe (W/m ² .K).
Cep	Consommation d'énergie primaire (kWhef/m ² .an) – Suivant la surface définie dans l'étude.
Cef	Consommation d'énergie finale (kWhef/m ² .an) – Suivant la surface définie dans l'étude.
Crelat	Consommation d'énergie finale en valeur relative (kWhef/m ² SDP.an).
Créf	Consommation de référence (kWhef/m ² SDP.an).
Cabs	Consommation d'énergie finale en valeur absolue (kWhef/m ² SDP.an).
DJU	Degré Jour Unifié.
CEE	Certificats d'Economie d'Energie.
HT	Hors taxes.
TTC	Toutes taxes comprises.
Parois opaques	
Up	Coefficient déperditif d'une paroi (W/m ² .K).
Ue	Coefficient déperditif équivalent prenant en compte les ponts thermiques de structure et les contacts (terreplein, sous-sol/vide sanitaire, toiture végétalisée, ...) (W/m ² .K).
b	Coefficient de réduction de température (W/K.m ³).
Rglobale	Résistance thermique d'une paroi (m ² .K/W).
Rsi	Résistance superficielle intérieure (convection entre l'air intérieur et la paroi).
Rse	Résistance superficielle extérieure (convection entre l'air extérieur et la paroi).
PT	Pont thermique.
Parois vitrées	
Ug	Coefficient déperditif de la partie vitrée de la menuiserie (W/m ² .K).
Sg	Facteur solaire de la partie vitrée de la menuiserie.
Ujn	Coefficient déperditif de la menuiserie avec protection (W/m ² .K).
Uw	Coefficient déperditif de la menuiserie sans protection (W/m ² .K).
Sw	Facteur solaire de la menuiserie sans protection.
Tlw	Transmission lumineuse de la menuiserie sans protection.

Isolation	
ITI	Isolation thermique par l'intérieur.
ITE	Isolation thermique par l'extérieur.
ITR	Isolation thermique répartie.
LDV	Laine de verre.
LDR	Laine de roche.
LMI	Laine minérale.
PSE	Polystyrène expansé.
PUR	Polyuréthane.
PXE	Polystyrène extrudé.
R	Résistance thermique du matériau ($m^2.K/W$).
Systèmes énergétiques	
ECS	Eau chaude sanitaire.
ECL	Eclairage.
VMC	Ventilation mécanique contrôlée.
CTA	Centrale de traitement d'air.
SF	Simple flux.
DF	Double flux.
PAC	Pompe à chaleur.
COP	Coefficient de performance, en chaud.
SCOP	Coefficient de performance saisonnier, en chaud.
EER	Ratio d'efficacité énergétique, en froid.
SEER	Ratio d'efficacité énergétique saisonnier, en froid.
Pn	Puissance nominale.
Pabs	Puissance absorbée.
VRV ou DRV	Volume de réfrigérant variable ou débit de réfrigérant variable.