

AUDIT ENERGETIQUE DE LA DEAL – Site Pointe de Jaham

**Interlocuteur :**

Etienne DENIS, chargé de mission pour la Promotion du Développement Durable

Intervenants :

Laura-Line LINVAL, chargée de projets efficacité énergétique Watt Smart

Version	1
Date	02/07/2024
Rédactrice	Laura-Line LINVAL
Relecteur	Tom CHABILLON

Watt Smart

170 Impasse Mexico - 97232 Le Lamentin

Tel : +596 696 86 29 36

www.watt-smart.com

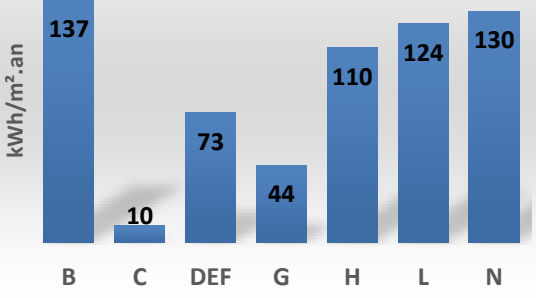
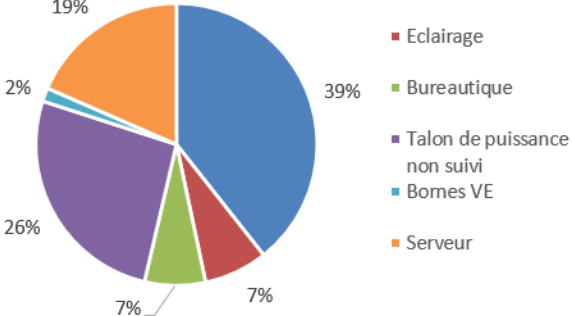
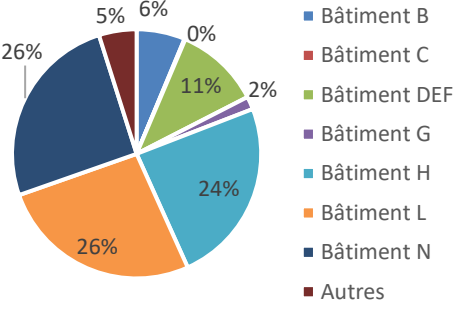
Sommaire :

Synthèse des résultats	5
1. Introduction	6
2. Présentation de l'établissement	6
A. Profils altimétriques	7
B. Données de vent	7
C. Présentation du site	8
D. Photos des bâtiments.....	9
3. Campagne de mesures	11
a) Matériel utilisé	11
b) Plan de comptage	11
c) Talon de puissance.....	12
4. Bilan énergétique du site	13
A. Consommations annuelles et niveau de performance	13
B. Evolution annuelle et facteurs d'influence	14
C. Répartition des consommations	15
a) Répartition par bâtiment	15
b) Répartition par usage.....	16
D. Profil de charge	17
a) Profil hebdomadaire moyen et journée type	17
b) Profils journaliers	18
5. Bilan énergétique par bâtiment	18
A. Bâtiment H.....	18
B. Bâtiment L	20
C. Bâtiment N	21
D. Bâtiment DEF.....	22
E. Bâtiment G	23
F. Bâtiment B.....	24
G. Bâtiment C.....	25
6. Analyse du bâti	26
A. Bâtiment B.....	26

a)	Description du bâti.....	26
b)	Performance du bâti	27
B.	Bâtiment C.....	28
a)	Description du bâti.....	28
b)	Performance du bâti	29
C.	Bâtiment DEF.....	30
a)	Description du bâti.....	30
b)	Performance du bâti	31
D.	Bâtiment G	32
a)	Analyse du bâti.....	32
b)	Performance du bâti	33
E.	Bâtiment H.....	34
a)	Analyse du bâti.....	34
b)	Performance du bâti	36
F.	Bâtiment L	37
a)	Analyse du bâti.....	37
b)	Performance du bâti	38
G.	Bâtiment N	39
a)	Analyse du bâti.....	39
b)	Performance du bâti	40
H.	Etanchéité à l'air.....	40
7.	Equipements techniques.....	42
A.	Climatisation.....	42
a)	Description des équipements	42
b)	Mesures électriques.....	44
c)	Entretien de la climatisation	45
d)	Confort thermique	46
B.	Ventilation	46
C.	Eclairage	47
D.	Bureautique.....	48
E.	Autres	49
8.	Solutions d'améliorations	51

A.	Recommandation n°1 : Optimiser les heures de fonctionnement des systèmes de climatisation du site	51
B.	Recommandation n°2 : Installation d’horloge sur la climatisation du bâtiment H.....	52
C.	Recommandation n°3 : Améliorer l’identification des équipements dans les tableaux électriques, déterminer les équipements responsables du talon de puissance et optimiser leur fonctionnement	53
D.	Recommandation n°4 : Ajouter du sous-comptage sur la climatisation de chaque bâtiment	54
E.	Recommandation n°5 : Remplacement des serveurs par des modèles plus performants.....	55
F.	Recommandation n°6 : Mettre un split pour les archives du bâtiment H	56
G.	Recommandation n°7 : Mettre en place des brasseurs d’air / ventilateurs dans les bureaux	57
H.	Recommandation n°8 : Réduire les apports solaires par la toiture des bâtiments DEF et G avec une peinture thermo-réfléchissante	58
I.	Recommandation n°9 : Poursuivre le relamping LED des bâtiments.....	59
J.	Recommandation n°10 : Mettre en place un film micro perforé blanc sur les vitrages de la façade Sud-Est des bâtiments B, DEF et toutes les vitrages du bâtiment L	60
K.	Recommandation n°11 : Pose de protection solaires sur les fenêtres de la façade Sud-Est des bâtiments B, DEF et toutes les fenêtres du bâtiments L	61
L.	Recommandation n°12 : Remplacement du groupe froid du bâtiment N par un modèle plus performant et passage à un système à débit variable	62
M.	Recommandation n°13 : Installer une centrale de production photovoltaïque en toiture.....	63
9.	Scénarios de travaux.....	65
A.	Recommandations faciles à réaliser.....	66
B.	Recommandations avec les investissements les plus rentables et simples à réaliser	67
C.	Recommandations les plus complexes permettant d’atteindre une réduction de coût plus ambitieuse	69
	ANNEXES.....	71

Synthèse des résultats

<p>Performance énergétique réelle</p>	<p><u>Ensemble du site :</u> 490 496 kWh/an 110 kWh/m².an 99 911 €TTC/an Niveau global de performance moyen (150 kWh/m².an sur des bâtiments de bureaux en Martinique avec un taux d'occupation proche de 100%) Taux de présence des agents faible (52%)</p>		<p><u>Par bâtiment</u></p>  <table border="1"> <caption>Données du graphique Par bâtiment</caption> <thead> <tr> <th>Bâtiment</th> <th>Consommation (kWh/m².an)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>B</td><td>137</td></tr> <tr><td>C</td><td>10</td></tr> <tr><td>DEF</td><td>73</td></tr> <tr><td>G</td><td>44</td></tr> <tr><td>H</td><td>110</td></tr> <tr><td>L</td><td>124</td></tr> <tr><td>N</td><td>130</td></tr> </tbody> </table>	Bâtiment	Consommation (kWh/m ² .an)	B	137	C	10	DEF	73	G	44	H	110	L	124	N	130
Bâtiment	Consommation (kWh/m ² .an)																		
B	137																		
C	10																		
DEF	73																		
G	44																		
H	110																		
L	124																		
N	130																		
<p>Répartition des consommations</p>	<p><u>Par usage</u></p>  <p><u>Par bâtiment</u></p>  <p>→ Le poste de climatisation est le poste le plus énergivore (39%) → La consommation résiduelle des équipements (talon de puissance non suivi) est le deuxième poste de consommation (26%) → Le serveur représente 19% des consommations.</p>																		
<p>Ratios par usages</p>	<p><u>Usage :</u> <i>Puissance installée :</i> <i>Consommation spécifique :</i></p>	<p><u>Climatisation :</u> 176 Wf/m² 59 kWh/m² climatisés.an</p>	<p><u>Eclairage :</u> 6,4 W/m² 6,8 kWh/m².an</p>																
<p>Principales qualités</p>	<ul style="list-style-type: none"> Présence d'horloge sur la majorité de la climatisation du site Mise en place progressive de luminaires performants 																		
<p>Principaux défauts</p>	<ul style="list-style-type: none"> Absence de protections solaires sur plusieurs bâtiments Talon de puissance très élevé Systèmes de climatisation centralisés vétustes 																		
<p>Scénarios Economies Investissement Temps retour</p>	<p>Scénario 1 60 506 kWh/an (-12%) 4 700 € Immédiat</p>	<p>Scénario 2 105 444 kWh/an (-21%) 65 427 € 3 ans</p>	<p>Scénario 3 275 721 kWh/an (-56%) 387 386 € 7 ans</p>																

1. Introduction

Dans le cadre des objectifs fixé par le gouvernement dans le décret tertiaire, la DEAL souhaite poursuivre dans cette démarche d'économie d'énergie.

Deux audits énergétiques ont déjà été réalisés (en 2011 et 2018) et des actions ont été mises en place. A travers cette mission, la DEAL souhaite atteindre les objectifs de :

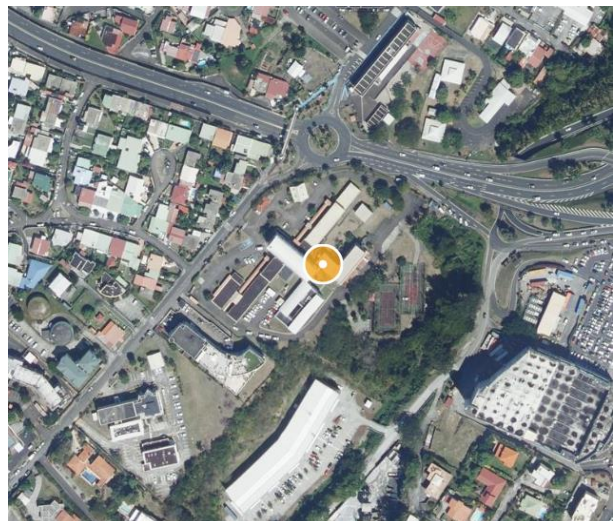
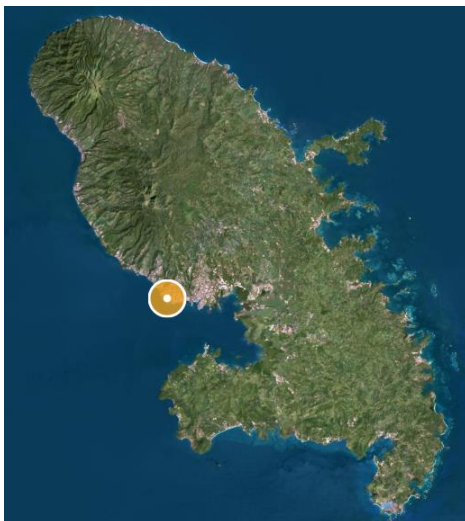
- Baisse de 10% de ses consommations d'ici fin 2024
- Réduction de ses consommations d'énergie de 40% d'ici 2050 pour atteindre la neutralité carbone, dans un contexte de hausse substantielle des besoins en électricité
- Réduction de ses émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation du patrimoine immobilier de 75% à l'échéance 2050.

L'audit énergétique a porté sur le site de la DEAL (les bâtiments B, C,D,E,F,G,L,N et H) situés à la Pointe de Jaham à Schoelcher afin de :

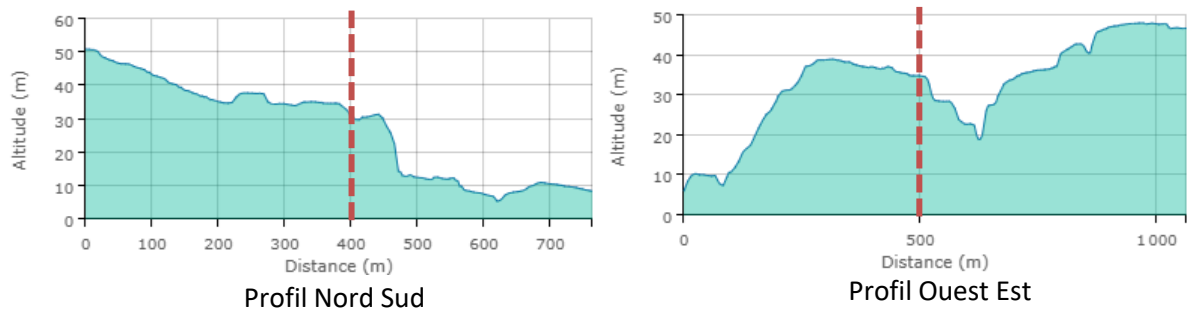
- Déterminer **la performance énergétique et le profil de consommation** actuels des bâtiments ;
- Evaluer les **gains énergétiques réalisés depuis 2018** ;
- Caractériser **la répartition des consommations** énergétique par usage (climatisation, éclairage, bureautique, autres usages...) ;
- Evaluer **l'impact du bâti, des équipements et des comportements** sur le niveau de performance ;
- Proposer **des solutions d'amélioration par poste** de consommation, les caractériser et les quantifier ;
- Identifier de **nouvelles sources d'économie d'énergie** ;
- Formuler trois scénarios de travaux ou **plans d'actions énergétiques**.

2. Présentation de l'établissement

Le site de la DEAL étudié est situé à la Pointe de Jaham dans la commune de Schoelcher.

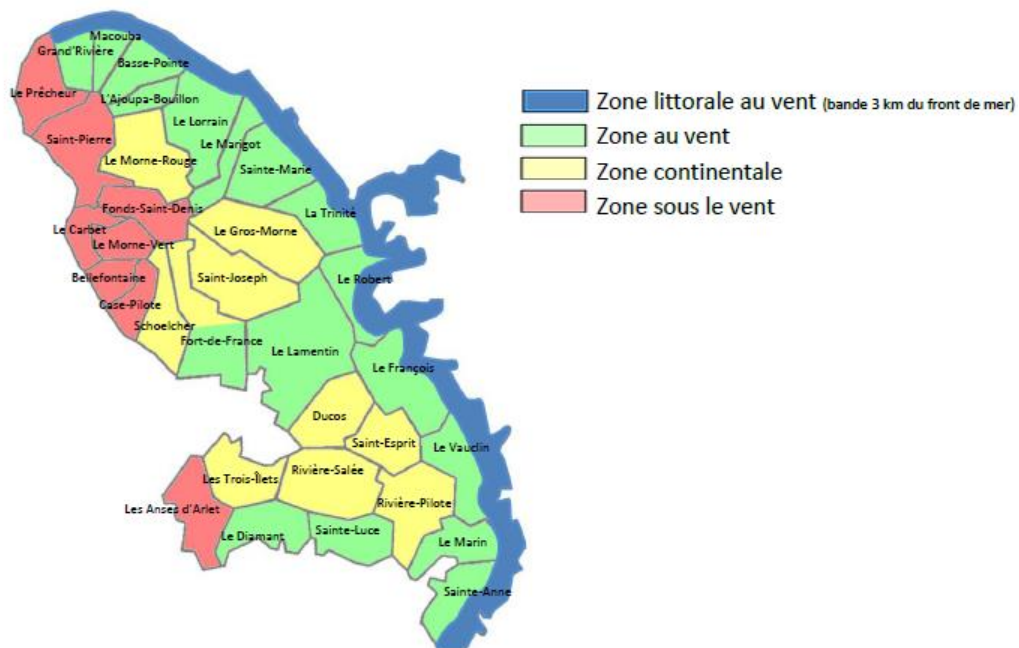


A. Profils altimétriques



Source : Géoportail

B. Données de vent

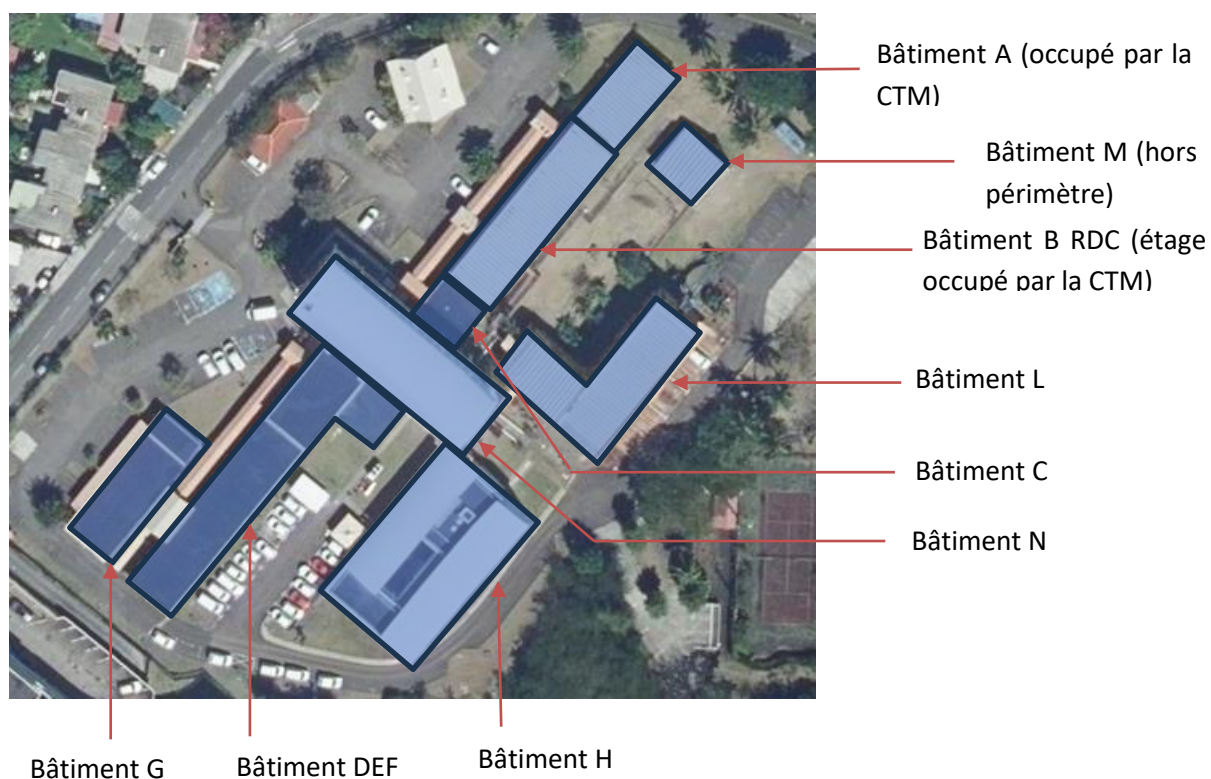


Source : RTM

C. Présentation du site

Le site de la DEAL à la Pointe de Jaham est composé de 10 bâtiments :

Le périmètre de cette étude englobe les bâtiments B (Rez-de-chaussée), C, DEF, G, H, N et L.



Bâtiment	Surface de plancher (m ²)	%	Surface climatisée (m ²)
B	233	5,2	176
C	62	1,4	50
DEF	762	17,1	610
G	194	4,3	158
H	1146	25,6	712
L	1082	24,2	847
N	990	22,2	676
TOTAL	4 469		3 228

Surface totale du site : 4 469 m²

D. Photos des bâtiments



Bâtiment B



Bâtiment C



Bâtiment H (Sud-Est)



Bâtiment H



Bâtiment N



Bâtiment G



Bâtiment L



Bâtiment DEF



3. Campagne de mesures

L'objectif de la campagne de mesure est de pouvoir suivre l'ensemble des grandeurs physiques (puissance, intensité, tension,...) des principaux postes de consommation électrique. Pour cela, plusieurs compteurs ont été mis en place à différentes périodes.

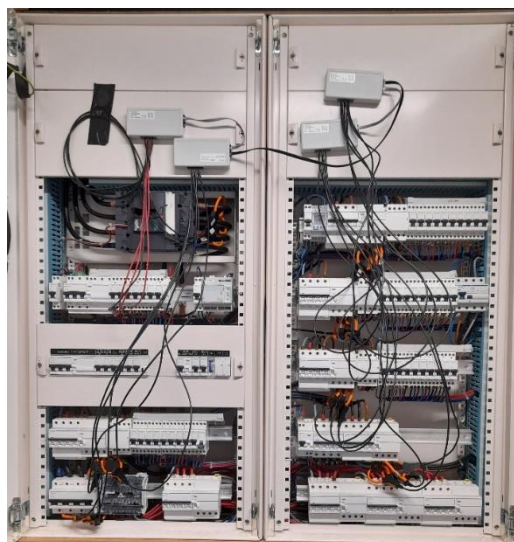
a) Matériel utilisé

L'enregistreur MultiVoies a permis d'accéder à plusieurs informations telles que la tension, le courant, la puissance, la tension entre phase à des pas de temps de la seconde à l'heure.

Pinces utilisées pour les mesures :

- Capteur SCT10M 90 ampères
- Mini pince ouvrable 90 ampères
- Capteur tore flexible 520 ampères

Ces pinces sont reliées à des boîtiers enregistreurs (master) qui peuvent enregistrer jusqu'à 3ans de mesures avec un pas de temps à la seconde.



b) Plan de comptage

En accord avec la maîtrise d'ouvrage, afin de limiter le coût de la campagne de mesures il a été décidé de suivre en détail uniquement le général de chaque bâtiment ainsi que l'ensemble des systèmes de climatisation. Certains équipements très consommateurs comme le serveur du bâtiment L ou les bornes de recharge des véhicules électriques ont également été suivis spécifiquement pour affiner les résultats.

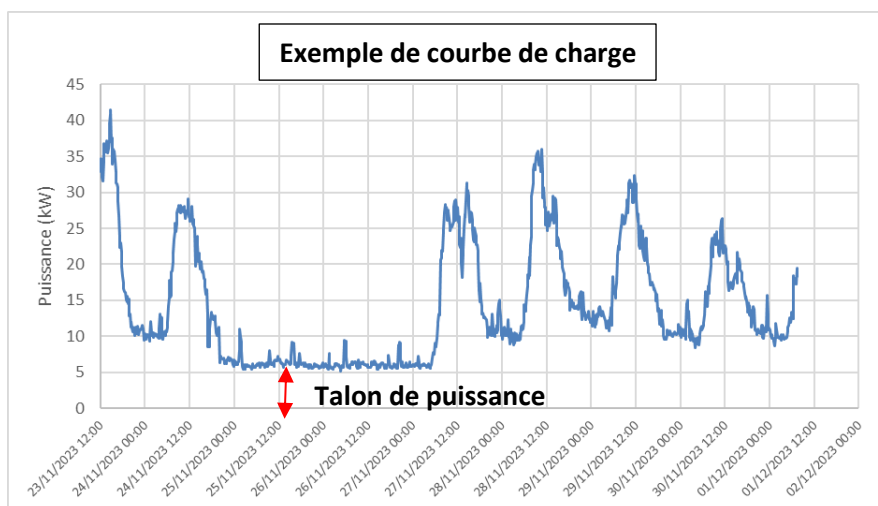
La campagne de mesure a été effectuée entre le 23 novembre et le 8 décembre sur 41 départs soit 123 points de mesures (triphase). Les compteurs ont été posés sur les disjoncteurs des différents tableaux électriques de chaque bâtiment. Le détail du plan de comptage est disponible en Annexes.

L'éclairage et la bureautique ont fait l'objet de mesures ponctuelles par échantillonnage pour observer les tendances d'utilisation mais la consommation de ces usages a été estimée à partir de l'inventaire des puissances installées (nombre de luminaires par pièces, ordinateurs, écrans,...) et d'un scénario d'utilisation. Celui-ci a été défini en prenant en compte la particularité du fonctionnement du site avec une grande partie des agents qui font du télé-travail. Le taux de présence des agents sur une semaine type a été validé avec la maîtrise d'ouvrage :

	Taux de présence des agents
Lundi	40%
Mardi	50%
Mercredi	40%
Jeudi	80%
Vendredi pm	50%

c) Talon de puissance

Le fait de ne pas suivre l'intégralité des équipements lors de la campagne de mesure implique d'avoir une part de consommation non identifiée significative dans les résultats. Cependant grâce aux mesures effectuées sur le général de chaque bâtiment, il est possible d'identifier le « talon de puissance » qui est visible uniquement lorsque le site est inoccupé. Il s'agit d'une puissance continue (24h/24) qui correspond à la consommation résiduelle d'énergie des différents équipements. Sur l'exemple ci-dessous on observe un talon de puissance de 5 kW qui est présent 24h/24 (bien que visible uniquement le weekend), ce qui représente une consommation très importante sur toute l'année :



Lors de l'instrumentation, nous nous sommes rendu compte qu'une grande partie de la consommation des bâtiments provenait du talon de puissance des bâtiments. Une visite complémentaire a donc été réalisée à la suite de la période de mesure afin d'essayer d'identifier les sources de consommation de ce talon à partir de mesures ponctuelles mais du fait d'une mauvaise signalétique des départs sur les tableaux électriques nous n'avons pu en identifier qu'une partie. Une investigation plus poussée serait nécessaire pour identifier avec certitude les équipements correspondant.

Dans les graphiques du chapitre 4, la catégorie appelée « talon de puissance non suivi » correspond à la consommation du talon qui n'a pas pu être identifiée avec certitude.

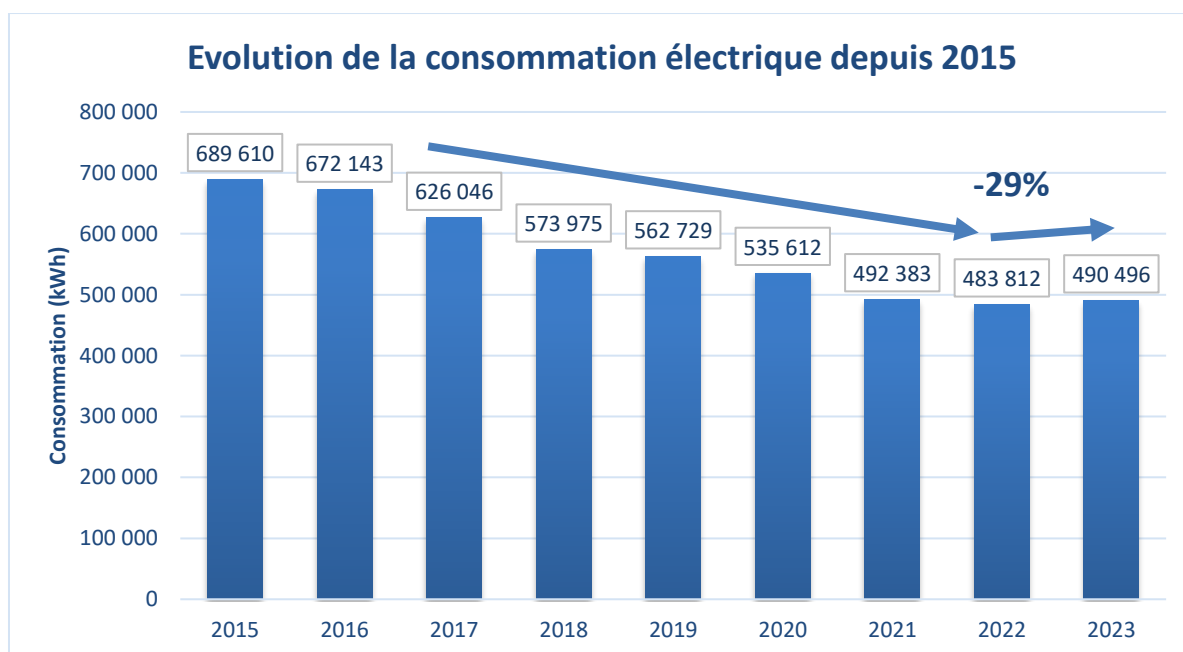
4. Bilan énergétique du site

A. Consommations annuelles et niveau de performance

La consommation en 2023 est d'environ 490 MWh soit l'émission de 276 tonnes équivalent CO₂. Cela représente une consommation de **110 kWh/m².an** soit un ratio équivalent à un niveau de performance moyen.

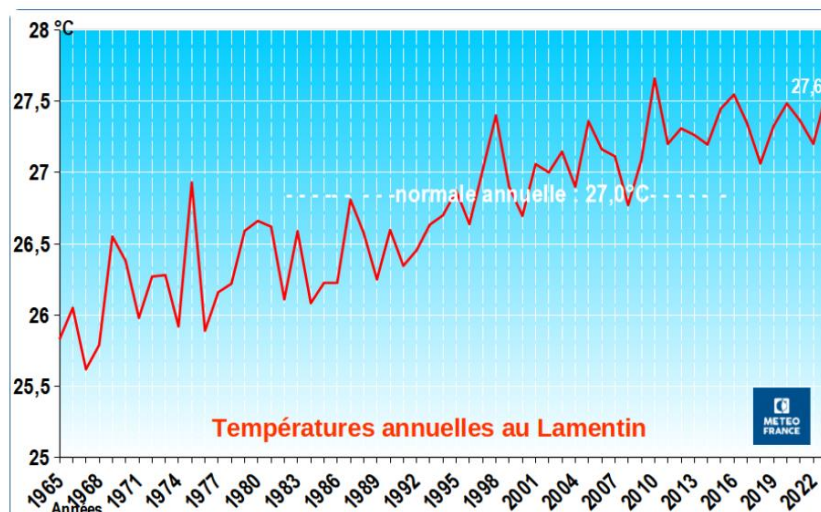
La consommation moyenne d'un bâtiment de bureaux en Martinique avec un taux d'occupation proche de 100% est de l'ordre de 150 kWh/m².an. Les bâtiments de la DEAL bénéficient d'un taux d'occupation plus faible qui permet de limiter la consommation énergétique, ce qui explique ce ratio plus faible que la moyenne.

Grâce aux données de consommations que nous a transmis la DEAL ainsi que les feuillets de gestion des 3 dernières années, nous voyons une diminution de la consommation du site depuis 2015 d'environ 30%.



Sur l'année 2023, on constate une légère augmentation par rapport à 2022. Il est possible que cela provienne de la climatisation car l'année 2023 a été plus chaude que 2022 (0,4°C de plus en moyenne sur l'année).

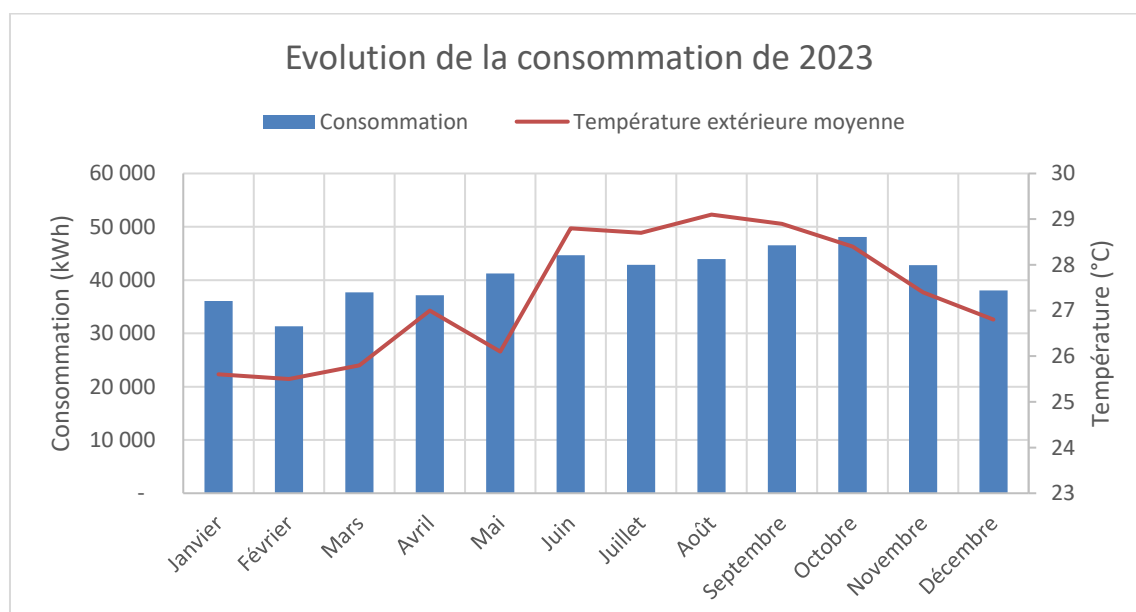
De plus, en 2022 des bornes de recharge de véhicule électrique ont été installées. D'après nos mesures (Cf. b) Répartition par usage, page 16), les bornes représentent environ 7 000 kWh.



Extrait du bulletin annuelle Météofrance 2023

B. Evolution annuelle et facteurs d'influence

La consommation de tout bâtiment présente une saisonnalité. Cette saisonnalité est liée à l'utilisation du bâtiment et à l'impact des conditions climatiques extérieures (température, vent,...) sur la consommation de climatisation. Ci-dessous, on a représenté la consommation totale mensuelle sur l'année 2023 ainsi que la température moyenne de chaque mois.



On constate que la consommation tout comme la température, est à son minimum sur le début de l'année.

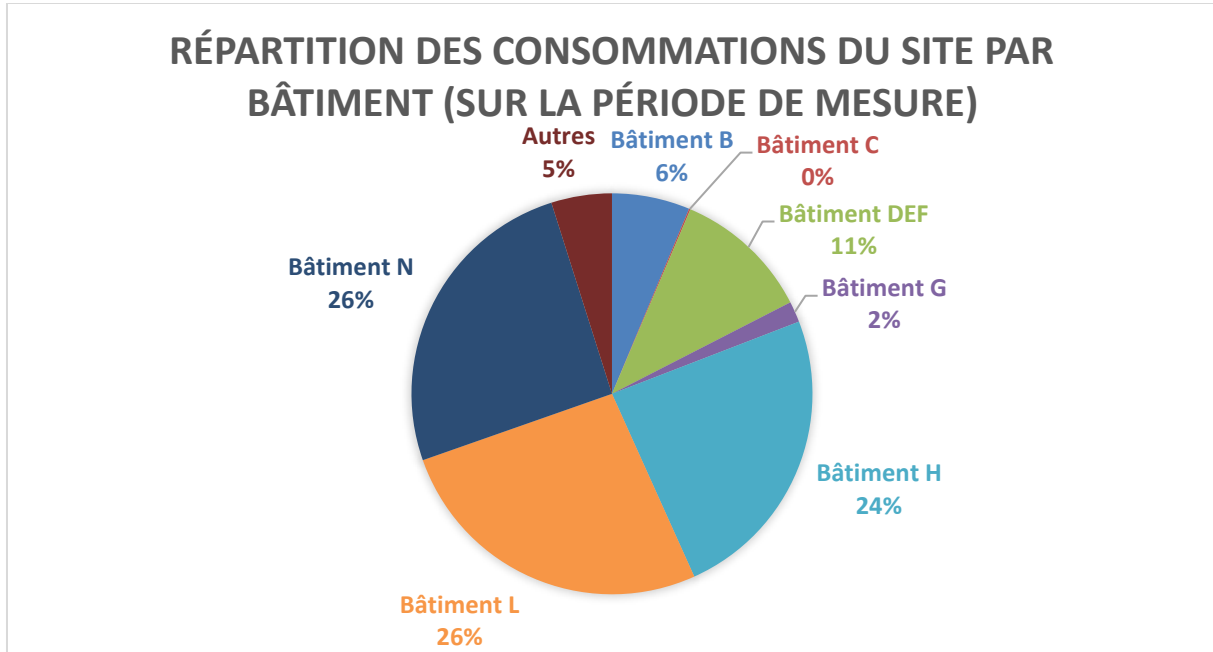
Les mois les plus chauds sont de juin à octobre. La consommation du site est également la plus élevée pendant cette période. On peut tout de même voir une légère baisse de consommation en juillet et août. Ceci est certainement dû aux congés des agents pendant les grandes vacances.

Sur les mois de novembre et décembre, la température extérieure ainsi que les consommations baissent.

C. Répartition des consommations

a) Répartition par bâtiment

A partir de la campagne de mesures, nous avons pu identifier la répartition de consommation par bâtiment ci-dessous :

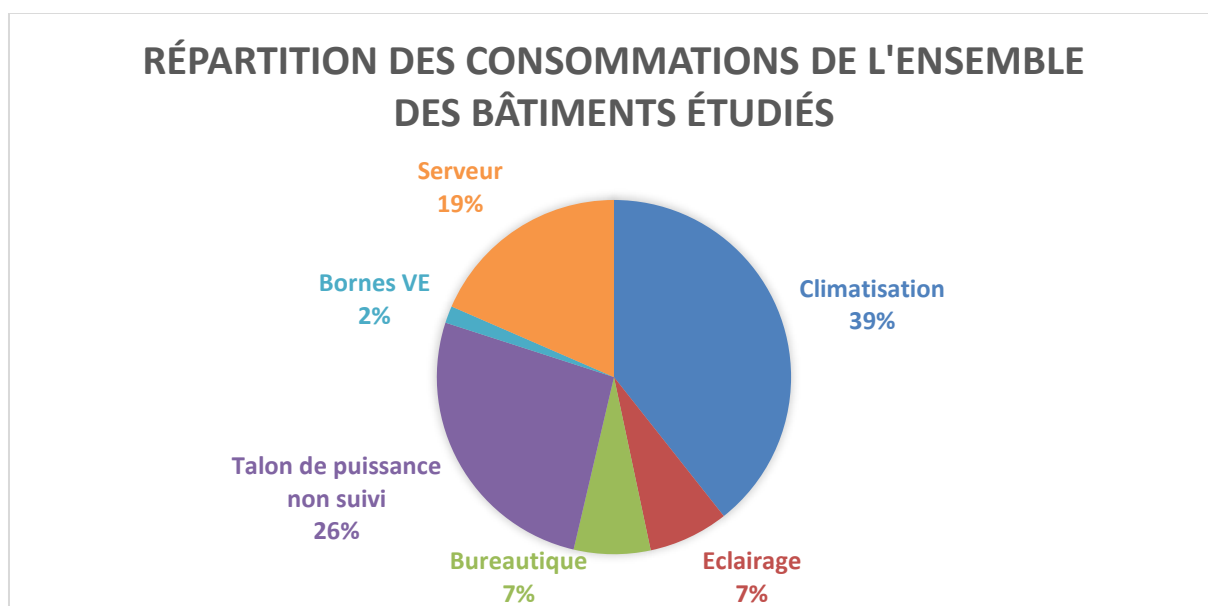


- Cette répartition a été calculée à partir des mesures réalisées entre le 23 novembre et le 8 décembre : nous avons mesuré séparément la consommation générale de tous les bâtiments.
- Les bâtiments H, L et N ont sensiblement la même consommation et sont les plus énergivores du site avec chacun plus d'un quart des consommations du site soit $\frac{1}{4}$ des consommations du site.
- Les bâtiments B, C, DEF et G représentent le quart restant des consommations.
- Dans « *Autres* », on retrouve les consommations des locaux gardien et ménage. Ces locaux n'ont pas fait l'objet de mesure.

La répartition de la consommation et de la facture énergétique annuelle par bâtiment est la suivante :

B	C	DEF	G	H	L	N
31 859 kWh	596 kWh	56 064 kWh	8 492 kWh	122 300 kWh	133 638 kWh	129 175 kWh
5 994 €	99 €	10 990 €	1 998 €	23 978 €	25 976 €	25 976 €

b) Répartition par usage



- Le plus gros poste de consommation est la climatisation avec 39% des consommations totales du site. Cette proportion de climatisation est normale sur ce type de bâtiment.
- Plus d'un quart des consommations font partie du « talon de puissance non suivi » du site qui correspond à la consommation résiduelle d'énergie des équipements. Cette consommation semble provenir de différents équipements (réseau ondulé, salle de reprographie, quelques climatiseurs mal répertoriés, prises courants,...). Une investigation plus poussée serait nécessaire pour identifier avec certitude les équipements correspondant.
- La salle des serveurs présente au bâtiment L est le troisième poste de consommation et représente 19% des consommations totales du site.
- La consommation de l'éclairage (6%) et de la bureautique (6%) est secondaire par rapport aux autres usages.

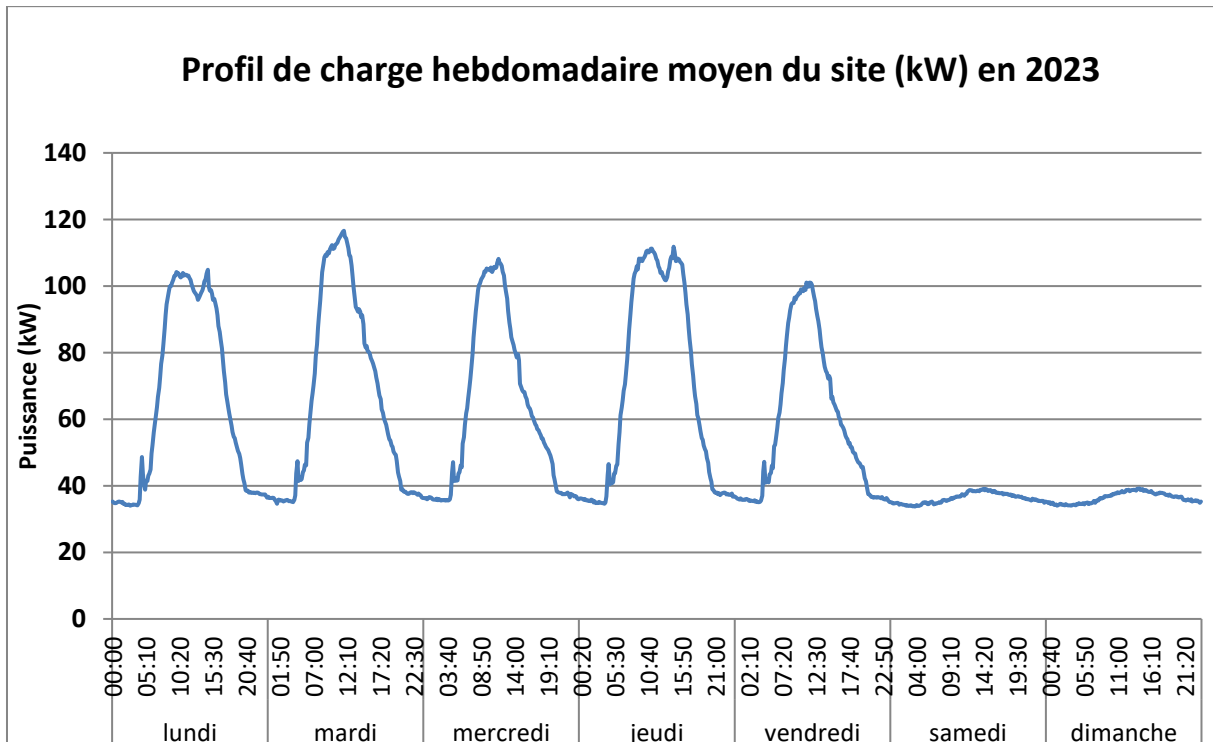
La répartition de la consommation et de la facture énergétique annuelle par usage est la suivante :

Usages	Consommation	Coût	Emissions de GES
Climatisation	191 172 kWh	38 940 €	107,6 t _{eq} CO ₂
Eclairage	37 119 kWh	7 560 €	20,8 t _{eq} CO ₂
Bureautique	35 546 kWh	7 240 €	19,9 t _{eq} CO ₂
Talon de puissance non suivi	127 808 kWh	26 033 €	71,9 t _{eq} CO ₂
Bornes VE	7 551 kWh	1 538 €	4,2 t _{eq} CO ₂
Serveur	89 740 kWh	18 279 €	50,5 t _{eq} CO ₂

D. Profil de charge

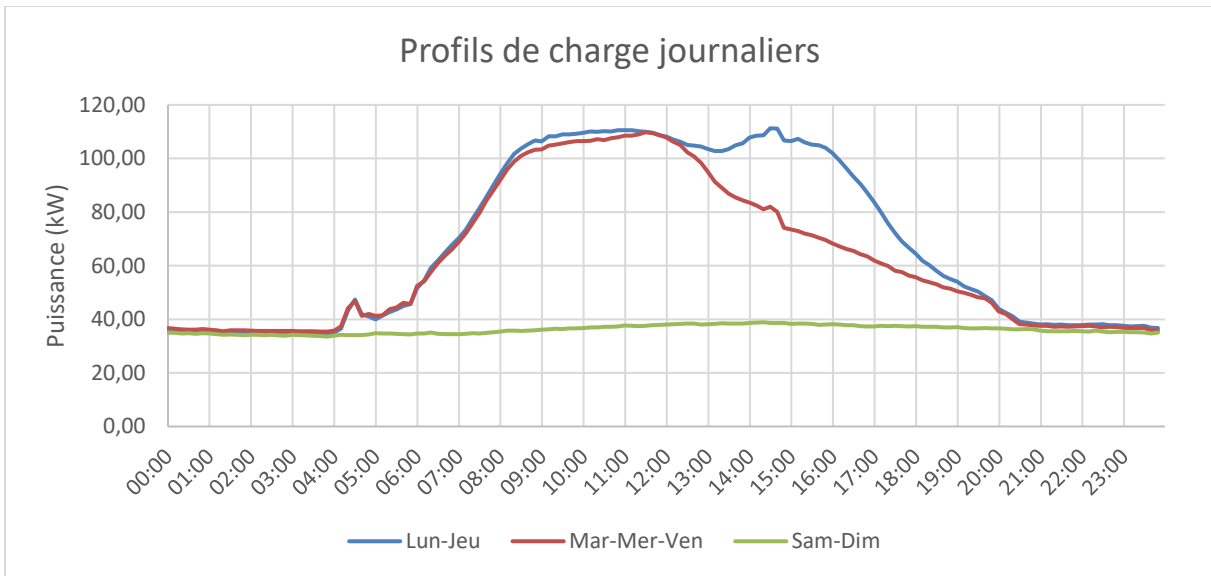
a) Profil hebdomadaire moyen et journée type

A partir du TOP10 de l'année 2023, nous avons fait une moyenne des consommations minute par minute et jour par jour (en évitant les jours fériés) afin d'obtenir le profil de charge d'une semaine type.



- Le talon de puissance moyen sur l'année est d'environ 34 kW. Pour un site tertiaire de bureaux, ce talon de puissance est très élevé.
- On retrouve 3 profils de journées liés aux changements d'occupation du site :
 - Le lundi et le jeudi : les agents font des journées longues
 - Le mardi, mercredi et vendredi : les agents font des journées courtes
 - Le samedi et le dimanche : le site est inoccupé

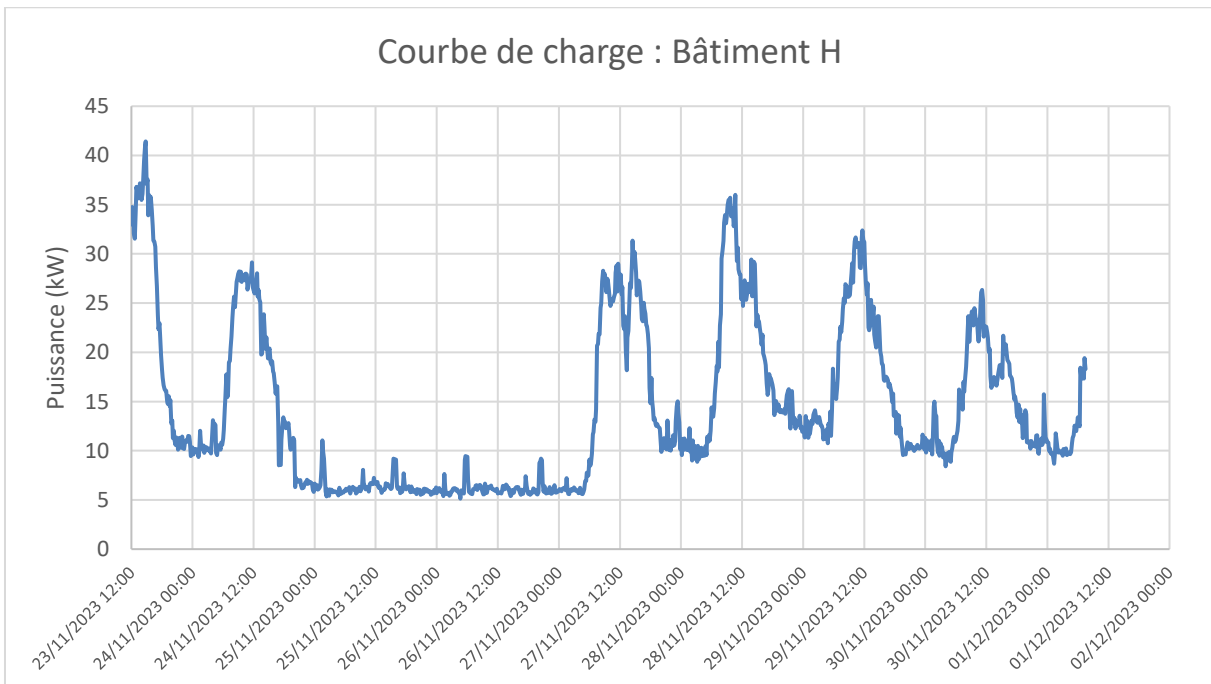
b) Profils journaliers



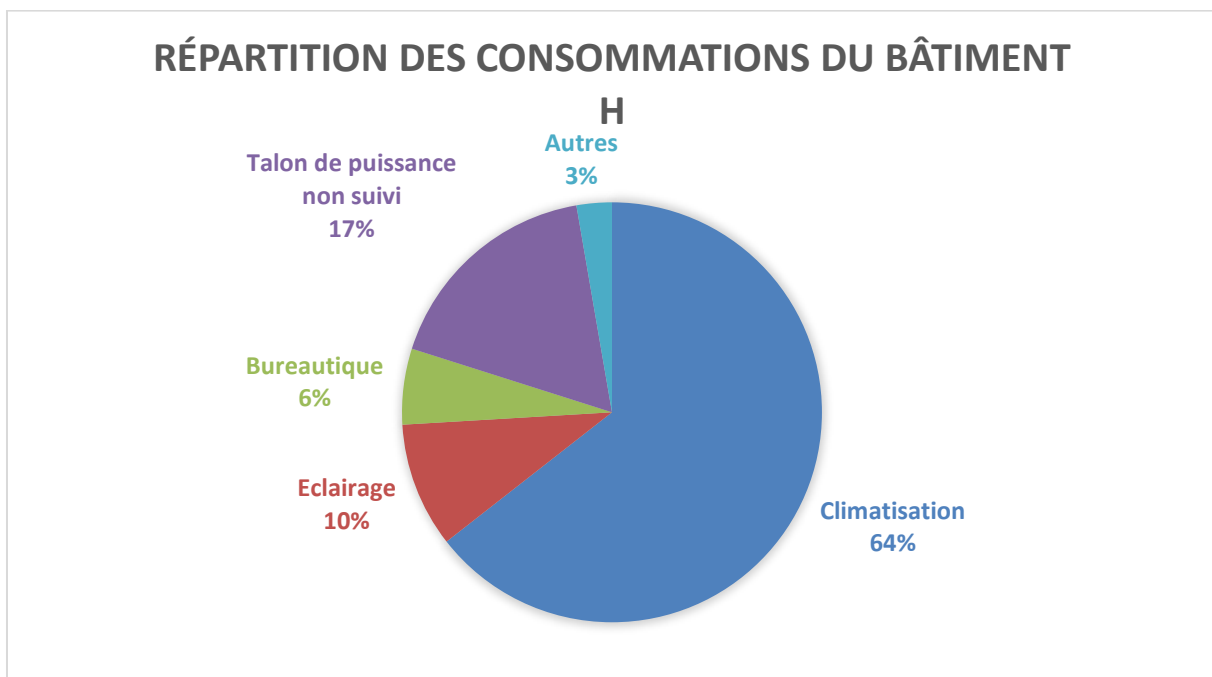
- Sur les profils de charge du lundi au vendredi, on constate un léger pic de consommation à 4h30. Lors de la période de mesures réalisée dans le cadre de l'audit, ce pic n'a pas été observé.
- Dans le premier profil, les journées sont les plus longues. On observe une baisse des consommations entre 12h et 14h, moment de la pause méridienne.
- Dans le deuxième profil, les consommations sont moindres l'après-midi.

5. Bilan énergétique par bâtiment

A. Bâtiment H

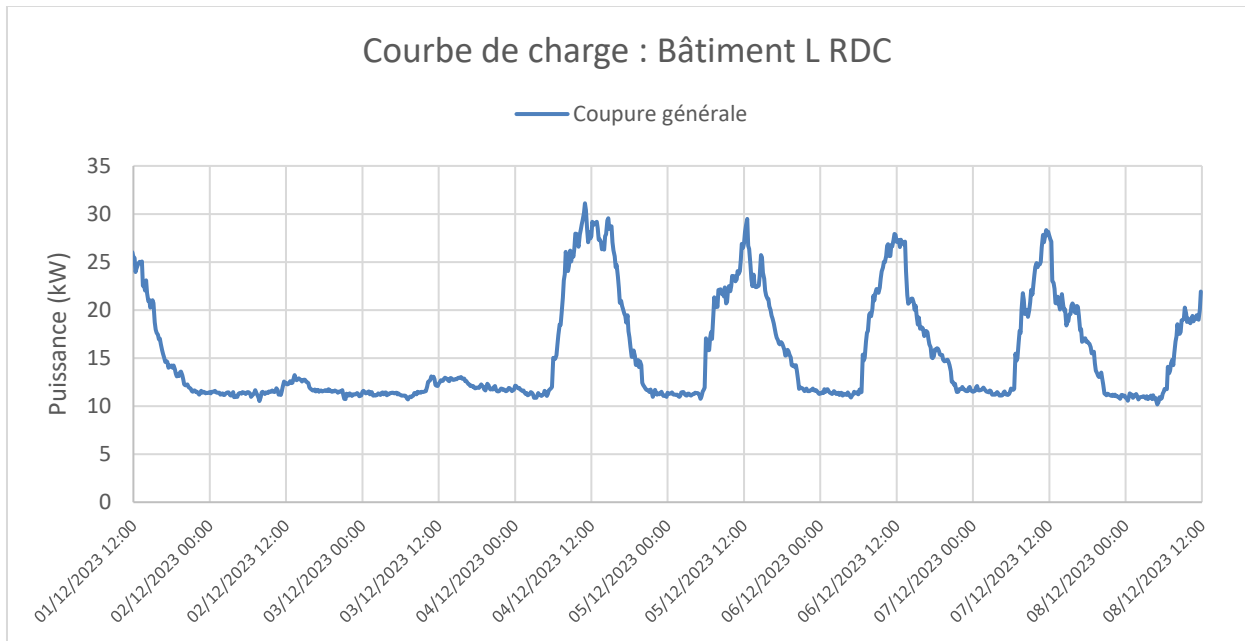


- La puissance augmente sensiblement aux alentours de 6h du matin avec la mise en fonctionnement de la climatisation et des différents équipements. La puissance maximum varie chaque jour mais atteint environ 30kW en milieu de journée avant de redescendre en fin d'après-midi.
- On observe un talon de puissance d'environ 5,1kW le week-end et de 10kW le soir en semaine. En semaine, cette différence de talon provient majoritairement de la climatisation qui reste en fonctionnement.
- Le week-end, une partie de ce talon est dédiée au rafraîchissement des salles d'archives (climatisées 24h/24).
- Une puissance talon d'environ 2,5 kW n'est pas issue de la climatisation. Une partie semble provenir des prises de courant (environ 20%) mais une investigation plus poussée serait nécessaire pour identifier les équipements correspondant.

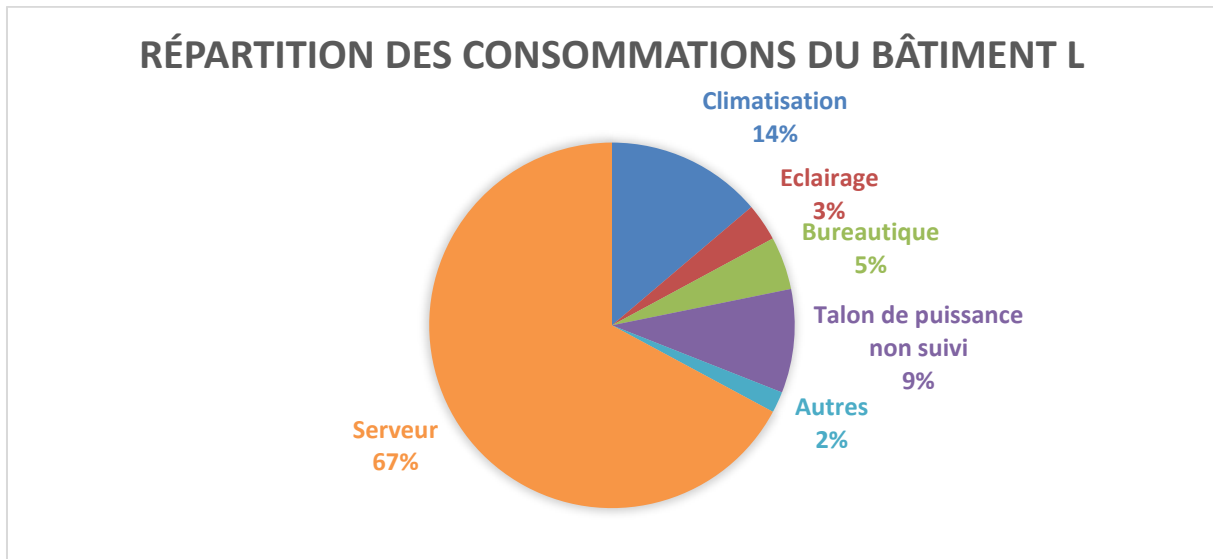


- La climatisation représente 64% des consommations du bâtiment.

B. Bâtiment L

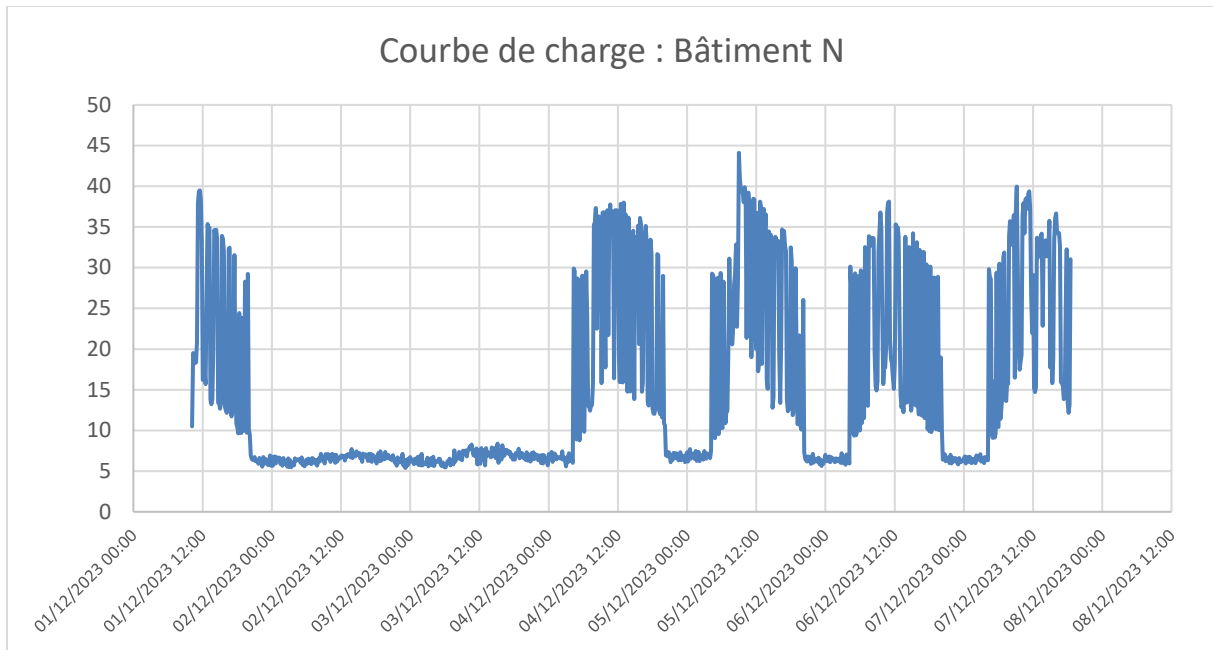


- La puissance augmente sensiblement aux alentours de 6h du matin avec la mise en fonctionnement de la climatisation et des différents équipements. La puissance maximum atteint entre 25 et 30kW en milieu de journée avant de redescendre en fin d'après-midi.
- Le week-end et le soir, on observe un talon de puissance d'environ 11kW. Il est principalement dû à l'alimentation de la salle serveur.
- Une puissance talon d'environ 1,5 kW n'est pas issue du serveur. Les mesures complémentaires n'ont pas permis d'identifier la source. Une investigation plus poussée serait nécessaire pour identifier les équipements correspondant.

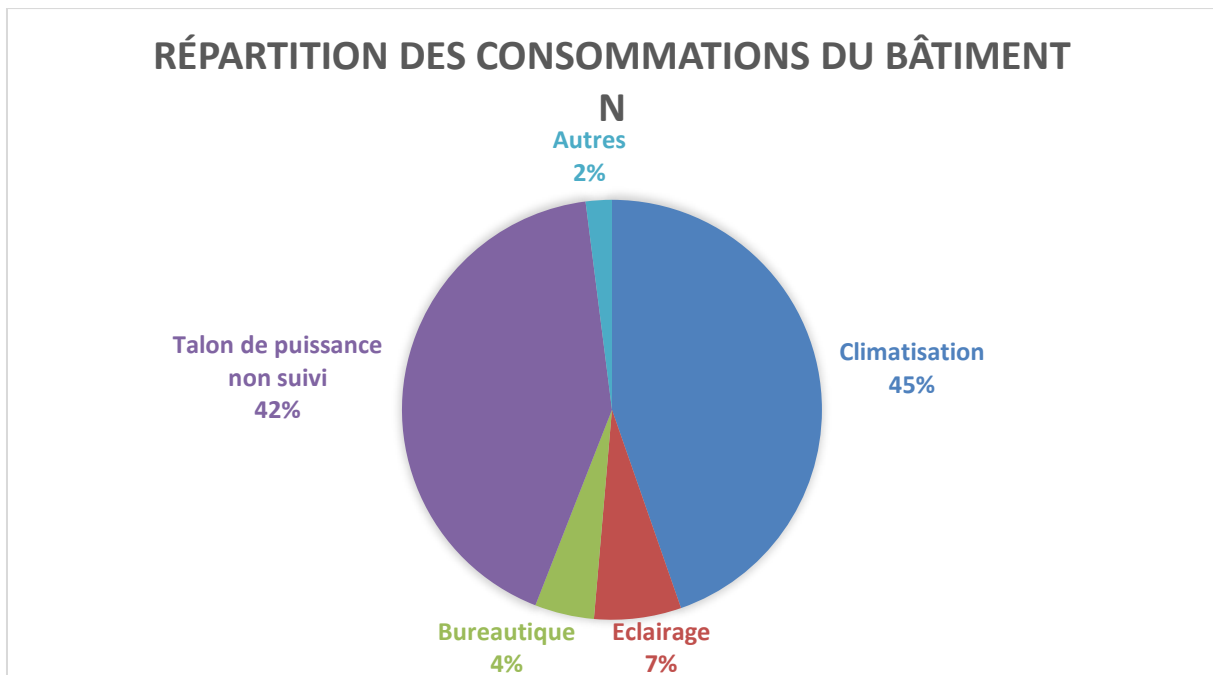


- La consommation de la salle serveur représente 67% de la consommation du bâtiment et 19% des consommations du site.

C. Bâtiment N

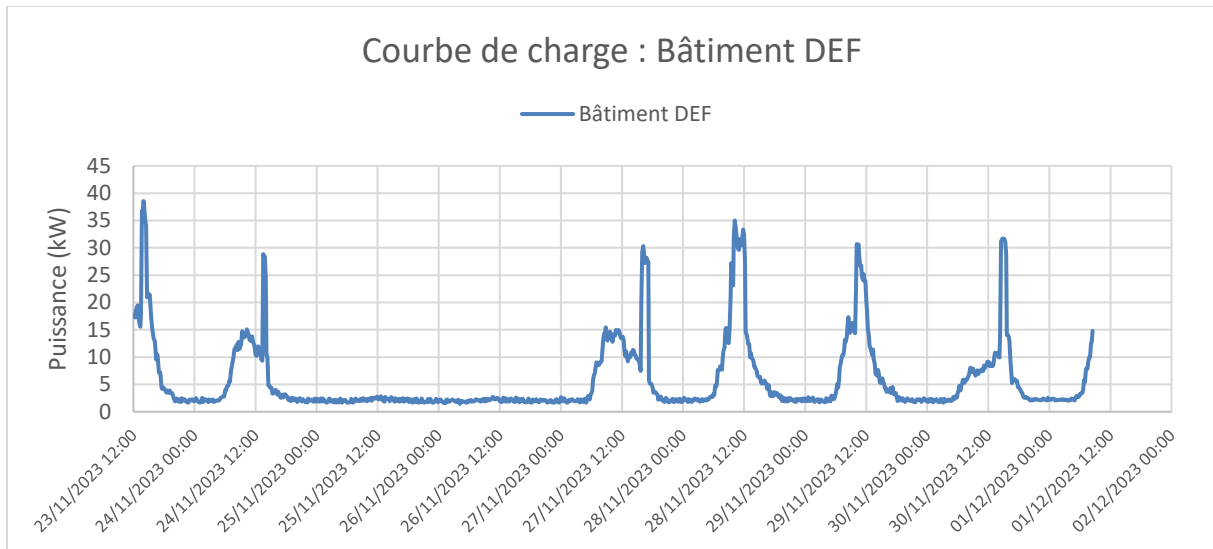


- La puissance augmente sensiblement aux alentours de 5h du matin avec la mise en fonctionnement de la climatisation et des différents équipements. La puissance maximum atteint entre 35 et 40kW en milieu de journée avant de redescendre en début de soirée.
- Le soir et le week-end, on observe un talon de puissance. Il ne provient pas du groupe froid qui fonctionne uniquement sur les heures d'occupation du bâtiment grâce à une horloge. Une partie semble provenir de la salle des onduleurs et de sa climatisation (environ 30%) mais une investigation plus poussée serait nécessaire pour identifier les équipements correspondant.

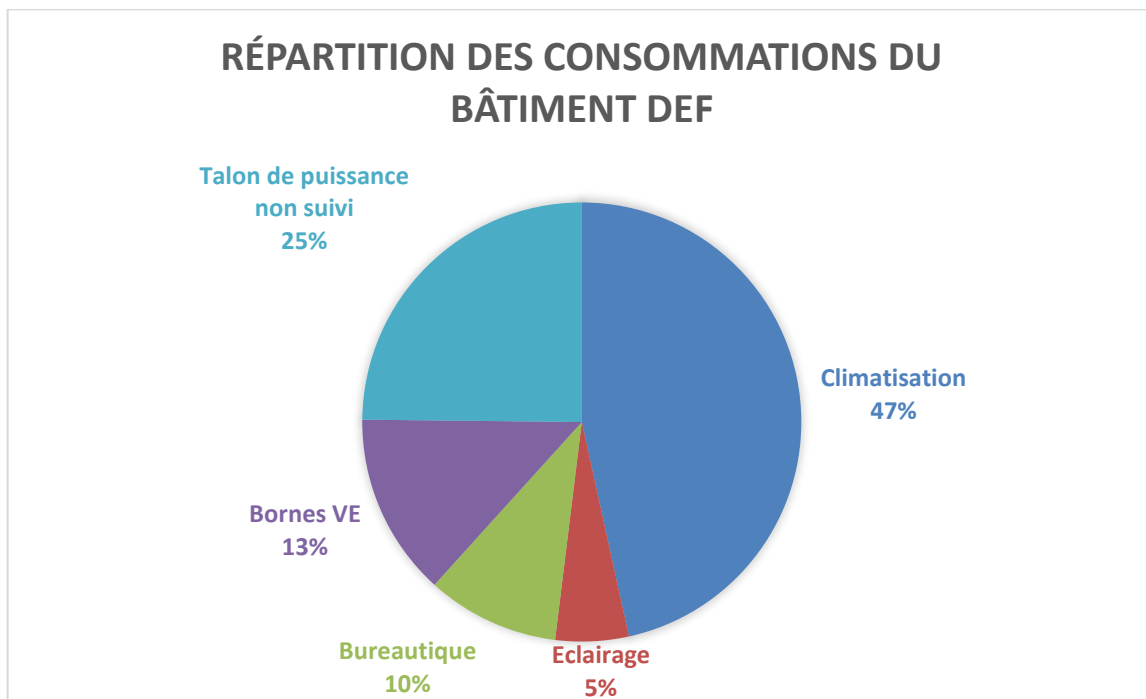


- La climatisation représente 45% de la consommation du bâtiment.

D. Bâtiment DEF

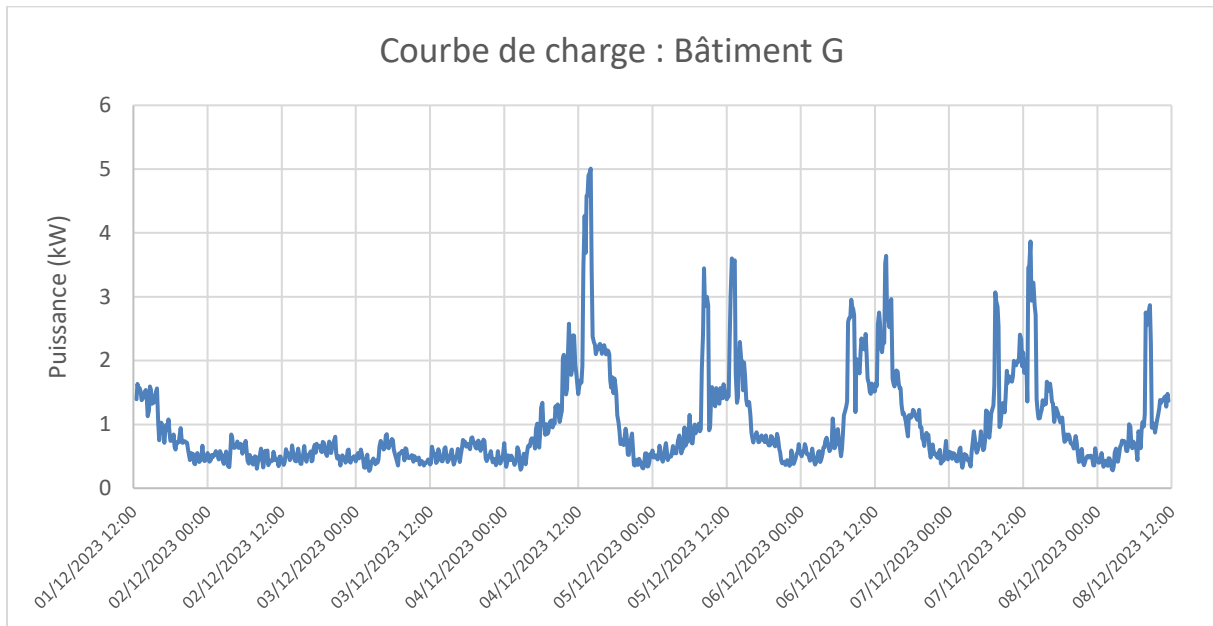


- La puissance augmente sensiblement aux alentours de 6h du matin avec la mise en fonctionnement de la climatisation et des différents équipements. Elle atteint environ 30kW en milieu de journée avant que la puissance redescende en fin d'après-midi.
- Le soir et le week-end, nous observons un talon de puissance non suivi de 2kW. D'après les mesures complémentaires que nous avons réalisées, il semble provenir majoritairement d'une imprimante et d'un split dans une petite pièce de reprographie ouverte sur le couloir non climatisé. Une investigation plus poussée serait nécessaire pour identifier les équipements correspondant.
- Sur chaque journée, on observe des pics de consommation d'environ 20 kW. On peut le voir le 23/11, le 24/11, le 27/11 et le 30/11 dans l'après-midi. Ces pics correspondent aux bornes de recharge des véhicules électriques rattachées à ce bâtiment.

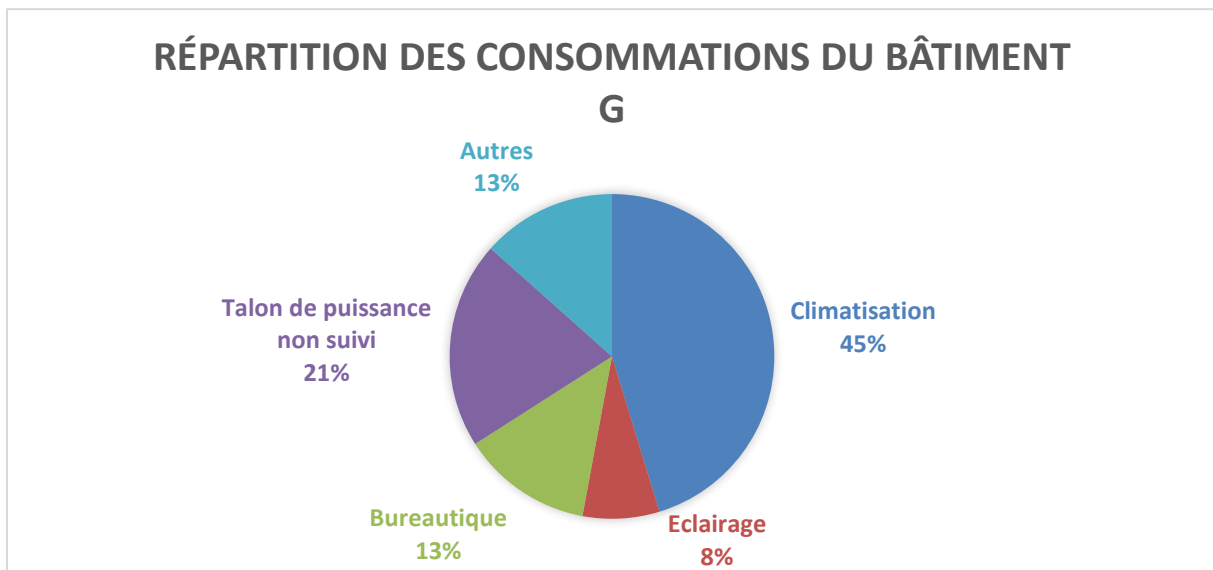


→ La climatisation représente un peu moins de la moitié de la consommation totale du bâtiment.

E. Bâtiment G

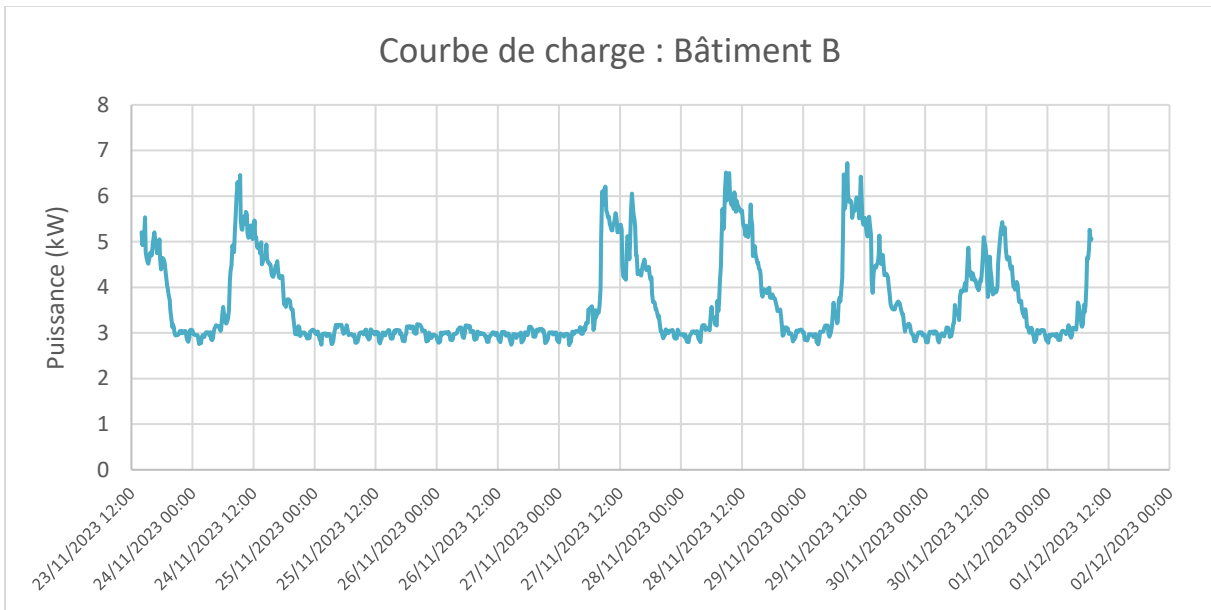


→ On observe un talon de puissance non suivi d'environ 500W. Il semble provenir de l'éclairage extérieur ainsi que de quelques équipements de la cuisine dont le réfrigérateur.

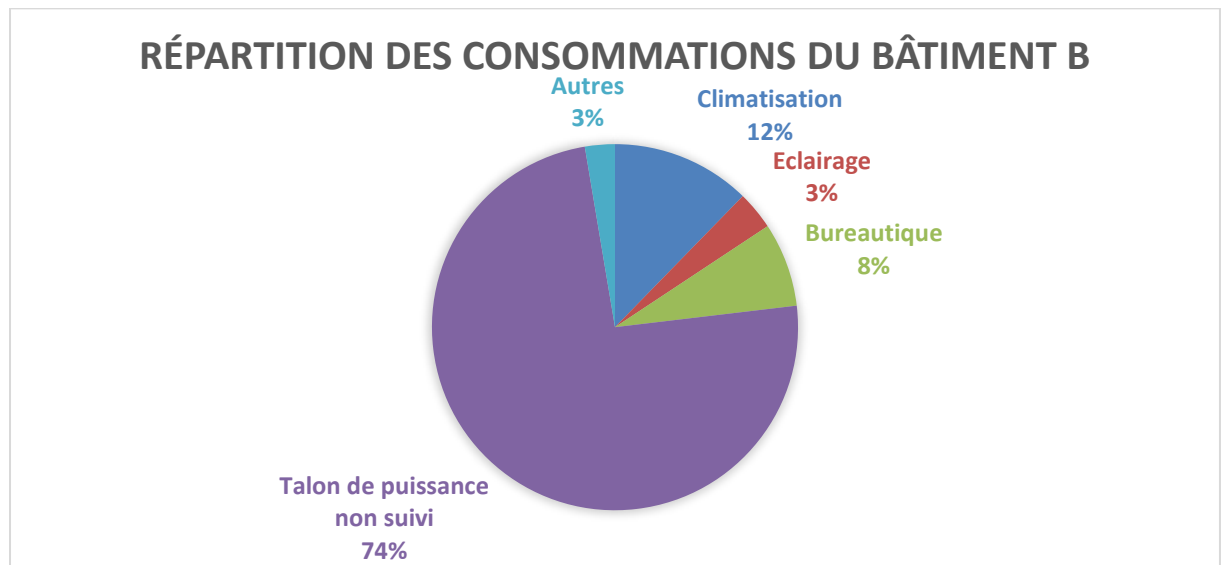


→ La climatisation représente un peu moins de la moitié de la consommation totale du bâtiment.

F. Bâtiment B

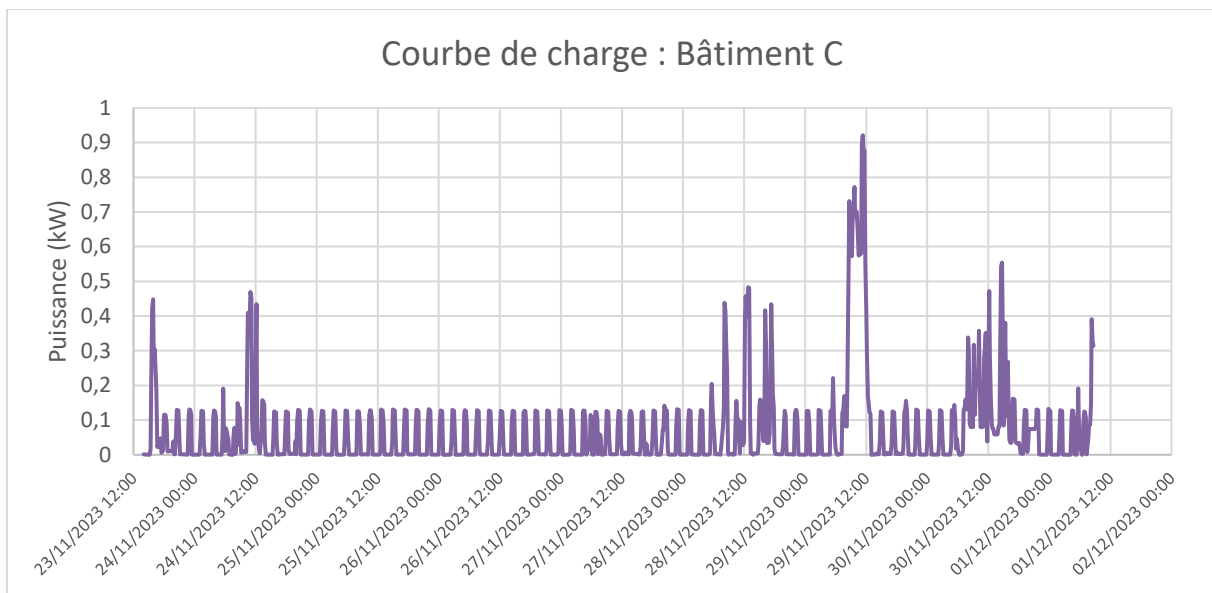


On observe un talon de puissance non suivi la nuit et le week-end de 3 kW. D'après les mesures complémentaires que nous avons réalisées, il semble que cela provienne principalement du réseau ondulé. Une investigation plus poussée serait nécessaire pour identifier les équipements correspondant.



- Lors de la campagne de mesures, un quart des climatiseurs de ce bâtiment était hors d'état de marche.
- Le talon de puissance non suivi d'environ 3kW représente près de trois quart des consommations du bâtiment. Lors de mesures instantanées, nous avons pu identifier que ce talon correspondait aux prises de courant simples, aux prises de courant ondulé et les onduleurs présents dans le bâtiment.

G. Bâtiment C



→ La nuit et le week-end, nous observons des pics de puissance réguliers de l'ordre de 130W. Ils semblent provenir du réfrigérateur.

6. Analyse du bâti

A. Bâtiment B

a) Description du bâti

Les bâtiments B et C sont une seule et même construction.



De l'extérieur, ces bâtiments sont liés et aucune séparation n'est visible. La séparation des bâtiments est intérieure, par une simple cloison. Ainsi, les caractéristiques sont les mêmes pour ces deux bâtiments.

Le bâtiment B est sur deux niveaux (RDC et R+1). Le rez-de-chaussée est utilisé par la DEAL et le R+1 est utilisé par la CTM. De ce fait, nous considérons qu'il n'y a aucun apport de chaleur par la toiture sur ce bâtiment.

Les murs sont des panneaux modulaires préfabriqués en structure acier et panneaux sandwich. Nous n'avons pas pu vérifier la composition de l'isolant à l'intérieur des panneaux mais on peut supposer qu'il s'agit de laine de roche d'une faible épaisseur dont la performance s'est probablement dégradée au fil des années (Résistance estimée = $0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).

Les baies sont en simple vitrage avec un film réfléchissant, dans un cadre en aluminium. En avant du bâtiment (façade orientée Nord-Ouest), les baies bénéficient d'un masque proche qui limite légèrement l'entrée des rayons du soleil directement dans le bâtiment. Les baies orientées Sud-Est ne sont pas protégées du soleil.



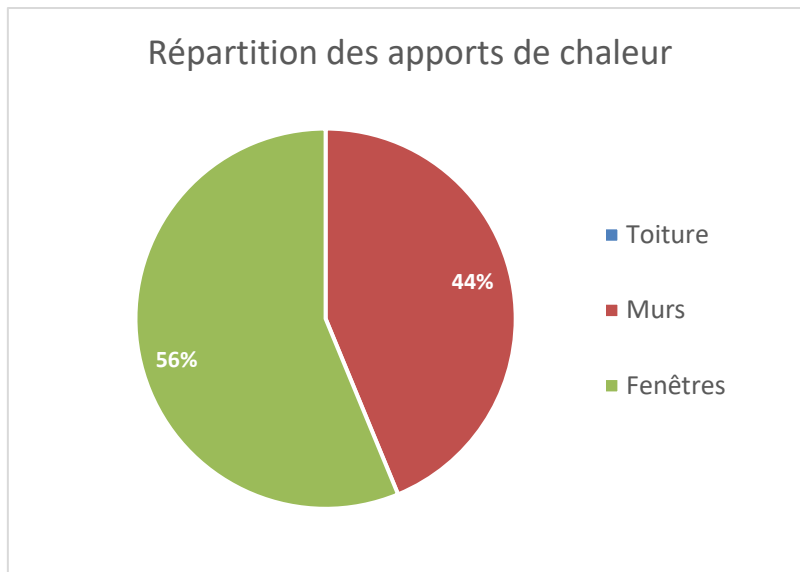
Façade Nord-Ouest



Façade Sud-Est

b) Performance du bâti

Enveloppe	Orientation	Description	Surface m ²	Facteur solaire moyen	Performance
Toiture	Horizontale	Sous étage intermédiaire			
Mur	Nord-Est	Mur mitoyen			
Mur	Sud-Est	Panneaux sandwich de couleur claire	85,87	10,9%	Mauvaise
Mur	Sud-Ouest	Mur mitoyen			
Mur	Nord-Ouest	Panneaux sandwich de couleur claire	85,87	8,3%	Moyenne
Fenêtres	Nord-Est	Mur mitoyen			
Fenêtres	Sud-Est	Coulissante avec simple vitrage réfléchissant	21,2	50%	Mauvaise
Fenêtres	Sud-Ouest	Sans objet			
Fenêtres	Nord-Ouest	Coulissante avec simple vitrage réfléchissant	29	38%	Bonne



Il n’y a pas d’apport de chaleur provenant de la toiture car le R+1 est occupé par la CTM.

La majorité des apports de chaleur proviennent des fenêtres (56%) et le reste par les murs (44%).

B. Bâtiment C

a) Description du bâti



Le bâtiment C est sur un seul niveau. Il a une toiture-terrasse en bac acier. La toiture est de couleur noire et isolée avec de la laine de verre ancienne de 5 cm.

Les murs sont des panneaux modulaires préfabriqués en structure acier et panneaux sandwich. Nous n’avons pas pu vérifier la composition de l’isolant à l’intérieur des panneaux mais, comme pour le bâtiment B, on peut supposer qu’il s’agit de laine de roche d’une faible épaisseur dont la performance s’est probablement dégradée au fil des années (Résistance estimée = $0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).

Les baies sont en simple vitrage avec un film réfléchissant, dans un cadre en aluminium. La façade Nord-Ouest et ces baies bénéficient d’un masque proche qui limite l’entrée des rayons du soleil

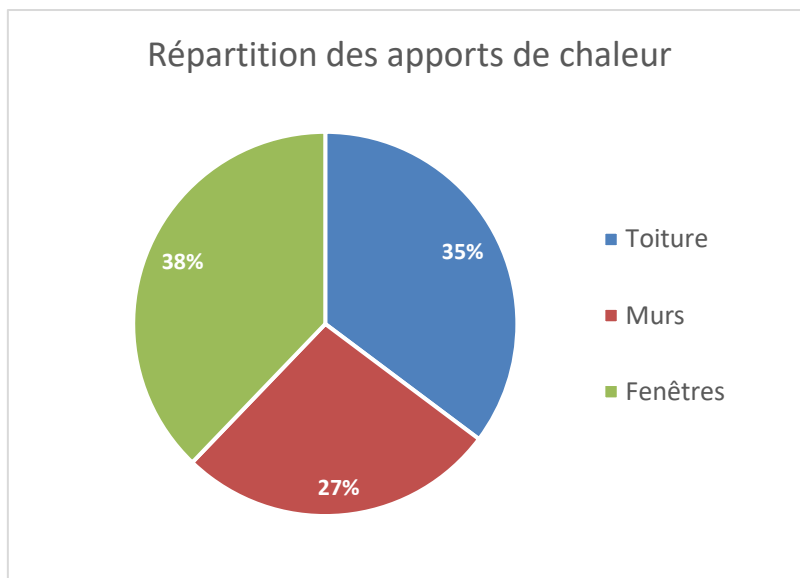
directement dans le bâtiment. Au Nord-Est, le dessous du bâtiment N sert de casquette très efficace au mur et aux baies. Enfin, les baies orientées Sud-Est ne sont pas protégées du soleil.



Façade Nord-Ouest et Sud-ouest (protégée) et à droite façade Sud Est

b) Performance du bâti

Enveloppe	Orientation	Description	Surface m ²	Facteur solaire moyen	Performance
Toiture	Horizontale	Toiture terrasse noire, isolée avec laine de roche	62	3,5%	Mauvaise
Mur	Nord-Est	Mur mitoyen			
Mur	Sud-Est	Panneaux sandwich de couleur claire	22,94	10,9%	Mauvaise
Mur	Sud-Ouest	Panneaux sandwich de couleur claire	26,97	3,2%	Bonne
Mur	Nord-Ouest	Panneaux sandwich de couleur claire	22,94	4,0%	Bonne
Fenêtres	Nord-Est	Mur mitoyen			
Fenêtres	Sud-Est	Coulissante avec simple vitrage réfléchissant	7,8	50%	Mauvaise
Fenêtres	Sud-Ouest	Coulissante avec simple vitrage réfléchissant	4	18%	Très bonne
Fenêtres	Nord-Ouest	Coulissante avec simple vitrage réfléchissant	6,3	23%	Très bonne



C. Bâtiment DEF

a) Description du bâti



Le bâtiment DEF est tout en longueur et partiellement sur deux niveaux.

La toiture du bâtiment est plate, de couleur noire et composée d'un bac acier avec 5 cm de laine de roche ancienne.

Les murs sont des panneaux modulaires préfabriqués en structure acier et panneaux sandwich. Nous n'avons pas pu vérifier la composition de l'isolant à l'intérieur des panneaux mais on peut supposer qu'il s'agit de laine de roche d'une faible épaisseur dont la performance s'est probablement dégradée au fil des années (Résistance estimée = $0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).

Les baies sont en simple vitrage avec un film réfléchissant, dans un cadre en aluminium.

Au rez-de-chaussée, la façade Nord-Ouest et ces baies bénéficient d'un masque proche (couverture d'un couloir extérieur qui longe le bâtiment) qui limite l'entrée des rayons du soleil directement dans le bâtiment. Au R+1, les baies et les façades ne sont pas protégées du soleil.

Au Nord-Est, le dessous du bâtiment N sert de casquette très efficace au mur et aux baies.

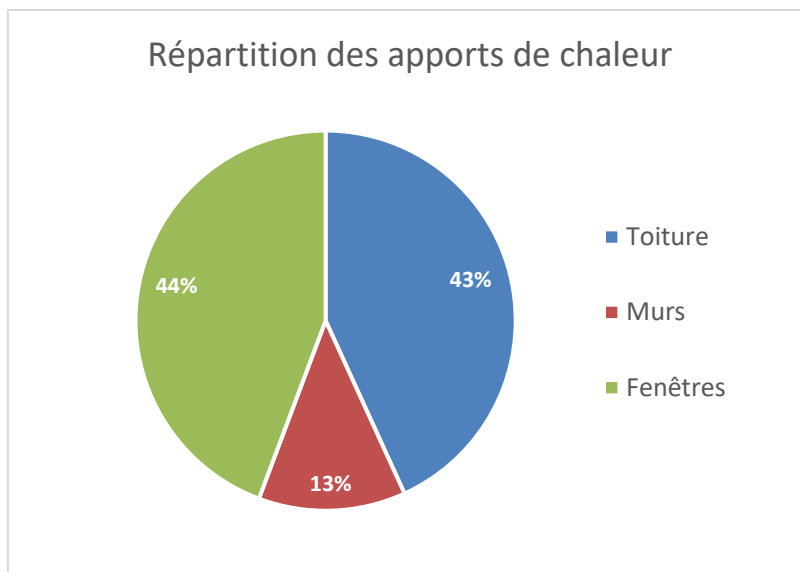
Au Sud-Ouest et Sud-Est, les façades ne bénéficient d'aucune protection solaire.



Façade Sud-Est

b) Performance du bâti

Enveloppe	Orientation	Description	Surface m ²	Facteur solaire moyen	Performance
Toiture	Horizontale	Toiture terrasse noire, isolée avec laine de roche	565	3,5%	Mauvaise
Mur	Nord-Est	Panneaux sandwich de couleur claire	78,01	1,3%	Très bonne
Mur	Sud-Est	Panneaux sandwich de couleur claire	175,16	3,6%	Bonne
Mur	Sud-Ouest	Panneaux sandwich de couleur claire	76,27	3,6%	Bonne
Mur	Nord-Ouest	Panneaux sandwich de couleur claire	213,73	2,6%	Bonne
Fenêtres	Nord-Est	Coulissante avec simple vitrage réfléchissant	7,39	23%	Très bonne
Fenêtres	Sud-Est	Coulissante avec simple vitrage réfléchissant	63,05	50%	Mauvaise
Fenêtres	Sud-Ouest	Coulissante avec simple vitrage réfléchissant	9,15	50%	Mauvaise
Fenêtres	Nord-Ouest	Coulissante avec simple vitrage réfléchissant	71,5	23%	Très bonne



44% des apports solaires proviennent des fenêtres. Ceci est dû aux nombreuses fenêtres (placées au Sud-Est) sans protection solaire. 43% des apports proviennent de la toiture à cause notamment de la couleur de celle-ci qui absorbe la quasi-totalité des rayons du soleil. **Un revêtement réfléchissant pourrait permettre de réduire sensiblement les apports de chaleur par la toiture.**

D. Bâtiment G

a) Analyse du bâti



Le bâtiment G est sur un seul niveau (RDC) et est composé comme le bâtiment DEF :

- Toiture de couleur noire et isolée avec de la laine de roche
- Mur de couleur claire en panneaux modulaires préfabriqués en structure acier et panneaux sandwich ($R = 0,5 \text{ W/m}^2.K$)
- Baies en simple vitrage avec film réfléchissant

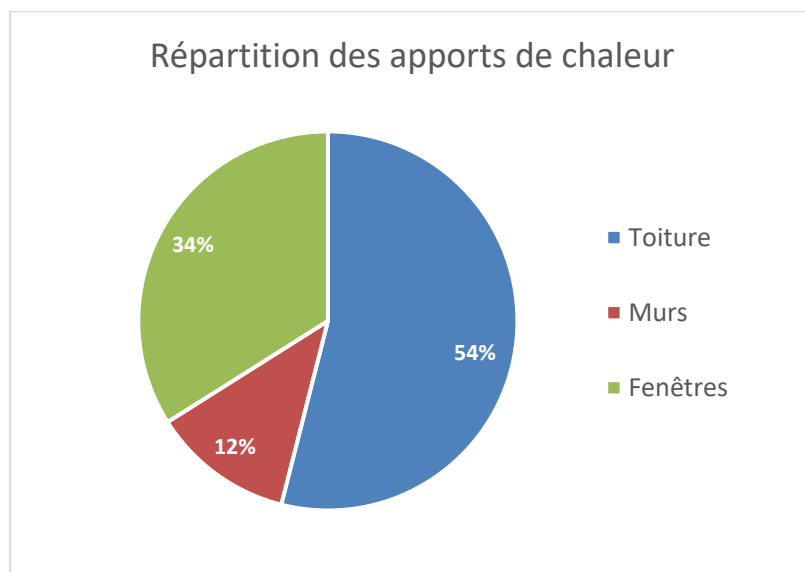
Les façades Nord-Est et Sud-Ouest ne sont pas protégées du soleil.

La façade Nord-Ouest est protégée par un débord de toiture suffisamment long pour être efficace.

La façade Sud-Est est protégée par une couverture du passage entre le bâtiment DEF et G. De plus, le bâtiment DEF fait masque à cette façade.

b) Performance du bâti

Enveloppe	Orientation	Description	Surface m ²	Facteur solaire moyen	Performance
Toiture	Horizontale	Toiture terrasse noire, isolée avec laine de roche	194	3,5%	Mauvaise
Mur	Nord-Est	Panneaux sandwich de couleur claire	20,01	3,6%	Bonne
Mur	Sud-Ouest	Panneaux sandwich de couleur claire	25,81	1,1%	Bonne
Mur	Sud-Est	Panneaux sandwich de couleur claire	80,1	3,6%	Très bonne
Mur	Nord-Ouest	Panneaux sandwich de couleur claire	83	1,4%	Très bonne
Fenêtres	Nord-Est	Coulissante avec simple vitrage réfléchissant	5,8	50%	Mauvaise
Fenêtres	Sud-Est	Coulissante avec simple vitrage réfléchissant	21,4	17%	Très bonne
Fenêtres	Nord-Ouest	Coulissante avec simple vitrage réfléchissant	18,5	23%	Très bonne



Les apports solaires proviennent majoritairement des fenêtres et de la toiture. La toiture étant de couleur noire, elle absorbe quasiment toute la chaleur du soleil. Les murs les plus long sont très bien protégés d'où les faibles apports à ce niveau.

E. Bâtiment H

a) Analyse du bâti



Au milieu du bâtiment H, on a une toiture de type toiture terrasse de couleur sombre. La toiture terrasse est isolée avec 6 cm de polystyrène expansé (R estimé = $1,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$). De part et d'autre, le bâtiment a une toiture en tôle de couleur gris clair, faiblement ventilée sur une dalle béton (R estimé = $0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).



Façade Nord-Est



Façade Sud-Est



Façade Nord-Ouest



Façade Sud-Ouest

Les façades sont en béton de 20 cm et peintes de couleur claire.

La façade Sud-Est a un bardage non-isolé extérieur gris. Les menuiseries sont en simple vitrage réfléchissant. Les baies bénéficient de brise soleil efficaces dans l'ensemble. Certains brise-soleils restent cependant perfectibles.

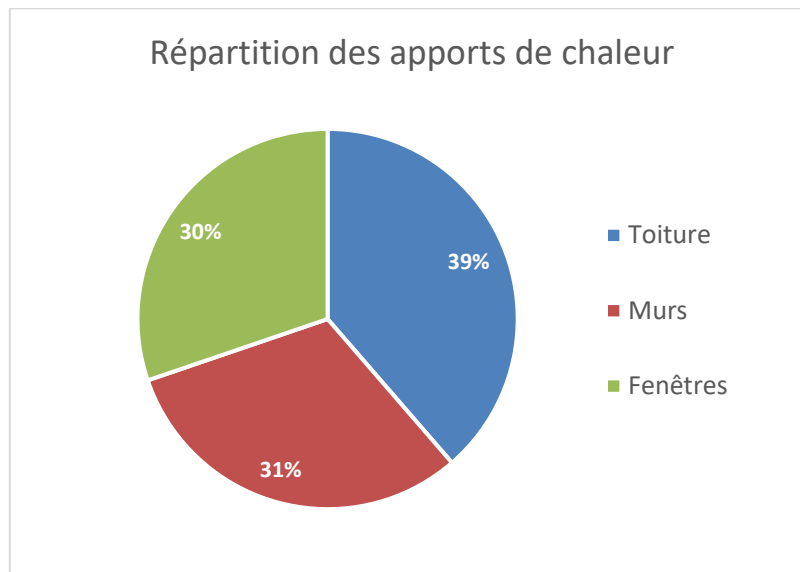


Au centre du bâtiment, il y a un patio qui apporte de la luminosité naturelle. Ce patio est vitré sur les façades Nord-Ouest, Nord-Est et Sud-Est et celles-ci sont dépourvues de protections solaires.

Le manque de protection solaire génère un apport de chaleur important dans les couloirs attenants au patio et provoque une surchauffe des bureaux proches.

b) Performance du bâti

Enveloppe	Orientation	Description	Surface m ²	Facteur solaire moyen	Performance
Toiture	Horizontale	Toiture terrasse noire, isolée avec laine de roche	150	2,2%	Moyenne
Toiture	Horizontale	Tôle blanche faiblement ventilée + dalle béton	460	2,9%	Moyenne
Mur	Nord-Est	Mur en béton blanc	162,91	8,0%	Moyenne
Mur	Sud-Est	Mur en béton avec bardage isolé gris moyen	199,88	2,7%	Bonne
Mur	Sud-Ouest	Mur en béton blanc	118,4	8,9%	Moyenne
Mur	Nord-Ouest	Mur en béton blanc	99,3	8,9%	Moyenne
Fenêtres	Nord-Est	Ouvrant avec simple vitrage réfléchissant	41,7	25%	Très bonne
Fenêtres	Sud-Est	Ouvrant avec simple vitrage réfléchissant	72,8	22%	Très bonne
Fenêtres	Sud-Ouest	Ouvrant avec simple vitrage réfléchissant	18,9	22%	Très bonne
Fenêtres	Nord-Ouest	Ouvrant avec simple vitrage réfléchissant	19,9	25%	Très bonne



Les apports solaires sont répartis équitablement entre la toiture, les façades et les fenêtres. La toiture reste le premier levier d'action sur ce bâtiment.

F. Bâtiment L

a) Analyse du bâti



La toiture du bâtiment L est en tôle de couleur claire. La toiture est isolée avec de la laine de roche ancienne dont l'épaisseur est estimée à 5cm. En 2022, la toiture a été recouverte d'une peinture permettant d'améliorer le confort thermique (par du ThermaCote). Cette peinture a un indice de réflectance solaire (SRI) de 104% et de 77% après 3 ans. Cet indice prend en compte la capacité à réfléchir les rayons du soleil et l'émissivité qui favorise le refroidissement radiatif.



Façades Sud-Ouest et Sud-Est



Façades Nord-Ouest et Nord-Est

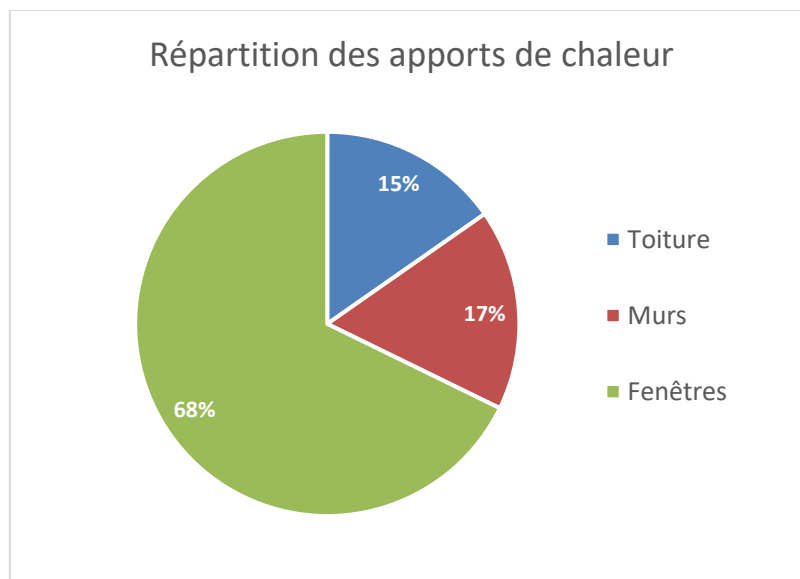
Tout comme les bâtiments DEF et G, les murs du bâtiment L sont des panneaux modulaires préfabriqués en structure acier et panneaux sandwich. Nous n'avons pas pu vérifier la composition de l'isolant à l'intérieur des panneaux mais on peut supposer qu'il s'agit de laine de roche d'une faible épaisseur dont la performance s'est probablement dégradée au fil des années (Résistance estimée = $0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).

Les baies sont en simple vitrage plein. On retrouve également des menuiseries de type jalousies vitrées.

Le rez-de-chaussée de la façade orientée Sud-Est est protégée par une casquette efficace. Tout le reste du bâtiment (toutes orientations confondues), n'est pas protégé des rayons du soleil.

b) Performance du bâti

Enveloppe	Orientation	Description	Surface m ²	Facteur solaire moyen	Performance
Toiture	Horizontale	Toiture en tôle clair avec peinture auto-réfléchissante + laine de verre 5 cm	360	2,1%	Moyenne
Mur	Nord-Est	Panneaux sandwich de couleur claire	150	3,6%	Bonne
Mur	Sud-Est	Panneaux sandwich de couleur claire	257,4	2,6%	Bonne
Mur	Sud-Ouest	Panneaux sandwich de couleur claire	252	2,3%	Bonne
Mur	Nord-Ouest	Panneaux sandwich de couleur claire	222	2,3%	Bonne
Fenêtres	Nord-Est	Simple vitrage réfléchissant	33,2	50%	Mauvaise
Fenêtres	Sud-Est	Simple vitrage réfléchissant	72,3	50%	Mauvaise
Fenêtres	Sud-Ouest	Simple vitrage réfléchissant	30,2	50%	Mauvaise
Fenêtres	Nord-Ouest	Simple vitrage réfléchissant	48,3	50%	Mauvaise



La majorité des apports solaires proviennent des fenêtres. En effet, aucune fenêtre ne bénéficie de protection solaire. 19% des apports solaires proviennent des murs et 17% de la toiture notamment grâce à la peinture réfléchissante.

G. Bâtiment N

a) Analyse du bâti



Vu aérienne de la toiture



Façade Nord-Est



Façades Nord-Ouest et Sud-Ouest



Façade Sud-Est

La toiture du bâtiment N est en tôle de couleur claire et est isolée avec 14 cm de laine de roche depuis 2022 (R estimée = $3,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).

Les façades sont toutes des panneaux sandwich (R estimé = $1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).

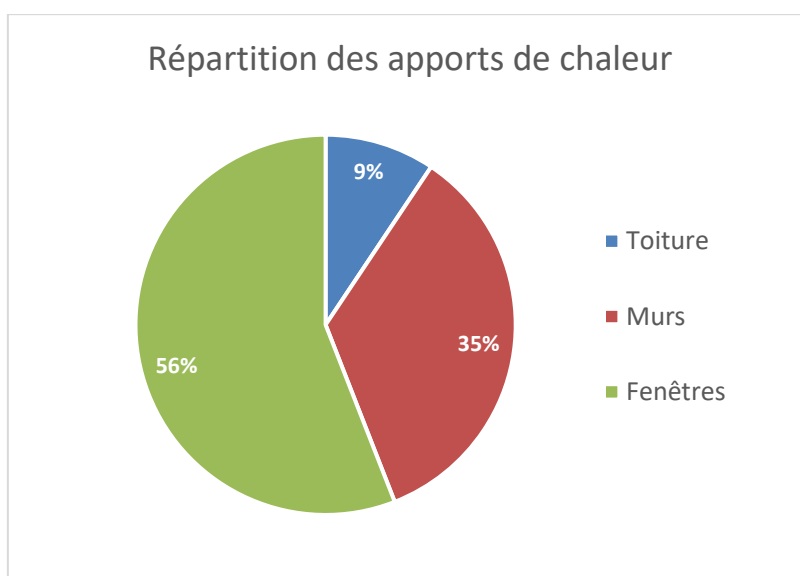
Les menuiseries sont de type simple vitrage et réfléchissant. Elles ont été remplacées récemment.

Sur les façades Nord-Est et Sud-Ouest, les baies sont protégées grâce à des brises soleil efficaces. Sur la façade Sud-Est, les brises soleil sont perfectibles.

Sur la façade Nord-Ouest, les baies sont protégées en partie grâce à un masque végétal (un arbre placé devant cette façade protège les baies).

b) Performance du bâti

Enveloppe	Orientatio n	Description	Surfac e m ²	Facteur solaire moyen	Performance
Toiture	Horizontale	Tôle de couleur claire + 14 cm de laine de roche	340	0,9%	Très bonne
Mur	Nord-Est	Mur en panneau sandwich de couleur sombre	275	4,1%	Bonne
Mur	Sud-Est	Mur en panneau sandwich de couleur sombre	95,5	4,1%	Bonne
Mur	Sud-Ouest	Mur en panneau sandwich de couleur sombre	272,9	4,1%	Bonne
Mur	Nord-Ouest	Mur en panneau sandwich de couleur sombre	120,8	4,1%	Bonne
Fenêtres	Nord-Est	Simple vitrage réfléchissant	59,8	27%	Très bonne
Fenêtres	Sud-Est	Simple vitrage réfléchissant	21,7	50%	Mauvaise
Fenêtres	Sud-Ouest	Simple vitrage réfléchissant	73,9	24%	Très bonne
Fenêtres	Nord-Ouest	Simple vitrage réfléchissant	10,1	44%	Moyenne



Les apports solaires proviennent en majorité des fenêtres. La toiture n'absorbe que 9% des apports solaires car elle est très bien isolée et de couleur claire.

H. Etanchéité à l'air

Bâtiment	Fenêtres	Porte d'entrée
B	Vitrage plein sans joint d'étanchéité Jamais ouvertes en mode climatisé	Ferme porte avec vérin hydraulique Jamais ouverte en mode climatisé
C	Vitrage plein sans joint d'étanchéité Jamais ouvertes en mode climatisé	Ferme porte avec vérin hydraulique Jamais ouverte en mode climatisé
DEF	Vitrage plein sans joint d'étanchéité Jamais ouvertes en mode climatisé	Ferme porte avec vérin hydraulique Parfois ouverte en mode climatisé

G	Vitrage plein sans joint d'étanchéité Jamais ouvertes en mode climatisé	Porte du réfectoire parfois ouverte en mode climatisé Ferme porte avec vérin hydraulique Porte des bureaux toujours fermée en mode climatisé
H	Vitrage plein avec joints d'étanchéité. Parfois ouvert avec porte ouverte sur circulation climatisée	Ferme porte avec vérin hydraulique Souvent ouverte avec et sans mode climatisé
L	Vitrage plein sans joint d'étanchéité. Toujours fermée en mode climatisé	Ferme porte avec vérin hydraulique Jamais ouverte en mode climatisé
N	Vitrage plein avec joint d'étanchéité. Toujours fermé en mode climatisé	Ferme porte avec vérin hydraulique Jamais ouverte en mode climatisé

Dans les bâtiments préfabriqués, les menuiseries ne sont pas étanches à l'air mais on note de bons usages : d'après nos observations les portes et les fenêtres sont toujours fermées quand les bureaux sont climatisés. De rare fois, on constate un bureau climatisé ouvert. Les usagers déclarent avoir ces comportements surtout lors de réunion pendant quelques minutes afin de renouveler l'air.

Dans le bâtiment N, les portes et fenêtres sont toujours fermées avec la climatisation en marche.

Dans le bâtiment H, les usagers ouvrent régulièrement les fenêtres et les portes d'entrée à cause de plusieurs pannes de climatisation. Lors de nos visites, nous avons constaté que parfois les portes d'entrée étaient ouvertes alors que les circulations sont climatisées.



Toutes les portes d'entrée des bâtiments sont équipées de ferme porte à vérin ce qui permet une fermeture automatique des portes.

7. Equipements techniques

A. Climatisation

La totalité des bureaux est climatisés, par des split dans certains bâtiments, par des VRV puis un groupe à eau glacée dans un autre.

a) Description des équipements

La grande majorité des surfaces du site est climatisée. Les zones non climatisées sont principalement les circulations et les sanitaires.

Sur le site de la DEAL, on retrouve trois systèmes de climatisation distincts :

- Des splits sur les bâtiments B, C, DEF, G L et quelques bureaux du bâtiment N
- 5 groupes VRV sur le bâtiment H
- 1 groupe à eau glacé sur le bâtiment N



Les puissances installées relevées sont les suivantes :

Bâtiment B	Bâtiment C	Bâtiment DEF	Bâtiment G	Bâtiment H	Bâtiment L	Bâtiment N
Splits	Splits	Splits	Splits	VRV	Splits	Groupe à eau glacée
67,5 kW _{froid}	7,5 kW _{froid}	137,3 kW _{froid}	44,3 kW _{froid}	205,0 kW _{froid}	190,1 kW _{froid}	136,9 kW _{froid}
290 W _f /m ²	121 W _f /m ²	180 W _f /m ²	228 W _f /m ²	179 W _f /m ²	176 W _f /m ²	138 W _f /m ²

Utilisation et régulation de la climatisation :

Tous les split du site sont commandés par les utilisateurs, bureau par bureau grâce à une télécommande. Les températures de consigne constatées lors de l'audit varient entre 16 et 29°C avec une moyenne à 24,5°C. Les climatiseurs sont tous (sauf ceux des pièces sensibles comme les salles serveurs, onduleurs, archives...) sur horloge.

Les heures de mise en service et d'extinction des climatiseurs observées sur les mesures sont les suivantes :

- Bâtiment B : 6h – 20h
- Bâtiment DEF : 6h – 20h
- Bâtiment L : 6h – 20h
- Bâtiment N : 4h – 21h
- Bâtiment G : 6h - 20h

Dans le bâtiment H, il existe un système de pilotage des VRV mais celui-ci n'est pas exploité, faute de connaissance sur la mise en œuvre du système.

Les ratios de consommations de la climatisation sont les suivants :

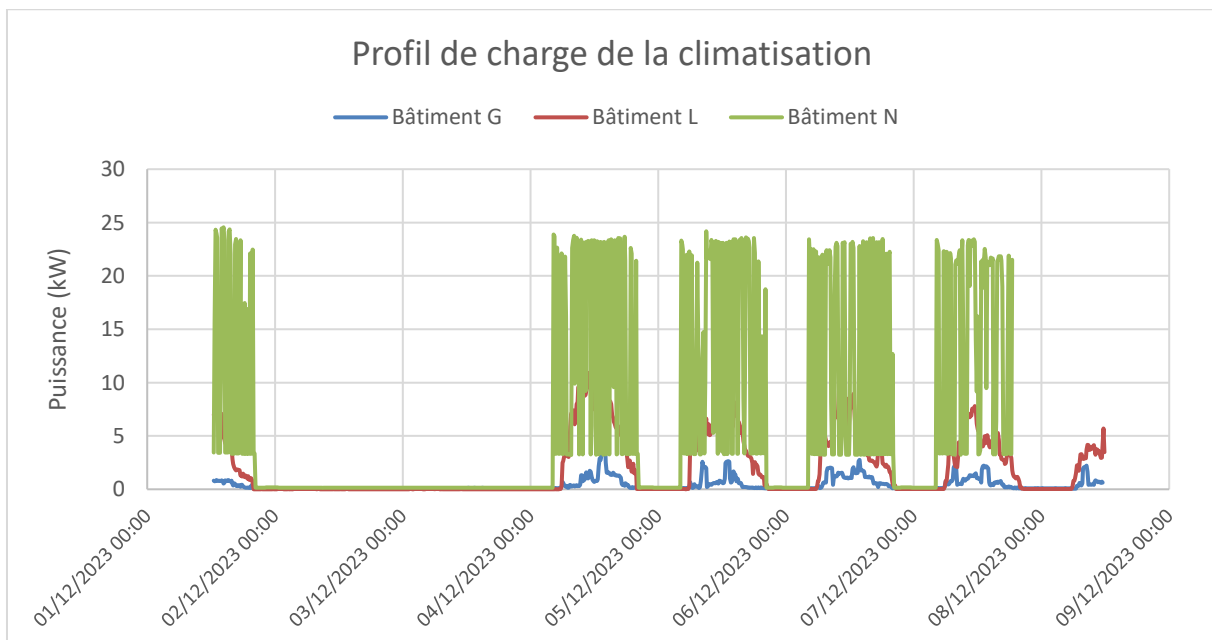
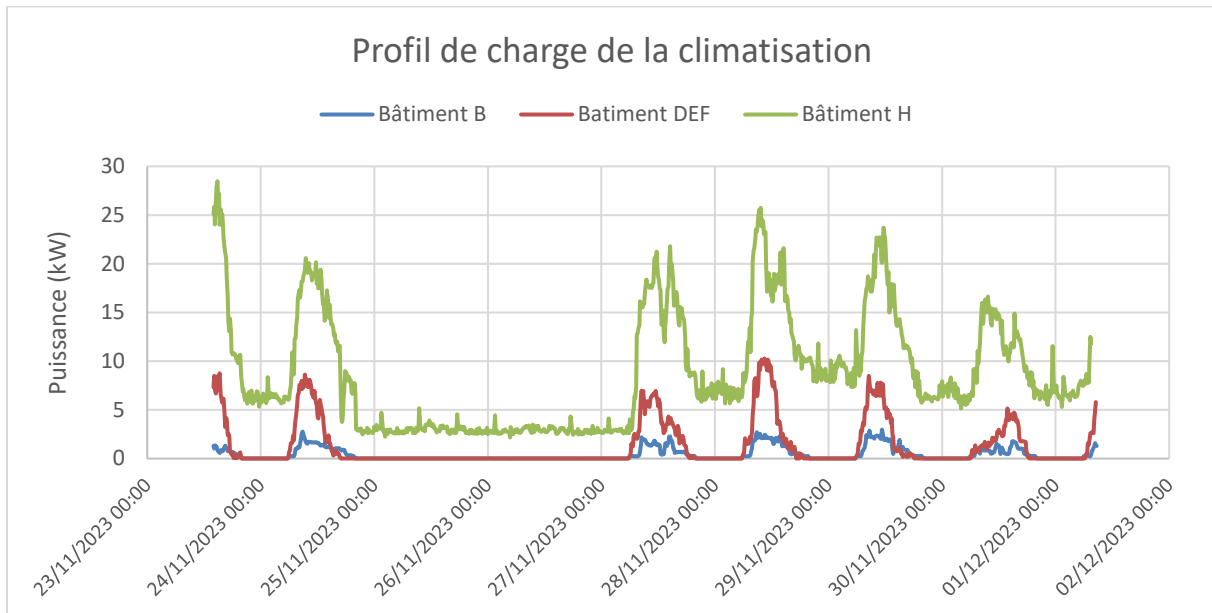
	Ratio de consommation de la climatisation par bâtiment						
	B	C	DEF	G	H	L	N
Ratio (kWh/m ² .an)	16,8	-	34,3	19,8	70,8	17,0	58,3
T°C moyenne mesurée	24	-	24,3	22	25,6	22,5	26

Les bâtiments climatisés par des split (B, C, DEF, G et L) ont un ratio de consommation bien moindre comparé aux bâtiments ayant une climatisation centralisée (H et L). Ceci pourrait s'expliquer par le mode de fonctionnement des usagers dans les bâtiments. En effet, le télétravail étant pratiqué, la consommation est éparse ce qui est en faveur des systèmes splits : quand l'utilisateur est présent, il peut climatiser uniquement son bureau et l'éteindre à son départ alors qu'avec le système centralisé, le groupe fonctionnera toute la journée quel que soit le nombre de personnes présentes dans le bâtiment.

Dans le bâtiment G, la température moyenne est relativement basse car la moyenne a été faite sur deux pièces : le réfectoire, climatisé à 19°C et un bureau à 25°C. Les autres pièces sont très peu utilisées : il s'agit surtout d'un bureau syndical.

b) Mesures électriques

Le profil de charge de la climatisation des différents bâtiments est le suivant :



→ La climatisation de tous les bâtiments s'éteint automatiquement la nuit et le week-end sauf pour le bâtiment H où on constate un talon de puissance la nuit en semaine d'environ 7,5 kW en moyenne et de 3 kW le weekend. Ce talon de puissance sert en partie à climatiser les archives et les locaux techniques du bâtiment.

c) Entretien de la climatisation

Les équipements de production de froid font tous l'objet d'un contrat de maintenance. Ils sont nettoyés 3 fois par an.

Les VRV du bâtiment H datent de 2015 et sont pour plus de la moitié HS. Les condenseurs sont un peu encrassés ce qui réduit l'efficacité de l'échange thermique. Les unités sont en toiture et non protégées des intempéries.

Le bâtiment N est équipé d'un groupe froid à eau glacé vétuste. Ce groupe froid ne répond pas au besoin en froid du bâtiment. La conséquence à cela est une installation progressive de split sur ce bâtiment. Jusqu'ici, il y a 4 mono split sur ce bâtiment qui compensent des pannes.

Les unités de split sont dans des états variables. Nous avons constaté plusieurs défauts :

- Alimentation électrique non protégée : cela présente un risque électrique ;
- Absence de calorifuge ;
- Evaporateur qui coule (condensation) ;
- Végétation qui grimpe sur les compresseurs : cela risque de boucher l'entrée d'air des condenseurs et donc réduit l'efficacité du climatiseur ;
- Unités extérieures trop proche du mur : risque de réduire la qualité de l'échange thermique et réduit l'efficacité énergétique des installations.



d) Confort thermique

Bâtiment B, C, DEF, et L

Ces bâtiments ont tous une grande façade sans protection solaire orientée Sud-Est. Lors de l'audit, nous avons constaté que le soleil pénétrait beaucoup à travers les fenêtres de ces façades le matin. De ce fait, les apports solaires sont importants et crée de l'inconfort pour les usagers. Utiliser la climatisation dans ces moments est nécessaire mais la sensation de froid d'un côté et de chaud vers la fenêtre peut générer malgré tout de l'inconfort.

Bâtiment H

Ce bâtiment plus récent possède une structure béton, ce qui apporte de l'inertie. Cela permet de réduire sensiblement le besoin de climatisation le matin car une partie des apports de chaleur (internes et externes) est absorbée par les murs et le plancher. Cette chaleur accumulée est rejetée en partie la nuit à l'extérieur mais aussi à l'intérieur du bâtiment lorsque le bâtiment est inoccupé et complètement fermé, ce qui peut donner l'impression aux occupants qu'il faut chaud quand on rentre dans le bâtiment le matin tôt. Réduire cette sensation nécessiterait de créer une ventilation nocturne sécurisée qui permettrait d'évacuer l'excédent de chaleur pendant la nuit. Une autre possibilité serait de démarrer le système de climatisation un peu plus tôt avant l'arrivée du personnel : 1h suffirait amplement si le système fonctionnait à 100% de sa capacité (pas de groupes VRV en pannes). En revanche il n'est pas recommandé de laisser la climatisation fonctionner pendant toute la nuit car cela engendre une surconsommation très importante.

Bâtiment G

Dans l'ensemble, c'est un bâtiment qui est bien protégé du soleil. Cependant, 25% des bureaux (ceux orientés Sud-Est sans protection solaire) ont le même ressenti que dans les bureaux du bâtiment DEF.

Bâtiment N

Le bâtiment N est plutôt bien protégé du soleil et les usagers n'ont pas de sensation d'inconfort.

B. Ventilation

Seul le bâtiment H du site est équipé d'une CTA. Elle alimente tous les bureaux du bâtiment.

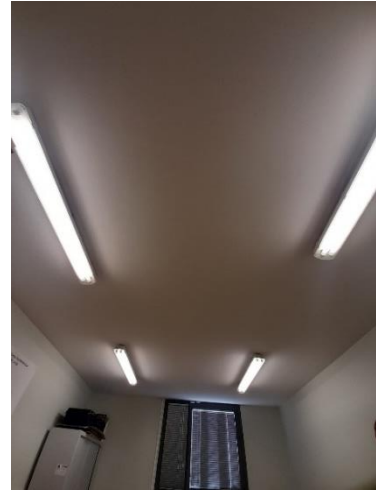
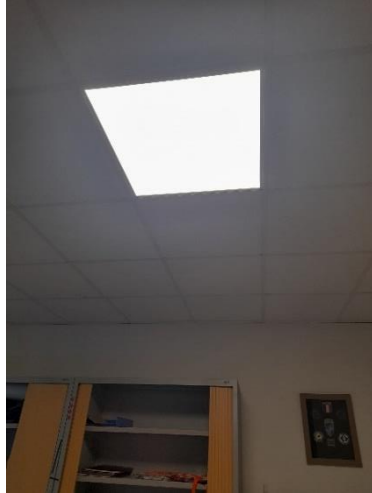
Cet équipement n'est pas en fonctionnement car le bâtiment n'est pas utilisé de la façon prévue lors de sa conception. Il était prévu que le bâtiment soit sur-pressurisé et entièrement climatisé mais cette utilisation est impossible aujourd'hui.



C. Eclairage

L'éclairage intérieur est assuré par plusieurs type de luminaires différents pour une puissance installée totale d'environ 28 kW.

Le site est en cours de relamping depuis plusieurs années. La majorité des luminaires sont des dalles LED. On retrouve également des tubes néons T5 sur un quart du parc de luminaires et plus minoritairement des néons T8, des ampoules basses consommations et des réglettes LED.



La majorité de l'éclairage est performant (67% de LED).

Dalle LED	Réglette LED	T8	T5	Ampoule
166	4	19	62	5
65%	2%	7%	24%	2%

Les ratios de puissance installés sont les suivants :

B	C	DEF	G	H	L	N
4,3 W/m ²	6,5 W/m ²	3,7 W/m ²	3,1 W/m ²	7,2 W/m ²	3,8 W/m ²	8,1 W/m ²

Bien que le bâtiment H soit récent, sa puissance installée reste élevée. Le passage en LED permettrait de réduire davantage cette puissance.

La gestion de l'éclairage est manuelle. Toutes les lumières s'allument et s'éteignent via un interrupteur tout ou rien.

D. Bureautique

Dans les bureaux, on retrouve les équipements suivants :

- Des ordinateurs portables ;
- Des écrans ;
- Des téléphones.

Il y a également des imprimantes dans les circulations ou dans des pièces dédiées à la reprographie.

Au bâtiment G, on retrouve également un traceur (grand imprimante en format A0).

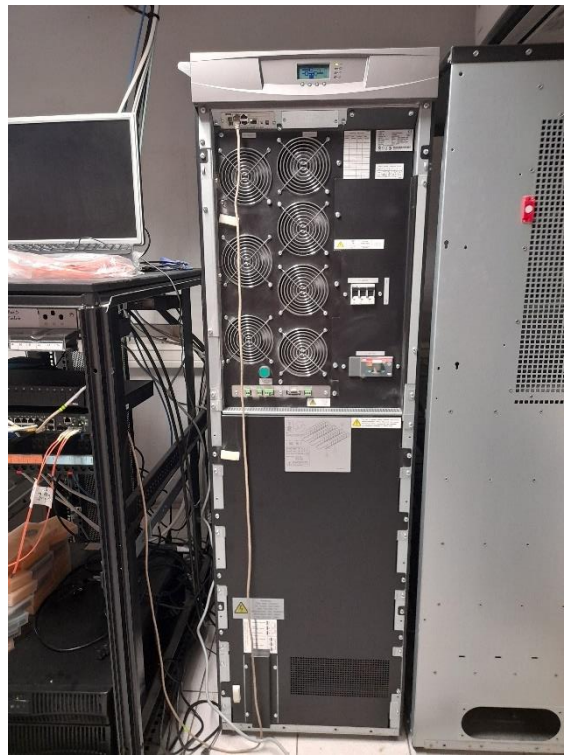


Le site compte :

- 228 ordinateurs ;
- 302 écrans ;
- 226 téléphones.

E. Autres

Sur le site de la DEAL, on retrouve un grand nombre d'onduleurs et serveurs.



Dans les bureaux et les circulations, on retrouve également :

- Des fontaines à eau ;
- Des micro-ondes ;
- Des cafetières ;
- Des réfrigérateurs ;
- Un chauffe-eau (dans le bâtiment H).





Certains bureaux sont équipés de ventilateurs sur pied.

Ils sont au nombre de 45 sur l'ensemble des bâtiments et ont une puissance de 65W à vitesse maximum.

Nous estimons que la consommation des ventilateurs est d'environ 3 175 kWh/an soit 0,6% de la consommation du site.

Ces équipements, utilisés uniquement pour pallier aux pannes de climatisation aujourd'hui peuvent être de vrais alliés en faveur de la réduction des consommations de climatisation. En couplant l'utilisation de ventilateur ou de brasseur d'air à la climatisation, on peut atteindre les même niveaux de confort thermique en augmentant la température de la climatisation.

8. Solutions d'améliorations

Le présent chapitre propose des pistes d'améliorations au regard des éléments constatés lors de l'audit. Celles-ci ont été priorisées afin d'établir un plan d'actions présenté au chapitre 9.

Le gain énergétique et financier ainsi que les investissements nécessaires ont été estimés pour évaluer l'efficacité des actions. Le gain financier est évalué par rapport au prix actuel de l'électricité mais le temps de retour prend en compte une augmentation du tarif de l'électricité de 5%/an.

Certaines des actions proposées devront faire l'objet d'une étude complémentaire pour valider leur faisabilité, affiner les choix techniques et les investissements nécessaires.

A. Recommandation n°1 : Optimiser les heures de fonctionnement des systèmes de climatisation du site

Description de la solution							
<p>Sur les 7 bâtiments que compte le site, 6 sont équipés d'horloges sur les climatiseurs afin d'empêcher toute consommation la nuit et le week-end. Les horloges fonctionnent très bien d'après les mesures mais les heures de réglage des horloges peuvent être optimisées afin de réduire davantage les consommations inutiles. En effet, certaines horloges sont réglées très tôt le matin (4h/5h) ou tard le soir (20h) malgré l'absence d'agents dans les locaux à ces heures là.</p> <p>Les agents ayant une amplitude horaires de 7h à 18h en moyenne, nous proposons ici de régler les horloges sur cette tranche horaire.</p> <p>Le calcul ci-dessous considère l'application de cette recommandation sur tous les bâtiments sauf le bâtiment H qui est déjà traité dans la recommandation n°2.</p>							
Données actuelles	Consommation énergétique de climatisation des bâtiments B, C, DEF, G, L et N						
<table border="1"> <tr> <td>Consommation annuelle (kWh/:</td> <td>110 016,64 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Coût €HTVA</td> <td>20 680,81 € HTVA/an</td> </tr> </table>		Consommation annuelle (kWh/:	110 016,64 kWh/an	Coût €HTVA	20 680,81 € HTVA/an		
Consommation annuelle (kWh/:	110 016,64 kWh/an						
Coût €HTVA	20 680,81 € HTVA/an						
Investissement prévisionnel	- € HTVA						
<table border="1"> <tr> <td>Réglage des horloges</td> <td>- €</td> </tr> <tr> <td></td> <td>- €</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>- €</td> </tr> </table>		Réglage des horloges	- €		- €	Total	- €
Réglage des horloges	- €						
	- €						
Total	- €						
Après préconisation	Consommation énergétique de climatisation des bâtiments B, C, DEF, G, L et N						
<table border="1"> <tr> <td>Consommation annuelle après préconisation</td> <td>92 395 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Coût €HTVA</td> <td>17 368,31 € HTVA</td> </tr> </table>		Consommation annuelle après préconisation	92 395 kWh/an	Coût €HTVA	17 368,31 € HTVA		
Consommation annuelle après préconisation	92 395 kWh/an						
Coût €HTVA	17 368,31 € HTVA						
Synthèse							
Usage énergétique	Climatisation						
Gain (kWh/an)	17 622 kWh/an						
Gains (€/an)	3 312,50 €						
Coût (€)	- €						
Rentabilité (an)	Immédiat						

B. Recommandation n°2 : Installation d'horloge sur la climatisation du bâtiment H

Description de la solution

Pendant l'analyse de nos mesures électriques, nous avons constaté que la climatisation du bâtiment H fonctionnait la nuit à 7,5 kW et le week-end à environ 3 kW. Ces consommations sont utiles aux pièces sensibles (archives et locaux techniques) mais nous pensons que des bureaux sont également allumés la nuit car le talon de puissance est plus élevé la semaine.

Nous recommandons de mettre en fonctionnement le système de pilotage des VRV prévu initialement ou alors de mettre des horloges simples sur les VRV sur la plage horaire 7h-18h. Pour régler le problème de sensation de chaleur en début de matinée, le groupe peut être démarré légèrement avant l'arrivée du personnel mais dans un fonctionnement normal (à 100% de ces capacités) il n'a pas besoin d'être allumé toute la nuit. Afin de climatiser les pièces sensibles, il serait intéressant d'installer des split uniquement pour ces pièces afin d'éviter que le groupe VRV ne fonctionne uniquement pour ces pièces (voir la recommandation 6).

Données actuelles Consommation énergétique de climatisation du bâtiment H

Consommation annuelle	81 156 kWh/an
Coût €HTVA	15 255,53 € HTVA

Investissement prévisionnel 500 € HTVA

Mettre en place une horloge sur la climatisation (matériel et pose)	500 €
Total	500 €

Après préconisation Consommation énergétique de climatisation du bâtiment H

Consommation annuelle après préconisation	72 056 kWh/an
Cout €HTVA	13 544,92 € HTVA

Ces calculs prennent en compte uniquement l'arrêt de la climatisation des bureaux en semaine.

Synthèse

Usage énergétique	Climatisation	
Gain (kWh/an)	9 100	kWh/an
Gains (€/an)	1 710,61 €	€
Coût (€)	500 €	€
Rentabilité	Immédiate	€/an

C. Recommandation n°3 : Améliorer l'identification des équipements dans les tableaux électriques, déterminer les équipements responsables du talon de puissance et optimiser leur fonctionnement

Description de la solution					
<p>L'analyse des mesures a permis de mettre en évidence un talon de puissance sur le site qui représente un quart des consommations énergétiques avec une puissance moyenne de 34 kW, ce qui est considérable pour un site de bureaux. Malgré des mesures complémentaires il n'a pas été possible de déterminer l'ensemble des équipements responsables de ce talon de puissance par manque d'identifications des équipements disjoncteurs dans les tableaux électriques.</p> <p>Nous recommandons tout d'abord de faire identifier par un électricien tous les disjoncteurs des tableaux électriques et de les renommer proprement. D'autre part, une étude complémentaire pourrait permettre de déterminer les équipements responsable du talon de puissance et d'évaluer la possibilité d'optimiser leur fonctionnement.</p> <p>On estime que cette action d'optimisation pourrait permettre une baisse du talon de puissance de l'ordre de 20%.</p>					
Données actuelles	Consommation énergétique du talon de puissance du site				
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%;">Consommation annuelle</td> <td style="text-align: right;">127 808 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Coût (€HTVA)</td> <td style="text-align: right;">24 025,29 € HTVA/an</td> </tr> </table>		Consommation annuelle	127 808 kWh/an	Coût (€HTVA)	24 025,29 € HTVA/an
Consommation annuelle	127 808 kWh/an				
Coût (€HTVA)	24 025,29 € HTVA/an				
Investissement prévisionnel	2 000 € HTVA				
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%;">Campagne de mesures sur une journée (le week-end)</td> <td style="text-align: right;">2 000 €</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Total</td> <td style="text-align: right;">2 000 €</td> </tr> </table>		Campagne de mesures sur une journée (le week-end)	2 000 €	Total	2 000 €
Campagne de mesures sur une journée (le week-end)	2 000 €				
Total	2 000 €				
Après préconisation	Consommation énergétique du talon de puissance du site				
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%;">Consommation annuelle après préconisation</td> <td style="text-align: right;">102 247 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Coût (€HTVA)</td> <td style="text-align: right;">19 220,23 € HTVA/an</td> </tr> </table>		Consommation annuelle après préconisation	102 247 kWh/an	Coût (€HTVA)	19 220,23 € HTVA/an
Consommation annuelle après préconisation	102 247 kWh/an				
Coût (€HTVA)	19 220,23 € HTVA/an				
<p><i>Hypothèse : 20% de baisse des consommation du talon de puissance</i></p>					
Synthèse					
Usage énergétique	Tous				
Gain (kWh/an)	25 562 kWh/an				
Gains (€/an)	4 805,06 €				
Coût (€)	2 000 €				
Rentabilité (an)	Immédiate				

D. Recommandation n°4 : Ajouter du sous-comptage sur la climatisation de chaque bâtiment

Description de la solution							
<p>Sur le site de la DEAL, il n'y a pas de sous-comptage des consommations électriques. Le sous-comptage permet de connaître sa consommation, la suivre et l'optimiser.</p> <p>Nous recommandons de poser à minima des sous-compteurs dans les tableaux électriques sur les départs des équipements climatisation de chaque bâtiment et de mettre en place un système de suivi. Cela permettra d'identifier les éventuelles dysfonctionnements et d'engager des actions pour réduire les consommations de climatisation.</p> <p>Dans le calcul ci-dessous on estime à 5% l'économie sur la consommation de climatisation de l'ensemble des bâtiments.</p>							
Données actuelles	Consommation énergétique de climatisation du site						
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">Consommation annuelle (kWh/:</td> <td style="padding: 2px 5px; text-align: right;">191 172,18 kWh/an</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">Coût €HTVA</td> <td style="padding: 2px 5px; text-align: right;">35 936,34 € HTVA/an</td> </tr> </table>		Consommation annuelle (kWh/:	191 172,18 kWh/an	Coût €HTVA	35 936,34 € HTVA/an		
Consommation annuelle (kWh/:	191 172,18 kWh/an						
Coût €HTVA	35 936,34 € HTVA/an						
Investissement prévisionnel	2 200 € HTVA						
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">Fourniture : 11 sous-compteurs</td> <td style="padding: 2px 5px; text-align: right;">1 100 €</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">Pose</td> <td style="padding: 2px 5px; text-align: right;">1 100 €</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 5px; text-align: right;">Total</td> <td style="padding: 2px 5px; text-align: right;">2 200 €</td> </tr> </table>		Fourniture : 11 sous-compteurs	1 100 €	Pose	1 100 €	Total	2 200 €
Fourniture : 11 sous-compteurs	1 100 €						
Pose	1 100 €						
Total	2 200 €						
Après préconisation	Consommation énergétique de climatisation du site						
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">Consommation annuelle après préconisation</td> <td style="padding: 2px 5px; text-align: right;">181 614 kWh/an</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">Cout €HTVA</td> <td style="padding: 2px 5px; text-align: right;">34 139,53 € HTVA</td> </tr> </table>		Consommation annuelle après préconisation	181 614 kWh/an	Cout €HTVA	34 139,53 € HTVA		
Consommation annuelle après préconisation	181 614 kWh/an						
Cout €HTVA	34 139,53 € HTVA						
Synthèse							
Usage énergétique	Climatisation						
Gain (kWh/an)	9 559 kWh/an						
Gains (€/an)	1 796,82 €						
Coût (€)	2 200 €						
Rentabilité (an)	2 ans						

E. Recommandation n°5 : Remplacement des serveurs par des modèles plus performants

Description de la solution								
<p>Les serveurs représentent une part très importante de la consommation du site (19%). D'après le service informatique, les serveurs sont vieillissants et pourraient être remplacés par des modèles récents plus performants dont la puissance électrique serait largement inférieure. Le gain lié au changement de serveurs est estimé à 20% dans le cadre de notre étude mais une étude spécifique est nécessaire pour chiffrer avec précision le gain et le coût du remplacement car cela dépendra du fortement besoin informatique.</p>								
Données actuelles	Consommation énergétique du poste serveur							
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Consommation annuelle (kWh/:</td> <td style="text-align: right; padding: 5px;">89 739,99 kWh/an</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Coût €HTVA</td> <td style="text-align: right; padding: 5px;">16 869,23 € HTVA/an</td> </tr> </table>		Consommation annuelle (kWh/:	89 739,99 kWh/an	Coût €HTVA	16 869,23 € HTVA/an			
Consommation annuelle (kWh/:	89 739,99 kWh/an							
Coût €HTVA	16 869,23 € HTVA/an							
Investissement prévisionnel	A définir	HTVA						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%; padding: 5px;">Remplacement des serveurs</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: right; padding: 5px;">A définir</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; padding: 5px;">Total</td> <td></td> <td style="text-align: right; padding: 5px;">A définir</td> </tr> </table>			Remplacement des serveurs		A définir	Total		A définir
Remplacement des serveurs		A définir						
Total		A définir						
Après préconisation	Consommation énergétique du poste serveur							
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Consommation annuelle après préconisation</td> <td style="text-align: right; padding: 5px;">71 792 kWh/an</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Coût €HTVA</td> <td style="text-align: right; padding: 5px;">13 495,38 € HTVA</td> </tr> </table>		Consommation annuelle après préconisation	71 792 kWh/an	Coût €HTVA	13 495,38 € HTVA			
Consommation annuelle après préconisation	71 792 kWh/an							
Coût €HTVA	13 495,38 € HTVA							
Synthèse								
Usage énergétique	Serveur							
Gain (kWh/an)	17 948,00							
Gains (€/an)	3 373,85 €							
Coût (€)	A définir							
Rentabilité (an)	A définir							

F. Recommandation n°6 : Mettre un split pour les archives du bâtiment H

Description de la solution							
<p>Le bâtiment H est climatisé par un système centralisé de type VRV. La nuit, le système fonctionne afin de climatiser uniquement les archives et les locaux techniques.</p> <p>Les deux salles d'archives représentent au maximum un besoin de puissance de climatisation d'environ 10 kWf. Cela représente seulement 24% de la puissance d'un groupe VRV ce qui signifie qu'il fonctionne à un taux de charge plus faible que son taux nominal. Son rendement est ainsi dégradé et sa consommation plus importante qu'elle ne le serait avec un système split.</p> <p>Nous recommandons de mettre en place un système split pour les deux salles d'archives et d'utiliser le split installé pour le local technique afin d'éteindre le système VRV le soir et le week-end. Nous estimons un gain sur les consommations de la climatisation de ces zones à environ 30%</p> <p>La température de consigne de ces pièces pourrait par ailleurs être légèrement plus haute afin de réduire davantage la consommation de climatisation.</p>							
Données actuelles	Consommation énergétique de climatisation des archives et locaux techniques						
<table border="1"> <tr> <td>Consommation annuelle</td> <td>22 338 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Coût (€HTVA)</td> <td>4 199,07 € HTVA</td> </tr> </table>		Consommation annuelle	22 338 kWh/an	Coût (€HTVA)	4 199,07 € HTVA		
Consommation annuelle	22 338 kWh/an						
Coût (€HTVA)	4 199,07 € HTVA						
Investissement prévisionnel	4 950 € HTVA						
<table border="1"> <tr> <td>Split inverter</td> <td>4 500 €</td> </tr> <tr> <td>Aléas</td> <td>450 €</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>4 950 €</td> </tr> </table>		Split inverter	4 500 €	Aléas	450 €	Total	4 950 €
Split inverter	4 500 €						
Aléas	450 €						
Total	4 950 €						
Après préconisation	Consommation énergétique de climatisation des archives et locaux techniques						
<table border="1"> <tr> <td>Consommation annuelle après préconisation</td> <td>15 637 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Coût (€HTVA)</td> <td>2 939,35 € HTVA</td> </tr> </table>		Consommation annuelle après préconisation	15 637 kWh/an	Coût (€HTVA)	2 939,35 € HTVA		
Consommation annuelle après préconisation	15 637 kWh/an						
Coût (€HTVA)	2 939,35 € HTVA						
<p>Hypothèses : La nuit commence à 18h jusqu'à 6h Réduction des consommations de 30%</p>							
Synthèse							
Usage énergétique	Tous						
Gain (kWh/an)	6 701 kWh/an						
Gains (€/an)	1 259,72 €						
Coût (€)	4 950 €						
Rentabilité (an)	4 ans						

G. Recommandation n°7 : Mettre en place des brasseurs d'air / ventilateurs dans les bureaux

Description de la solution

Afin de réduire la consommation énergétique liée à l'utilisation de la climatisation, nous recommandons de mutualiser l'utilisation de climatisation avec un brasseur d'air ou un ventilateur. L'utilisation du brasseur d'air permet d'augmenter la température de consigne de la climatisation en conservant le même niveau de confort thermique. D'après des simulations thermiques dynamiques réalisées sur un bâtiment similaire, l'augmentation de la température de consigne de climatisation de 2°C permet de réduire la consommation de climatisation d'environ 20%. En saison fraîche (décembre à mars), cela peut également permettre dans certains bureaux de se passer totalement de climatisation et donc de réduire encore davantage la consommation.

Certains bureaux sont déjà équipés de ventilateurs sur pied. On considère ci-dessous l'ajout de brasseurs d'air dans tous les bureaux qui le permettent et à minima de ventilateurs sur pied dans les autres bureaux. Les brasseurs d'air sont beaucoup plus efficaces et silencieux que les ventilateurs sur pied, ils limitent également l'encombrement. Que ce soit pour les brasseurs ou les ventilateurs il est très important de choisir des modèles peu bruyants et performants avec un débit d'air satisfaisant à basse vitesse pour que les agents ne soient pas perturbés dans leur travail (guide des brasseurs d'air : <https://guide-brise.org/>).

Données actuelles Consommation énergétique de la climatisation dans tous les bâtiments

Consommation annuelle	191 172 kWh/an
Coût €HTVA	35 936,34 € HTVA/an
Nombre de ventilateurs présents	45

Investissement prévisionnel 31 850 € HTVA

Ajout de 182 brasseurs d'air/ventilateur	31 850 €
Total	31 850 €

Après préconisation Consommation énergétique de la climatisation dans tous les bâtiments

Consommation annuelle après préconisation	152 938 kWh/an
Coût €HTVA	28 749,07 € HTVA/an
Nombre final de brasseur d'air/ventilateur	227

Synthèse

Usage énergétique	Climatisation
Gain (kWh/an)	38 234 kWh/an
Gains (€/an)	7 187 €
Coût (€)	31 850 €
Rentabilité (an)	4,5 ans

Aides possibles

Fiche standard de CSPE

100€ par brasseurs d'air

H. Recommandation n°8 : Réduire les apports solaires par la toiture des bâtiments DEF et G avec une peinture thermo-réfléchissante

Description de la solution

Les bâtiments DEF et G ont des toitures-terrasses de couleur noire avec un isolant de faible épaisseur vieillissant dont l'efficacité s'est probablement dégradée au cours des années. La couleur noire est très défavorable car l'intégralité du rayonnement solaire est absorbé par la toiture, ce qui constitue une grande partie des apports de chaleur dans ces bâtiments.

Il existe désormais des peintures thermo-réfléchissantes qui peuvent être appliquées facilement sur le revêtement existant et qui permettent de réduire l'absorption du rayonnement de plus de 90%. Ce type de produit se développe fortement dans l'hexagone mais manque de références en Outre-mer. En théorie, cette solution serait parfaitement adaptée pour améliorer la performance thermique des bâtiments DEF et G. D'après des simulations thermiques dynamiques réalisées sur un bâtiment similaire, cela pourrait permettre de réduire la consommation de climatisation d'environ 25%, mais cela reste à confirmer sur le terrain.

Cette opération pourrait faire l'objet d'une expérimentation soutenue par les pouvoirs publics avec des capteurs de mesures pour évaluer l'impact après travaux.

Données actuelles Consommation énergétique de la climatisation des bâtiments DEF et G

Consommation annuelle	29 960 kWh/an
Coût (€HTVA)	5 631,90 € HTVA/an

Investissement prévisionnel 18 240 € HTVA

Peinture sur la toiture des deux bâtiments (environ 760 m ²)	18 240 €
Total	18 240 €

Après préconisation Consommation énergétique de la climatisation des bâtiments DEF et G

Consommation annuelle après préconisation	22 470 kWh/an
Coût €HTVA	4 223,92 € HTVA/an

Synthèse

Usage énergétique	Climatisation	
Catégorie d'action	Investissement/équipement	
Gain (kWh/an)	7 490	kWh/an
Gains (€/an)	1 407,97 €	€
Coût (€)	18 240 €	€
Rentabilité	11 ans	

Aujourd'hui, la climatisation de ces bâtiments n'est pas utilisée à 100%. Dans le cas d'une utilisation maximale (tous les agents sur place), la rentabilité se verrait plus favorable.

Aides possibles

Fiche standard de Certificat d'Economie d'Energie (CEE)

BAT-EN-112 - Revêtements réfléchissants en toiture

Zone climatique H3
 205 MWh cumac
1 642 €HTVA d'aide à 8,00 €HT / MWh cumac
 Valeur du mois de mars 2024 sur www.emmy.fr

I. Recommandation n°9 : Poursuivre le relamping LED des bâtiments

Description de la solution

Actuellement, les luminaires sont de divers types sur le site. On retrouve des dalles et réglettes LED, des tubes néons T8, des tubes néons T5 et quelques ampoules.

Le changement de luminaires vers des équipements LED est en cours. Nous recommandons de poursuivre au fur et à mesure ce changement en prenant soin de ne pas remplacer en quantité identique les luminaires. En effet, les luminaires LED ont un niveau d'éclairage plus important que les autres types de luminaires, il est donc possible de réduire leur nombre ou leur puissance. En remplaçant à l'identique, on risque de créer un environnement trop lumineux et de limiter le gain énergétique.

Le calcul ci-dessous prend en compte le remplacement de tous les équipements restant en T8, T5 et autres en LED. D'après nos relevés, il est encore possible de réduire d'environ 20% la puissance installée sur tout le site.

Données actuelles

Consommation énergétique de l'éclairage du site

Puissance installée actuelle	28 kW
Consommation annuelle	30 401,61 kWh/an
Coût €HTVA	5 715 HTVA/an

Investissement prévisionnel

18 008 € HTVA

Dalle LED	10 275 €
Tube LED 120 cm	560 €
Ampoule LED 5W	420 €
Pose des équipements	5 628 €
Aléas (10%)	1 126 €
Total	18 008 €

Après préconisation

Consommation énergétique de l'éclairage du site

Puissance installée après préconisation	22 kW
Consommation annuelle après préconisation	24 277,59 kWh/an
Cout €HTVA	4 563,68 € HTVA/an

Synthèse

Usage énergétique	Tous
Gain (kWh/an)	6 124 kWh/an
Gains (€/an)	1 151,19 €
Coût (€)	18 008 €
Rentabilité (an)	13 ans

Avec les aides CEE, on peut atteindre une rentabilité en 11,5 ans

Aides possibles

Fiche standard de Certificat d'Economie d'Energie (CEE)

BAT-EQ-127 - Luminaire à modules LED

IRC (Indice de rendu des couleurs) < 90 et efficacité lumineuse entre 120 et 139 lm/W

334 MWh cumac

2 674 €HTVA

d'aide à

8,00 €HT / MWh cumac

Valeur du mois de mars 2024 sur www.emmy.fr

Coût (€) avec aide

15 334,00 €

Rentabilité avec aide

12 ans

J. Recommandation n°10 : Mettre en place un film micro perforé blanc sur les vitrages de la façade Sud-Est des bâtiments B, DEF et toutes les vitrages du bâtiment L

Description de la solution											
<p>Lors de l'audit, nous avons constaté un manque de protection solaire sur les fenêtres des façades Sud-Est des bâtiment B, DEF et les fenêtres de tout le bâtiment L. Sans protection solaire, les rayons du soleil pénètrent directement dans la pièce à travers le vitrage, ce qui génère un inconfort important pour les usagers et des surchauffes qui sont compensées par une surconsommation de climatisation.</p> <p>Dans le cas où la recommandation n°11 ne serait pas retenue, nous recommandons d'étudier la possibilité de poser un film micro perforé de couleur blanche sur côté extérieur des vitrages pour réduire les apports solaires. Le gain est estimé à 8% sur la consommation de climatisation à partir de simulations thermiques dynamiques réalisées sur un bâtiment similaire. Cette solution palliative manque de références et demande à être testée sur un bureau avant d'investir sur l'ensemble des vitrages. Il faut notamment faire attention au taux de perforation qui impacte la transmission de la lumière naturelle et il faut impérativement choisir une couleur blanche pour qu'elle soit efficace.</p>											
Données actuelles											
Consommation énergétique de la climatisation des bâtiments B, DEF et L											
<table> <tr> <td>Consommation annuelle</td> <td>48 477 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Coût (€HTVA)</td> <td>9 112,65 € HTVA/an</td> </tr> </table>		Consommation annuelle	48 477 kWh/an	Coût (€HTVA)	9 112,65 € HTVA/an						
Consommation annuelle	48 477 kWh/an										
Coût (€HTVA)	9 112,65 € HTVA/an										
Investissement prévisionnel											
5 919 € HTVA											
<table> <tr> <td>Pose d'un film micro-perforé blanc</td> <td style="text-align: right;">5 919 €</td> </tr> <tr> <td>Surface des baies Sud-Est</td> <td style="text-align: right;">221,95 m²</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Total</td> <td style="text-align: right;">5 919 €</td> </tr> </table>		Pose d'un film micro-perforé blanc	5 919 €	Surface des baies Sud-Est	221,95 m ²	Total	5 919 €				
Pose d'un film micro-perforé blanc	5 919 €										
Surface des baies Sud-Est	221,95 m ²										
Total	5 919 €										
Après préconisation											
Consommation énergétique de la climatisation des bâtiments B, DEF et L											
<table> <tr> <td>Consommation annuelle après préconisation</td> <td>44 599 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Coût (€HTVA)</td> <td>8 383,64 € HTVA/an</td> </tr> </table>		Consommation annuelle après préconisation	44 599 kWh/an	Coût (€HTVA)	8 383,64 € HTVA/an						
Consommation annuelle après préconisation	44 599 kWh/an										
Coût (€HTVA)	8 383,64 € HTVA/an										
Synthèse											
<table> <tr> <td>Usage énergétique</td> <td style="text-align: right;">Climatisation</td> </tr> <tr> <td>Gain (kWh/an)</td> <td style="text-align: right;">3 878 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Gains (€/an)</td> <td style="text-align: right;">729,01 €</td> </tr> <tr> <td>Coût (€)</td> <td style="text-align: right;">5 919 €</td> </tr> <tr> <td>Rentabilité (an)</td> <td style="text-align: right;">7,5 ans</td> </tr> </table>		Usage énergétique	Climatisation	Gain (kWh/an)	3 878 kWh/an	Gains (€/an)	729,01 €	Coût (€)	5 919 €	Rentabilité (an)	7,5 ans
Usage énergétique	Climatisation										
Gain (kWh/an)	3 878 kWh/an										
Gains (€/an)	729,01 €										
Coût (€)	5 919 €										
Rentabilité (an)	7,5 ans										

K. Recommandation n°11 : Pose de protection solaires sur les fenêtres de la façade Sud-Est des bâtiments B, DEF et toutes les fenêtres du bâtiments L

Description de la solution							
<p>Lors de l'audit, nous avons constaté un manque de protection solaire sur les fenêtres des façades Sud-Est des bâtiment B, DEF et les fenêtres de tout le bâtiment L. Sans protection solaire, les rayons du soleil pénètrent directement dans la pièce à travers le vitrage, ce qui génère un inconfort important pour les usagers et des surchauffes qui sont compensées par une surconsommation de climatisation.</p> <p>Nous recommandons la pose de brise soleil sur toutes les fenêtres directement exposées au rayonnement afin de réduire l'inconfort et la consommation de climatisation dans les bureaux. Le gain est estimé à 17% sur la consommation de climatisation à partir de simulations thermiques dynamiques réalisées sur un bâtiment similaire.</p> <p>Ceux-ci doivent être dimensionnés de façon optimale à partir d'une étude spécifique afin de protéger du rayonnement tout en préservant un bon niveau d'éclairage naturel. Par ailleurs, un diagnostic technique et une étude de faisabilité doivent valider la capacité du bâtiment existant à supporter les reports de charge des brise-soleils envisagés. Une solution légère qui sollicite peu la structure localisée au niveau de chaque fenêtre serait probablement la plus économique mais une solution avec une structure secondaire indépendante peut également être envisagée selon les contraintes des bâtiments existants.</p>							
Données actuelles	Consommation énergétique de climatisation des bâtiments B, DEF et L						
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>Consommation annuelle</td> <td style="text-align: right;">48 476,97 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Coût €HTVA</td> <td style="text-align: right;">9 112,65 € HTVA</td> </tr> </table>		Consommation annuelle	48 476,97 kWh/an	Coût €HTVA	9 112,65 € HTVA		
Consommation annuelle	48 476,97 kWh/an						
Coût €HTVA	9 112,65 € HTVA						
Investissement prévisionnel	55 488 € HTVA						
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>Pose de brise soleil</td> <td style="text-align: right;">55 488 €</td> </tr> <tr> <td>Surface des baies</td> <td style="text-align: right;">221,95 m²</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Total</td> <td style="text-align: right;">55 488 €</td> </tr> </table>		Pose de brise soleil	55 488 €	Surface des baies	221,95 m ²	Total	55 488 €
Pose de brise soleil	55 488 €						
Surface des baies	221,95 m ²						
Total	55 488 €						
Après préconisation	Consommation énergétique de climatisation des bâtiments B, DEF et L						
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td>Consommation annuelle après préconisation</td> <td style="text-align: right;">40 236 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Cout €HTVA</td> <td style="text-align: right;">7 563,50 € HTVA</td> </tr> </table>		Consommation annuelle après préconisation	40 236 kWh/an	Cout €HTVA	7 563,50 € HTVA		
Consommation annuelle après préconisation	40 236 kWh/an						
Cout €HTVA	7 563,50 € HTVA						
Synthèse							
	Climatisation						
Usage énergétique	8 241 kWh/an						
Gain (kWh/an)	1 549 €/an						
Gains (€/an)	55 488 €						
Coût (€)	22 ans						
Rentabilité							
<p><i>Aujourd'hui, la climatisation de ces bâtiments n'est pas utilisée à 100%. Dans le cas d'une utilisation maximale (tous les agents sur place), la rentabilité se verrait plus favorable.</i></p>							

L. Recommandation n°12 : Remplacement du groupe froid du bâtiment N par un modèle plus performant et passage à un système à débit variable

Description de la solution							
<p>Le groupe froid du bâtiment N est vieillissant et commence à montrer des signes de vétusté. En effet, quelques climatiseurs de type mono split sont installés sur le bâtiment pour pallier aux pannes. Il possède très certainement un rendement largement inférieur aux équipements plus récents. On peut estimer qu'un équipement récent aurait un rendement amélioré de 30% au minimum.</p> <p>Nous avons constaté sur le site de la DEAL que les bâtiments qui ont des systèmes de climatisation centralisés ont une consommation par m² plus importante que les bâtiments climatisés par des mono split. Nous l'expliquons par l'occupation partielle et variable des locaux et la meilleure modulation des systèmes décentralisés.</p> <p>De ce fait, quand viendra le moment de remplacer le groupe froid, nous recommandons de favoriser un système avec un fonctionnement modulable. Par ailleurs, le passage à une pompe à débit variable sur le réseau d'eau glacée associé à des vannes 2 voies permettrait d'améliorer le rendement de l'installation.</p> <p>Au préalable, une étude avec un bureau d'études fluides sera nécessaire pour choisir le système le plus adapté au fonctionnement du bâtiment.</p>							
Données actuelles	Consommation énergétique de la climatisation du bâtiment N						
<table border="1"> <tr> <td>Consommation annuelle</td> <td>57 695,33 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Coût (€HTVA)</td> <td>10 845,51 € HTVA/an</td> </tr> </table>		Consommation annuelle	57 695,33 kWh/an	Coût (€HTVA)	10 845,51 € HTVA/an		
Consommation annuelle	57 695,33 kWh/an						
Coût (€HTVA)	10 845,51 € HTVA/an						
Investissement prévisionnel	65 000 € HTVA						
<table border="1"> <tr> <td>Investissement d'un nouveau groupe froid</td> <td>50 000 €</td> </tr> <tr> <td>Passage système à débit variable vannes 2 voies</td> <td>15 000 €</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>65 000 €</td> </tr> </table>		Investissement d'un nouveau groupe froid	50 000 €	Passage système à débit variable vannes 2 voies	15 000 €	Total	65 000 €
Investissement d'un nouveau groupe froid	50 000 €						
Passage système à débit variable vannes 2 voies	15 000 €						
Total	65 000 €						
Après préconisation	Consommation énergétique de la climatisation du bâtiment N						
<table border="1"> <tr> <td>Consommation annuelle après préconisation</td> <td>40 386,73 kWh/an</td> </tr> <tr> <td>Coût €HTVA</td> <td>7 591,86 € HTVA</td> </tr> </table>		Consommation annuelle après préconisation	40 386,73 kWh/an	Coût €HTVA	7 591,86 € HTVA		
Consommation annuelle après préconisation	40 386,73 kWh/an						
Coût €HTVA	7 591,86 € HTVA						
Hypothèse : EER = 3,5 - Amélioration de 30%							
Synthèse							
Usage énergétique	Climatisation						
Gains (kWh/an)	17 309 kWh/an						
Gains (€/an)	3 254 €						
Coût (€)	65 000 €						
Rentabilité (an)	14,5 ans						

M. Recommandation n°13 : Installer une centrale de production photovoltaïque en toiture

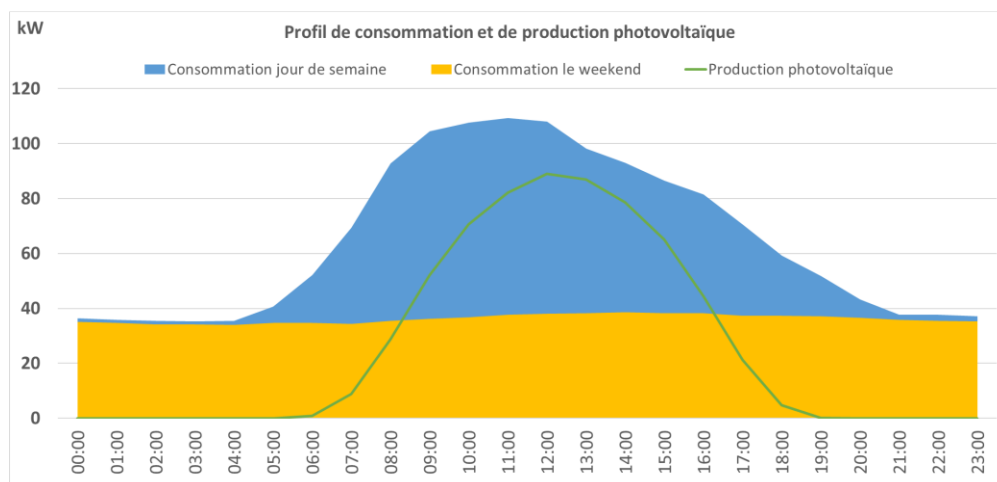
Description de la solution

Sous réserve de faisabilité et de respect des normes de sécurité, l'installation d'une centrale photovoltaïque en auto-consommation permettrait de produire de l'électricité afin de réduire la consommation sur le réseau. Une étude de dimensionnement spécifique est nécessaire mais nous avons évalué l'impact de l'installation d'une centrale de 145,5 kWc représentant une surface totale de panneaux de 809 m² soit l'équivalent de la surface des toitures des bâtiments B, C, DEF, G et N.

Cette solution est déjà en cours d'achèvement sur le bâtiment N et nous préconisons de le poursuivre sur d'autres bâtiments afin d'augmenter l'auto consommation du site. Nos calculs prennent en compte la production photovoltaïque des bâtiments B, C, DEF, G et N.



Nous avons effectué cette recommandation sans valorisation de l'énergie produite en surplus pour se placer le cas le plus défavorable. Le graphique ci-dessous représente le profil de consommation en semaine (en bleu) et en week-end (en jaune). En vert, on a la courbe théorique de la production d'énergie photovoltaïque. L'autoconsommation annuelle théorique représenterait 88% de la production d'énergie et le système permettrait de couvrir 41% de la consommation annuelle.



Nous faisons l'hypothèse que le coût d'une telle installation photovoltaïque revient à 1,3€/Wc installé. Nous ajoutons 10€/kWc.an de maintenance au coût global.

Investissement prévisionnel		189 150 € HTVA
809 m ² de panneaux photovoltaïques		189 150 €
	Total	189 150 €
Après préconisation		Consommation énergétique totale du site
Surface panneaux		809 m ²
Production annuelle photovoltaïque		231 200 kWh/an
Consommation évitée sur le réseau		202 800 kWh/an
Maintenance annuelle		1 455 €/an
Synthèse		
Usage énergétique		EnR
Gain (kWh/an)		202 800 kWh/an
Gains (€/an)		35 336,10 €
Coût (€)		189 150 €
Rentabilité (an)		5 ans

9. Scénarios de travaux

A partir des recommandations identifiées, nous avons élaboré 3 scénarios de travaux. Chacun des niveaux est décrit par un plan d'actions.

***Avertissement :** Les économies sont présentées toutes choses étant égales par ailleurs, ce qui signifie que les résultats effectifs peuvent varier selon l'évolution des facteurs influents (climat extérieur, ...) et du fonctionnement du site. Les données présentées sont issues d'un modèle extrapolé à partir des mesures réalisées sur le site et comportent ainsi une marge d'erreur à prendre en considération. Les économies d'énergie des actions sont des estimations basées sur notre expertise et sur les données fournies par les fabricants. Les choix des matériels effectivement mis en œuvre pourront influencer les économies effectives obtenues. En ce sens, les résultats de l'audit ne constituent pas une prévision d'économies d'énergie.*

Les résultats des scénarios sont les suivants :

Types de recommandations	Gains énergétiques	Gais financiers	Economies	Coût	Rentabilité	Emissions de GES évitées (teq CO ₂)	Nouvelle consommation surfacique
Recommandations faciles à réaliser	60 506 kWh/an	12%	11 374 €/an	4 700 €	Immédiat	34	96 kWh/m ² .an
Recommandations avec les investissements les plus rentables et simples à réaliser	105 444 kWh/an	21%	19 821 €/an	65 427 €	3 ans	59	86 kWh/m ² .an
Actions les plus complexes mais permettant d'atteindre une réduction de coût plus ambitieuse	275 721 kWh/an	56%	51 830 €/an	387 386 €	7 ans	155	48 kWh/m ² .an

** Dans le scénario 3, la nouvelle consommation surfacique ne tient pas compte de l'énergie produite et consommée. Si on prend en compte l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques, la consommation surfacique s'élève à : 82 kWh/m².an*

* scénario 2 et 3 : le gain lié au changement de serveur n'est pas pris en compte car le coût reste à définir

A. Recommandations faciles à réaliser

N°	Types de recommandations	Gains énergétiques	Gains financiers	Coût	Rentabilité
A	Optimiser les heures de fonctionnement des systèmes de climatisation du site	16 741 kWh/an	3 146 €	0 €	Immédiate
B	Installation d'horloge sur la climatisation du bâtiment H	8 645 kWh/an	1 625 €	500 €	Immédiate
C	Améliorer l'identification des équipements dans les tableaux électriques, déterminer les équipements responsables du talon de puissance et optimiser leur fonctionnement	25 562 kWh/an	4 805 €	2 000 €	Immédiate
D	Ajouter du sous comptage sur la climatisation de chaque bâtiment	9 559 kWh/an	1 796 €	2 200 €	2 ans
	TOTAL	60 507 kWh/an	11 372 €	4 700 €	Immédiate

Ce scénario permettrait d'atteindre une consommation surfacique de 96 kWh/m².an et une économie d'énergie de 38% par rapport à l'année 2015. Cela ne permettrait pas d'atteindre les exigences du décret tertiaire (-40% en 2030 par rapport à 2010). La réduction d'émissions de gaz à effet de serre serait de 34 tonnes équivalent CO₂ par an.

B. Recommandations avec les investissements les plus rentables et simples à réaliser

N°	Types de recommandations	Gains énergétiques	Gains financiers	Coût	Rentabilité
A	Optimiser les heures de fonctionnement des systèmes de climatisation du site	16 741 kWh/an	3 146 €	0 €	Immédiate
B	Installation d'horloge sur la climatisation du bâtiment H	8 645 kWh/an	1 625 €	500 €	Immédiate
C	Améliorer l'identification des équipements dans les tableaux électriques, déterminer les équipements responsables du talon de puissance et optimiser leur fonctionnement	25 562 kWh/an	4 805 €	2 000 €	Immédiate
D	Ajouter du sous comptage sur la climatisation de chaque bâtiment	9 559 kWh/an	1 796 €	2 200 €	2 ans
E	Remplacement des serveurs par des modèles plus performants	17 948 kWh/an	3 373 €	A définir	A définir
F	Mettre un split pour les archives du bâtiment H	6 366 kWh/an	1 196 €	4 950 €	4 ans
G	Mettre en place des brasseurs d'air / ventilateur dans les bureaux	29 972 kWh/an	5634 €	31 850 €	4,5 ans
I	Poursuivre le relamping LED des bâtiments	6 124 kWh/an	1 151 €	18 008 €	13 ans
J	Mettre en place un film micro perforé blanc sur le vitrage de la façade Sud-Est des bâtiments B, DEF et tous les vitrages du bâtiment L	2 475 kWh/an	465 €	5 918	7,5 ans

TOTAL	105 444 kWh/an	19 821 €	65 427 €	3 ans
--------------	-----------------------	-----------------	-----------------	--------------

* le gain lié au changement de serveur n'est pas pris en compte car le coût reste à définir

Ce scénario permettrait d'atteindre une consommation surfacique de 86 kWh/m².an et une économie d'énergie de 44% par rapport à l'année 2015. Cela permettrait d'atteindre les exigences du décret tertiaire à courts termes (-40% en 2030 par rapport à 2010). La réduction d'émissions de gaz à effet de serre serait de 59 tonnes équivalent CO₂ par an.

C. Recommandations les plus complexes permettant d'atteindre une réduction de coût plus ambitieuse

N°	Types de recommandations	Gains énergétiques	Gains financiers	Coût	Rentabilité
A	Optimiser les heures de fonctionnement des systèmes de climatisation du site	16 741 kWh/an	3 146 €	0 €	Immédiate
B	Installation d'horloge sur la climatisation du bâtiment H	8 645 kWh/an	1 625 €	500 €	Immédiate
C	Améliorer l'identification des équipements dans les tableaux électriques, déterminer les équipements responsables du talon de puissance et optimiser leur fonctionnement	25 562 kWh/an	4 805 €	2 000 €	Immédiate
D	Ajouter du sous comptage sur la climatisation de chaque bâtiment	9 559 kWh/an	1 796 €	2 200 €	2 ans
E	Remplacement des serveurs par des modèles plus performants	17 948 kWh/an	3 373 €	A définir	A définir
F	Mettre un split pour les archives du bâtiment H	6 366 kWh/an	1 196 €	4 950 €	4 ans
G	Mettre en place des brasseurs d'air / ventilateur dans les bureaux	29 972 kWh/an	5634 €	31 850 €	4,5 ans
I	Poursuivre le relamping LED des bâtiments	6 124 kWh/an	1 151 €	18 008 €	13 ans
J	Mettre en place un film micro perforé blanc sur le vitrage de la façade Sud-Est des bâtiments B, DEF et tous les vitrages du bâtiment L	2 475 kWh/an	465 €	5 918	7,5 ans

H	Réduire les apports solaires par la toiture des bâtiments DEF e G avec une peinture thermo-réfléchissante	5 692	1 069 €	18 240 €	13 ans
K	Pose de protection solaires sur les fenêtres de la façade Sud-Est des bâtiments B, DEF et toutes les fenêtres du bâtiment L	27 146 kWh/an	5 102 €	55 487 €	22 ans
L	Remplacement du groupe froid du bâtiment N par un modèle plus performant et passage à un système à débit variable	36 825 kWh/an	6 922 €	65 000 €	14 ans
M	Installer une centrale de production photovoltaïque	151 397 kWh/an	28 459 €	189 150 €	5 ans
	TOTAL	275 721 kWh/an	51 830 €	387 386 €	7 ans

* le gain lié au changement de serveur n'est pas pris en compte car le coût reste à définir

Ce scénario permettrait d'atteindre une consommation surfacique de 48 kWh/m².an et une économie d'énergie de 69% par rapport à l'année 2015. Cela permettrait d'atteindre les exigences du décret tertiaire à courts et longs termes (-40% en 2030 par rapport à 2010 et -60% en 2050). La réduction d'émissions de gaz à effet de serre serait de 155 tonnes équivalent CO₂ par an.

ANNEXES

Le tableau ci-dessous représente le plan de comptage du site pendant la campagne de mesures :

Bâtiment	Poste mesuré	Date de début	Date de fin
H (niveau RDC)	Général FM	23/11/2023	01/12/2023
H (niveau RDJ)	Général FM	23/11/2023	01/12/2023
H (niveau RDV)	Coupure générale	23/11/2023	01/12/2023
H (niveau RDV)	Général FM	23/11/2023	01/12/2023
H (niveau RDV)	Général ondulé	23/11/2023	01/12/2023
H (niveau RDV)	TD RDJ	23/11/2023	01/12/2023
H (niveau RDV)	TD RDC	23/11/2023	01/12/2023
H (niveau RDV)	Général 1 PC	23/11/2023	01/12/2023
H (niveau RDV)	TD Combles	23/11/2023	01/12/2023
DEF	Coupure générale	23/11/2023	01/12/2023
DEF	Général 1 clim	23/11/2023	01/12/2023
DEF	Général 2 clim	23/11/2023	01/12/2023
DEF	Général 3 clim	23/11/2023	01/12/2023
DEF	Général 4 clim	23/11/2023	01/12/2023
DEF	Borne VE	23/11/2023	01/12/2023
DEF	Alim TD Bat E	23/11/2023	01/12/2023
B	Général	23/11/2023	01/12/2023
B	TD Bât C	23/11/2023	01/12/2023
B	Général clim 1	23/11/2023	01/12/2023
B	Clim 001	23/11/2023	01/12/2023
B	Clim 014	23/11/2023	01/12/2023
N	Inter général	01/12/2023	07/12/2023
N	Alimentation TD N1	01/12/2023	07/12/2023
N	Alimentation TD N2	01/12/2023	07/12/2023
N	Général VC	01/12/2023	07/12/2023
N	Général éclairage 2	01/12/2023	07/12/2023
N	Général éclairage ext 2	01/12/2023	07/12/2023
N	Groupe froid	01/12/2023	07/12/2023
L	Général	01/12/2023	08/12/2023
L	Alim serveur onduleur	01/12/2023	08/12/2023

L	Général 1 clim RDC	01/12/2023	08/12/2023
L	Général 2 clim RDC	01/12/2023	08/12/2023
L	Alim TD logistique	01/12/2023	08/12/2023
L	Général 1 clim R+2	01/12/2023	08/12/2023
L	Général 2 clim R+2	01/12/2023	08/12/2023
L	Général PC	01/12/2023	08/12/2023
G	Général	01/12/2023	08/12/2023
G	Général climatisation	01/12/2023	08/12/2023
G	TD cuisine	01/12/2023	08/12/2023
G	Général éclairage	01/12/2023	08/12/2023
G	Alim TD Bât E	01/12/2023	08/12/2023