

Rapport d'audit énergétique

Bâtiment audité **PJ Cahors**

Boulevard Léon Gambetta
46000 Cahors

Maitre d'ouvrage Ministère de la justice
1, place Emile Blouin, 31952 Toulouse cedex 9
31000 Toulouse



**MINISTÈRE
DE LA JUSTICE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Sommaire



Résumé et synthèse de l'audit

3



5. Consommations énergétiques et eau

25



1. Contexte et objectifs

5



6. Synthèse de l'existant

34



2. Présentation du site

8



7. Améliorations énergétiques

35



3. Etat des lieux de la situation actuelle

12



8. Programmes de travaux

66



4. Confort des occupants

23



9. Annexes

74

Synthèse - ETAT INITIAL

PJ Cahors

Adresse	Boulevard Léon Gambetta, 46000 Cahors
Usage	Palais de justice
Occupation	Bureau et audience ouverts en moyenne de 8h à 18h
Bâtiment	1 bâtiment sur 3 niveaux
Surface	SDP : 2965 m ² Chauffée : 2734 m ² Refroidie : 1267 m ²
Volume	Chauffé : 12075 m ³ Refroidi : 5594 m ³
Historique	1865 rénové en 2004
Météos	DJU Référence = 2187 Zone climatique RT = H2c
Ratio conso.	118 kWh/m ² .an (surface de plancher) 128 kWh/m ² .an (surface chauffée)



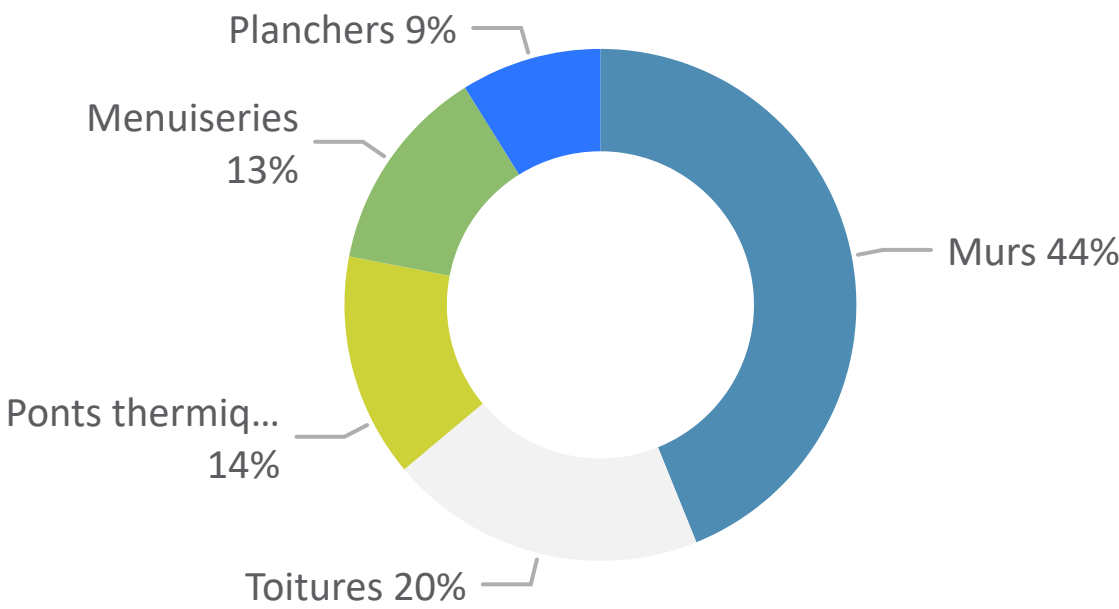
Enveloppe thermique

- Espaces patrimoniaux : pierres apparentes
- Espaces administratifs : doublage plâtre + isolant
- Menuiserie en SV et DV ancien dans la majorité du bâtiment
- DV performant dans les tours
- Toitures R+1 : combles perdus avec faible isolation
- Toitures R+2 : isolation réalisée en 2004
- Rampants salle d'audience : faible isolation ou absence d'isolation
- Plancher bas sur terre plein sans isolation

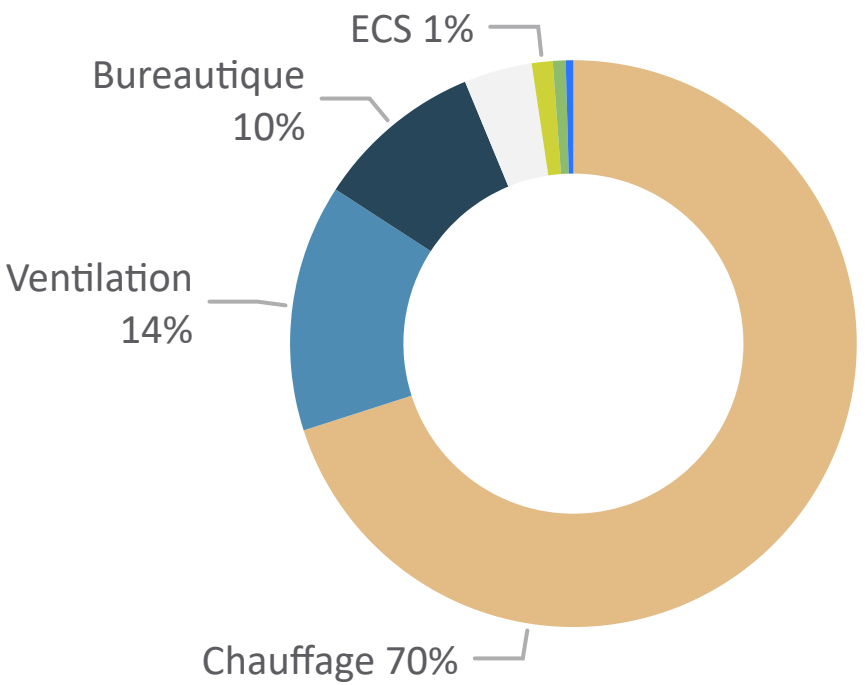
Equipements techniques

- 2 chaudières gaz
- Pompes à chaleur air/air Niv 1 et 2
- Pompes à chaleur air/air Niv 1 et 2
- Cumulus électrique
- Éclairage principalement rénové
- Simple flux dans les pièces humides et archives
- Double flux dans la salle des pas perdus, des assises et du tribunal

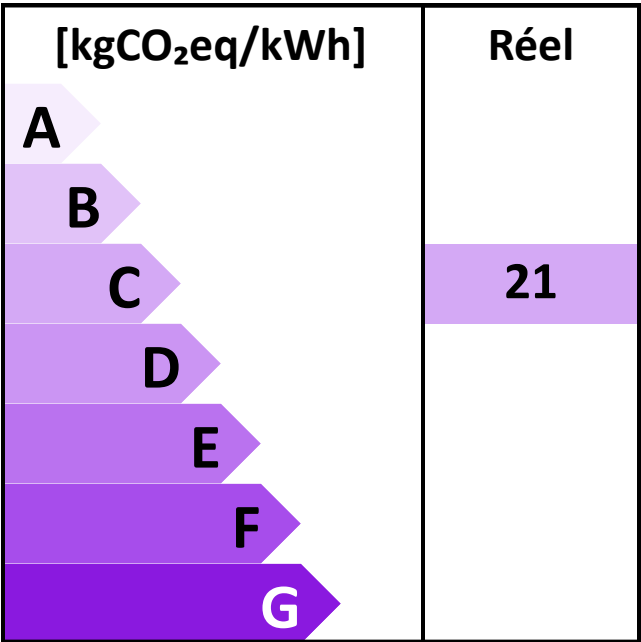
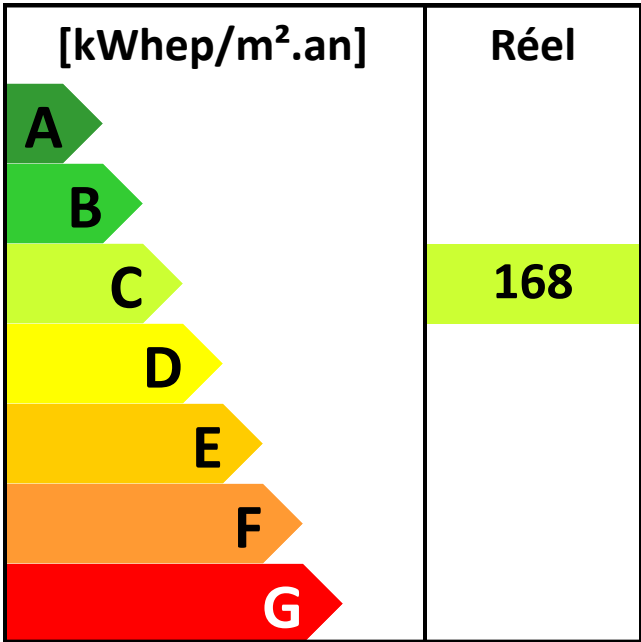
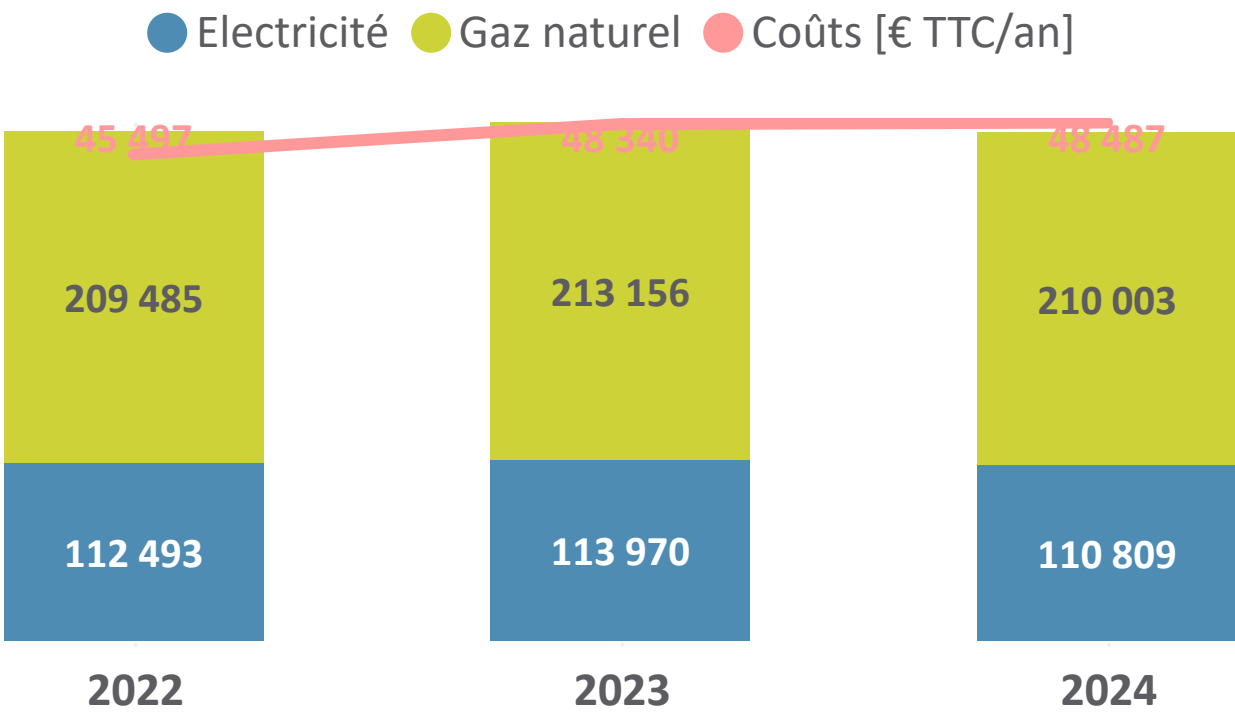
Répartition des déperditions thermiques de l'enveloppe



Répartition des consommations énergétiques



Evolution des consommations [kWh/an] sur 3 ans



Synthèse - AMELIORATIONS ET PROGRAMMES

L'audit énergétique a identifié des solutions d'amélioration et proposé des travaux, offrant au maître d'ouvrage les éléments nécessaires pour planifier un plan d'action. Au regard des préconisations et des besoins, il semble pertinent de s'orienter vers le choix du programme 1.

Amélioration	Pro.1	Pro.2	Pro.3		Investissement [€ TTC]	Gains énergie finale	Gains énergie primaire	Gains GES	Gains charges annuelles	TR investis. [ans]
Isolation sous couverture des jonctions		✓	✓	🏠	39 648	2 %	2 %	3 %	2 %	17
Ajout d'isolation sous couverture		✓	✓	🏠	45 422	8 %	6 %	11 %	7 %	6
Isolation des murs sur locaux non chauffés		✓	✓	🏠	13 176					19
Remplacement de l'isolation des murs intérieures		✓		🏠	360 929	3 %	2 %	4 %	2 %	>30
Remplacement des menuiseries SV		✓		🏠	67 200	3 %	2 %	3 %	2 %	20
Mise en place de store extérieur électrique			✓	🌡️	40 800					
BACS classe C + supervision	✓	✓	✓	🌡️	113 760	10 %	11 %	10 %	10 %	11
Remplacement des menuiseries DV				🏠	536 400	6 %	8 %	5 %	7 %	>30
Horloge : VMC & sonde CO2 : CTA	✓	✓	✓	🌀	3 000	10 %	9 %	10 %	9 %	0
Installation d'une PAC air/eau	✓	✓		🌬️	156 000	44 %	13 %	76 %	22 %	6
Installation d'une PAC géothermique			✓	🏠	213 600	47 %	17 %	78 %	26 %	7
Installation de panneaux solaires photovoltaïques			✓	☀️	51 000	5 %	7 %	2 %	6 %	7
Optimisation du chauffage gaz	✓	✓	✓	🌡️	36 960	2 %	2 %	3 %	2 %	16
Programme 1					309 720	50 %	21 %	79 %	29 %	6
Programme 2					836 095	54 %	28 %	80 %	34 %	16
Programme 3					557 366	58 %	34 %	82 %	40 %	8

1.1 - Objectifs

L'objectif d'un audit énergétique est de permettre, à partir d'une analyse détaillée des données techniques des différents bâtiments d'un site, de dresser une proposition chiffrée et argumentée de programmes d'économie d'énergie cohérents avec les objectifs nationaux et amener le maître d'ouvrage à décider des investissements appropriés compte tenu du projet de modernisation de son parc de bâtiment.

Le présent rapport concerne l'audit énergétique pour le site "PJ Cahors", situé Boulevard Léon Gambetta, 46000 Cahors.

1.2 - Contexte

Cadre d'étude

Cet audit s'inscrit dans le cadre d'un appel d'offres émis par le département immobilier du ministère de la Justice, visant à réaliser des audits énergétiques approfondis de plusieurs palais de justice.

L'objectif de cette mission est d'accompagner le ministère dans sa démarche de performance énergétique, en contribuant à la réduction de la consommation énergétique des bâtiments concernés et en alignant leurs performances avec les objectifs nationaux en matière de transition énergétique et de développement durable.

L'ensemble du parc immobilier du Ministère de la Justice fait apparaître 1 252 sites assujettis au Décret Tertiaire.

Compte tenu de l'urgence climatique et du calendrier réglementaire, la réalisation d'une étude multi-site est une première étape clé vers un recensement plus global du parc immobilier du Ministère de la Justice.

L'étude porte ainsi dans un 1er temps sur l'analyse de 7 sites dont :

- 5 Palais de Justice, du ressort de la Direction des Services Judiciaires (DSJ) ;
- 2 Unités Educatives du ressort de la Protection Judiciaire de la Jeunesse (PJJ).

Visite du bâtiment

L'audit énergétique a démarré par une visite sur site, effectuée le **11/07/2024**, qui a permis de faire tous les relevés nécessaires à l'étude.

Cette visite a permis également d'effectuer une réunion de démarrage ayant pour but de préciser les attentes et besoins du maître d'ouvrage et lui expliciter les objectifs de l'audit et la méthodologie mise en œuvre.

Les données transmises et analysées dans le cadre de l'étude sont :

- Plans
- Courbe de charges
- Études thermiques
- Données de température intérieure
- Questionnaire occupant

1.3 - Méthodologie

Les audits énergétiques sont réalisés conformément au cahier des charges de l'ADEME ainsi qu'aux normes suivantes :

- Norme NF EN 16247-1 - août 2022 - Audits énergétiques - Partie 1 : exigences générales
- Norme NF EN 16247-2 - octobre 2022 - Audits énergétiques - Partie 2 : bâtiments

Ces deux normes européennes sont applicables aux exigences spécifiques relatives aux audits énergétiques dans les bâtiments.

Elles précisent les exigences, la méthodologie et les livrables d'un audit énergétique dans un bâtiment ou groupe de bâtiments, à l'exclusion des habitations privées individuelles.

Ereah présente également la qualification OPQIBI-RGE 1905 « Audit énergétique des bâtiments » nécessaire pour la réalisation de ces missions d'audits énergétiques.

La mission d'audit se déroule selon les phases suivantes :

- Etat des lieux avec collecte des données et visites sur site : les visites sur site permettent de réaliser un inventaire global des caractéristiques des bâtiments et de leurs installations, des différents processus de production de chaleur et de froid le cas échéant et de l'ensemble des points de consommations ainsi que leurs descriptions précises. L'audit sur site porte sur la physique du bâtiment, les équipements CVC, divers systèmes consommateurs d'énergie ainsi que sur le confort d'occupation. D'autres informations complémentaires sont également collectées : nombre d'usagers, d'employés et de visiteurs, calendrier d'occupation journalier, mensuel et annuel, consignes de températures et humidité de confort attendues...
- Bilan énergétique de la situation existante : un modèle 3D du bâtiment est réalisé sur le logiciel Bimwiq puis la maquette est ensuite transférée au logiciel ArchiWIZARD afin de réaliser les simulations thermiques dynamiques (moteur de calcul EnergyPlus) et les calculs réglementaires TH-CE-ex. Les consommations réelles sont confrontées avec les résultats obtenus par le calcul théorique des consommations à partir du logiciel de simulation thermique dynamique. Ce calcul est réalisé pour une année standard de la station météo la plus proche du site.
- Proposition de solutions d'améliorations
- Programmes d'améliorations et propositions de travaux : dans cette phase, plusieurs scénarios sont étudiés. Chaque scénario définit les actions à mettre en œuvre et l'enveloppe financière nécessaire et il est établi une comparaison entre les consommations énergétiques, les émissions de gaz à effet de serre et les charges énergétiques annuelles avant et après réalisation du programme d'améliorations

Les consommations et gains énergétiques indiqués tout au long du rapport sont exprimés en énergie finale. Lorsque nous exprimons ces données en énergie primaire (voir définition en fin de document paragraphe 9.1) cela est spécifié par la mention "kWhEP".

1.4 - Questionnaire aux occupants

Lors de la visite du bâtiment nous échangeons avec les occupants afin de recueillir leurs sentiments et avis sur le confort l'usage dans le bâtiment. En complément un questionnaire est distribué par voie électronique. Les questions posées portent sur le confort thermique, acoustique et visuel. Nous analysons également via ce questionnaire l'usage des différents équipements et le comportement des usagers vis à vis de l'énergie ainsi que leur ressenti avec des remarques générales. Les réponses au questionnaire sont synthétisées sous forme de graphiques et d'analyses dans un rapport séparé. Ci-dessous sont données quelques extraits du questionnaire transmis aux occupants. **A ce jour, le nombre de réponses reçues au questionnaire est de 18.**

Confort thermique

Comment jugez-vous le confort thermique dans votre local ?

En hiver *	Confort mi-saison *	En été *
<input type="radio"/> Trop froid	<input type="radio"/> Trop froid	<input type="radio"/> Trop froid
<input type="radio"/> Confortable	<input type="radio"/> Confortable	<input type="radio"/> Confortable
<input type="radio"/> Trop chaud	<input type="radio"/> Trop chaud	<input type="radio"/> Trop chaud
<input type="radio"/> Extrême/ non supportable	<input type="radio"/> Extrême/ non supportable	<input type="radio"/> Extrême/ non supportable

Quelle est la température que vous jugez le plus confortable pour votre activité de travail en hiver ? *	Quelle est la température que vous jugez le plus confortable pour votre activité de travail en été ? *
<input type="radio"/> 17°C ou moins	<input type="radio"/> 24°C ou moins
<input type="radio"/> 18°C	<input type="radio"/> 25°C
<input type="radio"/> 19°C	<input type="radio"/> 26°C
<input type="radio"/> 20°C	<input type="radio"/> 27°C
<input type="radio"/> 21°C	<input type="radio"/> 28°C
<input type="radio"/> 22°C ou plus	<input type="radio"/> 29°C ou plus

Avez-vous ressenti une évolution du confort thermique sur plusieurs années ? Si oui laquelle ? *

Régulation chauffage et climatisation

Présence d'une régulation de la température dans le local ? *

En hiver

☐ Télécommande

☐ Panneau de commande mural

☐ Robinet thermostatique

☐ Action ON/OFF sur l'émetteur

☐ Pas de régulation possible

A quelle température fixez-vous la consigne ? *

En hiver

☐ 17°C ou moins

☐ 18°C

☐ 19°C

☐ 20°C

☐ 21°C

☐ 22°C ou plus

☐ Pas d'action possible

En été *

☐ Télécommande

☐ Panneau de commande mural

☐ Action ON/OFF sur l'émetteur

☐ Pas de régulation possible

☐ Pas de climatisation

En été *

☐ 24°C ou moins

☐ 25°C

☐ 26°C

☐ 27°C

☐ 28°C

☐ 29°C ou plus

☐ Pas d'action possible

Confort visuel et acoustique

Luminosité du local *	Contrôle de l'éclairage *	Ambiance acoustique *	Sources de bruit *
<input type="radio"/> Sombre	<input type="checkbox"/> Interrupteur on/off	<input type="radio"/> Calme	<input type="checkbox"/> Discussions voisines
<input type="radio"/> Lumineux	<input type="checkbox"/> Variateur de luminosité	<input type="radio"/> Légèrement bruyant	<input type="checkbox"/> Equipements (ordi...)
<input type="radio"/> Très lumineux	<input type="checkbox"/> Détecteur de présence	<input type="radio"/> Très bruyant	<input type="checkbox"/> Chauffage/clim./ventilation
	<input type="checkbox"/> Lampe de bureau		<input type="checkbox"/> Circulation (couloir)
			<input type="checkbox"/> Extérieur
			<input type="checkbox"/> Autres
			<input type="checkbox"/> Rien à signaler

2.1 - Fiche d'identité du site

PJ Cahors

Adresse	Boulevard Léon Gambetta, 46000 Cahors
Contact	M. Bideau Olivier
Usage	Palais de justice
Occupation	Bureau et audience ouverts en moyenne de 8h à 18h
Bâtiment	1 bâtiment sur 3 niveaux
Surface [m²]	SDP : 2965 m² Chauffée : 2734 m² Refroidie : 1267 m²
Volume [m³]	Chauffé : 12075 m³ Refroidi : 5594 m³
Historique	1865 rénové en 2004
Données météo	Tmin = -8,1°C Tmoy = 13,5°C Tmax = 38,3°C
	DJU Référence = 2187 Zone climatique RT = H2c



44,4486930242423

Latitude

1,4392136011666

Longitude



Usages énergétiques

Energie	Abonnement	Usages
Electricité (30002340304733)	Heures Creuses 22h - 06h	Chauffage Climatisation Divers
Gaz naturel (23489146142701)	Pas d'informations	Chauffage

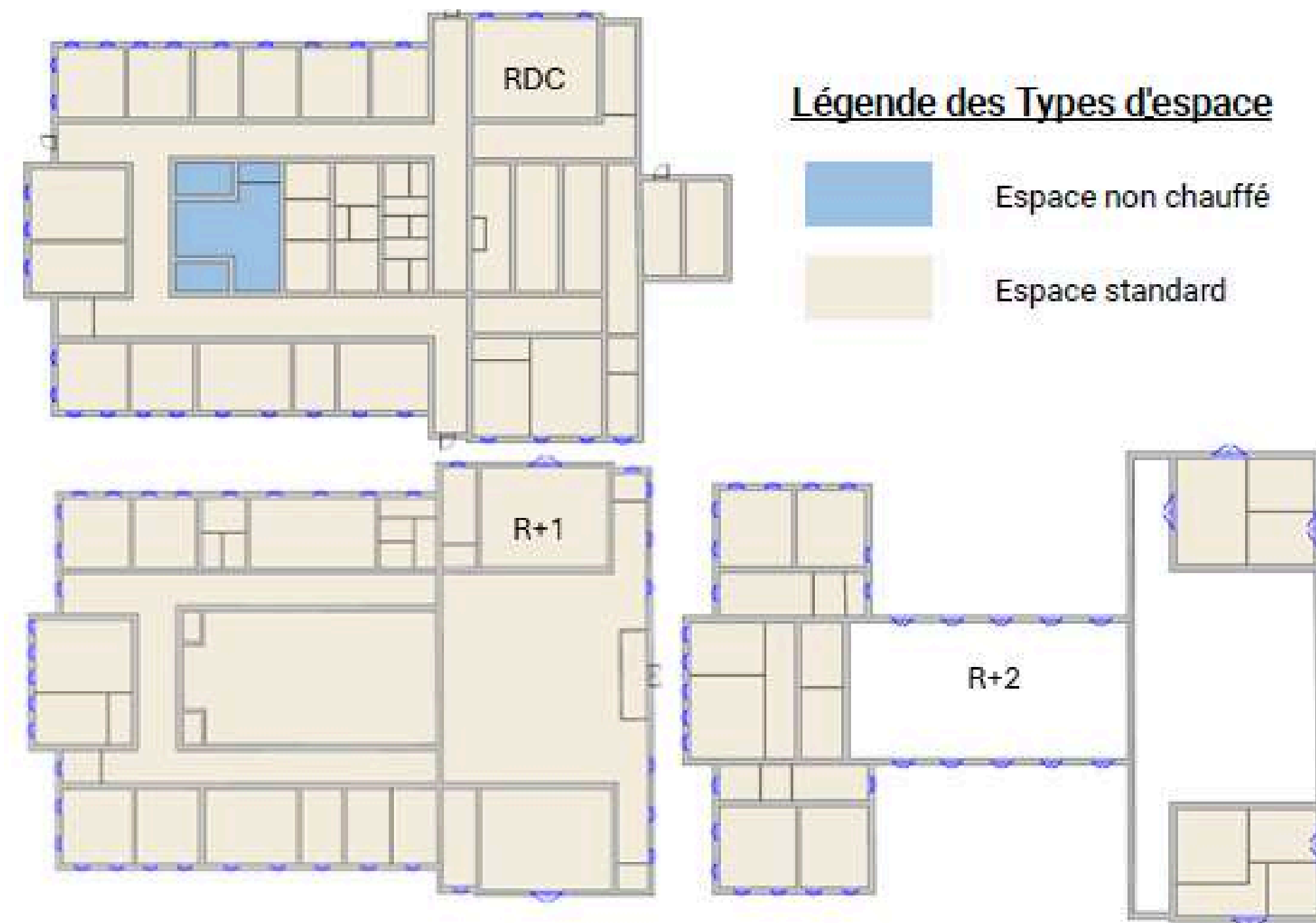
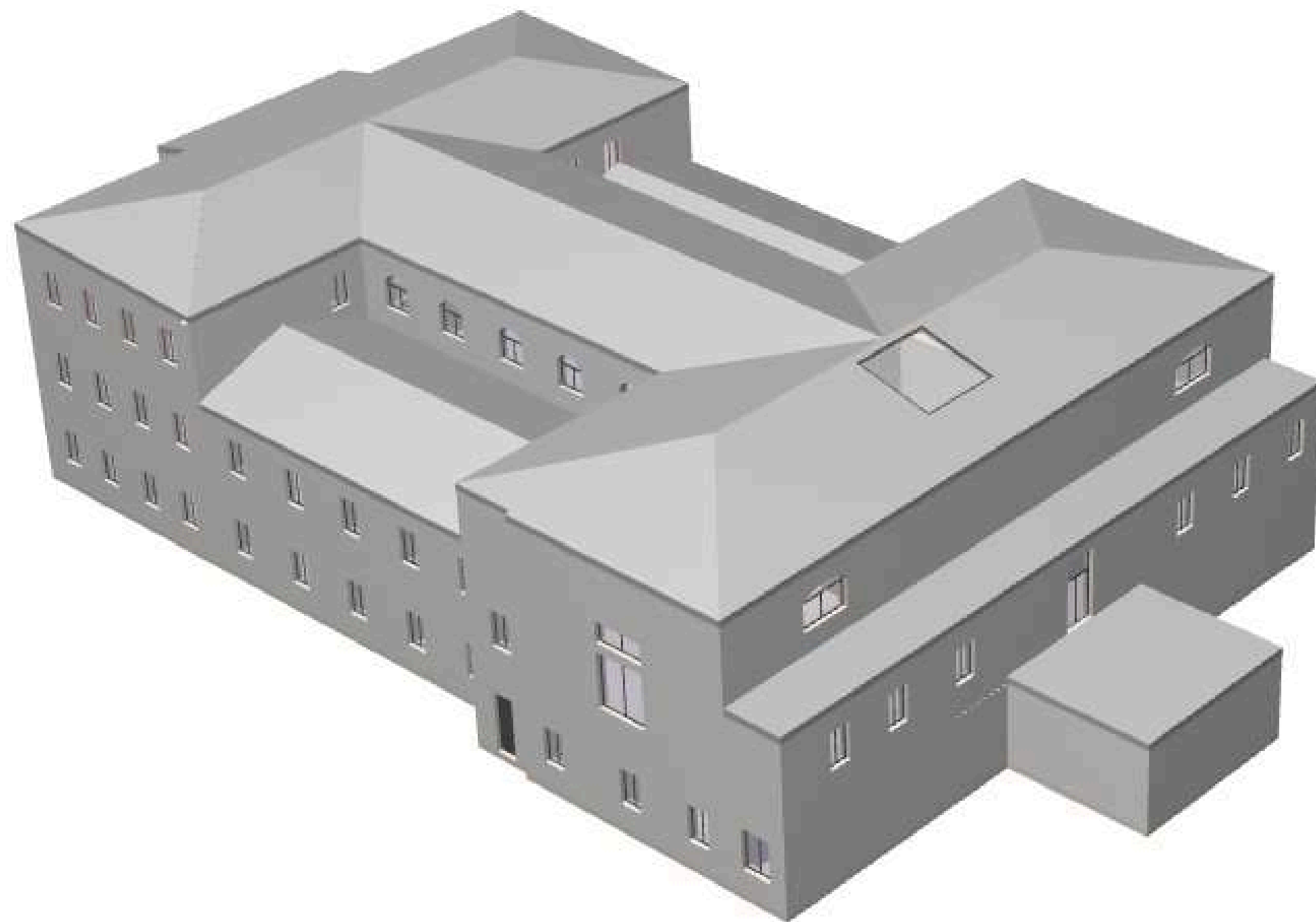
Consommations énergétiques de référence

	Electricité	Gaz naturel	Total
Consommations énergétiques [kWh/an]	114 551	235 945	350 496
Ratio de consommation : plancher [kWh/m².an]	39	80	118
Ratio de consommation : chauffée [kWh/m².an]	42	86	128
Factures énergétiques [€ TTC/an]	22 156	24 762	46 918

2.2 - Plans du bâtiment

Le site a été modélisé numériquement en 3D à l'aide d'un logiciel de CAO. Il s'agit d'une maquette thermique simplifiée, réalisée à partir des fonds de plans existants. Cette approche permet de simuler les performances énergétiques du bâtiment. Toutefois, les surfaces indiquées dans le rapport sont générées à partir de cette maquette et peuvent différer d'un mètreage détaillé réalisé par un géomètre ou un architecte. Les images ci-dessous illustrent les vues 3D du modèle numérique ainsi que les plans 2D correspondants.

Le site est composé de 1 bâtiment sur 3 niveaux, pour une surface totale chauffée de 2734 m².



2.3 - Données météorologiques du site

Le site est situé dans la ville de Cahors et la station météorologique qui se rapproche le plus de la ville est la station de Cahors (46).

Le climat de la région de Cahors est un climat tempéré aux influences océaniques et méditerranéennes, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. La région bénéficie d'un bon ensoleillement tout au long de l'année, avec des précipitations principalement concentrées en automne et en hiver. Sur une année, la température moyenne est de 13°C.

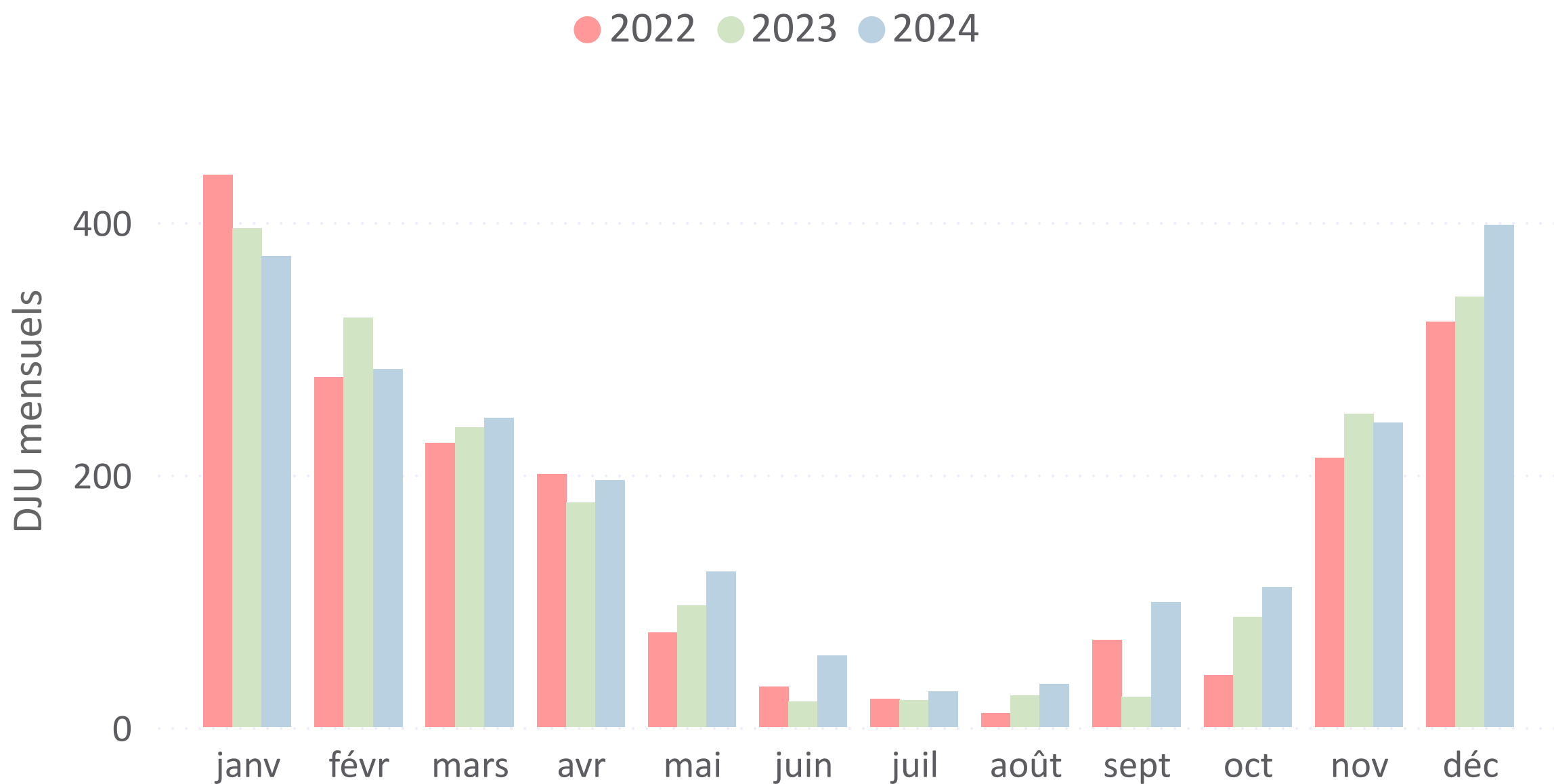
Pour les analyses des consommations énergétiques, on utilise la notion de Degré Jour Unifié (DJU) qui est un indicateur qui permet de corriger les consommations énergétiques d'une année en fonction de la rigueur climatique de l'année concernée.

Ci dessous sont représentés, pour les 3 dernières années, les DJU du site sur le graphique de gauche et les températures minimales, maximales et moyennes dans le tableau de droite. **Les DJU de référence sur une année du site sont de 2187 DJU**, correspondant à la moyenne des DJU du site de 2010 à 2023.

Dans le cadre des études thermiques règlementaires, les données météo sont liées à une zone climatique (voir carte ci-dessous en bas à droite).

La zone climatique du site est la zone H2c.

DJU mensuels du site sur les 3 dernières années



Année	Temp mini [°C]	Temp maxi [°C]	Temp moy [°C]	DJU annuel
2022	-7,70	39,00	14,70	1 923,00
2023	-6,60	40,30	14,30	1 996,00
2024	-7,90	38,30	13,90	2 186,00

Carte de zone climatique calcul thermique règlementaire



2.4 - Contexte réglementaire

Décret éco-énergie tertiaire (DEET)

Soumis

Depuis l'année 2022, le **décret éco-énergie tertiaire (DEET)** impose une réduction de la consommation énergétique finale des bâtiments à usage tertiaire occupant une unité foncière de plus de 1000 m². Dans l'avenir cela pourra concerner tous les bâtiments. Les objectifs à atteindre pour respecter le décret sont, soit de réaliser un gain en énergie finale de -40% pour 2030, -50% pour 2040 et -60% pour 2050 (par rapport à une consommation de référence choisie entre 2010 et 2019), soit d'atteindre un niveau de consommation d'énergie finale en valeur absolue, fixée par rapport à l'usage du bâtiment. Afin d'atteindre ces objectifs, chaque propriétaire ou locataire assujetti au décret tertiaire aurait dû envoyer avant septembre 2022 ses consommations énergétiques sur une plateforme informatique gérée par l'ADEME : OPERAT.

Décret BACS "Building Automation and Control System"

Soumis

Le **décret BACS (Building Automation and Control Systems)**, issu de la directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments (EPBD), impose l'installation de systèmes d'automatisation et de contrôle dans les bâtiments pour améliorer leur efficacité énergétique. Il introduit 4 classes d'exigence :

- Classe A – fonctions ayant une performance énergétique élevée ;
- Classe B – fonctions avancées, comme par exemple sur la production de chaleur, mise en place d'une régulation de température en fonction de la charge ;
- Classe C – fonctions standards répondant aux exigences réglementaires ;
- Classe D – fonctions inefficaces sur le plan énergétique.

Ces exigences s'appliquent aux bâtiments tertiaires possédant des équipements d'une puissance supérieure à 290 kW à partir du 1er janvier 2025 et à partir du 01/01/2027 pour les bâtiments d'une puissance comprise entre 70 kW et 290 kW.

Règlementation thermique

Elément par élément

La réglementation thermique qui s'applique sur les bâtiments existants s'appelle la RT existante, ou TH-CE-ex. Elle s'applique à l'occasion de travaux de rénovation :

- Règlementation thermique globale si bâtiment fait plus de 1000 m² et si le montant des travaux en thermique est supérieur à 25 % de la valeur du bâtiment
- Règlementation thermique par élément dans les autres cas, avec obligation de respecter une performance minimale pour l'élément remplacé ou installé.

Qualité air intérieur (QAI)

Non Soumis

Un décret impose une surveillance de **Qualité de l'Air Intérieur (QAI)** dans les écoles. Cela comprend notamment une **mesure normée annuelle** des polluants (CO₂, formaldéhyde, benzène) et un **diagnostic** avec plan d'action obligatoire après une étape importante de la vie du bâtiment (rénovation, extension...).

Périmètre monument historique

Soumis

Lorsqu'un bâtiment fait parti du périmètre des monuments historiques, tous les travaux susceptibles de modifier l'état des lieux ou l'aspect sont soumis à autorisation spéciale préalable du Ministère, après avis de la DREAL, de la DRAC ou des ABF (Architectes des Bâtiments de France).

3.1 - Enveloppe du bâtiment

Méthodologie d'analyse

Un relevé complet de l'enveloppe thermique du bâtiment a été réalisé :

- Composition des parois : relevé des systèmes constructifs et des différents matériaux présents, des épaisseurs respectives, de l'orientation des parois, des ombres portées...
- Identification des ponts thermiques structurels
- Inventaire des menuiseries : composition des menuiseries (épaisseurs des vitrages, orientation des menuiseries, du type de protection, type de châssis, étanchéité à l'air...)

Les relevés sont réalisés à partir d'un diagnostic visuel confrontés à l'expérience de l'auditeur. Dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur, nous essayons de déterminer l'épaisseur et le type d'isolant à partir du démontage de prises électriques. Les éléments d'isolation en toiture ou faux-plafond sont relevés à partir des accès possibles (dalle de faux plafond démontable, combles accessibles...).

L'objectif est de faire une cartographie complète des parois présentes sur le bâtiment, avec leurs principales caractéristiques physiques, afin de renseigner dans le modèle de simulation énergétique du bâtiment les données les plus proches des caractéristiques réelles du bâtiment.

Toutes les informations relevées sont synthétisées dans les pages suivantes, classées par type de parois (murs, toitures, planchers bas et menuiseries). Les caractéristiques physiques principales sont précisées (surface, épaisseur isolation) ainsi que les données liées à la performance thermique de la paroi :

- **Coefficient U des parois en $W/m^2.K$** : ce coefficient de transfert thermique, abrégé en "coefficient U", permet de quantifier les déperditions thermiques d'une paroi. Il indique ainsi la quantité de chaleur qui passe à travers une paroi (par unité de surface), soit la capacité de la paroi à laisser la chaleur s'échapper. Plus ce coefficient est élevé et plus grandes seront les déperditions thermiques par la paroi
- **Déperdition thermique en W/K** : déperdition thermique totale de la paroi, correspondant au coefficient U de la paroi multiplié par sa surface
- **Niveau de performance** : représenté par une pastille avec un code couleur, cela représente le niveau de performance thermique de la paroi (vert : très bonne performance, orange : performance moyenne et rouge : mauvais performance)

Niveau de performance thermique général

Le bâtiment a bénéficié d'une rénovation majeure en 2004, incluant le remplacement des menuiseries, l'isolation ciblée de certains murs et l'amélioration thermique de plusieurs sections de toiture. Ces interventions visaient à renforcer l'enveloppe du bâtiment pour une meilleure performance énergétique.



3 Etat des lieux de la situation actuelle

Description des murs

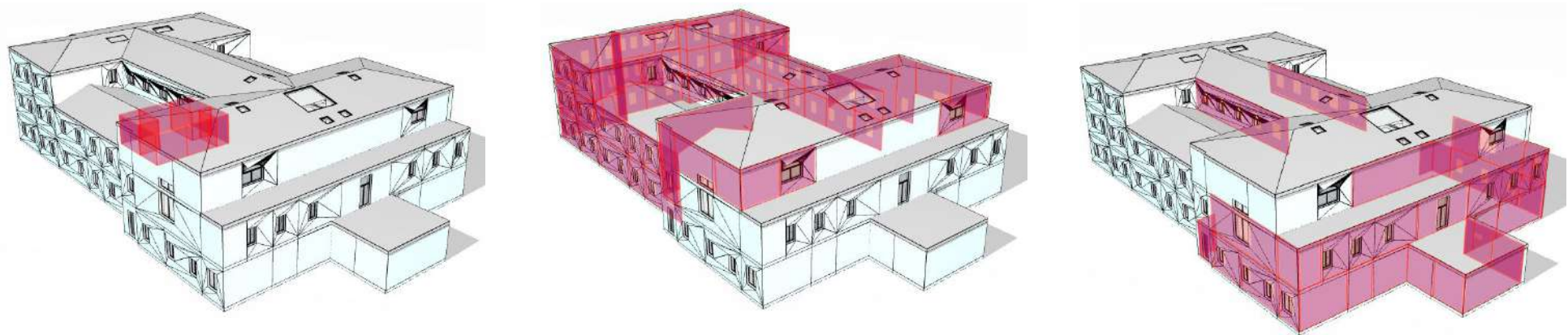
Les murs de ce bâtiment sont en pierre apparente ou en pierres maçonnerées recouvertes d'un enduit à base de chaux ou de chaux-ciment. Les façades sont enrichies d'ornements en pierre ou en zinc, tels que des bandeaux, des corniches, et des encadrements. En raison de son caractère ancien et de son cachet historique, les faces intérieures des murs de façade sont traitées différemment selon les espaces :

- Dans les espaces « patrimoniaux » comme le hall et les principales circulations, les pierres sont laissées apparentes, renforçant l'authenticité architecturale.
- Dans les espaces « administratifs », un doublage en plaques de plâtre avec isolant de 8 à 10 cm a été installé pour améliorer le confort thermique. Certaines pièces, néanmoins, restent sans doublage, donc sans isolation thermique.

Ci-dessous sont synthétisées les principales caractéristiques des murs déperditifs (en contact avec l'extérieur, le sol ou des locaux non chauffés).

	Murs chaufferie	Murs doublage intérieur	Murs historique
Contact	Local non chauffé	Extérieur	Extérieur
Structure	Maçonnerie 20 cm	Pierre 50 cm	Pierre 50 cm
Isolation thermique	Pas d'isolation	Intérieure 8 cm	Pas d'isolation
Surface [m²]	122	914	583
Coefficient U [W/m².K]	2,17	0,46	2,96
Niveau de performance	<div></div>	<div></div>	<div></div>
Déperdition thermique [W/K]	82	417	1 725

Localisation



Murs patrimoniaux



Bureaux



Structure



Description des toitures

Les toitures du site sont principalement constituées d'une charpente en bois traditionnelle avec une couverture en ardoise posée sur un liteaunage et un voligeage en bois. Par endroits, la toiture comprend des verrières avec des profilés en acier sans rupteur de pont thermique, et remplis par un simple vitrage opaque.

L'isolation sous la couverture est hétérogène : au niveau R+2, une isolation thermique a été installée en 2004 avec 30 cm de laine de roche soufflée ($R=7\text{ m}^2\text{K/W}$). Cependant, les jonctions de toiture sont peu ou pas isolées.

On note également la présence de toiture-terrasse attenantes aux deux tours de la façade ouest, où sont installés les groupes extérieurs des pompes à chaleur.

Isolation combles



Ci-dessous sont synthétisées les principales caractéristiques des toitures déperditives (en contact avec l'extérieur ou des locaux non chauffés).

	Combles R+1	Combles R+2	Escalier entrée	Toitures salle d'audience
Contact	Local non chauffé	Local non chauffé	Extérieur	Local non chauffé
Structure	Faux-plafond 5 cm	Faux-plafond 5 cm	Pierre 30 cm	Ossature bois 5 cm
Isolation thermique	Extérieure 15 cm	Extérieure 20 cm	Pas d'isolation	Pas d'isolation
Surface [m²]	377	588	45	229
Coefficient U [W/m².K]	0,28	0,21	2,17	3,00
Niveau de performance	<div></div>	<div></div>	<div></div>	<div></div>
Déperdition thermique [W/K]	105	125	98	686

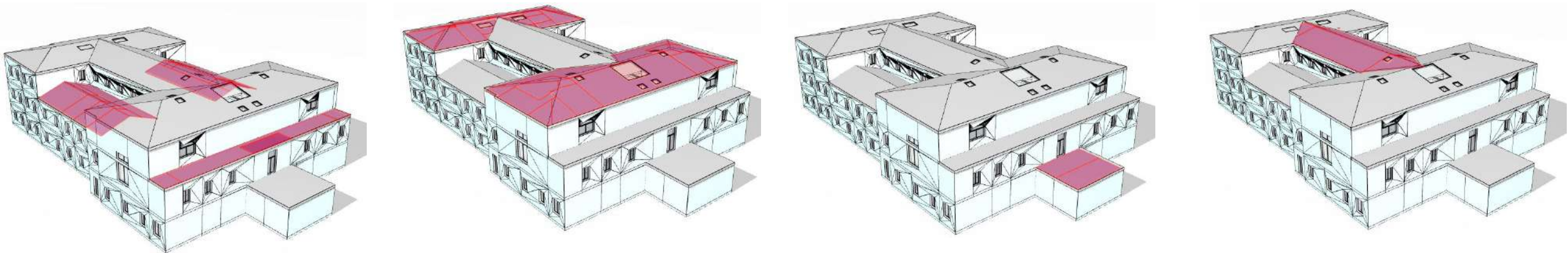
Plafond pas perdus



Plafond salle d'audience



Localisation



3 Etat des lieux de la situation actuelle

Description des planchers bas

Le bâtiment est construit sur terre-plein, avec un plancher constitué d'un dallage/dalle portée, sans aucune isolation thermique. Les planchers intermédiaires sont en bois, apportant un caractère ancien à l'édifice. Un sous-sol a été aménagé sous les zones de circulation entourant le palais de justice, offrant un espace dédié au stockage des archives.

Plancher R+2



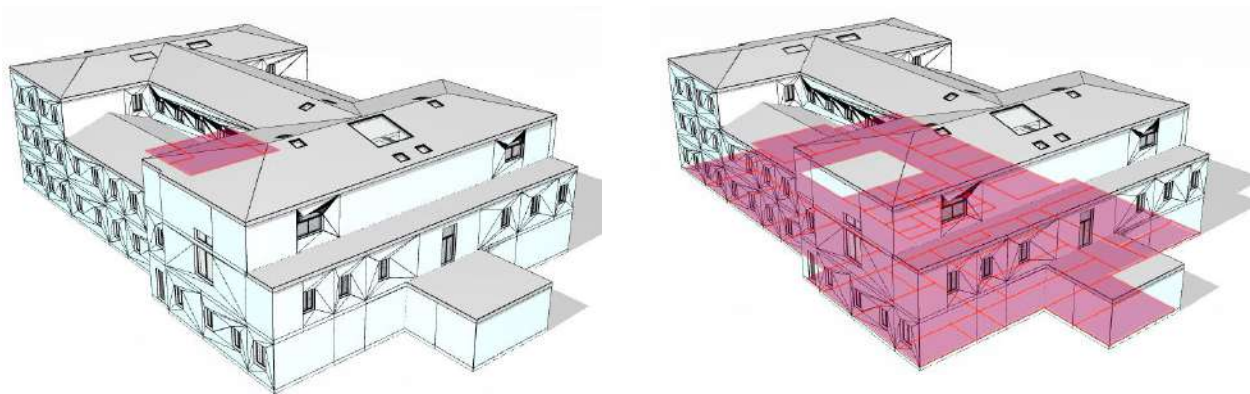
Ci-dessous sont synthétisées les principales caractéristiques des planchers déperditifs (en contact avec le sol, un vide sanitaire ou des locaux non chauffés).

	Plancher intermédiaire	Plancher terre-plein
Contact	Local non chauffé	Sol
Isolation thermique	Pas d'isolation	Pas d'isolation
Surface [m²]	75	1 139
Coefficient U [W/m².K]	1,85	2,65
Niveau de performance	<div></div>	<div></div>
Déperdition thermique [W/K]	17	433

Plancher bas



Plancher R+1



3 Etat des lieux de la situation actuelle

Description des menuiseries

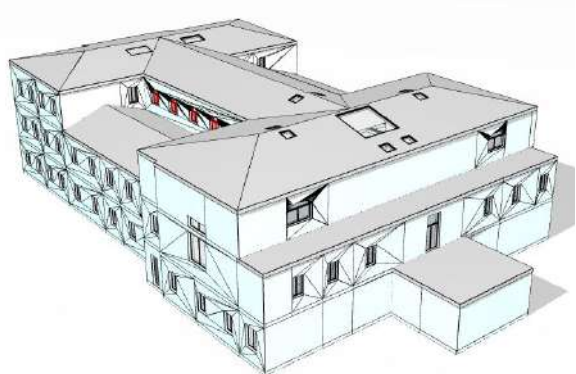
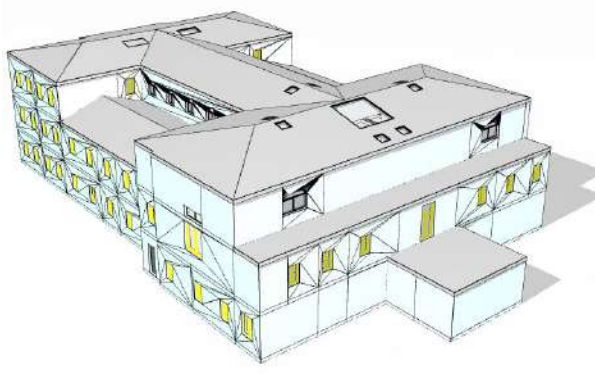
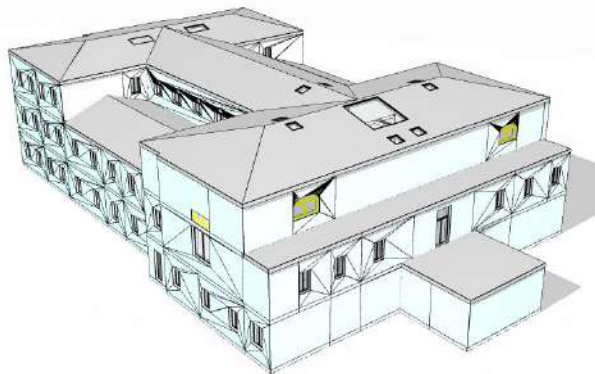
Les menuiseries, ont été remplacé en 2004 et sont donc principalement en bois de type 4/6/4. Quelques menuiseries non pas été remplacé et sont en simple vitrage bois. La tour bénéficie de double vitrage 4/16/4 en PVC.

Les protections solaires sont très variées, avec des stores intérieurs en toile au rez-de-chaussée et dans les salles d’audience, des stores extérieurs en toile aux niveaux R+1 et R+2 dans les locaux administratifs, et, par endroits, des volets battants en bois à l'intérieur.

Nous notons également au Rez-De-Chaussée des barreaudages empêchant la mise en place de protections solaires extérieurs (Volets, Stores, BSO,...)

Le tableau ci-dessous synthétise l'ensemble des principales caractéristiques des menuiseries.

	Double vitrage 4/16/4 Bois	Double vitrage 4/6/4 Bois	Simple vitrage Bois
Châssis	Bois	Bois	Bois
Type de vitrage	Double vitrage 4/16/4 argon	Double vitrage 4/6/4	Simple vitrage
Quantité	6	113	10
Surface [m²]	14	192	21
Coefficient Uw [W/m².K]	1,27	2,80	5,16
Niveau de performance	<div></div>	<div></div>	<div></div>
Déperdition thermique [W/K]	18	539	106



Double vitrage ancien



Simple vitrage



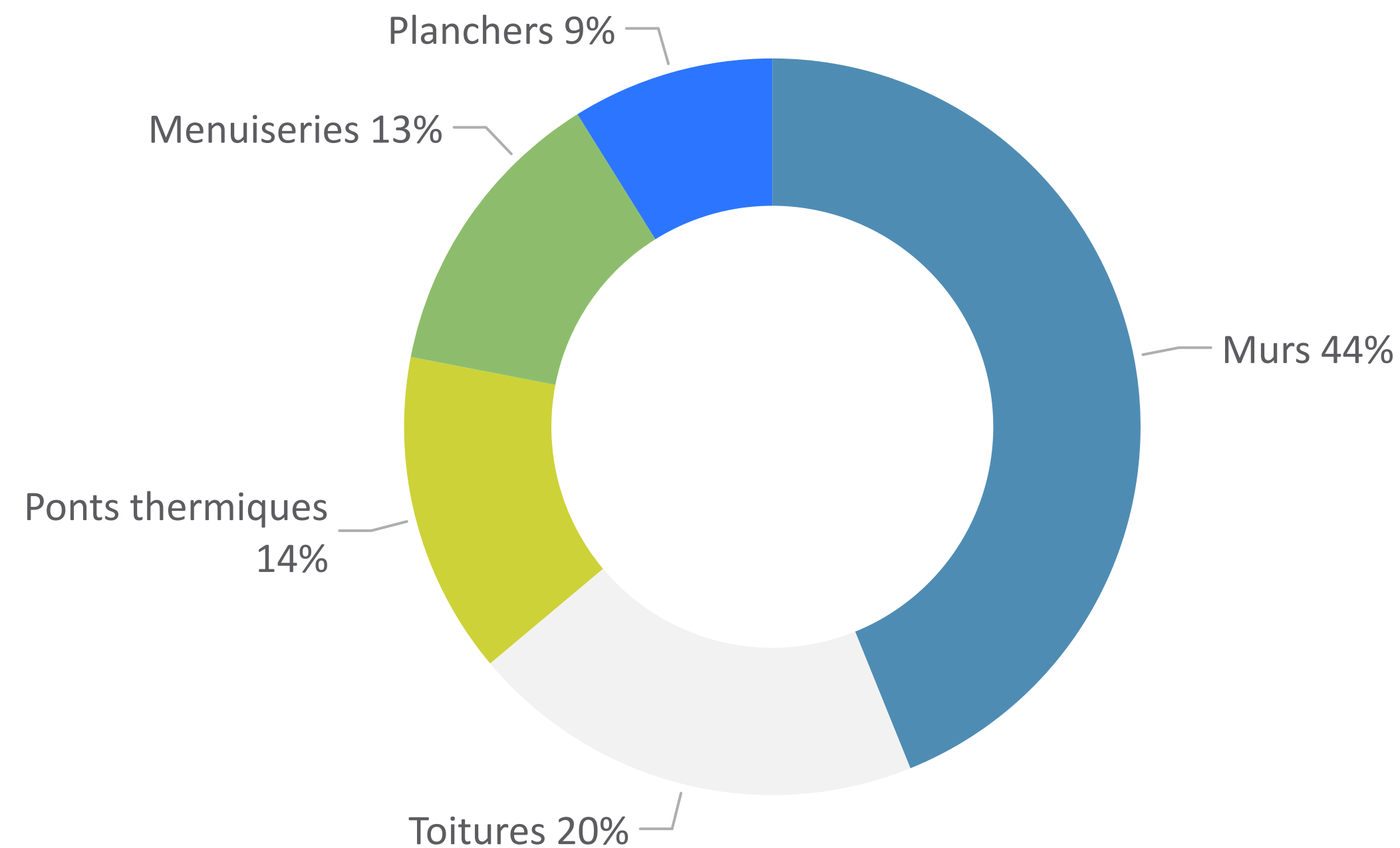
Double vitrage



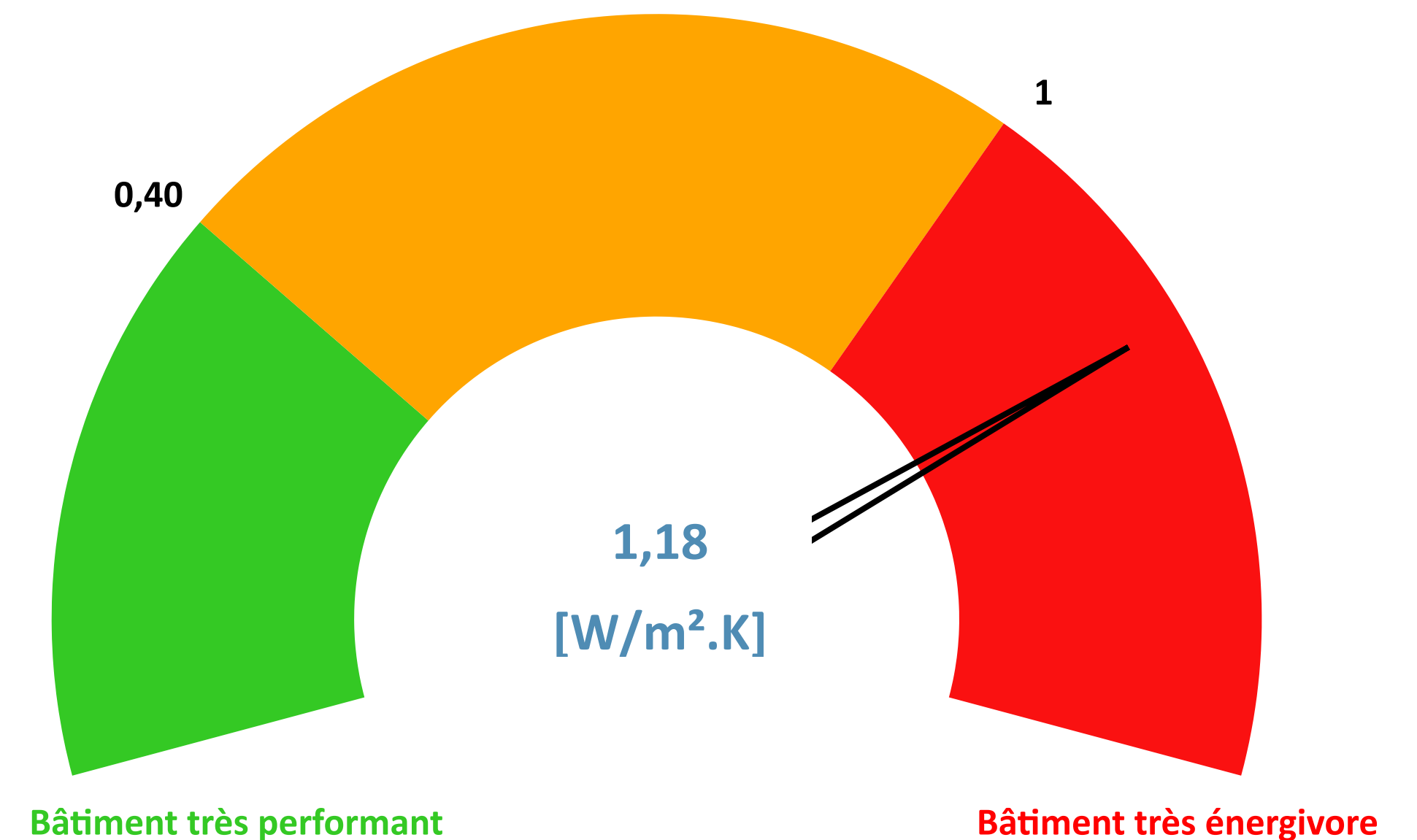
Synthèse de la performance thermique de l'enveloppe

Le graphique de gauche ci-dessous représente la répartition des déperditions statiques, c'est à dire la répartition des pertes énergétiques pour chaque type de paroi du bâtiment. Le graphique de droite permet de situer le coefficient U-bât, qui représente la performance thermique globale d'un bâtiment, par rapport à une échelle de performance.

Répartition des déperditions thermiques de l'enveloppe



Coefficient U-bât du bâtiment [$\text{W/m}^2.\text{K}$]



Le coefficient U-bât du bâtiment est de $1,18 \text{ W/m}^2.\text{K}$, ce qui correspond à la catégorie d'enveloppe du bâtiment de niveau médiocre. Les déperditions thermiques totales du bâtiment sont de $5\,068 \text{ W/K}$, soit une puissance totale de déperditions (hors renouvellement d'air) de 127 kW .

Le poste "Murs" représente la part des déperditions la plus importante avec 44 % des déperditions totales.

Malgré la rénovation importante de 2004 et notamment le doublage avec l'ajout d'isolation thermique de certains murs l'isolation de certaine toiture cette même année l'enveloppe thermique global du bâtiment est insuffisante par rapport aux performances d'aujourd'hui. Le remplacement de l'isolation datant d'il y a 20 ans et ou l'ajout d'isolation permettrait de réduire les déperditions thermiques.

3.2 - Equipements énergétiques

Méthodologie d'analyse

Lors de la visite sur site, nous passons dans chaque pièce du bâtiment et faisons un inventaire complet des équipements énergétiques. Tous les équipements sont notés dans notre application métier spécifique via une tablette tactile.

Les relevés concernent tous les équipements de CVC (Chauffage, Ventilation et Climatisation), d'ECS (Eau Chaude Sanitaire), de renouvellement d'air (ventilation), d'éclairage et tous les autres équipements ayant un impact sur la consommation énergétique du bâtiment :

- Inventaire détaillé des équipements de chauffage et de climatisation le cas échéant : production (marque, année d'installation...), distribution, émission, (type d'émetteur, quantité...), régulation (type de régulation...)
- Inventaire détaillé des systèmes de production d'eau chaude sanitaire (ECS) : marque, année d'installation, type de stockage...
- Inventaire des systèmes de renouvellement d'air : technologie utilisée par locaux, régulation...
- Inventaire des systèmes d'éclairage : type de luminaire, commande, quantité...
- Inventaire des systèmes d'énergies renouvelables : type d'énergie, quantité et puissances installées...
- Inventaire des plans de comptages : numéro de PDL, sous-comptage...
- Inventaire d'autres équipements : machineries (puissances, durée de fonctionnement), salle de serveurs, ordinateurs, photocopieurs...

Les principaux équipements relevés sont synthétisés dans les pages suivantes, avec leurs principales caractéristiques techniques.



Chauffage / Climatisation / Eau chaude sanitaire (ECS)

Principe général

Chauffage

Le chauffage est assuré principalement par deux chaudière gaz à condensation, (Viocrossal 200 de chez Viessmann, Pmax 248kW des années 2014) qui alimentent via deux circuits distincts des radiateurs répartis sur les façades SUD/OUEST et NORD/EST. Ces radiateurs, majoritairement en acier, sont pour la plupart équipés de robinets thermostatiques pour une meilleure gestion thermique. Un troisième circuit, connecté à ces chaudières, alimente la batterie chaude des centrales de traitement d'air des espaces importants, comme la salle des pas perdus, la salle des assises et le tribunal d'instance, à travers un système de "change-over".

Dans le cadre des rénovations, le niveau 1 et 2 ont été équipés de pompes à chaleur air/air réversibles, qui sont surtout utilisées pour la climatisation, renforçant ainsi l'efficacité énergétique du bâtiment.

Climatisation

La climatisation est principalement assurée par plusieurs groupes froids VRV installés en 2023, qui alimentent, via un système de "change-over", les trois centrales de traitement d'air ainsi que des unités intérieures réparties aux niveaux 1 et 2. La majorité des unités intérieures sont des unités murales, à l'exception de celles installées dans la tour, où des ventilo-convecteurs ont été intégrés.

Une commande centralisée, située au niveau 1, permet de contrôler l'ensemble des unités intérieures. Toutefois, les commandes individuelles dans les bureaux restent actives, offrant la possibilité de modifier la température localement.

Eau chaude sanitaire














La production d'ECS est réalisé par plusieurs chauffe-eau électriques (cumulus) placés à proximité des points de puisage, minimisant ainsi les pertes thermiques.



3 Etat des lieux de la situation actuelle

Chauffage / Eau chaude sanitaire (ECS) / Climatisation

Liste des équipements

		Quantité
Production		
Chaudière gaz		2
PAC unité extérieure		3
Distribution		
Pompe double - chaudière		2
Pompe double - CTA		2
Pompe double - radiateur nord/est		2
Pompe double - radiateur sud/ouest		2
Emission		
PAC unité intérieure		5
PAC unité intérieure Hitachi		24
Radiateur à eau acier		8
Radiateur à eau Fonte		69
Radiateur à eau Fonte Robinet thermostatique Fonte		16
Rideau d'air chaud		1
Ventilo convecteur		6

Chaudière gaz



Radiateur



Bouche CTA



Unité extérieure



Unité intérieure



Thermostat d'ambiance



Commande centralisée



Ventilo-convecteur



3 Etat des lieux de la situation actuelle

Eclairage

L'éclairage a été rénové au fil des années à partir de 2017 jusqu'en 2022 avec le passage en LED pour la plus part des luminaires. Les circulations et les sanitaires dispose de détecteur de présence. Le reste des éclairages est à commande manuel.

Nom	Puissance unitaire [W]	Quantité	Puissance totale [W]	Ratio [W/m²]	Commande éclairage
Ampoule Led	9	264	2 376	0,8	Interrupteur
Dalle Led	36	129	4 644	1,6	Interrupteur
Downlight Led	38	37	1 406	0,5	Détecteur de présence
Hublot	50	2	100	0,0	Interrupteur
Spot	27	12	320	0,1	Détecteur de présence
Tube fluorescent	105	15	1 575	0,5	Détecteur de présence
Total		459	10 421	3,5	

Tube Fluorescent



Dowlinght



Dalle LED



Ventilation et renouvellement d'air

La ventilation du site est assurée par un système de simple flux, incluant 3 caissons d'extraction dans les combles d'environ 1 kW chacun qui évacue l'air vicié des pièces archives (sous-sol et rez de chaussée), sanitaires et quelques bureaux à travers des bouches de ventilation mécanique contrôlée (VMC) et des entrées d'air intégrées aux menuiseries pour l'apport d'air neuf.

La ventilation dans la salle des pas perdus, des assises et du tribunal d'instance (la partie commerces a été arrêté) est assuré par 3 centrales de traitement d'air à double flux, où l'air neuf est préchauffé en hiver par une batterie d'eau chaude alimentée directement par la chaudière régulé grâce à une vanne 3 voix en fonction du taux d'air neuf de 7h à 18h. Un système de change over manuel permet de fournir de l'eau froide à cette batterie durant l'été via un système de réfrigération (VRV).

De plus, une centrale de traitement d'air électrique à double flux a été installé en sous sol pour traiter les archives.

Caisson VMC



Caisson VMC



Centrale de traitement d'air



4.1 - Campagne de mesures des températures

Lors de la visite, 4 enregistreurs de températures ont été placés dans les locaux du bâtiment.

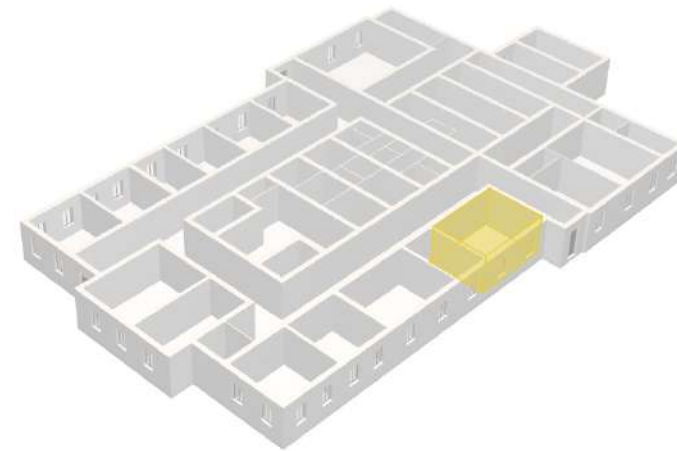
Les capteurs installés sont communicants, via une communication type LoRawan. Les données sont donc envoyées en temps réel sur nos serveurs pour une analyse immédiate.

Les 2 pages suivantes reprennent l'évolution des températures, pour chaque capteur, sur toute la période de mesures et les conclusions générales de l'analyse de cette campagne de mesures.

Le rapport complet des résultats de la campagne de mesures est disponible dans un rapport séparés.

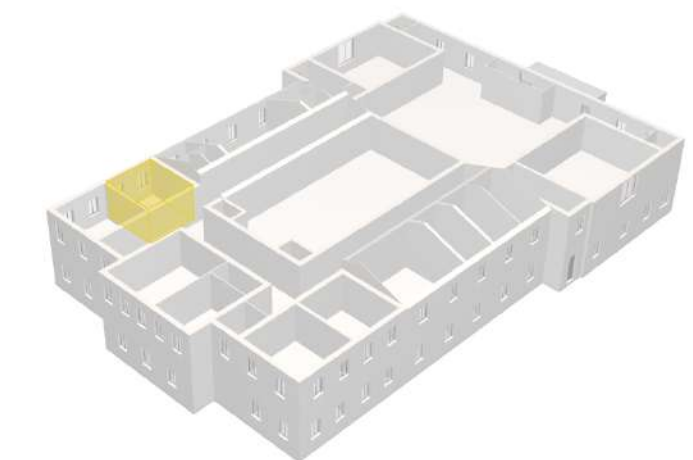
Bureau juge AF

Bureau juge au rez-de-chaussée, exposition sud



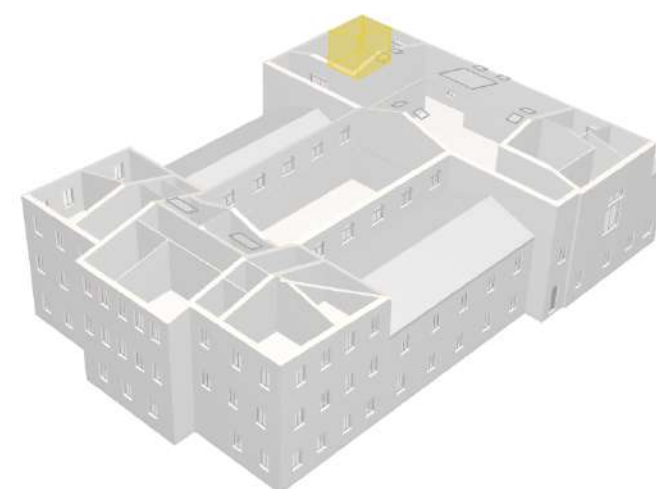
Secrétariat TGI

Bureau secrétariat TGI au rez-de-chaussée, avec exposition nord et climatisation

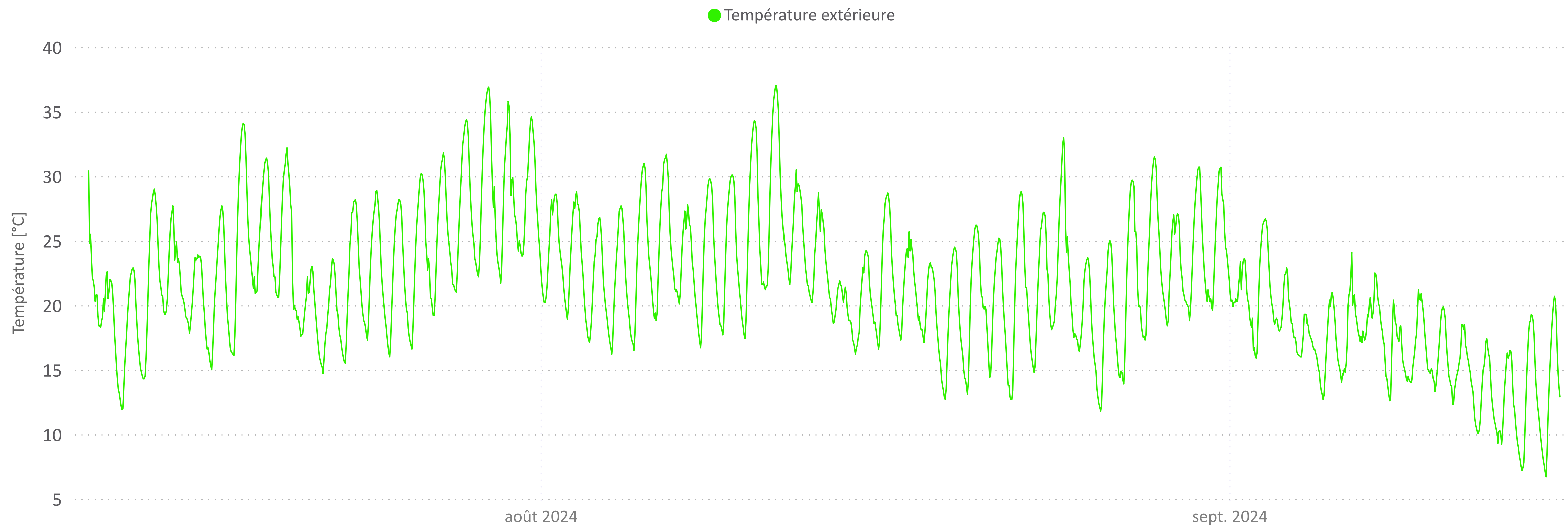


Bâtonnier TGI

Bureau bâtonnier au niveau R+2 dans la tour exposé nord et climatisé



Evolution des températures en été

Du 11/07/2024 au 15/09/2024

Commentaires et analyses des températures en été

Analyse sur la période du 11/07/2024 au 15/09/2024

L'analyse des températures a porté sur la période du 11/07/2024 au 15/09/2024. L'objectif est de se focaliser sur la période d'été.

Sur l'ensemble de la période de mesures, la température maximale des locaux s'est située entre °C et °C. C'est le local appelé « » qui a présenté la température la plus grande.

La moyenne des températures sur la période pour l'ensemble des capteurs a été de °C. L'écart de température entre les températures minimales et maximales va de °C à °C.

En moyenne les températures dans le bureau ont été entre 25°C et 27°C (60% du temps). La climatisation est donc utilisée sans dérive.

Zoom sur une période chaude

L'analyse sur une semaine chaude a porté sur la période du lundi 05/08/2024 au dimanche 11/08/2024. L'objectif est d'analyser l'évolution des températures sur une semaine sur laquelle tous les jours ont atteint ou dépassé 30°C. L'analyse sur 1 semaine permet de bien mettre en évidence l'écart entre les différents capteurs et l'évolution de ces capteurs entre les périodes d'occupation en semaine avec les nuit et week-end.

Sur cette semaine, on comptabilise plus de 0 heures (soit environ 0 heures par jour) sur lesquelles la moyenne des capteurs a dépassé 27°C, ce qui représente 0% du temps. La température maximale atteinte a été de °C. L'écart de température entre les températures minimales et maximales est de °C.

Le bureau étudié est climatisé et la température est relativement constante entre 25°C et 27°C, avec peu de variation entre la nuit et la journée. On voit toutefois une montée des températures sur le week end du 10 au 11/08, ce qui est liée à l'augmentation de la température extérieure mais également au fait que la climatisation est sûrement éteinte sur ce le week end. A noter que même sur ce week end avec des températures extérieures de plus de 35°C, la température intérieure a à peine dépassé 29°C.

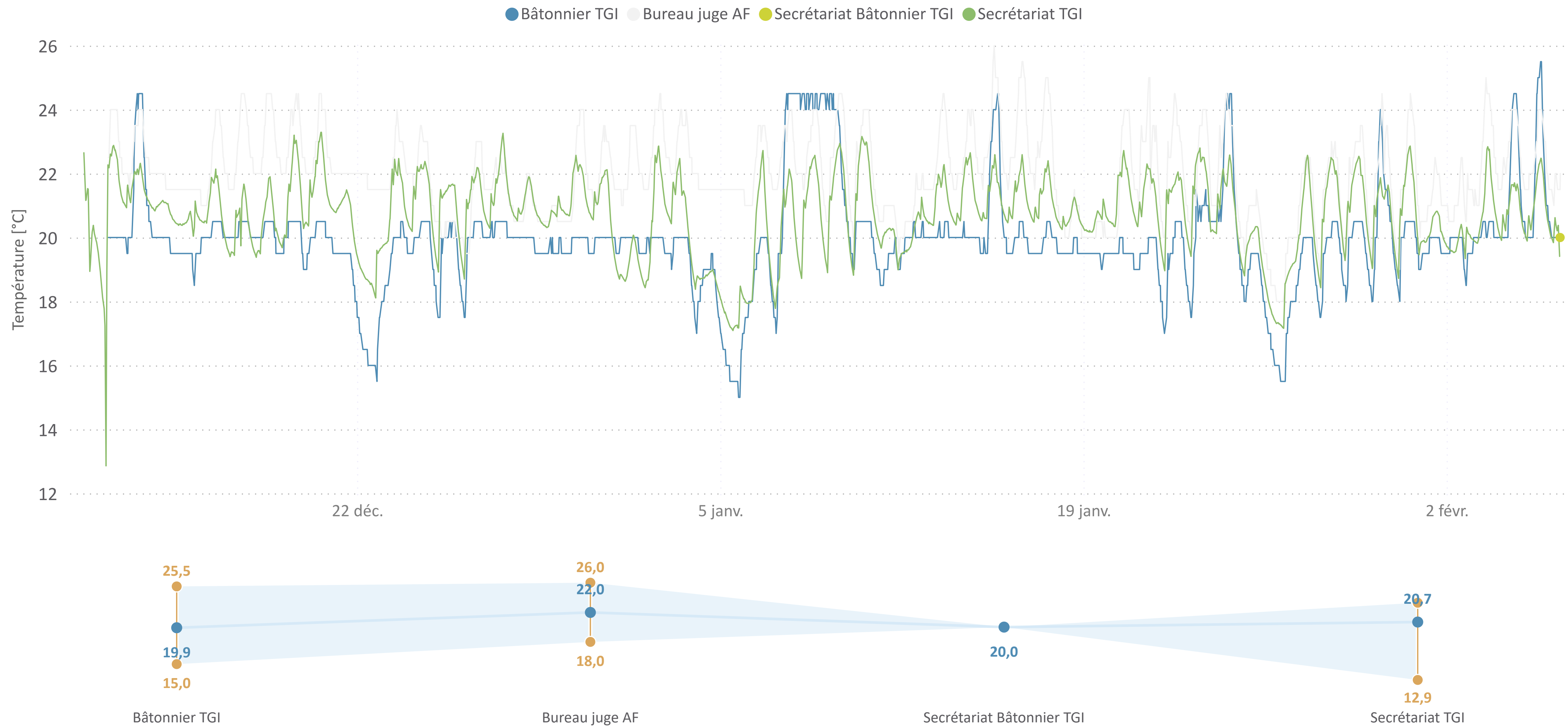
Un zoom plus spécifique a été réalisé sur une journée en particulier. La journée prise en compte est le mardi 30/07/2024, sur lequel la température maximale atteinte par les capteurs a été de °C et la température moyenne a été de °C.

Durant cette journée très chaude la température a été très constante autour de 28°C tout au long de la journée. Le bureau ne semble pas être impacté par l'évolution de la température extérieure, ce qui peut s'expliquer par l'utilisation de la climatisation tout au long de la journée qui permet de maintenir une température constante. Et cette climatisation a été utilisée de façon efficace en maintenant 27-28°C soit un écart de 8°C avec l'extérieur.



Evolution des températures en hiver

Du 01/11/2024 au 17/03/2025



Commentaires et analyses des températures en hiver

Analyse sur la période du 01/11/2024 au 17/03/2025

L'analyse des températures a porté sur la période du 01/11/2024 au 17/03/2025. L'objectif est de se focaliser sur la période d'hiver.

Sur l'ensemble de la période de mesures, nous relevons pour l'ensemble des capteurs :

- Une température minimale entre 12,9°C et 20,0°C. C'est le local appelé « Secrétariat TGI » qui a présenté la température la plus basse.
- Une température maximale entre 20,0°C et 26,0°C. C'est le local appelé « Bureau juge AF » qui a présenté la température la plus élevée.
- Une température moyenne pour l'ensemble des capteurs de 20,9°C.

L'évolution des températures montre des variations d'un capteur à l'autre tout au long de la période de mesures. Le local "Bureau juge AF" présente des températures qui peuvent monter jusqu'à 24°C alors que le local "Bâtonnier TGI" présente des températures qui varient autour de 20°C, sans grande variation. Sur ce bureau 57% du temps la température se situe entre 19°C et 20°C.

Zoom sur une période froide

L'analyse sur une semaine froide a porté sur la période du lundi 13/01/2025 au dimanche 19/01/2025. L'objectif est d'analyser l'évolution des températures sur la semaine la plus froide. L'analyse sur 1 semaine permet de bien mettre en évidence l'écart entre les différents capteurs et l'évolution de ces capteurs entre les périodes d'occupation en semaine avec les nuit et week-end.

Sur cette semaine, on comptabilise :

- 67 heures (soit environ 10 heures par jour) sur lesquelles la moyenne des capteurs a dépassé 21°C, ce qui représente 40% du temps. En considérant uniquement les heures d'occupation, cela représente 73 % des heures d'occupation.
- heures (soit environ heures par jour) sur lesquelles la moyenne des capteurs a été inférieure à 18°C, ce qui représente % du temps.

La température moyenne sur la semaine pour l'ensemble des capteurs a été de 21,1 °C.

L'analyse sur une semaine montre le fonctionnement de la régulation du chauffage avec des courbes de température qui augmente à partir de 6h du matin et qui ensuite rechute à partir de fin d'après-midi. Le fonctionnement avec ralenti de nuit et de week end est bien appliqué.

Un zoom plus spécifique a été réalisé sur une journée en particulier. La journée prise en compte est le mercredi 15/01/2025, sur laquelle la température moyenne pour l'ensemble des capteurs a été de 22,0°C.

Le zoom sur une journée confirme la tendance relevée lors de l'analyse sur une semaine, avec un fonctionnement du chauffage avec un mode normal et un mode ralenti lorsque le bâtiment n'est pas occupé. En revanche, les niveaux de température sont différents d'un local à l'autre.



4.2 - Confort thermique

L'analyse du confort des occupants repose sur les échanges réalisés lors de la visite ainsi que sur les réponses au questionnaire adressé aux utilisateurs du bâtiment. Ce questionnaire vise à recueillir des informations sur le ressenti des occupants, les conditions de confort perçues et les comportements susceptibles d'influencer la consommation énergétique. A ce jour **18 réponses** nous a été transmises.

Hiver

Les résultats montrent que le confort thermique en hiver est jugé globalement satisfaisant par 44% des personnes ayant répondu et 50% jugent qu'il fait trop froid.

La température jugée comme température la plus confortable en hiver est de 20°C.

Les utilisateurs précisent en majorité qu'il n'y a pas d'action possible sur la régulation de la température dans le local.

Une campagne de mesures de température a été réalisée pendant l'hiver 2024-2025. Un rapport spécifique a été édité avec les résultats et analyse de ces mesures.

Eté

En été, le confort thermique est jugé globalement satisfaisant par 33% des personnes ayant répondu. 61% estiment qu'il fait trop chaud et 6% des réponses donnent une situation extrême.

La température jugée comme température la plus confortable en été est de 24°C ou moins.

Les utilisateurs précisent en majorité qu'il n'y a pas d'action possible sur la régulation de la température dans le local.

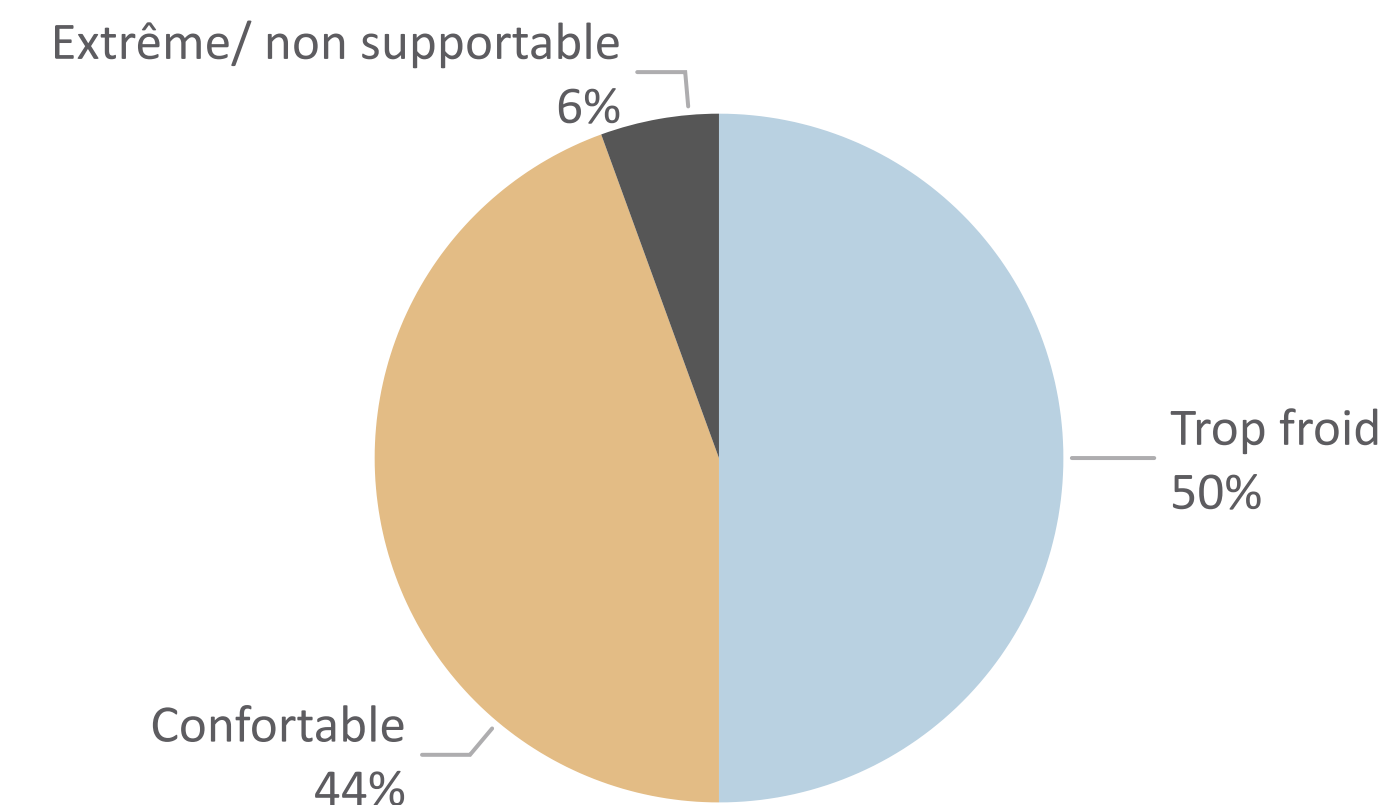
Une campagne de mesures de température a été réalisée pendant l'été 2024. Un rapport spécifique a été édité avec les résultats et analyse de ces mesures.

Mi-saison

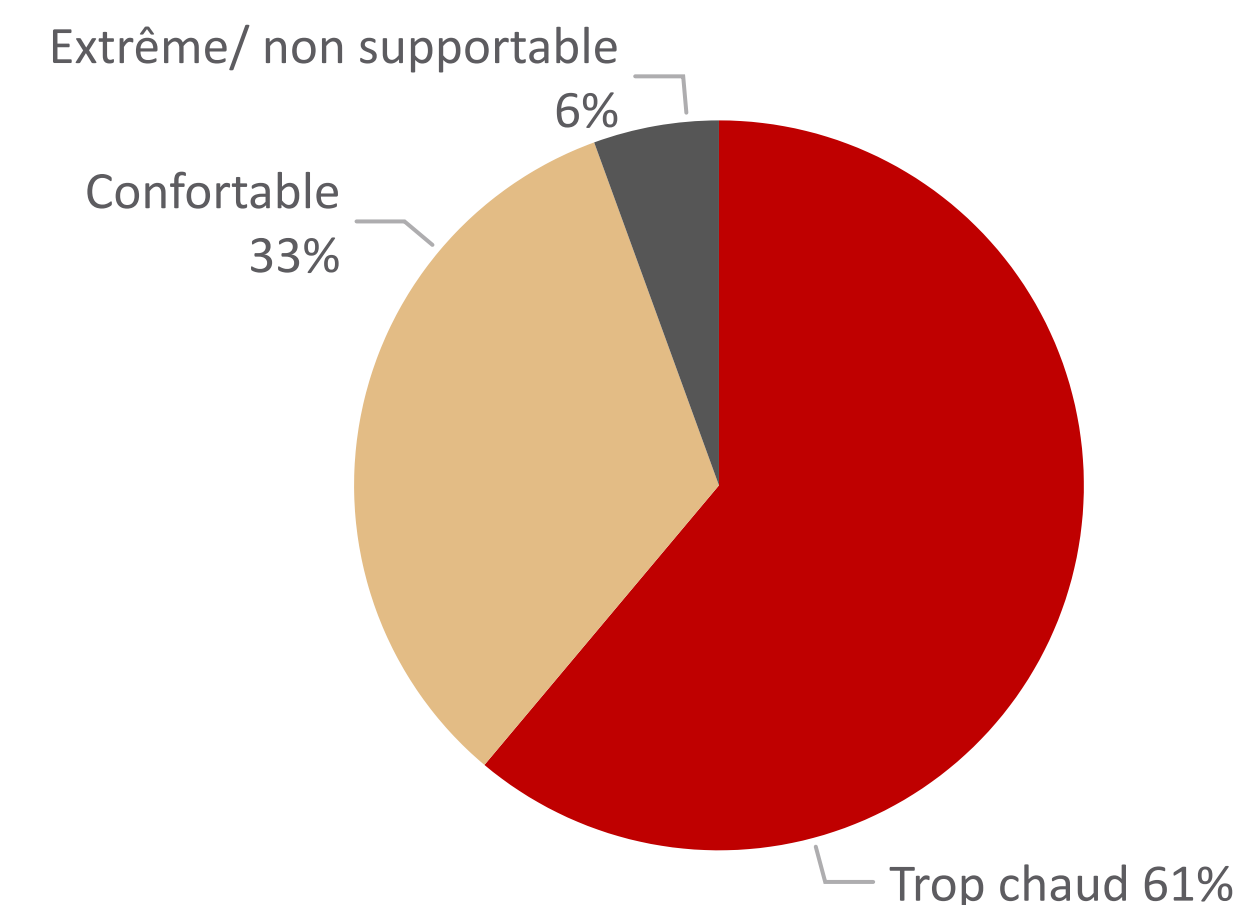
A mi-saison, la majorité des personnes ayant répondu jugent la température confortable.

A noter que 11% des réponses disent qu'il y a une dégradation du confort depuis plusieurs années (28% jugent une amélioration et 61% aucune évolution).

Confort thermique en hiver



Confort thermique en été



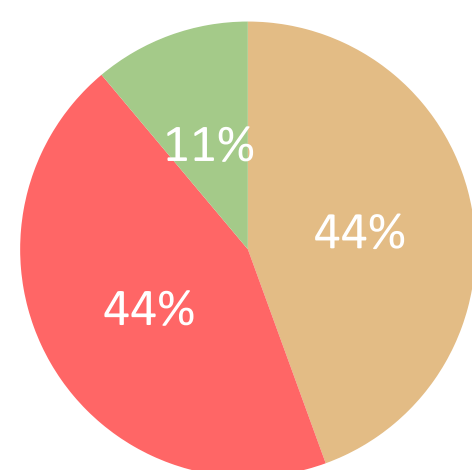
4.3 - Confort visuel, acoustique et qualité de l'air

Confort visuel et acoustique

La majorité des personnes jugent que l'éclairage des locaux est insuffisant.

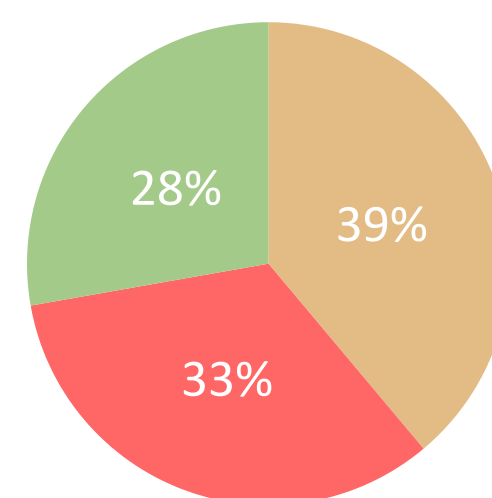
L'ambiance acoustique est qualifiée majoritairement comme légèrement bruyante.

Luminosité du local



● Lumineux ● Sombre ● Très lumineux

Ambiance acoustique

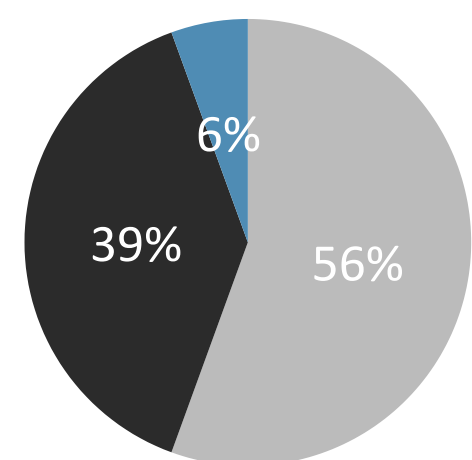


● Légèrement bruyant ● Très bruyant ● Calme

Qualité de l'air

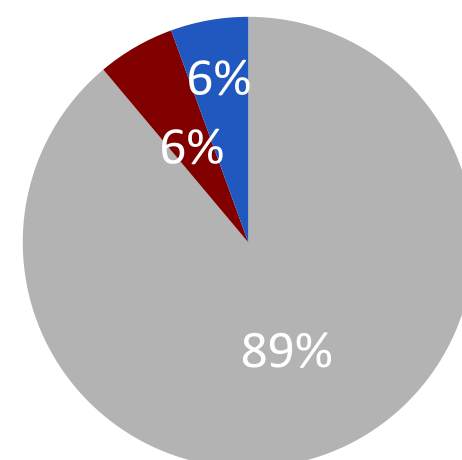
La ventilation est jugée insuffisante pour 39% des sondés, avec toutefois une qualité de l'air jugée comme confortable.

Niveau de ventilation



● Adaptée ● Insuffisante ● Trop importante

Qualité de l'air



● Confortable ● Trop humide ● Trop sec

5.1 - Consommations énergétiques annuelles

Energie et usages

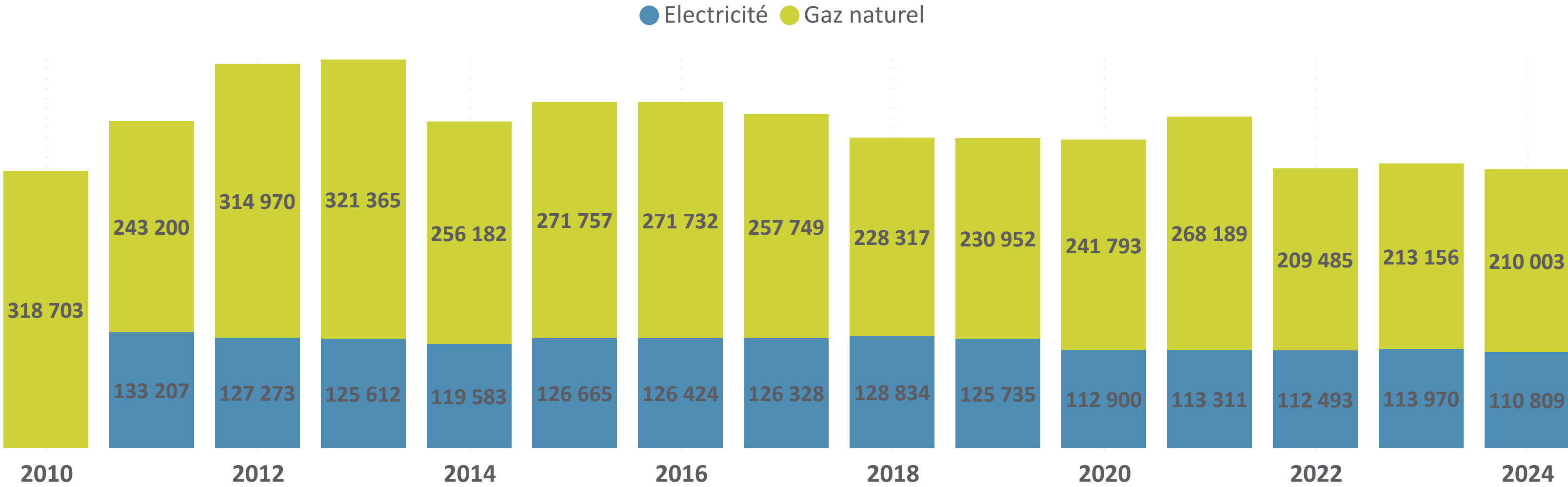
Les différentes sources d'énergie utilisées sur le bâtiment avec les principales données et usages correspondants sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Energie	Abonnement	Usages	N° Point de livraison	Part des consommations
Gaz naturel	Pas d'informations	Chauffage	23489146142701	67%
Electricité	Heures Creuses 22h - 06h	Chauffage Climatisation Divers	30002340304733	33%

Evolution des consommations réelles annuelles

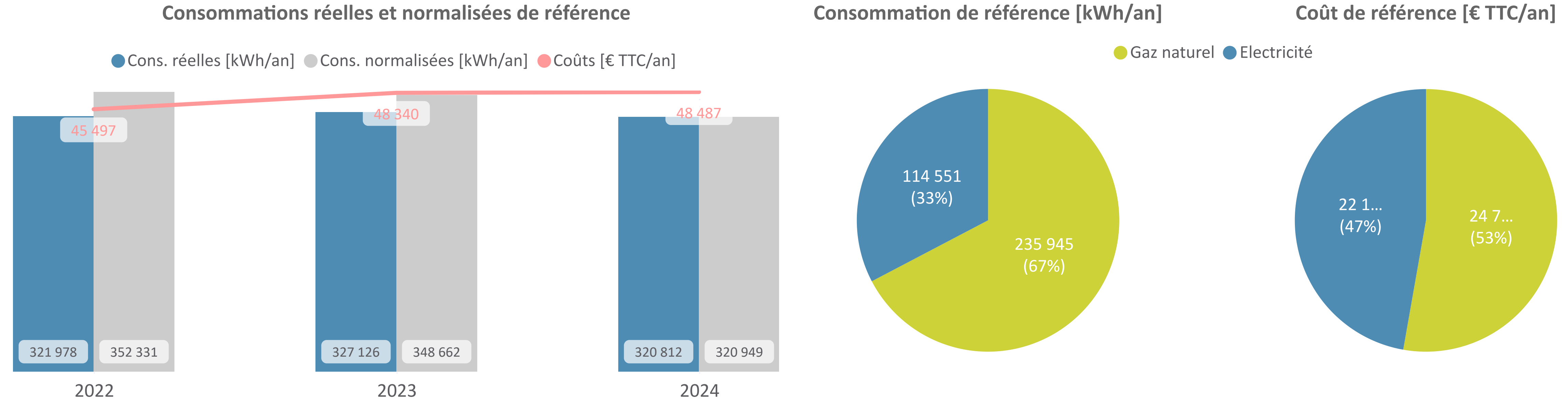
Nous récupérons l'historique des consommations énergétiques annuelles sur un minimum de 3 ans, soit directement à partir des données de la commune ou bien auprès des distributeurs d'énergie ENEDIS et GRDF que nous sollicitons afin de récupérer un historique plus complet (données depuis 2010).

Evolution des consommations annuelles [kWh/an]



5.2 - Consommations de référence

Pour évaluer des futurs gains énergétiques, nous identifions une consommation annuelle de référence basée sur la moyenne des consommations normalisées des années jugées les plus représentatives. Ainsi, nous calculons la consommation d'une année de référence en corrigeant les données de consommations réelles par rapport aux critères les plus influents. Mais comme il est difficile de connaître les variations d'usage sur les différentes années, seul le paramètre climatique (représenté par la notion de degré-jours unifié DJU) est utilisé pour corriger les besoins de chauffage. La consommation de référence est alors obtenue en prenant les dernières années de consommations les plus représentatives et en les corrigeant par rapport aux DJU annuels (seule la part des consommations liées au chauffage est corrigée) et aux DJU moyens du site. Les coûts énergétiques annuels sont calculés à partir de cette consommation de référence et des coûts actuels de l'énergie (voir hypothèses en annexe).

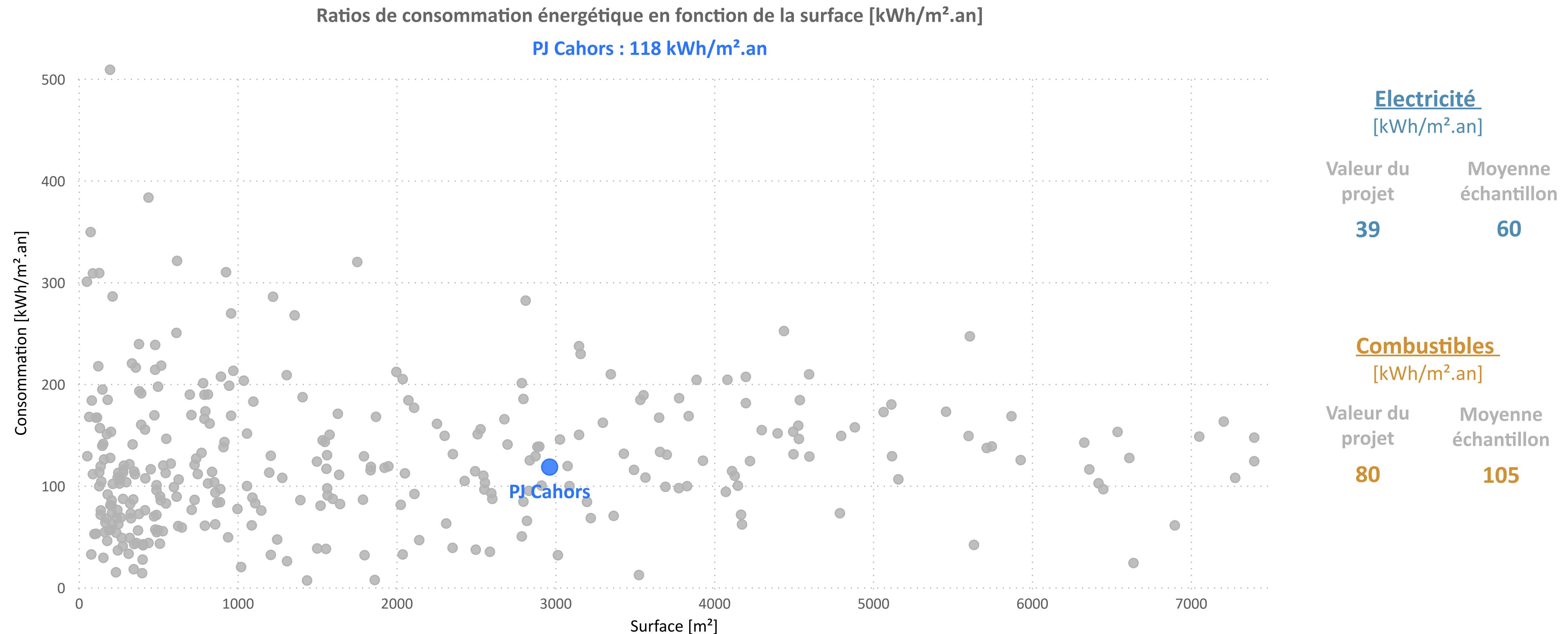


Les données de consommation énergétique, affichés, ont été recueillies via les services de GRDF et ENEDIS pour la période de 2010 à 2021, et fournies par le ministère de la Justice pour les années 2022 et 2023. Des écart jusqu'à 50% a été constaté entre les données fourni par le ministère de la justice et les données du service GRDF. En ce qui concerne l'électricité, les consommations se montrent relativement stables et plus importantes de 2011 à 2019 avec une diminution à partir de 2020 pour se stabiliser jusqu'à aujourd'hui. Les consommations de gaz naturel présentent une dynamique similaire, des consommations stables et importantes de 2010 à 2013, avec une diminution à partir de 2020 pour se stabiliser jusqu'à 2021. Pour les prochaines étapes de l'étude, nous utiliserons comme référence la moyenne des consommations des années 2022 et 2023.

La consommation énergétique annuelle de référence retenue pour la STD, toutes énergies confondues, est de 350 496 kWh/an, soit 160,3 kWh/DJU et 118 kWh/m².an, pour un coût annuel estimé de 46 918 € TTC.

5.3 - Comparaison des ratios de consommation énergétique

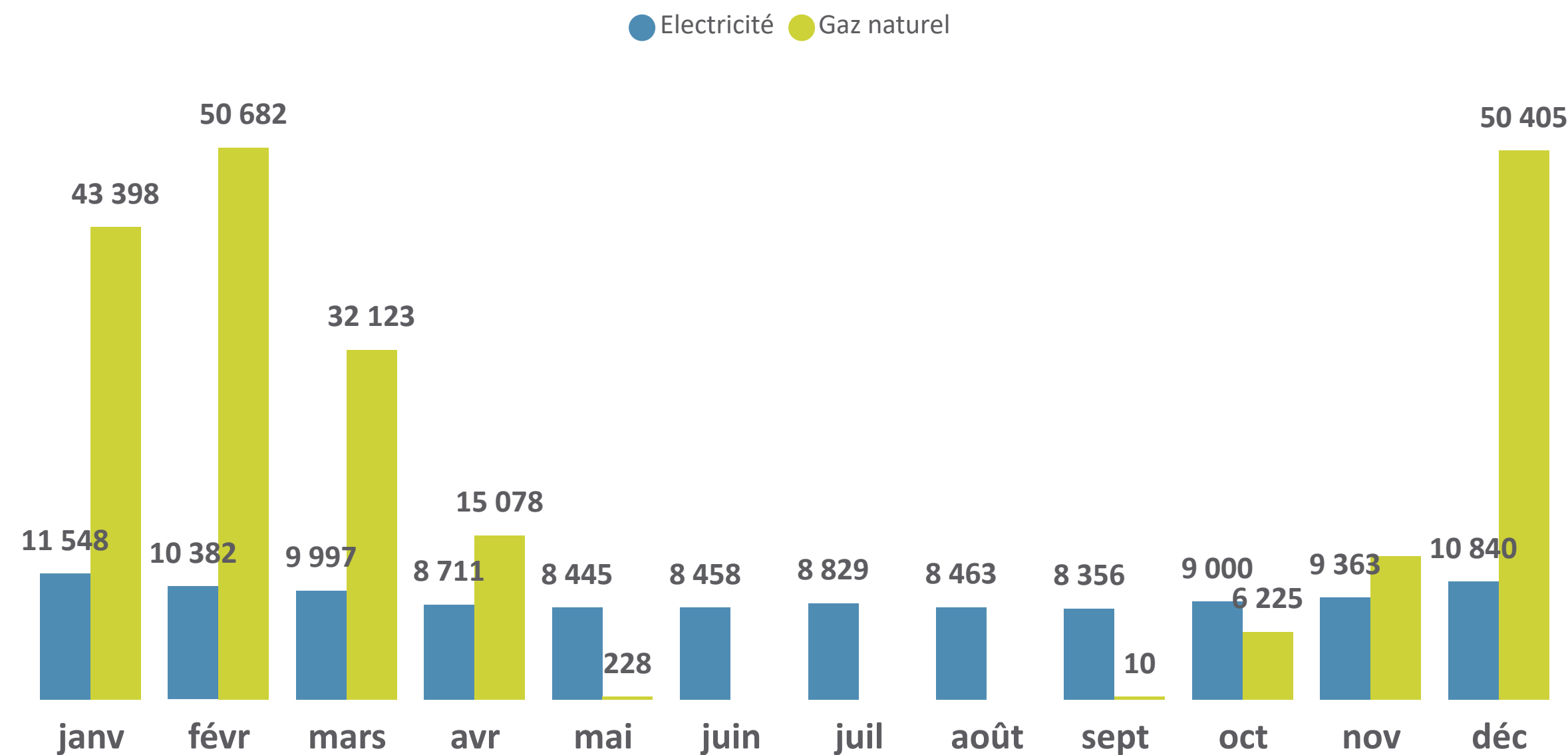
Le graphique ci-dessous montre la consommation énergétique du bâtiment (en kWh/m².an) en fonction de sa surface (m²). Le point bleu représente le bâtiment audité, comparé aux autres bâtiments de notre base de données, représentés par les points gris. L'axe X indique la surface (plus un bâtiment est grand, plus il est à droite) et l'axe Y la consommation (plus un bâtiment consomme, plus il est en hauteur). Le bâtiment présente une consommation énergétique **supérieure** à la moyenne des sites de notre base de données. Il est donc essentiel d'améliorer rapidement sa performance énergétique globale afin de réduire sa consommation.



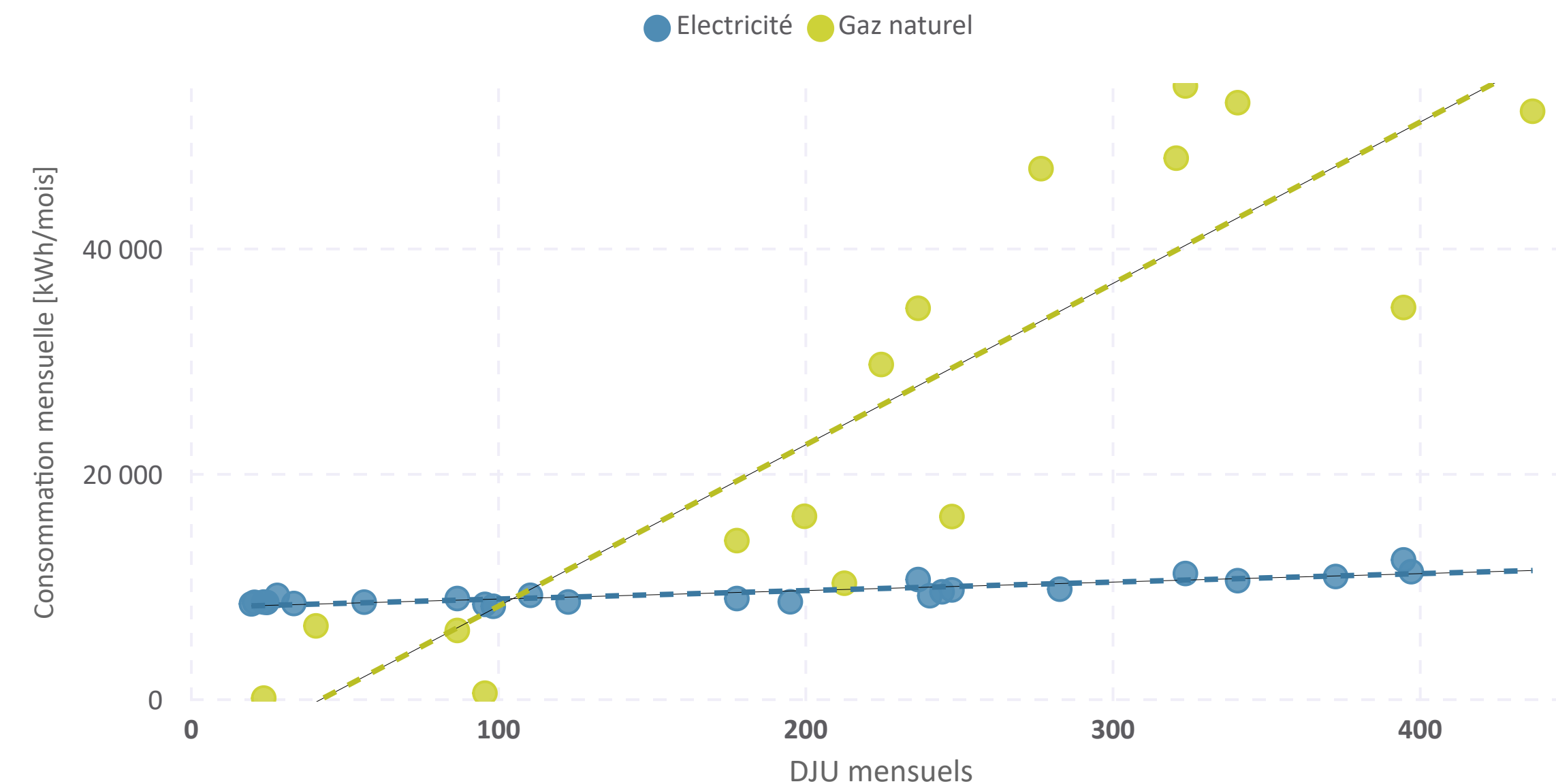
5.4 - Consommations énergétiques mensuelles

Les graphiques ci-dessous représentent l'évolution mensuelle des consommations (à gauche) et la corrélation entre ces consommations mensuelles et les DJU (à droite). Les données sur le graphique de gauche représentent la moyenne des valeurs reçues. Ces graphiques permettent de voir si les consommations mensuelles sont liées aux conditions climatiques et ainsi corriger ces consommations pour obtenir la consommation de référence.

Evolution des consommations mensuelles [kWh/mois]



Signature énergétique



La consommation mensuelle de gaz est étroitement liée à l'utilisation du chauffage, expliquant les pics marqués durant les mois d'hiver. Elle augmente sensiblement en automne, généralement à partir d'octobre, et diminue presque totalement en mai, lorsque les besoins de chauffage s'estompent.

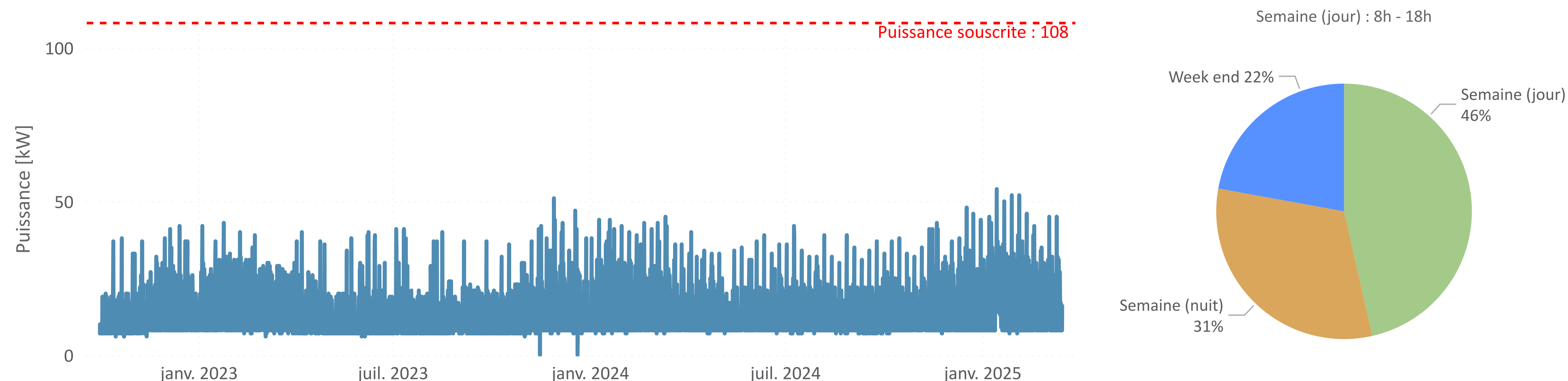
En ce qui concerne l'électricité, la consommation suit une tendance similaire, mais moins marquée. On observe une légère hausse pendant les mois froids, avec une augmentation modérée entre juin et septembre en raison de l'usage de la climatisation. En 2023, la consommation électrique hivernale représente environ 11 % de plus par rapport à la consommation totale annuelle d'électricité, tandis qu'en été, cette hausse n'est que de 1 %.

5.5 - Consommations énergétiques horaires

Données de courbe de charges électriques

Cette page présente l'analyse des appels de puissance électrique. Pour réaliser cette analyse, nous récupérons les courbes de charge électrique (points 5, 10 ou 30 minutes) via notre contrat auprès d'ENEDIS SGE Tiers, sur une période générale de 24 mois. Le graphique de gauche représente l'évolution des appels de puissances électriques sur toute la période et celui de droite représente la répartition moyenne de la consommation électrique en fonction des heures d'occupation.

Sur la page suivante sont représentés pour chaque mois les appels de puissance moyens sur une évolution sur 24h en fonction des jours de la semaine.



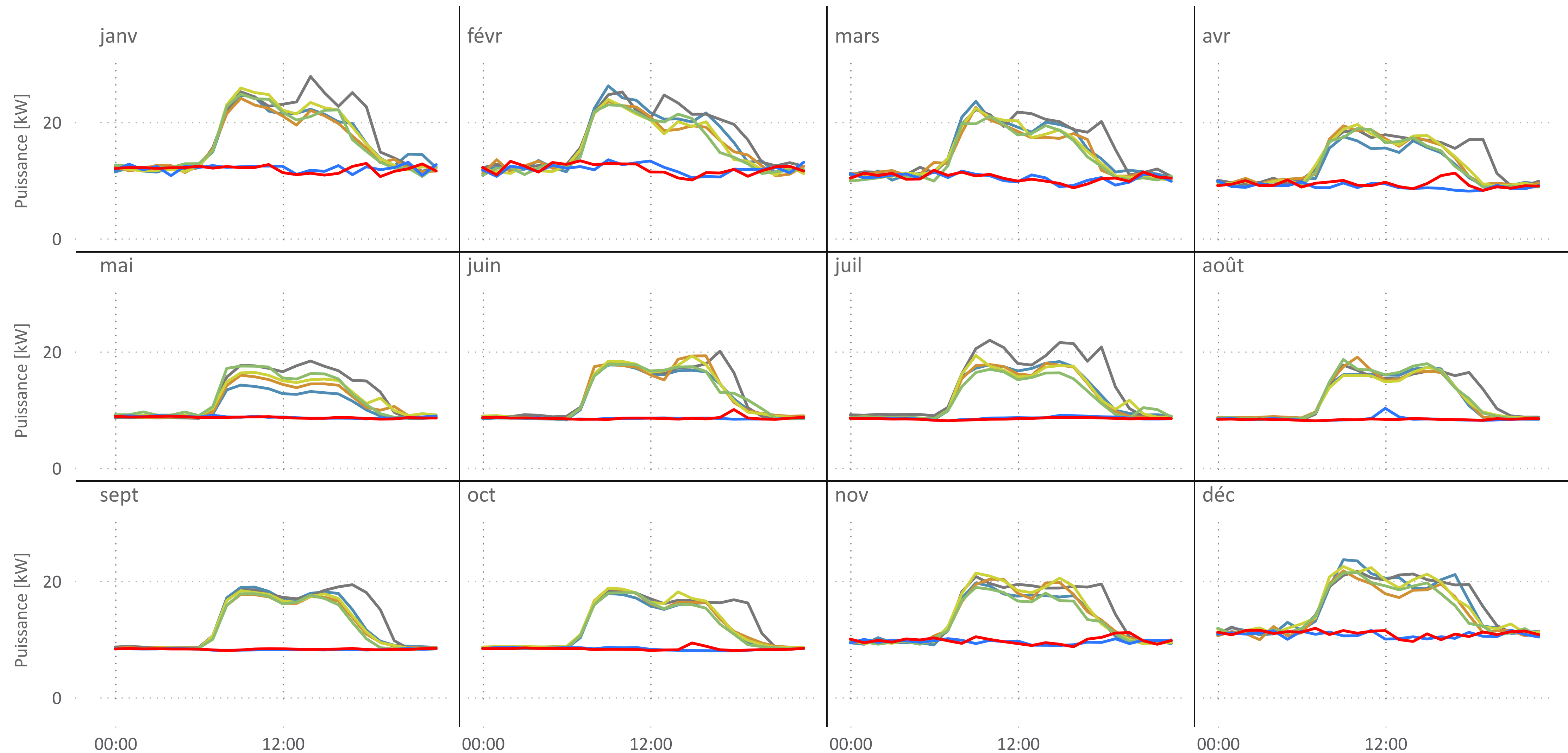
Nous avons analysé les courbes de charge électrique du bâtiment sur une période de deux ans. La puissance souscrite n'a pas été dépassée. Une optimisation de la puissance souscrite, pour réduire le tarif de l'abonnement peut être envisagée car la puissance n'a pas dépassé 51 kW.

Le graphique à droite montre la répartition des consommations selon les créneaux horaires : en semaine (8h-18h), en soirée, et le week-end. Il apparaît que le bâtiment consomme légèrement moins lorsqu'il est occupé qu'en dehors de ces heures d'utilisation. Sur la page suivante, on observe un "talon de consommation" moyen entre 8 kW et 12 kW. Ce talon, représentant la consommation de base du bâtiment même lorsqu'il n'est pas occupé, impacte directement les consommations nocturnes et celles du week-end.

L'activité énergétique du bâtiment commence dès 8h et se termine en général vers 17h, avec un léger pic de consommation hivernal autour de 9h-10h d'environ 3 kW plus important, lié à l'utilisation de l'éclairage plus important en hiver et également quelque unité intérieure allumée pour compléter le chauffage au gaz. En été, la consommation est plus constante.

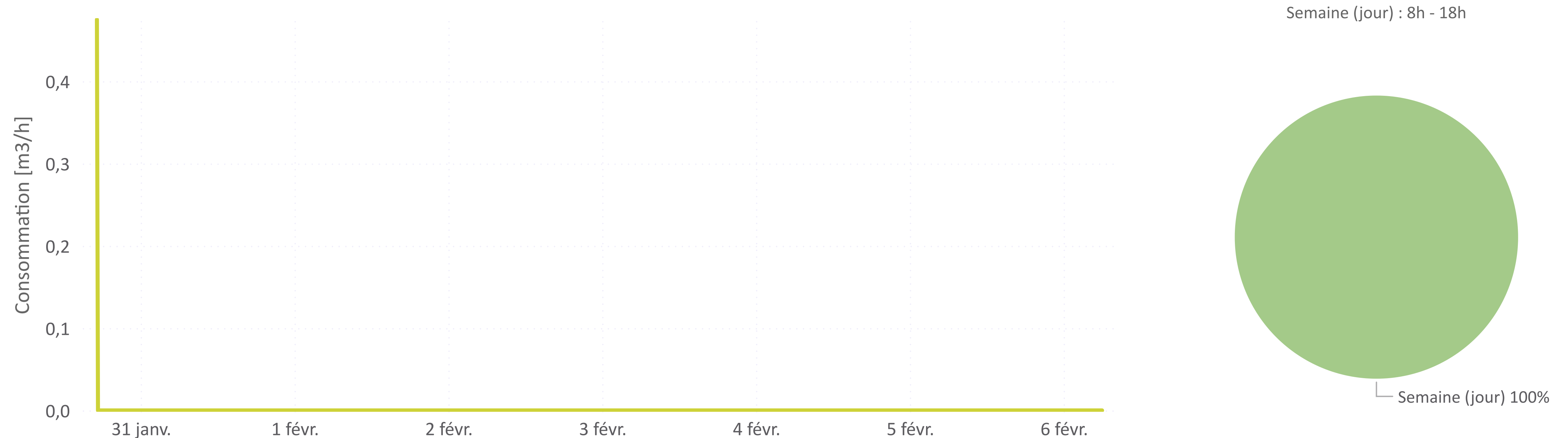
Enfin, il semble que le bâtiment soit plus utilisé le mardi car la consommation énergétique diminue à partir de 18h.

Représentation mensuelle des courbes de charges électriques



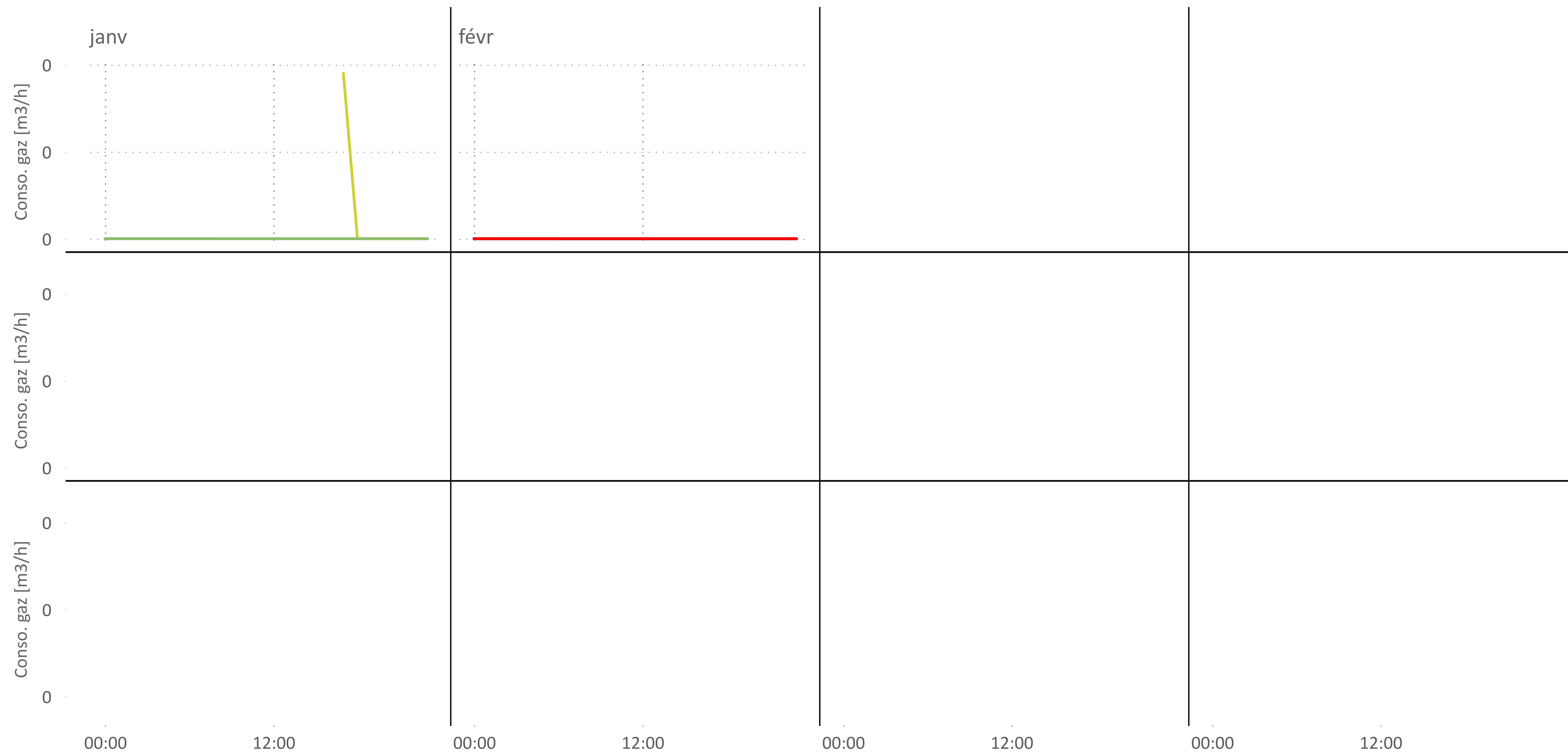
Evolution des consommations de gaz mesurées

Cette page présente les données horaires des consommations de gaz mesurées. Pour réaliser cette analyse, nous avons installé un enregistreur d'impulsions sur le compteur gaz. Sur la page suivante sont représentées pour chaque mois les données sur une évolution sur 24h en fonction des jours de la semaine.



Nous avons installé un enregistreur d'impulsions sur le compteur de gaz début février. Malheureusement, la couverture du réseau LoRa d'Orange, combinée à la cage métallique dans laquelle se trouve le compteur en extérieur, n'a pas permis la transmission des données relatives à la consommation de gaz. Nous préconisons de renouveler cette campagne de mesures l'hiver prochain en optant pour un réseau LoRa privé, indépendant d'un opérateur, afin d'assurer une meilleure transmission des données.

Représentation mensuelle des consommations de gaz mesurées



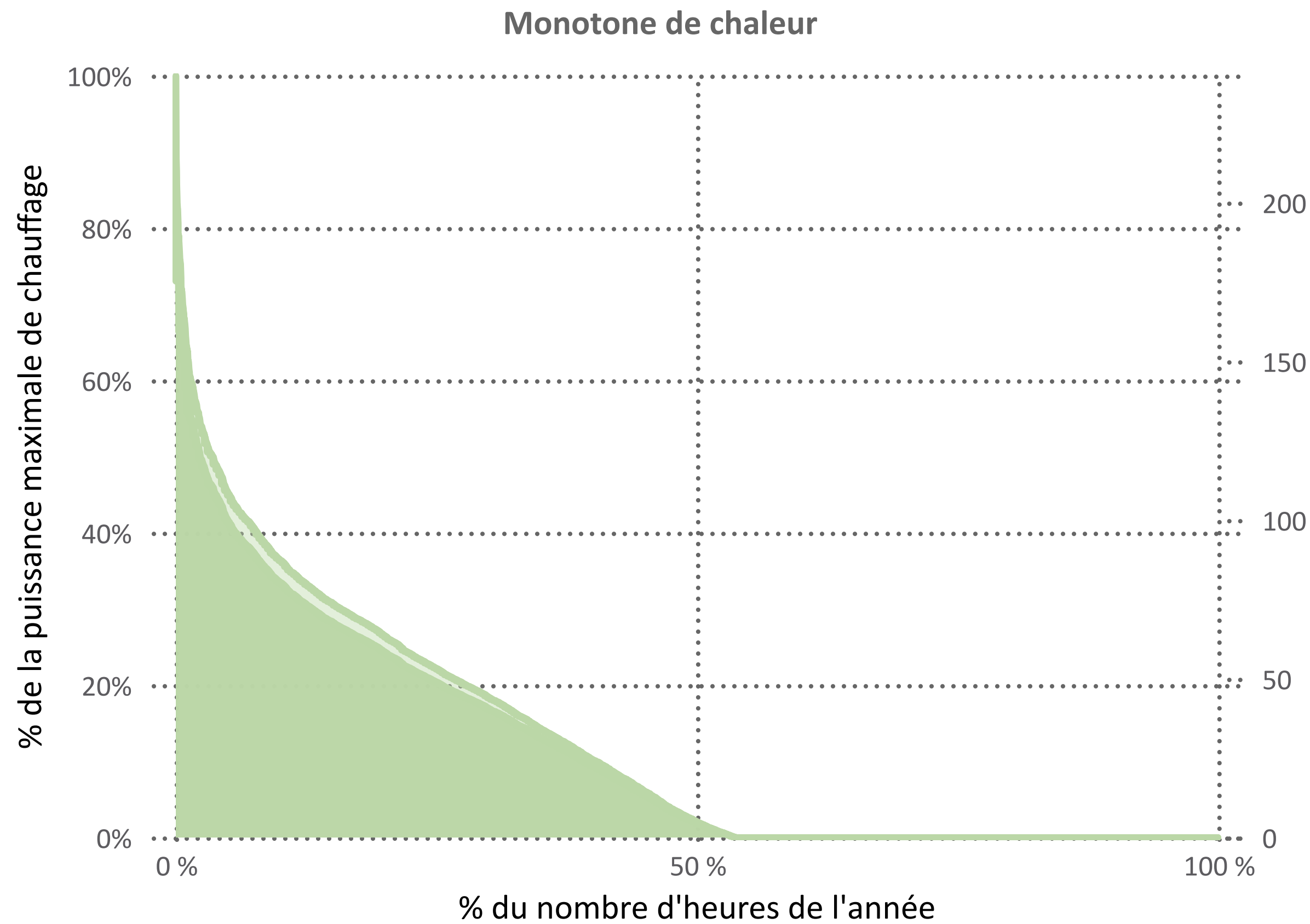
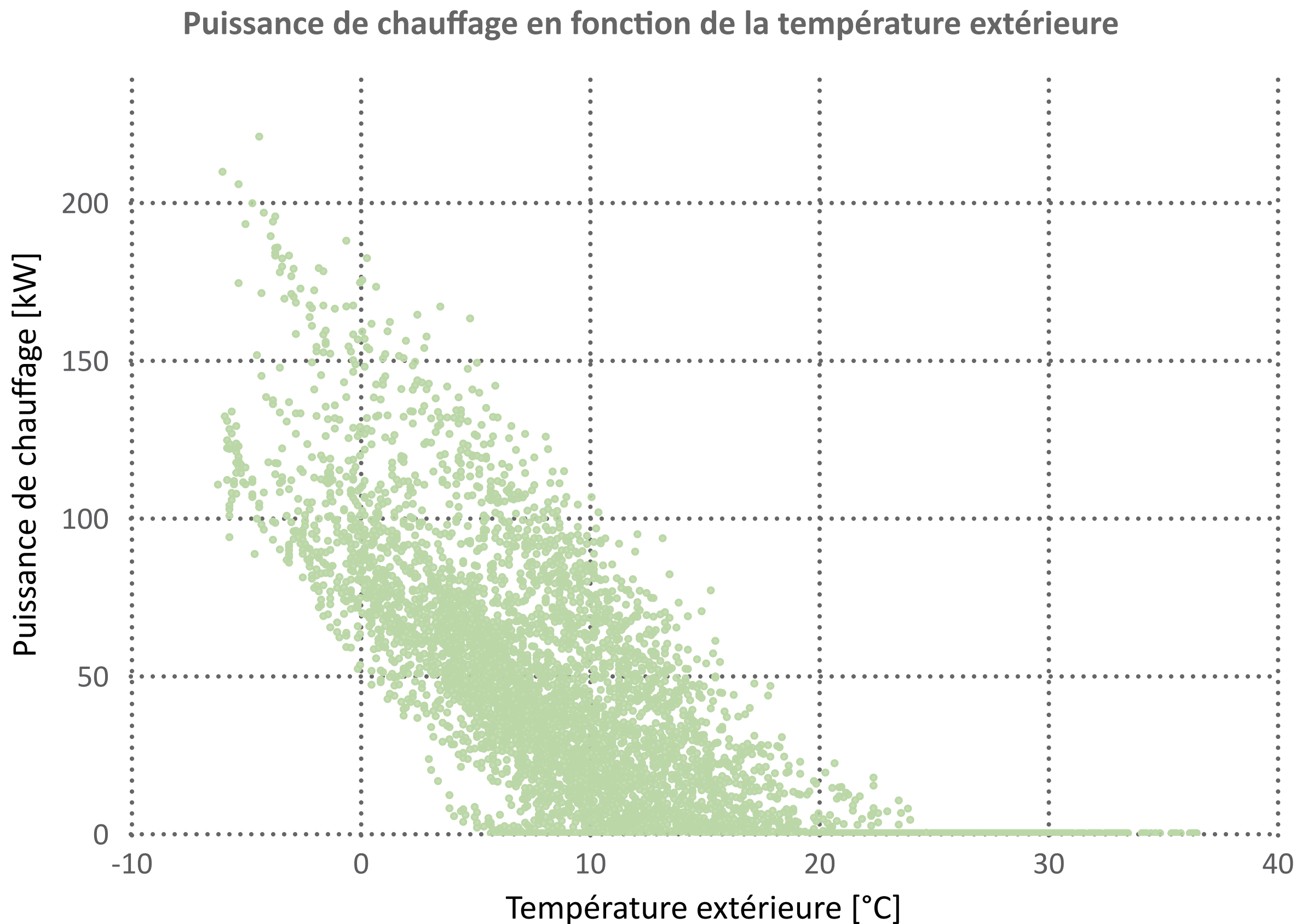
5.6 - Consommations d'eau

Les consommations d'eau ne nous ont pas été transmises ou les données reçues n'étaient pas exploitables. **Aucune analyse sur la consommation d'eau n'a pu être réalisée.** Un contrôle régulier des installations, ainsi que l'installation de robinets temporisés, de mousseurs ou encore de chasses d'eau double poussoir permettent d'éviter les gaspillages et les dépenses inutiles tout en adoptant une démarche éco-responsable.



5.7 - Analyse théorique des besoins de chaleur

Les calculs théoriques donnent des besoins de chauffage qui représentent la quantité d'énergie à fournir pour maintenir les consignes de température de chauffage. Ainsi le graphique ci-dessous à gauche représente pour chaque heure de l'année la puissance de chauffage nécessaire (en kW) en fonction de la température extérieure. Celui de droite représente la monotone de chauffage qui permet de visualiser le pourcentage de puissance nécessaire en fonction du pourcentage de temps de l'année. Ces données sont issues de la simulation thermique dynamique.

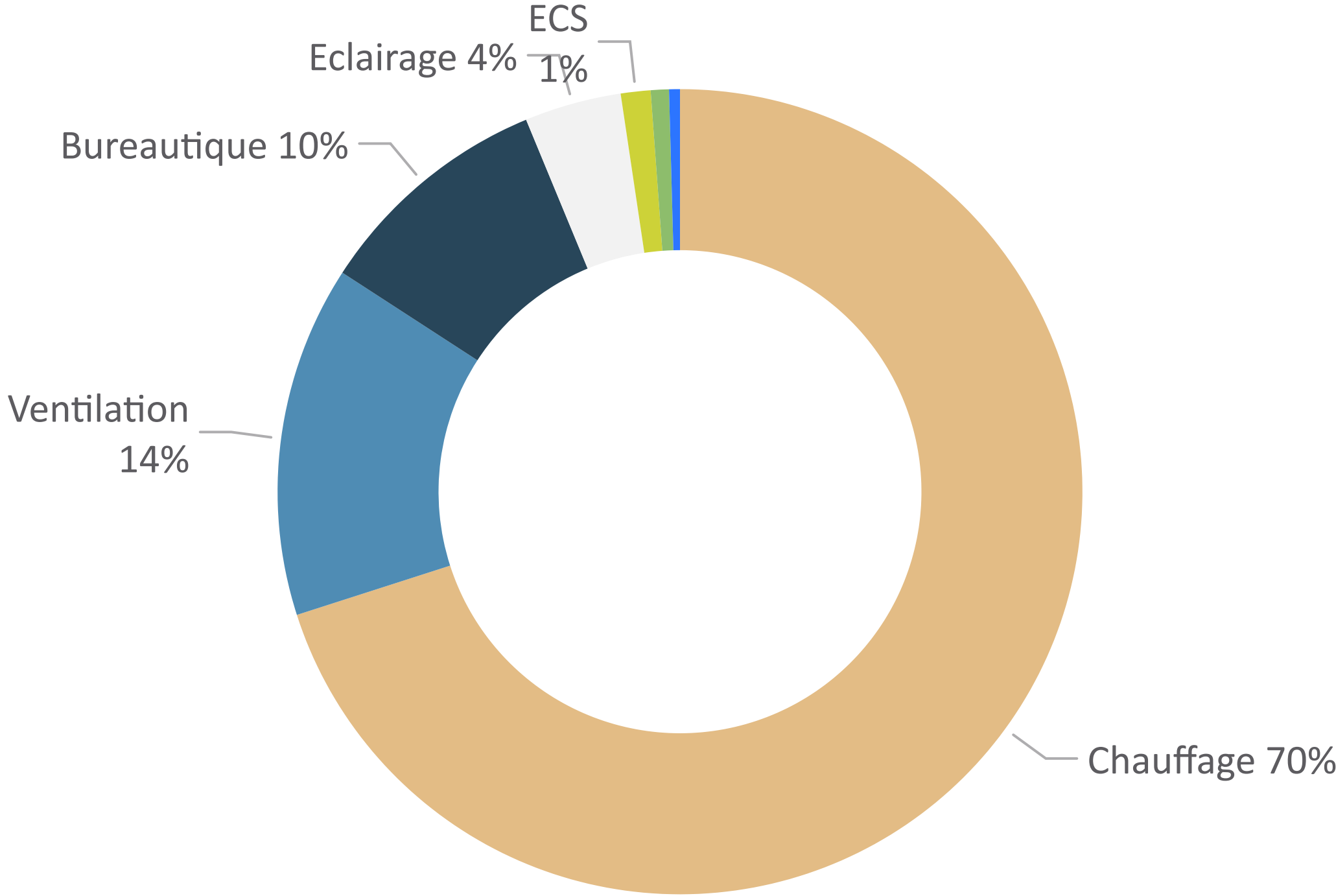


Le graphique de gauche permet de bien mettre en évidence la corrélation entre les températures extérieures et la puissance de chauffage. La puissance maximale théorique de chauffage du bâtiment est de 221 kW et les besoins de chauffage annuels sont de 238 202 kWh/an. La monotone montre que 60% de la puissance maximale (soit 132 kW) couvre 98,6% des besoins de chaleur sur une année.

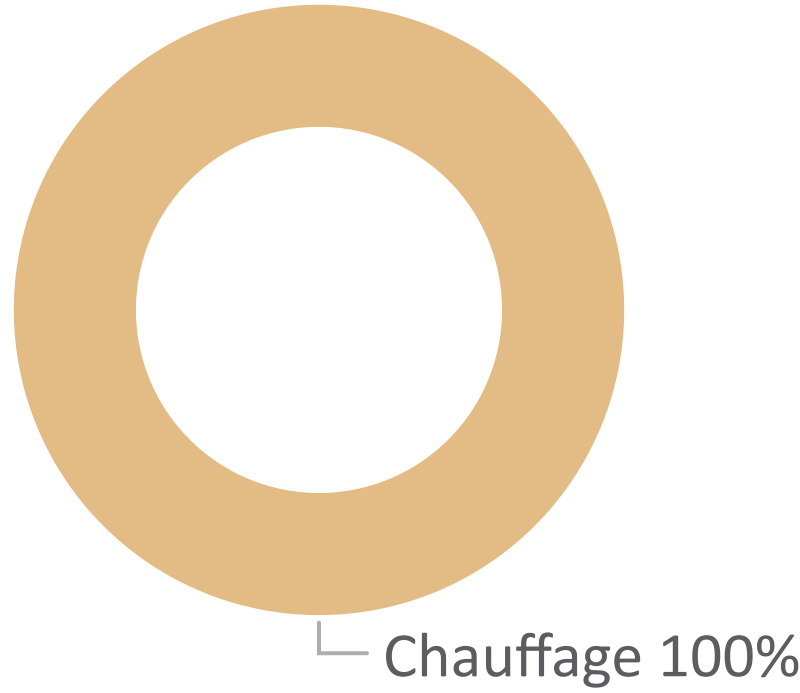
5.8 - Répartition des consommations énergétiques

Le graphique ci-dessous représente la répartition des consommations d'énergie par usage énergétique. L'estimation des consommations électriques s'appuie sur les puissances installées relevées associées à des profils de consommation type pour l'équipement concerné. Toutes les hypothèses sont ajustées afin que les calculs théoriques correspondent aux valeurs réelles de consommations issues des factures.

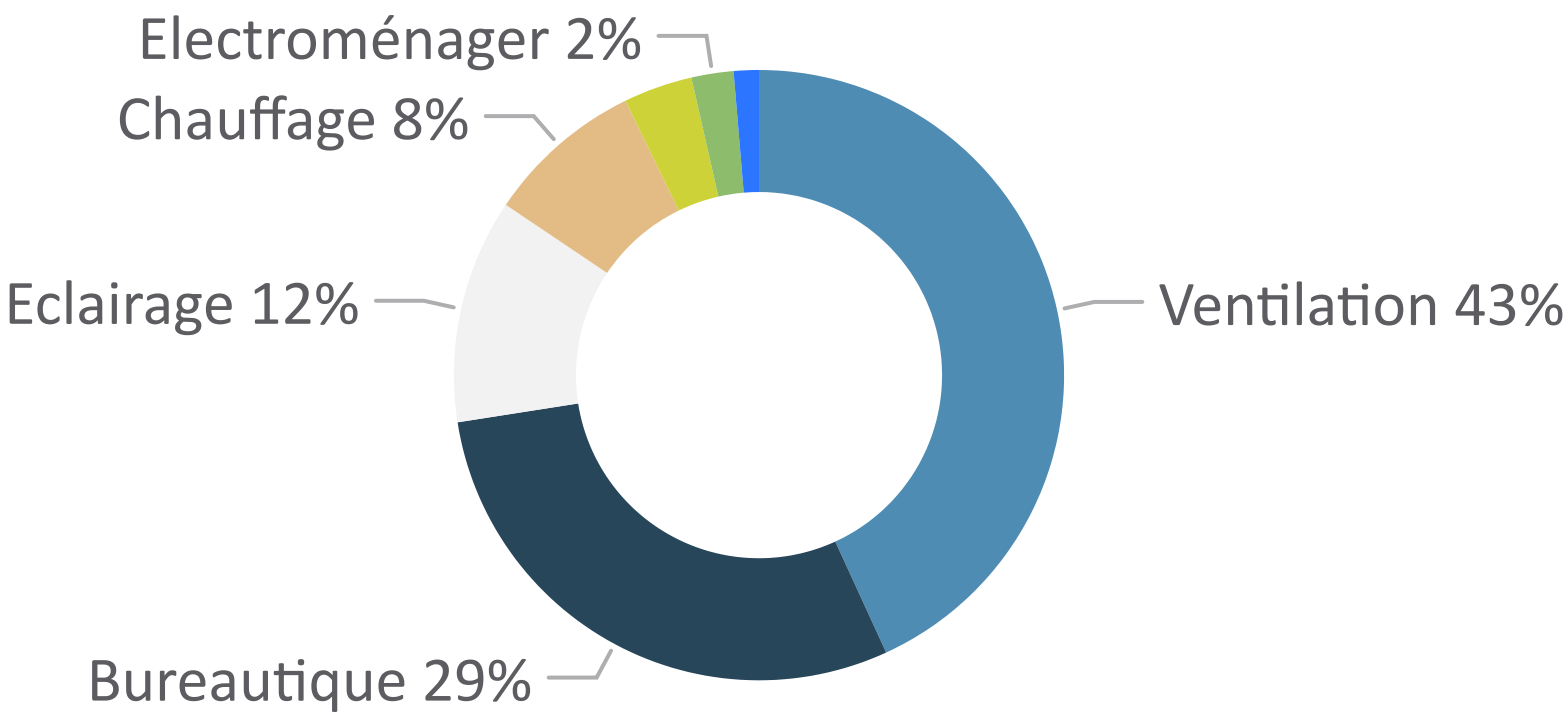
Répartition des consommations énergétiques par usage



Répartition des consommations de combustibles



Répartition des consommations d'électricité



Le poste "Chauffage" représente le poste le plus important des consommations énergétiques du bâtiment avec 70 % des consommations totales.

PJ Cahors

Adresse	Boulevard Léon Gambetta, 46000 Cahors
Usage	Palais de justice
Occupation	Bureau et audience ouverts en moyenne de 8h à 18h
Bâtiment	1 bâtiment sur 3 niveaux
Surface	SDP : 2965 m² Chauffée : 2734 m² Refroidie : 1267 m²
Volume	Chauffé : 12075 m³ Refroidi : 5594 m³
Historique	1865 rénové en 2004
Météos	DJU Référence = 2187 Zone climatique RT = H2c
Ratio conso.	118 kWh/m².an (surface de plancher) 128 kWh/m².an (surface chauffée)



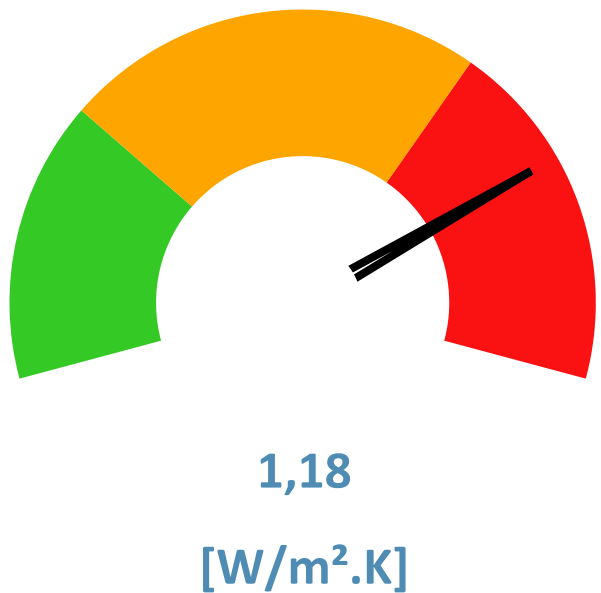
Enveloppe thermique

- Espaces patrimoniaux : pierres apparentes
- Espaces administratifs : doublage plâtre + isolant
- Menuiserie en SV et DV ancien dans la majorité du bâtiment
- DV performant dans les tours
- Toitures R+1 : combles perdus avec faible isolation
- Toitures R+2 : isolation réalisée en 2004
- Rampants salle d'audience : faible isolation ou absence d'isolation
- Plancher bas sur terre plein sans isolation

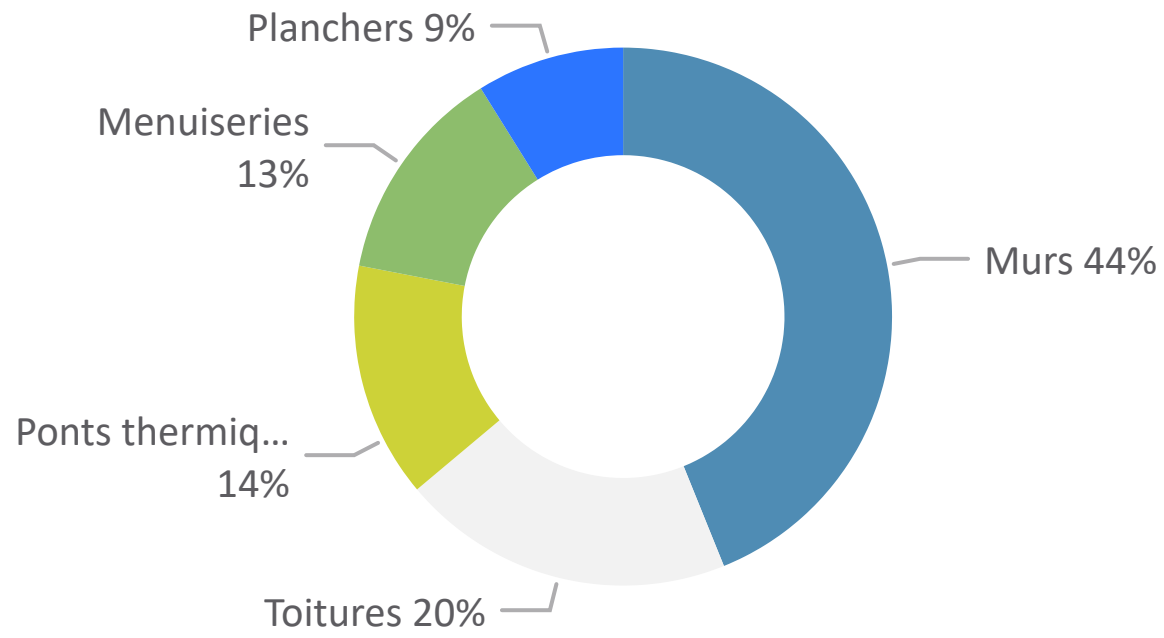
Equipements techniques

- 2 chaudières gaz
- Pompes à chaleur air/air Niv 1 et 2
- Pompes à chaleur air/air Niv 1 et 2
- Cumulus électrique
- Éclairage principalement rénové
- Simple flux dans les pièces humides et archives
- Double flux dans la salle des pas perdus, des assises et du tribunal

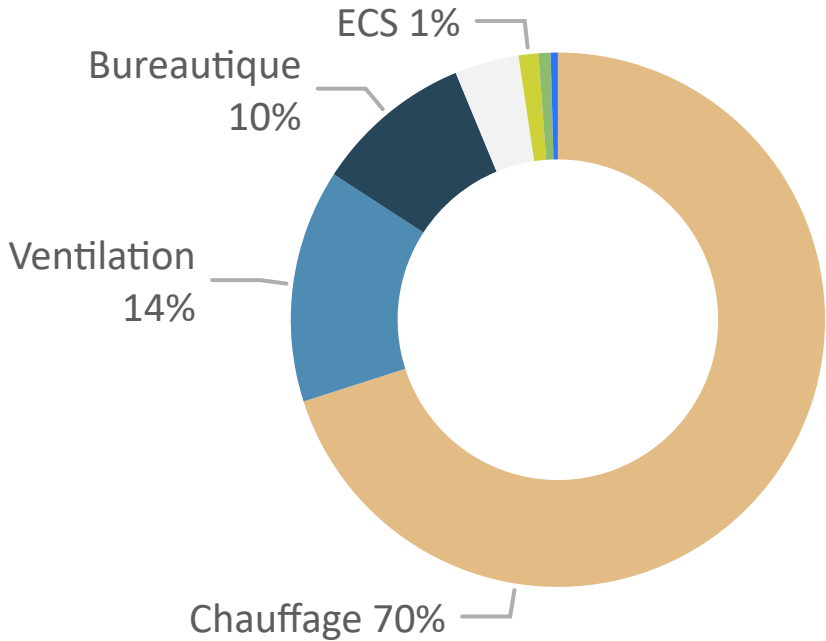
Coefficient U-bât du bâtiment [W/m².K]



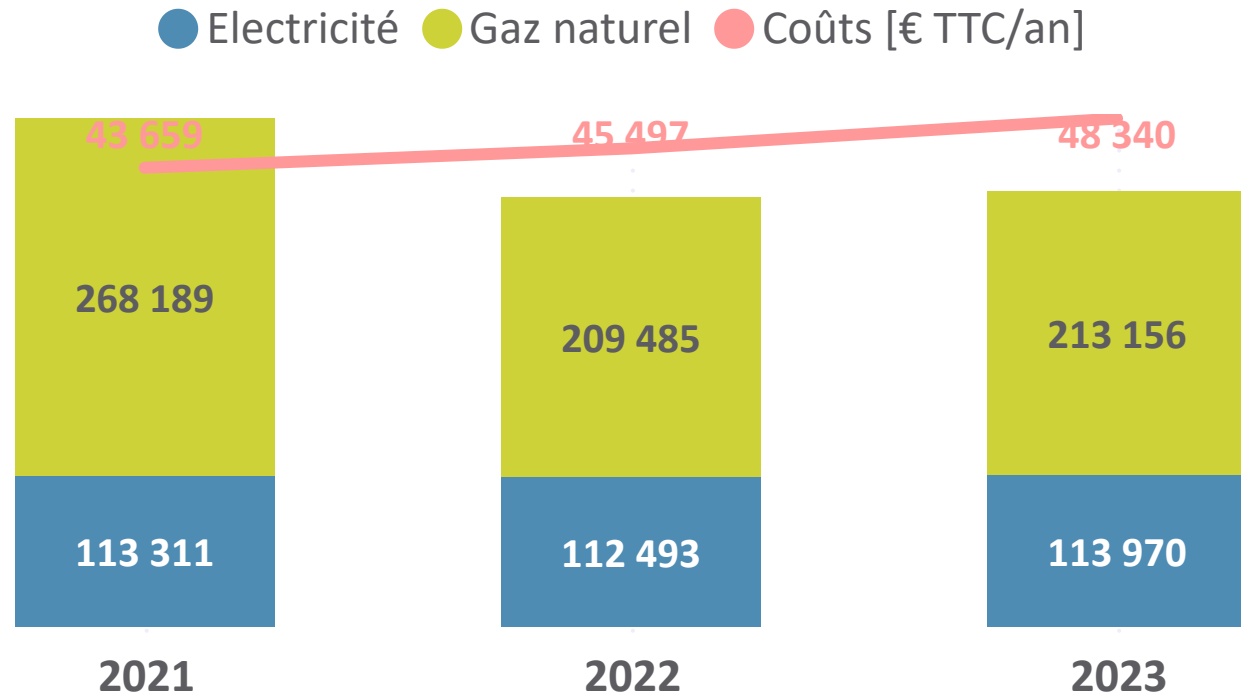
Répartition des déperditions thermiques de l'enveloppe



Répartition des consommations énergétiques



Evolution des consommations sur 3 ans



7.1 - Enveloppe du bâtiment

Isolation thermique des murs

Description générale des techniques d'isolation des murs

En rénovation du bâtiment, il existe deux principales techniques pour isoler les murs : isolation thermique par l'extérieur (ITE) et isolation thermique par l'intérieur (ITI).

Isolation thermique par l'intérieur (ITI)

Ces travaux consistent à installer un isolant et une finition (appelée doublage) du côté intérieur des murs en contact avec l'extérieur ou des locaux non chauffés. Cette technique permet la mise à disposition d'une paroi prête à accueillir un revêtement intérieur (peinture, papier peint, ...) et sa mise en œuvre est assez simple et maîtrisée par les professionnels. Elle possède toutefois des lacunes en ce qui concerne le traitement des ponts thermiques, une mise en œuvre à bien étudier lorsque le bâtiment est occupé (déménagement des encombrements intérieurs, gestion des plannings avec le chantier, ...) et une diminution de la surface intérieure.

Isolation thermique par l'extérieur (ITE)

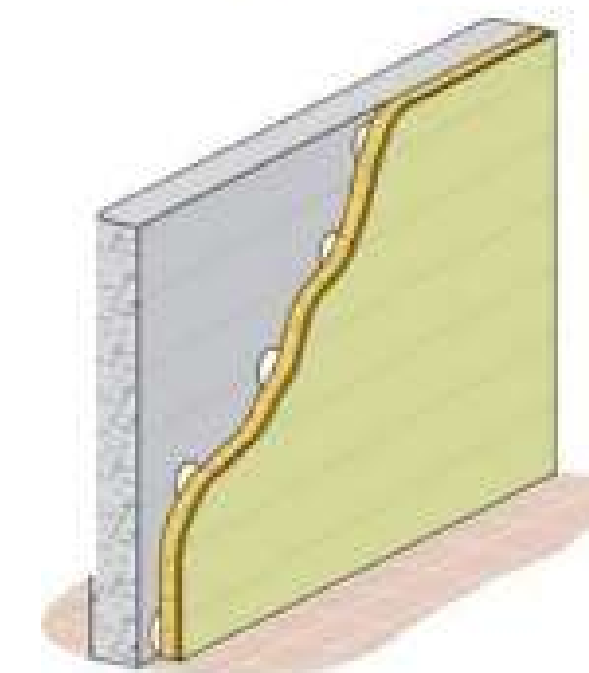
Ces travaux consistent à fixer l'isolant sur le côté extérieur des murs. Il peut servir de support pour la finition (enduit, bardage, ...) ou de remplissage derrière une ossature, qui elle-même supportera la finition (ossature bois). Cette technique permet de résoudre la problématique des ponts thermiques tout en préservant la surface intérieure. Elle conserve également l'inertie thermique du bâtiment, et, si les locaux sont bien ventilés, elle contribue à améliorer le confort thermique en été. Ces travaux peuvent parfois nécessiter une autorisation des services d'urbanisme et des architectes des Bâtiments de France pour la modification de l'aspect extérieur du bâtiment. Un autre point nécessitant une attention particulière est le traitement des points singuliers comme les débords de toits, les menuiseries (appui, tableau, linteau), la fixation des volets...

Dans les 2 techniques, différents type d'isolant sont possibles (laine de bois, chanvre, laine de verre, polystyrène). Nous préconisons la mise en œuvre d'isolant bio-sourcés dans la mesure du possible.

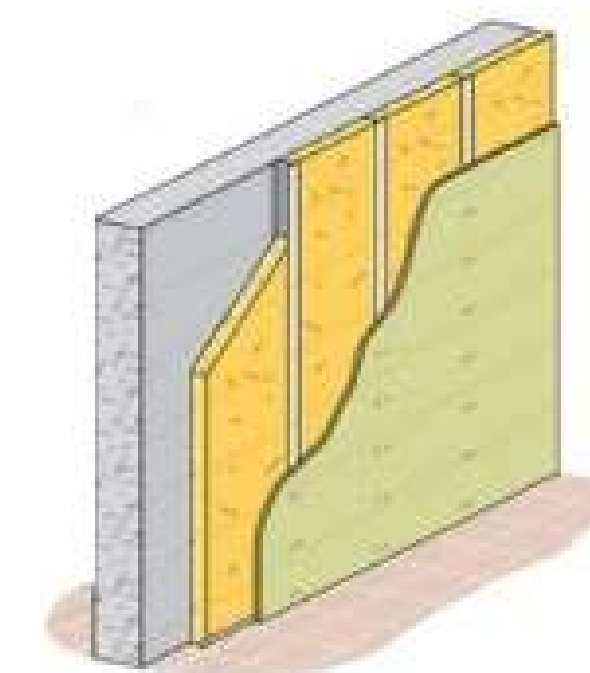
La **résistance thermique minimale à respecter est un R de 3,70 m².K/W**, qui correspond selon les isolants à une épaisseur de 120 à 140 mm d'isolant dans le cas d'une isolation par l'intérieur (ITI) et de 140 à 160 mm d'isolant dans le cas d'une isolation par l'extérieur (ITE).

Isolation thermique par l'intérieur (ITI)

ITI en panneaux collés

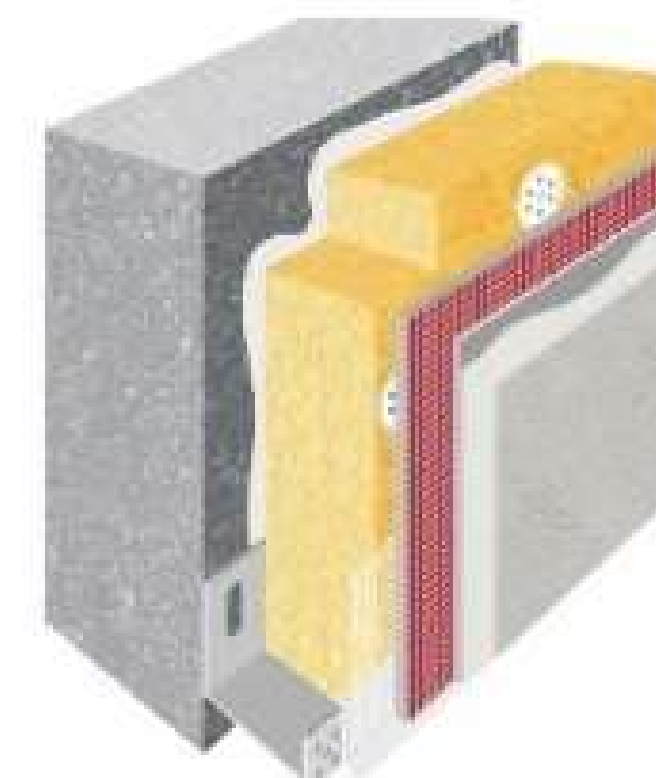


ITI sous ossature métallique



Isolation thermique par l'extérieur (ITE)

ITE sous enduit



ITE sous ossature et bardage



Isolation thermique des murs

Description des travaux proposés

Travaux retenus

Nous proposons d’isoler les murs de refend vers les espaces non chauffés, soit par doublage intérieur, soit en fixant l’isolant sur les murs des locaux non chauffés. En complément, nous proposons le remplacement de l’isolant installé en 2004 pour renforcer la performance thermique globale du bâtiment.

Mise en œuvre

- Les travaux comprennent :
- Dépose de l'isolant existant ;
 - Pose d'une ossature métallique ancrée au sol, plafond et murs avec panneaux isolants biosourcés en 140 mm ($\lambda = 0,038 \text{ W/m.K}$, $R = 3,80 \text{ m}^2.\text{K/W}$) ;
 - Installation d'un pare-vapeur indépendant ou intégré, avec joints scellés pour limiter les infiltrations et éviter la condensation ;
 - Traitement des ponts thermiques aux jonctions mur/sol, murs/plafonds et ouvertures, avec bandes résilientes et mousse polyuréthane ;
 - Pose de plaques de plâtre BA18, assurant une finition lisse prête à être enduite et peinte

Localisation et spécificités

Les parois traitées sont l'ensemble des parois selon repérage de chaque niveau fourni en annexe.
Les coûts d'investissement estimés intègrent tous les travaux décrits ci-dessus, ainsi que les travaux de reprise de revêtement des murs et les reprises du sol et du plafond.

Investissement et gains énergétiques

Ci-dessous sont listées les améliorations étudiées, avec les coûts d'investissement et les gains énergétiques par rapport à l'état initial (toute énergie confondue) :

Amélioration	Investissement [€ TTC]	Facture énergie [€ TTC/an]		Electricité [kWh/an]		Combustibles [kWh/an]		Consommation énergie [kWh/an]	
Remplacement de l'isolation des murs intérieures	360 929	61 220	-3 %	114 055	0 %	225 544	-4 %	339 599	-3 %
Isolation des murs sur locaux non chauffés	13 176	62 559	0 %	114 275	0 %	234 455	-1 %	348 730	-1 %

7 Améliorations énergétiques

Isolation thermique des menuiseries

Description générale des techniques de remplacement des menuiseries

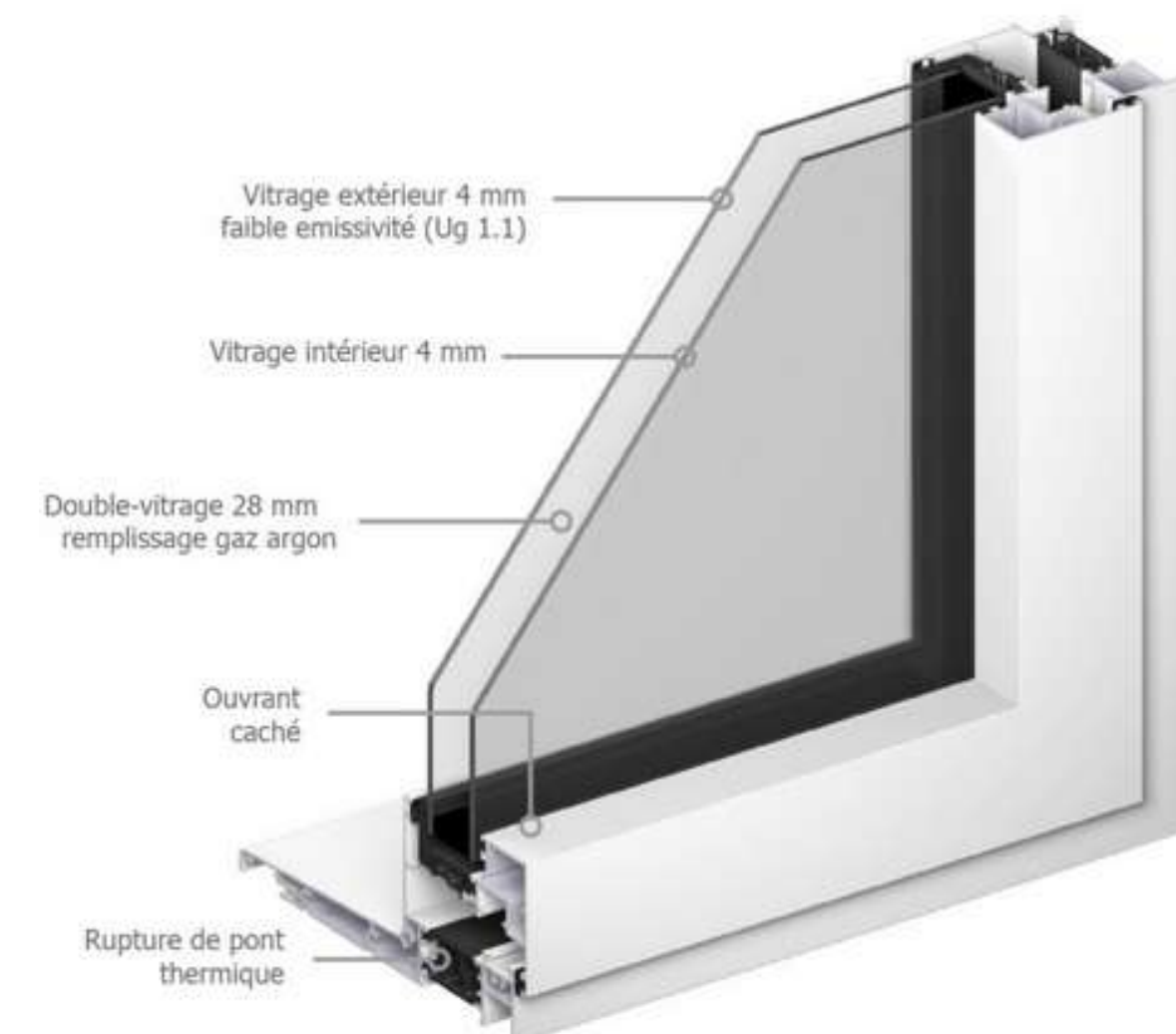
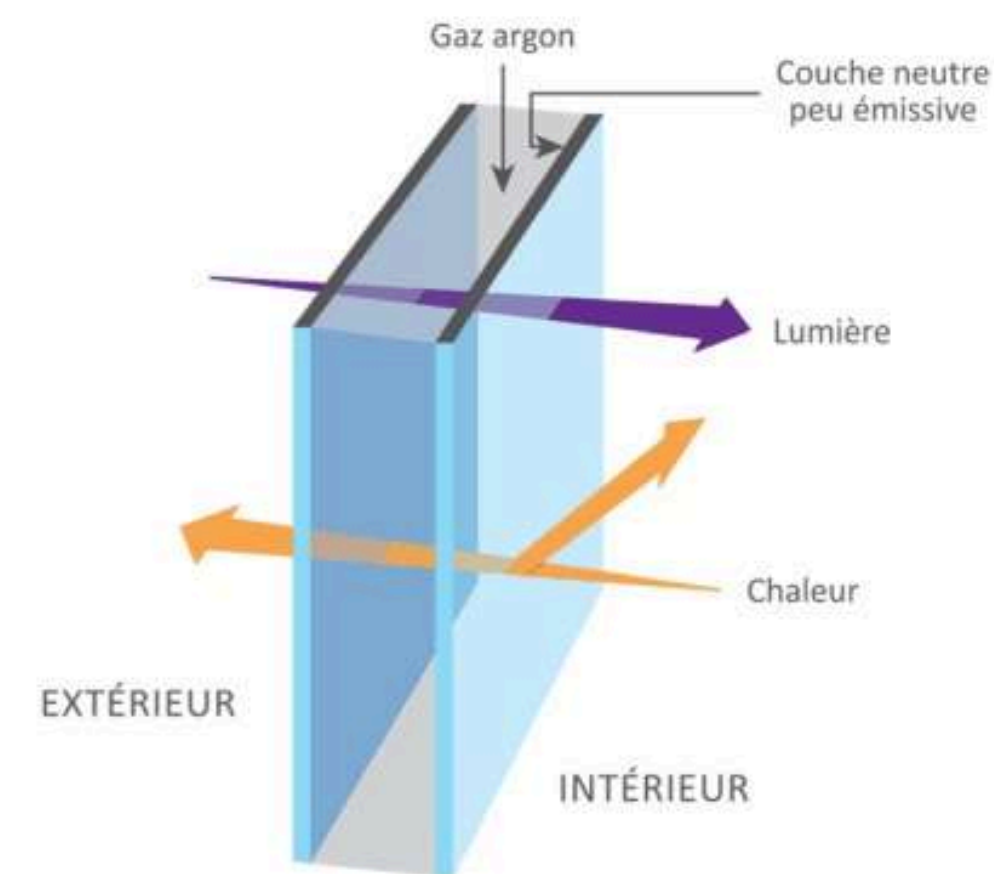
Le rôle des menuiseries est primordial dans un bâtiment car elles assurent l'accès à l'éclairage naturel et la récupération des apports solaires en hiver. Toutefois, elles engendrent aussi des déperditions thermiques et un effet de paroi froide important si elles sont uniquement munies de simple vitrage. Cet effet de paroi froide incite bien souvent à augmenter la température de consigne de chauffage pour être dans un bon niveau de confort thermique.

Trop peu performantes, les menuiseries équipées de simple vitrage et de double vitrage avec lame d'air inférieure à 12 mm sont à remplacer. Pour les améliorations, il faut remplacer ces menuiseries par des menuiseries équipées de double vitrage à isolation renforcée, qui est composé de 2 couches de verres entre lesquelles un gaz inerte joue le rôle d'isolant. En plus, une couche d'oxydes métalliques, placée sur la face extérieure du vitrage intérieur, piège une partie du rayonnement dans le local. On parle aussi parfois de vitrage à « basse émissivité ». La pose peut se faire en conservant les dormant existants si son état de conservation est satisfaisant. Les menuiseries doivent avoir une certification CSTBat et l'entreprise qui fait les travaux doit être certifiée RGE. A noter que ces travaux peuvent nécessiter des reprises de revêtements intérieurs (peintures, papiers peints). Attention également à prévoir des menuiseries avec des entrées d'air si les fenêtres existantes en sont déjà équipées ou que la ventilation se fait naturellement au sein du bâtiment.

Les coefficient thermiques à respecter pour les travaux doivent être **pour le vitrage un coefficient Ug de 1,1 W/m².K et pour les menuiseries un coefficient Uw ≤ 1,40 W/m².K.**

Le choix des types de châssis est à effectuer en fonction de critères esthétiques, économiques ou de contraintes spécifiques (ABF par exemple).

A noter que le triple vitrage est réservé à des utilisations bien spécifiques.



Isolation thermique des menuiseries

Description des travaux proposés

Travaux retenus

Nous préconisons le remplacement des menuiseries extérieures peu efficaces (simple vitrage et double vitrage 4/6/4) par des modèles en bois équipés de double vitrage 4/16/4 avec petits bois rapportés, afin d'améliorer l'isolation thermique et de préserver le cachet esthétique du bâtiment.

Mise en œuvre

Les travaux comprennent :

- Retrait des menuiseries existantes (fenêtres, portes, huisseries) sans endommager les structures ;
- Fourniture et pose de nouvelles menuiseries isolantes (PVC, bois, aluminium à rupture de pont thermique) avec vitrages performants ;
- Remise en état ou remplacement des volets selon le type de menuiserie et les besoins du bâtiment ;
- Finitions et reprises (habillages intérieurs/extérieurs, joints d'étanchéité, peinture) pour une installation soignée ;
- Vérification du bon fonctionnement, de l'étanchéité et des performances acoustiques et thermiques.

Localisation et spécificités

Les menuiseries traitées sont l'ensemble des menuiseries en simple vitrage et 4/6/4, selon repérage de chaque niveau fourni en annexe. Ne sont pas comptées la dépose, révision et repose des volets battants intérieurs (59 000€) ou leur remplacement par du neuf (175 000€).

Les menuiseries installées devront respecter les exigences de la DRAC et des architectes des bâtiments de France.

Investissement et gains énergétiques

Ci-dessous sont listées les améliorations étudiées, avec les coûts d'investissement et les gains énergétiques par rapport à l'état initial (toute énergie confondue) :

Amélioration	Investissement [€ TTC]	Facture énergie [€ TTC/an]	Electricité [kWh/an]		Combustibles [kWh/an]		Consommation énergie [kWh/an]	
Remplacement des menuiseries SV	67 200	61 335	-2 %	113 792	-1 %	226 802	-4 %	340 594 -3 %
Remplacement des menuiseries DV	536 400	58 239	-7 %	101 506	-11 %	226 802	-4 %	328 308 -6 %

Isolation thermique des toitures et planchers hauts

Description générale des techniques d'isolation des toitures et planchers hauts

L'amélioration des toitures peut se faire de différentes façons, en fonction de la typologie des toitures ou des travaux annexes envisagés (remplacement de faux plafond, reprise étanchéité...) :

Isolation thermique au dessus de planchers hauts

L'isolation peut se faire au-dessus de faux plafond donnant sur des pléniums ou des planchers sur combles perdus. L'opération consiste à venir poser des panneaux d'isolant directement sur les dalles ou le plancher, avec des épaisseurs minimales de 30 cm. Sur des combles perdus, des isolants en vrac par une technique d'insufflation est également possible et parfois plus simple en mise en œuvre.

Isolation en toiture sur des pans inclinés

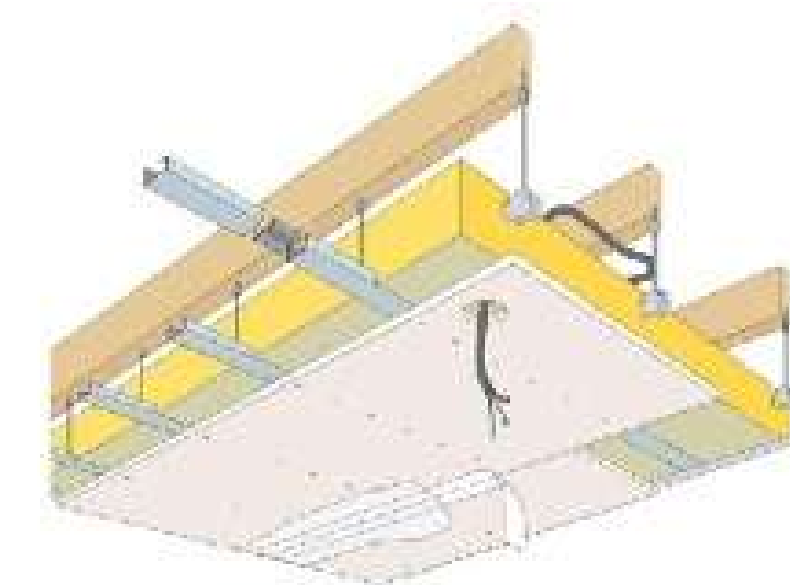
L'isolation sur des pans inclinés peut se faire par l'intérieur avec la pose des panneaux d'isolant en une ou plusieurs couches entre ossature. La finition peut ensuite se faire par un habillage rapporté, de type plaque de plâtre. l'isolation peut aussi se faire par l'extérieur par la technique sur sarking sur des charpentes bois avec toitures tuiles ou par des panneaux isolants type panneaux sandwichs bac acier.

Isolation au dessus de toiture terrasse

L'isolation des toitures terrasses s'effectue par le dessus avec plusieurs solutions techniques possibles en fonction de différents critères comme le type d'isolant, la pente, la destination de la terrasse (inaccessible, accessible, végétalisée, ...). Dans tous les cas, l'isolant utilisé doit être résistant à la compression et à l'humidité. Cette technique demande des travaux en toiture relativement lourds nécessitant l'utilisation de différents matériels (échafaudage, grue, ...). Cette isolation va de pair avec la réalisation d'une parfaite étanchéité. C'est pourquoi cette opération doit être confiée à un professionnel maîtrisant le savoir-faire et permettant d'assurer une garantie des travaux effectués. Attention à bien traiter les remontées d'isolant au niveau des murs périphériques (acrotère, ...). L'épaisseur de l'isolant dans ce type de technique peut être plus faible que sur les autres techniques, car le type d'isolant correspondant présente généralement des conductivités thermiques meilleures.

La résistance thermique minimale à respecter est un R de 7 m².K/W, et nous préconisons la mise en oeuvre d'isolants bio-sourcés dans la mesure du possible.

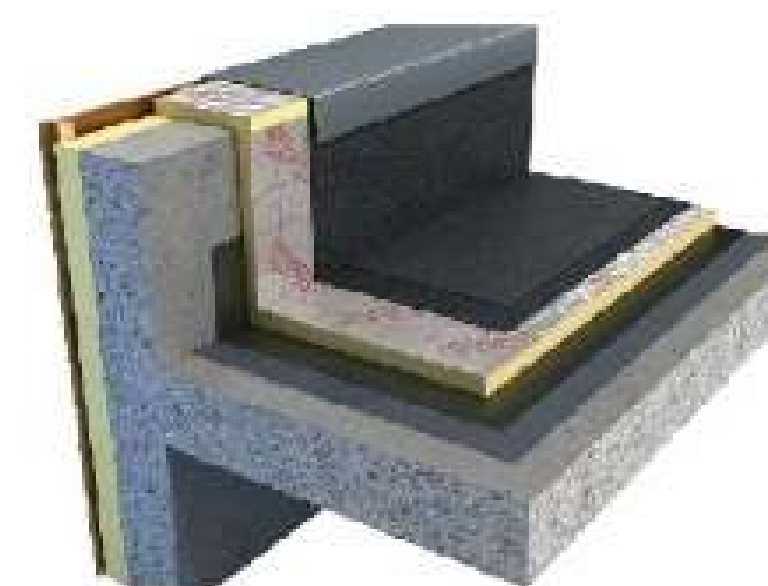
Isolation au-dessus de faux plafond



Panneaux sandwichs isolés



Isolation toiture terrasse



Isolation thermique des toitures et planchers hauts

Description des travaux proposés

Travaux retenus

Nous proposons de remplacer l'isolation sous la toiture du R+1, ainsi que le remplacement ou le renforcement de l'isolation des toitures est et ouest pour améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment.

Mise en œuvre

Les travaux consistent en :

- Dépose de l'isolant existant ;
- Fourniture et mise en place d'un isolant en vrac ou en rouleaux (type laine minérale, ou autres matériaux équivalents) d'une épaisseur de 30 cm. L'isolant choisi aura une conductivité thermique sous ACERMI de 0,032 W/m.K, offrant une résistance thermique d'au moins $R = 7,50 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$;
- Identifications et traitement des zones sensibles aux ponts thermiques (jonctions murs/plafonds, autour des conduits et autres ouvertures) pour éviter toute fuite thermique. Des solutions adaptées, comme des bandes résilientes ou des panneaux isolants, seront appliquées dans ces zones ;
- Installation d'un pare-vapeur (indépendant ou intégré à l'isolant) pour limiter les risques de condensation et assurer l'étanchéité à l'air. Les joints seront soigneusement scellés afin de garantir une parfaite étanchéité à l'air et éviter toute infiltration d'humidité ;
- Vérification du bon calfeutrage de l'isolant et des éléments associés afin d'assurer la performance thermique optimale et l'absence de fuites d'air.

Localisation et spécificités

Les parois traitées sont l'ensemble des combles du bâtiment, selon repérage fourni en annexe.

Investissement et gains énergétiques

Ci-dessous sont listées les améliorations étudiées, avec les coûts d'investissement et les gains énergétiques par rapport à l'état initial (toute énergie confondue) :

Amélioration	Investissement [€ TTC]	Facture énergie [€ TTC/an]		Electricité [kWh/an]		Combustibles [kWh/an]		Consommation énergie [kWh/an]	
Isolation sous couverture des jonctions	39 648	61 761	-2 %	114 171	0 %	229 095	-3 %	343 266	-2 %
Ajout d'isolation sous couverture	45 422	58 414	-7 %	113 190	-1 %	207 567	-12 %	320 757	-8 %

Isolation thermique des planchers bas

Description générale des techniques d'isolation des planchers bas

L'amélioration des planchers bas est souvent complexe car ces travaux sont parfois très lourds pour des ouvrages peu ou pas accessibles.

Isolation thermique de planchers bas sur terre-plein ou vide sanitaire non accessibles

L'opération consiste à mettre en œuvre une isolation thermique sous chape. Cela consiste à venir placer l'isolant sur le plancher existant (dalle) et de venir couler une chape flottante par-dessus. L'isolant utilisé doit être incompressible comme par exemple des panneaux rigides de polyuréthane ou de polystyrène.

Cette technique est le meilleur moyen pour rénover et isoler par l'intérieur les planchers bas sur terre-plein en rénovation. L'inconvénient est que ce type de travaux doit être réalisé dans le cadre d'une réhabilitation lourde du bâtiment, puisque cela nécessite que le bâtiment ne soit pas occupé et cela a également des impacts sur d'autres ouvrages.

Isolation thermique de planchers bas sur extérieur, sur caves, sous-sol ou vide sanitaire accessibles

L'opération consiste à mettre en œuvre en sous-face des planchers une isolation thermique. Cela peut se faire à partir de panneaux semi rigides (ou rouleaux) mais pour lesquels une ossature est nécessaire pour le support, ou bien à partir de panneaux rigides isolants. Dans tous les cas les isolants doivent être posés de manière parfaitement jointive et appliqués contre le plancher afin d'éviter les interruptions dans la couche isolante. Les chevilles en matière plastique sont à privilégier pour éviter les ponts thermiques. A noter que cette technique abaisse la hauteur de plafond de la pièce. Afin d'éviter les ponts thermiques, attention à bien préserver la continuité de l'isolant au niveau de la jonction entre le plancher et les murs donnant sur l'extérieur.

Un système d'isolation par flocage peut également être envisagé, notamment dans le cas d'une isolation en vide sanitaire.

L'isolation sur cave ou sous-sol devra prendre en considération les équipements existants comme les réseaux d'évacuation, les réseaux électriques et les luminaires.

La résistance thermique minimale à respecter est un R de 3,50 m².K/W, et nous préconisons la mise en œuvre d'isolants bio-sourcés dans la mesure du possible.

Isolation type fibrastyrène



Isolation sur garage



Isolation thermique des planchers bas

Description des travaux proposés

Travaux retenus

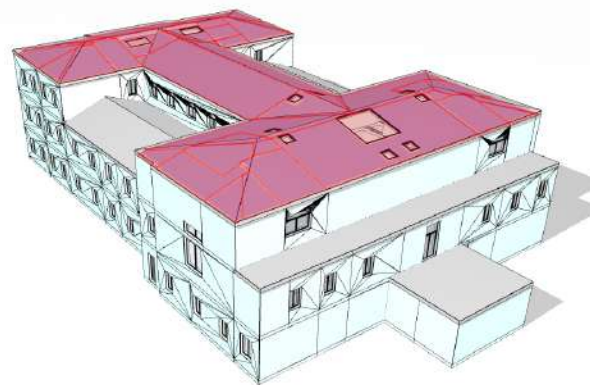
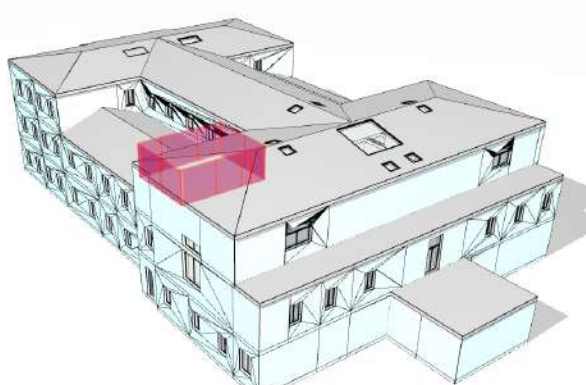
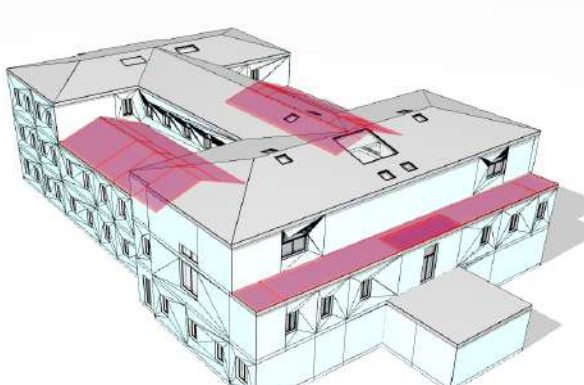
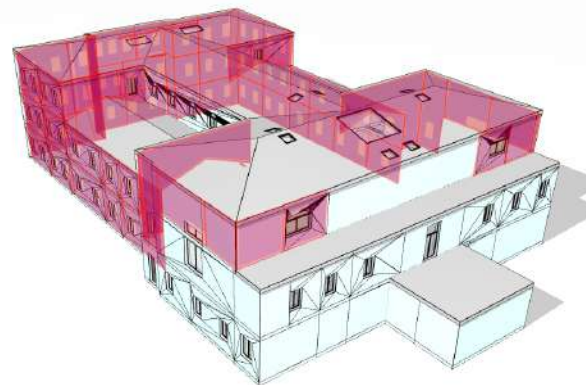
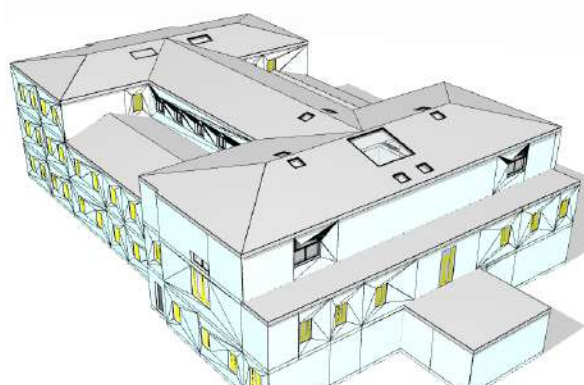
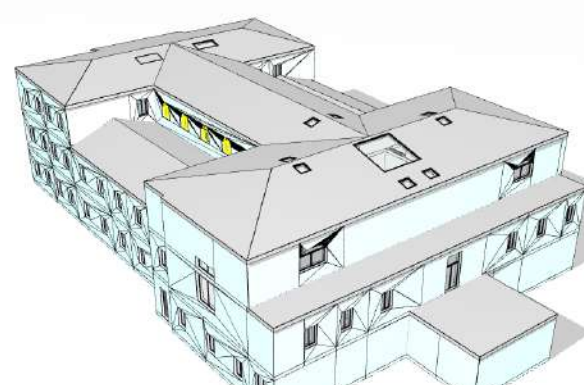
Aucun travaux n'est retenu pour l'amélioration thermique des planchers bas :

- L'isolation en sous face des parties architecturales remarquables (circulations, salle d'audience, extérieur, ...) n'est pas réalisable en raison des contraintes techniques et architecturales ;
- Nous ne préconisons pas l'isolation des planchers sur terre-plein car cette piste d'amélioration thermique est trop complexe à mettre en place.



Synthèse des améliorations proposées sur l'enveloppe

Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des améliorations énergétiques identifiées sur l'enveloppe du bâtiment. Pour chaque amélioration sont précisées les hypothèses de coût unitaire, les surfaces associées, les coûts totaux et les gains énergétiques (énergie finale, toutes énergies confondues).
A noter que selon les cas, les surfaces pour les murs intègrent également les menuiseries, les entreprises chiffrant parfois du « vide pour plein » afin de tenir compte des travaux

	Ajout d'isolation sous couverture	Isolation des murs sur locaux non chauffés	Isolation sous couverture des jonctions	Remplacement de l'isolation des murs intérieures	Remplacement des menuiseries DV	Remplacement des menuiseries SV
Investissement [€ TTC]	45 422	13 176	39 648	360 929	536 400	67 200
Gain énergétique	8 %	1 %	2 %	3 %	6 %	3 %
Quantité [m²]	1 100	122	330	1 430	165	21
Localisation						

7.2 - Production énergétique

Pompe à chaleur à air (PAC air/air et PAC air/eau)

Description générale des techniques des pompes à chaleur à air

Les pompes à chaleur (PAC) permettent de transférer de l'énergie thermique d'un milieu à basse température (source froide) vers un milieu à haute température (source chaude). Dans le cas d'une PAC à air (ou aérothermie), l'air extérieur est la source froide. Ces systèmes disposent d'une ou plusieurs unités extérieures permettant de prélever des calories sur l'air extérieur.

La source chaude peut être l'air ou l'eau selon le type de pompes à chaleur utilisé :

- **PAC air/air** : ces équipements permettent le chauffage de l'air intérieur qui sera soufflé à l'aide d'unités intérieures (cassette, gainable, ...) placées dans les locaux chauffés. Ces unités intérieures sont en général commandées par télécommandes individuelles reliées à une programmation centralisée permettant de fixer les plages de fonctionnement et les températures de consigne.
- **PAC air/eau** : dans cette configuration, les calories prélevées par la PAC permettent le chauffage de l'eau qui sera injectée dans le circuit de chauffage et les émetteurs placés dans les locaux chauffés. Les émetteurs sont généralement des radiateurs, des ventilo-convecteurs ou des planchers chauffants régulés par robinets thermostatiques ou thermostats d'ambiance par zone/pièce.

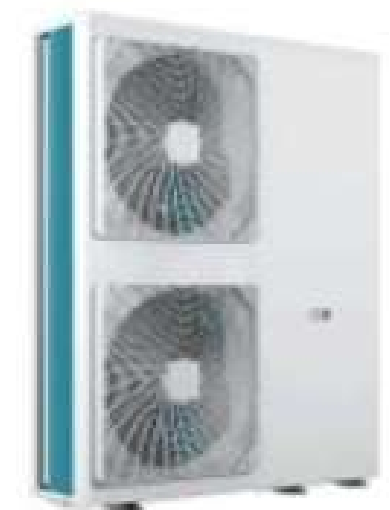
La performance d'une PAC est exprimée par des **coefficients de performance (« COP »** pour une performance instantanée et **« SCOP »** pour une performance saisonnière). Ces coefficients **atteignent sont entre 2,5 et 3,5** pour ce type de système ce qui veut dire que pour 1 kWh d'énergie consommé, la PAC produira 2,5 kWh à 3,5 kWh d'énergie calorifique.

Ces systèmes sont également réversibles et peuvent aussi assurer la climatisation des locaux.

Le changement de système de chauffage peut amener à la dépose et l'adaptation du système en place à prendre en compte dans les travaux.

Le dimensionnement de ce système doit faire l'objet d'un calcul par un bureau d'études techniques.

Unité extérieure de PAC



Unité intérieure type cassette



Unité intérieure type split mural



Pompe à chaleur à air (PAC air/air et PAC air/eau)

Description des travaux proposés

Travaux retenus

Nous préconisons de remplacer la chaudière gaz par une pompe à chaleur air/eau. La chaudière gaz peuvent être conservées comme appoint/relève des pompes à chaleur. Pour cela, la chaufferie existante est conservée et les pompes à chaleur sont dimensionnées à 60% de la puissance totale.

Mise en œuvre

Cette amélioration comprend les travaux suivants :

- Fourniture et installation d’une pompe à chaleur air/eau. La PAC sera raccordée au réseau de chauffage existant et à l’installation électrique, avec vérification des équipements de régulation (thermostats, vannes thermostatiques, etc.). L’installation sera réalisée dans les règles de l’art, en assurant l’optimisation du fonctionnement entre la PAC et la chaudière à gaz. Un système de gestion automatique sera mis en place pour gérer le basculement entre les deux systèmes en fonction des besoins énergétiques ;
- La chaudière gaz sera conservée en tant que système de relève pour les périodes de très basse température ou lors des pics de demande de chauffage. Un raccordement sera effectué pour permettre à la chaudière de prendre le relais de la pompe à chaleur lorsque cela sera nécessaire, afin de garantir une continuité de service et une réponse efficace aux besoins de chauffage ;
- Réalisation des essais de mise en service pour s’assurer du bon fonctionnement de la pompe à chaleur et de la chaudière à gaz. Les réglages de température et de puissance seront ajustés pour optimiser l’efficacité énergétique du système de chauffage hybride.

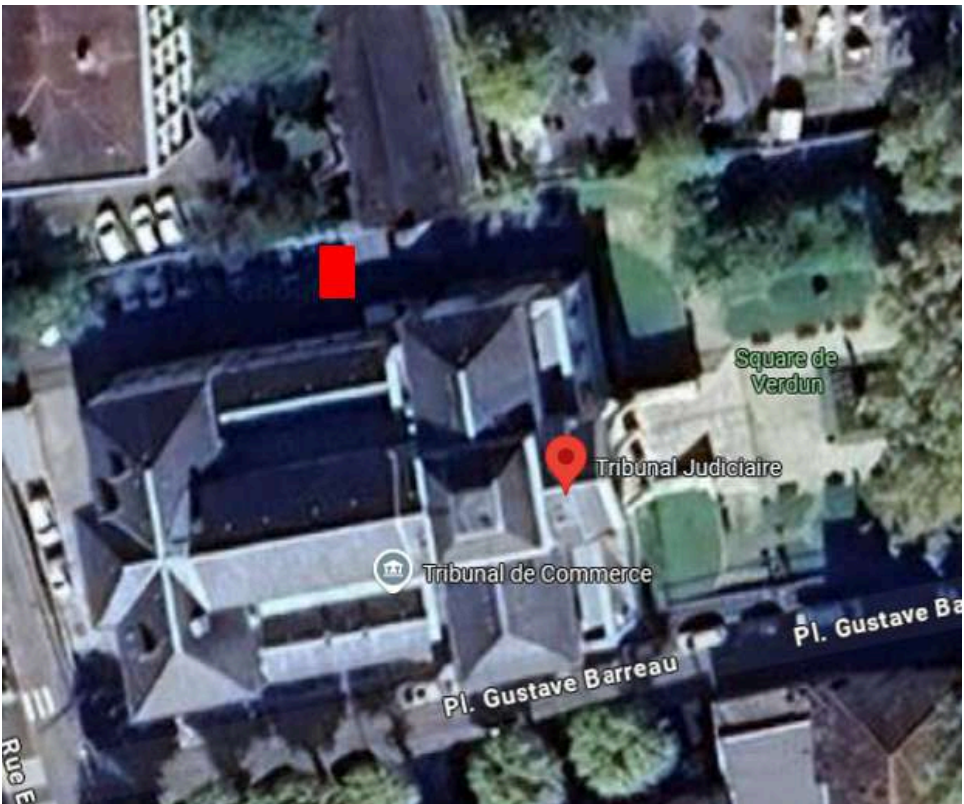
Localisation et spécificités

- Les unités extérieures seront placées dans une aire technique proche de la chaufferie, sur le parking.
 - Le coût pris en compte dans l’étude correspond à un dimensionnement basé sur l’état initial du bâtiment sans prendre en compte des travaux supplémentaires sur l’enveloppe du bâtiment qui diminueraient les besoins de chauffage. Ce dimensionnement prend en compte une puissance de chauffage maximale de 220 kW, soit une puissance totale installée de 130 kW.
- Si d’autres travaux sont réalisés, il sera nécessaire de reconsidérer ce dimensionnement afin de ne pas surdimensionner ou sous-dimensionner l’installation.

Investissement et gains énergétiques

Ci-dessous sont listées les améliorations étudiées, avec les coûts d’investissement et les gains énergétiques par rapport à l’état initial (toute énergie confondue) :

Amélioration	Investissement [€ TTC]	Facture énergie [€ TTC/an]	Consommation énergie [kWh/an]	
Installation d'une PAC air/eau	156 000	48 082	-23 %	195 545 -44 %



Pompe à chaleur géothermique

Description générale des techniques des pompes à chaleur géothermiques

Une alternative aux pompes à chaleur à air est d'utiliser l'eau comme source froide, on parle alors de PAC eau/eau ou PAC géothermique lorsque l'échange est avec le sol. L'avantage principal est que la source froide (le sol, l'eau d'une nappe...) est à une température assez constante sur l'année avec des valeurs qui permettent d'optimiser les rendements des pompes à chaleur (le COP) et d'avoir alors des performances meilleures que les pompes à chaleur à air.

Ainsi, le **coefficient de performance saisonnier appelé « SCOP » d'une PAC géothermique atteint en moyenne sur une année des performances autour de 5 à 6**, ce qui veut dire que pour 1 kWh d'énergie consommé, la PAC produira 5 à 6 kWh d'énergie calorifique.

Différents types d'exploitation existent :

- **PAC sur aquifère superficiel** : l'alimentation de la pompe à chaleur se fait par l'intermédiaire d'un « forage de prélèvement » d'eau souterraine (nappe phréatique, nappe captive peu profonde, nappe artésienne). En fin de cycle, l'eau est réinjectée dans un « forage de réinjection » (circuit plus ou moins fermé).
- **PAC sur sondes géothermiques** : ces systèmes disposent d'une unité située dans un local spécifique reliée à un système de champ de sondes ou capteurs géothermiques verticaux permettant de prélever des calories dans le sol ou l'eau de la nappe. Leur profondeur est généralement comprise entre 50 à 180 m. Une installation est généralement constituée de plusieurs forages dans lesquels sont insérés des tubes en matériau synthétique (généralement du polyéthylène haute densité, PEHD), raccordés à la PAC.

Les calories prélevées permettent le chauffage de l'eau qui sera injectée dans le circuit de chauffage et les émetteurs placés dans les locaux chauffés. Les émetteurs sont généralement des radiateurs ou des planchers chauffants régulés par robinets thermostatiques ou thermostats d'ambiance par zone/pièce.

Le dimensionnement de ce système doit faire l'objet d'un calcul par un bureau d'études techniques, et une étude de faisabilité est également nécessaire pour soumettre le projet à des financeurs. Cette étude doit permettre de dimensionner au plus juste le champ de sondes et tous les équipements techniques associés, dans un objectif principal d'optimiser le fonctionnement des équipements en accord avec les besoins énergétiques du bâtiment.

PAC et ballon de stockage



Champs de sondes verticales



Pompe à chaleur géothermique

Description générale des travaux proposés

Travaux retenus

Nous préconisons de remplacer les chaudières gaz par une pompe à chaleur géothermique. Les chaudières gaz peuvent être conservées comme appoint/relève des pompes à chaleur. Pour cela, la chaufferie existante est conservée et les pompes à chaleur sont dimensionnées à 60% de la puissance totale.

Mise en œuvre

Cette amélioration comprend les travaux suivants :

- Réalisation du réseau de captage géothermique, dimensionné à partir d’une première étude thermique, ce réseau serait constitué d’environ 4 sondes verticales ;
- Fourniture et installation d’une pompe à chaleur air/eau. La PAC sera raccordée au réseau de chauffage existant et à l’installation électrique, avec vérification des équipements de régulation (thermostats, vannes thermostatiques, etc.). L’installation sera réalisée dans les règles de l’art, en assurant l’optimisation du fonctionnement entre la PAC et la chaudière à gaz. Un système de gestion automatique sera mis en place pour gérer le basculement entre les deux systèmes en fonction des besoins énergétiques ;
- La chaudière gaz sera conservée en tant que système de relève pour les périodes de très basse température ou lors des pics de demande de chauffage. Un raccordement sera effectué pour permettre à la chaudière de prendre le relais de la pompe à chaleur lorsque cela sera nécessaire, afin de garantir une continuité de service et une réponse efficace aux besoins de chauffage ;
- Réalisation des essais de mise en service pour s’assurer du bon fonctionnement de la pompe à chaleur et de la chaudière à gaz. Les réglages de température et de puissance seront ajustés pour optimiser l’efficacité énergétique du système de chauffage hybride.

Localisation et spécificités

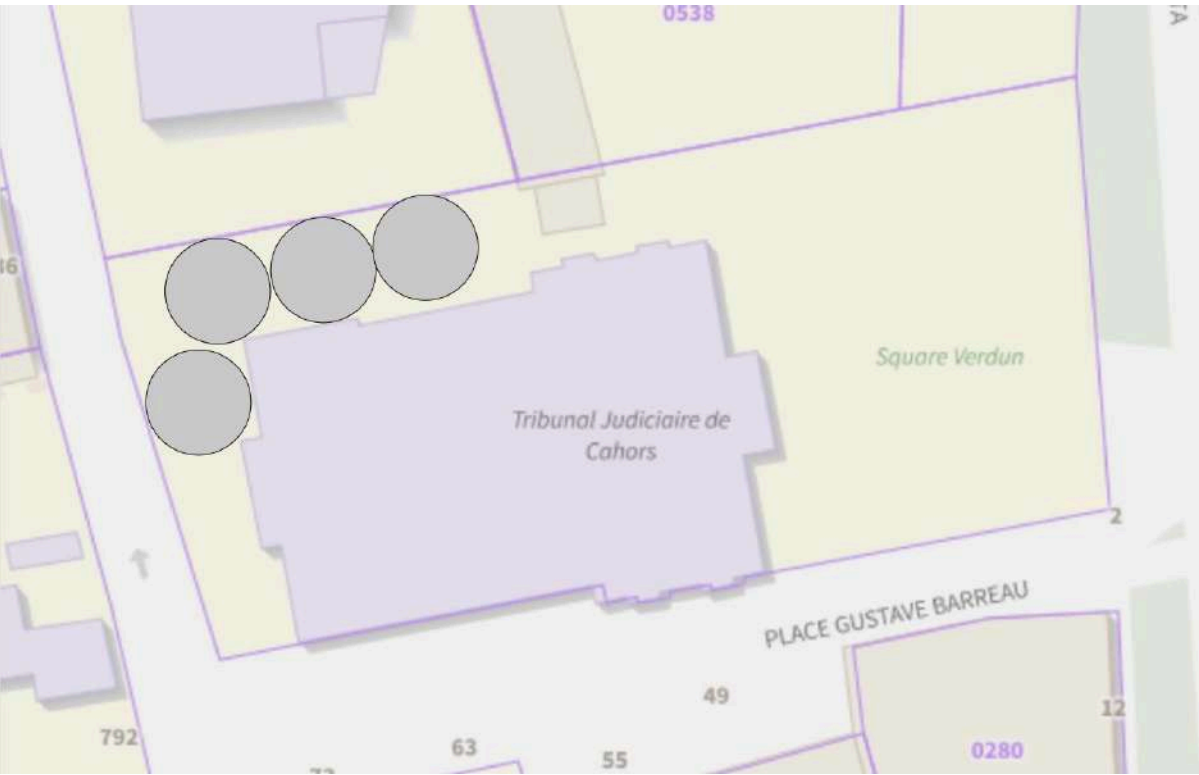
- Les sondes verticales seront installées sur le parking, à distance minimale de 5 m des limites, 3 m des fondations et 10 m entre elles.
- Les unités extérieures seront placées dans une aire technique près de la chaufferie.

L'étude est basée sur l'état initial du bâtiment (chauffage max : 220 kW, puissance installée : 130 kW) sans travaux sur l'enveloppe, toute modification nécessitant une révision du dimensionnement.

Investissement et gains énergétiques

Ci-dessous sont listées les améliorations étudiées, avec les coûts d'investissement et les gains énergétiques par rapport à l'état initial (toute énergie confondue) :

Amélioration	Investissement [€ TTC]	Facture énergie [€ TTC/an]	Consommation énergie [kWh/an]		
Installation d'une PAC géothermique	213 600	45 536	-28 %	185 190	-47 %



Chauffage au bois

Description générale des techniques de chauffage au bois

La chaudière bois repose sur le même principe de fonctionnement que les autres chaudières classiques (fioul, gaz). L'énergie produite par la combustion du bois chauffe l'eau présente dans le réseau du circuit de chauffage et les émetteurs (radiateur ou plancher chauffant). Ce système peut également assurer la production d'eau chaude sanitaire par l'intermédiaire d'un ballon de stockage.

Il existe plusieurs types de chaudière bois :

- **Les chaudières bois à granulés** : fonctionnement automatique avec un combustible calibré de densité 1,5 à 2 fois plus élevée que des plaquettes ;
- **Les chaudières bois à bois déchiquetés (ou plaquettes)** : fonctionnement automatique, avec un combustible moins cher que le granulé mais nécessitant un stockage plus important ;
- **Les chaudières bois à bûches** : peu utilisées sur pour des bâtiments à activités tertiaires car non automatiques.

Dans tous les cas, le dimensionnement de la chaudière et du silo de stockage du bois doit faire l'objet d'un calcul spécifique. Cette opération permet une diminution importante des émissions de gaz à effet de serre si la combustion est correctement réglée. Le fonctionnement automatique du chargement des granulés ou du bois déchiqueté permet une autonomie et une souplesse d'utilisation notamment pour la régulation.

Le changement de système de chauffage peut amener à la dépose et l'adaptation du système en place, éléments à prendre en compte dans les travaux. L'emplacement du stockage peut nécessiter un volume important et engendrer un approvisionnement délicat. Ces systèmes nécessitent un entretien régulier notamment pour l'évacuation des cendres.

Le dimensionnement de ce système doit faire l'objet d'un calcul par un bureau d'études techniques et une étude de faisabilité est également nécessaire pour soumettre le projet à des financeurs. Cette étude doit permettre de dimensionner au plus juste tous les équipements techniques, dans un objectif principal d'optimiser le fonctionnement des équipements en accord avec les besoins énergétiques du bâtiment.

Chaudière et silo textile granulés



Silo enterré pour plaquettes



Chauffage au bois

Description des travaux proposés

Travaux retenus

Une installation de chauffage au bois n'est pas envisagée sur ce projet car cela demande un espace de stockage ainsi qu'un accès pour la livraison qui ne sont pas disponibles sur ce site.

Les contraintes techniques sont donc trop importantes sur ce site pour envisager une telle solution.



Régulation et gestion technique centralisée (GTC)

Description générale des techniques régulation et GTC

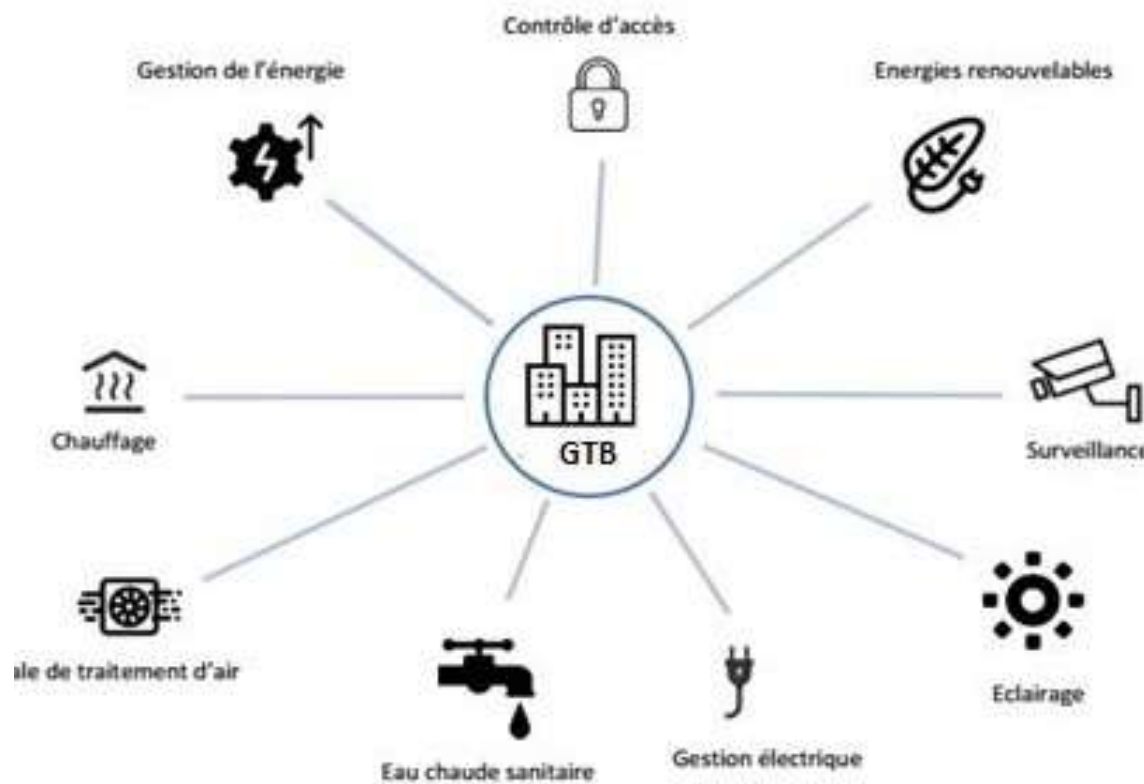
Voici les principaux moyens d'améliorer l'efficacité énergétique par la régulation et les techniques de GTC :

- **Gestion centralisée des équipements énergétiques** : La GTC permet de centraliser la supervision et le contrôle des systèmes énergétiques (chauffage, ventilation, climatisation, éclairage, etc.) dans un seul outil. En centralisant les données et le pilotage, il est possible de gérer chaque système en fonction des besoins spécifiques et d'éviter les surconsommations ;
- **Régulation et programmation horaire** : La GTC permet de programmer les équipements selon les horaires d'occupation du bâtiment, ce qui limite le fonctionnement des systèmes en dehors des heures de présence ;
- **Capteurs et analyse en temps réel** : L'installation de capteurs de température, d'humidité, de CO₂, de luminosité, et de présence permet d'ajuster en temps réel les paramètres des équipements ;
- **Contrôle automatique de la température par zones** : La GTC permet de diviser le bâtiment en différentes zones avec des consignes de température adaptées. Par exemple, les espaces de bureaux peuvent être chauffés ou refroidis en fonction de l'occupation, tandis que les espaces de stockage peuvent avoir des réglages plus bas ;
- **Automatisation et optimisation de l'éclairage** : En fonction des données de luminosité extérieure et de la présence d'occupants, la GTC ajuste automatiquement l'éclairage des différentes zones ;

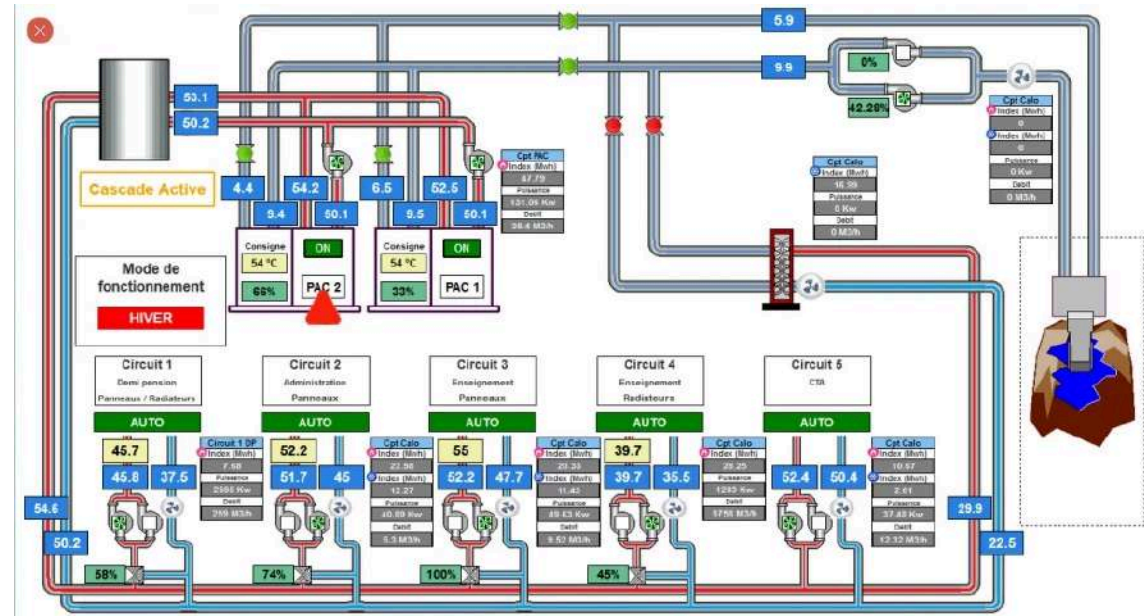
A noter que La GTC facilite la maintenance prédictive en surveillant l'état des équipements (température de fonctionnement, cycles d'utilisation, etc.) et en identifiant les signes de dysfonctionnement ou d'usure. Cette approche prévient les pannes et assure un fonctionnement optimal, limitant ainsi la consommation excessive liée aux équipements défectueux.

Le **décret BACS** (Building Automation and Control Systems), publié en 2020 en France, impose la mise en place de systèmes d'automatisation et de contrôle dans certains bâtiments tertiaires pour améliorer leur performance énergétique. Le décret vise principalement à généraliser l'installation de systèmes de gestion technique centralisée (GTC) ou systèmes d'automatisation des bâtiments dans les bâtiments de grande taille pour optimiser leur consommation énergétique.

Principe général GTC



Interface GTC



Régulation et gestion technique centralisée

Description des travaux proposés

Travaux retenus

Nous recommandons de viser la classe C pour répondre aux exigences du décret BACS. Nous proposons également l’installation de robinets thermostatiques connectés, le remplacement des pompes de distribution et l’affinage de la loi d’eau.

Mise en œuvre

Pour atteindre la classe C, les travaux suivants sont nécessaires :

- **Comptage d'énergie** : Amélioration du comptage d’énergie grâce à l’ajout d’un système facilitant le suivi et l’analyse des consommations ;
- **Régulation** : Optimisation des paramètres de régulation directement au niveau de la production avec une gestion horaire précise en fonction de l'occupation et des températures de consignes en départ qui respectent les normes ;
- **Supervision** : Intégration d’un système de supervision permettant une gestion centralisée et efficace de l’ensemble des équipements techniques du bâtiment.
- **Climatisation** : Installation d’un automate dédié à la gestion des pompes à chaleur afin d’améliorer leur rendement énergétique et d’optimiser le poste climatisation.

Nous proposons aussi l’installation de robinets thermostatiques connectés, le remplacement des pompes de distribution et un meilleur réglage de la loi d’eau.

Localisation et spécificités

L’obtention de la classe C semble suffisante pour ce bâtiment. Les têtes thermostatiques seront installées sur environ 93 radiateurs relevés lors de l’audit, et les quatre pompes doubles en chaufferie seront remplacées.

Investissement et gains énergétiques

Ci-dessous sont listées les améliorations étudiées, avec les coûts d'investissement et les gains énergétiques par rapport à l'état initial (toute énergie confondue) :

Amélioration	Investissement [€ TTC]	Facture énergie [€ TTC/an]			Electricité [kWh/an]		Combustibles [kWh/an]		Consommation énergie [kWh/an]	
Optimisation du chauffage gaz	36 960	61 714	-2 %		113 864	-1 %	229 305	-3 %	343 169	-2 %
BACS classe C + supervision	113 760	56 254	-10 %		101 887	-11 %	212 351	-10 %	314 238	-10 %

7.3 - Eclairage

Description générale des systèmes d'éclairage

Les systèmes d'éclairage de type LED sont actuellement les systèmes les plus efficaces du marché.

Ainsi, par rapport à des tubes fluorescents la puissance installée peut être divisée par plus 3 (par exemple des tubes fluorescents 4*18 W peuvent être remplacés par des pavés LED de 20 W). Cette économie est d'autant plus importante avec des équipements de technologie halogène ou lampe à sodium.

Les systèmes à LED permettent également d'augmenter la durée de vie du système d'éclairage et de faciliter la maintenance.

Il est donc proposé **le remplacement de l'ensemble des systèmes d'éclairage non LED**, en associant si possible des systèmes de régulation par local :

- **Automatisation et gestion intelligente de l'éclairage** : installer des capteurs de présence et de luminosité naturelle permet d'adapter l'éclairage en fonction de l'occupation des locaux et de la lumière naturelle disponible. Les systèmes de gestion centralisée offrent des réglages précis en fonction des besoins spécifiques des espaces.

Détecteur de présence ou minuterie dans les sanitaires et circulation ;

- **Zonage de l'éclairage** : diviser l'éclairage en différentes zones permet d'optimiser la consommation selon l'usage des espaces. Par exemple, l'éclairage peut être plus intense dans les zones de travail actives et atténué dans les couloirs ou espaces de circulation peu utilisés ;

- **Contrôle d'éclairage par heure ou scénarios programmés** : Programmer des scénarios en fonction de l'heure ou des jours de la semaine (intensité moindre en fin de journée, extinction automatique la nuit) réduit les consommations inutiles. Certains systèmes permettent même de moduler l'intensité de la lumière en fonction de l'heure pour favoriser le bien-être des utilisateurs.

A noter que l'entretien des installations (nettoyage annuel minimum) est primordial pour assurer un bon éclairage. Le manque de nettoyage des lampes et luminaires peut entraîner une baisse de 50% de l'éclairage moyen en deux ans.

Le changement de système d'éclairage nécessite la vérification des niveaux d'éclairements requis par type d'usage dans les locaux du bâtiment. Le référencement des niveaux d'éclairement par locaux et par usage est donné par la norme NF EN 12464-1.

Pavé LED 600*600



Projecteur LED



Détecteur de présence et luminosité



Eclairage

Description des travaux proposés

Travaux retenus

Depuis 2022, l'éclairage du site a été majoritairement converti en LED, seuls quelques luminaires d'ancienne génération subsistent dans des locaux à faible utilisation. Ce relamping a également permis l'installation de détecteurs de présence dans les sanitaires et circulations, optimisant la gestion énergétique. Aucune amélioration supplémentaire n'est donc nécessaire à court terme. Le passage des derniers luminaires en LED se fera progressivement lors des opérations d'entretien, assurant ainsi une transition complète et durable.



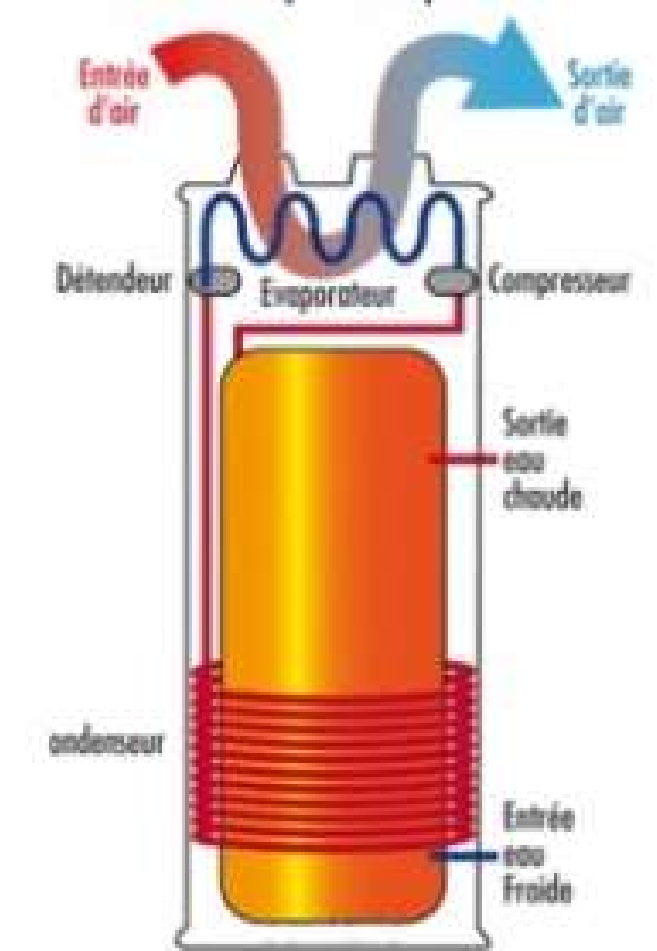
7.4 - Eau chaude sanitaire

Description générale des équipements d'ECS

L'amélioration de l'efficacité énergétique pour la production et la distribution d'eau chaude sanitaire (ECS) repose sur plusieurs actions visant à optimiser la consommation d'énergie et réduire les coûts opérationnels :

- **Isolation des réseaux de distribution** : Isoler les canalisations d'ECS et les ballons de stockage réduit les pertes thermiques lors de la distribution et du stockage ;
- **Systèmes de production d'ECS à haute efficacité** : Opter pour des équipements performants, comme les ballons thermodynamiques ou les chaudières à condensation, améliore l'efficacité énergétique. Un ballon thermodynamique fonctionne selon le même principe qu'une pompe à chaleur. Il capture l'énergie présente dans l'air ambiant et se sert de cette chaleur pour chauffer l'eau du ballon. L'air peut être prélevé à l'intérieur de la pièce où est installée le ballon (volume minimum 20 m³) ou à l'extérieur. Un appoint électrique prend le relais en cas de températures extérieures extrêmement faibles ou de besoins exceptionnels. Le coefficient de performance (COP) d'un tel ballon est entre 3 et 4. Cela correspond à la quantité de chaleur produite par rapport à la quantité d'électricité consommée ;
- **Utilisation de l'énergie solaire thermique** : l'installation de capteurs solaires thermiques pour la production d'eau chaude sanitaire peut être pertinente lorsque les besoins d'eau chaude sont importants en été. Cela permettrait ainsi d'avoir des besoins en corrélation avec la production maximale solaire. Une telle installation est associée avec un ballon de stockage. Une étude de faisabilité spécifique doit être réalisée pour bien dimensionner l'installation ;
- **Contrôle de la température de consigne** : Régler la température de l'ECS à un niveau optimal pour éviter une surconsommation énergétique. Par exemple, maintenir l'eau à 55 °C est suffisant pour limiter la prolifération bactérienne sans excès d'énergie consommée, contrairement à des températures plus élevées.
- **Robinetterie et équipements économes** : Remplacer les robinets classiques par des robinets à débit réduit, installer des régulateurs de débit et utiliser des pommeaux de douche économes permettent de réduire la quantité d'eau chaude consommée et ainsi d'économiser de l'énergie.

Fonctionnement ballon thermodynamique



Capteur solaire thermique



Eau chaude sanitaire

Description des travaux proposés

Travaux retenus

L'eau chaude sanitaire représente une faible part des consommations car les besoins sont très faibles.
Ce poste de consommation ne fait pas l'objet de proposition d'amélioration pour ce bâtiment car les gains énergétiques et financiers ne seraient suffisant.



7.5 - Ventilation

Description générale des équipements de ventilation

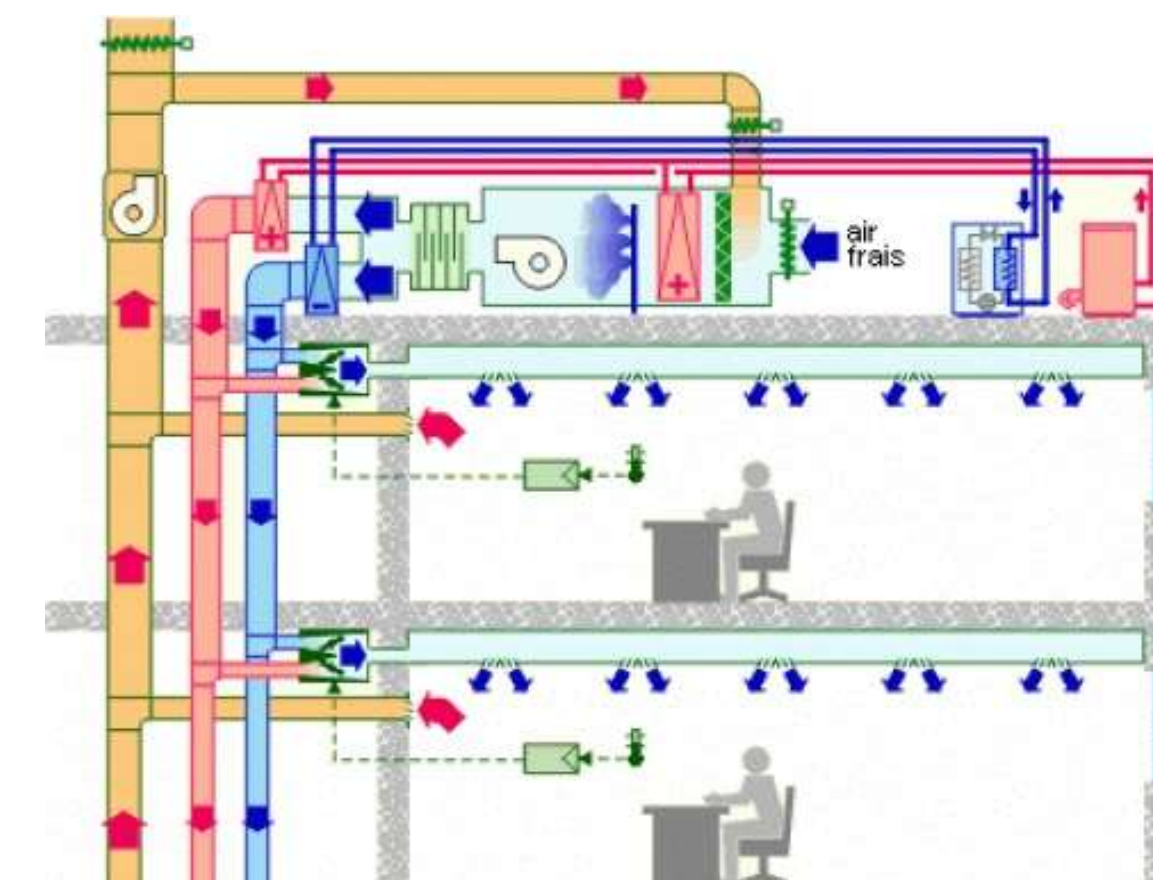
L'amélioration énergétique des équipements de ventilation permet de réduire la consommation d'énergie, améliorer la qualité de l'air intérieur, et optimiser le confort des occupants. Voici des solutions possibles :

- **Ventilation à double flux avec récupération de chaleur ou Centrale de Traitement d'Air (CTA) :** Installer un système de ventilation double flux permet de récupérer la chaleur de l'air vicié extrait pour préchauffer l'air neuf entrant. L'air neuf est aspiré par une prise d'air extérieur, qui après passage dans un filtre et dans un échangeur thermique, est insufflé dans les locaux principaux. L'air vicié est extrait mécaniquement vers un échangeur thermique, puis évacué vers l'extérieur. Un échange de chaleur se produit dans l'échangeur thermique sans qu'il n'y ait de mélange. Cet échange est très intéressant en période hivernale puisque l'air chaud extrait du bâtiment transmet ses calories à l'air froid provenant de l'extérieur. En plus d'un système de double flux, la CTA permet d'avoir différents modules permettant de chauffer et/ou refroidir l'air traité. Ces modules peuvent être de différentes natures (batterie électrique, pompes à chaleur chaud/froid...) ;
- **Contrôle de la ventilation selon l'occupation :** Installer des capteurs de CO₂, d'humidité, ou de présence dans les espaces permet d'ajuster le débit de ventilation en fonction des besoins réels. Par exemple, lorsque l'occupation d'un espace diminue, le débit d'air peut être réduit, entraînant des économies d'énergie ;
- **Optimisation des réseaux de distribution :** Bien dimensionner et isoler les conduits de ventilation limite les pertes de charge et les pertes thermiques. Un réseau optimisé réduit l'effort du système de ventilation et la consommation d'énergie nécessaire pour atteindre les débits d'air requis ;
- **Utilisation de ventilateurs et moteurs à haut rendement :** Remplacer les moteurs standards par des moteurs à rendement élevé (moteurs à commutation électronique, EC) est une solution efficace et très rapidement rentable ;
- **Entretien et maintenance réguliers :** Un entretien régulier des équipements de ventilation, y compris le nettoyage des conduits et le remplacement des filtres, permet de maintenir l'efficacité du système et d'éviter les surconsommations dues aux obstructions ou à l'encrassement.

Centrale de Traitement d'Air (CTA)



Fonctionnement d'un réseau double flux



Le dimensionnement de ces équipements doit faire l'objet d'un calcul par un bureau d'études techniques.

Ventilation

Description des travaux proposés

Travaux retenus

Bien qu'une Centrale de Traitement d'Air (CTA) ait été mise à l'arrêt, aucun problème n'a été signalé, et aucune trace d'humidité, autre qu'éventuellement liée à des fuites, n'a été détectée dans le bâtiment. Nous préconisons cependant de vérifier les régulations horaires de la CTA et d'installer des sondes CO2 dans la salle des pas perdus, des assises et du tribunal d'instance afin de réguler le débit de la CTA en fonction de l'occupation.

Nous préconisons également d'installer une horloge sur les VMC afin de gérer son fonctionnement en fonction des horaires d'occupation. Cela permet de réaliser des économies en arrêtant les VMC la nuit et les week-end.

Mise en œuvre

- Fourniture et installation de la sonde de CO2 : La sonde est installée dans l'air ambiant. Raccordement de la sonde à la centrale de traitement d'air et calibration pour détecter les niveaux de CO2.
- Fourniture et installation des horloges : L'horloge est au système électrique de la VMC puis programmée en fonction des horaires d'occupation.

Localisation et spécificités

Cette amélioration concerne l'ensemble des caissons de VMC et des CTA.

L'installation de nouveaux systèmes de ventilation de type double flux n'est pas envisagée dans cette étude.

Investissement et gains énergétiques

Ci-dessous sont listées les améliorations étudiées, avec les coûts d'investissement et les gains énergétiques par rapport à l'état initial (toute énergie confondue) :

Amélioration	Investissement [€ TTC]	Facture énergie [€ TTC/an]		Electricité [kWh/an]		Combustibles [kWh/an]		Consommation énergie [kWh/an]	
Horloge : VMC & sonde CO2 : CTA	3 000	56 871	-10 %	104 335	-9 %	212 351	-10 %	316 686	-10 %

7.6 - Suivi énergétique et suivi des températures

Description générale des systèmes de suivi des températures et consommations énergétiques

Le suivi énergétique et la gestion de la température dans un bâtiment tertiaire sont des leviers essentiels pour optimiser la consommation énergétique, améliorer le confort des occupants et identifier les sources d'économie potentielles.

Voici les principales actions pour une gestion énergétique et thermique performante :

- **Installation de systèmes de suivi énergétique** : Mettre en place un système de gestion de l'énergie permet de centraliser et d'analyser en temps réel les données de consommation énergétique (chauffage, éclairage, ventilation, etc.). Cela aide à identifier les pics de consommation, les éventuelles surconsommations, et les anomalies, et facilite la prise de décision pour des actions correctives ;
- **Sous-comptage par usage et par zone** : Installer des sous-compteurs dédiés aux différents usages (éclairage, chauffage, climatisation, etc.) et par zone du bâtiment permet de suivre précisément la consommation et de détecter les écarts par rapport aux prévisions. Cela favorise une gestion fine et une répartition équilibrée de l'énergie dans le bâtiment ;
- **Monitoring et régulation de la température** : Des capteurs de température et d'humidité peuvent être placés dans les différentes zones du bâtiment pour surveiller les conditions thermiques et ajuster le chauffage, la climatisation, ou la ventilation en fonction des besoins réels. Cela permet d'éviter les surchauffes ou les refroidissements excessifs ;
- **Analyse des données pour optimiser la performance** : Les données collectées permettent de créer des rapports d'analyse périodiques qui aident à détecter les tendances, comme les saisons avec des consommations élevées ou les équipements énergivores. Ces analyses permettent ainsi de mettre en place des actions ciblées.

Les équipements installés doivent être communicants afin d'avoir une analyse en temps réel des données.

Capteur de température



Enregistreur sur compteur gaz



Tableau de bord énergie



Suivi énergétique et suivi des températures

Description des travaux proposés

Travaux retenus

Dans le cadre de cette mission, 5 enregistreur de température ont été installé pour suivre les variations de température dans différente pièce du bâtiment. Cependant, aucune donnée n'a pu être collectée durant la période estivale en raison d'une connexion insuffisante au réseau LoRa. Pour remédier à cette limitation, la campagne de mesure a été prolongée sur la période hivernale à l'aide de capteurs non communicants. Les résultats obtenus sont synthétisés dans des rapports spécifiques.

Par ailleurs, un enregistreur à impulsion gaz a été installé pour mesurer les consommations horaires de gaz cette hiver. Des optimisations sur la régulation du chauffage pendant les week-end pourrait être optimisé.

Mise en œuvre

- Fourniture de l'enregistreur : suivant la compatibilité du compteur, différents enregistreurs sont possibles (gazpar ou mécanique) ;
- Installation de l'enregistreur ;
- Récupération des données en temps réel et gestion du suivi grâce au tableau de bord.

Localisation et spécificités

Le tableau de bord mis en place en parallèle de l'audit permet le suivi des consommations d'énergie et des températures mesurées. Celui-ci sera mis à disposition suite à cette mission.



7.7 - Production solaire photovoltaïque

Description générale des systèmes de production solaire photovoltaïque

Les panneaux solaires photovoltaïques (PV) permettent de produire de l'électricité à partir du rayonnement solaire.

Plusieurs modes de raccordement sont également possibles :

- **La revente totale** : revente de la totalité de l'électricité produite à un fournisseur d'énergie agréé par l'état ;
- **L'autoconsommation partielle** : consommation de l'électricité produite par l'installation. Dans le cas où la production est plus importante que les consommations du bâtiment, le surplus est injecté dans le réseau. Dans le cas où la production est trop faible pour couvrir l'ensemble des consommations, le complément d'énergie est assuré par un apport du réseau ;
- **L'autoconsommation totale** : consommation de l'électricité produite par l'installation sans possibilité d'un apport du réseau. Cette dernière solution demande une réflexion globale sur la quantité d'énergie et la façon de la consommer au sein du bâtiment. Une réelle démarche de sobriété doit être effectuée avant d'envisager cette solution ;
- **L'autoconsommation collective** : consommation de l'électricité produite par l'installation. Dans le cas où la production est plus importante que les consommations du bâtiment, le surplus est consommé par d'autre bâtiment dans un rayon de 2 km. Dans le cas où la production est trop faible pour couvrir l'ensemble des consommations, le complément d'énergie est assuré par un apport du réseau.

Les installations peuvent être directement intégrées aux toitures, en surimposition au dessus de la couverture, posées sur supports en toiture terrasse ou bien sur des ombrières de parking par exemple. A noter que si le site est classé, un rapprochement avec les ABF sera nécessaire pour valider l'accord et les spécificités techniques à respecter.

Une étude structure est également nécessaire afin de valider que le bâtiment est capable de recevoir la surcharge des panneaux.

PV intégré en toiture



PV intégré en casquette solaire



Ombrière photovoltaïque



Production solaire photovoltaïque

Description des travaux proposés

Travaux retenus

Nous proposons dans le cadre cette étude une installation solaire photovoltaïque d'une puissance de 25 kWc sur une surface de 113 m². Cette installation peut permettre de produire environ 26 000 kWh/an.

Mise en œuvre

Les travaux consistent en :

- Fourniture et pose de panneaux solaires photovoltaïques de dernière génération d'une puissance totale de 25 kWc, répartis sur une surface de 113 m². Les panneaux seront sélectionnés pour leur efficacité énergétique et leur longévité, dans le but de maximiser la production d'électricité et optimiser le rendement de l'installation ;
- Les panneaux photovoltaïques seront raccordés à l'onduleur, permettant de convertir l'énergie solaire en électricité. Cette électricité sera ensuite intégrée au réseau électrique interne du bâtiment, ou, le cas échéant, envoyée dans le réseau public ;
- Une fois les panneaux installés, un contrôle complet de l'ensemble du système sera effectué pour s'assurer du bon fonctionnement de l'installation ;
- Des tests de production seront réalisés pour vérifier la conformité avec les prévisions de production d'énergie d'environ 26 000 kWh/an.

Localisation et spécificités

L'installation prévue a une puissance de 25 kWc sur une surface de 113 m². Les panneaux seront positionnés sur la toiture orientée sud.

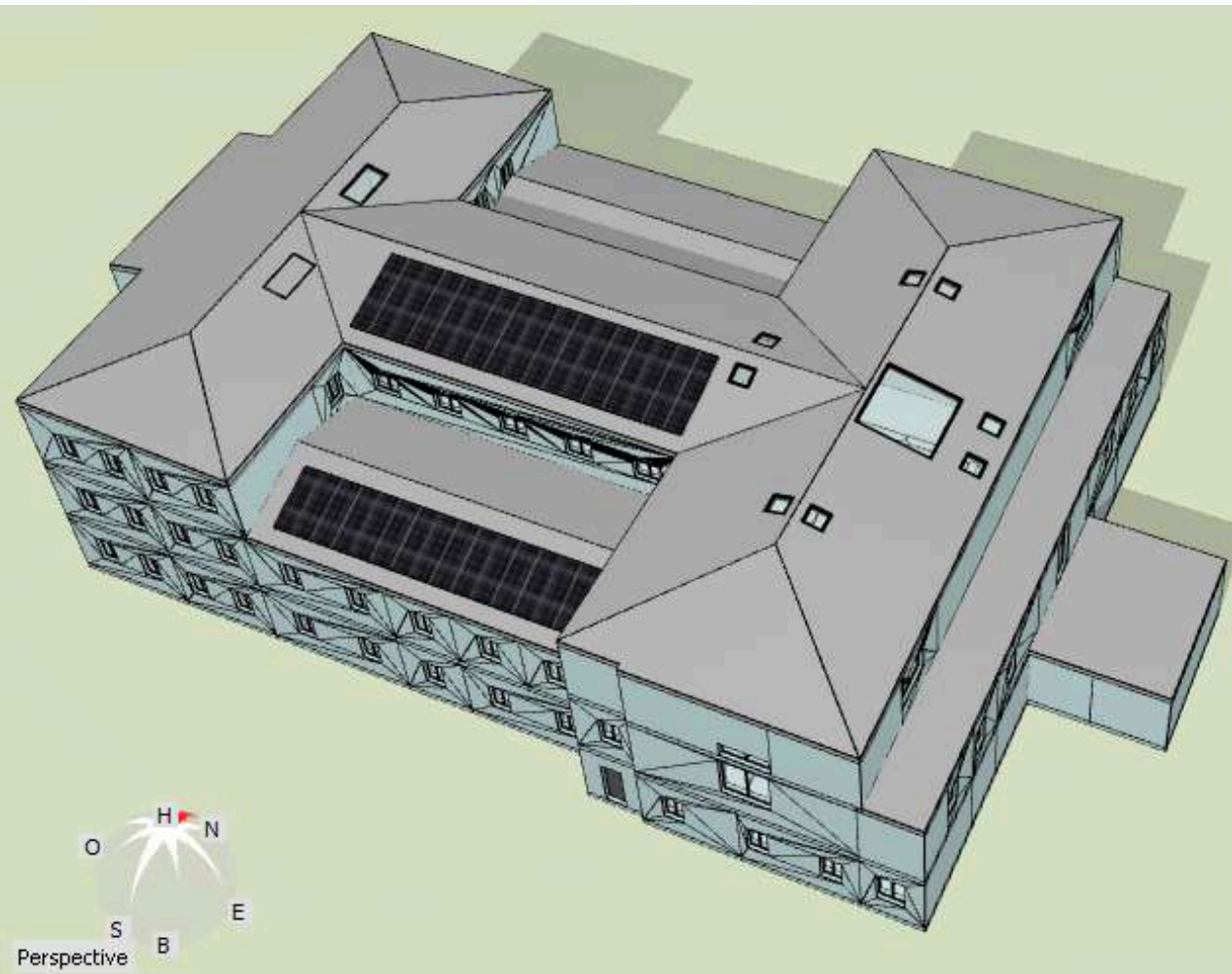
Une étude de faisabilité sera réalisée avant installation pour évaluer les contraintes techniques liées au bâtiment et à sa localisation.

A noter que cette solution est proposée, mais cette celle-ci doit être approuver par les Architectes des Bâtiments de France (ABF) en raison de la typologie du bâtiment, de sa localisation et de son ancienneté.

Investissement et gains énergétiques

Ci-dessous sont listées les améliorations étudiées, avec les coûts d'investissement et les gains énergétiques par rapport à l'état initial (toute énergie confondue) :

Amélioration	Investissement [€ TTC]	Facture énergie [€ TTC/an]	Consommation énergie [kWh/an]	
Installation de panneaux solaires photovoltaïques	51 000	58 800	-6 %	334 451 -5 %



7.8 - Confort thermique d'été

Description générale des systèmes d'amélioration du confort thermique

Améliorer l'efficacité énergétique pour le confort en été dans un bâtiment repose sur des stratégies passives et actives pour réduire la consommation de climatisation tout en assurant un environnement intérieur agréable pour les occupants.

Voici les principales actions à mettre en œuvre :

- **L'isolation thermique** : Renforcer l'isolation des murs, toits, et planchers permet de réduire les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été. Privilégier un isolant avec un bon déphasage thermique (tel que la ouate de cellulose, la laine de bois...) ;
- **Gestion de la ventilation** : Encourager la ventilation naturelle, notamment pendant les heures les plus fraîches (généralement la nuit), permet de refroidir l'intérieur du bâtiment sans utiliser de climatisation. Les ouvertures positionnées pour favoriser la circulation d'air entre les façades opposées optimisent le balayage. Dans le cas de fonctionnement avec CTA, le free-cooling permet de réaliser une ventilation nocturne de façon automatisée ;
- **Protection solaire** : utiliser des stores, des volets, ou des films solaires sur les fenêtres pour réduire l'ensoleillement direct en été. Sur des surfaces vitrées exposées au SUD des protections fixes architecturales sont les plus efficaces. Pour les autres orientations privilégier en priorité les brise soleil à lames orientables extérieurs. En dernier recours, des solutions avec des stores intérieurs (spécialement anti-solaire) peuvent être envisagées ;
- **Végétalisation et îlot de fraîcheur** : Les végétaux (murs végétalisés, toitures vertes) créent une barrière naturelle contre la chaleur en absorbant une partie des rayons solaires et en réduisant la température de surface, limitant ainsi les gains thermiques. Les îlots de fraîcheur (petits parcs, jardins pédagogiques, potagers) atténuent l'effet d'îlot de chaleur urbain tout en offrant des zones ombragées et confortables. Ils contribuent également à la biodiversité et à une meilleure qualité de vie en milieu urbain. ;
- **Utilisation de technologies de refroidissement passif** : Des techniques comme le rafraîchissement adiabatique (utilisation de l'évaporation de l'eau pour rafraîchir l'air) permettent de diminuer la température intérieure sans recours à la climatisation ;
- **Optimisation et régulation de la climatisation** : Installer une climatisation efficace et adaptée à la taille du bâtiment permet de limiter la surconsommation. Des systèmes de régulation (comme les thermostats connectés et programmables) permettent d'ajuster la climatisation en fonction des horaires et des besoins réels.

Protections solaires



Ilot de fraîcheur dans une école



Confort thermique

Description des travaux proposés

Travaux retenus

En complément des améliorations thermiques déjà prévues pour le bâtiment, qui visent à renforcer le confort des occupants, nous recommandons l’installation de stores extérieurs électriques pour améliorer davantage le confort thermique et visuel.

Mise en œuvre

Les travaux consistent en :

- Dépose des stores existants (si nécessaire) en prenant soin de ne pas endommager les structures environnantes ;
- Fourniture et installation de stores extérieures type toile électrique ;
- Intégration d’un lambrequin patrimonial pour l’habillage des stores extérieurs ;
- Mise en place d’une alimentation électrique et de commandes individuelles pour chaque store.

Localisation et spécificités

Des stores seront installés sur l’ensemble des menuiseries extérieures de la façade est.

La façade sud est déjà équipée de stores aux niveaux R+1 et R+2. En revanche, les grilles de protection des menuiseries du rez-de-chaussée empêchent l’installation de stores. Par conséquent, nous ajouterons des stores uniquement sur les grandes menuiseries restantes.

Pour la façade ouest, aucun store supplémentaire ne sera installé. Les niveaux R+1 et R+2 sont déjà équipés de stores extérieurs, tandis que les grilles de protection des menuiseries au rez-de-chaussée rendent leur installation techniquement impossible.

Pour plus de détails, se référer au plan 2D en annexe.

Investissement et gains énergétiques

Ci-dessous sont listées les améliorations étudiées, avec les coûts d'investissement et les gains énergétiques par rapport à l'état initial (toute énergie confondue) :

Amélioration	Investissement [€ TTC]	Facture énergie [€ TTC/an]		Electricité [kWh/an]		Combustibles [kWh/an]		Consommation énergie [kWh/an]	
Mise en place de store extérieur électrique	40 800	62 843	0 %	114 551	0 %	235 945	0 %	350 496	0 %

7.9 - Entretien, maintenance et sensibilisation

Sensibilisation des occupants

Les occupants d'un bâtiment influencent les consommations d'énergie par leur présence et leurs activités. Il est important de les sensibiliser afin que leur comportement soit le plus adapté car souvent le comportement au bureau n'est pas le même que le comportement chez soi.

Il est important de sensibiliser les occupants sur les conséquences de leur action sur les consommations énergétiques :

- Sensibiliser les occupants à éteindre l'éclairage artificiel lorsqu'il n'est pas nécessaire : une diminution de la consommation d'éclairage de l'ordre de 15% peut être espérée si les occupants éteignent à la mi-journée et n'allument à nouveau que lorsque c'est nécessaire (par rapport à une situation où les occupants laissent l'éclairage allumé toute la journée). L'utilisateur pourra être sensibilisé à ne pas utiliser l'éclairage artificiel si l'éclairage naturel est suffisant et à éteindre l'éclairage d'un local lorsqu'il quitte celui-ci ;
- Sensibiliser les occupants à l'intérêt et au fonctionnement des robinets thermostatiques ;
- Mettre en place des campagnes de sensibilisation avec des affiches qui peuvent s'adresser à des jeunes publics.

Maintenance et entretien des équipements

Il est important d'avoir un suivi régulier des équipements et une maintenance adaptée. Cela permet notamment de prévenir des pannes, d'augmenter la durée de vie des équipements mais également de détecter des anomalies ou des dérives de consommation.


































































Voici ci-dessous une liste de recommandations importantes à bien respecter pour une bonne gestion des équipements techniques :

- Réaliser une analyse systématique des factures électriques et des factures d'eau avec un suivi mensuel. Cela permet de détecter d'éventuelles dérives notamment. De plus, c'est souvent en connaissant bien sa consommation qu'on arrive à mieux gérer les économies d'énergie ;
- Mettre en place un compteur d'énergie électrique divisionnaire sur les principaux postes électriques (convecteurs et éclairage notamment) peut permettre de suivre les consommations spécifiques de ces postes et détecter d'éventuelles dérives ;
- Prévoir pour tout remplacement d'ampoule ou de luminaire des équipements très basse consommation de type LED ;
- Veiller à nettoyer les lampes et luminaires régulièrement ;
- Prévoir des robinetteries hydro économes : il est possible d'économiser 25% de la consommation d'eau en mettant en place des robinets d'eau froide type « presto », des éco mousseurs, des mitigeurs sur les lavabos eau froide-eau chaude. Cela permet de limiter la quantité d'eau utilisée et le temps d'utilisation ;
- Favoriser les équipements basse consommation lors du choix de nouveaux équipements ;
- Opter pour la centralisation des moyens d'impression.



7.10 - Synthèse des améliorations

Le tableau synthétise les coûts d'investissement, la facture énergétique (finale et primaire) et les émissions de gaz à effet de serre (GES). Les barres montrent les gains relatifs ; les drapeaux indiquent le niveau d'urgence : rouge (urgent), orange (recommandé) ou vert (à long terme).

Amélioration	Priorité	Investissement [€ TTC]	Facture énergie [€ TTC/an]		Energie finale [kWh/an]		Energie primaire [kWh/an]		GES [TCO2/an]	
Etat initial		0	62 843		350 497		499 415		61	
 Isolation sous couverture des jonctions		39 648	61 761	-2 %	343 266		491 688		59	
 Ajout d'isolation sous couverture		45 422	58 414	-7 %	320 757		467 904		54	
 Isolation des murs sur locaux non chauffés		13 176	62 559		348 730		497 288		61	
 Remplacement de l'isolation des murs intérieures		360 929	61 220	-3 %	339 599		487 871		58	
 Remplacement des menuiseries SV		67 200	61 335	-2 %	340 594		488 524		59	
 Mise en place de store extérieur électrique		40 800	62 843		350 496		499 412		61	
 BACS classe C + supervision		113 760	56 254	-10 %	314 238		446 691		55	
 Remplacement des menuiseries DV		536 400	58 239	-7 %	328 308		460 266		58	
 Horloge : VMC & sonde CO2 : CTA		3 000	56 871	-10 %	316 686		452 322		55	
 Installation d'une PAC air/eau		156 000	48 082	-23 %	195 545		435 364		14	
 Installation d'une PAC géothermique		213 600	45 536	-28 %	185 190		412 310		14	
 Installation de panneaux solaires photovoltaïques		51 000	58 800	-6 %	334 451		462 509		60	
 Optimisation du chauffage gaz		36 960	61 714	-2 %	343 169		491 192		59	

8.1 - Méthodologie et hypothèses pour le choix et l'analyse des programmes

L'objectif de cette phase est d'élaborer des programmes de travaux à partir des mesures d'amélioration précédentes.

Plusieurs programmes de travaux sont étudiés, le but étant de proposer des programmes de travaux cohérents et progressifs.

Dans la mesure du possible, on va d'abord favoriser des travaux qui nécessitent peu d'investissement et dans un 2ème temps des travaux plus ambitieux permettant une réduction plus importante des consommations d'énergie. **L'objectif étant d'atteindre à minima les performances exigées par les aides publiques (40% de gains pour le fonds vert notamment).**

Les travaux sur l'enveloppe du bâtiment sont prioritaires avant ceux concernant les équipements énergétiques. En effet, il est essentiel de réduire les pertes et limiter les déperditions avant d'intervenir sur les équipements techniques. Nous proposons également des variantes pour les systèmes de chauffage, permettant de comparer les gains et les coûts de chaque solution, afin de privilégier une source d'énergie locale et renouvelable, tout en répondant aux objectifs de réduction des consommations et des factures énergétiques.

Sur les tableaux et pages suivantes sont synthétisés les bilans énergétiques, financiers et environnementaux de chaque programme.

Ces tableaux intègrent les résultats suivants :

- **Consommation énergétique** pour l'électricité, les combustibles et toute énergie confondue, en valeur absolue (kWh/an) et en gains annuels par rapport à l'état initial ;
- **Emission de gaz à effet de serre (GES)**, tenant compte des facteurs de conversion d'émission de gaz à effet de serre définis en annexes, en valeur absolue et en gains annuels par rapport à l'état initial ;
- **Investissement [€ TTC]** : coût d'investissement des programmes, sans aides, tenant compte des coûts d'amélioration définis dans les pages précédentes ;
- **Aides financières [€ TTC]** : les travaux peuvent être financés par plusieurs types d'aides : fonds verts, aides régionales, fond chaleur renouvelable, Certificat Economie d'Energie (CEE). Le montant de ces aides est variable et fonction de plusieurs critères. Les détails de chaque aide disponible et des taux potentiellement atteignables sont donnés sous forme de fiches en annexes ;
- **Charges annuelles [€ TTC]** tenant compte des coûts de l'énergie définis en annexes ainsi que des coûts des entretiens annuels ;
- **Le coût global sur 30 ans** comprend les investissements du programme (après déduction des aides) ainsi que les charges annuelles tenant compte des évolutions des coûts de l'énergie et de l'inflation sur les entretiens. Les hypothèses considérées sont données en annexes ;
- **Le temps de retour sur investissement dynamique** : cela correspond au temps nécessaire pour que les charges énergétiques annuelles d'une amélioration énergétique ou d'un programme de travaux deviennent inférieures à l'investissement ou surcoût d'investissement lié à l'amélioration ou programme. Ce temps de retour se mesure en année et il tient compte des évolutions des coûts de l'énergie et de l'inflation sur les entretiens. Les hypothèses considérées sont données en annexes ;
- **L'étiquette énergie selon le TH-CE-ex** : cela correspond au coefficient d'énergie primaire du bâtiment calculé selon la méthode thermique réglementaire (TH-CE-Ex) tenant compte de scénarios d'usage et de fonctionnement conventionnels.














La page suivante présente la liste de toutes les améliorations et les programmes associés.



8.2 - Bilans énergétiques et financiers des programmes

Définition des programmes de travaux

Les améliorations comprises dans chaque programme sont listées ci-dessous.

Amélioration	Programme 1	Programme 2	Programme 3
 Isolation sous couverture des jonctions		✓	✓
 Ajout d'isolation sous couverture		✓	✓
 Isolation des murs sur locaux non chauffés		✓	✓
 Remplacement de l'isolation des murs intérieures		✓	
 Remplacement des menuiseries SV		✓	
 Mise en place de store extérieur électrique			✓
 BACS classe C + supervision	✓	✓	✓
 Remplacement des menuiseries DV			
 Horloge : VMC & sonde CO2 : CTA	✓	✓	✓
 Installation d'une PAC air/eau	✓	✓	
 Installation d'une PAC géothermique			✓
 Installation de panneaux solaires photovoltaïques			✓
 Optimisation du chauffage gaz	✓	✓	✓

Bilans énergétiques et environnementaux

Le tableau ci-dessous synthétise l'ensemble des résultats énergétiques pour les différents programmes de travaux. Les gains sont exprimés par rapport à l'état initial.

	Electricité [kWh/an]		Combustibles [kWh/an]		Toute énergie [kWh/an]		Emissions de GES [kgCO2/m².an]	Etiqu. Energie
Etat initial	114 552		235 945		350 497		21	C
Programme 1	166 511	<div></div> 45 %	9 991	<div></div> -96 %	176 502	<div></div> -50 %	4	C
Programme 2	153 404	<div></div> 34 %	9 198	<div></div> -96 %	162 602	<div></div> -54 %	4	C
Programme 3	139 116	<div></div> 21 %	8 347	<div></div> -96 %	147 463	<div></div> -58 %	4	C

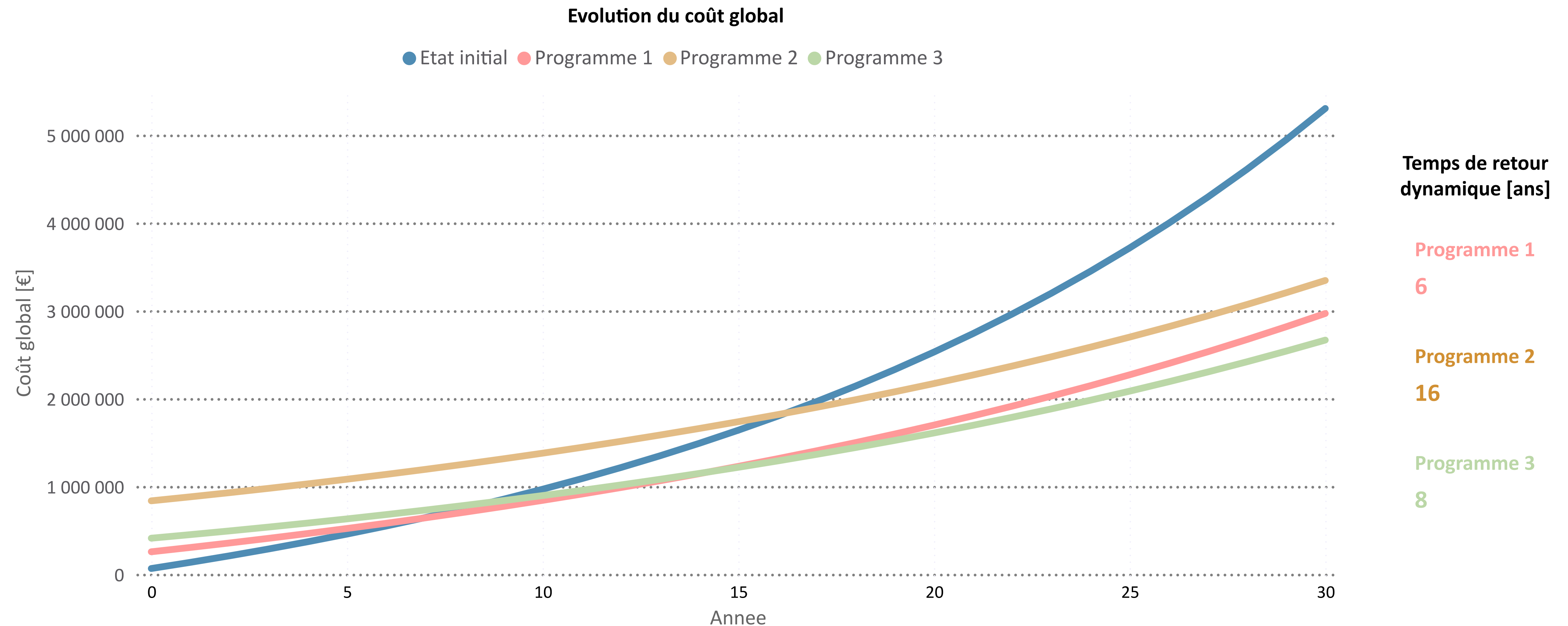
Bilans financiers

Le tableau ci-dessous synthétise l'ensemble des résultats financiers pour les différents programmes de travaux. Les hypothèses prises en compte pour ces calculs ainsi que les éléments sur les aides financières sont détaillées en annexes. Les taux d'aides sont une estimation plutôt conservatrice, seule une demande d'aides permettra de connaître les aides réelles.

	Investissement [€ TTC]	Taux aides	CEE [€]	Inv. aides & CEE déduits [€ TTC]	Entretien [€ TTC/an]	Charges annuelles [€ TTC/an]		Revente solaire [€ TTC/an]	Coût global sur 30 ans [€]	Temps de retour [ans]
Etat initial					4 000	66 843			5 304 679	0
Programme 1	309 720	30 %	6 808	209 996	4 000	47 399	<div></div> -29 %		2 970 312	6
Programme 2	836 095		42 592	793 503	4 000	43 982	<div></div> -34 %		3 346 204	16
Programme 3	557 366	30 %	17 440	372 716	4 000	40 259	<div></div> -40 %	1 027	2 667 458	8

8.3 - Evolution du coût global de chaque programme

Le graphique ci-dessous reprend les évolutions du coût global sur chaque programme. Les données intègrent les charges énergétiques (avec prise en compte d'une augmentation annuelle des coûts de l'énergie, voir hypothèses en annexes), les coûts d'entretien et les coûts d'investissement.



Au bout de 30 ans c'est le qui présente le coût global le plus faible.

8.5 - Etiquettes énergie et GES

Les images ci-dessous présentent les étiquettes énergie et gaz à effet de serre, à la fois pour l'état initial et pour chacun des programmes envisagés.

Les consommations énergétiques sont exprimées en énergie primaire (kWh/m²) et proviennent des résultats de la simulation thermique dynamique, reflétant ainsi les consommations réelles du bâtiment.

Il ne s'agit pas d'étiquettes réglementaires de type DPE, dont les valeurs reposent sur un fonctionnement conventionnel avec des scénarios standards (températures de consigne, usages, etc.).

	Etat initial	PROG. 1	PROG. 2	PROG. 3
≤ 51 A				
51 à 110 B				
111 à 210 C	168	133	122	111
211 à 350 D				
351 à 540 E				
541 à 751 F				
> 751 G				

	Etat initial	PROG. 1	PROG. 2	PROG. 3
≤ 7 A		4	4	4
8 à 15 B				
16 à 30 C	21			
31 à 60 D				
61 à 100 E				
101 à 146 F				
> 146 G				

8.5 - Objectifs règlementaires (DEET et BACS)

Décret éco-énergie tertiaire (DEET)

Soumis

Le **décret éco-énergie tertiaire (DEET)** impose une réduction de la consommation énergétique finale des bâtiments à usage tertiaire, avec pour objectif un gain en énergie finale de -40% pour 2030, -50% pour 2040 et -60% pour 2050 (par rapport à une consommation de référence choisie entre 2010 et 2019), ou alors d'atteindre un niveau de consommation d'énergie finale en valeur absolue, fixée par rapport à l'usage du bâtiment.

Décret BACS

Le **décret BACS (Building Automation and Control Systems)** impose l'installation de systèmes d'automatisation et de contrôle dans les bâtiments pour améliorer leur efficacité énergétique, sur les bâtiments tertiaires pour les sites possédant des équipements d'une puissance supérieure à 290 kW à partir du 01/01/2025 et d'ici le 01/01/2027 pour les bâtiments où leurs puissances est comprise entre 70 kW et 290 kW.

Il introduit quatre classes d'exigences pour les systèmes d'automatisation dans les bâtiments :

Soumis

- **Classe A** – Supervision énergétique : obligation de mesurer et suivre en continu les consommations d'énergie, avec des outils de reporting et de visualisation ;
- **Classe B** – Contrôle des équipements techniques : intégration d'un contrôle automatique pour optimiser le fonctionnement des systèmes de chauffage, ventilation, et climatisation (CVC) ;
- **Classe C** – Détection des anomalies : mise en place d'un diagnostic pour identifier les écarts de performance ou les pannes des équipements ;
- **Classe D** – Interopérabilité et communication : compatibilité des systèmes avec d'autres dispositifs pour faciliter la gestion centralisée et la communication entre équipements.

L'année de référence DEET sélectionnée est 2012, avec une consommation annuelle normalisée de 140kWh/m². Des écarts peuvent être constatés entre OPERAT et notre rapport, car les valeurs saisies dans OPERAT peuvent différer de celles utilisées dans notre analyse.

	Consommation EF [kWh/m².an]	Gains énergie finale état actuel	Gains énergie finale référence DEET	Objectif DEET val. absolue	Objectif DEET -40% 2030	Objectif DEET -50% 2040	Objectif DEET -60% 2050	Classe décret BACS
Etat initial	118,21		15 %	✗	✗	✗	✗	Classe C
Programme 1	59,53	50 %	57 %	✓	✓	✓	✗	Classe C
Programme 2	54,84	54 %	61 %	✓	✓	✓	✓	Classe C
Programme 3	49,73	58 %	64 %	✓	✓	✓	✓	Classe C

8.6 - Synthèse globale

Amélioration	Pro.1	Pro.2	Pro.3		Investissement [€ TTC]	Gains énergie finale	Gains énergie primaire	Gains GES	Gains charges annuelles	TR investis. [ans]
Isolation sous couverture des jonctions		✓	✓	🏠	39 648	2 %	2 %	3 %	2 %	17
Ajout d'isolation sous couverture		✓	✓	🏠	45 422	8 %	6 %	11 %	7 %	6
Isolation des murs sur locaux non chauffés		✓	✓	🏠	13 176					19
Remplacement de l'isolation des murs intérieures		✓		🏠	360 929	3 %	2 %	4 %	2 %	>30
Remplacement des menuiseries SV		✓		🏠	67 200	3 %	2 %	3 %	2 %	20
Mise en place de store extérieur électrique			✓	🌡️	40 800					
BACS classe C + supervision	✓	✓	✓	🌡️	113 760	10 %	11 %	10 %	10 %	11
Remplacement des menuiseries DV				🏠	536 400	6 %	8 %	5 %	7 %	>30
Horloge : VMC & sonde CO2 : CTA	✓	✓	✓	🌀	3 000	10 %	9 %	10 %	9 %	0
Installation d'une PAC air/eau	✓	✓		🌬️	156 000	44 %	13 %	76 %	22 %	6
Installation d'une PAC géothermique			✓	🏠	213 600	47 %	17 %	78 %	26 %	7
Installation de panneaux solaires photovoltaïques			✓	☀️	51 000	5 %	7 %	2 %	6 %	7
Optimisation du chauffage gaz	✓	✓	✓	🌡️	36 960	2 %	2 %	3 %	2 %	16
Programme 1					309 720	50 %	21 %	79 %	29 %	6
Programme 2					836 095	54 %	28 %	80 %	34 %	16
Programme 3					557 366	58 %	34 %	82 %	40 %	8

Avis et recommandations

L'audit énergétique a permis d'identifier des solutions d'amélioration et de proposer des programmes de travaux afin que le maître d'ouvrage puisse disposer de tous les éléments nécessaires pour programmer un plan d'action énergétique.

Au regard des solutions préconisées et des besoins du maître d'ouvrage, il nous semblerait le plus pertinent de s'orienter vers le choix du **programme 1**, contenant les travaux suivants :

- Horloge : VMC & sonde CO2 : CTA
- Optimisation du chauffage gaz
- Installation d'une PAC air/eau
- BACS classe C + supervision

Les améliorations peuvent être mises en œuvre individuellement ou regroupées, sans nécessiter un programme complet de travaux (voir tableau **7.10 - Synthèse des améliorations**). Toutefois, les solutions individuelles classiques ouvrent rarement droit aux aides financières, car leurs gains énergétiques sont souvent insuffisants. Il est donc préférable d'opter pour des travaux alliant **coût réduit** et **efficacité énergétique**.

Nous recommandons donc en priorité les améliorations suivantes :

- Horloge : VMC & sonde CO2 : CTA

Le Palais de Justice de Carcassonne pourrait améliorer immédiatement sa performance énergétique en optimisant la gestion du chauffage et de la climatisation, en utilisant les outils déjà en place (suivi des températures intérieures en été et hiver, ainsi que des mesures de consommation de gaz). Cela inclurait l'ajustement des chaudières en fonction de la loi d'eau et l'optimisation de la commande centralisée des systèmes de climatisation.

Pour aller plus loin, le remplacement des chaudières à gaz par des pompes à chaleur air/eau permettrait de réduire considérablement les consommations d'énergie. Les économies générées par ces améliorations pourraient financer, à terme, le programme 2, qui se concentrerait principalement sur l'isolation de l'enveloppe du bâtiment. Cette approche en deux phases optimiserait l'efficacité énergétique tout en étalant les coûts sur une période plus longue.

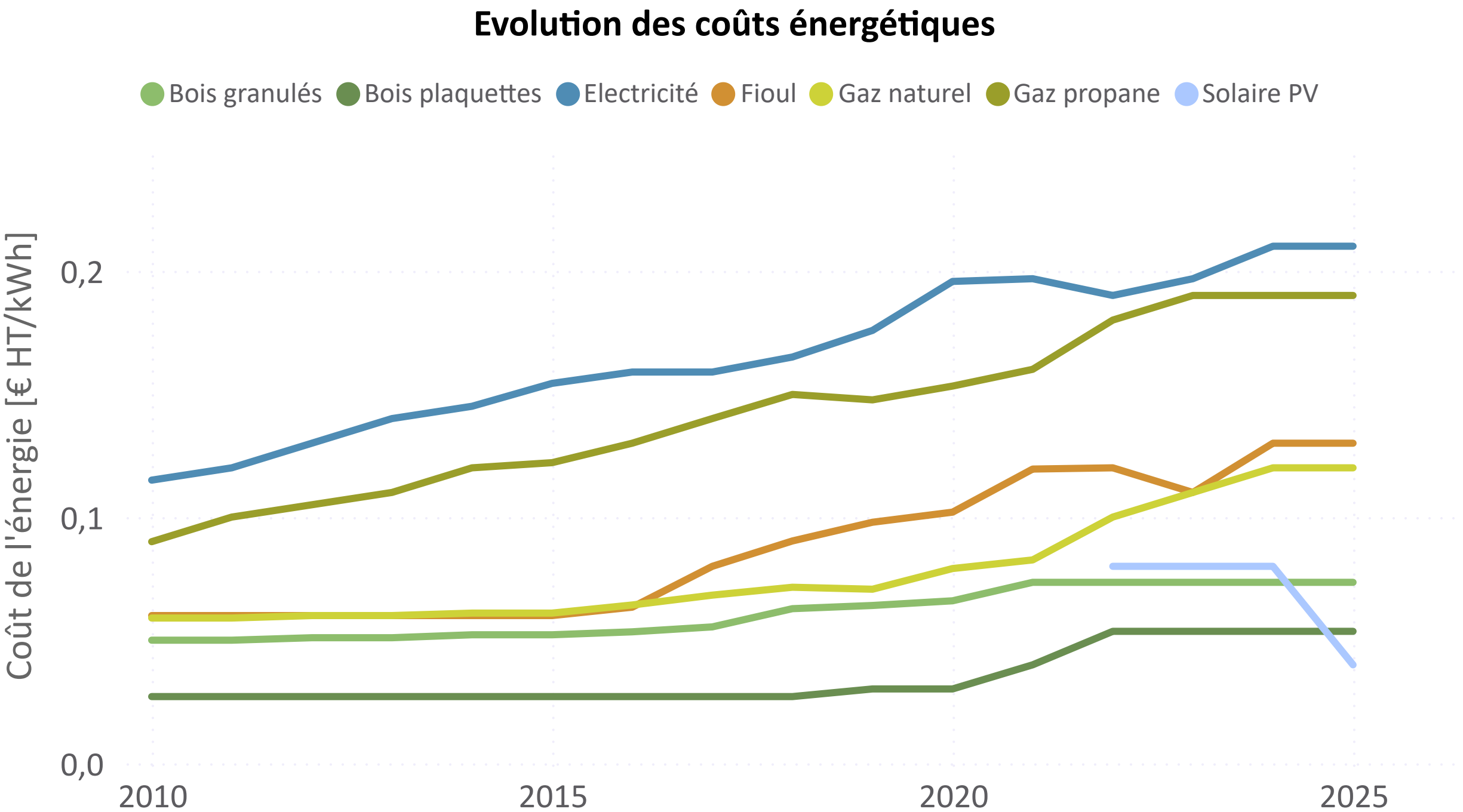


9.1 - Hypothèses énergétiques et financières

Dans les tableaux ci-dessous sont synthétisées les hypothèses prises pour le calcul des gaz à effet de serre, la conversion en énergie primaire et les coûts de l'énergie :

- Facteurs de conversion d'émission de gaz à effet de serre (GES) : les facteurs de conversion d'émission de gaz à effet de serre permettent de quantifier la quantité de CO2 émise par l'utilisation de chaque énergie. Ils sont exprimés en kgCO2 par kWh PCI d'énergie finale ;
- Facteurs de conversion de l'énergie finale en énergie primaire : on utilise le terme d'énergie finale pour parler de l'ensemble des énergies se situant en fin de chaîne de transformation de l'énergie. Il s'agit de l'énergie utilisée concrètement par l'utilisateur final, telle que mesurée par les compteurs du fournisseur d'énergie. Le terme énergie primaire est utilisé pour parler de l'ensemble des énergies disponible dans la nature avant toute transformation ;
- Coûts de l'énergie : les coûts de l'énergie sont calculés à partir des coûts moyens des années concernées. Pour les analyses économiques, on prend pour l'année 0 le coût de l'énergie aujourd'hui et on considère une augmentation des prix de l'énergie et un taux d'inflation annuel de 1,5% pour la maintenance ;
- Dans les calculs financiers, les charges annuelles intègrent les factures énergétiques ainsi que les entretiens annuels
- La notion de coût global comprend les investissements du programme ainsi que les charges annuelles, tenant compte des évolutions des coûts de l'énergie

Energie	Conversion GES [kgCO2 par kWh]	Conversion EF vers EP	Coût énergie [€ TTC/kWh]	Augm. énergie annuelle
Bois granulés	0,030	0,60	0,09	3 %
Bois plaquettes	0,024	0,60	0,06	2 %
Electricité	0,064	2,30	0,25	4 %
Fioul	0,324	1,00	0,16	5 %
Gaz naturel	0,227	1,00	0,14	7 %
Gaz propane	0,272	1,00	0,23	7 %
Réseau de chaleur	0,030	1,00	0,06	3 %



9.2 - Choix d'un isolant

Caractéristiques physiques d'un isolant

Le choix d'un isolant et de sa mise en œuvre doit être fait en connaissance de cause par un professionnel qui tiendra compte des spécificités du bâtiment et de son utilisation, ainsi que des aspirations du maître d'ouvrage (par exemple volonté d'installer un isolant biosourcé, ou produit localement, ou...). La laine de verre est souvent proposée comme isolant par défaut, alors que des alternatives plus écologiques et tout aussi pertinentes existent.

Un matériau isolant possède plusieurs caractéristiques physiques, dont voici ci-dessous les propriétés principales à prendre en compte lors du choix :

- **Conductivité thermique et résistance thermique** : pour une paroi donnée, l'audit énergétique fixe un objectif de résistance thermique R (en $m^2.K/W$), qui est la capacité de l'isolant à s'opposer à la transmission des flux de chaleur, en hiver ou en été. Cette résistance ne tient pas compte des ponts thermiques liés à la mise en œuvre, et auxquels il faudra faire très attention afin de les minimiser. Selon la conductivité λ de l'isolant (caractéristique liée au matériau, exprimée en $W/m.K$), l'épaisseur d'isolant à poser pour atteindre la même résistance thermique est plus ou moins importante. Les isolants doivent toujours être comparés à résistance thermique équivalente. Idéalement, la conductivité λ doit être attestée par une certification ACERMI.
- **La capacité thermique volumique** doit impérativement être évaluée dans le cadre du confort d'été. A noter que ce critère a moins d'impact dans le cas de l'isolation d'un mur « lourd » par l'extérieur. Plus la capacité thermique volumique est élevée, plus l'isolant a de l'inertie thermique (comme un mur épais en pierre), ce qui lui permet de stocker la chaleur avant de la restituer. Cela signifie qu'en été, la vague de chaleur de la journée est partiellement stockée dans l'isolant (et aussi dans la maçonnerie le cas échéant), et n'est communiquée à l'intérieur du bâtiment que quelques heures plus tard, lorsque la température extérieure a diminué. Ce retard est appelé déphasage.

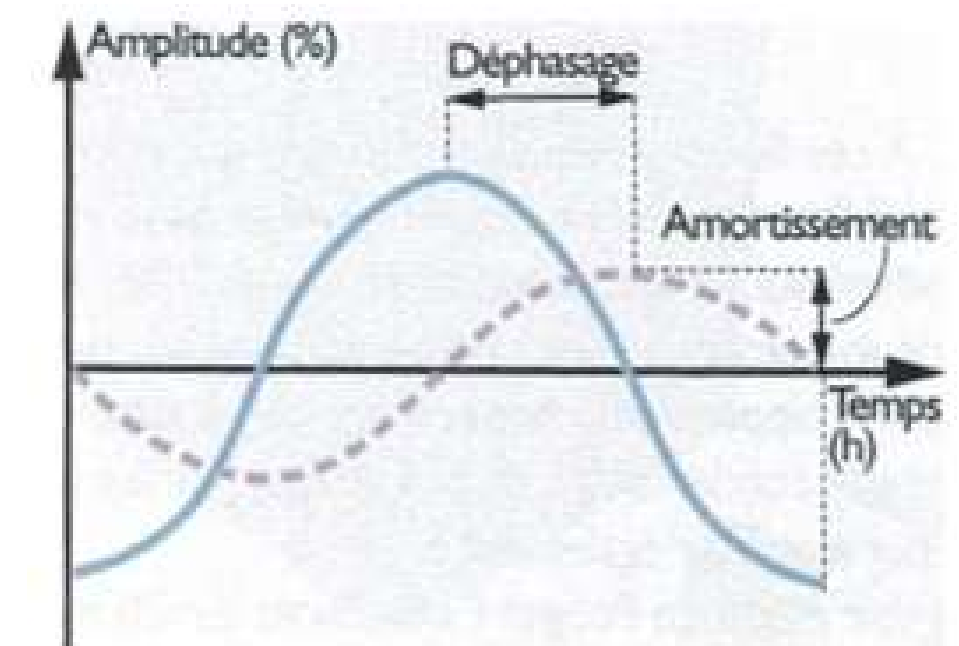
Or, cette diminution de la température extérieure fait qu'une partie de la chaleur repart en sens inverse et est évacuée par la face extérieure (c'est l'amortissement). De plus, l'apport de chaleur est moins ressenti par les utilisateurs la nuit, soit parce que le bâtiment n'est pas occupé la nuit, soit parce qu'il est possible de faire une surventilation nocturne.

On privilégiera un isolant avec une capacité thermique volumique élevée pour limiter les surchauffes estivales.

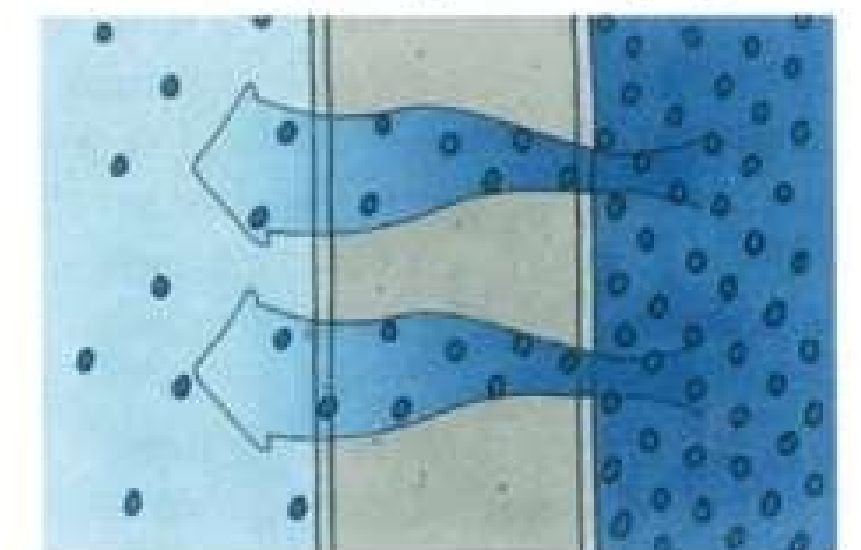
- **La résistance à la transmission de la vapeur d'eau** est un critère important en rénovation. Dans un bâtiment, la vapeur d'eau peut provenir des usages intérieurs, ou bien de remontées capillaires par les parois, et il faut assurer qu'elle puisse s'évacuer vers l'extérieur afin d'éviter des dommages, aux isolants mais aussi aux structures.

Une étude de cas doit être faite afin de s'assurer du bon comportement de la composition globale de la paroi (avec éventuellement pare vapeur, frein vapeur, lame d'air ventilée ou non, revêtement extérieur plus ou moins perspirant, etc.). Ce critère est donc utile pour la conception de la stratégie de gestion de la vapeur d'eau, mais il n'a pas de sens pris à part.

Visualisation du déphasage et de l'amortissement du flux de chaleur



Pression de vapeur d'eau (PV)



Un air fortement chargé en vapeur d'eau (= humidité absolue élevée) cherche à s'équilibrer avec les masses d'air voisines dont l'humidité relative est moindre. Sous nos climats, ce transfert se fait quasi exclusivement de l'intérieur vers l'extérieur.

Impact environnemental d'un isolant

Seule une Analyse du Cycle de Vie (ACV) peut prétendre quantifier de manière exhaustive l'impact sur l'environnement d'un matériau et d'un isolant particulièrement. Mais à ce jour, la méthode de quantification est complexe, elle comprend de nombreux indicateurs, et il n'existe pas d'outil international (base de données avec une interface) permettant de comparer simplement 2 isolants entre eux.

Pour plus d'informations sur la rénovation écologique, le RÉVA (Réseau Écoconstruction en Vallée de l'Aude) peut être contacté. Leur site internet (<https://reva.network/>) comporte un annuaire qui recense les acteurs locaux : artisans, MOE, maîtrise d'ouvrage ayant déjà mis en pratique l'écoconstruction... Quelques écolabels permettent de garantir le caractère écologique d'un isolant, le plus connu étant le label Natureplus®.

Les 2 indicateurs proposés ci-dessous sont ceux retenus dans l'ouvrage de référence « L'isolation thermique écologique », J-P. Oliva & S. Courgey, Terre Vivante, édition 2023, dont sont aussi issues les illustrations de cette annexe. Les isolants biosourcés, c'est-à-dire entièrement ou partiellement fabriqués à partir de matières d'origine biologique, ont généralement de bonnes caractéristiques environnementales. Les indicateurs environnementaux pour le choix d'un isolant sont :

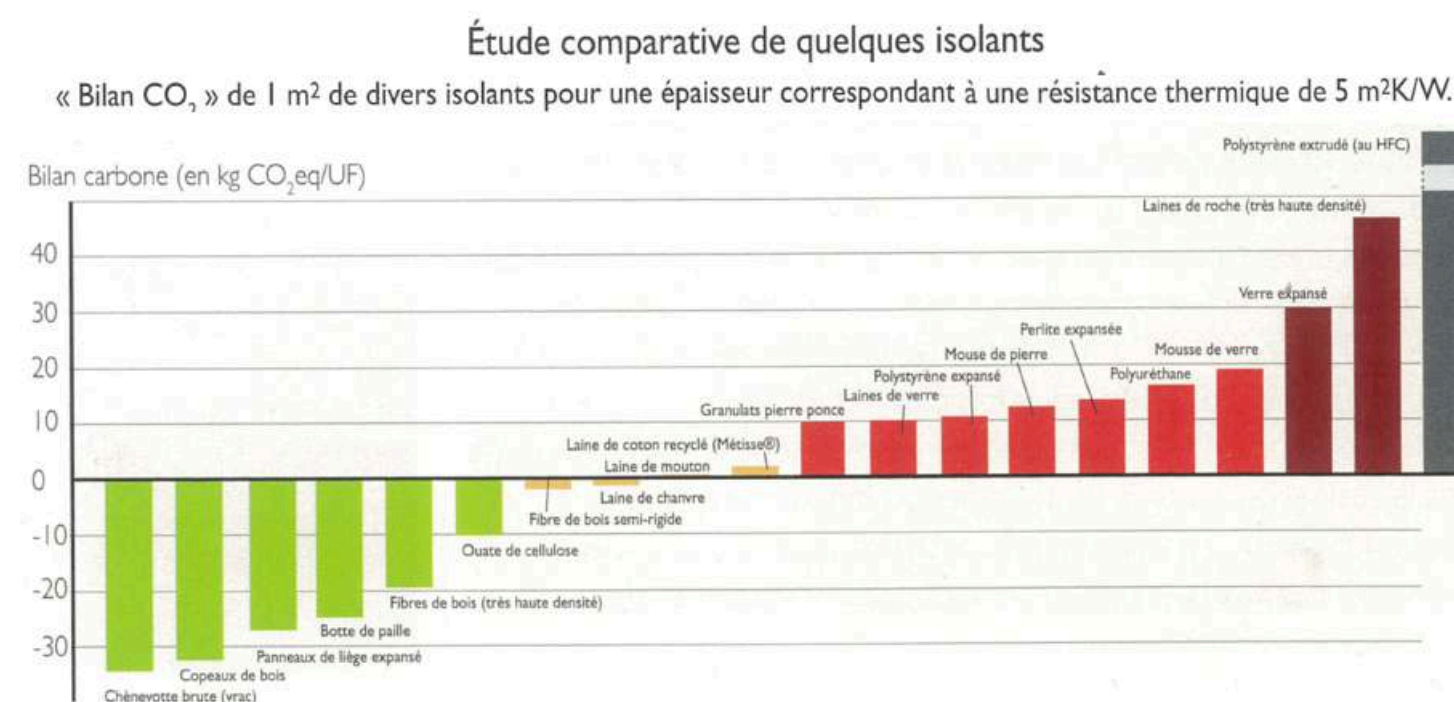
- **Le bilan CO2** est le bilan production/stockage de gaz à effet de serre de l'isolant sur toute sa durée de vie (estimée forfaitairement à 50 ans).

Il est évalué en kg équivalent CO2 par Unité Fonctionnelle (UF) ; dans le cas d'un isolant, l'Unité Fonctionnelle est le « m² pour une résistance thermique R donnée ». Le choix de cette UF, par opposition à des m³ ou à des kg, permet de comparer des isolants qui n'ont pas les mêmes caractéristiques (densité, conductivité, ...) mais qui rendent le même service, c'est-à-dire qui isolent aussi bien.

On privilégiera un isolant avec un bilan CO2 neutre ou même négatif. Dans ce dernier cas, il se comportera comme un puit de carbone, avec un bénéfice instantané et sur le long terme de capture de CO2.

- **L'énergie grise** évalue l'énergie consommée ou produite tout au long du cycle de vie de l'isolant. C'est un indicateur assez fluctuant selon les bases de données. Outre l'« énergie procédé » (énergie utilisée pour la seule fabrication, ou pour l'ensemble du cycle de vie), il peut intégrer l'« énergie matière » (énergie contenue dans le matériau et qui se libère quand on le brûle), et prendre en compte ou non les énergies renouvelables. On privilégiera un isolant avec une faible énergie grise.

A noter que les fibres de bois (= laine de bois) très haute densité (160 kg/m³) ont une énergie grise élevée, mais ces panneaux ne s'emploient que dans des cas précis où la densité est nécessaire : support d'enduit extérieur, toiture sarking. L'isolation habituelle de murs ou de combles se fait avec des fibres de bois (= laine de bois) semi-rigides à moyenne densité (40 kg/m³), qui présentent une énergie grise moins élevée.



Coût « Énergie grise » de 1 m² de divers isolants pour une épaisseur correspondant à une résistance thermique de 5 m²K/W.



9.3 - Aides financières

Approche générale - calculs des aides

L'analyse financière de cet audit prend en compte les taux de subvention estimés ci-dessous.

Ce n'est qu'une estimation, en effet le montant réel des subventions dépendra des conditions en vigueur au moment du dépôt de demande d'aides, de l'épuisement des enveloppes d'aides, etc.

Les taux de subvention sont calculés sur les montants HT des travaux.

Projets de rénovation pouvant bénéficier de la subvention Fonds Vert

- **Subvention département du Lot** : à confirmer selon les aides locales disponibles.
- **Subvention région Occitanie** : 15% (dans la limite de 50 k€HT, en dessous de 5k€HT de subvention, il ne sera pas donné de suites à la demande)
- **Subvention état** (Fonds vert, DSIL ou DETR) : 30% / 15% si le projet ne peut pas bénéficier du Fonds Vert
- **CEE** : fonction des travaux éligibles

Les informations complémentaires sur ces aides sont disponible <https://www.lot.fr/node/273039> et <https://www.laregion.fr/-Toutes-les-aides->

Les pages suivantes détaillent pour chaque type d'aides les spécificités.



Département du Lot

Le Département du Lot propose diverses aides pour la rénovation énergétique des bâtiments publics, notamment à travers le **Le guichet unique de la rénovation énergétique, à votre service**. Ce dispositif vise à soutenir financièrement les communes et autres collectivités dans leurs projets de construction, de rénovation ou d'aménagement d'infrastructures publiques, y compris les initiatives d'amélioration de l'efficacité énergétique.

Les principales caractéristiques du dispositif sont :

- **Objectifs** : réduire la consommation d'énergie des logements et promouvoir la rénovation énergétique dans le Lot ; améliorer le cadre de vie des habitants et contribuer à un département à énergie positive d'ici 2050;
- **Projets éligibles** : tous les projets de rénovation énergétique des logements, incluant l'isolation, l'achat de chaudières performantes et autres travaux pour améliorer l'efficacité énergétique ;
- **Critères d'éligibilité** : s'adressent à tous les ménages lotois, quels que soient leurs revenus. Un accompagnement neutre et objectif est proposé dans les domaines financiers, juridiques et techniques ;
- **Montant des subventions** : des aides financières sont disponibles via le Guichet Rénov'Occitanie, avec des conseils gratuits, mais le montant des subventions varie selon le projet, les revenus et les travaux envisagés.
- **Procédure de demande** : pour contacter le Guichet Rénov'Occitanie Lot, vous pouvez utiliser le formulaire en ligne ou appeler le numéro vert (0800 08 02 46). Un accompagnement personnalisé est offert pour orienter les projets en fonction des besoins spécifiques.

Pour faciliter le dépôt, le traitement et le suivi des demandes de subventions, les communes et ménages peuvent contacter le Guichet Rénov'Occitanie Lot via un formulaire en ligne ou par téléphone. Ce guichet unique permet d'accompagner les projets de rénovation énergétique dans le Lot

Il est recommandé de consulter le **Règlement départemental d'aide aux tiers**, pour connaître les modalités d'octroi des aides, qui sont définies en fonction des critères de performance énergétique, des priorités du Département et de la Région Occitanie.



Région Occitanie - Politique Contractuelle Territoriale Occitanie 2022-2028

La région Occitanie propose des aides pour la rénovation énergétique des bâtiments publics via une politique contractuelle territoriale Occitanie 2022-2028. Ce dispositif est cumulable avec le dispositif en faveur de la mise en accessibilité des bâtiments publics. Il prend la forme d'une subvention, sur une dépense éligible plafonnée à 200 000 € HT :

- De 15% à 25% selon le projet et le niveau de performance énergétique effectivement atteint.
- Plafonné à 50 000 € HT

Le taux maximum sera réservé aux projets les plus exemplaires.

Si l'instruction technique aboutit à la proposition d'une subvention d'un montant inférieur à 5 000 € HT, il ne sera pas donné suite à la demande. Seuls les ERP ou EPCI sont éligibles.

Dans le cadre général, la collectivité doit justifier, après travaux du ou des bâtiments :

- Soit un **gain énergétique de 30% sur la consommation énergétique primaire** et l'atteinte de la **classe énergétique C minimum selon calcul réglementaire TH-Ce-Ex**
- Soit l'**atteinte de la classe énergétique B selon calcul réglementaire TH-Ce-Ex**

Pour les communes de plus de 10 000 habitants, l'atteinte de la classe énergétique B minimum est attendue. Le bâtiment ne doit pas générer de recette commerciale, sauf s'il s'agit d'un établissement médical, médico-social ou paramédical.

Le bénéficiaire doit disposer d'un document cadre de gestion du volet énergétique de son patrimoine immobilier, par exemple : schéma directeur de rénovation énergétique, schéma directeur immobilier, bilan énergétique global du patrimoine communal ou de l'EPCI, ou tout autre document assimilable permettant de mettre en lumière la priorisation de ou des bâtiments faisant l'objet de la demande de subvention pour améliorer le bilan énergétique global de la collectivité.

Les dépenses éligibles à ce dispositif sont les suivantes :

- Frais liés au DPE et/ou aux études thermiques
- Fourniture et pose d'équipements/produits et ouvrages améliorant la performance énergétique :
 - Isolation thermique des murs, des toitures, des parois vitrées et des portes donnant sur l'extérieur
 - Amélioration thermique des vitrages et menuiseries existantes
 - Installation de système de chauffage, de ventilation et/ou production d'eau chaude sanitaire, performants et/ou utilisant une source d'énergie renouvelable
 - Organes de pilotages des installations (GTC, régulation...)
 - Maîtrise d'œuvre au prorata des dépenses concernées, plafonnée à 10%.

<https://www.laregion.fr/Renovation-energetique-des-batiments-publics-ERP-pour-une-meilleure-performance>



« Fonds vert » : fonds d'accélération de la transition écologique dans les territoires

En 2023 l'état a mis en place le fonds d'accélération de la transition écologique dans les territoires (fonds vert). Ce dispositif vise à éliminer les énergies fossiles (sortie du fioul et du gaz) et le développement des énergies propres et des réseaux urbains de chaleur et de froid renouvelables.

Les projets de rénovation énergétique éligibles à ce dispositif peuvent porter sur :

- Des actions dites « à gain rapide » présentant un fort retour sur investissement (pilotage et régulation des systèmes de chauffage, modernisation des systèmes d'éclairage, ...) ;
- Des travaux d'isolation du bâti ou de remplacement d'équipement. Ces travaux pourront notamment cibler : l'isolation des murs, l'isolation des planchers bas, l'isolation de la toiture, le remplacement des menuiseries extérieures, la ventilation, la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire ainsi que les interfaces associées;
- Des opérations immobilières de réhabilitation lourde combinant plusieurs de ces travaux et pouvant inclure d'autres volets tels que la mise aux normes de sécurité et d'accessibilité, le désamiantage, le ravalement ou l'étanchéité du bâti.

Pour être éligible en métropole, un projet devra permettre au moins **40% d'économies d'énergie finale** par rapport à la situation d'avant projet ainsi qu'une réduction significative des émissions de GES.

Le montant de financement (des projets éligibles et retenus) est déterminé pour chaque opération en respectant les modalités de subventions suivantes :

- De l'ambition environnementale et de l'exemplarité du projet ;
- De la capacité de contributions financières des collectivités locales, tout en faisant preuve de souplesse quant aux difficultés particulières que peuvent rencontrer les petites communes rurales ;
- De la fragilité socio-économique du territoire ;
- Des contraintes opérationnelles du projet.

Pour toutes les mesures du fonds vert, il est attendu des porteurs de projet :

- La description de leur projet de rénovation
- La production d'une étude thermique permettant de justifier des économies d'énergie et de la baisse attendue des émissions de gaz à effet de serre des travaux.

[Aides-territoires](#) | [Mettre en œuvre la rénovation énergétique des bâtiments publics \(beta.gouv.fr\)](#)



DSIL / DETR

La Dotation de Soutien à l'Investissement Local (DSIL) est un dispositif éligible à un financement pour :

- La rénovation thermique, la transition énergétique et le développement des énergies renouvelables
- Le développement d'infrastructures en faveur de la mobilité ou en faveur de la construction de logements,
- Le développement du numérique et de la téléphonie mobile
- La création, la transformation et la rénovation des bâtiments scolaires
- La réalisation d'hébergements et d'équipements publics rendus nécessaires par l'accroissement du nombre d'habitants

La Dotation d'Equipements des Territoires Ruraux (DETR) a pour objectif de financer des projets d'investissement dans le milieu rural.

Sont éligibles à cette dotation les communes remplissant les conditions suivantes :

- Celles dont la population n'excède pas 2.000 habitants dans les départements de métropole et 3.500 habitants dans les départements d'outre-mer ;
- Celles dont la population est supérieure à 2.000 habitants dans les départements de métropole (3.500 habitants dans les départements d'outre-mer) et n'excède pas 20.000 habitants dans les départements de métropole (35.000 habitants dans les départements d'outre-mer) et dont le potentiel financier par habitant est inférieur à 1,3 fois le potentiel financier par habitant moyen de l'ensemble des communes des départements de métropole et d'outre-mer dont la population est supérieure à 2.000 habitants et n'excède pas 20.000 habitants.

Sont éligibles à la DETR les établissements publics de coopération intercommunale à fiscalité propre remplissant toutes les conditions suivantes :

- Avoir une population qui n'excède pas 50.000 habitants (métropole et départements d'outre-mer) ;
- Un territoire d'un seul tenant et sans enclave ;
- Absence de communes membres de plus de 15 000 habitants.

[Dotation de soutien à l'investissement local \(DSIL\) | economie.gouv.fr](#) [Aides-territoires | Financer des projets d'investissement dans le milieu rural - DETR \(beta.gouv.fr\)](#)



CEE (Certificats Economie d'Energie)

Les certificats d'économies d'énergie sont un dispositif au bénéfice des ménages et des entreprises pour la transition énergétique et la croissance verte. Les collectivités souhaitant réaliser des travaux d'économies d'énergie comme la rénovation de bâtiments publics, le raccordement à un réseau de chaleur ou la rénovation de l'éclairage public peuvent bénéficier de financements en passant par le dispositif des Certificats d'Économies d'Énergie (CEE).

Chaque opération d'économies d'énergie correspond à une fiche d'opération standardisée. Les travaux listés ci-après sont éligibles au financement par des CEE s'ils sont conformes aux critères des fiches :

- La rénovation de l'éclairage public extérieur ;
- L'isolation ou le changement de chauffage pour les bâtiments publics : isolation de combles ou de toitures, de murs ou de planchers, ou installation de fenêtres avec vitrage isolant, installation d'une chaudière à haute performance énergétique, d'une pompe à chaleur de type air/eau ou eau/eau, ou d'un chauffe-eau solaire ;
- Le raccordement d'un bâtiment public ou d'un bâtiment résidentiel à un réseau de chaleur.

Les CEE qui pourraient être valorisés dans le projet synthétisés ci-dessous.

	N° fiche CEE	CEE [MWh cumac]	CEE [€]	Prix de ventes des CEE [€/MWh]
Ajout d'isolation sous couverture	BAT-EN-101	756	6 048	8,00
Installation d'une PAC air/eau	BAT-TH-113	608	4 864	8,00
Installation d'une PAC géothermique	BAT-TH-113	608	4 864	8,00
Isolation des murs sur locaux non chauffés	BAT-EN-102	285	2 280	8,00
Isolation sous couverture des jonctions	BAT-EN-101	416	3 328	8,00
Optimisation du chauffage gaz	BAT-TH-104	243	1 944	8,00
Remplacement de l'isolation des murs intérieures	BAT-EN-102	2 962	23 696	8,00
Remplacement des menuiseries DV	BAT-EN-104	426	3 408	8,00
Remplacement des menuiseries SV	BAT-EN-104	54	432	8,00