

Rapport d'audit énergétique



Bâtiments Services de la Navigation Aérienne (SNA) à Colombier-Saugnieu (69)

Suivi du document	
Identification du document	LER2025-024 – V4
Version – Date	V4 – 26/06/2025
Visite sur site	06/02/2025
Méthode de calcul	Réglementaire Rt-Existant (TH-CE-Ex)
Contact technique	suivi.etudes@lorr-enr.fr

Lorr-EnR est labellisée :



I. Historique du document	4
II. Cadre de la mission	5
2.1 Objectifs et attentes	5
2.2 Domaine d'action	5
2.3 Moyens informatiques	5
2.4 Les contacts	6
2.5 Le cadre et les limites du diagnostic énergétique	7
2.6 Les étapes de l'audit énergétique	8
2.7 Décret tertiaire et définition de la référence énergétique	9
III. Descriptif général et analyse de l'état existant	10
3.1 Le bâtiment	10
3.2 Photographies extérieures du bâtiment	12
3.3 Masques lointains et proches	13
3.4 Site et conditions météorologiques	14
3.5 L'activité du bâtiment	15
3.6 Description de l'enveloppe du bâtiment	16
3.7 Description des équipements énergétiques	34
3.8 Factures énergétiques	49
IV. Phase 2 - Bilan énergétique	51
4.1 Déperditions thermiques	51
4.2 Modélisation thermique réglementaire	55
4.3 Modélisation thermique dynamique	60
V. Phase 3 : Proposition d'améliorations	62
5.1 Interventions étudiées	62
5.2 Potentiel des énergies renouvelables	71
5.3 Impact des travaux individuels	72
5.4 Hypothèses de travail	76
5.5 Scénarios d'amélioration énergétiques étudiés	79
VI. Synthèse & Recommandations	93
6.1 Propositions d'améliorations	93
6.2 Aides financières potentielles	94
6.3 Déperditions thermiques	95
6.4 Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre selon méthode réglementaire	97
6.5 Tableau récapitulatif	99
VII. Offre de suivi de l'amélioration énergétique	101

VIII.		
	Glossaire.....	102
IX.	Annexes.....	104
9.1	Plans de niveaux	104
9.2	Descriptifs des aides financières potentielles	105

I. Historique du document

N° version	Date du document	N° rapport	Auteur(s)	Modifications
01	27/03/2025	2025-024	A.H	-
02	29/04/2025	2025-024 – V2	A.H	Mise à jour
03	06/06/2025	2025-024 – V3	A.H	Mise à jour
04	26/06/2025	2025-024 – V4	A.H	Mise à jour

II. Cadre de la mission

Ce document présente l'état des lieux « thermique » du bâtiment, et étudie l'impact d'une série de travaux traitant en priorité l'enveloppe du bâtiment, dont l'effet est modélisé au moyen d'une étude thermique réglementaire TH-CE-Existant, permettant de situer le bâtiment sur l'étiquette énergétique et climat, indispensable pour l'obtention des diverses aides envisageables.

2.1 Objectifs et attentes

L'objectif de cette mission est d'analyser la performance thermique et énergétique du bâtiment, afin d'en identifier les points faibles et d'en comprendre le fonctionnement thermique, et de proposer une série de travaux adaptés, pour en améliorer la performance et le confort.

L'audit énergétique permet d'élaborer un modèle du bâtiment qui permet de simuler son fonctionnement thermique actuel afin de proposer différents bouquets de travaux et d'en évaluer l'impact sur le confort et la consommation d'énergie. Le but est de constituer une connaissance précise du bâtiment étudié, de ses possibilités d'évolution, des coûts d'investissements nécessaires ainsi que des économies réalisées.

Cette mission correspond à une phase d'orientation se situant en amont des études techniques et a pour objectif de donner au maître d'ouvrage une vision globale afin de l'aider à décider des projets de travaux. Elle ne constitue pas une étude de définition ou de dimensionnement.

2.2 Domaine d'action

La présente analyse a été réalisée à un instant donné de la vie du site étudié. Le domaine d'action et le périmètre de cette offre s'étend à l'audit énergétique du bâtiment et à la proposition de travaux concernant le bâtiment audité.

2.3 Moyens informatiques



Les notes de calculs ont été effectuées au moyen du logiciel Pléiades-Comfie développé par IZUBA Energies, avec mise à jour permanente.

2.4 Les contacts

Bureaux d'études thermiques fluides	
Nom	LORR-ENR
Adresse	240 Rue de Cumène, Centre d'activités Ariane 54230 Neuves-Maisons
Chef de projet	Florian PARMENTELOT
Chargé(s) d'études	Adrien HIRSCH
Contact tél/mail	03 83 15 66 03 - suivi.etudes@lorr-enr.fr
Certificat OPCI	N° 13 12 2638
Qualifications RGE obtenues	19 11 « Audit énergétique "maisons individuelles" » 19.05 « Audit énergétique des bâtiments (tertiaires et/ou habitations collectives) » 1331 « Etude thermique réglementaire « Maison individuelle » 1332 « Etude thermique réglementaire « bâtiment collectif d'habitation et/ou tertiaire »

Maître d'Ouvrage	
Maître d'Ouvrage	Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC)
Adresse	82 rue des Pyrénées 75970 Paris Cedex
Contact(s)	M. BADUEL – 06.45.11.83.32

2.5 Le cadre et les limites du diagnostic énergétique

❖ Les hypothèses et les limites de l'étude :

Le diagnostic énergétique considère toutes les dépenses énergétiques inhérentes au bâtiment dans son fonctionnement existant. Il apporte des solutions conceptuelles pour obtenir des objectifs de performances énergétiques et ne constitue pas un diagnostic technique ni une étude de faisabilité, ces travaux incombant aux phases « projet » puis « exécution » d'une mission de maîtrise d'œuvre. Par exemple, un diagnostic énergétique ne traite pas directement des problématiques de structure ou d'étanchéité. Un diagnostic énergétique n'a pas vocation à mise en conformité réglementaire, notamment en matière de sécurité incendie, de sécurité des personnes, d'accessibilité, ... Toutefois, là où des problèmes patents semblent exister, nous nous les signalerons, dans la limite de nos connaissances.

Enfin, l'étude concerne exclusivement l'amélioration du bâti et des systèmes, mais ne porte pas sur la diminution de consommation des appareillages, process industriels ou spécifiques (machines, fours, robots...). Ces consommations seront prises en compte dans les bilans de fonctionnement du bâtiment, mais seront considérées comme constantes. Elles constituent des apports « gratuits » l'hiver, qui deviennent pénalisants l'été (contribution à la surchauffe du bâtiment).

❖ Les études spécifiques et d'exécution :

Les solutions de travaux proposées doivent donc faire l'objet d'une étude de faisabilité par une équipe de maîtrise d'œuvre. Sur la base des concepts proposés, elle qualifiera toutes les sujétions (reprise de structure, passage de voiles, travaux de décaissement, reprises d'étanchéité, dévoiements etc...) et assurera les calculs et dimensionnements finaux conformément à l'ensemble des réglementations en vigueur.

Note : La réglementation thermique de l'existant (RT2005 existant) sera respectée et constitue bien dans notre cas un strict minimum.

❖ Les estimations financières :

Afin de permettre à la maîtrise d'ouvrage d'avoir une approche complète incluant l'aspect financier des travaux à réaliser, un certain nombre d'estimations sont proposées dans le diagnostic. Ces enveloppes de travaux ne sauraient toutefois être prises pour des budgets d'exécution. Le chiffrage exact des travaux, prenant en compte l'ensemble des sujétions, sera réalisé par un économiste de la construction.

Sauf indication contraire, les investissements sont donnés en hors taxes, hors frais d'ingénierie, et hors subventions éventuelles.

❖ Les subventions :

Certaines subventions peuvent être accordées d'une part sur les énergies renouvelables (solaire thermique et photovoltaïque, chaufferie bois, pompes à chaleur, ...), et d'autre part en cas de labélisation du bâtiment (Passivhaus / La Maison Passive France, Effinergie, Bâtiment Basse Consommation (BBC), etc.). Ces subventions d'Etat peuvent être accordées par différents organismes comme l'ADEME, CLIMAXION, les Conseils Général et Régional... Ces subventions varient beaucoup dans le temps et seront à mettre à jour en phase projet par la maîtrise d'œuvre.

2.6 Les étapes de l'audit énergétique

- **Phase 1 : Etat des lieux.** Cette étape consiste à recueillir les informations nécessaires à la réalisation de l'audit énergétique proprement dit par un relevé méthodique sur site et à un contrôle du fonctionnement des installations.

Les tâches suivantes ont été réalisées au cours de l'audit énergétique :

- Déterminer la performance thermique de chaque paroi et des menuiseries via un relevé visuel et avec l'aide d'une caméra thermique infrarouge et d'un vitromètre.
 - Recenser les équipements énergétiques (chauffage, climatisation, production d'eau chaude sanitaire, ventilation) et relever leurs caractéristiques principales.
-
- **Phase 2 : Bilan énergétique :** Sur base des éléments relevés, le bâtiment est modélisé pour en comprendre le fonctionnement thermique. Cette modélisation permet de proposer des programmes d'actions adaptés à l'état du bâtiment afin d'en améliorer la performance énergétique. Cette phase a été réalisée par une étude thermique réglementaire et/ou par une simulation thermique dynamique.
-
- **Phase 3 : Programmes d'amélioration :** Sur la base des résultats de la modélisation, un ou plusieurs bouquets de travaux de rénovation ont été élaborés pour le bâtiment et sont présentés et étudiés dans cette phase : leur impact sur la performance du bâtiment est évalué et chiffré.
-
- **Phase 4 : Analyse financière :** Chaque bouquet de rénovation, présenté dans la phase 3, fait l'objet d'une analyse financière (estimation des coûts des travaux et du temps de retour sur investissement).

2.7 Décret tertiaire et définition de la référence énergétique

Le décret n°2019-771 du 23 juillet 2019 modifié, relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire, dit décret *Eco Energie Tertiaire*, rend obligatoire la réalisation d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans les bâtiments tertiaires de plus de 1000 m². Il s'inscrit dans le cadre du Grenelle II et de l'article 175 de la loi ELAN et est entré en vigueur le 1er octobre 2019 puis a été complété par un arrêté publié le 3 mai 2020.

Ce dispositif réglementaire, fixe pour les bâtiments assujettis, et pour chacune des années 2030, 2040 et 2050, deux types d'objectifs de réduction de la consommation énergétique :

- **Un objectif en valeur relative (Crel)** : niveau de consommation d'énergie finale réduit, respectivement de :
 - -40% en 2030 ;
 - -50% en 2040 ;
 - -60% en 2050.

- **Un objectif en valeur absolue (Cabs)** : niveau de consommation d'énergie finale fixé en valeur absolue, en fonction de la consommation énergétique des bâtiments nouveaux de leur catégorie.

La valeur absolue a été déterminée en fonction des éléments suivants :

Usage : **bureaux** ;

Altitude : **inférieur à 400 mètres** ;

Zones géographiques : **H1c**

Composante CVC : 62 kWh/m²/an

USE étalon : 50 kWh/m²/an

Valeur absolue = Composante CVC + USE étalon

Valeur absolue = 62 + 50

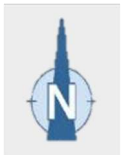
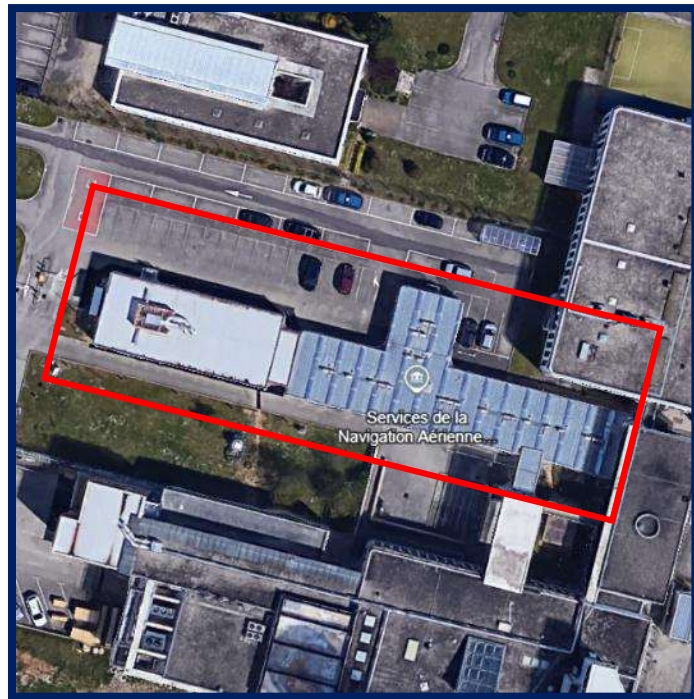
Valeur absolue = 112 kWh/m²/an

III. Descriptif général et analyse de l'état existant

3.1 Le bâtiment

Fiche d'identité du bâtiment	
Usage(s)	Bureaux
Nombre de bâtiment(s)	2
Adresse du/des bâtiment(s)	630, rue d'Allemagne 69125 Colombier-Saugnieu
Zone climatique RT	H1c (Rhône)
Altitude	236 m
Classement au bruit	BR3
Année de construction	2008
Extension	Oui (2014) – Bâtiment modulaire
Nombre de niveau(x)	1 niveau
SHON _{RT} (Surface de référence thermique)	Bâtiment Algeco : 526 m ² Bâtiment modulaire : 279 m ²
SDP (Surface de plancher)	Bâtiment Algeco : 506.8 m ² Bâtiment modulaire : 267.7 m ²

Repérage



Vue aérienne – Source : Google Earth

3.2 Photographies extérieures du bâtiment



NORD



SUD



EST



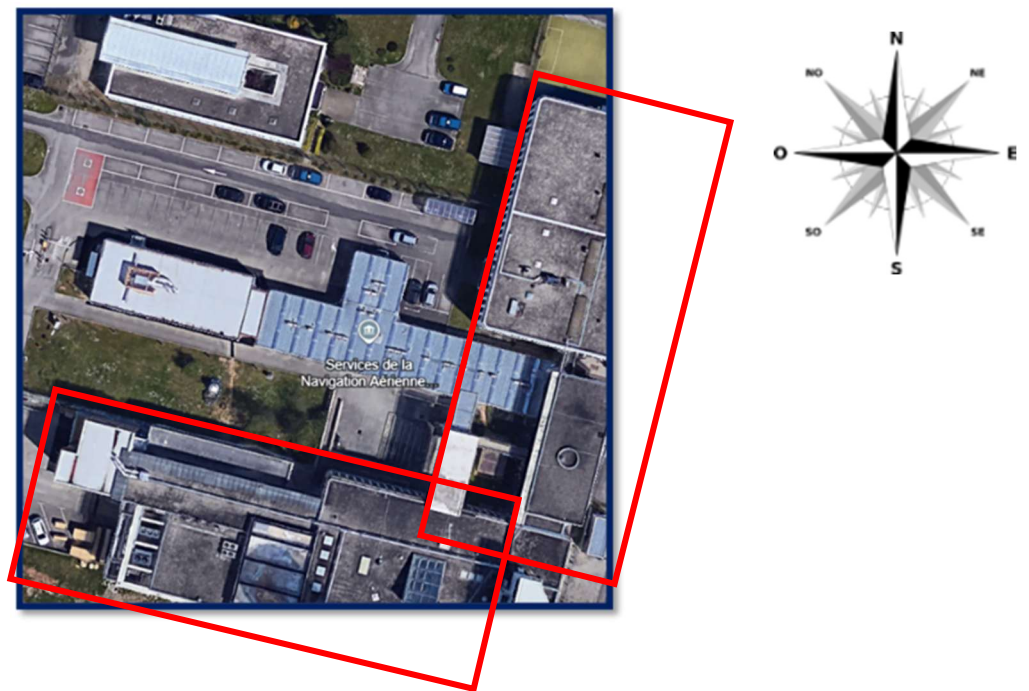
OUEST

3.3 Masques lointains et proches

Les masques lointains peuvent être des reliefs, des massifs importants qui rendent le soleil inaccessible à certaines périodes de la journée et de l'année. Les masques proches sont constitués par tous les bâtiments, arbres ou objets urbains dont l'ombrage influe sur le bâtiment étudié.

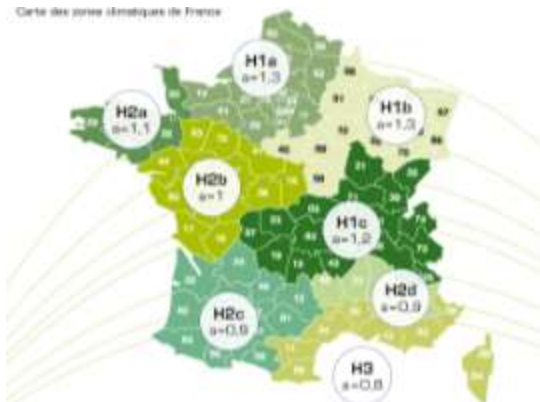
L'horizon lointain ne comporte pas de masques importants.

Les bâtiments présents au sud et à l'est du bâtiment limitent les apports solaires sur les façades en hiver et augmentent donc les besoins de chauffage.



3.4 Site et conditions météorologiques

Carte des zones climatiques de France



La modélisation prend en compte l'environnement du bâtiment, son altitude et la zone climatique.

Concernant le calcul réglementaire TH CE Ex, les données sont fixées par décret.

Le degré-jour est une valeur représentative de l'écart entre la température d'une journée donnée et un seuil de température de référence (18 °C dans le cas des DJU ou Degrés-Jours Unifiés). Ils permettent de calculer les besoins de chauffage et de climatisation d'un bâtiment afin de réaliser

un bilan thermique du bâtiment. Ils donnent une représentation de la rigueur du climat en hiver (DJU chauffage) et en été (DJU climatisation).

Les DJU chauffage selon la station météo de Lyon St-Exupéry sont les suivants :

Année	Total
2009	2384
2010	2735
2011	2150
2012	2421
2013	2658
2014	1987
2015	2204
2016	2384
2017	2344
2018	2107
2019	2175
2020	2015
2021	2413
2022	2002
2023	1984

Moyenne DJU du site : 2264

3.5 L'activité du bâtiment

3.5.1 Usage(s) du bâtiment

Les deux bâtiments étudiés sont constitués de bureaux, salles de réunion et de sanitaires.

- Dans le cadre de la modélisation réglementaire TH CE Ex, les scénarios d'occupation sont fixés selon la réglementation et l'usage du bâtiment.

3.5.2 Occupants & Horaires d'occupation

- ❖ Effectif :
 - Environ 20 personnes présentes sur les deux bâtiments.
- ❖ Horaire d'ouverture / Occupation :

Jour	Horaires d'ouverture
Lundi à vendredi	De 07h00 à 19h00

3.6 Description de l'enveloppe du bâtiment

3.6.1 Bâtiment(s) audité(s)



Les bâtiments ont été audités dans leur globalité.

3.6.2 Inspection du bâtiment – Thermographie infrarouge

L'inspection du bâtiment à la caméra thermique a pour but d'identifier centralement des problèmes d'isolation et de ponts thermiques. Cette inspection peut être réalisée depuis l'intérieur du bâtiment mais également depuis l'extérieur.

La caméra thermique permet de « voir » la température des surfaces en détectant le rayonnement infrarouge qu'elles émettent. Elle permet donc, par analyse, de déceler d'éventuels problèmes d'isolation, manques d'isolants (ponts thermiques), qu'ils soient structurels (p.ex. balcons, dalles intermédiaires, ...) ou accidentels (dégradations d'isolant, défaut de pose, ...). Elle permet également, dans certains cas, de déceler des fuites d'air qui court-circuiteraient les isolants, mais ne remplace en aucun cas un test d'étanchéité à l'air.

L'échelle de couleur utilisée pour les thermogrammes dans la suite de ce document varie du Bleu/Noir pour les températures basses, et Jaune/Blanc pour les températures élevées. D'une manière générale, nous fournissons une photo « visible » servant au repérage et une photo « infrarouge », positionnée au centre de l'image visible, comme montré sur l'exemple ci-dessous :

Photographie numérique	Image infrarouge	Commentaires
		Exemple de localisation de la photographie infrarouge dans la photographie « visible ».

Conditions météorologiques lors de l'analyse sur site

Température extérieure : +2°C

Ciel dégagé








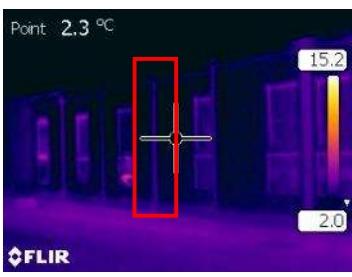


Force du vent : 1 Beaufort

Mesures & photos réalisées durant la matinée




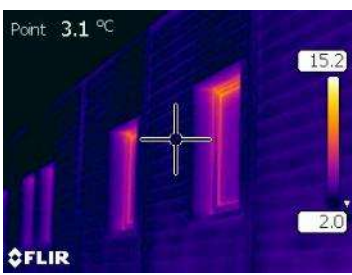


3.6.2.1 Thermographie par l'extérieur

Sur ces images, une température plus faible (noir/bleu) dénote un passage de chaleur limité ; une température plus élevée (jaune/blanc), un passage de chaleur important : les zones « chaudes » correspondent donc à des endroits où il manque de l'isolant, ou bien où de l'isolant est court-circuité (passage d'air derrière un doublage, par exemple) ou a été dégradé.

Bâtiment Algeco :

Photographie numérique	Image infrarouge	Commentaires
		<p>Les photographies infrarouges permettent de mettre en évidence les déperditions thermiques au niveau des menuiseries extérieures.</p> <p>Ces déperditions thermiques augmentent les consommations d'énergie et ont tendance à créer de l'inconfort sur les occupants des locaux.</p>
		
		
		<p>Des ponts thermiques au niveau de l'ossature de la structure ont été constatés. Cela est dû à une rupture de l'isolant à ce niveau.</p> <p>Ce phénomène augmente les consommations d'énergie et à tendance à créer de l'inconfort pour les occupants des locaux.</p>
		<p>Les photographies infrarouges permettent de mettre en évidence les déperditions thermiques au niveau des planchers hauts (toiture terrasse).</p>



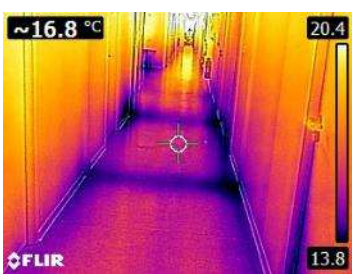

Bâtiment modulaire :

Photographie numérique	Image infrarouge	Commentaires
		<p>Les photographies infrarouges permettent de mettre en évidence les déperditions thermiques au niveau des menuiseries extérieures.</p> <p>Malgré les bonnes performances des menuiseries, des déperditions ont tout de même été remarquées.</p>
		
		




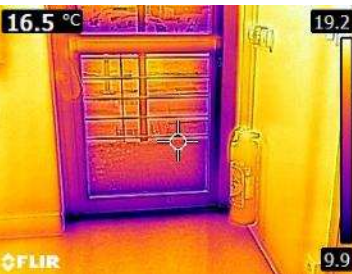

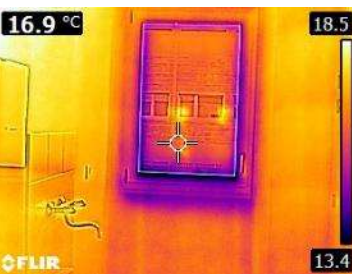


3.6.2.2 Thermographie par l'intérieur

Sur ces images, une température plus élevée (jaune/blanc) dénote une paroi isolée ; une température plus faible (bleu/noir), un passage de chaleur important : les zones « froides » correspondent donc à des endroits où il manque de l'isolant, ou bien où de l'isolant est court-circuité (passage d'air derrière un doublage, par exemple) ou a été dégradé.

Bâtiment Algeco :

Photographie numérique	Image infrarouge	Commentaires
		<p>Les photographies infrarouges permettent de mettre en évidence les déperditions thermiques au niveau des menuiseries extérieures.</p> <p>Ces déperditions thermiques augmentent les consommations d'énergie et ont tendance à créer de l'inconfort pour les occupants des locaux.</p>
		Des ponts thermiques ont été remarqués aux liaisons murs extérieurs / plancher haut.
		<p>Des ponts thermiques ont été remarqués au niveau des planchers bas vers vide sanitaire.</p> <p>Une rupture d'isolant en plancher bas est probablement à l'origine de ce défaut.</p>
		Des ponts thermiques ont été remarqués aux liaisons murs extérieurs / plancher bas.
		Des défauts d'étanchéité à l'air ont été remarqués au niveau des trappes d'accès au vide sanitaire.

Bâtiment modulaire :

Photographie numérique	Image infrarouge	Commentaires
		
		Les photographies infrarouges permettent de mettre en évidence les déperditions thermiques au niveau des menuiseries extérieures.
		Malgré les bonnes performances des menuiseries, des déperditions ont tout de même été remarquées.
		Nous avons également remarqué que certaines menuiseries extérieures sont peu étanches à l'air. Ce manque d'étanchéité à l'air augmente donc les déperditions thermiques liées aux infiltrations d'air et pénalise le confort des occupants des locaux.

3.6.3 Etanchéité à l'air

3.6.3.1 Rappels sur l'étanchéité à l'air

L'étanchéité à l'air consiste à ***réduire les flux d'air incontrôlés traversant les parois séparant un espace chauffé (et/ou climatisé) et l'extérieur (ou un local non chauffé).***

La réduction de ces flux est cruciale pour atteindre une bonne performance énergétique. En effet, pour tout espace aux conditions hygrothermiques contrôlées (comme un espace habité, qui est chauffé) « plongé » dans l'espace ambiant, la température, la pression et l'humidité tendent à s'équilibrer, causant des gradients de pression (tirage thermique et/ou hydrique). En cas de défauts d'étanchéité à l'air, ces gradients de pression vont entraîner un flux d'air entre l'intérieur et l'extérieur. Ce flux d'air va emmener avec lui d'importantes quantités d'énergie, par convection thermique : si de l'air à 20°C s'échappe dans une atmosphère à 0°C, chaque m³ emmène un peu plus de 6,6 kWh).

Outre cet impact sur les consommations, les flux d'air parasites sont également à l'origine de nombreux troubles du bâtiment :

- dégradation de la structure et des isolants (charge en eau),
- déséquilibre ou court-circuit du système de ventilation,
- dégradation de la qualité de l'air,
- baisse des performances de l'isolation phonique.

En outre, les courants d'air causent une forte sensation d'inconfort, en particulier l'hiver.

3.6.3.2 La mesure de l'étanchéité à l'air

Un test Blower-Door, ou test de la « porte soufflante » permet de quantifier le débit d'air parasite qui traverse l'enveloppe du bâtiment afin d'en estimer la perte thermique liée.

Ce test consiste à mettre en place une porte étanche munie d'un ou plusieurs ventilateurs sur une des menuiseries du bâtiment. Afin de pouvoir distinguer le renouvellement d'air désiré (ventilation) du renouvellement parasite, toutes les bouches d'entrée d'air ou d'extraction d'air sont obturées.

L'action du ventilateur crée un différentiel de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment : si le ventilateur souffle l'air du bâtiment vers l'extérieur, le bâtiment va subir une légère dépression. Afin de compenser ce déséquilibre, de l'air extérieur va pénétrer, via les défauts d'étanchéité à l'air, à l'intérieur du bâtiment. Quand le différentiel de pression est stable, le débit d'air qui traverse le ventilateur est égal au débit d'air parasite qui traverse l'enveloppe du bâtiment, et on peut donc le mesurer au niveau du ventilateur.

La perméabilité à l'air s'exprime par deux indicateurs :

- ✓ n_{50} , qui est l'indicateur européen. Il représente le taux de renouvellement horaire sous 50 Pascals (Pa). Il est calculé comme le débit d'air qui traverse l'enveloppe du bâtiment sous un différentiel de pression de 50 Pa, rapporté au volume intérieur du bâtiment.
- ✓ $Q_{4PaSurf}$, qui est l'indicateur de la réglementation thermique française. Il est calculé en rapportant le débit d'air qui traverse l'enveloppe du bâtiment sous un différentiel de pression de 4 Pa, à la surface déperditive hors plancher bas du bâtiment (Surface des murs extérieurs et de la toiture).

Les ordres de grandeur de ces indicateurs sont les suivants :

- ✓ Les normes européennes considèrent une valeur de 6 vol/h pour n_{50} lorsqu'il n'est pas mesuré. Cette valeur par défaut est considérée comme pénalisante, mais il n'est par rare de trouver des bâtiments qui présentent un n_{50} avec une valeur (beaucoup) plus élevée, jusqu'à 10 voire 20 vol/h. Les limites de la réglementation thermique française correspondent à des valeurs de n_{50} aux alentours de 2 à 4 vol/h. Au-delà de ces valeurs, les défauts d'étanchéité à l'air constituent la majeure partie des pertes thermiques du bâtiment. Il est illusoire d'améliorer la performance thermique d'un tel bâtiment en l'isolant simplement : la plus grande partie de la chaleur est évacuée par les courants d'air, et c'est donc ce point qu'il faut traiter en priorité, conjointement avec l'isolation.
- ✓ A l'autre extrémité du spectre, le Passivhaus Institut exige une valeur de $n_{50} \leq 0.60$ vol/h. Des valeurs largement plus faibles sont atteintes sur les bâtiments passifs (0.40, voire 0.20 vol/h). Ces valeurs constituent un idéal qu'il faudrait atteindre dans le neuf, et dont il faudrait se rapprocher en rénovation : l'étanchéité à l'air est le meilleur garant d'une efficacité énergétique sur le long terme.
- ✓ Selon la réglementation en vigueur sur les bâtiments neufs (RE2020), $Q_{4Pa-surf}$ doit être inférieur à 1.70 m³/h.m² pour un bâtiment tertiaire.

3.6.3.3 Résultats de la mesure : indicateurs

Pour cet audit énergétique le test d'étanchéité n'a pas été commandé. Il n'est donc pas possible de connaître précisément le niveau d'étanchéité du bâtiment. Un test avant et après travaux devront être réalisés dans le cas d'une rénovation globale.

La méthode de calcul TH-C-E-Ex présente plusieurs valeurs conventionnelles en fonction de l'usage du bâtiment :

Types d'usage	Valeurs conventionnelles		
	$Q_{va,specoc,conv}$ m ³ /h/m ²	$Q_{va,Pa,conv}$ m ³ /h/m ² sous 4 Pa cas 1 : fenêtres étanches (à joints)	$Q_{va,Pa,conv}$ m ³ /h/m ² sous 4 Pa cas 2 : Autres cas
Établissements sanitaires avec hébergement	3	3	3,5
Hôtellerie et autres hébergements	3	3	3,5
Établissement sanitaire sans hébergement	3	3	3,5
Enseignement	5	3	3,5
Bureaux	3	3	3,5
Salles de spectacle, de conférence	8	3	3,5
Commerces	4	3	3,5
Restauration plusieurs repas par jour	8	3	3,5
Restauration un repas par jour	8	3	3,5
Établissements sportifs	3	3	3,5
Stockage	0,1	3	3,5
Industrie	0,1	3	3,5
Transport	4	3	3,5
Locaux non compris dans une autre catégorie	3	3	3,5

D'après les éléments observés sur place, les valeurs suivantes ont été retenues pour cette étude :

Zone	Estimation de la perméabilité à l'air $Q_{4-Pasurf}$	Estimation du taux de renouvellement de l'air n_{50}	Performance
DGAC – Bâtiment Algeco	3,00 m ³ / (h.m ²)	13 vol/h	Insuffisante

Zone	Estimation de la perméabilité à l'air $Q_{4-Pasurf}$	Estimation du taux de renouvellement de l'air n_{50}	Performance
DGAC – Bâtiment modulaire	0.33 m ³ / (h.m ²)	1.04 vol/h	Très bonne

Analyse

Concernant le bâtiment Algeco, nous avons retenu la valeur TH-CE-Ex présentant un $Q_{4-Pasurf}$ égal à 3.00 m³/ (h.m²).

D'une manière générale nous considérons qu'une valeur de n_{50} supérieure à 3 vol/h dénote des fuites d'air trop importantes. Il est à noter que l'objectif d'étanchéité à l'air des bâtiments passifs est une valeur de $n_{50} \leq 0.60$ vol./h.

Toutefois, les valeurs du bâtiment modulaire issues du rapport d'étanchéité à l'air présentent un bon niveau d'étanchéité à l'air (0.33 m³/ (h.m²)).

3.6.4 Description de la performance thermique des parois

L'épaisseur et la nature des matériaux permettent de définir la résistance thermique des parois. La résistance thermique (R) mesure la résistance qu'une épaisseur de matériau oppose au passage de la chaleur. Elle constitue en fait son pouvoir isolant qui est d'autant plus fort que le R est élevé. Elle dépend de la conductivité thermique λ (lambda) du matériau et de son épaisseur :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

- ✓ Plus la résistance thermique (R) est importante, plus la paroi est isolante.
- ✓ Inversement, plus le coefficient de transfert thermique (U) est important, moins la paroi est isolante.

3.6.4.1 Rappel des exigences de performance minimale des parois (en rénovation)

Selon l'arrêté du 22 mars 2017 modifiant l'arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants, les performances thermiques des parois opaques, exprimées en mètre carré par watt par Kelvin ($\text{m}^2/\text{W.K}$), doivent être supérieures ou égales aux valeurs données dans le tableau suivant :

Ces valeurs s'appliquent dès lors qu'on remplace ou rénove une paroi. Elles donnent une bonne indication des performances attendues d'une paroi existante.

Parois	Résistance thermique minimale en zone H1b
Murs en contact avec l'extérieur et rampants de toitures de pente supérieure à 60°	3.2 $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$
Murs en contact avec un volume non chauffé	2,5 $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$
Toitures terrasses	4,5 $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$
Planchers de combles perdus	5,2 $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$
Rampants de toiture de pente inférieure 60°	5,2 $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$
Planchers bas donnant sur local non chauffé ou extérieur	3,0 $\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$

3.6.4.2 Compositions des parois

Les parois du bâtiment sont décrites ci-dessous sous forme de tableau qui reprennent les caractéristiques principales :

- Description / Localisation ;
- Résistance thermique de la paroi (R_{paroi}) ;
- Résistance thermique minimale réglementaire selon la RT bâtiment existant ($R_{\text{rte}}_{\text{existant}}$) ;
- La vétusté et la performance de la paroi sont également analysées et représentées sous forme de pictogrammes :



Bon état



Etat moyen



A rénover



Paroi performante






Paroi moyenne






Paroi déperditive

Bâtiment Algeco :



❖ Parois verticales :

Murs extérieurs isolés (d'après les plans)			Vétusté	Perf.
	Structure préfabriquée	80mm		
	Isolant générique	70mm		
	$R_{\text{paroi}} = 2.25 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$	$R_{\text{RTex}} = 3.20 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ Non conforme à la RT		

❖ Planchers bas :

Plancher bas vers extérieur			Vétusté	Perf.
	Dalle béton Polystyrène expansé	120mm 60mm		
	$R_{\text{paroi}} = 2.12 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$R_{\text{RTex}} = 3.00 \text{ m}^2.\text{K/W}$		
		Non conforme à la RT		

❖ Planchers hauts :

Toiture terrasse			Vétusté	Perf.
	Toiture bac acier Isolant générique Plafond laqué	- 200mm -	-	
	$R_{\text{paroi}} = 5.26 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$R_{\text{RTex}} = 4.50 \text{ m}^2.\text{K/W}$		
		Conforme à la RT		



Bon état



Etat moyen



A rénover



Paroi performante






Paroi moyenne



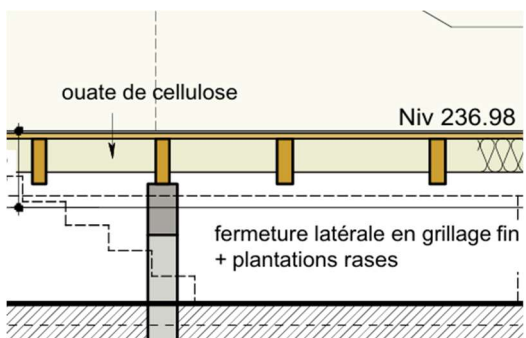


Paroi déperditive

Bâtiment Modulaire : Valeurs issues de l'étude thermique transmise par le maître d'ouvrage.




❖ Parois verticales :

Murs extérieurs préfabriqués GECCO			Vétusté	Perf.
	Bardage vêtue	-		
	Isolant	120mm		
	Parement intérieur	-		
$R_{\text{paroi}} = 3.86 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$		$R_{\text{RTex}} = 3.20 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ Conforme à la RT		

❖ Planchers bas :

Plancher bas préfabriqué GECCO			Vétusté	Perf.
	Plancher bois	20mm		
	Ouate de cellulose	255mm		
$R_{\text{paroi}} = 6.55 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$		$R_{\text{RTex}} = 3.00 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ Conforme à la RT		

❖ Planchers hauts :

Toiture terrasse préfabriqué GECCO			Vétusté	Perf.
	Membrane d'étanchéité	5mm		
	Ouate de cellulose	360mm		
	Parement intérieur	-		
$R_{\text{paroi}} = 8.75 \text{ m}^2.\text{K/W}$		$R_{\text{RTex}} = 4.50 \text{ m}^2.\text{K/W}$		
		Conforme à la RT		



Bon état



Etat moyen



A rénover



Paroi performante



Paroi moyenne



Paroi déperditive

3.6.5 Description des menuiseries

3.6.5.1 Rappel des exigences de performance minimale des menuiseries (en rénovation)

Les performances thermiques des parois vitrées installées ou remplacées, exprimées en watts par mètre carré par Kelvin ($W/m^2.K$), doivent être inférieures ou égales aux valeurs données dans le tableau suivant :

Type de paroi vitrée	Résistance thermique minimale en zone H1b
Fenêtres de surface supérieure à 0, 5m ² , portes-fenêtres, double fenêtres, façade rideaux	1,9 $W/m^2.K$
Porte d'entrée de maison individuelle donnant sur l'extérieur	2,0 $W/m^2.K$
Verrière	2,5 $W/m^2.K$
Véranda	2,5 $W/m^2.K$

3.6.5.2 Performance des menuiseries

Les menuiseries du bâtiment sont décrites ci-dessous sous forme de tableau qui reprennent les caractéristiques principales :

- Description / Localisation ;
- Performance thermique de la menuiserie (U_w) ;
- Performance thermique minimale réglementaire selon la RT bâtiment existant ($U_{w\text{ rtexistant}}$) ;
- La vétusté et la performance des menuiseries sont également analysées et représentées sous forme de pictogrammes :



Bon état



Etat moyen



A remplacer



Menuiserie performante









Menuiserie moyenne






Menuiserie déperditive

Bâtiment Algeco :

Menuiseries PVC – 4.16.4 traité			Vétusté	Perf.
	Vitrage	Double 4/16/4		
	Châssis	PVC		
	Occultation	Store intérieur		
	Pourcentage	90%		
		$U_w = 1.55 W/m^2.K$		
		$U_{wRTex} = 1,9 W/m^2.K$		
		Conforme RT		

Menuiseries aluminium – 6.6.6 non traité			Vétusté	Perf.
	Vitrage	Double 6/6/6		
	Châssis	Aluminium		
	Occultation	Store intérieur		
	Pourcentage	7%		
	$U_w = 3.00 \text{ W/m}^2.K$			
		$U_{wRTex} = 1,9 \text{ W/m}^2.K$		
		Non conforme RT		

Fenêtre de toit (lanterneaux)				Vétusté	Perf.
	Vitrage	Polycarbonate			
	Occultation	Store intérieur			
	Pourcentage	3%			
	$U_w = 3.50 \text{ W/m}^2.K$				
			$U_{wRTex} = 1,9 \text{ W/m}^2.K$		
			Non conforme RT		



Bon état



Etat moyen



A remplacer



Menuiserie performante









Menuiserie moyenne



Menuiserie déperditive

Bâtiment modulaire :

Menuiseries bois – 6.18.10 traité				Vétusté	Perf.
	Vitrage	Double 6/18/10			
	Châssis	Bois			
	Occultation	-			
	Pourcentage	88%			
			$U_{wRTex} = 1,9 \text{ W/m}^2.K$		
		$U_w = 1.40 \text{ W/m}^2.K$			
		Conforme RT			

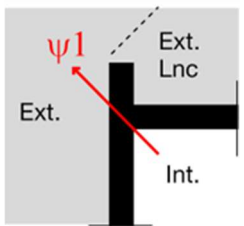

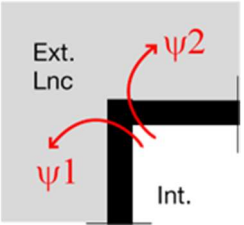

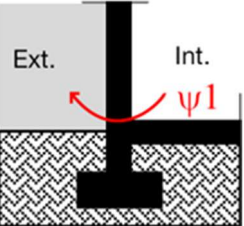

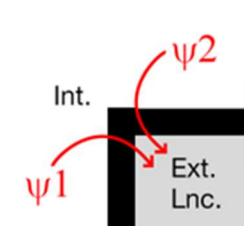

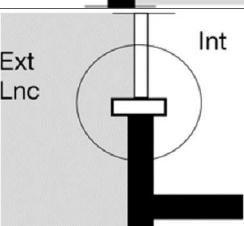

Menuiseries aluminium – 6.18.10 traité				Vétusté	Perf.
	Vitrage	Double 6/18/10			
	Châssis	Aluminium			
	Occultation	-			
	Pourcentage	12%			
	$U_w = 1.45 \text{ W/m}^2.K$				
		$U_{wRTex} = 1,9 \text{ W/m}^2.K$			
		Conforme RT			

3.6.6 Ponts thermiques

Le tableau ci-dessous décrit les ponts thermiques qui ont été pris en compte pour modéliser le bâtiment.

La chaleur perdue par un pont thermique est représentée par la valeur ψ , en W/m.K. Selon les configurations géométriques, il peut être décomposé en 1, 2 ou 3 composantes.

Sévérité du pont thermique		
Important $\psi > 0.5 \text{ W/m.K}$	moyen $0.2 \leq \psi \leq 0.5 \text{ W/m.K}$	faible $\psi \leq 0.2 \text{ W/m.K}$

Identification	Psi moyen	Schéma	Performance
PT – Plancher haut isolé / Murs extérieur ITI	0.07 W/m.K		
PT – Angle sortant ITI	0.08 W/m.K		
PT – Plancher bas / Murs extérieurs ITI	0.08 W/m.K		
PT - Angle rentrant ITI	0.15 W/m.K		
PT - Menuiseries	0.07 W/m.K		

3.6.7 Synthèse enveloppe du bâtiment

Analyse de l'enveloppe du bâtiment

Bâtiment Algeco :

D'après les éléments relevés sur place, d'hypothèses et des plans fournis par le maître d'ouvrage, nous avons remarqué que les différentes parois du bâtiment sont isolées.

- Les murs extérieurs sont isolés avec 7 centimètres d'isolant ;
- Les planchers bas sont isolés avec 6 centimètres de polystyrène ;
- Les planchers hauts sont isolés avec 20 centimètres d'isolant ;

De plus, le bâtiment possède des menuiseries ayant des performances thermiques plutôt bonnes.

L'enveloppe du bâtiment présente donc des performances thermiques plutôt moyennes, ce qui est en cohérence avec la date de construction du bâtiment (2008).

Bâtiment Modulaire :

D'après les éléments relevés sur place et l'étude thermique réalisée en 2015, nous pouvons remarquer que l'enveloppe du bâtiment présente de bonnes performances thermiques, ce qui est également en cohérence avec la date de construction.

- Les murs extérieurs présentent des résistances thermiques de $3.86 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;
- Les planchers bas sont isolés avec 25 centimètres de ouate de cellulose ;
- Les planchers hauts sont isolés avec 36 centimètres de ouate de cellulose.

De plus, le bâtiment possède des menuiseries ayant de bonnes performances thermiques et un niveau d'étanchéité à l'air très satisfaisant.

Le coefficient U_{bat} (ou coefficient de déperdition thermique) est une mesure de la performance énergétique d'un bâtiment, exprimée en watts par mètre carré Kelvin ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$). Il représente la quantité de chaleur perdue par mètre carré de surface pour chaque degré de différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Un bâtiment performant affiche généralement un coefficient U_{bat} inférieur à $0,3 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$, tandis qu'un bâtiment déperditif peut avoir un coefficient U_{bat} supérieur à $1 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$, indiquant une isolation insuffisante et des pertes de chaleur significatives.

Dans le cas du bâtiment Algeco, le U_{bat} est de $0.42 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$. Ce qui confirme bien la performance thermique plutôt moyenne du bâtiment.

Dans le cas du bâtiment modulaire, le U_{bat} est de $0.24 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$. Ce qui confirme bien la bonne performance thermique du bâtiment.

3.7 Description des équipements énergétiques

Les équipements techniques (chauffage, ventilation, ...) du bâtiment sont décrits ci-dessous sous forme de tableau qui reprennent leurs caractéristiques principales :

- Description / Localisation ;
- La vétusté et la performance des équipements sont également analysées et représentées sous forme de pictogrammes :



Bon état



Etat moyen



A remplacer



Système performant



Système basique








Système énergivore




3.7.1 Chauffage et climatisation

3.7.1.1 Description des installations de chauffage et de climatisation

Bâtiment Algeco :

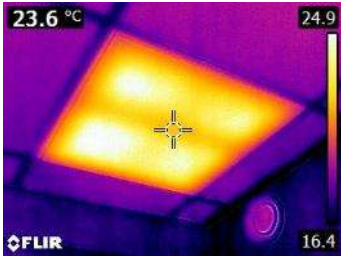


Caractéristiques des installations			Vétusté	Perf.	
Génération		Modèle	n-c		-
		Marque	Daikin		
		Type	Pompe à chaleur		
		Energie	Electricité		
		Usage	Chauffage / refroidissement		
		Nombre	25		
		Mise en service	2008		
		Fluide	R410A		
		Localisation	Toiture Algeco		
		Les besoins de chauffage et de refroidissement des bureaux sont assurés par des pompes à chaleur air/air localisées en toiture du bâtiment Algeco. Malheureusement, les plaques signalétiques ne sont plus lisibles. Nous ne connaissons donc pas le modèle exact des pompes à chaleur air / air.			
Distribution		Etant donné qu'il s'agit d'une pompe à chaleur de type Air / Air à détente directe, la distribution est assurée par les réseaux frigorifiques cuivre. Ces derniers ne sont pas isolés, cela engendre donc des pertes d'énergie non négligeables.		 	
Emission		L'émission de chaleur et de froid est assurée par des cassettes murales présentes dans chaque bureau.		 	




Régulation		<p>Une télécommande est présente dans chaque bureau. Cette dernière permet de renseigner une température de consigne indépendamment des autres bureaux.</p>		
------------	---	---	---	---

Caractéristiques des installations			Vétusté	Perf.	
Génération		Type	Panneau rayonnant		
		Energie	Electricité		
		Usage	Chauffage / refroidissement		
		Puissance	2000W pour les circulations 750W pour les sanitaires		
		Nombre	5		
		Mise en service	2008		
		Localisation	Circulations, sanitaires		
		Les besoins de chauffage des circulations et des sanitaires sont assurés par des panneaux rayonnants électriques.			

Bâtiment modulaire :

Caractéristiques des installations			Vétusté	Perf.	
Génération		Modèle	AJY108LALH		
		Marque	Atlantic		
		Type	DRV		
		Energie	Electricité		
		Usage	Chauffage / refroidissement		
		Puissance chaude	37.5 kW		
		Puissance froide	33.5 kW		
		Nombre	1		
		Mise en service	2014		
		Fluide	R410A		
		Localisation	Façade Nord (bâtiment modulaire)		
		Les besoins de chauffage et de refroidissement du bâtiment modulaire sont assurés par un DRV localisé au niveau de la façade nord du bâtiment modulaire.			
Distribution	-	Etant donné qu'il s'agit d'une pompe à chaleur de type Air / Air à détente directe, la distribution est assurée par les réseaux frigorifiques cuivre.			
Emission	-	L'émission de chaleur et de froid est assurée par des cassettes murales présentes dans chaque bureau.			
Régulation		Un thermostat d'ambiance est présent dans chaque bureau ou salle de réunion du bâtiment modulaire. Ce dernier permet de programmer la température de consigne souhaitée.			

Caractéristiques des installations			Vétusté	Perf.	
Génération		Type	Dalle chauffante		
		Energie	Electricité		
		Usage	Chauffage		
		Nombre	1		
		Mise en service	2014		
		Localisation	Sanitaires		
		Les besoins de chauffage des sanitaires sont assurés par des dalles chauffantes électriques.			

Caractéristiques des installations			Vétusté	Perf.	
Génération		Type	Convecteur électrique		
		Energie	Electricité		
		Usage	Chauffage		
		Puissance	750W		
		Nombre	1		
		Mise en service	2014		
		Localisation	Sanitaires (WC)		
		Les besoins de chauffage des sanitaires (WC) sont assurés par un convecteur électrique.			

3.7.1.2 Schéma de principe


Aucun schéma de principe n'a été remarqué concernant la production de chauffage et de climatisation.



3.7.2 Production d'eau chaude sanitaire

3.7.2.1 Description des installations de production ECS

Bâtiment Algeco :




Génération



Caractéristiques des installations		Vétusté	Perf.
Marque	Atlantic		
Type	Ballon à effet joule		
Energie	Electricité		
Usage	Eau chaude sanitaire (ECS)		
Capacité	15 litres		
Puissance	2000 W		
Mise en service	2008 (hypothèses)		
Nombre	1		
Localisation	Sanitaires Algeco		
<p>La production d'eau chaude sanitaire du bâtiment Algeco est assurée par un ballon d'eau chaude d'un volume de 15 litres et d'une puissance de 2000 W.</p> <p>Ce dernier est localisé dans les sanitaires.</p> <p>Un tel dispositif est très énergivore, du fait de la nature de l'énergie utilisée (électricité effet Joule).</p>			

Bâtiment modulaire :

Génération

Caractéristiques des installations			Vétusté	Perf.
	Modèle	841131		
	Marque	Atlantic		
	Type	Ballon à effet joule		
	Energie	Electricité		
	Usage	Eau chaude sanitaire (ECS)		
	Capacité	50 litres		
	Puissance	2000 W		
	Mise en service	2014 (hypothèses)		
	Nombre	1		
	Localisation	Sanitaires modulaire		
	La production d'eau chaude sanitaire du bâtiment modulaire est assurée par un ballon d'eau chaude d'un volume de 50 litres et d'une puissance de 2000 W.			
Ce dernier est localisé dans les sanitaires.				
Un tel dispositif est très énergivore, du fait de la nature de l'énergie utilisée (électricité effet Joule).				

3.7.2.1 Schéma de principe pour les installations ECS

Aucun schéma de principe n'a été remarqué en chaufferie concernant la production d'eau chaude sanitaire.

3.7.3 Ventilation

3.7.3.1 Rappel des exigences réglementaires

❖ Bâtiment autre que résidentiel :

D'après le code du travail (art. R4222-7 à 9), lorsque l'aération est assurée par ventilation mécanique, le débit minimal d'air neuf à introduire par occupant est fixé dans le tableau suivant :



DESIGNATION DES LOCAUX	DEBIT MINIMAL d'air neuf par occupant
Bureaux, locaux sans travail physique	25 m ³ /h.occupant
Locaux de restauration, locaux de vente, locaux de réunion	30 m ³ /h.occupant
Ateliers et locaux avec travail physique léger	45 m ³ /h.occupant
Autres ateliers et locaux	60 m ³ /h.occupant
DESIGNATION DES LOCAUX	DEBIT MINIMAL d'air minimal d'air introduit
Cabinet d'aisances isolé (**)	30 m ³ /h.local
Salle de bains ou de douches isolé (**)	45 m ³ /h.local
Commune avec un cabinet d'aisances	60 m ³ /h.local
Bains, douches et cabinets d'aisances groupés	30 + 15 N (*) m ³ /h.local
Lavabos groupés	10 + 5 N (*) m ³ /h.local

N (*) : nombre d'équipements dans le local

(**) : pour un cabinet d'aisances, une salle de bains ou de douches avec ou sans cabinet d'aisances, le débit minimal d'air introduit peut être limité à 15 mètres cubes par heure si ce local n'est pas à usage collectif.

3.7.3.2 Description des systèmes de ventilation

Bâtiment Algeco :

Caractéristiques des installations				Vétusté	Perf.
Ventilateur	-	Modèle	n-c	-	
		Marque	n-c		
		Type	Ventilation simple flux		
		Rendement	0% (sans récupération de chaleur)		
		Débit maximum	90 m³/h d'après les plans		
		Puissance nominale	n-c		
		Année de mise en service	2008		
		Nombre	1		
		Position	Faux plafond Algeco		
		Locaux desservis	Bâtiment Algeco		
		Un caisson de ventilation est présent en faux plafond afin de ventiler le bâtiment Algeco.			
		Le caisson n'étant pas accessible lors de la visite, il n'a pas été possible de vérifier son état.			
Réseaux	-	Les gaines n'étant pas accessibles lors de la visite, il n'a pas été possible de vérifier leur état ni leur composition.		-	-
Régulation	-	Aucun système de régulation n'est présent		-	

Bâtiment modulaire :

Caractéristiques des installations				Vétusté	Perf.
Ventilateur		Modèle	DUO TECH 2200 VDA		
		Marque	Atlantic		
		Type	Ventilation double flux		
		Rendement	90% (d'après DOE)		
		Débit maximum	2200 m³/h		
		Puissance nominale	17.2 kW		
		Année de mise en service	2014		
		Nombre	1		
		Position	Toiture modulaire		
		Locaux desservis	Bâtiment modulaire		
		Un caisson de ventilation de marque Atlantic est présent en toiture afin de ventiler le bâtiment modulaire. Une batterie de préchauffage électrique est présente dans la centrale de traitement d'air.			
Réseaux a&rauliques		L'air repris circule dans des réseaux aérauliques en acier galvanisés. Ces derniers sont correctement isolés. Néanmoins, ils ne sont pas étanches à l'air et présentent des déchirures sur certains réseaux.			 
Régulation		Une supervision est présente dans le local reprographie. La régulation est également réalisée par l'intermédiaire de registres d'équilibrage motorisés sur détection de présence.			 

Remarques :

Nous avons relevé des défauts d'étanchéité au niveau des réseaux de ventilation. Ce manque d'étanchéité des réseaux de ventilation peut entraîner :

- Une perte de débit et une surconsommation d'énergie ;
- Une usure prématurée des ventilateurs ;
- Une mauvaise qualité d'air intérieur ;
- Déséquilibre des flux d'air de ventilation.

Il est donc urgent de remédier à ce défaut d'étanchéité.



3.7.3.3 Schéma de principe des systèmes de ventilation

Aucun schéma de principe n'a été remarqué concernant les systèmes de ventilation.

3.7.3.4 Mesures des débits de ventilation

Bâtiment Algeco :

Selon les DOE (Dossier Ouvrages Exécutés), la ventilation simple flux renouvelle l'air du bâtiment avec un débit de 90 m³/h.

DESIGNATION DES LOCAUX	Modules d'entrées d'air neuf (m ³ /h)	Débits d'insufflation mesurés (m ³ /h)	Débit extrait (m ³ /h)
Bureau N11	44	-	-
Bureau N12	44	-	-
Bureau N13	22	-	-
Bureau N14	22	-	-
Bureau N15	44	-	-
Bureau N16	44	-	-
Bureau N17	22	-	-
Bureau N18	22	-	-
Sanitaires N19	-	-	45
Sanitaires N20	-	-	45
Bureau N21	22	-	-
Bureau N22	44	-	-
Bureau N23	22	-	-
Bureau N24	44	-	-
Bureau N25	66	-	-
Bureau N26	22	-	-
Bureau N27	22	-	-
Bureau N27 bis	-	-	-
Bureau N28	22	-	-
Bureau N29	44	-	-
Bureau N30	22	-	-
Bureau N31	44	-	-
Bureau N32	88	-	-
Bureau N33	44	-	-
TOTAL	814 m³/h	-	90 m³/h

Bâtiment modulaire :

Il n'a pas été possible de procéder à une mesure aux bouches de débits de ventilation, en effet, la centrale de ventilation double flux n'était pas en fonctionnement lors de la visite des locaux.

Selon les DOE (Dossier Ouvrages Exécutés), la CTA double flux renouvelle l'air du bâtiment avec un débit de 1650 m³/h.

Analyse sur les systèmes de ventilation

La partie Algeco datant de 2008 est ventilée par l'intermédiaire d'un caisson de ventilation de type simple flux sans récupération de chaleur localisé dans les faux plafonds des sanitaires.

Afin d'insuffler de l'air à l'intérieur du bâtiment, des modules d'entrée d'air sont présents sur les menuiseries extérieures. Néanmoins, les débits d'extraction d'air sont nettement insuffisants.

Malheureusement, le système de ventilation simple flux est relativement déperditif compte tenu du système s'effectuant sans récupération de chaleur, de l'air frais extérieur est donc insufflé dans le bâtiment.

La partie modulaire datant de 2014 est ventilée par l'intermédiaire d'un caisson de ventilation de type double flux avec récupération de chaleur localisé sur la toiture du bâtiment. D'après les DOE fournis par la maîtrise d'ouvrage, la somme des débits de ventilation est de 1650 m³/h.

Néanmoins, nous avons relevé des défauts d'étanchéité au niveau des réseaux de ventilation. Ce manque d'étanchéité des réseaux de ventilation peut entraîner :

- Une perte de débit et une surconsommation d'énergie ;
- Une usure prématurée des ventilateurs ;
- Une mauvaise qualité d'air intérieur ;
- Déséquilibre des flux d'air de ventilation.

3.7.4 Eclairage

Les locaux sont équipés de luminaires de type Led. La puissance en W / m² a été estimée selon le tableau ci-dessous :

Bâtiment Algeco :

Zone	Luminaires	Type de régulation	Puissance (W/m ²)
Bureau	Leds	Marche et arrêt manuel	5
Sanitaires	Leds	Marche et arrêt manuel	6.5
Circulations	Leds	Marche et arrêt manuel	3.5

Bâtiment modulaire :

Zone	Luminaires	Type de régulation	Puissance (W/m ²)
Bureau	Leds	Marche et arrêt manuel avec extinction automatique	6.5
Salle de restauration	Leds	Marche et arrêt manuel avec extinction automatique	6
Sanitaires	Leds	Marche et arrêt automatique	10
Circulations	Leds	Marche et arrêt automatique	5

3.7.5 Autres usages de l'électricité

Le site est équipé :

- D'équipements bureautiques (postes informatiques, photocopieurs, téléphones, etc...) ;
- De nombreux équipements spécifiques liés à l'activité du site ;
- De serveurs et de switches informatiques ;
- De réfrigérateurs ;
- De micro-ondes ;
- De cafetières ;
- De bouilloires.

3.8 Factures énergétiques

3.8.1 Fiches synthèse énergies

Une seule source d'énergie est utilisée pour les deux bâtiments :

➤ Electricité :

Energies	USAGES						
	CHAUFFAGE	ECS	CUISON	ECLAIRAGE	CLIMATISATION	BUREAUTIQUE & PROCESS	ASCENCEUR
Electricité	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Les consommations d'énergie pour le poste chauffage sont corrigées par les DJU de chaque année pour prendre en compte la rigueur du climat et ramener la consommation à une rigueur standard (celle qui est utilisée dans la modélisation).

3.8.1 Electricité

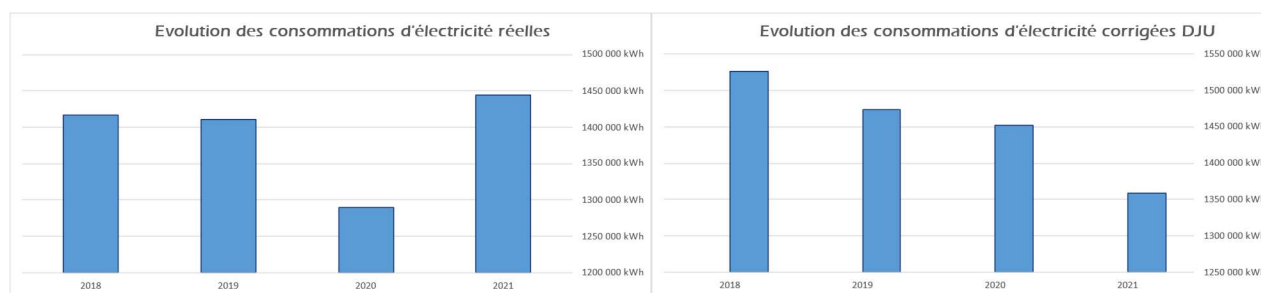
Puissance souscrite	-
Réf acheminement Electricité	-

Sur la base des éléments fournis, ce tableau synthétise les consommations d'énergies des années suivantes : 2021, 2020, 2019, 2018.

Consommations réelles - électricité			
Année	Consommations	Coût total TTC/an	Prix du kWh €TTC
2021	1 444 185 kWh	375 488 €	0,26€TTC/kWh
2020	1 289 237 kWh	335 201 €	0,26€TTC/kWh
2019	1 411 357 kWh	366 953 €	0,26€TTC/kWh
2018	1 416 447 kWh	368 276 €	0,26€TTC/kWh
Moyenne	1 390 307 kWh	361 480 €	0,26€ TTC/kWh

Consommations corrigées DJU			
Année	Consommations	Coût total HT/an	Prix du kWh €TTC
2021	1 359 002 kWh	353 340 €	0,26€TTC/kWh
2020	1 452 630 kWh	377 684 €	0,26€TTC/kWh
2019	1 473 684 kWh	383 158 €	0,26€TTC/kWh
2018	1 526 369 kWh	396 863 €	0,26€TTC/kWh
Moyenne	1 452 921 kWh	377 761 €	0,26€ TTC/kWh

Evolutions des consommations d'électricité



Aucun sous-comptage d'énergie n'est présent, nous ne sommes donc pas en mesure d'estimer la part d'énergie utilisée à l'utilisation des deux bâtiments.

IV. Phase 2 - Bilan énergétique

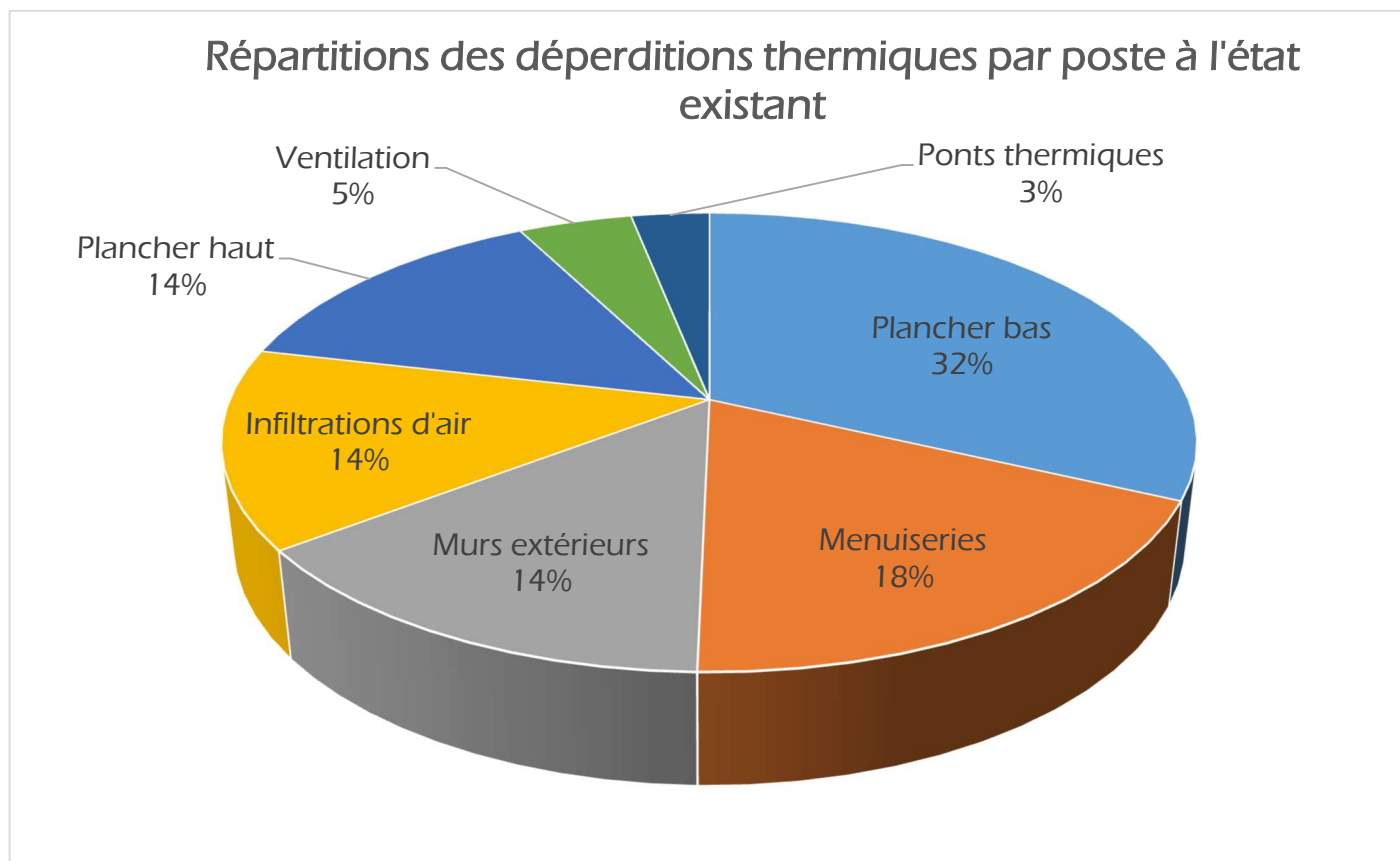
4.1 Déperditions thermiques

Les déperditions du bâtiment représentent la puissance nécessaire pour maintenir 19°C à l'intérieur du bâtiment par -11°C extérieur. Elles sont calculées conformément à la norme EN 12831 et donnent une image de la performance thermique du bâtiment : plus la déperdition est faible, meilleur est le bâtiment. Elles servent également à dimensionner le système de chauffage, et incluent alors une surpuissance destinée à compenser l'inertie du bâtiment.

➤ Bâtiment Algeco :

Sur la base des éléments relevés durant l'audit et des DOE transmis, les déperditions du bâtiment ont été estimées à environ **20.4 kW** sans surpuissance de relance **et 28.2 kW en prenant en compte la surpuissance de 18W/m²** pour réchauffer les parois après une longue période d'absence.

Le graphe ci-dessous donne une répartition de ces déperditions, par élément constitutif du bâtiment.



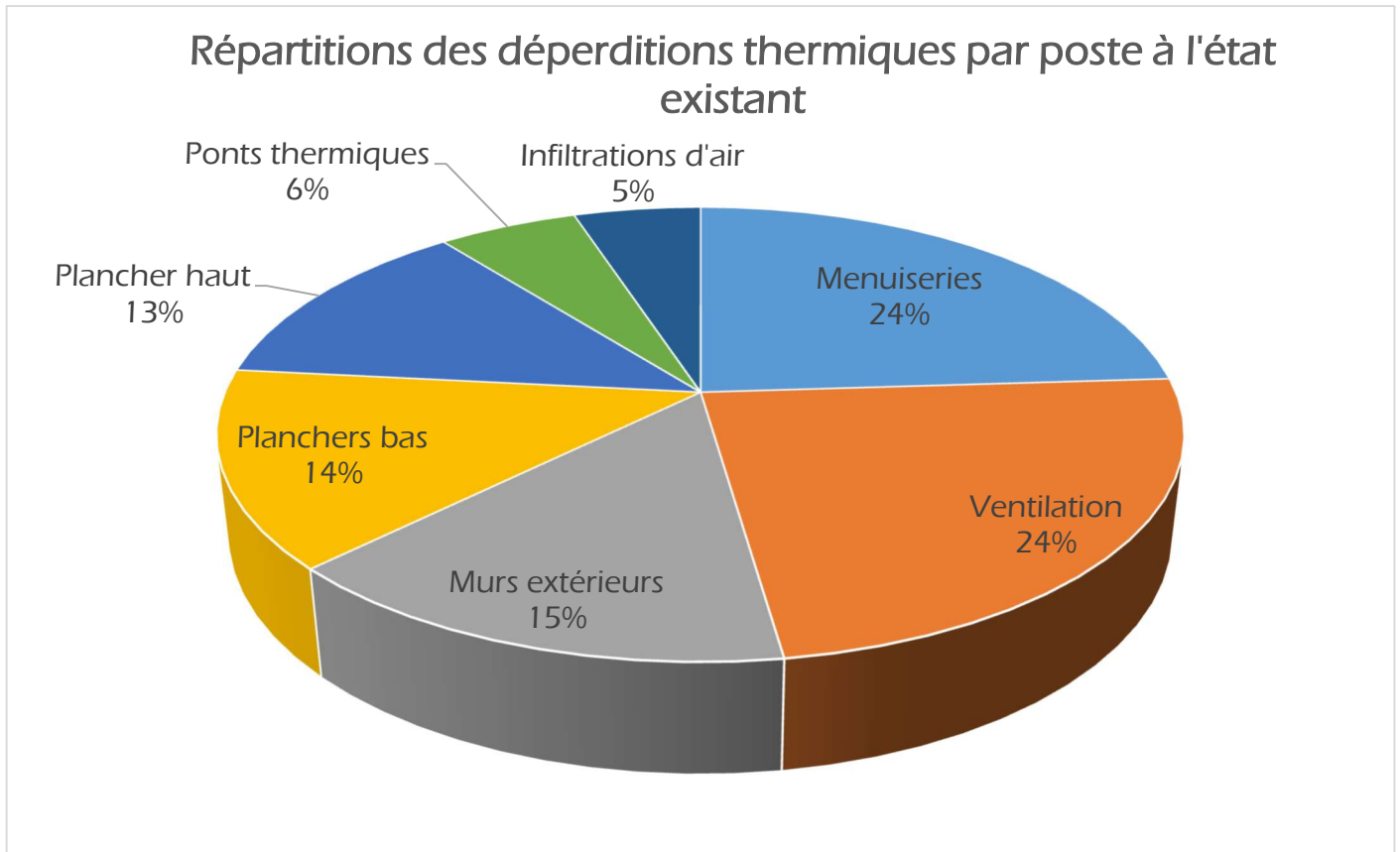
Analyse des déperditions du bâtiment

- ❖ Les **planchers bas** représentent **32%** des pertes thermiques totales du bâtiment. En effet, les planchers bas ne sont que faiblement isolés en sous-face avec 6 centimètres de polystyrène. Des déperditions thermiques importantes sont donc présentes sur ce poste.
- ❖ Les **menuiseries extérieures** représentent **18%** des déperditions totales du bâtiment auxquelles il faudra rajouter une partie des pertes thermiques par les infiltrations d'air. Cela s'explique par leurs importantes surfaces. Toutefois, elles présentent des performances thermiques plutôt satisfaisantes.
- ❖ Les **murs extérieurs et les ponts thermiques** associés représentent respectivement **14%** et **3%** des pertes thermiques totales du bâtiment soit **17%**. Les murs extérieurs présentent des épaisseurs d'isolant plutôt faibles (environ 7 centimètres d'après les plans), il en résulte d'importantes déperditions thermiques.
- ❖ Les **planchers hauts** représentent **14%** des déperditions thermiques totales du bâtiment. Les planchers hauts sont supposés isolés avec des épaisseurs d'isolant plutôt moyennes (environ 20 centimètres d'après les plans), des déperditions thermiques non négligeables sont donc présentes.
- ❖ Les **infiltrations d'air** du bâtiment représentent **14%** des déperditions thermiques du bâtiment, en effet le bâtiment est supposé peu étanche à l'air.
- ❖ La **ventilation** du bâtiment représente **5%** des déperditions totales du bâtiment, ce poste représente une faible part des déperditions compte tenu des débits d'extraction mis en place dans les sanitaires. En effet, seulement 90 m³/h sont mis en place afin de ventiler les sanitaires. Le taux de renouvellement d'air n'est donc pas suffisant pour ce bâtiment.

➤ **Bâtiment Modulaire :**

Sur la base des éléments relevés durant l'audit et des DOE transmis, les déperditions du bâtiment ont été estimées à environ **7.10 kW** sans surpuissance de relance et **11.25 kW** en prenant en compte la **surpuissance de 18W/m²** pour réchauffer les parois après une longue période d'absence.

Le graphe ci-dessous donne une répartition de ces déperditions, par élément constitutif du bâtiment.



Analyse des déperditions du bâtiment

- ❖ La **ventilation** du bâtiment représente **24%** des déperditions totales du bâtiment, ce poste représente une part importante des déperditions thermiques car le système de ventilation présente **1650 m³/h** de débit volumique.
- ❖ Les **menuiseries extérieures** représentent **24%** des déperditions totales du bâtiment auxquelles il faudra rajouter une partie des pertes thermiques par les infiltrations d'air. Cela s'explique par leurs importantes surfaces. Toutefois, elles présentent des performances thermiques satisfaisantes.
- ❖ Les **murs extérieurs et les ponts thermiques** associés représentent respectivement **15%** et **6%** des pertes thermiques totales du bâtiment soit **21%**. Les murs extérieurs sont isolés avec des résistances thermiques satisfaisantes.
- ❖ Les **planchers bas** représentent **14%** des pertes thermiques totales du bâtiment. Les planchers bas du bâtiment sont isolés avec des résistances thermiques satisfaisantes. En effet, les planchers bas présentent une épaisseur de 25.5 centimètres de ouate de cellulose d'après les DOE et l'étude thermique.
- ❖ Les **planchers hauts** représentent **13%** des déperditions thermiques totales du bâtiment. Les planchers hauts du bâtiment sont isolés avec des résistances thermiques satisfaisantes. En effet, les planchers hauts présentent une épaisseur de 36 centimètres de ouate de cellulose d'après les DOE et l'étude thermique.
- ❖ Les **infiltrations d'air** du bâtiment représentent **5%** des déperditions thermiques du bâtiment, en effet d'après les rapports d'étanchéité à l'air, l'enveloppe du bâtiment est très étanche à l'air.

La répartition de ces déperditions est donc globalement homogène entre les différentes postes. Cela traduit des performances thermiques relativement bonnes, comme en témoignent les faibles déperditions de ce bâtiment.

4.2 Modélisation thermique réglementaire

4.2.1 Présentation de la méthode réglementaire (méthode de calcul Th-CE Existant)

La méthode TH-CE-Ex est une modélisation thermique du bâtiment qui permet de comparer les bâtiments entre eux, notamment sur l'efficacité des systèmes de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire, mais évidemment aussi sur la performance de l'enveloppe. Elle se base sur des scénarios conventionnels d'occupation et d'utilisation du bâtiment.

Elle permet à ce titre de calculer la consommation conventionnelle d'énergie primaire, qui est utilisée comme marqueur de la performance d'un bâtiment, et sert notamment à déclencher les aides financières de l'Etat et des autres Collectivités.

Ces estimations ne prennent pas en compte l'utilisation des appareils électroménagers, multimédia, etc... qui dépendent essentiellement des habitudes des occupants.

Pour l'énergie électrique, seuls l'éclairage et les auxiliaires de chauffage/ventilation sont intégrés dans la modélisation.

Les consommations sont estimées en énergie primaire (EP), qui est une image de la quantité d'énergie prélevée dans la nature pour obtenir l'énergie finale, celle qui est consommée dans le bâtiment. Les coefficients de conversion sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Energie utilisée	kWh EP pour 1 kWh consommé
Bois	0.6
Gaz, fioul	1
Electricité	2.58

Ce qui signifie en particulier pour l'électricité, que pour chaque kWh consommé (et facturé), 2,58 kWh d'énergie primaire (2,58 kWhEP) sont comptabilisés dans le cadre de cette étude. Cela reflète le mode de production de l'électricité, qui requiert « en moyenne » et par convention 2.58 kWh d'une autre énergie (gaz, fioul, uranium, ... : énergie primaire) pour chaque kWh livré à domicile.

4.2.1 Occupation et températures selon la méthode réglementaire Th-CE Ex

Un bâtiment peut être découpé en zones ayant des usages différents. Chaque usage est défini par un scénario d'occupation, de chauffage et de refroidissement, caractérisés par des températures de consigne et des horaires de maintien en température conventionnels. On définit une zone différente pour chacun des types d'usage représentés dans le bâtiment. Dans le cas de ce bâtiment, les usages sont les suivants :

Type d'usage	Horaires d'occupation Réglementaires	Niveau de température Réglementaire
Bureau	Moyens	Moyen

Il y correspond les scénarios suivants :

Horaires d'occupation	Heures par jour	Jours par semaine
Moyens	10 heures (8h à 18h)	5 jours (lundi au vendredi)

Niveau de température	Occupation	Réduction de chauffage de moins de 48h	Réduction de chauffage de plus de 48h
Moyen	19 °C	16 °C	7 °C

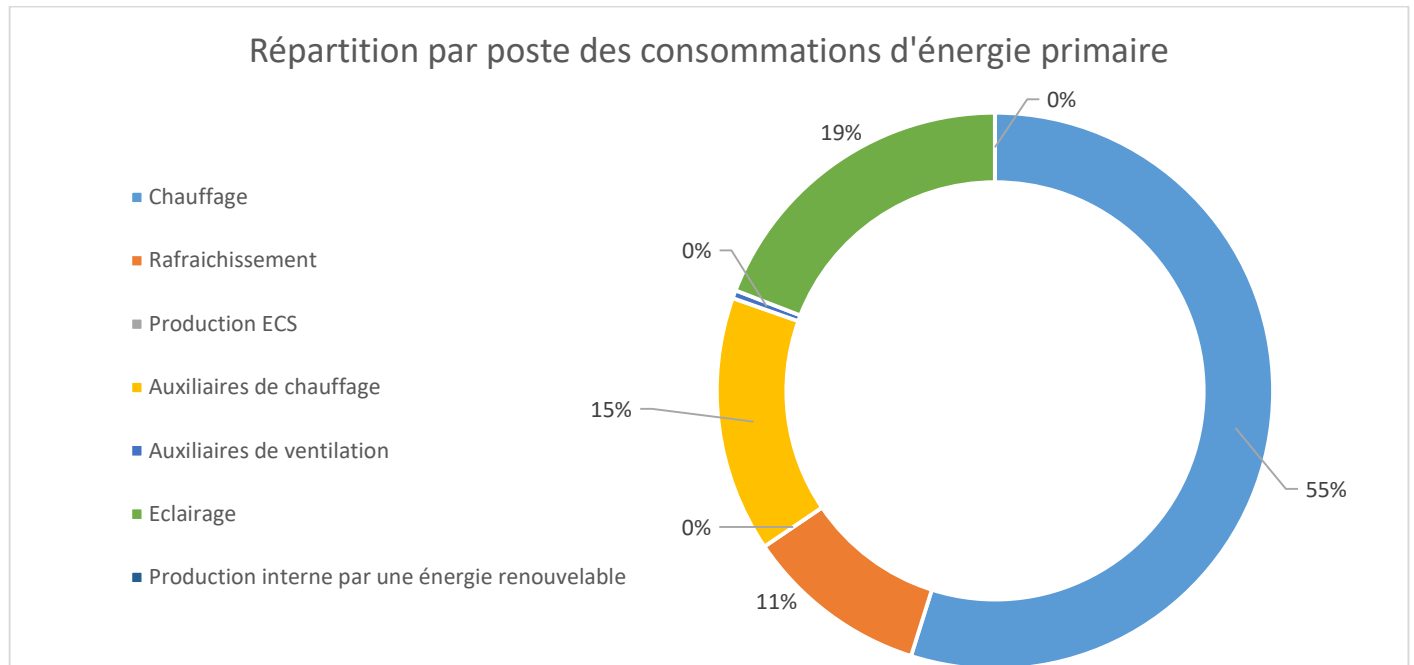
4.2.1 Modélisation de l'existant – calcul réglementaire

Il ressort du calcul réglementaire (méthode THC-Ex) une consommation d'énergie primaire (Cep) pour les bâtiments à l'état existant de :

Bâtiment Algeco : 123 kWh_{ep}/m².SHON_{RT}/an.

Répartition de la consommation d'énergie primaire actuelle (kWh _{ep} /m ² .an)		
Poste	Bâtiment existant	Répartition
Chauffage	67,5 kWh EP/m ² .an	55%
Rafrachissement	13,1 kWh EP/m ² .an	11%
Production ECS	0,0 kWh EP/m ² .an	0%
Auxiliaires de chauffage	18,3 kWh EP/m ² .an	15%
Auxiliaires de ventilation	0,6 kWh EP/m ² .an	0%
Eclairage	23,5 kWh EP/m ² .an	19%
Production interne par une énergie renouvelable	0,0 kWh EP/m ² .an	0%
TOTAL	123,0 kWh EP/m².an	

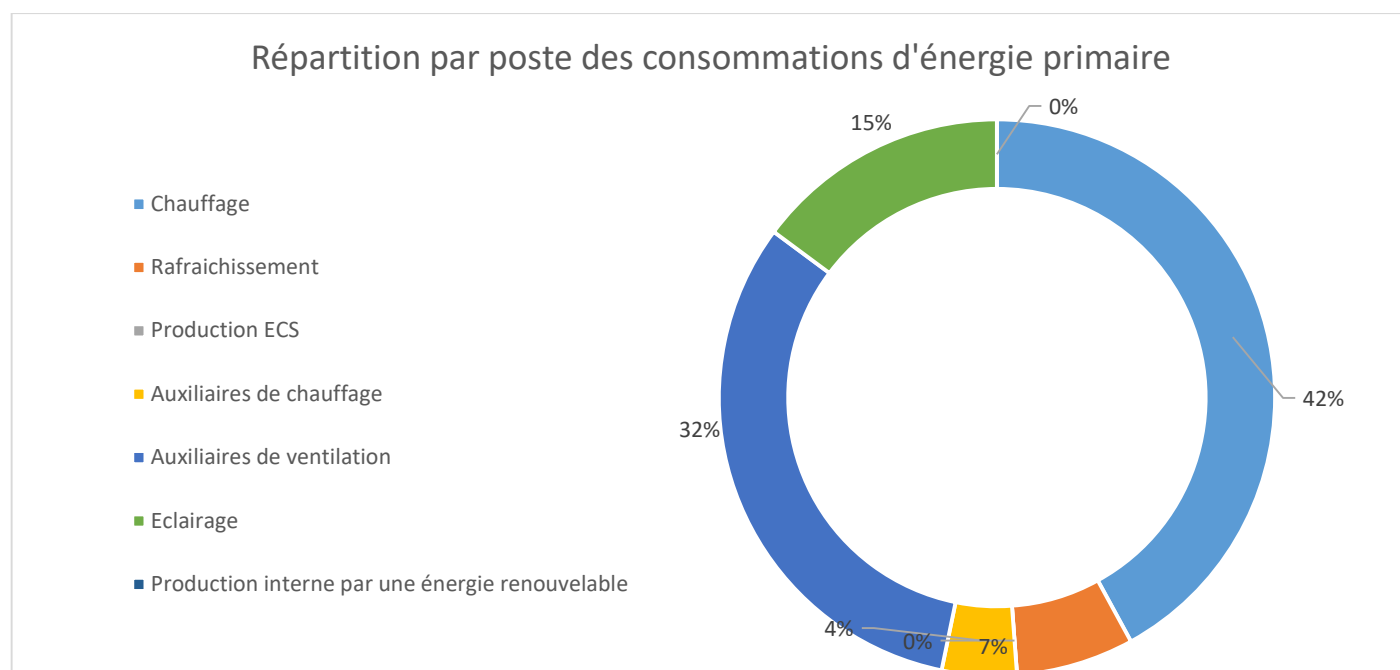
Elle est répartie comme suit :



Bâtiment modulaire : 125.4 kWh_{ep}/m².SHON_{RT}/an.

Répartition de la consommation d'énergie primaire actuelle (kWh _{ep} /m ² .an)		
Poste	Bâtiment existant	Répartition
Chauffage	52,6 kWh EP/m ² .an	42%
Rafrachissement	8,6 kWh EP/m ² .an	7%
Production ECS	0,0 kWh EP/m ² .an	0%
Auxiliaires de chauffage	5,4 kWh EP/m ² .an	4%
Auxiliaires de ventilation	40,1 kWh EP/m ² .an	32%
Eclairage	18,6 kWh EP/m ² .an	15%
Production interne par une énergie renouvelable	0,0 kWh EP/m ² .an	0%
TOTAL	125,4 kWh EP/m².an	

Elle est répartie comme suit :

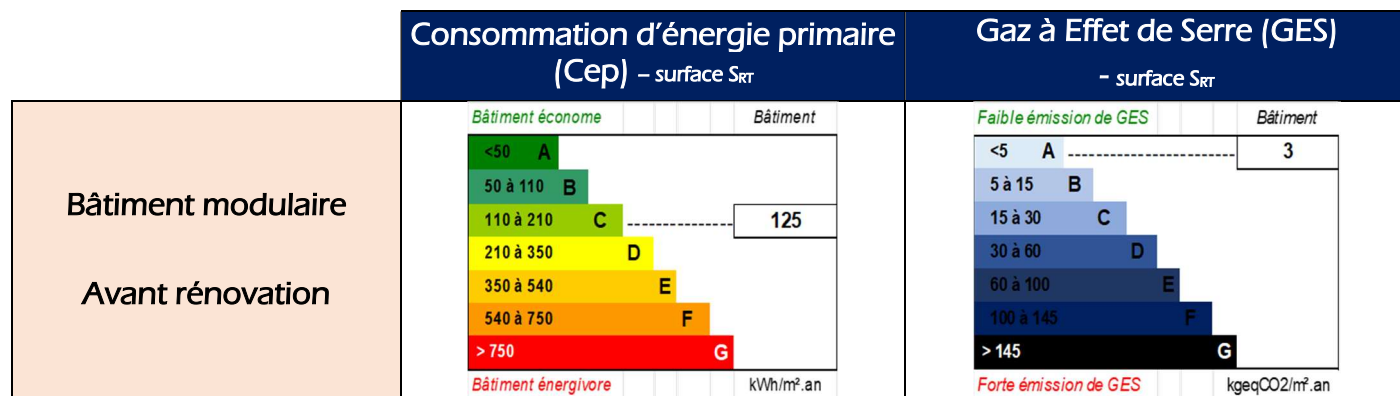
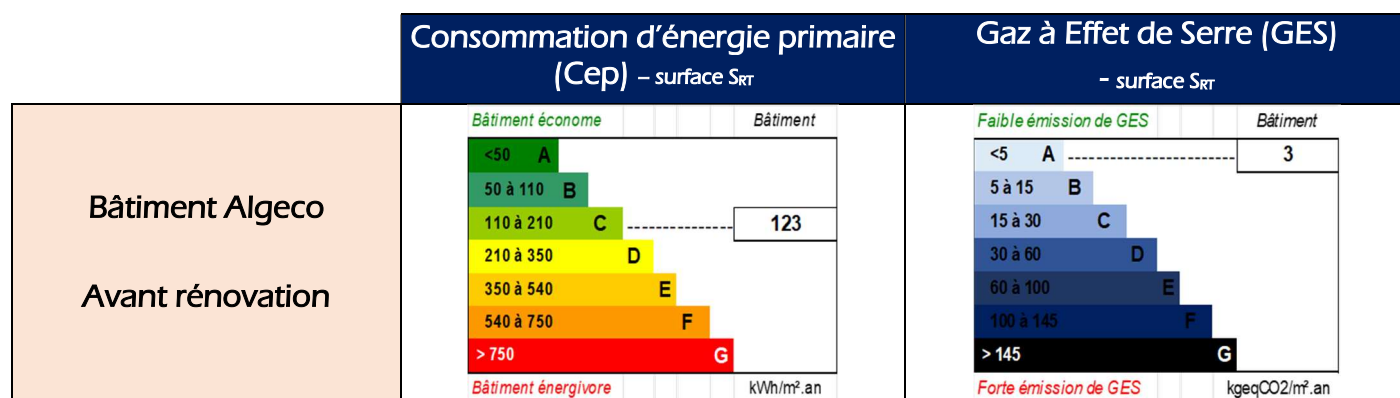


4.2.2 Etiquette énergie et climat

❖ Pour les bâtiments à usage autre que habitation :

Les étiquettes énergie et climat des bâtiments autre que habitation (bureaux, tertiaire, etc.) sont différentes de celles des logements. Il en existe quatre modèles différents, selon l'activité et l'occupation du bâtiment

	Bâtiments concernés	Consommations énergétiques (kWhEP/m².an)	Emissions de GES (kgCO2eq/m².an)
A l'exception des centres commerciaux	Bâtiments à usage principal de bureau, d'administration ou d'enseignement	A : ≤ 50 B : 51 à 110 C : 111 à 210 D : 211 à 350 E : 351 à 540 F : 541 à 750 G : > 750	A : ≤ 5 B : 6 à 15 C : 16 à 30 D : 31 à 60 E : 61 à 100 F : 101 à 145 G : > 145
A l'exception des centres commerciaux	Bâtiment à occupation continue (par exemple : hôpitaux, hôtels, internats, maisons de retraite, etc.)	A : ≤ 100 B : 101 à 210 C : 211 à 370 D : 371 à 580 E : 581 à 830 F : 831 à 1130 G : > 1130	A : ≤ 12 B : 13 à 30 C : 31 à 65 D : 66 à 110 E : 111 à 160 F : 161 à 220 G : > 220
A l'exception des centres commerciaux	Autres cas (par exemple : théâtres, salles de sport, restauration, commerces individuels, etc.)	A : ≤ 30 B : 31 à 90 C : 91 à 170 D : 171 à 270 E : 271 à 380 F : 381 à 510 G : > 510	A : ≤ 3 B : 4 à 10 C : 11 à 25 D : 26 à 45 E : 46 à 70 F : 71 à 95 G : > 95
Centre commercial		A : ≤ 80 B : 81 à 120 C : 121 à 180 D : 181 à 230 E : 231 à 330 F : 331 à 450 G : > 450	A : ≤ 10 B : 11 à 15 C : 16 à 25 D : 26 à 35 E : 36 à 55 F : 56 à 80 G : > 80



Ces étiquettes ne sont pas des étiquettes de Diagnostic Énergétique (DPE) et ont été estimées par une étude réglementaire RT-Existant, en prenant comme surface de référence la surface thermique (SRT).

4.3 Modélisation thermique dynamique

4.3.1 Présentation de la modélisation thermique dynamique

La modélisation thermique dynamique permet de simuler le comportement thermique d'un bâtiment dans son environnement météorologique (l'ensoleillement, le masque solaire lointain et les masques proches ainsi que la température extérieure) représentatif de la réalité, décrit heure par heure tout au long d'une année.

Elle permet en particulier de prendre en compte l'utilisation réel du bâtiment, les apports solaires et internes, mais également l'inertie des matériaux utilisés, l'orientation des vitrages, etc. pour prévoir les températures qui seront obtenues à l'intérieur du bâtiment en conditions réelles et pour estimer le besoin d'énergie de chauffage. Elle permet également de prendre en compte, zone par zone, des performances énergétiques différentes, notamment sur l'étanchéité à l'air.

Cette méthode de calcul permet de s'approcher au plus juste des consommations réelles du bâtiment.

4.3.2 Scénarios utilisés pour la modélisation (bâtiment Algeco)

Les scénarios utilisés dans l'étude thermique sont présentés ci-dessous, ces derniers ont été transmis par la maîtrise d'ouvrage prenant en compte les éléments de l'année 2021 :

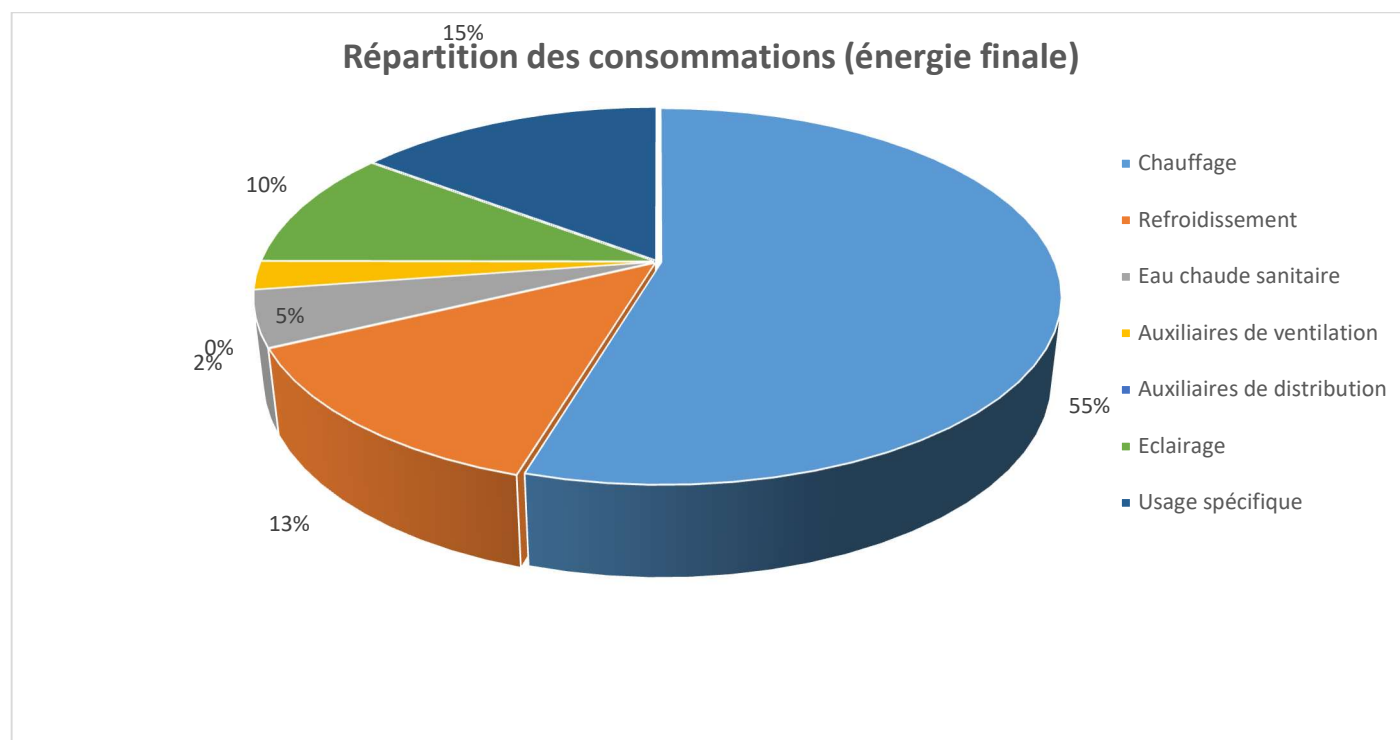
- Consigne de température (chauffage) : **21°C** ;
- Consigne de température (climatisation) : **25°C** ;
- Horaire de chauffage : **24/24 et 7/7** ;
- Occupation : **20 personnes** ;

4.3.3 Résultats de la modélisation du bâtiment Algeco

Les résultats de la modélisation simulation thermique dynamique (STD) concernent exclusivement le bâtiment Algeco. Etant donné que le bâtiment va être supprimé, la maîtrise d'ouvrage souhaite connaître avec précision les consommations du bâtiment Algeco afin de pouvoir soustraire cette consommation pour le calcul des objectifs énergétiques.

Les consommations ont été estimées à l'aide du logiciel de modélisation Pléiades (Izuba Energies) et selon la base de données météorologiques de Météonorm.

Répartition des consommations					
Usage	Energie	Energie finale	Energie primaire	€TTC	kg CO2
Chauffage	Electricité	21 738 kWh EF	56 084 kWh EP	5 652 €	1 717 kgEqCO2
Refroidissement	Electricité	5 259 kWh EF	13 568 kWh EP	1 367 €	337 kgEqCO2
Eau chaude sanitaire	Electricité	1 894 kWh EF	4 887 kWh EP	493 €	123 kgEqCO2
Auxiliaires de ventilation	Electricité	961 kWh EF	2 479 kWh EP	250 €	61 kgEqCO2
Auxiliaires de distribution	Electricité	-	-	-	-
Eclairage	Electricité	4 053 kWh EF	10 458 kWh EP	1 054 €	280 kgEqCO2
Usage spécifique	Electricité	5 868 kWh EF	15 139 kWh EP	1 526 €	378 kgEqCO2
TOTAL		39 773 kWh EF	102 616 kWh EP	10 341 €	2 897 kgEqCO2



V. Phase 3 : Proposition d'améliorations

5.1 Interventions étudiées

Cette partie présente les propositions d'actions d'améliorations indépendantes, c'est-à-dire que les actions d'améliorations seront étudiées indépendamment les unes des autres avant d'établir des bouquets de travaux. Les propositions d'actions d'améliorations visent à :

- Réduire les consommations énergétiques ;
- Réduire la facture énergétique ;
- Obtenir une rentabilité élevée dans le temps ;
- Améliorer le confort estival et hivernal ;
- Améliorer la qualité de l'air.

Remarques : La maîtrise d'ouvrage prévoit de supprimer le bâtiment type Algeco datant de 2008. Néanmoins, des solutions d'améliorations énergétiques ont tout de même été proposées.

Bâtiment Algeco :

Gestion de l'éclairage	Localisation :	Bâtiment Algeco
<u>Mise en œuvre proposée :</u> <ul style="list-style-type: none">➤ Mise en place d'un pilotage de l'éclairage par des interrupteurs dans les bureaux avec un variateur de luminosité et détection d'absence ;➤ Mise en place d'un pilotage de l'éclairage par de la détection de présence et d'absence dans les circulations ainsi que les sanitaires.		

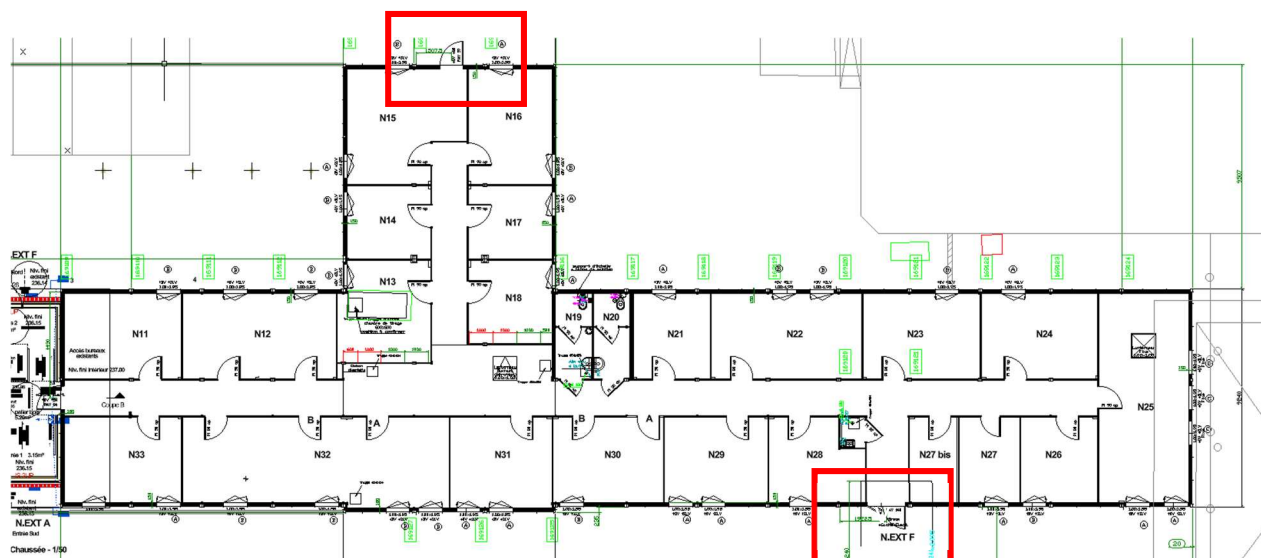
Remplacement des portes d'entrée aluminium

Localisation : Portes d'entrée aluminium vitrage 6.6.6

Mise en œuvre proposée :

- L'intervention concerne les portes d'entrée en aluminium vitrage 6/6/6 ;
- Dépose des menuiseries existantes ;
- Mise en place de menuiseries de type aluminium avec double vitrage $U_w \leq 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$, vitrage peu émissif et disposant d'un traitement pour limiter les apports solaires. Classe étanchéité à l'air : A4. Vitrage acoustique vivement recommandé ;
- Pose étanche – pose en rénovation proscrit.

Remarques :



- Il est impératif de réaliser une parfaite étanchéité à l'air en périphérie des menuiseries afin de ne pas altérer le confort des occupants ;
- Possibilité de mettre en place un vitrage solaire renforcé pour les menuiseries orientées à l'ouest ;
- Amélioration du confort hivernal et diminution de la consommation d'énergie ;
- Diminution des infiltrations d'air (courants d'air) ;
- Diminution des nuisances sonores extérieures ;
- A réaliser conjointement avec travaux d'isolation thermique extérieure et les travaux en toiture.
- Menuiseries concernées =

Ventilation double flux

Localisation :

Bâtiment Algeco

Mise en œuvre proposée :

- Mise en place d'une centrale de VMC double-flux équipée d'un échangeur à plaques à haut rendement $\geq 82\%$;
- Création de réseaux aérauliques type galvanisés étanches classe A minimum, un réseau pour le soufflage et un pour l'extraction ;
- Mise en place de bouches d'extraction et de soufflage ;
- Mise en place de silencieux et de sondes CO_2 sur registres motorisées, afin de permettre une régulation optimale de la qualité de l'air.



Remarque :

- Il est possible de prévoir une surventilation nocturne en période estivale afin d'évacuer la chaleur accumulée en journée.
- Ce système, pourvu d'un récupérateur de chaleur, plus coûteux à mettre en place, permet de réaliser des économies d'énergies importantes tout en améliorant la qualité de l'air dans le bâtiment, contrairement au système de ventilation simple flux, qui engendrera une augmentation de la consommation d'énergie sur le poste ventilation.
- Hors sujétions de finition (soffites, traversées de dalles, peinture éventuelle...).
- Les débits de ventilation à mettre en œuvre estimés sont les suivants : **1160 m³/h**.

Mise en place d'émetteurs électriques performants et intelligentsLocalisation :

Bâtiment Algeco

Mise en œuvre proposée :

- Remplacement des émetteurs électriques existants par des émetteurs électriques performants et intelligents :
- Remplacement des convecteurs et panneaux électriques vétustes par des panneaux rayonnants électriques à inertie avec un coefficient d'aptitude $< 0,144^{\circ}\text{C}$. Ils devront disposer de la fonction « détection ouvertures de fenêtres ».
- Mise en place d'une gestion des émetteurs centralisée par fil pilote ;
- Mise en place d'une gestion à distance de la régulation (consignes températures par pièce, programmation horaire hebdomadaire).

Remarques :

- Diminution de la consommation électrique ;
- Régulation du chauffage facilitée et optimisée.

Remplacement des fenêtres de toitLocalisation :

Bâtiment Algeco

Mise en œuvre proposée :

- L'intervention concerne les deux fenêtres de toit présentes dans le bâtiment Algeco ;
- Dépose des fenêtres de toit existantes ;
- Mise en place de fenêtres de toit ayant les performances thermiques suivantes : $U_w \leq 1,30 \text{ W/m}^2.\text{k}$;
- Pose étanche – pose en rénovation proscrit ;
- Mise en place d'une protection solaire afin de limiter les surchauffes.

Remarque :

- Il est impératif de réaliser une parfaite étanchéité à l'air en périphérie des menuiseries afin de ne pas altérer le confort des occupants ;
- Amélioration du confort hivernal et diminution de la consommation d'énergie ;
- Diminution des infiltrations d'air (courants d'air) ;
- Diminution des nuisances sonores extérieures.

Mise en place d'une pompe à chaleur air / air - DRVLocalisation :

Bâtiment Algeco

Mise en œuvre proposée :

- Mise en place d'un DRV de type Air-Air simple service assurant les besoins de chauffage et de climatisation du bâtiment :
 - Mise en place d'une unité extérieure ;
 - Création de différents réseaux frigorigènes afin d'alimenter les cassettes intérieures ;
 - Mise en place de cassettes de diffusion dans chaque bureau et salle ;
 - Installation de thermostats d'ambiance et d'un réglage de température par bureau ;
 - Isolation des réseaux de distribution passant en volume non chauffé et chauffé ;

Remarque :

- La puissance de la pompe à chaleur sera à définir en fonction du bouquet de travaux retenu ;
- Entretien annuel obligatoire de la pompe à chaleur à prévoir.

Bâtiment modulaire :

Le bâtiment modulaire respectant la RT2012, l'enveloppe de ce dernier présente de bonnes performances thermiques.

Les solutions d'améliorations énergétiques seront donc limitées.

Mise en place d'émetteurs électriques performants et intelligents	<u>Localisation :</u> Bâtiment Modulaire
<p><u>Mise en œuvre proposée :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Remplacement des émetteurs électriques existants par des émetteurs électriques performants et intelligents : <ul style="list-style-type: none"> ○ Remplacement des convecteurs et panneaux électriques vétustes par des panneaux rayonnants électriques à inertie avec un coefficient d'aptitude < 0,144°C. Ils devront disposer de la fonction « détection ouvertures de fenêtres » ; ○ Mise en place d'une gestion des émetteurs centralisée par fil pilote ; ○ Mise en place d'une gestion à distance de la régulation (consignes températures par pièce, programmation horaire hebdomadaire). 	
<p><u>Remarques :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Diminution de la consommation électrique ; ➤ Régulation du chauffage facilitée et optimisée. 	

Caisson de ventilation double flux

Localisation :

Bâtiment Modulaire

Mise en œuvre proposée :

- Mise en place d'un caisson de VMC double-flux équipé d'un échangeur à plaques à haut rendement $\geq 82\%$.



Mise en place d'une installation photovoltaïque

Localisation :

Bâtiment Modulaire

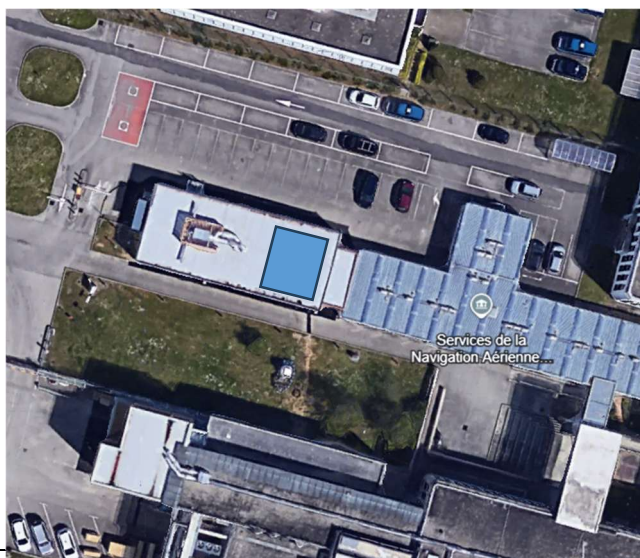
Mise en œuvre proposée :

- Mise en place d'une installation photovoltaïque d'environ 20.4 m² sur la toiture du bâtiment soit environ 4.20 kWc.

Remarque :

- Le montage d'une opération photovoltaïque nécessite une étude de faisabilité complète : étude d'implantation, analyse de la production annuelle, analyse économique, montage administratif et financier ;
- En l'absence de courbe de charge fournie, il est actuellement relativement complexe de dimensionner une centrale ;
- Une étude de structure doit être réalisée au préalable pour déterminer la faisabilité de l'opération ;
- Une attention particulière devra être portée à l'espace entre les panneaux ;
- Surcoût de maintenance. (Environ 300€/an) ;
- La maintenance des installations consiste à prévoir un passage annuel minimum afin de :
 - Réaliser l'inspection visuelle des modules ;
 - Réaliser le nettoyage des modules ;
 - Vérifier et dépoussiérer les onduleurs ;
 - Vérifier la sécurité électrique ;
 - Relever les données de production.

- Installation photovoltaïque = 



5.2 Potentiel des énergies renouvelables

Type énergie renouvelable	Faisabilité - Justifications
Pompes à chaleur (PAC)	<ul style="list-style-type: none">• Une installation pompe à chaleur est réalisable, elle est d'ailleurs exploitée dans le présent rapport.
Panneaux photovoltaïques	<ul style="list-style-type: none">• Une installation photovoltaïque nous semble réalisable, néanmoins, une étude de faisabilité complète avec étude de structure est indispensable.

5.3 Impact des travaux individuels

Ces travaux ont un impact positif à long terme sur le coût de fonctionnement annuel du bâtiment (ils diminuent ce coût annuel), mais ils ont eux-mêmes un prix, qu'il faut payer immédiatement. Plusieurs méthodes existent pour comparer l'impact immédiat à l'impact sur le long terme :

- Le calcul du temps de retour sur investissement, qui consiste à diviser le prix des travaux par l'économie annuelle attendue, et donne donc une image du temps qu'il faut pour que les économies « remboursent » le prix des travaux. Le problème est que le prix de l'énergie augmente avec le temps, mais il est impossible de prédire le taux annuel d'augmentation. Selon les hypothèses choisies, on peut donc artificiellement allonger ou raccourcir ce temps de retour.
- La méthode de la valeur annuelle nette (ou méthode du coût actualisé). Un peu plus complexe, elle consiste à calculer le **prix de l'énergie économisée** (en €/kWh), en « étalant » sur une durée déterminée (par exemple 25 ans) le coût des travaux. Elle permet donc de s'affranchir de l'augmentation du coût des énergies, et de comparer les travaux entre eux, mais aussi au coût actuel de l'énergie, ou à un coût projeté sur la même période.

Cette méthode permet également d'établir un ordre de priorité aux différents travaux envisagés : ceux dont le prix de l'énergie économisée est le plus bas sont les plus rentables, et doivent être réalisés en priorité.

Toutefois, cet ordre de priorité ne doit pas être le seul critère de choix des travaux :

- Certains travaux n'ont qu'un impact limité sur le bâtiment : il faut également considérer l'impact global (en kWh/an) des différents bouquets.
- Certains travaux doivent être réalisés pour des raisons de sécurité et/ou d'hygiène.
- Certains travaux, pour être efficaces, doivent être réalisés avant d'autres (par exemple, le changement des menuiseries avant l'isolation par l'extérieur)
- Certains travaux peuvent apporter d'importants gains en confort : ces gains ne sont pas chiffrables. Nous les décrirons toutefois chaque fois que cela nous semble important.

Le tableau ci-dessous présente les actions individuelles pour chacun des bouquets étudiés :

- L'estimatif des travaux. Cet estimatif est issu de prix constatés sur le marché et de notre expérience sur des projets similaires. De ce fait, l'estimatif du coût des travaux de rénovation présenté dans ce rapport n'a pas valeur de devis : il est donné à titre indicatif (+/- 20%) ;
- L'économie d'énergie estimée exprimée en kWh/an ;
- L'économie d'énergie estimée exprimée en MWh Cumac ;
- Le montant des Certificats d'Economies d'Energies (CEE en €) avec un prix de rachat de 6.50 €/MWh.
- Le prix de l'énergie économisée (tel que décrit ci-dessus) exprimé en kWh.
- Ces estimations ne prennent pas en compte les divers travaux induits non-mentionnés.

Bâtiment Algeco :

Solution proposée	Economie d'énergie (kWh/an)	Soit (€TTC/an)	Estimatif des travaux €TTC	Prix du kWh économisé (€TTC/kWh)	Nombre d'années de fonctionnement (ans)
Gradation éclairage	525 kWh	114 €	3 744 €	0.84 €	10
Remplacement menuiseries extérieures 6.6.6	338 kWh	73 €	5 702 €	0.84 €	30
Remplacement des exutoires de fumée	66 kWh	14 €	2 880 €	2.19 €	30
Remplacement des radiateurs électrique	811 kWh	176 €	5 100 €	0.53 €	15
Ventilation double flux	-1 638 kWh	-355 €	63 234 €	-	20
Installation DRV air / air	7 174 kWh	1 554 €	47 034 €	0.30 €	25

Analyse des actions d'amélioration énergétiques individuelles

Le coût du kWh économisé de l'installation DRV se rapproche au prix du kWh payé par le maître d'ouvrage, nous pouvons donc conclure que ce type d'installation est intéressant à mettre en œuvre.

Concernant les autres solutions d'amélioration, elles participent grandement à l'amélioration du confort des occupants.

De plus, ces actions une fois cumulées sous forme de bouquets sont intéressantes et permettent de prétendre aux Certificats d'Economie d'Energie (CEE). Elles permettent également une amélioration significative de la performance du bâtiment et du confort pour les occupants.

Bâtiment Modulaire :

Solution proposée	Economie d'énergie (kWh/an)	Soit (€TTC/an)	Estimatif des travaux €TTC	Prix du kWh économisé (€TTC/kWh)	Nombre d'années de fonctionnement (ans)
Caisson de ventilation double flux	2 914 kWh	631 €	21 600 €	0.48 €	20
Remplacement des radiateurs électrique	511 kWh	111 €	4 200 €	0.69 €	15
Installation photovoltaïque	3 119 kWh	676 €	11 088 €	0.18 €	30

Analyse des actions d'amélioration énergétiques individuelles

Le coût du kWh économisé de l'installation photovoltaïque est inférieur au prix du kWh payé par le maître d'ouvrage, nous pouvons donc conclure que ce type d'installation est intéressant à mettre en œuvre.

Concernant les autres solutions d'amélioration, elles participent grandement à l'amélioration du confort des occupants.

De plus, ces actions une fois cumulées sous forme de bouquets sont intéressantes et permettent de prétendre aux Certificats d'Economie d'Energie (CEE). Elles permettent également une amélioration significative de la performance du bâtiment et du confort pour les occupants.

5.4 Hypothèses de travail

5.4.1 Prix des énergies

❖ Consommations électriques :

- Prix du kWh : 0,26 €TTC

Il s'agit d'une moyenne des factures énergétiques des années **2018, 2019, 2020 et 2021**. Les factures analysées ne présentent pas d'abonnement mais seulement une part variable en fonction de consommations d'énergies.

Les coûts actuels du tarif des énergies sont donc probablement supérieurs que pour les années précédentes.

Néanmoins, le présent rapport d'audit énergétique présente des temps de retour sur investissement actualisés prenant en compte deux hypothèses d'augmentation du prix des énergies.

- Un calcul prenant en compte **3%** d'augmentation par an des tarifs des énergies ;
- Un calcul prenant en compte **6%** d'augmentation par an des tarifs des énergies ;

5.4.2 Prix des entretiens des équipements techniques

❖ Entretien équipements :

Equipements	Prix (€TTC)
Contrat entretien chauffage et climatisation	1 000€ TTC / an
Contrat entretien VMC double flux	300€ TTC / an
Contrat entretien panneaux photovoltaïques	300€ TTC / an

Les estimations des factures énergétiques futures comprennent la consommation de chaque énergie utilisée par les différents postes (chauffage, refroidissement, production d'eau chaude sanitaire, auxiliaires, éclairage) mais également le gain apporté par d'éventuels systèmes de production d'énergie par énergies renouvelables (photovoltaïque, chaudière à cogénération, éolien, etc...).

5.4.3 Estimatif des coûts des travaux

Une analyse financière est réalisée pour chaque programme d'améliorations proposé. Ces analyses financières permettent de faciliter la prise de décision du maître d'ouvrage et regroupent :

- Une estimation à +/- 20% des coûts globaux des travaux prévisionnels.

Les estimations de prix réalisées ne permettent que d'avoir une idée de prix et devront faire l'objet de devis.

Le prix affiché pour l'investissement de chaque préconisation est issu d'une base de données interne. De ce fait, l'estimatif du coût des travaux de rénovation présenté dans ce rapport n'a pas valeur de devis et n'engage en rien la responsabilité du bureau d'études : il est donné à titre indicatif.

5.4.4 Retour sur investissement

Pour calculer le temps de retour sur investissement, nous avons comparé le montant des travaux aux économies d'énergie générées en considérant l'augmentation du prix des énergies.

Nous avons pris les hypothèses suivantes :

- Augmentation annuelle du prix des énergies : + 3%/an (scénario optimiste).
+ 6%/an (scénario pessimiste).

Il est à noter que cette valeur "pessimiste" reste inférieure à l'augmentation constatée du prix de l'électricité et du gaz ces dernières années

5.5 Scénarios d'amélioration énergétiques étudiés

5.5.1 Description des bouquets de rénovation « Bâtiment Algeco »

Cette section présente deux bouquets qui nous semblent les plus pertinents en fonction des problématiques de ce bâtiment, conformément à l'analyse ci-dessus.

➤ Bouquet de rénovation n°01 – Travaux prioritaires

Ce bouquet vise à proposer des travaux d'amélioration relativement rapides et peu onéreux à mettre en œuvre.

- Gestion de l'éclairage ;
- Remplacement des portes d'accès aluminium ;
- Remplacement des radiateurs électriques.

➤ Bouquet de rénovation n°02 – Travaux complémentaires avec remplacement système de chauffage :

- Mise en place d'une installation pompe à chaleur DRV afin d'assurer les besoins de chauffage ;
- Remplacement des exutoires de fumée ;
- Mise en place d'un système de ventilation double flux.

5.5.2 Description des bouquets de rénovation « Bâtiment modulaire »

Cette section présente des bouquets qui nous semblent les plus pertinents en fonction des problématiques de ce bâtiment, conformément à l'analyse ci-dessus.

Néanmoins, le bâtiment étudié est conforme à la RT2012, il est donc relativement performant, de ce fait nous préconiserons seulement un bouquet de travaux.

➤ Bouquet de rénovation n°01 :

Ce bouquet vise à proposer des travaux d'amélioration relativement rapides à mettre en œuvre.

- Remplacement des radiateurs électriques ;
- Remplacement du caisson de ventilation double flux en toiture ;
- Mise en place d'une installation photovoltaïque.

5.5.3 Scénario 1 - Travaux prioritaires

Bâtiment Algeco :

❖ Résumé des travaux d'amélioration prévus dans ce bouquet :

Travaux	B1
Gradation éclairage	X
Remplacement menuiseries extérieures 6.6.6	X
Remplacement des exutoires de fumée	
Remplacement des radiateurs électriques	X
Ventilation double flux	
Installation DRV air / air	

❖ Déperditions thermiques* (sans surpuissance) :

Etat existant	Scénario 1	Gain
20,4 kW	19,8 kW	3%

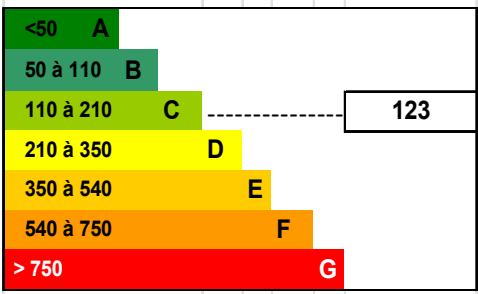
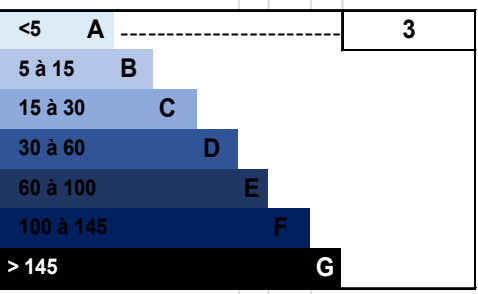
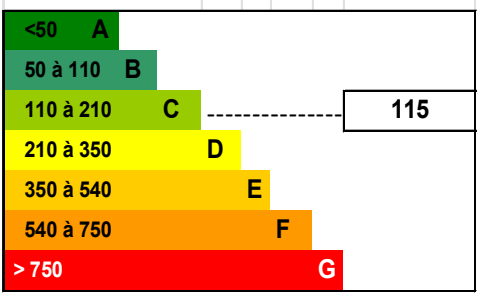
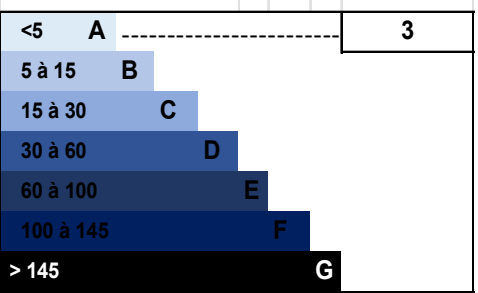
*Pour une température intérieure de 19°C et une température extérieure de -11°C, définie par la zone climatique du site.

❖ Impact sur la consommation d'énergie :

Répartition de la consommation d'énergie primaire actuelle (kW/hep/m².an)		
Poste	Bâtiment existant	Bouquet de travaux n°01
Chauffage	67,5 KWh EP/m².an	63,0 KWh EP/m².an
Rafrachissement	13,1 KWh EP/m².an	13,0 KWh EP/m².an
Production ECS	0,0 KWh EP/m².an	0,0 KWh EP/m².an
Auxiliaires de chauffage	18,3 KWh EP/m².an	18,3 KWh EP/m².an
Auxiliaires de ventilation	0,6 KWh EP/m².an	0,6 KWh EP/m².an
Eclairage	23,5 KWh EP/m².an	20,1 KWh EP/m².an
Production interne par une énergie renouvelable	0,0 KWh EP/m².an	0,0 KWh EP/m².an
TOTAL	123,0 KWh EP/m².an	114,9 KWh EP/m².an

Note : Ces consommations d'énergie primaire sont estimées selon la méthode de calcul réglementaire. Les usages domestiques, process et de bureautique ne sont pas comptabilisés.

❖ **Etiquettes Energie-Climat :**

Variantes	Consommation d'énergie primaire (Cep) – surface S_{RT}	Gaz à Effet de Serre (GES) – surface S_{RT}
Ensemble du site Avant rénovation	<p><i>Bâtiment économe</i> <i>Bâtiment</i></p>  <p><i>Bâtiment énergivore</i> kWh/m².an</p>	<p><i>Faible émission de GES</i> <i>Bâtiment</i></p>  <p><i>Forte émission de GES</i> kgeqCO2/m².an</p>
Ensemble du site Bouquet rénovation n°01	<p><i>Bâtiment économe</i> <i>Bâtiment</i></p>  <p><i>Bâtiment énergivore</i> kWh/m².an</p>	<p><i>Faible émission de GES</i> <i>Bâtiment</i></p>  <p><i>Forte émission de GES</i> kgeqCO2/m².an</p>

Ces étiquettes ne sont pas des étiquettes de Diagnostic Energétique (DPE) et ont été estimées par une étude réglementaire RT-Existant, en prenant comme surface de référence la surface thermique (S_{RT}).

❖ Approche financière :

Estimation des travaux	Coût €TTC
Gradation éclairage	3 744 €
Remplacement menuiseries extérieures 6.6.6	5 702 €
Remplacement des radiateurs électriques	5 100 €
TOTAL	14 546 €

Eligibilité aux aides financières	
CEE travaux par travaux	<i>Eligible</i>

*Cf Présentation des aides financières en Annexe

Estimation des subventions*	Montant €
CEE	117 €

- Le montant des Certificats d'Economies d'Energies (CEE en €) avec un prix de rachat de 6,50 €/MWh.

❖ Bilan économique :

		Etat initial	Bouquet de travaux n°01
Total Energie Finale	Consommations annuelles	25 071 kWh	23 424 kWh
	Economies d'énergie	-	1 647 kWh
		-	6,6%
GES (gaz à effet de serre)	Emissions annuelles	1 830 kgEqCO ₂	1 710 kgEqCO ₂
	Réduction des GES	-	120 kgEqCO ₂
		-	7%
Factures	Budget annuel	7 518 €TTC	7 090 €TTC
	dont entretien	1 000 €TTC	1 000 €TTC
	Economies	-	429 €TTC
		-	6%
Investissement	Investissement brut	-	14 546 €TTC
	Certificats d'Economie d'Energie	-	117 €
	Reste à charge	-	14 546 €TTC
Temps de retour sur investissement (+3%/an)		-	24 ans
Temps de retour sur investissement (+6%/an)		-	19 ans

Les objectifs décret tertiaire sont énoncés dans le rapport suivant : « Rapport d'audit énergétique - LER2025-026 – V4- DGAC - Aéroport Lyon - Bloc technique - Rapport final »

Analyse – Bouquet de travaux n°01

Ce premier bouquet de travaux propose des solutions d'améliorations énergétiques rapides et relativement abordables à mettre en œuvre. Ce bouquet permet tout de même de réduire les consommations d'énergie du bâtiment et son impact environnemental.

En effet, ce dernier permet de réduire les consommations d'énergie finale de **7%** et les émissions de gaz à effet de serre de **7%**. De plus, le budget énergétique annuel est diminué de **6%**.

Pour ce faire, il est prévu :

- La mise en place d'une gradation de l'éclairage ;
- Le remplacement des portes d'entrée aluminium en vitrage 6.6.6 ;
- Le remplacement des radiateurs électriques existants.

Des aides Certificats d'Economies d'Energie sont mobilisables, néanmoins, ces dernières sont données à titre indicatif.

Bâtiment Modulaire :

❖ Résumé des travaux d'amélioration prévus dans ce bouquet :

Travaux	B1
Caisson de ventilation double flux	X
Remplacement des radiateurs électriques	X
Installation photovoltaïque	X

❖ Déperditions thermiques* (sans surpuissance) :

Etat existant	Scénario 1	Gain
7,1 kW	7,1 kW	0%

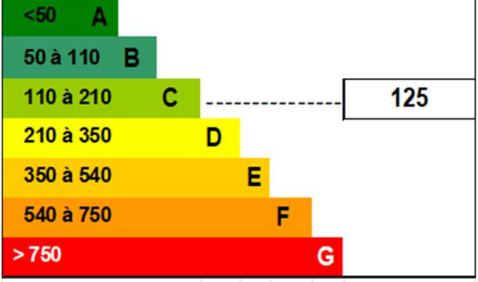
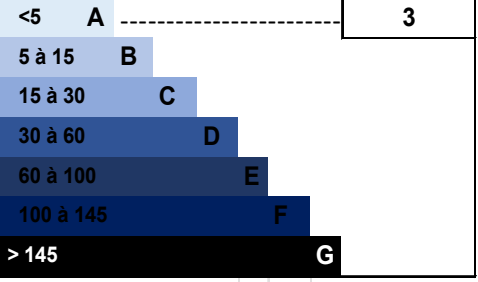
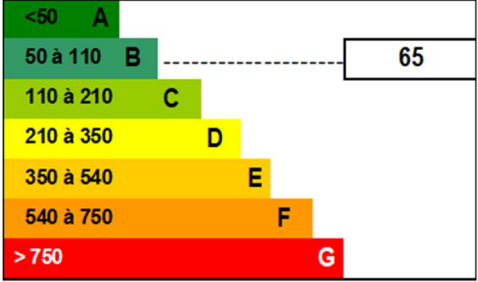
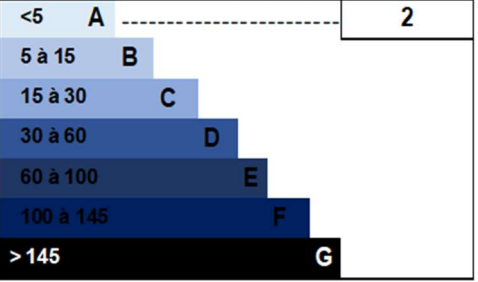
*Pour une température intérieure de 19°C et une température extérieure de -11°C, définie par la zone climatique du site.

❖ Impact sur la consommation d'énergie :

Répartition de la consommation d'énergie primaire actuelle (kWhep/m².an)		
Poste	Bâtiment existant	Bouquet de travaux n°01
Chauffage	52,6 KWh EP/m².an	27,6 KWh EP/m².an
Rafrachissement	8,6 KWh EP/m².an	11,6 KWh EP/m².an
Production ECS	0,0 KWh EP/m².an	0,0 KWh EP/m².an
Auxiliaires de chauffage	5,4 KWh EP/m².an	8,0 KWh EP/m².an
Auxiliaires de ventilation	40,1 KWh EP/m².an	28,4 KWh EP/m².an
Eclairage	18,6 KWh EP/m².an	18,6 KWh EP/m².an
Production interne par une énergie renouvelable	0,0 KWh EP/m².an	-28,9 KWh EP/m².an
TOTAL	125,4 KWh EP/m².an	65,3 KWh EP/m².an

Note : Ces consommations d'énergie primaire sont estimées selon la méthode de calcul réglementaire. Les usages domestiques, process et de bureautique ne sont pas comptabilisés.

❖ **Etiquettes Energie-Climat :**

Variantes	Consommation d'énergie primaire (Cep) – surface S_{RT}	Gaz à Effet de Serre (GES) – surface S_{RT}
Ensemble du site Avant rénovation	<p><i>Bâtiment économe</i></p>  <p><i>Bâtiment énergivore</i></p> <p>kWh/m².an</p>	<p><i>Faible émission de GES</i></p>  <p><i>Forte émission de GES</i></p> <p>kgeqCO2/m².an</p>
	<p><i>Bâtiment économe</i></p>  <p><i>Bâtiment énergivore</i></p> <p>kWh/m².an</p>	<p><i>Faible émission de GES</i></p>  <p><i>Forte émission de GES</i></p> <p>kgeqCO2/m².an</p>

Ces étiquettes ne sont pas des étiquettes de Diagnostic Energétique (DPE) et ont été estimées par une étude réglementaire RT-Existant, en prenant comme surface de référence la surface thermique (S_{RT}).

❖ Approche financière :

Estimation des travaux	Coût €TTC
Caisson de ventilation double flux	21 600 €
Remplacement des radiateurs électriques	4 200 €
Installation photovoltaïque	11 088 €
TOTAL	36 888 €

Eligibilité aux aides financières	
CEE travaux par travaux	<i>Eligible</i>

*Cf Présentation des aides financières en Annexe

Estimation des subventions*	Montant €
CEE	962 €

- Le montant des Certificats d'Economies d'Energies (CEE en €) avec un prix de rachat de 6,50 €/MWh.

❖ Bilan économique :

		Etat initial	Bouquet de travaux n°01
Total Energie Finale	Consommations annuelles	13 545 kWh	7 055 kWh
	Economies d'énergie	-	6 490 kWh
		-	47,9%
GES (gaz à effet de serre)	Emissions annuelles	960 kgEqCO2	510 kgEqCO2
	Réduction des GES	-	450 kgEqCO2
		-	47%
Factures	Budget annuel	4 922 €TTC	3 434 €TTC
	dont entretien	1 400 €TTC	1 600 €TTC
	Economies	-	1 488 €TTC
		-	30%
Investissement	Investissement brut	-	36 888 €TTC
	Certificats d'Economie d'Energie	-	962 €
	Reste à charge	-	36 888 €TTC
Temps de retour sur investissement (+3%/an)		-	19 ans
Temps de retour sur investissement (+6%/an)		-	16 ans

Les objectifs décret tertiaire sont énoncés dans le rapport suivant : « Rapport d'audit énergétique - LER2025-026 – V3 - DGAC - Aéroport Lyon - Bloc technique - Rapport final »

Analyse – Bouquet de travaux n°01

Ce premier bouquet de travaux propose des solutions d'améliorations énergétiques rapides et relativement abordables à mettre en œuvre. Ce bouquet permet tout de même de réduire les consommations d'énergie du bâtiment et son impact environnemental.

En effet, ce dernier permet de réduire les consommations d'énergie finale de **48%** et les émissions de gaz à effet de serre de **47%**. De plus, le budget énergétique annuel est diminué de **31%**.

Pour ce faire, il est prévu :

- Le remplacement du caisson double flux ;
- Le remplacement des radiateurs électrique existants ;
- La mise en place d'une installation photovoltaïque.

Des aides Certificats d'Economies d'Energie sont mobilisables, néanmoins, ces dernières sont données à titre indicatif.

5.5.4 Scénario 2 – Travaux complémentaires avec remplacement du système de chauffage

Bâtiment Algeco :

❖ Résumé des travaux d'amélioration prévus dans ce bouquet :

Travaux	B2
Gradation éclairage	X
Remplacement menuiseries extérieures 6.6.6	X
Remplacement des exutoires de fumée	X
Remplacement des radiateurs électriques	X
Ventilation double flux	X
Installation DRV air / air	X

❖ Déperditions thermiques* (sans surpuissance) :

Etat existant	Scénario 2	Gain
20,4 kW	20,1 kW	1%

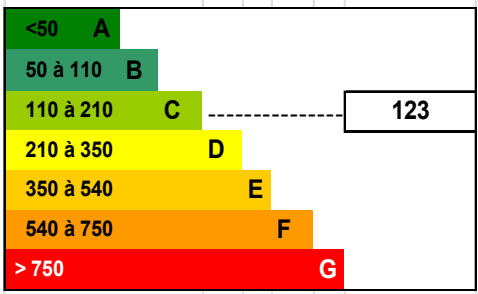
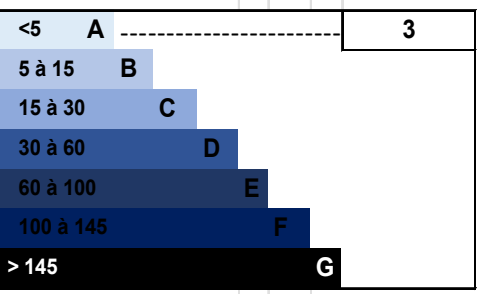
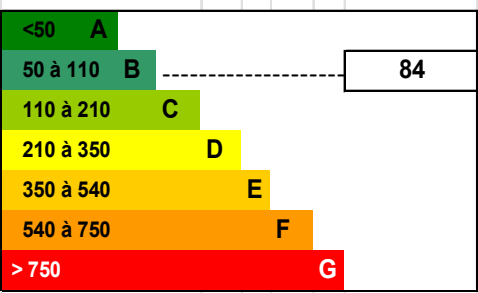
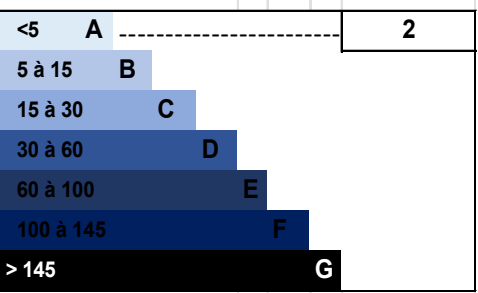
*Pour une température intérieure de 19°C et une température extérieure de -11°C, définie par la zone climatique du site.

❖ Impact sur la consommation d'énergie :

Répartition de la consommation d'énergie primaire actuelle (kWhep/m².an)		
Poste	Bâtiment existant	Bouquet de travaux n°02
Chauffage	67,5 KWh EP/m².an	34,5 KWh EP/m².an
Rafrachissement	13,1 KWh EP/m².an	13,7 KWh EP/m².an
Production ECS	0,0 KWh EP/m².an	0,0 KWh EP/m².an
Auxiliaires de chauffage	18,3 KWh EP/m².an	3,6 KWh EP/m².an
Auxiliaires de ventilation	0,6 KWh EP/m².an	12,2 KWh EP/m².an
Eclairage	23,5 KWh EP/m².an	20,1 KWh EP/m².an
Production interne par une énergie renouvelable	0,0 KWh EP/m².an	0,0 KWh EP/m².an
TOTAL	123,0 KWh EP/m².an	84,2 KWh EP/m².an

Note : Ces consommations d'énergie primaire sont estimées selon la méthode de calcul réglementaire. Les usages domestiques, process et de bureautique ne sont pas comptabilisés.

❖ **Etiquettes Energie-Climat :**

Variantes	Consommation d'énergie primaire (Cep) – surface S_{RT}	Gaz à Effet de Serre (GES) – surface S_{RT}
Ensemble du site Avant rénovation	<p><i>Bâtiment économe</i> <i>Bâtiment</i></p>  <p><i>Bâtiment énergivore</i> kWh/m².an</p>	<p><i>Faible émission de GES</i> <i>Bâtiment</i></p>  <p><i>Forte émission de GES</i> kgeqCO2/m².an</p>
Ensemble du site Bouquet rénovation n°02	<p><i>Bâtiment économe</i> <i>Bâtiment</i></p>  <p><i>Bâtiment énergivore</i> kWh/m².an</p>	<p><i>Faible émission de GES</i> <i>Bâtiment</i></p>  <p><i>Forte émission de GES</i> kgeqCO2/m².an</p>

Ces étiquettes ne sont pas des étiquettes de Diagnostic Energétique (DPE) et ont été estimées par une étude réglementaire RT-Existant, en prenant comme surface de référence la surface thermique (SRT).

❖ Approche financière :

Estimation des travaux	Coût €TTC
Gradation éclairage	3 744 €
Remplacement menuiseries extérieures 6.6.6	5 702 €
Remplacement des exutoires de fumée	2 880 €
Remplacement des radiateurs électriques	5 100 €
Ventilation double flux	63 234 €
Installation DRV air / air	47 034 €
TOTAL	127 694 €

Eligibilité aux aides financières	
CEE travaux par travaux	<i>Eligible</i>

*Cf Présentation des aides financières en Annexe

Estimation des subventions*	Montant €
CEE	5 213 €

- Le montant des Certificats d'Economies d'Energies (CEE en €) avec un prix de rachat de 6,50 €/MWh.

❖ Bilan économique :

		Etat initial	Bouquet de travaux n°02
Total Energie Finale	Consommations annuelles	25 071 kWh	17 149 kWh
	Economies d'énergie	-	7 921 kWh
		-	31,6%
GES (gaz à effet de serre)	Emissions annuelles	1 830 kgEqCO2	1 220 kgEqCO2
	Réduction des GES	-	610 kgEqCO2
		-	33%
Factures	Budget annuel	7 518 €TTC	5 458 €TTC
	dont entretien	1 000 €TTC	1 400 €TTC
	Economies	-	2 060 €TTC
		-	27%
Investissement	Investissement brut	-	127 694 €TTC
	Certificats d'Economie d'Energie	-	5 213 €
	Reste à charge	-	127 694 €TTC
Temps de retour sur investissement (+3%/an)		-	35 ans
Temps de retour sur investissement (+6%/an)		-	26 ans

Les objectifs décret tertiaire sont énoncés dans le rapport suivant : « Rapport d'audit énergétique - LER2025-026 – V3 - DGAC - Aéroport Lyon - Bloc technique - Rapport final »

Analyse – Bouquet de travaux n°02

Le deuxième bouquet de travaux propose des solutions d'améliorations énergétiques traitant plus sérieusement les systèmes énergétiques du bâtiment.

En effet, ce dernier permet de réduire les consommations d'énergie finale de **32%** et les émissions de gaz à effet de serre de **33%**. De plus, le budget énergétique annuel est diminué de **27%**.

Pour ce faire, il est prévu :

En plus du bouquet de travaux n°01 :

- Le remplacement des exutoires de fumée ;
- La mise en place d'une installation de type double flux ;
- La mise en place d'une installation pompe à chaleur DRV pour assurer les besoins de chauffage et refroidissement ;

Des aides Certificats d'Economies d'Energie sont mobilisables, néanmoins, ces dernières sont données à titre indicatif.

VI. Synthèse & Recommandations

6.1 Propositions d'améliorations

Bâtiment Algeco :

Travaux	B1	B2
Gradation éclairage	X	X
Remplacement menuiseries extérieures 6.6.6	X	X
Remplacement des exutoires de fumée		X
Remplacement des radiateurs électriques		X
Ventilation double flux		X
Installation DRV air / air		X

Bâtiment Modulaire :

Travaux	B1
Caisson de ventilation double flux	X
Remplacement des radiateurs électriques	X
Installation photovoltaïque	X

6.2 Aides financières potentielles

Bâtiment Algeco :

Votre projet sera éligible à certaines aides :

Tableau récapitulatif des aides financières		
	Bouquet n°01	Bouquet n°02
CEE travaux par travaux	<i>Eligible</i>	<i>Eligible</i>

Bâtiment Modulaire :

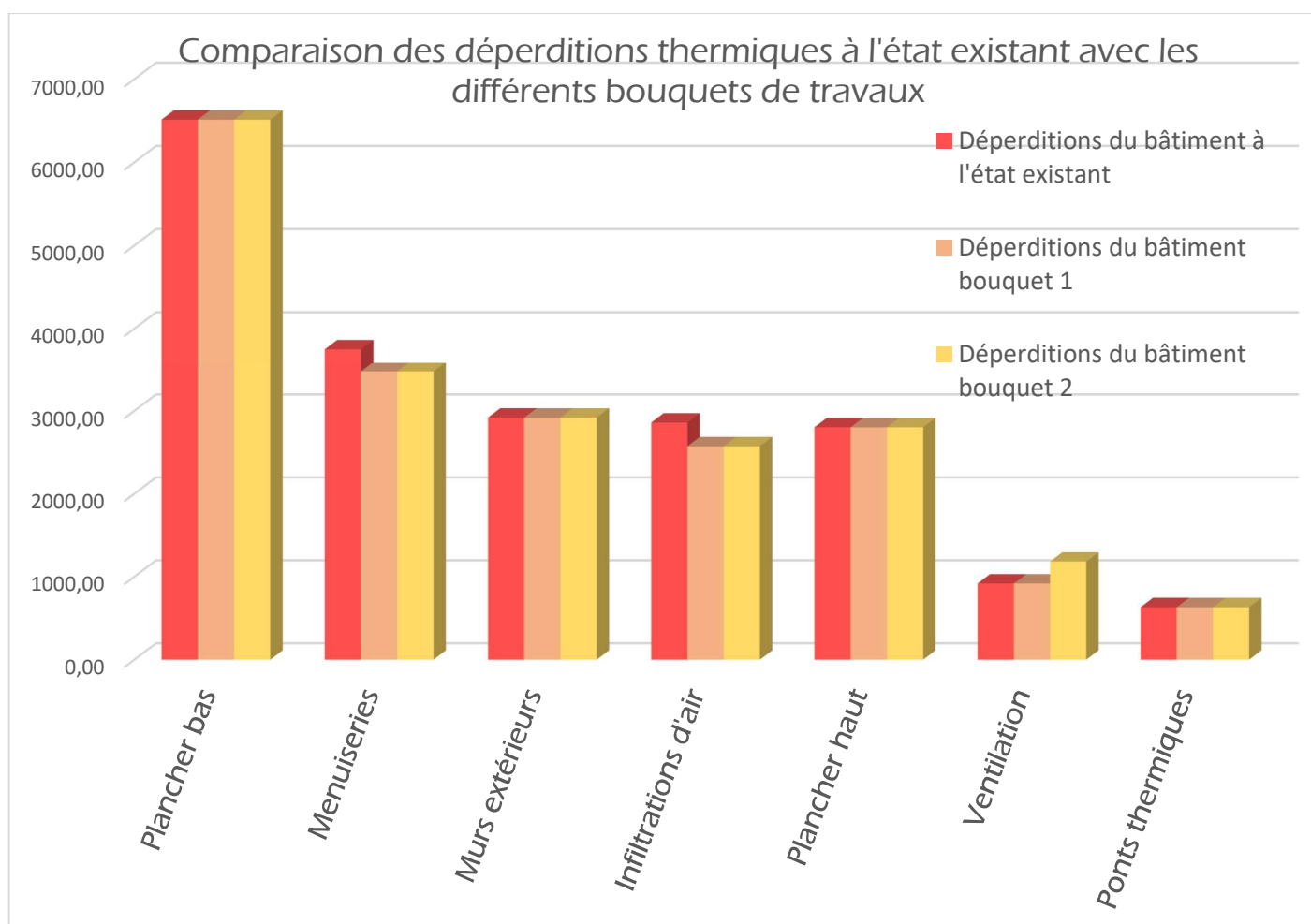
Votre projet sera éligible à certaines aides :

Tableau récapitulatif des aides financières	
	Bouquet n°01
CEE travaux par travaux	<i>Eligible</i>

6.3 Déperditions thermiques

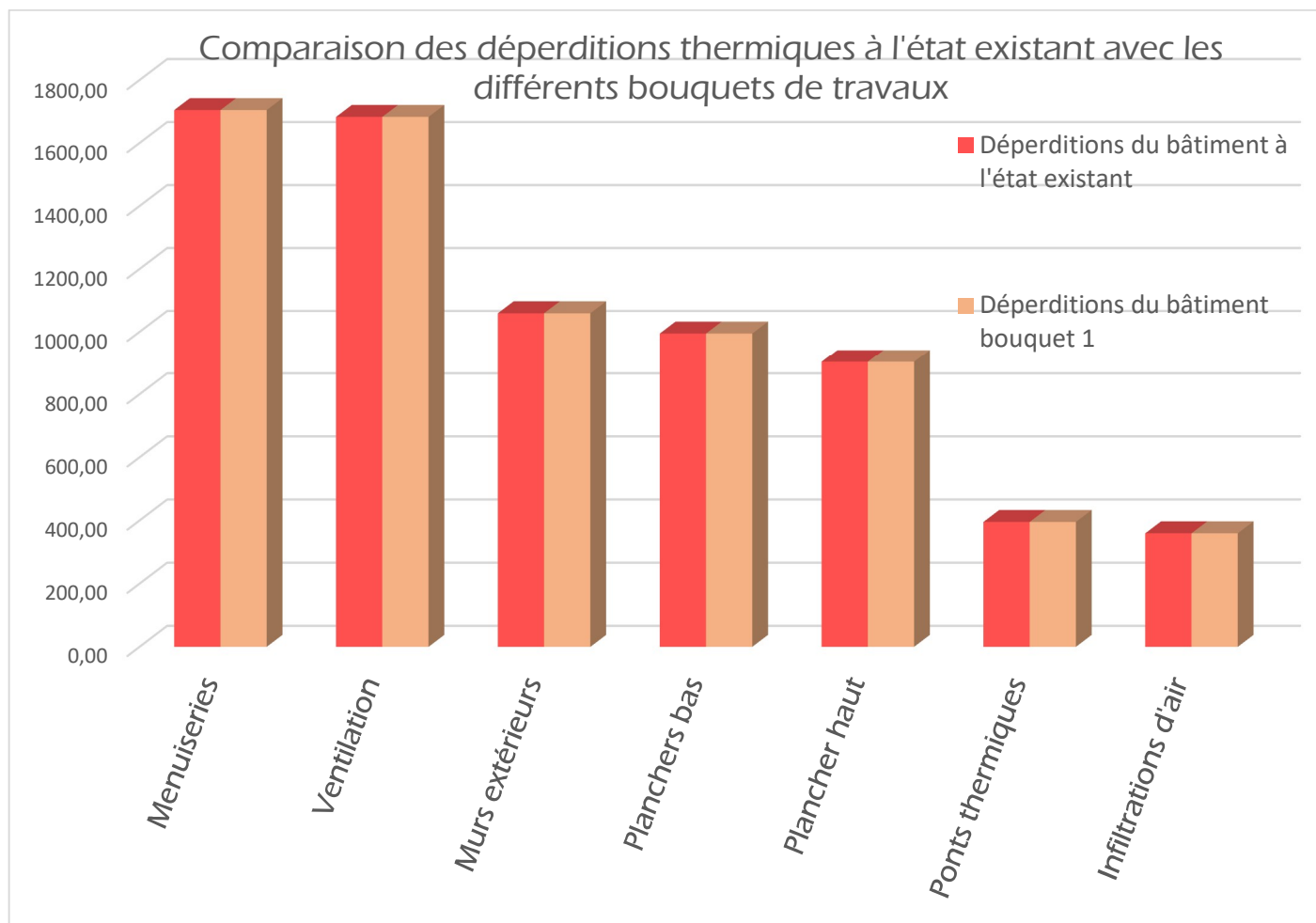
Bâtiment Algeco :

Description de la variante	Déperditions sans puissance de relance (kW)	Réduction des déperditions (sans relance)
Bâtiment existant	20,40 kW	-
Bouquet de travaux n°01	19,83 kW	3%
Bouquet de travaux n°02	20,10 kW	1%



Bâtiment Modulaire :

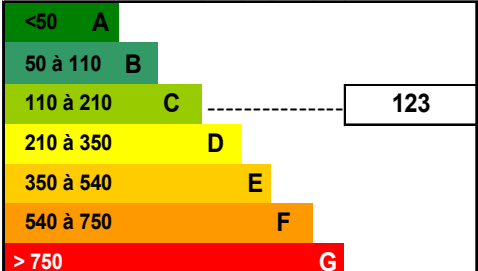
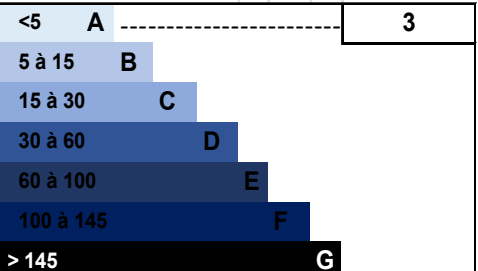
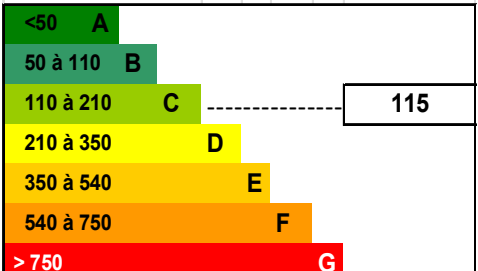
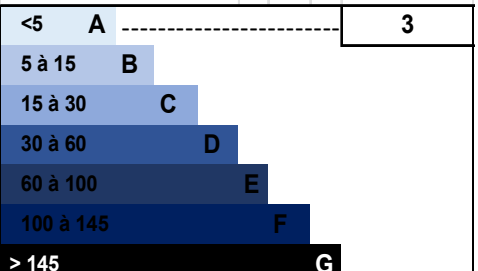
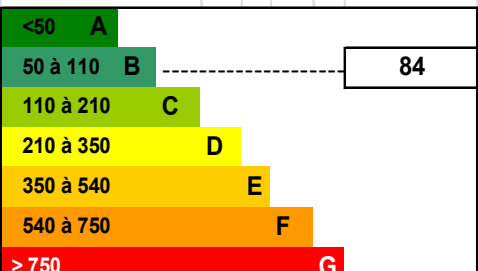
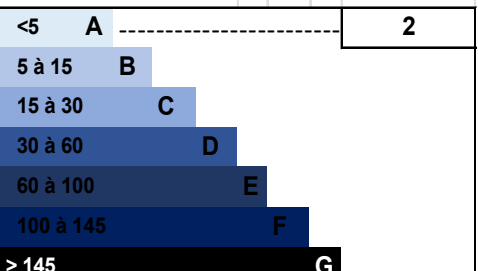
Description de la variante	Déperditions sans puissance de relance (kW)	Réduction des déperditions (sans relance)
Bâtiment existant	7,10 kW	-
Bouquet de travaux n°01	7,10 kW	0%



6.4 Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre selon méthode réglementaire

Bâtiment Algeco :

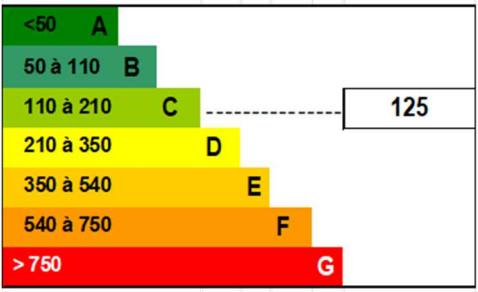
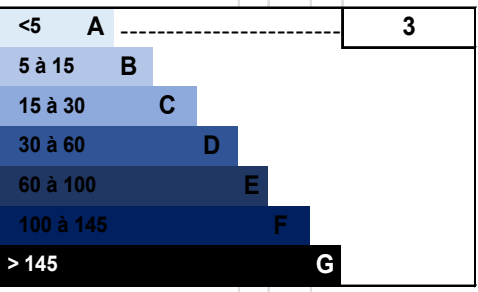
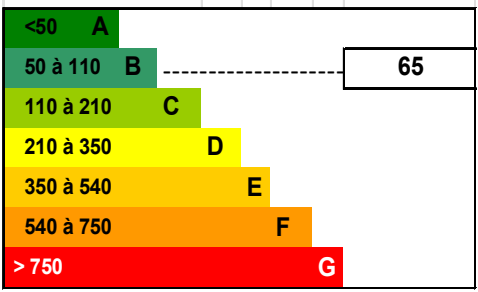
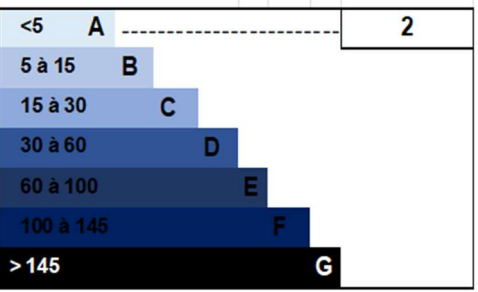
Selon le calcul réglementaire (méthode TH-CE-Ex), la consommation d'énergie pour le bâtiment après rénovation et pour chaque bouquet de rénovation est détaillée dans le tableau ci-dessous

Variantes	Consommation d'énergie primaire (Cep) – surface S_{RT}	Gaz à Effet de Serre (GES) – surface S_{RT}
Ensemble du site Avant rénovation	<p><i>Bâtiment économe</i></p>  <p><i>Bâtiment énergivore</i></p> <p>kWh/m².an</p>	<p><i>Faible émission de GES</i></p>  <p><i>Forte émission de GES</i></p> <p>kgeqCO2/m².an</p>
Ensemble du site Bouquet rénovation n°01	<p><i>Bâtiment économe</i></p>  <p><i>Bâtiment énergivore</i></p> <p>kWh/m².an</p>	<p><i>Faible émission de GES</i></p>  <p><i>Forte émission de GES</i></p> <p>kgeqCO2/m².an</p>
Ensemble du site Bouquet rénovation n°02	<p><i>Bâtiment économe</i></p>  <p><i>Bâtiment énergivore</i></p> <p>kWh/m².an</p>	<p><i>Faible émission de GES</i></p>  <p><i>Forte émission de GES</i></p> <p>kgeqCO2/m².an</p>

Ces étiquettes ne sont pas des étiquettes de Diagnostic Énergétique (DPE) et ont été estimées par un calcul thermique réglementaire (RT-Existant)

Bâtiment Modulaire :

Selon le calcul réglementaire (méthode TH-CE-Ex), la consommation d'énergie pour le bâtiment après rénovation et pour chaque bouquet de rénovation est détaillée dans le tableau ci-dessous

Variantes	Consommation d'énergie primaire (Cep) – surface S_{RT}	Gaz à Effet de Serre (GES) – surface S_{RT}
Ensemble du site Avant rénovation	<p><i>Bâtiment économe</i></p>  <p><i>Bâtiment énergivore</i></p> <p>kWh/m².an</p>	<p><i>Faible émission de GES</i></p>  <p><i>Forte émission de GES</i></p> <p>kgeqCO2/m².an</p>
Ensemble du site Bouquet rénovation n°01	<p><i>Bâtiment économe</i></p>  <p><i>Bâtiment énergivore</i></p> <p>kWh/m².an</p>	<p><i>Faible émission de GES</i></p>  <p><i>Forte émission de GES</i></p> <p>kgeqCO2/m².an</p>

Ces étiquettes ne sont pas des étiquettes de Diagnostic Energétique (DPE) et ont été estimées par un calcul thermique réglementaire (RT-Existant)

6.5 Tableau récapitulatif

Bâtiment Algeco :

		Etat initial	Bouquet de travaux n°01	Bouquet de travaux n°02
Déperditions	Déperditions	20,4 kW	19,8 kW	20,1 kW
	Gain		2,7%	1,4%
Total Energie Finale	Consommations annuelles	25 071 kWh	23 424 kWh	17 149 kWh
	Economies d'énergie	-	1 647 kWh	7 921 kWh
		-	6,6%	31,6%
Consommation d'énergie primaire (CEP) - 5 postes	CEP	123,02	114,94	84,15
	Réduction du CEP	-	6,57%	31,60%
GES (gaz à effet de serre) - 5 postes	Emissions annuelles	1 830 kgEqCO ₂	1 710 kgEqCO ₂	1 220 kgEqCO ₂
	Réduction des GES	-	120 kgEqCO ₂	610 kgEqCO ₂
		-	6,6%	33,3%
Etiquettes	Etiquette Energie	C	C	B
	Etiquette GES	A	A	A
	Etiquette energie-climat	C	C	B
Factures	Budget annuel	7 518 €TTC	7 090 €TTC	5 458 €TTC
	dont entretien	1 000 €TTC	1 000 €TTC	1 300 €TTC
	Economies	-	429 €TTC	2 060 €TTC
		-	5,7%	27,4%
Investissement	Investissement brut	-	14 546 €TTC	127 694 €TTC
	Certificats d'Economie d'Energie	-	117 €	5 213 €
	Reste à charge	-	14 546 €TTC	127 694 €TTC
Temps de retour sur investissement (+3%/an)		-	24 ans	35 ans
Temps de retour sur investissement (+6%/an)		-	19 ans	26 ans

Bâtiment Modulaire :

		Etat initial	Bouquet de travaux n°01
Déperditions	Déperditions	7,1 kW	7,1 kW
	Gain		0,0%
Total Energie Finale	Consommations annuelles	13 545 kWh	7 055 kWh
	Economies d'énergie	-	6 490 kWh
		-	47,9%
Consommation d'énergie primaire (CEP) - 5 postes	CEP	125,36	65,29
	Réduction du CEP	-	47,92%
GES (gaz à effet de serre) - 5 postes	Emissions annuelles	960 kgEqCO2	510 kgEqCO2
	Réduction des GES	-	450 kgEqCO2
		-	46,9%
Etiquettes	Etiquette Energie	C	B
	Etiquette GES	A	A
	Etiquette energie-climat	C	B
Factures	Budget annuel	4 922 €TTC	3 434 €TTC
	dont entretien	1 400 €TTC	1 600 €TTC
	Economies	-	1 488 €TTC
		-	30,2%
Investissement	Investissement brut	-	36 888 €TTC
	Certificats d'Economie d'Energie	-	962 €
	Reste à charge	-	36 888 €TTC
Temps de retour sur investissement (+3%/an)		-	19 ans
Temps de retour sur investissement (+6%/an)		-	16 ans

VII. Offre de suivi de l'amélioration énergétique

Notre bureau d'études, qualifié OPIQIBI pour les audits énergétiques et les études thermiques réglementaires, est également concepteur de bâtiments passifs, en neuf et en rénovation.

Pour vous accompagner dans la réalisation de votre projet, nous sommes en mesure de vous proposer tout ou partie d'une mission de maîtrise d'œuvre, basée sur les résultats de cet audit, et comprenant :

- conseils techniques ;
- campagnes de comptage des consommations énergétiques ;
- mise en place d'un système de suivi des consommations énergétiques ;
- dimensionnement des équipements techniques énergétiques (chauffage, ventilation, climatisation, production d'eau chaude sanitaire, ...) ;
- dimensionnement d'une installation de production d'électricité photovoltaïque ;
- ingénierie financière : établissement du plan de financement, recherche et montage de dossiers de subventions ;
- élaboration des plans fluides ;
- élaboration des cahiers des charges et des cadres de décomposition de prix pour les travaux à réaliser,
- analyse des réponses et aide à la sélection des entreprises ;
- suivi de chantier,
- réunions de chantier ;
- vérification de la bonne exécution des travaux,
- réception des travaux.

VIII. Glossaire

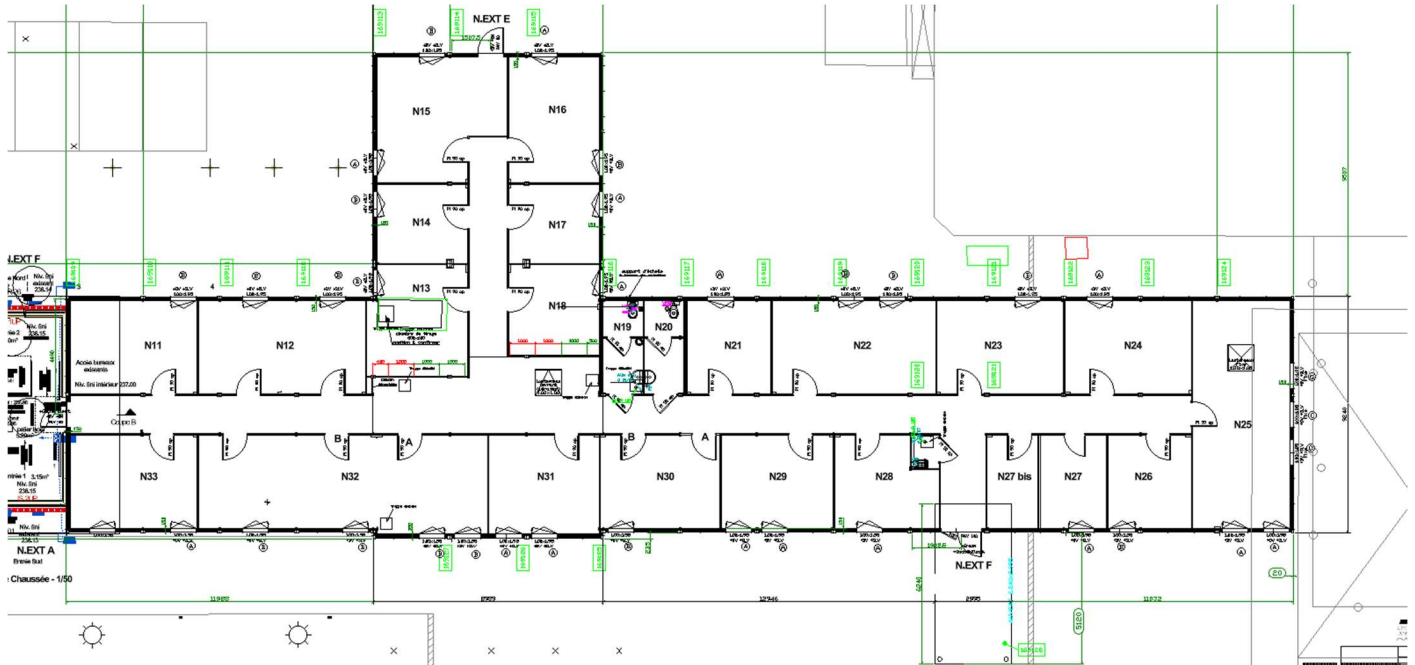
Termes	Définition
Cep	Consommation d'énergie primaire ($\text{kWh}_{\text{ep}}/\text{m}^2.\text{an}$)
CESI	Chauffe-Eau Solaire Individuel
Conductivité thermique (U)	Quantité de chaleur traversant chaque m^2 de paroi pour une différence d'un degré ($^{\circ}\text{C}$ ou K) : plus la conductivité thermique est grande, plus la paroi est déperditive. Elle se calcule en $\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$.
COP	Coefficient de performance d'une pompe à chaleur (PAC). C'est le rapport entre la quantité de chaleur cédée par le condenseur à l'énergie utilisée par le compresseur.
Déperditions thermiques	Représentent les pertes thermiques (Watt) et donc la puissance thermique nécessaire pour chauffer la pièce ou le bâtiment
ECS	Eau Chaude Sanitaire
ECS thermodynamique	Système de production d'eau chaude sanitaire couplé à un système thermodynamique (pompe à chaleur), permettant de récupérer les calories dans l'air d'une pièce chauffée ou non-chauffée ou de l'extérieur pour les transmettre à l'eau du ballon
Energie primaire (ep)	C'est l'énergie qui est extraite de l'environnement pour fournir l'énergie finale, celle qui est facturée aux utilisateurs (après transformation (p.ex. centrales) et acheminement).
EnR	Energie renouvelable
Enveloppe thermique	Ensemble des éléments séparant l'intérieur (chauffé et/ou refroidi) d'un bâtiment de l'extérieur et des volumes non chauffés (dalles, plafonds ou toitures, murs, fenêtres, portes).
Etiquette énergétique	Permet une classification énergétique sous forme de lettre (de A à G pour le logement individuel et collectif, et de A à I pour le tertiaire). Elle permet d'évaluer l'impact de la consommation énergétique qui est indiquée en kWep/m^2 par an. Elle est généralement accompagnée d'une étiquette « climat », qui évalue l'impact du bâtiment en termes de rejet de gaz à effet de serre en kg de CO_2/m^2 par an
Free-cooling	Technique qui consiste, en été, à refroidir un bâtiment par ventilation en utilisant l'énergie gratuite de l'air extérieur lorsque celui-ci présente une température inférieure à la température intérieure (généralement la nuit).
GES	Gaz à Effet de Serre (généralement exprimé en $\text{kg CO}_2/\text{m}^2/\text{an}$)
Inertie thermique	Capacité d'une paroi (ou d'un corps en général) d'absorber la chaleur et de la restituer lentement. Plus l'inertie d'un bâtiment est importante, meilleure est la protection contre la surchauffe d'été.
Infiltrométrie	Test d'étanchéité à l'air à l'aide de ventilateur(s) permettant de créer une surpression ou une dépression dans le bâtiment. Un ordinateur calculera le débit de fuite et la surface de fuite correspondante.
LNC	Local non chauffé
n_{50}	Taux de renouvellement d'air à 50 Pascals
NF EN 13829	Norme française et européenne décrivant les objectifs, les conditions et les méthodes de mesure de la perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments.
NF EN 12 831	Norme française et européenne décrivant les objectifs, les conditions et les méthodes de calcul des déperditions thermiques
Ouvrant / Dormant	L'ouvrant est la partie d'une menuiserie qui s'ouvre ; le dormant, celle qui reste fixe.

Termes	Définition
PAC	Pompe à chaleur. Machine thermodynamique permettant d'extraire de la chaleur d'une source froide (air extérieur, sol, nappe phréatique) et de la porter à une température supérieure pour chauffer un local ou un bâtiment. Elles sont généralement réversibles et permettent alors de refroidir le bâtiment.
Panneau photovoltaïque	Appareil permettant de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire.
Panneau solaire thermique	Appareil permettant de récupérer l'énergie solaire pour chauffer le bâtiment ou l'eau chaude sanitaire.
Perméabilité à l'air sous 4 Pascals	Voir Q4 Pa-surf
Q4 Pa-surf	Rapport du débit de fuite du bâtiment sous 4 Pascals à la surface de parois froides du bâtiment (murs et toiture). Exigence de la RT2012 pour les maisons individuelles : $Q4Pa-surf \leq 0.6 \text{ m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$. En RT2012/RE2020, sa mesure par un opérateur autorisé (voir site https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/) est obligatoire à la réception d'un bâtiment de logement.
Résistance thermique (R)	C'est la résistance qu'une épaisseur de matériau oppose au passage de la chaleur. Elle est égale à l'inverse de la conductivité thermique U ($R = 1/U$) et est exprimée en $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$.
SH	Surface habitable (en m^2)
SHONRT	Surface Hors Œuvre Nette au sens de la réglementation thermique (en m^2)
SSC	Système Solaire Combiné : fournit (une partie) des besoins thermiques pour l'eau chaude sanitaire <i>et le chauffage</i> du bâtiment à partir de l'énergie solaire (thermique).
Ubat	Coefficient moyen de déperdition par les parois et les baies du bâtiment ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)
Ud	Conductivité globale d'une porte ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)
Uf	Coefficient thermique du châssis de la fenêtre ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)
Ug	Coefficient thermique du vitrage ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)
Uw	Coefficient de transmission thermique de l'ensemble d'une fenêtre ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)
VMC DF	Ventilation Mécanique Contrôlée Double Flux
VMC SF	Ventilation Mécanique Contrôlée Simple Flux
Volume chauffé	C'est le volume intérieur chauffé d'une enveloppe bâtie hors sous-sol, combles non aménagés, garage, vérandas, annexes, etc...
W-Th-C	Puissance moyenne consommée pondérée, calculée en mesurant la consommation du ventilateur pendant 22h en petite vitesse et 2h en grande en vitesse pour un système de ventilation. Cette consommation journalière est alors ramenée à une consommation horaire.
λ (lambda)	Coefficient de conductivité thermique d'un matériau. Son unité est le $\text{W}/\text{m}.\text{K}$. Il indique le flux de chaleur qui traverse 1m^2 d'une épaisseur de 1m de matériau pour une différence de température de 1 degré. Plus le coefficient est faible, plus le matériau est isolant (un matériau est considéré comme isolant si $\lambda \leq 0.060 \text{ W}/\text{m}.\text{K}$).

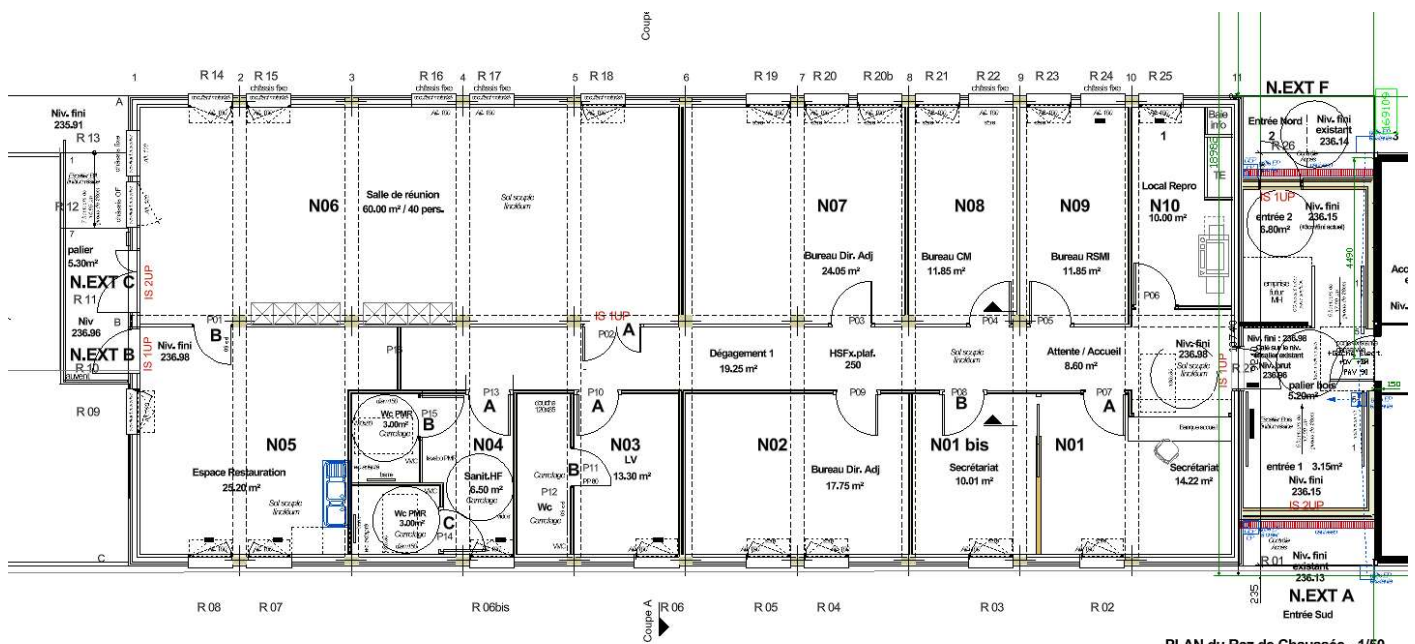
IX. Annexes

9.1 Plans de niveaux

Bâtiment Algeco :



Bâtiment modulaire :



9.2 Descriptifs des aides financières potentielles

9.2.1 Certificats d'économies d'énergie (CEE)

Les aides des entreprises qui vendent de l'énergie (électricité, gaz ou GPL, chaleur, froid, fioul domestique et carburants pour automobiles) interviennent dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie. Ce dispositif oblige ces fournisseurs d'énergie à promouvoir des actions efficaces d'économies d'énergie auprès des consommateurs, y compris auprès des ménages

En situation de précarité énergétique pour lesquels des dispositions particulières sont prévues. S'ils ne respectent pas leurs obligations, l'État impose leurs fournisseurs d'énergie de fortes pénalités financière. Le prix du MWh Cumac évolue très souvent, il est donc important de revoir le calcul du montant des CEE régulièrement. Prix moyen du MWhcumac pour cette étude : 6.50 €/MWhcumac