

Bâtiment Fresnel

Audit énergétique en vue d'une programmation architecturale Rapport final

		Date	28/04/2026
Chef de projet	Simon Barret Julien Lacombe	Référence rapport	OP23-071
		N° version	2
Chargé d'études	Mahé DAVERIO	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-260409-MDJL-OP23-071-Fresnel	09/04/2026	1	/
TE-260428-MDJL-OP23-071-Fresnel	28/04/2026	2	Prise en compte des remarques AMU

Table des matières

SUIVI DES INDICES.....	1
PARTIE A PRELIMINAIRES.....	3
1. PRESENTATION DE L'ETUDE	3
2. DEROULEMENT DE LA MISSION DE L'AUDIT ENERGETIQUE	4
2.1 <i>Eléments mis à disposition pour l'audit</i>	4
2.2 <i>Contenu de la mission</i>	4
2.3 <i>Visite et mesures réalisées</i>	4
2.4 <i>Travaux effectués</i>	4
3. CONTEXTE REGLEMENTAIRE.....	5
3.1 <i>Réglementation élément par élément dans les bâtiments existants</i>	5
3.2 <i>Réglementation globale dans les bâtiments existants</i>	5
3.3 <i>Réglementation applicable au projet</i>	5
3.4 <i>Dispositif Eco-énergie tertiaire</i>	6
PARTIE B DESCRIPTION GENERALE DU SITE	7
1. CARACTERISTIQUES DU SITE	7
2. DONNEES CLIMATIQUES.....	8
3. POTENTIEL PHOTOVOLTAÏQUE	9
4. ANALYSE DU CONFORT	9
5. DIAGNOSTICS AMIANTE, QAI ET ACCESSIBILITE	9
PARTIE C SYNTHESE	10
1. ETAT DES LIEUX.....	10
2. SCENARIOS DE RENOVATION ET EVOLUTION DES INDICATEURS	11
3. POSITIONNEMENT DEET	12
PARTIE D DESCRIPTION DETAILLEE DE L'ETAT INITIAL ET DES ACTIONS PROPOSEES :	13
1. ENVELOPPE DU BATIMENT.....	13
1.1 <i>Toitures</i>	13
1.2 <i>Murs</i>	16
1.3 <i>Fenêtres, portes et protections solaires</i>	18
1.4 <i>Plancher bas</i>	22
1.5 <i>Etanchéité à l'air</i>	23
1.6 <i>Ponts thermiques</i>	24
1.7 <i>Inertie thermique</i>	24
2. SYSTEMES DE VENTILATION	25
3. EQUIPEMENTS	27

3.1 <i>Chauffage</i>	27
3.2 <i>Climatisation</i>	30
3.3 <i>ECS</i>	32
3.4 <i>Eclairage</i>	33
3.5 <i>Autres équipements électriques</i>	34

PARTIE E ANALYSE DES CONSOMMATIONS..... 35

1. CONSOMMATIONS ENERGETIQUES TOTALES ET CHOIX DE L'ANNEE DE REFERENCE	35
2. CONSOMMATIONS DE CHAUFFAGE	36
3. CONSOMMATIONS ELECTRIQUES.....	36
4. DISPOSITIF ECO ENERGIE TERTIAIRE	37
5. ANALYSE DES CONSOMMATIONS D'EAU.....	37

PARTIE F SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE A L'ETAT INITIAL 38

1. PRESENTATION DE LA MODELISATION	38
2. DEPERDITIONS	38
3. CONSOMMATIONS.....	39

PARTIE G BILAN DES ACTIONS PROPOSEES 40

1. PRESENTATION DES ACTIONS DE RENOVATION ET SCENARIOS	40
2. CHIFFRAGE DES TRAVAUX	41
3. RESULTATS PAR VARIANTES DE TRAVAUX	44
3.1 <i>Approche Energétique</i>	44
3.2 <i>Analyse financière</i>	45
3.3 <i>Analyse Carbone</i>	46
4. RESULTATS PAR SCENARIOS.....	47
4.1 <i>Approche énergétique</i>	47
4.2 <i>Analyse financière</i>	47
4.3 <i>Analyse Carbone</i>	47
4.4 <i>Confort d'été</i>	48

ANNEXE 1 : LOCAUX VISITES..... 49

ANNEXE 2 : DETAILS DE LA STD..... 50

ANNEXE 3 : CONSOMMATIONS DE LA STD..... 57

ANNEXE 4 : GLOSSAIRE 61

1. GENERALITES	61
2. PAROIS OPAQUES, PAROIS VITREES ET ISOLATION	61
3. SYSTEMES ENERGETIQUES	63
4. ABREVIATIONS, COEFFICIENTS ET PARAMETRES	67

Partie A Préliminaires

1. Présentation de l'étude

Aix-Marseille Université (AMU) est propriétaire du **bâtiment Fresnel**. Cet ensemble, situé au 52 Avenue Escadrille Normandie Niemen à Marseille 13^{ème}, va faire l'objet d'un marché global de performance énergétique 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. Le niveau BBC Rénovation est également recherché dans le cadre de cette opération.**

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 du bâtiment a été effectuée le **22/01/2026**.

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 décideurs 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 décideurs 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		Estimations de 2021 à 2022
Consommations annuelles (combustible)	X		Estimation de 2021 à 2022 (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 Emilien Rousset d'AMU. Etaient également présents Célia Chavannes (AREP) et Julien Frénot (Synapse).

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

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

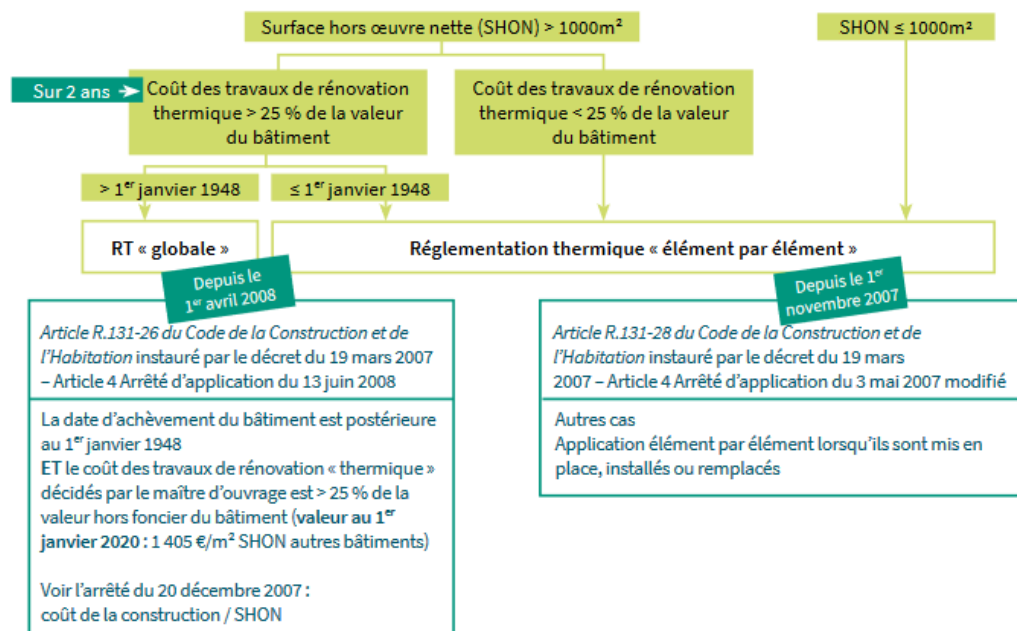
Type de mesure	OUI	NON	Commentaires
Température intérieure des locaux chauffés	X		Entre 19 °C et 21 °C le jour de la visite.
Température intérieure des locaux non chauffés		X	-
Température extérieure	X		Non relevée
Humidité intérieure (hygrométrie)		X	Il n'a pas été constaté de dégradations pouvant être dues à des problèmes d'humidité.
Thermographie infrarouge		X	
Débits d'air		X	
Intensité lumineuse		X	

2.4 Travaux effectués

Quelques travaux sont intervenus sur cet établissement ces dernières années :

- Remplacements ponctuels de menuiseries extérieures en 2022
- Calorifugeage en sous-station (hors échangeur)
- Rénovation de la chaufferie principale gaz en 2022

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 en 1964. 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.

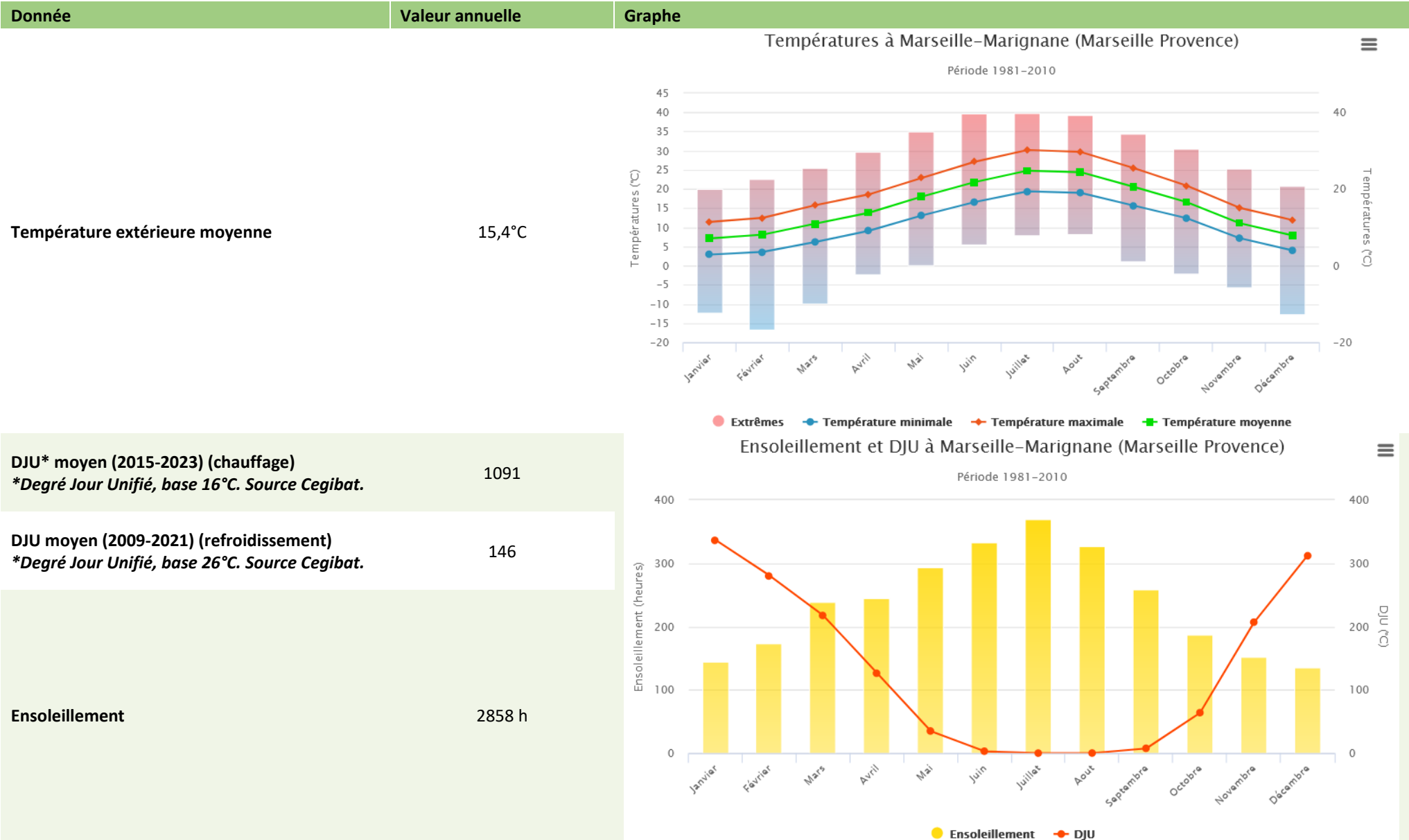
Partie B Description générale du site

1. Caractéristiques du site

Nom	Institut Fresnel
Adresse	52 Avenue Escadrille Normandie Niemen Marseille 13ème
Altitude moyenne	114 m
DJU base 16°C	1105
Nombre d'étages	5 niveaux
Surfaces utiles par bâtiment	5074 m²SU
Orientations principales	Sud / Nord
Mitoyennetés	Aucune
Masques	Bâtiment de 8 mètres de hauteur au Sud-Est ; nombreux arbres
Occupation	Occupation journalière 8h -19h Diminution importante de l'occupation en août et à Noël
Type de chauffage	Réseau de chaleur du Campus de Saint-Jérôme
Objectif de performance énergétique	Rénovation performante avec obligation réglementaire DEET



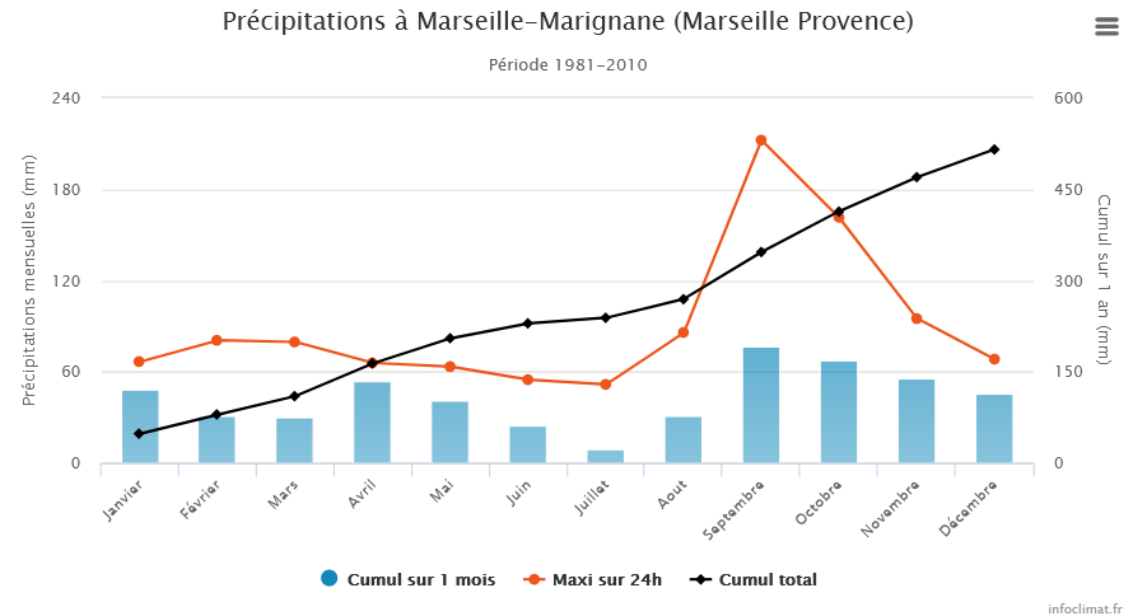
2. Données climatiques



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

Précipitations cumulées

515 mm



3. Potentiel Photovoltaïque

L'établissement est pré-identifié comme **intéressant** 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 inexistantes. Les surfaces disponibles et sans équipement sont relativement importantes.

4. Analyse du confort

Le sujet n'a pas été abordé auprès d'occupants lors de la visite.

5. Diagnostics Amiante, QAI et Accessibilité

S'agissant de l'amiante, le rapport DTA de mars 2026 fait état de présence d'amiante dans les matériaux suivants :

- Plafonds en béton avec enduit à base de ciment (R+2)
- Les plaques de fibres-ciments (panneaux en contreplaqué et panneaux de verre ; allèges et coffres de menuiseries)
- Les joints d'étanchéité (locaux CVC)
- Les conduits en fibres-ciment (toiture)
- Mastic vitrier (menuiseries autour du panneau vert)
- Panneaux de cloisons lisses préfabriqués en fibres-gypse

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

Le diagnostic d'accessibilité du bâtiment n'a pas été transmis.

Partie C Synthèse

1. Etat des lieux

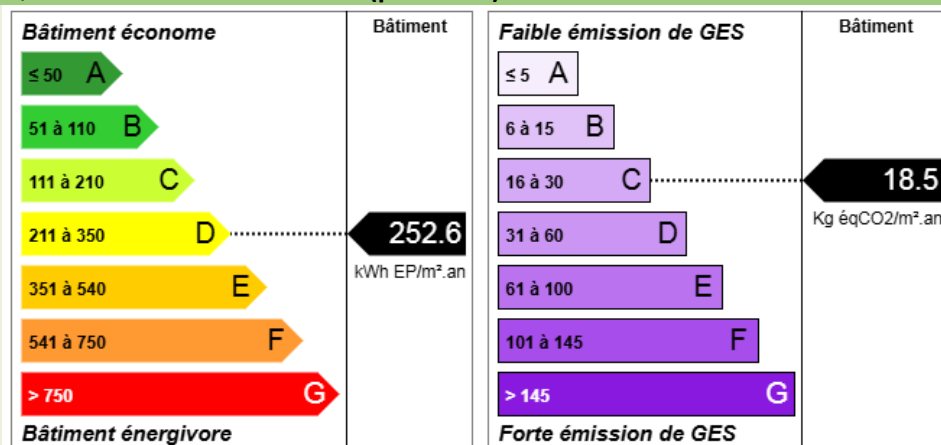
DONNÉES ADMINISTRATIVES ET D'ACTIVITÉS

Nom	Bâtiment Fresnel
Activité	Salle d'enseignement, bureaux et laboratoire
Adresse	52 Avenue Escadrille Normandie Niemen Marseille 13ème
Année de construction	1964
SU (Surface Utile chauffée)	5074 m²SU
Objectif de performance énergétique	Rénovation performante avec obligation réglementaire DEET
Type de chauffage	Réseau de chaleur urbain

BILAN DES CONSOMMATIONS ANNUELLES : MÉTHODE FACTURES

	Chauffage (kWh EF ou kWh PCI/an)	Electricité (kWh EF)
Année 2021 (estim.)	294 540	523 900
Année 2022 (estim.)	240 667	515 064
Moyenne des consommations [kWh EF/m²SU.an] (estim.)	52.7	102

ÉTIQUETTES ÉNERGIE ET CLIMAT (par m²SU) – sur base estimation 2021-2022



OCCUPATION DE L'ETABLISSEMENT

Occupation hebdomadaire	Occupation en journée (9h-18h) du lundi au vendredi
Occupation annuelle	Fermeture annuelle en août (5 semaines) Deux semaines de fermeture à Noël

BILAN CONFORT

Confort d'été	Inconfort important
Confort hygrothermique (Hiver)	Mauvais : défauts d'étanchéité des menuiseries simple vitrage Absence d'isolation en façade
Qualité d'air intérieur	Pas de relevé transmis Atrium central semblant relativement confiné lors de la visite

DESCRIPTION SOMMAIRE DES PAROIS ET SYSTEMES

Murs extérieurs	Murs en béton préfabriqué non isolés
Toiture	Toiture terrasse gravillonnée sur dalle béton (Hypothèse : Isolation de 5 cm)
Menuiseries	Simple vitrage métallique
Protections solaires	Aucune / Quelques volets roulants
Plancher bas	Dalle béton non isolée sur sous-sol
Ventilation	Ouverture des fenêtres / Grilles en façade
Type de chauffage	Un échangeur sur le réseau de la chaufferie gaz naturel à condensation (2022) – Radiateurs à ailettes / Radiateurs en acier dépourvus de régulation thermostatique
Type d'ECS	Ballons décentralisés électriques "effet joule"
Eclairage	LED / Tubes fluorescents T8

2. Scénarios de rénovation et évolution des indicateurs

Des commentaires détaillés sont présentés dans la **partie G. Bilan des actions proposées.**

Scénario	Travaux	Coût des travaux (HT)	Coût / m ² _{SU} (HT)	Economies annuelles	Eco. Energie /Base STD	Emissions de CO2 (kg CO2/m ² .an)	Gain CO2
	Isolation de la toiture	405 000 €	80 €	4 326 €	3%	9%	11,2
	Isolation des murs de façade par l'extérieur	707 115 €	139 €	34 587 €	21%	26%	8,2
	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) + BSO	1 836 000 €	362 €	13 769 €	9%	14%	10,3
	Ventilation : Mise en place d'une CTA double flux	936 000 €	184 €	-4 624 €	-3%	3%	12,1
Bouquet de travaux de programmation	Mise en œuvre de brasseurs d'air plafonniers	50 000 €	10 €	-403 €	-0,4%	6%	11,7
	Calorifugeage des échangeurs (sous-station) et des canalisations EC (sous-sol) + Panoplies hydrauliques neuves	20 000 €	4 €	610 €	1%	7%	11,6
	GTB + Mise en œuvre de régulateurs thermostatiques	245 500 €	48 €	7 429 €	5%	10%	10,9
	Mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques	232 500 €	46 €	17 765 €	17%	22%	11,7
	Regroupement des productions de climatisation	128 000 €	25 €	462 €	0%	6%	11,6
	Mise en œuvre d'un éclairage performant	36 000 €	7 €	1 645 €	3%	9%	11,5
	Global	4 596 115 €	906 €	69 934 €	50%	53%	6,4

Par ailleurs, les mesures suivantes dont les gains ne peuvent pas 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 œuvre d'une gestion technique du bâtiment (GTB).**

3. Positionnement DEET

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

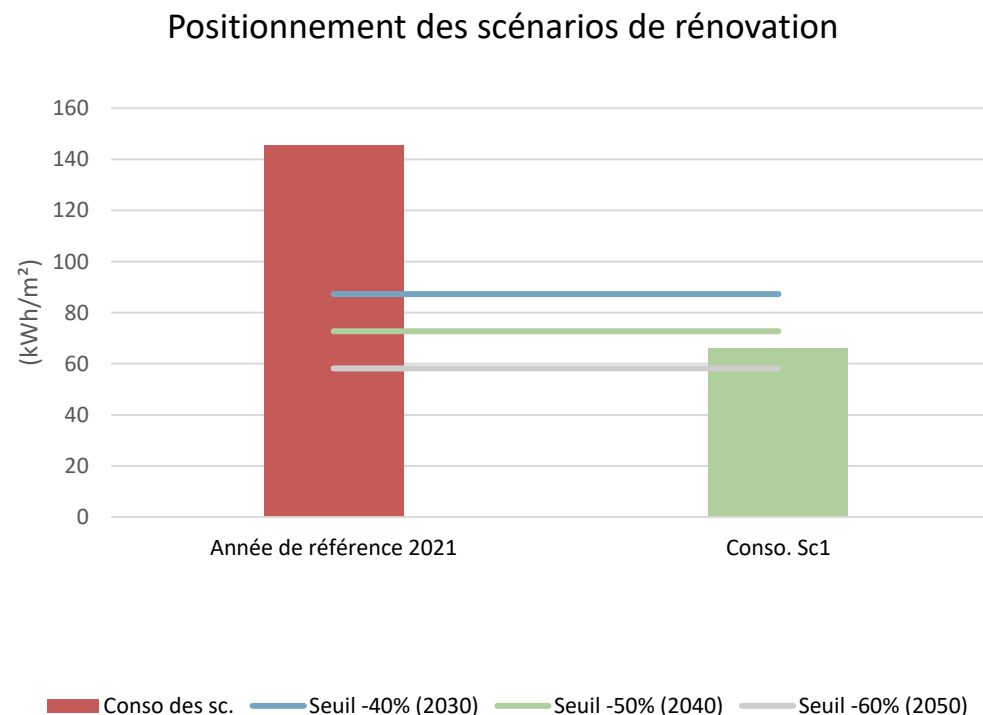


Figure 1 : Positionnement des scénarios vis-à-vis du décret tertiaire

Il est établi que le scénario d'intervention est compatible avec le **seuil de 2040** de réduction de consommation (seuil en valeur relative : -50% ; les seuils en valeur absolues n'étant pas publiés pour cette typologie de bâtiment).

Par ailleurs, comme vu plus bas, dans la section d'analyse des consommations, une part importante des consommations du bâtiment sont liées à des consommations électriques liés au process de laboratoire (ou à de la bureautique), sur lesquels un gain énergétique est également possible.

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 ce bâtiment : il s'agit d'une toiture terrasse gravillonnée non accessibles au public.

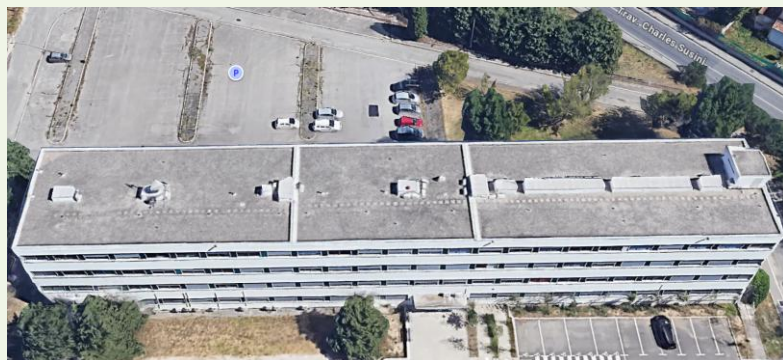


Figure 2 : visuel Google Map de la toiture terrasse



Figure 3 : visuel de la toiture terrasse

RECOMMANDATIONS

Potentielle implantation de panneaux photovoltaïques

Il existe un intérêt à installer des panneaux photovoltaïques sur cette toiture n'ayant aucun masque solaire lointain. Il faudra conserver des cheminements possibles en toiture et s'éloigner des équipements techniques (ou surélever les panneaux) pour éviter l'impact de masques proches avec un soleil rasant.

Il est important d'agir simultanément sur la réfection de toiture (isolation, étanchéité) et sur la mise en place de panneaux photovoltaïques, pour disposer d'assemblages support PV / Etanchéité sous avis technique. Les systèmes lestés ne sont pas privilégiés dans le cadre de ce rapport d'audit, en l'absence de connaissance sur les contraintes structurelles. N.B. : avant la mise en œuvre de panneaux photovoltaïques, une validation par étude de structure sera à réaliser.

Malgré une surface importante en toiture de 1230 m², les nombreux passages d'équipements techniques nous poussent à proposer une surface photovoltaïque de « seulement » 420 m² :

De chaque côté du cheminement central, deux bandes de 2m*50m de panneaux sont prises en compte.

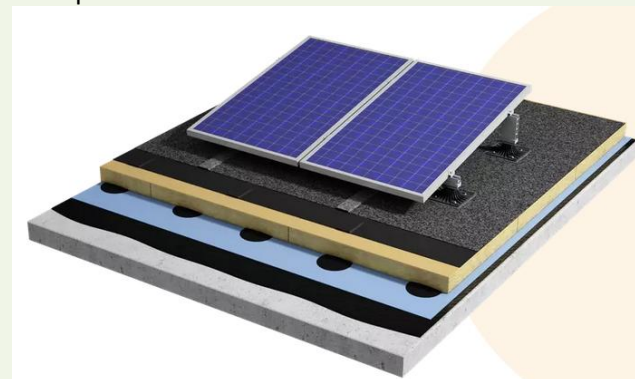


Figure 5 : Types de fixations pris en compte

Le niveau d'isolation précis de la toiture terrasse n'est pas connu. Aucune intervention récente de réfection de l'étanchéité et/ou de l'isolation n'a été portée à notre connaissance.

Dans ces conditions, le plus probable est que l'isolation date de la construction du bâtiment ; étant donnés les habitudes constructives à la date de la construction du bâtiment, il est donc raisonnable de supposer une épaisseur d'isolation autour de 5 cm environ.

Le niveau supérieur est irrégulier : de nombreux défauts de planéité sont visibles à l'œil nu.

Des édicules de faible hauteur (environ 1 mètre) sont présents au droit des gaines de la circulation centrale ; un édicule plus important (2 m environ) au droit de l'escalier Est du bâtiment, permet l'accès à la toiture.

Composition de la paroi (toiture courante): Dalle de faux-plafond en laine minérale (1 cm) + Plénum (30 cm) + Dalle Béton (supposé 20 cm) + Isolant de type non connu (5 cm supposés) + couverture gravillonnée (5 cm)

Etat : Vétuste

Coefficient U estimé : 0.60 W/m².K (méthode Th-U)

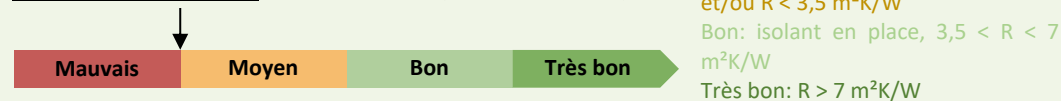


Figure 4 : Performance thermique de la toiture

La hauteur d'acrotère est de l'ordre de 20 à 30 cm, selon la planéité irrégulière de gravillons présents.

Les panneaux photovoltaïques pris en compte dans l'étude sont des panneaux TSM450 du Fabricant Vertex S+ ou équivalent. Ces modules ont une surface de 1.99 m². Ils permettent de fournir 450 Wc avec un rendement de 22.5%.

Pour la totalité de l'installation, **95 kWc**, quatre onduleurs de 25 kW sont à prévoir. Les rendements de l'onduleur Sunny Central 400 MV de SMA sont pris en compte dans les calculs. Les panneaux pris en compte sont des panneaux semi-horizontaux (inclinaison de 10°, système Soprasolar ou équivalent). Cette inclinaison de 10° est intéressante pour limiter l'encrassement sur les panneaux.

Le productible annuel est estimé 132 MWh. L'hypothèse la plus appropriée d'une autoconsommation sur site est prise en compte, avec un taux d'autoconsommation évalué à 94% et un taux d'autoproduction (couverture des besoins totaux du bâtiment) estimé à 24%.

Toitures Terrasses gravillonnées inaccessibles

Nous conseillons, a minima lors de la prochaine réfection de toiture, d'effectuer une reprise de l'isolant et de mettre en œuvre un isolant permettant d'atteindre une résistance thermique $R > 7.5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ (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 semble donc à prévoir.**

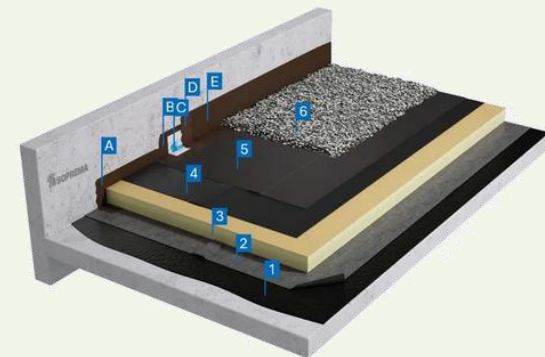


Figure 6 : Isolation toiture terrasse (avec ou sans végétalisation)

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

La mise en place d'une toiture végétalisée n'est pas proposée dans le cadre de cet audit : **beaucoup de complexité vis-à-vis des éléments présents en toiture et des futurs panneaux photovoltaïques** : 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. Une étude structurelle devrait vérifier que la toiture a la capacité de supporter une épaisseur de substrat de terre et déterminera quelle est l'épaisseur à envisager, si cette option était envisagée.

1.2 Murs

ETAT ACTUEL

Murs extérieurs courants

Les murs extérieurs du bâtiment sont des murs en béton, non isolés :



Figure 7 : Murs extérieurs du bâtiment (Façade Nord)



Figure 8 : pignon Est

RECOMMANDATIONS

Murs extérieurs courants

Dans le cadre d'une rénovation d'envergure, nous préconisons de mettre en place une **isolation extérieure** avec de la laine de verre 18 cm ou 20 cm d'isolant biosourcé sous enduit. La résistance thermique sera supérieure à $5,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

L'isolation par l'intérieur pourrait également 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.

L'isolant extérieur sera très vraisemblablement fixé sur rail métallique :

- (Solution possible sous bardage tout aspect ou enduit hydraulique avec isolation laine de roche), mais cette technique induit des ponts thermiques structurels, donc diminue la performance thermique. Une façade isolante de type Façade F4 avec **raccrochement structural sur les dalles** est proposée à ce stade :

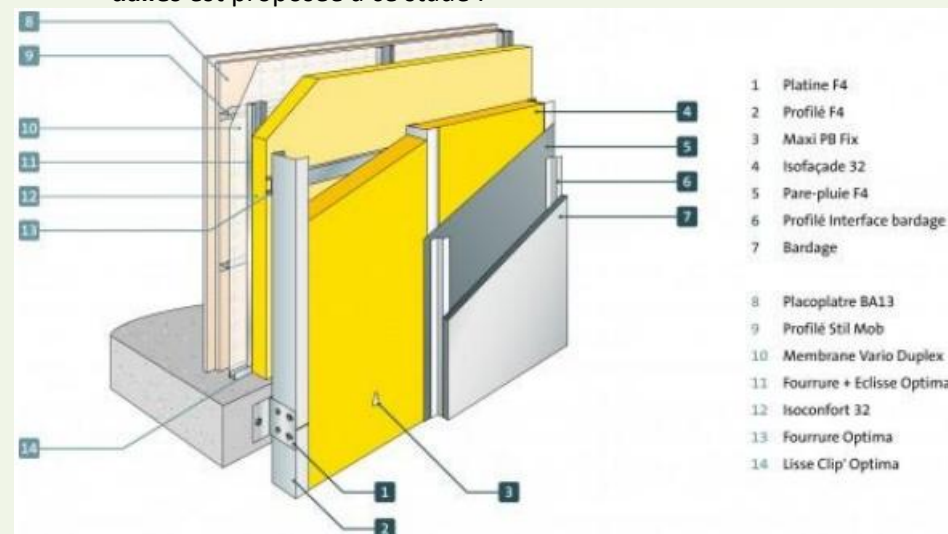


Figure 10 : Type d'isolation proposé

Les façades Sud et Nord présentent une trame vitrée horizontale sur chaque étage du bâtiment, sur toute la longueur de la façade. Les pignons sont en revanche aveugles.

Les éléments en béton de façade sont des éléments de béton préfabriqués, rattachés structurellement à la façade. Le mode constructif du bâtiment correspond à une construction poteau / poutre. L'épaisseur des murs est de l'ordre de 25 cm.

Composition de la paroi : Béton (25 cm)

Etat : Correct

Coefficient U : 1.8 W/m².K (d'après la méthode Th-U)

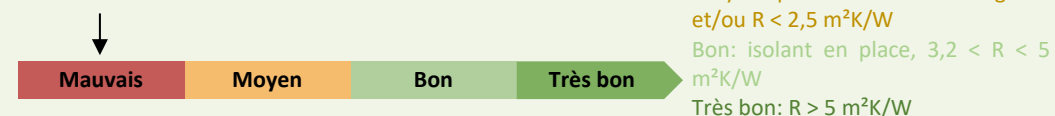


Figure 9 : Performance thermique des murs extérieurs

- Option écartée : Isolant collé sur la façade (enduit mince avec isolant laine de roche ou isolant biosourcée sous réserve des DTU), risque sur la comptabilité du support avec la technique par collage.

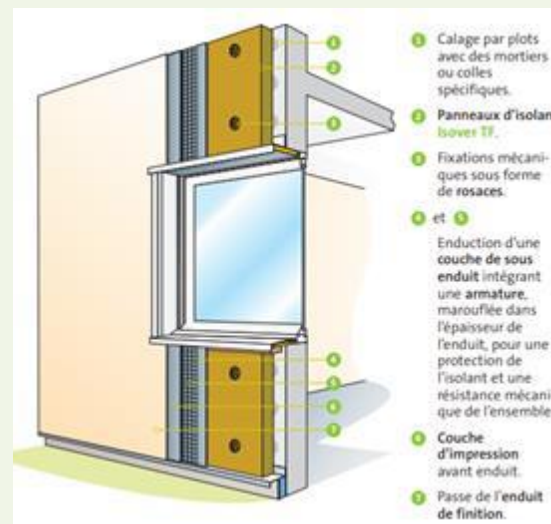


Figure 11 : Isolation extérieure collée sur la façade

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 est 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.

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 $3,7 \text{ m}^2\text{K/W}$

=====



RTex/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 $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$.

1.3 Fenêtres, portes et protections solaires

ETAT ACTUEL

Menuiseries simples vitrages métalliques :

La grande majorité des menuiseries sont restées en simple vitrages métalliques de type coulissant, disposés sur un complexe dont on ne voit que le parement intérieur en bois. La composition de ce complexe n'est pas connue mais ne contient pas d'isolant au vu de sa faible épaisseur correspondant à celle du dormant de la menuiserie simple vitrage (soit environ 3 cm).

Un coffre de volet roulant (le cas échéant) est disposé côté intérieur.

Dans un certain nombre de laboratoires, les menuiseries extérieures sont « bouchées » par la mise en place d'une occultation opaque côté intérieur : il s'agit en général d'une plaque de bois ou de plâtre vissée.



Figure 12 : Menuiserie SV métalliques

RECOMMANDATIONS

Menuiseries doubles vitrages métalliques :

Nous préconisons le remplacement par des menuiseries métalliques en simple vitrage par des doubles vitrages 4/16/4 à lame d'argon et rupteurs de ponts thermiques.

Des ouvertures **oscillo-battantes** seront à retenir, de manière à permettre une ventilation naturelle par ouverture des fenêtres.

Des vitrages à contrôle solaire sont à prévoir pour limiter les apports solaires (hors façade Nord).

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

- $U_w \leq 1.3 \text{ W/m}^2.\text{K}$ et $U_g < 1.1 \text{ W/m}^2.\text{K}$
- S_w (facteur solaire hors protection) = 0.3
- T_l (transmission lumineuse) ≥ 0.5



Figure 18 : Menuiseries aluminium double vitrage à rupteurs de ponts thermiques

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..).

La présence l'amiante a été constaté autour de certaines menuiseries, le DAAT 2026 sera à prendre en compte lors de l'opération.



Figure 13 : Présence disparate de stores intérieurs

Protections solaires : Volets roulants en façade Sud et sur l'ensemble du RdC (hors circulations verticales) // Quelques stores vénitiens intérieurs présents
Quelques menuiseries complètement occultées par bouchement coté intérieur.

Etat : Vétuste

Caractéristiques thermiques menuiseries :

$U_w=5.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ // $S_w=0.65$ (0.10 avec protection VR) // $T_l=0.65$ (0.05 avec protection VR)



Figure 14 : 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



Les DTU 36.1, 37.1 et 37.2 sont à respecter.

=====

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

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.

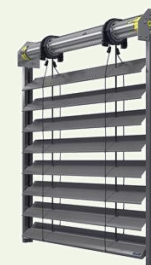


Figure 19 : Exemple de BSO, gamme Profalux

Les **brises soleils fixes** peuvent également être envisagé sur la façade sud du bâtiment, sous forme de lames accrochées à des épines solaires. Cette solution doit être combinée avec des protections solaires intérieures afin de permettre aux occupants de gérer l'éblouissement au sein des locaux. Cette solution sera étudiée dans la suite du rapport (travaux 12).

Doubles vitrages Aluminium :

Certaines fenêtres (environ une quinzaine sur l'ensemble du bâtiment) ont été renouvelées depuis 3 ou 4 ans, et correspondent à des doubles vitrages sur châssis aluminium, en coulissant.



Figure 15 : Menuiserie DV Alu 4/14/4 (façade Est à gauche / Ouest à droite)

Ces menuiseries sont majoritairement présentes en façade Nord (notamment en R+3), mais il n'y a pas de localisation précise : ces remplacements sont intervenus au fil de l'eau sur les cas de remplacement les plus urgents.

Protections solaires : Aucune en façades Est et Nord / Volets roulants en façades Sud et Ouest

Etat : Bon (sauf protections solaire)

Caractéristiques thermiques menuiseries :

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



Figure 16 : 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 Aluminium

Ces menuiseries pourront être conservées, ou remplacées lors d'une rénovation énergétique d'envergure sur la façade, en cas d'impossibilité de changer la façade en maintenant les menuiseries existantes...

Porte d'entrée métal simple vitrage :

Ces portes d'entrées, peu efficaces énergétiquement et peu étanches, datent vraisemblablement de la construction du bâtiment.

Protections solaires : -

Etat : Passable

Caractéristiques thermiques menuiseries :

$U_w = 6.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ // $S_w = 0.4$ // $T_l = 0.4$

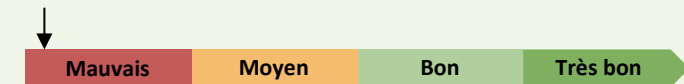


Figure 17 : Performance thermique des menuiseries

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

Porte d'entrée double vitrage :

Ces portes d'accès sont à remplacer par des portes d'entrée performantes et étanches, avec des niveaux de performances permettant l'attribution de CEE :

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

- $U_w \leq 1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ et $U_g < 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$
- S_w (facteur solaire hors protection) = 0.3
- T_l (transmission lumineuse) ≥ 0.5

1.4 Plancher bas

ETAT ACTUEL

Planchers bas donnant sur sous-sols non chauffés :

Le rez-de-chaussée du bâtiment donne sur des sous-sols non chauffés, comprenant sous-stations, locaux techniques, zone de stockage d'un côté, et vides-sanitaires de l'autre.

La paroi séparative est une dalle béton, non-isolée.



Figure 20 : Vue sur dalle béton côté vide sanitaire (gauche) et locaux de stockage (à droite)

Composition : Dalle Béton (15 cm)

Etat : Correct

Coefficient U : 3.2 W/m².K (calcul à partir de la méthode Th-U)

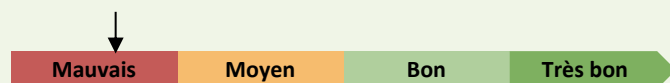


Figure 21 : Performance thermique du plancher bas

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 sur sous-sol partiellement chauffé :

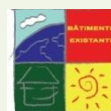
La mise en œuvre d'un isolant de type laine de roche d'environ **14 cm** ($R > 4.12 \text{ m}^2\text{K/W}$) pourrait s'envisager. Toutefois, la pose nécessitera de déposer puis reposer quelques réseaux (électriques et de chauffage).



Figure 22 : type d'isolation prévu en sous face de plancher

Respect des conditions de CEE :

R inférieur ou égal à $3 \text{ m}^2\text{K/W}$



RTex/élément: Les parois doivent respecter l'exigence de résistance thermique de l'ensemble paroi + isolant de $2,7 \text{ m}^2\text{K/W}$

Cette recommandation **génère un gain énergétique très faible**, elle ne sera donc pas prise en compte dans le scénario de travaux.

1.5 Etanchéité à l'air

ETAT ACTUEL	RECOMMANDATIONS
L'étanchéité à l'air de ce bâtiment est sans aucun doute très mauvaise, notamment au niveau des jonction menuiserie/façade, ainsi qu'au niveau de la toiture terrasse où des traversées de gaines non rebouchées laissent de nombreuses connexions directes sur l'extérieur. Aucun relevé à la porte soufflante n'a été effectué, mais l'étanchéité à l'air est estimée à $4 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ sous 4 Pascals, dans la simulation énergétique.  <i>Figure 23 : Exemple de raccords aérauliques (probablement d'anciennes sorbonnes) découpées et non rebouchées : l'air passe ainsi de l'extérieur directement dans la gaine principale du couloir central</i>	L'étanchéité à l'air du bâtiment sera améliorée avec le remplacement des menuiseries et par la mise en œuvre d'une isolation thermique par l'extérieur, avec une pose soignée, ainsi qu'un rebouchage de tous les percements intempestifs non nécessaires. Un Q4 de $1.5 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ 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	RECOMMANDATIONS
<u>Ventilation naturelle :</u> La ventilation naturelle est majoritaire dans les espaces du bâtiment, et permise par des fenêtres ouvrables, lorsqu'elles ont conservé leur maniabilité (les châssis sont difficiles à faire coulisser), ou qu'elles n'ont pas été bouchées. Une grille d'entrée d'air est présente en imposte des menuiseries, au-dessus des coffres de volet roulant. Il s'agit d'une simple grille perforée, et non d'une entrée d'air à débit contrôlé (comme une entrée d'air autoréglable par exemple).	<u>Ventilation double flux :</u> Dans le cadre d'une rénovation performante, il sera nécessaire de mettre en place une ventilation performante : - permettant un bon renouvellement d'air - limitant les déperditions (en hiver) Au vu des débits importants que représente la ventilation de l'ensemble de ces bureaux et laboratoires, il est pertinent de mettre en place une ventilation permettant une récupération de chaleur de l'air ventilé. Les CTA seront à positionner préférentiellement dans des locaux dédiés, pour permettre le renouvellement / nettoyage des filtres tous les six mois. Sur cet établissement, le positionnement dans un des locaux du sous-sol semble le plus opportun. Cependant, dans le cas où il manquerait de l'espace, ces CTA pourraient également être placées en toiture terrasse. Afin de limiter les nuisances sonores dû aux CTA, celles-ci devront être positionnées sur plots anti-vibratiles et devront comporter des pièges à son. Pour apporter une véritable performance et respecter les critères CEE, la CTA doit présenter les caractéristiques suivantes : - rendement d'échangeur supérieur à 85% (selon EN308 ou NF EN 13053) ; préférentiellement en échangeur à plaque - by-pass estival possible - puissance électrique inférieure à 0.3 Wh/m³ pour chaque ventilateur Les CTA mises en place devront comporter un module adiabatique pour permettre un rafraîchissement de l'ordre de 4 / 5 °C sur l'air soufflé. En revanche, un surdimensionnement pour de la surventilation nocturne ne nous apparaît pas pertinent. En effet, les surdimensionnements de ventilation nocturne impliquent presque systématiquement des dysfonctionnements techniques (toutes les bouches et modules de régulation des débits sont établis pour un débit donné) et représentent des surconsommations peu efficaces.



Figure 25 : Grilles d'entrées d'air en imposte

Dans les sanitaires, des grilles similaires hautes et basses sont présentes en façade, et ventilent naturellement les blocs sanitaires.



Figure 26 : 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)

Ventilation mécanique simple flux :

Quelques rares équipements de ventilation mécanique par extraction sont présents dans certains locaux présentant de forts dégagements de chaleur, de manière justement à extraire ce dégagement de chaleur.

Des bouches d'extraction sont alors présentes sur les dalles de faux-plafond : le réseau aéraulique d'extraction jusqu'au rejet n'a pas pu être clairement repéré, ni la localisation exacte et le nombre de caissons d'extraction associés.



Figure 28 : Grilles d'entrées d'air en imposte



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 sur cet établissement) pourront être positionnés **dans chaque bureaux ou salles de restauration.**

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

Pour garantir un écoulement de l'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
- La hauteur minimale entre les pales et le sol est fixée à 2,30 m.

En première approche, **100 brasseurs d'air** sont prévus dans le présent rapport. Comme un brasseur d'air couvre environ le rafraîchissement d'une surface de 15m², il sera nécessaire de doubler voire tripler leur mise en place dans certains locaux.



Figure 29: Exemple de mise en place de brasseurs d'air dans une salle de classe

Ce brassage d'air peut être réalisé par des brasseurs d'air comme décrit ci-dessus ou par soufflage par le biais de la ventilation (solution reposant sur le soufflage d'air neuf par les bouches de ventilation double flux, permettant un rafraîchissement des locaux couplé traitement de l'air neuf). Elle ne sera cependant pas étudiée dans la suite de ce rapport car elle risque d'engendrer un inconfort hivernal et représente psychologiquement moins d'impact que la première solution.

3. Equipements

3.1 Chauffage

ETAT ACTUEL	RECOMMANDATIONS
<u>Production de chaleur – Echangeurs :</u> La production d'eau chaude de chauffage sur le bâtiment s'effectue via une sous-station présente en sous-sol. Ces sous-stations sont alimentées par un réseau primaire desservi par une chaufferie (chaudières gaz à condensation de 2022 pour une puissance totale de 8 MW). La puissance de l'échangeur de cette sous-station est de 900kW.  Figure 30 : Echangeur de chaleur sur réseau primaire Le réseau primaire est géré par l'exploitation Dalkia. Comme le montre la photo ci-dessus, l'échangeur de chaleur n'est pas calorifugé. Un problème d'équilibrage des réseaux a pu être constaté entre les façades nord et sud du bâtiment qui entraîne parfois un manque de pression dans les locaux des étages les plus élevés et une difficulté à chauffer les pièces concernées. Etat : Correct mais peu performant ↓ Mauvais Moyen Bon Très bon 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	<u>Production de chaleur – Echangeurs :</u> 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. Aucune recommandation n'est envisagée sur l'échangeur RCU, si ce n'est son isolation, cf. plus bas. <u>Possibilité d'équilibrage des réseaux eau chaude - en pied de colonne</u> 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. 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. 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.  Figure 35 : Vanne de réglage

Distribution/Régulation :

Les schémas d'installations hydrauliques ne sont pas présents dans la sous-station, mais la distribution s'effectue clairement dans le sous-sol, avec 3 départs principaux :

- départ radiateurs (régulé par vanne 3 voies) : distribution horizontale en sous-sol puis par colonne montante en façade
- départ aérotherme : ce circuit est condamné et n'est plus alimenté
- départ Ponte et Rouard : alimente les amphithéâtres situés à proximité immédiate du 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 passable sur la globalité du site, et très améliorabile sur certains points particuliers.



Figure 32 : Absence de calorifuge sur le réseau d'eau en sortie de chaudière

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 n'a pas pu être repérée lors de notre visite.

Distribution/Régulation :

Le niveau de calorifugeage est passable sur ce bâtiment. **Un calorifugeage sera obligatoirement de classe 4 (exigence réglementaire)**. Les vannes, les pompes devront être isolés par des housses isolantes, afin de limiter les pertes énergétiques. 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). La mise en place de telles housses est donc essentielle, et permet des économies d'énergie simples et rapides.



Figure 36 : exemples de housses isolantes sur vannes

Le pilotage de la température du collecteur sur loi d'eau en fonction de la température extérieure peut être conservé. Il faudra néanmoins veiller à ce que cette loi d'eau soit modifiée en cas de rénovation énergétique importante afin de coller aux nouveaux besoins de chauffage.

Par ailleurs, il sera important d'engager une vérification des plannings de consigne de chauffage en fonction de l'occupation réelle des locaux.

Emission radiateurs en acier :

La quasi-intégralité du site est chauffée par des radiateurs à ailettes en acier démunis de robinets thermostatiques. Certains sont munis de vannes manuelles, d'autres n'ont pas de vanne terminale de régulation :



Figure 34 : Chauffage via 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)

Emission radiateurs à ailettes en acier :

La mise en place de robinets thermostatiques neufs 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 ces têtes thermostatiques devra être certifié à 0,3 °.



Figure 37 : Tête thermostatique de radiateur

Régulation 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 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).

3.2 Climatisation

ETAT ACTUEL

Production/émission :

De nombreux groupes de climatisation sont présents sur le site, desservant chacun un ou plusieurs locaux. Ces groupes sont situés :

- en façade : notamment en RdC, mais aussi en hauteur (sur la façade Nord seulement) : environ 25 groupes extérieurs repérés. Ces groupes desservent des locaux situés aux étages bas, donc au sous-sol, RdC, R+1.
- en toiture terrasse : environ 30 groupes extérieurs repérés. Ces groupes desservent certainement des locaux situés au R+1, R+2 et R+3.



Figure 38 : Groupes extérieurs de clim

RECOMMANDATIONS

Groupe Froid :

L'installation d'un groupe froid central, en remplacement de l'ensemble des splits est recommandé. Cela permettrait d'augmenter le rendement de la climatisation avec un groupe froid muni d'un EER supérieur à 3.72 (pour 7/12°C) tout en simplifiant l'entretien de la climatisation et en réduisant les nuisances visuelles et acoustiques dues aux unités extérieures en façades et en toiture.

La puissance du groupe froid est estimée à environ 220 kW.

Les gains unitaires de cette modification sont peu visibles à l'échelle globale des consommations du bâtiment ; cependant, les consommations spécifiques liées à la climatisation et à sa distribution baissent d'environ 9%.

La distribution se fait en circuit frigorigène directe (split system), pour des cassettes murales situées dans les locaux concernés. Environ 50 pièces sont équipées de cassettes murales et donc de climatisation.



Figure 39 : Cassette murale de climatisation

C'est presque l'ensemble des locaux qui a ainsi petit à petit été climatisé. Seule une dizaine de locaux restent dépourvus de climatisation.

Cela répond à des besoins de confort dans les espaces de bureaux, mais aussi de besoins de décharge thermique dans certains laboratoires où des machines présentent un fort dégagement de chaleur.

L'ensemble est disparate, non coordonné (pas de saison de mise en route et d'arrêt) et non régulé.

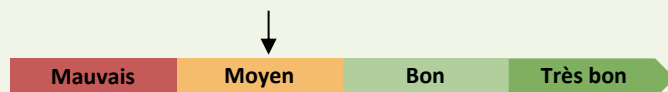


Figure 40 : Performance énergétique du système de

Mauvais: système climatisation non adaptée à l'usage ou au bâtiment

Moyen: production de climatisation adaptée à l'usage, mais peu performante

Bon: production climatisation adaptée à l'usage et au bâtiment

Très bon: production climatisation adaptée à l'usage et au bâtiment, thermiquement efficace

3.3 ECS

ETAT ACTUEL	RECOMMANDATIONS
Production d'ECS : La production d'ECS passe uniquement par des ballons électriques « effet joule » décentralisés, situés dans les sanitaires. Leur volume paraît surdimensionné pour un simple usage de lavage de mains et de ménage.  Figure 42 : Ballon d'eau chaude sanitaire  Figure 41 : 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, cependant il serait nécessaire de <u>remplacer ces ballons surdimensionnés par des ballons de 30L ou 15L en fonction des besoins</u>. Il serait également intéressant de <u>retirer les ballons ECS lorsque ceux-ci alimentent seulement des lave-mains</u>. Cette recommandation ne sera pas calculée dans la suite du rapport car les consommations ECS représente seulement 1% des consommations totales du bâtiment. Ainsi, le gain infinitésimal lié au redimensionnement des ballons est difficile à chiffrer du point de vue de la simulation énergétique.

3.4 Eclairage

ETAT ACTUEL

Eclairage :

Certaines parties du bâtiment (circulations, mais aussi quelques bureaux) sont équipés de dalles LED. Les parties non rénovées ont des tubes fluorescents T8.



Figure 43 : Pavés LED (gauche ; locaux rénovés) et tubes fluorescents T8 (droite)

Le niveau de performance de l'éclairage est donc bon pour environ un tiers de l'établissement, mais reste à rénover pour le reste.

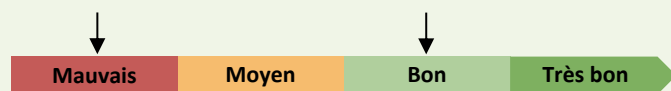


Figure 44 : Performance énergétique des éclairages

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

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.

3.5 Autres équipements électriques

ETAT ACTUEL	RECOMMANDATIONS
<u>Equipements informatiques :</u> Les bureaux comportent chacun au moins un PC portable. Les photocopieurs sont globalement en parties communes. La puissance consommée par les locaux de bureaux est estimée à 10W/m².	<u>Equipements informatiques :</u> 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.
<u>Autres équipements :</u> La puissance consommée par les autres équipements (matériel de laboratoire, notamment) sur cet établissement est très importante, estimée en première approche à environ 20 W/m² dans les petits laboratoires et à environ 60 W/m² dans les laboratoires de grandes tailles situé au RDC et au R+1.	<u>Autres équipements :</u> 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 2021 et 2022 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 2022 sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	2021	2022
Chauffage (kWh RCU)	294 540	240 667
Electricité (kWh)	523 900	515 064
DJU à 16°C	1 105	1 016
Chauffage (kWh DEET)	226 796	185 314
Chauffage kWh DEET corrigé du DJU (Base : année 2021)	226 796	201 547
Ajustement chauffage sans sous-cpt. (Acefchauf(n))	0	0
Ajustement clim. sans sous-cpt. (Acefrefroidissement(n))	-12 662	-13 930
Somme corrigée du DJU (Base : année 2019)	738 034	702 680

L'année **2021** est l'année de référence pour cet établissement.

Attention, les données présentées ci-dessus sont relatives à des comptages globaux sur le site de Saint-Jérôme, réparties sur chaque bâtiment avec des clés de répartitions surfaciques. En effet, le bâtiment Fresnel ne disposait pas de sous-comptage particulier (ni pour les consommations électriques, ni pour les consommations de chauffage).

2. Consommations de chauffage

Le graphique ci-dessous représente les consommations en **chauffage estimé** du bâtiment entre 2021 et 2022 et les DJU associés pour chaque année.

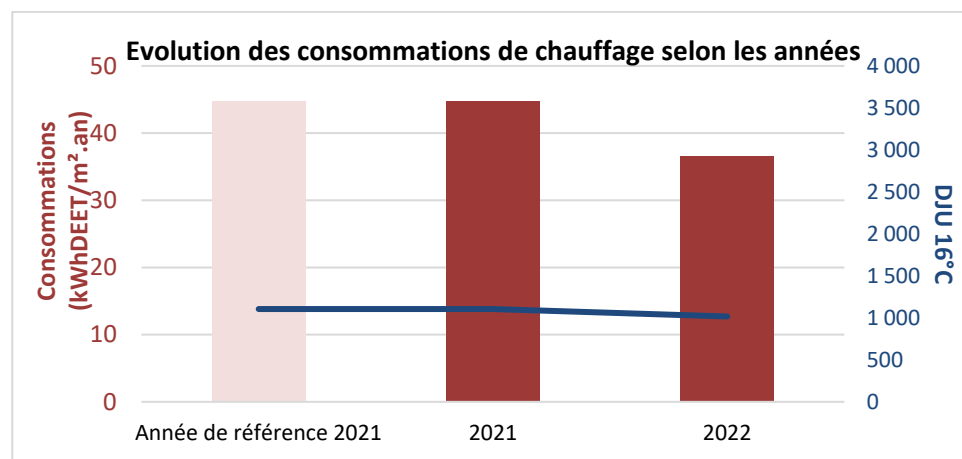


Figure 45 : Evolutions des consommations de chauffage entre l'année de référence et 2017-2019

Les consommations de chauffage ont diminué entre 2021 et 2022, avec un DJU stable.

Par ailleurs et comme vu plus haut, les consommations de chauffage sont ici des consommations estimées et pourraient expliquer cette baisse des consommations : une amélioration de l'efficacité sur n'importe quel autre bâtiment se répercuterait indirectement sur le bâtiment Fresnel.

La moyenne des consommations de chauffage (gaz uniquement) entre 2021 et 2022 pour le bâtiment s'élève à **41 kWhEF/m²_{SU}**, ce qui caractérise un bâtiment **relativement mal isolé**, mais avec la compacité représentée par 4 niveaux superposés ; des **apports internes de chaleur** relativement fort : **appareillage de laboratoire et éclairage peu performant** ; (un bâtiment neuf représente aujourd'hui pour cette zone climatique des consommations de l'ordre de 20 kWhEF/m²_{SU} ; un bâtiment absolument pas isolé, 100 kWhEF/m²_{SU}).

Le tableau ci-dessous montre que le ratio $\text{Conso}_{\text{RCU}} / \text{DJU}$ a varié sur ces dernières années, avec une baisse importante en 2020 :

Année	Année de référence 2021	2021	2022
DJU 16°C	1 105	1 105	1 016
Ratio: Conso/DJU (kWhPCI / DJU 16°)	267	267	237

3. Consommations électriques

En préalable de l'analyse des consommations électriques de cet audit, il faut rappeler que les consommations électriques du bâtiment Fresnel sont ici une estimation, au prorata des surfaces par rapport aux consommations globales du site de Saint-Jérôme, ceci inclut un biais d'analyse puisque certains bâtiments de la faculté de Saint-Jérôme ont des intensités d'usages plus importantes, d'autres moindre. Il est ainsi possible que certains bâtiments consommant différemment de l'électricité que le Fresnel ait tendances à faire légèrement surévaluer ou sous évaluer les consommations électriques du bâtiment Fresnel.

Les consommations électriques ont tendance à augmenter légèrement chaque année, notamment sur 2021-2022. La moyenne entre 2021 et 2022 s'élève à **102 kWhEF/m².an**, soit **235 kWhEP/m².an**. Les consommations d'électricités sont stables pour 2021 et 2022.

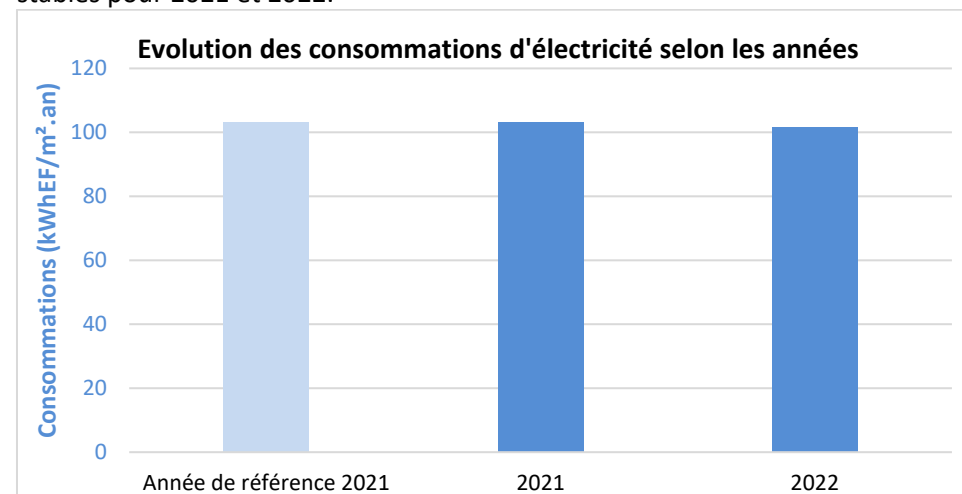


Figure 46 : Consommations électriques (énergie finale)

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, 2021**. 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.

Le gain entre 2021-2022 et l'année de référence est de **2%** : porté par le gain sur la partie chauffage.

	Chauffage	Electricité
Gain entre 2021 et 2021-2022	6%	1%
	2%	

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 6.26.2.4.

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

2. Déperditions

Le graphique ci-contre présente les déperditions à **21°C** de cet établissement, à l'état initial :

On obtient un total de déperditions de 252.9 kW, soit 50 W/m² caractérisant un niveau **globalement médiocre d'isolation** (quelques reprises ponctuelles d'isolation : toiture, doublage, etc.) avec également des **déperditions importantes d'infiltration et de menuiseries**. Les murs extérieurs et les menuiseries sont le premier et deuxième poste avec 39% et 30% des déperditions. Les ponts thermiques représentent 10 % des déperditions. Les déperditions par les planchers bas et haut sont plus anecdotiques, 5% et 1.5%.

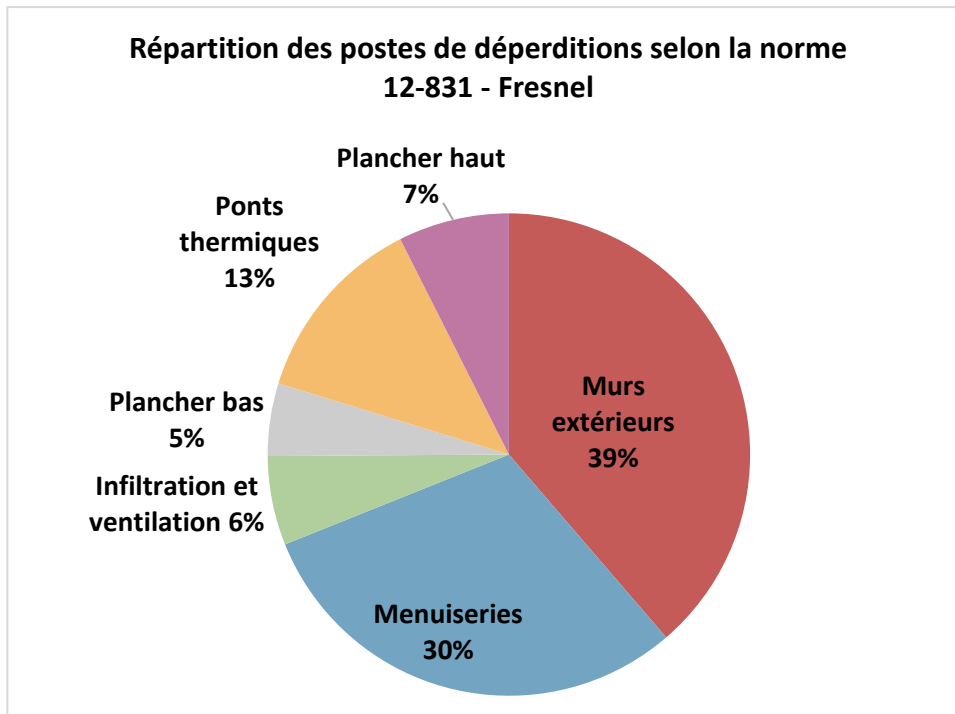


Figure 48 : Répartition des déperditions

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]	744 078
Consommations totales [kWhEP/m²SU.an]	278

Concernant les consommations gaz, elles montent à **0,23 MWh/DJU** dans la simulation pour **0,17 MWh_{comptage}/DJU** en 2021 (avec un écart de 23%, satisfaisant pour ce type de simulation).

Les consommations électriques sont de **0,5 MWh_{EF}** dans la simulation et **0,35 MWh_{EF}** sur la base des factures de 2021-2022 (un écart de 32% existe ici car le bâtiment Fresnel est un bâtiment abritant de nombreux laboratoires : locaux très énergivores, ce qui n'est pas forcément comptabilisé dans les consommations réelles car elles proviennent d'un prorata sur l'ensemble du site de St Jérôme).

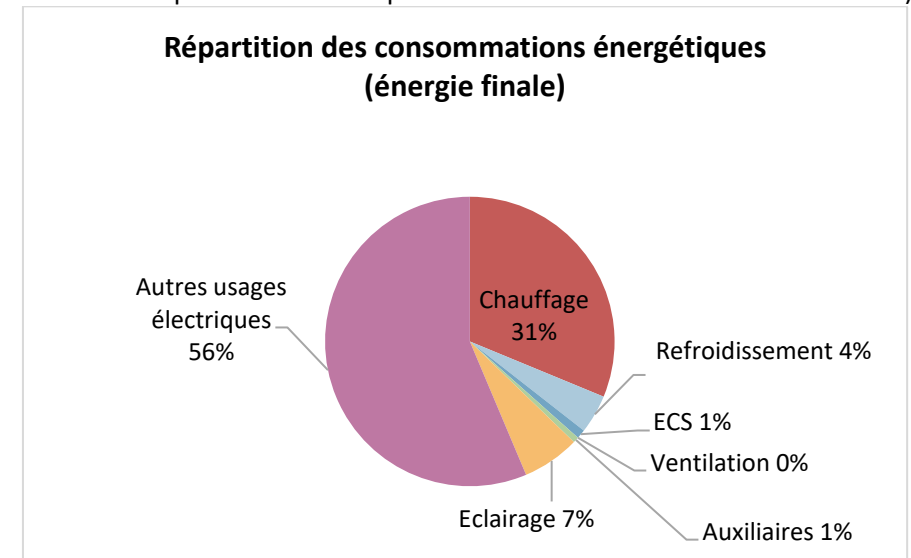


Figure 49 : Répartition des consommations énergétiques

Partie G Bilan des actions proposées

1. Présentation des actions de rénovation et scénarios

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 scénario
Toiture	Isolation de la toiture	Travaux 1	Bouquet de travaux de programmation
Façade	Isolation des murs de façade par l'extérieur	Travaux 2	Bouquet de travaux de programmation
Menuiseries	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) +BSO	Travaux 3	Bouquet de travaux de programmation
Plancher Bas	Isolation du plancher bas	Travaux 4	Non retenu
Ventilation	Ventilation : Mise en place d'une CTA double flux	Travaux 5	Bouquet de travaux de programmation
Ventilation	Mise en œuvre de brasseurs d'air plafonniers	Travaux 6	Bouquet de travaux de programmation
Production de chauffage	Calorifugeage des échangeurs (sous-station) et des canalisations EC (sous-sol) + Panoplies hydrauliques neuves	Travaux 7	Bouquet de travaux de programmation
Emission de chauffage	GTB + Mise en œuvre de régulateurs thermostatiques	Travaux 8	Bouquet de travaux de programmation
ENR	Mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques	Travaux 9	Bouquet de travaux de programmation
Production de froid	Regroupement des productions de climatisation	Travaux 10	Bouquet de travaux de programmation
Eclairage	Mise en œuvre d'un éclairage performant	Travaux 11	Bouquet de travaux de programmation
Menuiseries	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) + Brise soleil fixe	Travaux 12	Non retenu

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.**

2. Chiffrage des travaux

- 1- Les tarifs énergétiques et taux d'actualisation sont ceux transmis pour 2025 (tableau ci-contre)
- 2- Les économies générées par la revente des CEE ne sont pas prises en compte dans le calcul des temps de retour sur investissement. Pour le calcul du montant CEE, les dernières fiches sont utilisées. Les calculs sont faits sur la base d'un kWh_{cumac} à 8,5 €/MWh

Energie	Prix du kWh (€TTC) compris abonnement	Taux d'inflation
Electricité	0,14	0,3 %
Réseau de chaleur	0,22	1,3 %

- 3- **ATTENTION** : les prix indiqués dans l'étude peuvent varier selon les devis des entreprises. Les coûts exprimés sont hors honoraires, hors finitions et hors désamiantage. Les temps de retour calculés sont donnés à titre indicatif, en l'absence de certitude sur l'évolution des coûts énergétiques des prochaines années.

Travaux		Description travaux	Prix unitaire	Quantité
Travaux 1	Isolation de la toiture	Dépose et évacuation du complexe isolant / étanchéité. Dépose et stockage de la protection gravillonnée.	100 €/m²	1 350
		Réfection totale de toiture terrasse avec pose d'un complexe d'isolant et d'étanchéité compatible avec la mise en œuvre de panneaux photovoltaïques	200 €/m²	1 350
		Total d'environ	405 000	€HT
Travaux 2	Isolation des murs de façade par l'extérieur	Dépose des allèges en béton préfabriqué	10 €/m²	1 505
		Mise en place des éléments de façade légère de type façade F4 (éléments de fixation, d'isolation, de pare-vapeur et de pare-pluie)	80 €/m²	1 505
		Plus-value de mise en œuvre de bardage métallique extérieur	80 €/m²	1 505
		Plus-value liée aux retours d'isolants sur les embrasures des menuiseries	20 €/ml	1 505
		Isolation de soubassement par un isolant polystyrène de 120 mm type "Periboard" de Knauf	180 €/m²	1 505
		Déplacement des équipements	100 €/m²	1 505
		Total d'environ	707 115	€HT
Travaux 3	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres)	Dépose des menuiseries en simple vitrage aluminium et en double-vitrage ancien (lame inter-vitrage inférieure à 16 mm)	50 €/m²	1 148
		Pose des nouvelles menuiseries en remplacement de SV et anciens DV (Double vitrage aluminium à rupture de ponts thermiques 4/16/4)	1150 €/m²	1 148
		Mise en œuvre de Brise-Soleil Orientables guidés sur rails, y compris alimentation électrique	400 €/m²	1 148
		Total d'environ	1 836 000	€HT
Travaux 4		Mise en place d'isolant (laine de roche) en sous-face de dalle, en sous-sol ; avec un isolant de R> 3 m²KW	60 €/m²	1 160

	Isolation du plancher bas	Déplacement de cheminements électriques, d'équipements d'éclairage et de conduites EU/EV	10 €/m²	1160
		Total d'environ	81 200	€HT
Travaux 5	Ventilation : Récupération énergétique décentralisée et sorbonnes et caissons d'extraction performants	Mise en oeuvre CTA double flux	60 €/m²	4 800
		Supervision / Régulation	20 €/m²	4 800
		Impact CVC second œuvre	100 €/m²	4 800
		CTA double flux : Sujétions (création locaux spécifiques, habillages, etc.)	Non pris en compte	
		Batterie chaude	15 €/m²	4 800
		Total d'environ	936 000	€HT
Travaux 6	Mise en œuvre de brasseurs d'air plafonniers	Fourniture de brasseurs "type plafonnier"	200 €/unité	100
		Pose des brasseurs d'air	300 €/unité	100
		Total d'environ	50 000	€HT
Travaux 7	Calorifugeage des échangeurs (sous- station) et des canalisations EC (sous-sol) + Panoplies hydrauliques neuves	Mise en place d'une housse isolante pour l'échangeur à plaque du réseau d'ECS + reprises de calorifuges	10000 €/unité	Forfait
		Mise au point par le mainteneur / équilibrage / désembouage	1000 €/unité	Forfait
		Mise en place panoplies de pompes neuves	9000 €/unité	Forfait
		Total d'environ	20 000	€HT
Travaux 8	GTB + Mise en œuvre de régulateurs thermostatiques	Fourniture et pose de régulateurs thermostatiques neufs sur chaque émetteur de chauffage	50 €/unité	110
		Mise en œuvre d'une GTB conforme décret BACS	50 €/m²	4 800
		Total d'environ	245 500	€HT
Travaux 9	Mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques	Mise en place de panneaux solaires photovoltaïques monocristallins + onduleurs associés (112 kWc)	450 €/m²	450
		Mise en œuvre de supports compatibles avec l'étanchéité	66,67 €/m²	450
		Total d'environ	232 500	€HT
Travaux 10	Regroupement des productions de climatisation par aile	Installation de groupes froids supplémentaires d'une puissance de 100 kW Abs	80000 €/unité	1
		Mise en œuvre de panoplies de diffusion des nouveaux groupes froids	20000 €/unité	1
		Mise en œuvre des réseaux d'eau glacée calorifugées	70 €/ml	50
		Dépose / Repose de faux plafond pour l'intervention sur les réseaux	40 €/m²	50
		Mises en services : Supervision / Régulation / Armoire	15000 €/unité	1
		Aménagement des locaux PAC	2500 €/unité	1

		Modification raccordement électrique	5000 €/unité	1
		Installation de groupes froids supplémentaires d'une puissance de 100 kW Abs	80000 €/unité	1
		Total d'environ	128 000	€HT
Travaux 11	Mise en œuvre d'un éclairage performant	Mise en place de luminaires de type LED (tous locaux <u>hors locaux et salles récemment refaites</u>) Détection de présence dans les salles à occupation intermittente (circulations et sanitaires)	15 €/m²	2 400
		Total d'environ	36 000	€HT
Travaux 12	Remplacement des menuiseries (Portes et fenêtres) + brise soleil fixe	Dépose des menuiseries en simple vitrage aluminium et en double-vitrage ancien (lame inter-vitrage inférieure à 16 mm)	50 €/m²	1 148
		Pose des nouvelles menuiseries en remplacement de SV et anciens DV (Double vitrage aluminium à rupture de ponts thermiques 4/16/4)	1150 €/m²	1 148
		Mise en place de brise soleil fixe et store intérieur	300 €/m²	1 148
		Total d'environ	1 721 250 €	€HT

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/m ²	Consommation en kWhEF/m ²	Gain en kWhEF/m ² (/Base)
Etat initial		1 409 288	-	744 078	-	278	147	-
Travaux 1	Isolation de la toiture	1 184 760	1,6%	724 362	3%	233	143	4
Travaux 2	Isolation des murs de façade par l'extérieur	1 048 208	13%	587 100	21%	207	116	31
Travaux 3	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) +BSO	1 134 389	6%	679 294	9%	224	134	13
Travaux 4	Isolation du plancher bas	1 203 059	0%	742 183	0%	237	146	0
Travaux 5	Ventilation : Mise en place d'une CTA double flux	1 240 103	-3%	769 263	-3%	244	152	-5
Travaux 6	Mise en œuvre de brasseurs d'air plafonniers	1 210 080	-0,5%	746 958	-0,4%	238	147	-1
Travaux 7	Calorifugeage des échangeurs (sous-station) et des canalisations EC (sous-sol) + Panoplies hydrauliques neuves	1 197 372	1%	740 020	1%	236	146	1
Travaux 8	GTB + Mise en œuvre de régulateurs thermostatiques	1 170 545	3%	710 226	5%	231	140	7
Travaux 9	Mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques	919 259	24%	620 013	17%	181	122	24
Travaux 10	Regroupement des productions de climatisation	1 198 338	1%	740 778	0%	236	146	1
Travaux 11	Mise en œuvre d'un éclairage performant	1 155 957	4%	724 751	3%	228	143	4
Travaux 12	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) +Brise soleil fixe	1 142 573	5%	685 860	8%	225	135	11

3.2 Analyse financière

		Estimation du coût des travaux en € HT	Estimation du coût des travaux en € TTC	Economies annuelles (€)	CEE obtenus en Mwhcumac	kWh économisé / € investi	Temps de retour sur investissement avec inflation des fluides	Temps de retour sur investissement sans inflation des fluides
Travaux 1	Isolation de la toiture	405 000	486 000	4 326	1 215	0,04	69	>100
Travaux 2	Isolation des murs de façade par l'extérieur	707 115	848 538	34 587	2 347	0,18	21	25
Travaux 3	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) +BSO	1 836 000	2 203 200	13 769	1 997	0,03	88	>100
Travaux 4	Isolation du plancher bas	81 200	97 440	448	1 949	0,02	>100	>100
Travaux 5	Ventilation : Mise en place d'une CTA double flux	936 000	1 123 200	-4 624	2 346	-0,03	-	-
Travaux 6	Mise en œuvre de brasseurs d'air plafonniers	50 000	60 000	-403	0	-0,09	-	-
Travaux 7	Calorifugeage des échangeurs (sous-station) et des canalisations EC (sous-sol) + Panoplies hydrauliques neuves	20 000	24 000	610	306	0,30	35	39
Travaux 8	GTB + Mise en œuvre de régulateurs thermostatiques	245 500	294 600	7 429	0	0	32	40
Travaux 9	Mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques	232 500	279 000	17 765	0	1	15	16
Travaux 10	Regroupement des productions de climatisation	128 000	153 600	462	0	0	>100	>100
Travaux 11	Mise en œuvre d'un éclairage performant	36 000	43 200	1 645	264	1	>100	26
Travaux 12	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) +Brise soleil fixe	1 721 250	2 065 500	12 469	0	0	89	>100

3.3 Analyse Carbone

		Emissions de CO2 (kg _{CO2} /m ² . an)	Gain annuel sur les tonnes de CO2 en %
Etat initial		11,7	
Travaux 1	Isolation de la toiture	11,2	4%
Travaux 2	Isolation des murs de façade par l'extérieur	8,2	30%
Travaux 3	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) +BSO	10,3	12%
Travaux 4	Isolation du plancher bas	11,6	0%
Travaux 5	Ventilation : Mise en place d'une CTA double flux	12,1	-4%
Travaux 6	Mise en œuvre de brasseurs d'air plafonniers	11,7	-0,3%
Travaux 7	Calorifugeage des échangeurs (sous-station) et des canalisations EC (sous-sol) + Panoplies hydrauliques neuves	11,6	0%
Travaux 8	Mise en œuvre de robinets thermostatiques	10,9	6%
Travaux 9	Mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques	11,7	0%
Travaux 10	Regroupement des productions de climatisation	11,6	0%
Travaux 11	Mise en œuvre d'un éclairage performant	11,5	1%
Travaux 12	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) +Brise soleil fixe	10	11%

4. Résultats par scénarios

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		1 409 288	-	744 078	-	278	147
Bouquet de travaux de programmation	Toiture + ITE + Menuiseries + CTA + Brasseurs d'air + Production de ch. + Emission de ch. + PV + Prod. Fr. + Eclairage	652 461	46%	374 345	50%	129	74

4.2 Analyse financière

		Estimation du coût des travaux en € HT	Estimation du coût des travaux en € TTC	Coût annuel des consommations énergétiques en €TTC	Economies annuelles (€)	CEE obtenus en Mwhcumac	kWh économisé / € investi	Temps de retour sur investissement avec inflation des fluides	Temps de retour sur investissement sans inflation des fluides
Bouquet de travaux de programmation	Toiture + ITE + Menuiseries + CTA + Brasseurs d'air + Production de ch. + Emission de ch. + PV + Prod. Fr. + Eclairage	4 596 115 €	5 515 338 €	52 827 €	69 934	8 474	0,10	57	79

4.3 Analyse Carbone

		Emissions de CO2 (kg _{CO2} /m².an)	Gain annuel sur les tonnes de CO2 en %
Etat initial		11,7	
Bouquet de travaux de programmation	Toiture + ITE + Menuiseries + CTA + Brasseurs d'air + Production de ch. + Emission de ch. + PV + Prod. Fr. + Eclairage	6,4	45%

4.4 Confort d'été

Les résultats de l'état initial et du scénario de travaux sont les suivants :

Zones étudiées	Etat initial	Scénario
Zones	Taux d'inconfort en occupation (%)	Taux d'inconfort en occupation (%)
Z04_BUREAUX_Nord	22,2%	2,5%
Z05_LABOS_Nord	23,6%	9,9%
Z10_GRANDS LABOS	37,5%	19,6%
Z11_BUREAUX_Sud	26,0%	2,9%
Z12_LABOS_Sud	23,4%	8,0%

A l'état initial le taux d'inconfort en occupation sont compris entre 22% et 37%, cela montre qu'il y a un problème de confort sur ce bâtiment durant l'été.

Les zones les plus inconfortables dans ce bâtiment sont les laboratoires dues aux apports de chaleurs importants venant des outils/machines.

Après travaux, le taux d'inconfort en occupation diminue et est finalement compris entre 2,5% et 20%.

Bien que non climatisées, les zones de bureaux atteignent des taux d'inconfort très bas notamment par la pose de protection solaires, la ventilation et les brasseurs d'air.

Le taux d'inconfort ici étudié est le **taux d'inconfort au regard du diagramme de Givoni** (cf. ci-dessous). Cette approche place, pour chaque heure d'occupation, sur une année, un couple humidité-température sur un diagramme de l'air humide. Un polygone central (variant en fonction de la vitesse d'air) définit la zone de confort : ni trop chaud, ni trop froid, ni trop sec, ni trop humide. Le taux d'inconfort est le pourcentage de points se situant à l'extérieur de ce polygone.

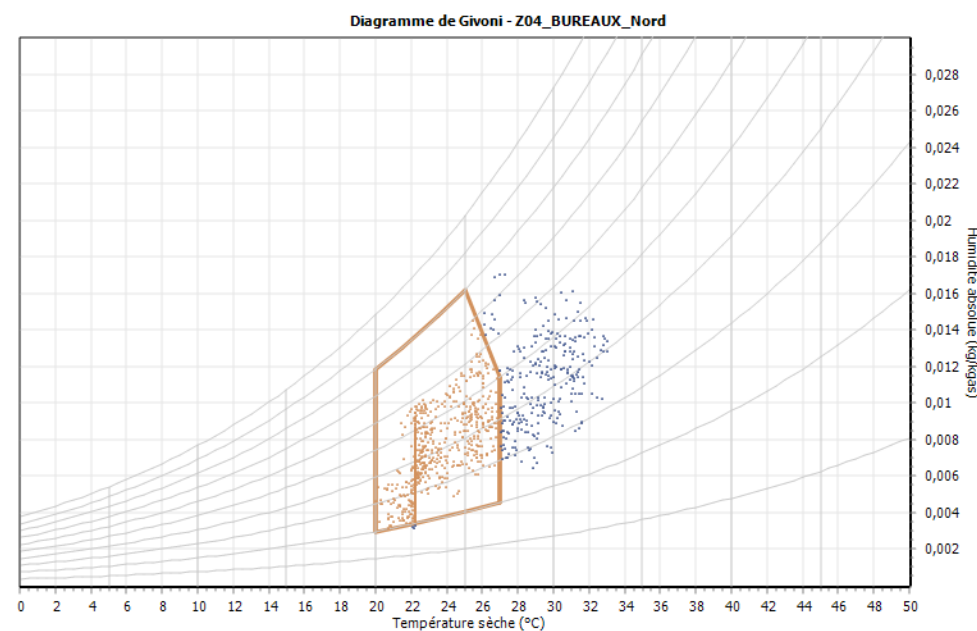


Figure 50 : Diagramme de Givoni de la zone 04– Bureaux orientés nord

Annexe 1 : Locaux visités

Tous les locaux de l'établissement n'ont pas pu être visités :

- Certains locaux de stockage au sous-sol

Annexe 2 : Détails de la STD

Le zonage retenu est le suivant :

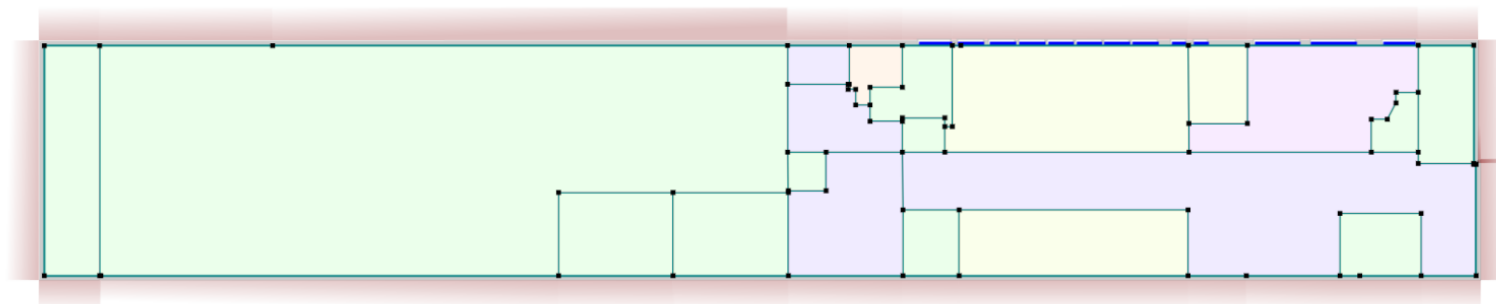


Figure 51 : Plan de zonage du sous-sol

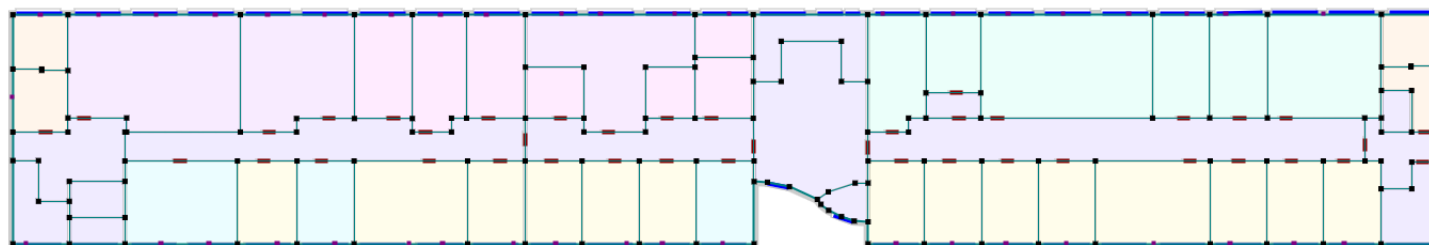


Figure 52 : Plan de zonage du rez-de-chaussée

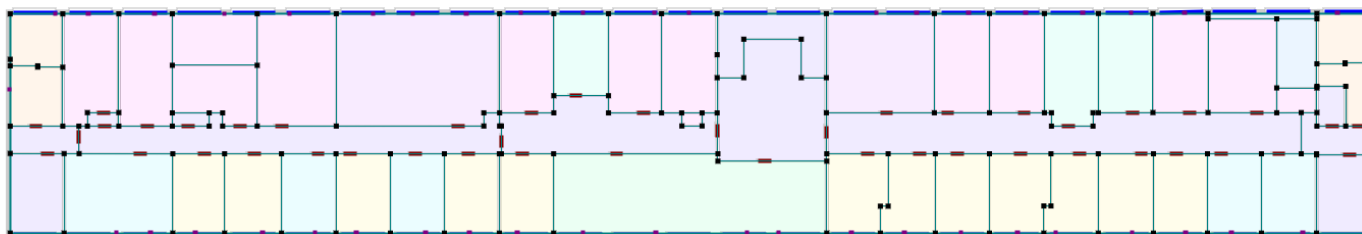


Figure 53 : Plan de zonage du R+1

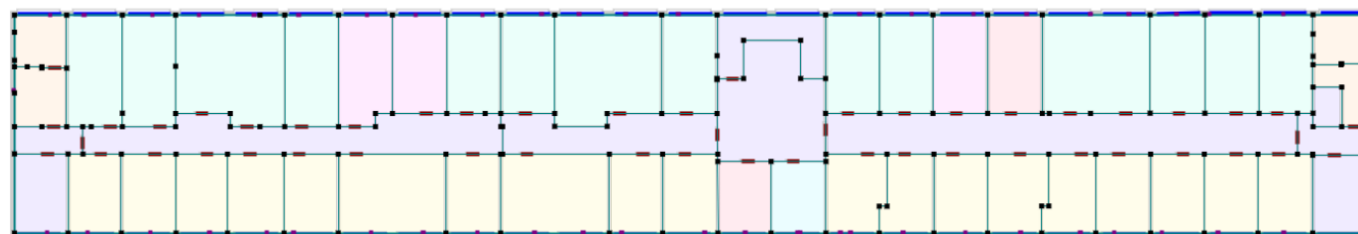


Figure 54 : Plan de zonage du R+2

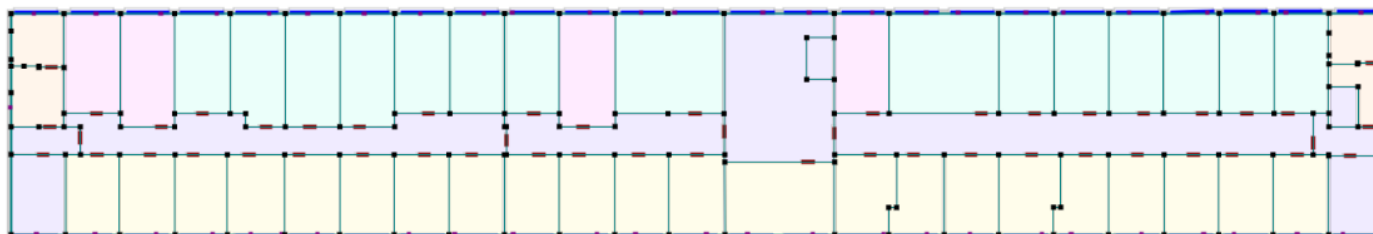


Figure 55 : Plan de zonage du R+3

Voici les déperditions obtenues par local à 21°C sans surpuissance, en W :

Pièce	Surface (m²)	Parois opaques	Baies et portes	Ponts th.	Conduct.	VMC	Infiltr.	Total	Total (W/m²)
Ss_SALLE DE PAUSE	55,80	1 066	0	141	1 207	0	195	1 402	25
Ss_SALLE P COTTON	94,59	1 159	820	306	2 285	0	330	2 615	28
Ss_LABO MANIP	65,68	817	536	180	1 532	0	229	1 762	27
Ss_SANITAIRE 1	7,91	134	0	20	154	0	28	182	23
Ss_SALLE BLANCHE	16,83	190	31	41	261	0	59	320	19
Ss_SANITAIRES 2	9,08	293	0	49	342	0	30	372	41
RDC_SAS 2	0,00	443	393	112	947	0	38	985	
037_LABO	34,41	1 177	786	278	2 241	0	223	2 463	72
033_REUNION	18,29	631	393	142	1 166	0	118	1 285	70
031_LABO	17,49	599	393	140	1 132	0	113	1 245	71
029_BUREAU	35,10	1 190	786	279	2 255	0	227	2 482	71
027_BUREAU	17,28	605	393	140	1 138	0	112	1 250	72
025_BUREAU 1	17,09	597	393	140	1 130	0	111	1 240	73
023A_BUREAU	17,53	600	393	140	1 133	0	113	1 247	71
023B_BUREAU	17,53	600	393	140	1 133	0	113	1 247	71
021_LABO	17,71	1 121	393	232	1 746	0	115	1 861	105
019_BUREAU	16,96	745	393	192	1 330	0	110	1 440	85
017_BUREAU	17,66	434	393	140	967	0	114	1 081	61
015_BUREAU	17,39	425	393	139	958	0	112	1 070	62
013_BUREAU	17,47	428	393	140	961	0	113	1 074	61
009-011_BUREAU	35,49	1 037	786	280	2 103	0	230	2 333	66
007_BUREAU	17,35	593	393	139	1 125	0	112	1 238	71
005_BUREAU	17,32	592	393	139	1 124	0	112	1 236	71
003_BUREAU	17,72	608	393	140	1 141	0	115	1 256	71
RDC_SAS 3	4,89	411	88	149	647	0	32	679	139
RDC_SAS 1	6,98	92	0	0	92	0	23	114	16
RDC_PALIER 02	53,62	1 041	88	155	1 284	0	347	1 631	30
RDC_CIRC 01	51,80	646	0	0	646	0	168	813	16
RDC_CIRC 02	32,53	406	0	0	406	0	105	511	16
RDC_CIRC 03	76,55	889	0	0	889	0	248	1 136	15
RDC_SANITAIRES 2	12,68	720	0	60	780	0	41	821	65
038_LABO	72,58	2 044	983	420	3 447	0	470	3 917	54
012_BUREAU	23,97	648	393	141	1 182	0	155	1 337	56
RDC_SANITAIRES 4_5	8,39	699	0	63	763	0	27	790	94
030-032_LABO	47,02	1 340	655	279	2 274	0	304	2 579	55
026_LABO	22,73	637	328	137	1 102	0	147	1 249	55
022C_LABO	47,83	1 723	983	418	3 124	0	309	3 433	72
028_LABO	22,32	667	328	141	1 135	0	144	1 279	57
022B_LABO	9,24	116	0	0	116	0	30	145	16
020A_LABO	12,70	161	0	0	161	0	41	202	16
024_LABO	22,15	678	328	142	1 147	0	143	1 291	58
022A_LABO	10,67	136	0	0	136	0	35	170	16

Pièce	Surface (m²)	Parois opaques	Baies et portes	Ponts th.	Conduct.	VMC	Infiltr.	Total	Total (W/m²)
RDC_PALIER SALLE	4,94	0	0	0	0	0	16	16	3
010_SALLE DE REUNION	66,68	1 156	1 179	420	2 755	0	431	3 186	48
008_BUREAU	21,93	384	393	140	917	0	142	1 059	48
002_BUREAU	43,65	766	786	279	1 831	0	282	2 114	48
006_BUREAU	22,13	389	393	140	923	0	143	1 066	48
010C_BUREAU	15,90	363	393	138	894	0	103	997	63
RDC_SANITAIRES 1	11,25	988	393	201	1 583	0	73	1 656	147
RDC_SANITAIRES 6	10,50	962	393	199	1 554	0	68	1 622	154
020B_LABO	9,01	507	328	141	975	0	58	1 034	115
141_LABO	34,89	764	655	279	1 699	0	226	1 925	55
139_BUREAU	16,63	358	393	137	889	0	108	996	60
137_BUREAU	18,29	406	393	142	941	0	118	1 060	58
135_LABO	17,49	383	328	140	851	0	113	964	55
133_BUREAU	17,47	383	393	140	915	0	113	1 028	59
131_LABO	17,34	379	328	139	845	0	112	958	55
129_BUREAU	17,28	387	393	140	921	0	112	1 033	60
127_BUREAU	17,09	382	393	140	915	0	111	1 025	60
R1_RESTAURATION	85,16	2 534	1 966	699	5 199	0	551	5 750	68
119_BUREAU	18,50	374	393	139	906	0	120	1 026	55
117_BUREAU	15,96	388	393	140	921	0	103	1 024	64
115_BUREAU	17,39	380	393	139	913	0	112	1 025	59
113_BUREAU	18,99	383	393	140	915	0	123	1 038	55
111_BUREAU	15,93	383	393	140	915	0	103	1 018	64
109_BUREAU	17,73	390	393	140	923	0	115	1 038	59
107_BUREAU	17,35	379	393	139	912	0	112	1 024	59
105_LABO	17,32	378	328	139	845	0	112	957	55
103_LABO	17,35	390	328	140	858	0	112	970	56
R1_PALIER 02	45,25	0	0	0	0	0	146	146	3
R1_PALIER 03	8,82	264	0	90	354	0	29	382	43
R1_CIRC 04	48,24	0	0	0	0	0	156	156	3
R1_CIRC 02	38,21	0	0	0	0	0	124	124	3
R1_CIRC 03	76,28	0	0	0	0	0	247	247	3
R1_PALIER 01	7,50	255	0	27	282	0	24	306	41
R1_SANITAIRE 1-2	12,42	563	0	60	624	0	40	664	53
134B_LABO	22,78	398	328	141	867	0	147	1 014	45
R1_SAS LABO 134B	1,54	0	0	0	0	0	5	5	3
134_LABO	23,82	374	328	139	840	0	154	994	42
108B_BUREAU	23,96	379	393	139	911	0	155	1 066	44
R1_SANITAIRE 4-6	8,39	591	0	63	655	0	27	682	81
R1_SAS LABO 132	1,84	0	0	0	0	0	6	6	3
132_LABO	18,08	0	0	0	0	0	58	58	3
130_LABO	36,14	613	328	164	1 105	0	234	1 339	37
128_LABO	73,86	1 149	983	419	2 551	0	478	3 029	41

Pièce	Surface (m²)	Parois opaques	Baies et portes	Ponts th.	Conduct.	VMC	Infiltr.	Total	Total (W/m²)
R1_SAS LABO 120	0,97	0	0	0	0	0	3	3	3
120A_LABO	21,32	370	328	138	836	0	138	974	46
120_LABO	21,90	393	328	141	862	0	142	1 003	46
122_LABO	21,31	381	328	139	848	0	138	986	46
102_LABO	3,77	0	0	0	0	0	12	12	3
104_LABO	26,07	0	0	0	0	0	84	84	3
114_LABO	43,30	758	655	278	1 691	0	280	1 972	46
112_LABO	22,17	389	328	140	857	0	143	1 001	45
110_LABO	22,08	387	328	140	855	0	143	998	45
108_BUREAU	21,93	384	393	140	917	0	142	1 059	48
106_LABO	22,13	389	328	140	857	0	143	1 000	45
120B_BUREAU	18,17	385	393	140	918	0	118	1 036	57
104B_STOCKAGE	10,78	0	0	0	0	0	35	35	3
R1_SANITAIRE 3	11,00	851	393	201	1 445	0	71	1 516	138
132B_LABO	17,75	542	655	255	1 452	0	115	1 567	88
R1_SANITAIRE 5	10,50	830	393	199	1 422	0	68	1 490	142
Pièce_200	2,20	766	721	279	1 766	0	14	1 780	809
241_BUREAU	16,57	377	393	139	909	0	107	1 016	61
239_BUREAU	17,30	388	393	140	921	0	112	1 033	60
237_BUREAU	16,63	358	393	137	889	0	108	996	60
235_BUREAU	18,29	406	393	142	941	0	118	1 060	58
233_BUREAU	17,13	383	393	140	916	0	111	1 027	60
231_BUREAU	34,37	761	786	279	1 826	0	222	2 049	60
229_BUREAU	16,92	388	393	140	921	0	109	1 030	61
227_BUREAU	34,72	772	786	280	1 838	0	225	2 062	59
225B_BUREAU	16,47	375	393	139	907	0	107	1 013	62
225_BUREAU	17,16	394	393	141	928	0	111	1 039	61
223_SERVEUR	15,28	375	393	139	907	0	99	1 006	66
221_LABO	15,74	390	328	140	858	0	102	960	61
219_BUREAU	18,50	374	393	139	906	0	120	1 026	55
217_BUREAU	15,60	388	393	140	921	0	101	1 022	66
215_BUREAU	17,02	380	393	139	913	0	110	1 023	60
213_BUREAU	18,99	383	393	140	915	0	123	1 038	55
211_BUREAU	15,93	383	393	140	915	0	103	1 018	64
209_BUREAU	17,36	390	393	140	923	0	112	1 036	60
207_BUREAU	16,99	379	393	139	912	0	110	1 021	60
205_BUREAU	17,32	378	393	139	911	0	112	1 023	59
203_BUREAU	17,35	390	393	140	923	0	112	1 035	60
R2_PALIER 03	8,88	264	0	90	354	0	29	383	43
R2_CIRC 01	56,54	0	0	0	0	0	183	183	3
R2_CIRC 02	32,85	0	0	0	0	0	106	106	3
R2_CIRC 03	78,64	0	0	0	0	0	254	254	3
R2_PALIER 01	7,50	255	0	27	282	0	24	306	41

Pièce	Surface (m²)	Parois opaques	Baies et portes	Ponts th.	Conduct.	VMC	Infiltr.	Total	Total (W/m²)
R2_SANITAIRES 1-2	12,42	563	0	60	624	0	40	664	53
238_BUREAU	25,00	398	393	141	932	0	162	1 094	44
236_BUREAU	24,34	374	393	139	906	0	157	1 063	44
R2_SANITAIRES 5	8,39	591	0	63	655	0	27	682	81
234_BUREAU	47,36	774	786	280	1 840	0	306	2 147	45
232_BUREAU	24,66	381	393	139	913	0	160	1 073	43
230_LABO	23,79	382	328	140	849	0	154	1 003	42
222_BUREAU	45,98	755	786	278	1 820	0	297	2 117	46
220_BUREAU	21,45	393	393	141	927	0	139	1 066	50
228_LABO	21,94	385	328	140	852	0	142	994	45
226_BUREAU	21,40	383	393	140	916	0	138	1 054	49
224_BUREAU	21,31	381	393	139	913	0	138	1 051	49
214A_BUREAU	21,45	384	393	140	917	0	139	1 055	49
214_BUREAU	21,49	374	393	139	906	0	139	1 045	49
212_LABO	21,72	390	328	140	858	0	141	998	46
210_SERVEUR	21,17	387	393	140	921	0	137	1 058	50
208_BUREAU	43,54	763	786	279	1 828	0	282	2 110	48
202_BUREAU	21,39	382	393	140	915	0	138	1 053	49
204_BUREAU	21,93	384	393	140	917	0	142	1 059	48
206_SALLE DE REUNION	22,13	389	393	140	923	0	143	1 066	48
R2_SANITAIRES 3	11,00	851	393	201	1 445	0	71	1 516	138
R2_SANITAIRES 4	10,50	830	393	199	1 422	0	68	1 490	142
RDC_PALIER 01	23,53	6 018	1 572	773	8 364	0	626	8 990	382
347_BUREAU	16,93	637	393	173	1 203	0	131	1 335	79
345_BUREAU	17,67	654	393	175	1 222	0	137	1 359	77
343_BUREAU	16,63	609	393	170	1 172	0	129	1 301	78
341_BUREAU	18,29	681	393	178	1 253	0	142	1 395	76
339_BUREAU	17,49	647	393	174	1 214	0	136	1 350	77
337_BUREAU	17,34	640	393	174	1 206	0	135	1 341	77
335_BUREAU	17,47	646	393	174	1 213	0	136	1 349	77
333_BUREAU	17,28	653	393	175	1 221	0	134	1 355	78
331_BUREAU	17,17	648	393	175	1 216	0	133	1 349	79
329_BUREAU	17,63	652	393	175	1 221	0	137	1 358	77
327_BUREAU	17,20	634	393	173	1 200	0	134	1 333	78
325_BUREAU	17,50	663	393	176	1 232	0	136	1 368	78
321-323_BUREAU	31,27	1 242	786	349	2 377	0	243	2 620	84
319_BUREAU	18,50	658	393	173	1 224	0	144	1 368	74
317_BUREAU	15,60	629	393	175	1 197	0	121	1 318	85
315_BUREAU	17,02	642	393	174	1 209	0	132	1 341	79
313_BUREAU	18,99	668	393	174	1 236	0	147	1 383	73
311_BUREAU	15,93	623	393	174	1 190	0	124	1 314	82
309_BUREAU	17,73	657	393	176	1 225	0	138	1 363	77
307_BUREAU	17,35	640	393	174	1 207	0	135	1 342	77

Pièce	Surface (m²)	Parois opaques	Baies et portes	Ponts th.	Conduct.	VMC	Infiltr.	Total	Total (W/m²)
305_BUREAU	17,32	639	393	174	1 206	0	135	1 340	77
303_BUREAU	17,35	656	393	176	1 225	0	135	1 360	78
RDC_PALIER 03	11,85	5 894	1 572	837	8 303	0	571	8 874	749
R3_PALIER 02	59,96	1 681	786	349	2 817	0	466	3 282	55
R3_PALIER 03	8,82	400	0	108	508	0	34	542	61
R3_CIRC 01	59,36	903	0	0	903	0	230	1 133	19
R3_CIRC 02	32,48	496	0	0	496	0	126	622	19
R3_CIRC 03	78,64	1 188	0	0	1 188	0	305	1 494	19
R3_PALIER 01	7,50	370	0	45	414	0	29	443	59
R3_SANITAIRE 2-3	12,42	755	0	99	853	0	48	901	73
338_LABO	24,34	740	328	173	1 240	0	189	1 429	59
Pièce_366	0,00	70	0	0	70	0	61	131	
R3_SANITAIRE 4-5	8,39	723	0	104	827	0	33	860	102
334_BUREAU	24,00	745	393	175	1 313	0	186	1 499	62
332_BUREAU	24,66	751	393	174	1 318	0	191	1 510	61
330_BUREAU	24,73	753	393	174	1 321	0	192	1 513	61
322_LABO	25,11	768	328	176	1 271	0	195	1 466	58
320_REUNION	43,35	1 411	786	347	2 545	0	337	2 881	66
336_BUREAU	22,15	723	393	176	1 292	0	172	1 464	66
328_BUREAU	21,94	715	393	175	1 282	0	170	1 453	66
326_BUREAU	21,40	711	393	174	1 279	0	166	1 445	68
324_BUREAU	21,31	708	393	174	1 275	0	165	1 441	68
318_LABO	21,45	713	328	174	1 215	0	167	1 382	64
314_BUREAU	44,02	1 420	786	348	2 554	0	342	2 896	66
312_BUREAU	22,08	719	393	175	1 288	0	171	1 459	66
310_BUREAU	21,88	712	393	174	1 279	0	170	1 449	66
308_BUREAU	21,76	707	393	174	1 274	0	169	1 443	66
302_BUREAU	21,39	710	393	174	1 278	0	166	1 444	67
304_BUREAU	21,93	714	393	174	1 281	0	170	1 451	66
306_BUREAU	22,13	722	393	175	1 290	0	172	1 462	66
340_LABO	21,97	735	328	177	1 239	0	171	1 410	64
R2_PALIER 02	45,47	2 790	2 251	712	5 753	0	739	6 492	143
R3_SANITAIRE 1	11,00	1 019	393	268	1 680	0	85	1 765	160
R3_SANITAIRE 6	10,50	991	393	264	1 648	0	82	1 730	165

Annexe 3 : Consommations de la STD

		TRAVAUX (kWh EF)							
		Chauffage	Refroidissement	ECS	Eclairage	Auxiliaires de distribution	Ventilation	Usage spécifique	PV
Etat initial		232 378	32 237	7 568	47 734	4 835	0	419 326	0
Travaux 1	Isolation de la toiture	212 809	32 137	7 566	47 734	4 790	0	419 326	0
Travaux 2	Isolation des murs de façade par l'extérieur	74 758	33 616	7 456	47 734	4 210	0	419 326	0
Travaux 3	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) +BSO	173 633	31 027	7 549	43 131	4 628	0	419 326	0
Travaux 4	Isolation du plancher bas	230 099	32 442	7 566	47 734	5 016	0	419 326	0
Travaux 5	Ventilation : Mise en place d'une CTA double flux	246 108	32 397	7 573	47 734	4 607	11 518	419 326	0
Travaux 6	Mise en œuvre de brasseurs d'air plafonniers	232 378	32 237	7 568	47 734	4 835	2 880	419 326	0
Travaux 7	Calorifugeage des échangeurs (sous-station) et des canalisations EC (sous-sol) + Panoplies hydrauliques neuves	231 851	32 237	7 568	47 734	1 304	0	419 326	0
Travaux 8	GTB + Mise en œuvre de régulateurs thermostatiques	198 760	32 246	7 596	47 734	4 564	0	419 326	0
Travaux 9	Mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques	232 378	32 237	7 568	47 734	4 835	0	419 326	131 984
Travaux 10	Regroupement des productions de climatisation	232 378	27 602	7 568	47 734	5 984	186	419 326	0
Travaux 11	Mise en œuvre d'un éclairage performant	245 633	31 034	7 568	16 304	4 886	0	419 326	0
Travaux 12	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) +Brise soleil fixe	178 401	31 660	7 548	44 279	4 646	0	419 326	0

	SCENARIOS (kWh EF)							
	Chauffage	Refroidissement	ECS	Eclairage	Auxiliaires de distribution	Ventilation	Usage spécifique	PV
Etat initial	232 378	32 237	7 568	47 734	4 835	0	419 326	0
Bouquet de travaux de programmation	10 187	28 432	7 265	16 056	2 866	14 278	419 326	131 984

		TRAVAUX (kWh EF/m²)							
		Chauffage	Refroidissement	ECS	Eclairage	Auxiliaires de distribution	Ventilation	Usage spécifique	PV
Etat initial		45,8	6,4	1,5	9,4	1,0	0,0	82,6	0
Travaux 1	Isolation de la toiture	41,9	6,3	1,5	9,4	0,9	0,0	82,6	0
Travaux 2	Isolation des murs de façade par l'extérieur	14,7	6,6	1,5	9,4	0,8	0,0	82,6	0
Travaux 3	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) +BSO	34,2	6,1	1,5	8,5	0,9	0,0	82,6	0
Travaux 4	Isolation du plancher bas	45,3	6,4	1,5	9,4	1,0	0,0	82,6	0
Travaux 5	Ventilation : Mise en place d'une CTA double flux	48,5	6,4	1,5	9,4	0,9	2,3	82,6	0
Travaux 6	Mise en œuvre de brasseurs d'air plafonniers	45,8	6,4	1,5	9,4	1,0	0,6	82,6	0
Travaux 7	Calorifugeage des échangeurs (sous-station) et des canalisations EC (sous-sol) + Panoplies hydrauliques neuves	45,7	6,4	1,5	9,4	0,3	0,0	82,6	0
Travaux 8	GTB + Mise en œuvre de régulateurs thermostatiques	39,2	6,4	1,5	9,4	0,9	0,0	82,6	0
Travaux 9	Mise en œuvre de panneaux solaires photovoltaïques	45,8	6,4	1,5	9,4	1,0	0,0	82,6	26,0
Travaux 10	Regroupement des productions de climatisation	45,8	5,4	1,5	9,4	1,2	0,0	82,6	0
Travaux 11	Mise en œuvre d'un éclairage performant	48,4	6,1	1,5	3,2	1,0	0,0	82,6	0
Travaux 12	Remplacement des menuiseries (Portes et Fenêtres) +Brise soleil fixe	35,2	6,2	1,5	8,7	0,9	0,0	82,6	0

	SCENARIOS (kWh EF/m²)							
	Chauffage	Refroidissement	ECS	Eclairage	Auxiliaires de distribution	Ventilation	Usage spécifique	PV
Etat initial	45,8	6,4	1,5	9,4	1,0	0,0	82,6	0
Bouquet de travaux de programmation	2,0	5,6	1,4	3,2	0,6	2,8	82,6	26,0

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 situé 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 (m²).
SU	Surface utile (m²).
SHOB	Surface hors œuvre brut ou surface de plancher développée (m²).
SHON	Surface hors œuvre nette (m²).
Ubat	Coefficient déperditif de l'enveloppe (W/m².K).
Cep	Consommation d'énergie primaire (kWh _{ep} /m².an) – Suivant la surface définie dans l'étude.
Cef	Consommation d'énergie finale (kWh _{ef} /m².an) – Suivant la surface définie dans l'étude.
Crelat	Consommation d'énergie finale en valeur relative (kWh _{ef} /m²SDP.an).
Créf	Consommation de référence (kWh _{ef} /m²SDP.an).
Cabs	Consommation d'énergie finale en valeur absolue (kWh _{ef} /m²SDP.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/m².K).
Ue	Coefficient déperditif équivalent prenant en compte les ponts thermiques de structure et les contacts (terreplein, sous-sol/vide sanitaire, toiture végétalisée, ...) (W/m².K).
b	Coefficient de réduction de température (W/K.m³).
Rglobale	Résistance thermique d'une paroi (m².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/m².K).
Sg	Facteur solaire de la partie vitrée de la menuiserie.
Ujn	Coefficient déperditif de la menuiserie avec protection (W/m².K).
Uw	Coefficient déperditif de la menuiserie sans protection (W/m².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.