



Université de Caen Normandie

60 RUE MAX POL FOUCHET,

50130 CHERBOURG-EN-COTENTIN

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE
CAMPUS DE CHERBOURG

V2 - Date de diffusion 30/10/2023

ALTERea
INGÉNIERIE

Audit Energétique « Bâti »

MAITRISE D'OUVRAGE :



Direction du Patrimoine et de la Logistique
Esplanade de la Paix
14000 Caen

M. Antoine MALOT
Responsable Pole Énergie - Manager Énergie
02 31 56 59 29
antoine.malot@unicaen.fr

ASSISTANT MOA :



ALTEREA AGENCE OUEST
26 bd Vincent Gâche – CS 17502
44275 NANTES CEDEX 2
T 02 40 74 24 81

Mathieu Planté
Chef de projets
02 40 74 24 81
mplante@alterea.fr

ALTEREA certifié par l'OPQIBI
Certificat de qualification N° 13 06 25 86

SUIVI DU DOCUMENT :

| Indice | Date | Modifications | Rédaction | Vérification | Validation |
|--------|------------|------------------|-----------|--------------|------------|
| 1 | 10/10/2023 | Version initiale | ABAR | BBAC | MPLA |
| 2 | 30/10/2023 | Reprises client | ABAR | BBAC | MPLA |
| | | | | | |

contact@alterea.fr – www.alterea.fr

Agence Ouest (siège)
26 bd Vincent Gâche CS 17502
44275 Nantes Cedex 2
T 02 40 74 24 81
f 02 51 84 16 33

Agence Ile-de-France
23 avenue d'Italie
75013 Paris
T 01 46 28 31 89
f 02 51 84 16 33

Agence Nord
21 rue Pierre Mauroy
59000 Lille
T 03 59 54 21 08
f 02 51 84 16 33

Agence Sud-Ouest
2 rue du Jardin de l'Ars
33800 Bordeaux
T 05 56 64 42 51
f 02 51 84 16 33

Agence Sud – Est
19 rue de la Villette
69003 Lyon
T 04 87 24 90 75
f 02 51 84 16 33

Agence Est
20 place des Halles
67000 Strasbourg
T 03 88 52 26 01
f 02 51 84 16 33

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| SOMMAIRE | 3 |
| SYNTHESE DE L'AUDIT ENERGETIQUE | 5 |
| 1 INTRODUCTION | 8 |
| 1.1 OBJECTIF DE LA MISSION | 8 |
| 1.2 METHODOLOGIE EMPLOYEE | 8 |
| 1.3 LISTE DES DOCUMENTS TRANSMIS PAR LA MOA | 9 |
| 1.4 ANOMALIES EVENTUELLES A FAIRE REMONTER | 9 |
| 1.5 POINTS BLOQUANTS | 9 |
| 1.6 ESTIMATIONS DES QUANTITES POUR LES DIFFERENTES PRESCRIPTIONS | 9 |
| 2 DESCRIPTION DU SITE | 10 |
| 2.1 INFORMATIONS GENERALES | 10 |
| 2.1.1 PERIMETRE DU DIAGNOSTIC | 10 |
| 2.1.2 COORDONNEES DES INTERLOCUTEURS | 10 |
| 2.1.3 VISITE | 10 |
| 2.1.4 TRAVAUX ANTERIEURS OU PROGRAMMES | 10 |
| 2.1.5 VUE AERIENNE DU SITE | 11 |
| 2.2 DONNEES D'USAGE DU SITE | 12 |
| 2.2.1 BATIMENT | 12 |
| 2.2.2 OCCUPATION DU BATIMENT | 12 |
| 2.3 ANALYSE DU CONFORT DES USAGERS | 13 |
| 3 ANALYSE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DU SITE | 14 |
| 3.1 USAGES ENERGETIQUES DU SITE | 14 |
| 3.2 DESCRIPTION DE L'APPROVISIONNEMENT EN ELECTRICITE | 14 |
| 3.2.1 ARCHITECTURE DE COMPTAGE | 14 |
| 3.1 DESCRIPTION DE L'APPROVISIONNEMENT EN RESEAU DE CHALEUR LOCAL | 14 |
| 3.1.1 ARCHITECTURE DE COMPTAGE | 14 |
| 3.2 HISTORIQUE DES CONSOMMATIONS | 15 |
| 3.2.1 CONSOMMATIONS TOTALES | 15 |
| 4 DESCRIPTION DU BATIMENT | 16 |
| 4.1 DESCRIPTION ET PERFORMANCE DE L'ENVELOPPE | 16 |
| 4.2 DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE VENTILATION | 18 |
| 5 DESCRIPTION DES SYSTEMES THERMIQUES | 19 |
| 5.1 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE CHAUFFAGE | 19 |
| 5.1.1 DESCRIPTION DE LA PRODUCTION DE CHAUFFAGE | 19 |
| 5.1.2 DESCRIPTION DES SYSTEMES D'EMISSION DE CHAUFFAGE | 20 |
| 5.2 DESCRIPTION DE LA PRODUCTION DE REFROIDISSEMENT | 21 |
| 5.3 DESCRIPTION DE LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE | 21 |
| 6 DESCRIPTION DES SYSTEMES ELECTRIQUES | 22 |
| 6.1 DESCRIPTION DE L'ECLAIRAGE | 22 |
| 6.1.1 EQUIPEMENTS | 22 |
| 6.2 DESCRIPTION DES AUTRES USAGES | 22 |

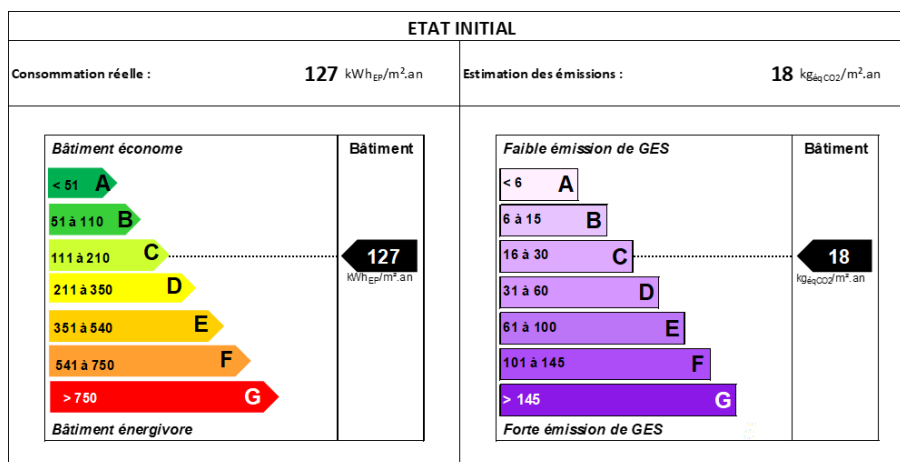
| | | |
|-----------|---|-----------|
| 7 | ETUDE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES | 23 |
| 7.1 | ANALYSE DES DEPERDITIONS THERMIQUES DU SITE | 23 |
| 7.2 | ANALYSE DES CONSOMMATIONS SIMULEES | 25 |
| 7.3 | COMPARAISON DES CONSOMMATIONS REELLES ET SIMULEES | 26 |
| 7.3.1 | CONSOMMATIONS DE CHAUFFAGE | 26 |
| 7.3.2 | CONSOMMATIONS D'ELECTRICITE | 26 |
| 8 | GISEMENTS DES POTENTIELS D'ECONOMIE D'ENERGIE | 27 |
| 8.1 | ANALYSE CRITIQUE ET PROPOSITION D' ACTIONS | 27 |
| 8.2 | TABLEAU DE SYNTHESE | 28 |
| 8.1 | DETAILS DES INTERVENTIONS | 29 |
| 9 | SCENARIOS DE PERFORMANCE ENERGETIQUE | 31 |
| 9.1 | PRESENTATION DES SCENARIOS | 31 |
| 9.2 | SCENARIO 1 | 31 |
| 9.2.1 | SYNTHESE | 31 |
| 9.2.1 | RESULTATS ENERGETIQUES | 31 |
| 9.2.2 | EVOLUTION DES DEPERDITIONS | 32 |
| 9.2.3 | EVALUATION DES RESULTATS | 33 |
| 9.3 | SCENARIO 2 | 34 |
| 9.3.1 | SYNTHESE | 34 |
| 9.3.1 | RESULTATS ENERGETIQUES | 34 |
| 9.3.2 | EVOLUTION DES DEPERDITIONS | 35 |
| 9.3.3 | EVALUATION DES RESULTATS | 36 |
| 9.4 | SYNTHESE DES RESULTATS | 37 |
| 9.5 | JUSTIFICATION DES SCENARIOS | 37 |
| 10 | ANNEXES | 38 |
| 10.1 | GRANDEURS UTILES AU DIAGNOSTIC | 38 |
| 10.1.1 | CONVERSION DES UNITES ENERGETIQUES | 38 |
| 10.1.2 | ÉMISSIONS DE CO ₂ | 38 |
| 10.1.3 | LEXIQUE DE QUELQUES ABREVIATIONS | 39 |
| 10.1.4 | FACTEUR DE CONVERSION ENERGIE FINALE / ENERGIE PRIMAIRE | 39 |
| 10.2 | REGLEMENTATION THERMIQUE | 40 |

SYNTHESE DE L'AUDIT ENERGETIQUE



| | |
|----------------------------------|-----------------------|
| Année de construction | 2009 |
| Type | Bibliothèque, bureaux |
| Surface utile brute ¹ | 1 357 m ² |
| Surface SRT ¹ | 1 628 m ² |
| Nombre de niveaux | 1 niveau |

Performance
énergétique
simulée²



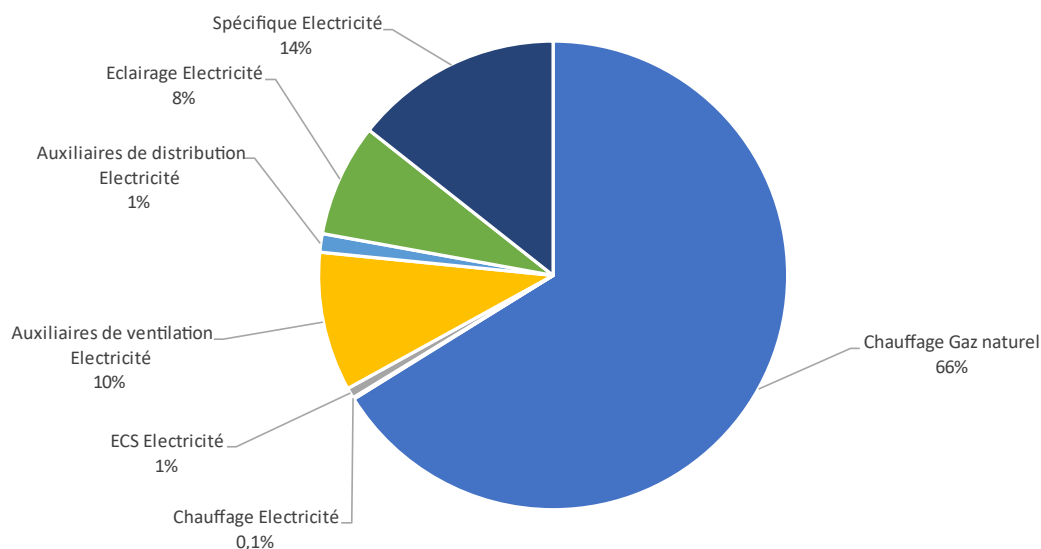
Coût
énergétique
simulé au réel

16 340 €^{TTC}/an

| | |
|----------------------------------|----------------------------|
| Dont chauffage (gaz) | 7 219 € ^{TTC} /an |
| Dont autres usages (électricité) | 9 121 € ^{TTC} /an |

Bilan énergétique (issu de la simulation thermique dynamique)

Répartition des consommations par poste (kWh EF/PCI)



¹ Fournies par la MOA

² Les résultats sont issus de la simulation, réalisée à partir des observations de la visite et des documents fournis. Ces valeurs ne sont pas des étiquettes DPE.

SCENARIOS

Objectif des scénarios proposés :

Les scénarios de travaux sont basés sur une approche technique mêlant besoins énergétiques et fonctionnels. L'audit étant axé uniquement sur l'aspect bâti, les interventions étudiées ne concernent donc que les parois du bâtiment.

Deux scénarios sont présentés et compilent de manière progressive les interventions étudiées. :

- Scénario 1 : « **Travaux légers** » ce scénario intègre les travaux légers et urgents ou ayant des temps de retour sur investissement courts ;
- Scénario 2 : « **Rénovation d'ampleur** » ce scénario consiste à rénover de manière globale l'enveloppe du bâtiment.

APPROCHE ECONOMIQUE

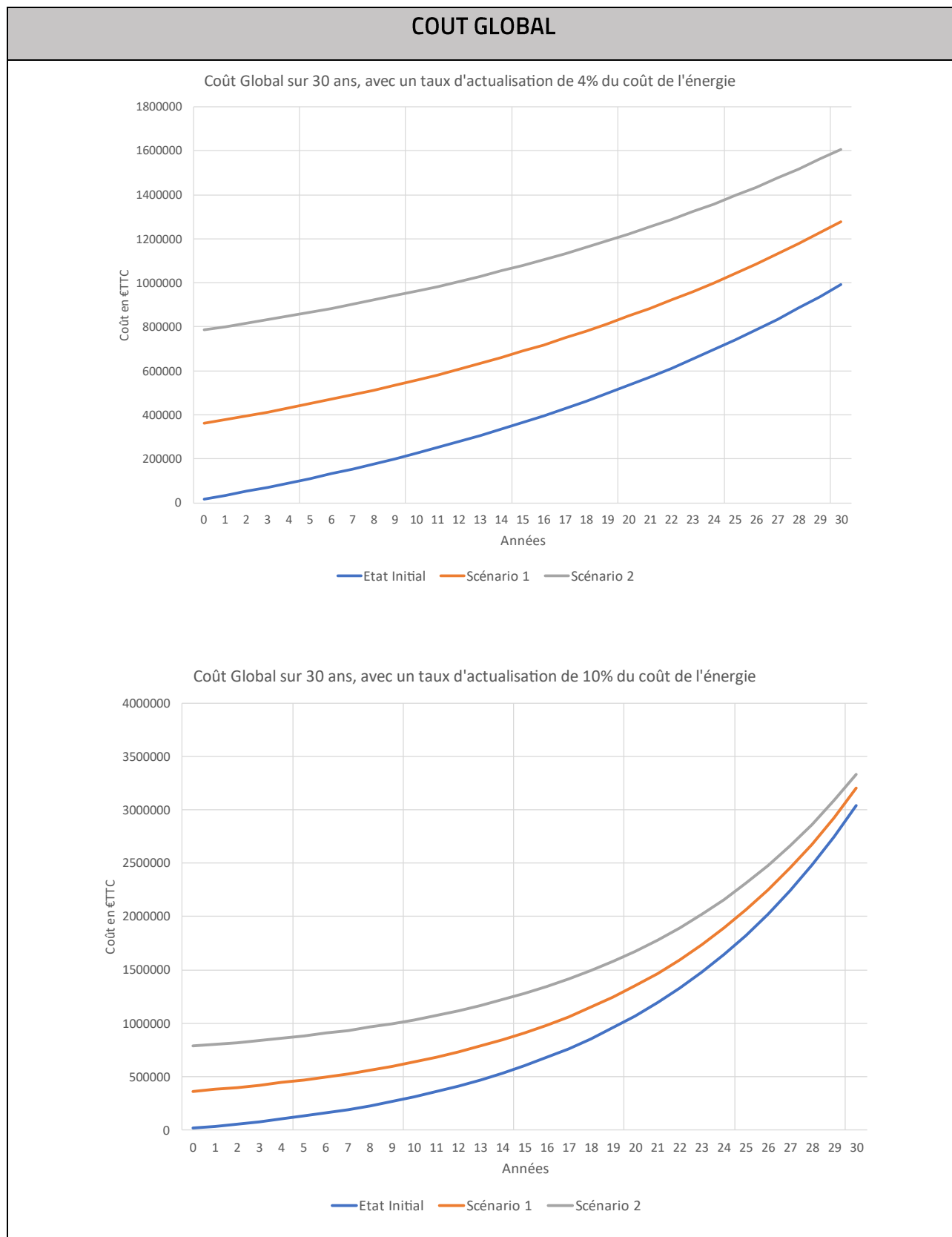
| Scénario | Economie annuelle d'énergie | | | | | Coût €HT | TRI |
|------------|-----------------------------|-------|-----|-----|------------------|-------------|-----|
| | kWh EP/PCI | €TTC | %EP | %EF | %CO ₂ | | |
| Scénario 1 | 12 305 | 1 003 | 6% | 9% | 12% | 346 000 | 69 |
| Scénario 2 | 32 079 | 2 619 | 16% | 24% | 30% | 772 000 | 65 |

APPROCHE ENERGETIQUE

| Scénario | Consommation énergétique simulée | | Emissions de CO ₂ | | Optimisation | Traitement du bâti | |
|------------|-------------------------------------|---|------------------------------|---|--------------|--------------------|-------|
| | kWh EP/PCI/m².SRT | | kg CO2/M²SRT | | | léger | lourd |
| | | | | | | | |
| Scénario 1 | 119 | C | 13 | B | ✓ | ✓ | ✓ |
| Scénario 2 | 107 | B | 11 | B | ✓ | ✓ | ✓ |

La notion de coût global permet d'intégrer l'ensemble des coûts de fonctionnement du site sur les 30 prochaines années. Cela englobe les coûts liés à la facture énergétique du site, mais également les coûts liés à la maintenance et au renouvellement des équipements (coût P2, P3). L'ensemble est simulé avec un taux d'actualisation de 4% puis de 10%. Les investissements initiaux des différents scénarios sont également intégrés.

Le graphique ci-dessous présente ainsi le calcul en coût global réalisé sur le site étudié.



1 INTRODUCTION

1.1 Objectif de la mission

L'audit énergétique consiste à réaliser un état des lieux du site (sur le bâti et les systèmes) dans le but d'identifier les gisements d'économies d'énergies possibles et de proposer des solutions d'amélioration efficaces et rentables à courts, moyens et longs termes (investissements, gains énergétiques, confort, etc.). L'audit justifie ces propositions alternatives en chiffrant l'investissement nécessaire et en présentant les gains énergétiques qu'il est possible de prétendre. Par conséquent, il est possible de présenter les marges de progrès du site avec une analyse multicritère (TRI, investissements, gains, etc.).

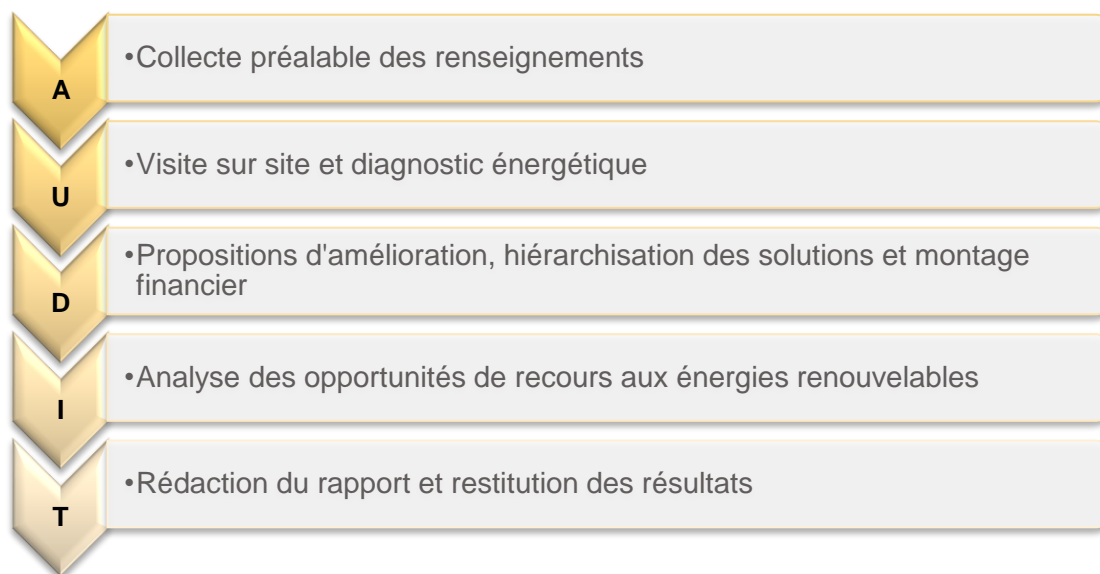
Les principaux objectifs auxquels devra répondre la mission d'audit énergétique sont les suivants :

- Réaliser un état des lieux énergétique du bâtiment,
- Une diminution des consommations à travers la mise en place de systèmes énergétiques performants.
- Une diminution des émissions de gaz à effet de serre.
- Une étude de la possibilité de recours à des matériaux biosourcés pour les travaux de rénovation énergétique.

1.2 Méthodologie employée

Processus de l'audit énergétique

Le diagnostic peut se décomposer en cinq étapes distinctes :



1.3 Liste des documents transmis par la MOA

| DOCUMENTS | | FORMAT |
|----------------------------|---|--------|
| Plans et surfaces | > Plans de niveaux | PDF |
| Consommations énergétiques | > Consommations de gaz naturel et d'électricité de 2019 | Excel |

1.4 Anomalies éventuelles à faire remonter

Rien à signaler.

1.5 Points bloquants

Rien à signaler.

1.6 Estimations des quantités pour les différentes prescriptions

La date de valeur des estimations correspond à la date de notre visite sur site, soit le 07/09/2023.

A noter également que les coûts des préconisations présentés sont :

- Hors base de vie de chantier
- Hors amiante, plomb, structure et autres diagnostics complémentaires
- Hors Maitrise d'Œuvre
- Hors SPS
- Hors Bureau de Contrôle
- Hors TVA
- Etc.

Des DAAT (Diagnostics amiante avant travaux) devront être réalisés en amont de la réalisation des travaux pour affiner le budget en fonction du bouquet de travaux sélectionné.

Les quantités prescrites dans les interventions correspondent à des estimations réalisées à la suite de notre visite sur site.

2 DESCRIPTION DU SITE

2.1 Informations générales

2.1.1 Périmètre du diagnostic

| |
|---|
| <p>Bibliothèque universitaire Université de Caen, Campus de Cherbourg, 60 Rue Max Pol Fouchet 50130 Cherbourg-en-Cotentin</p> |
|---|

2.1.2 Coordonnées des interlocuteurs

| | Chargé d'exploitation |
|-----------|--|
| Nom | Antoine MALOT |
| Téléphone | 02 31 56 59 29 |
| E-mail | antoine.malot@unicaen.fr |

2.1.3 Visite

La visite du bâtiment a été réalisée dans les conditions suivantes :

| Situation | |
|--------------------------|---|
| Date de la visite : | 7 septembre 2023 |
| Diagnostiqueur : | Alexis BARBOTIN abarbotin@alterea.fr |
| Accompagnateur : | M. LEQUILBEC |
| Conditions climatiques : | Ensoleillé – 28°C |

2.1.4 Travaux antérieurs ou programmés

Aucun travaux antérieur n'a été réalisé depuis la construction.

2.1.5 Vue aérienne du site



| Désignation | |
|---|---|
|  | Campus Cherbourg – Bibliothèque Universitaire |

2.2 Données d'usage du site

2.2.1 Bâtiment

| Bâtiment | Année de Construction | Niveau | SUB ³ | Surface SRT | Usage |
|---|-----------------------|----------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Campus Cherbourg – Bibliothèque Universitaire | 2009 | 1 niveau | 1 357 m ² | 1 628 m ² | Bibliothèque, bureaux |



Commentaire :

- Le bâtiment a été construit en 2009.
- Le site compte 1 bâtiment répartis sur 1 niveau comprenant une bibliothèque universitaire ainsi que des bureaux d'administration.
- Aucun travaux sur le bâti n'a été réalisé depuis la construction.

2.2.2 Occupation du bâtiment











| | Lundi | Mardi | Mercredi | Jeudi | Vendredi | Samedi | Dimanche |
|-----------|-------|-------|----------|-------|----------|--------|----------|
| Ouverture | 8h30 | 8h30 | 8h30 | 8h30 | 8h30 | - | - |
| Fermeture | 18h00 | 18h00 | 18h00 | 18h00 | 18h00 | - | - |

L'occupation du site est très variable, le site comprend en moyenne entre 25 et 30 personnes. La bibliothèque est fermée 2 semaines en décembre, une semaine en février, 1 semaine en avril et 1 mois l'été.

³ Fournies par la MOA

2.3 Analyse du confort des usagers

Les usagers rencontrés lors de la visite ont été questionnés et il ressort les analyses suivantes sur le confort :

| Confort | Ressenti des occupants / Note | Commentaires |
|------------------------------------|--|---|
| Hivernal |  | Le confort hivernal est très mauvais sur le site. Le personnel ainsi que les étudiants se plaignent constamment de sensation de froid dans tout le bâtiment en été comme en hiver. L'orientation des surfaces vitrées du bâtiment n'est pas favorable (nord et est), ce qui renforce encore cette problématique. Une sensation d'humidité est également ressentie dans le bâtiment. Les usagers sont amenés à utiliser des radiateurs d'appoint électriques. |
| Estival |  | Aucune problématique de surchauffe n'a été remontée. |
| Lumineux |  | Le confort lumineux est bon. |
| Acoustique |  | Aucune source d'inconfort n'a été remontée par les occupants. |
| Renouvellement d'air (ventilation) |  | La ventilation est mécanique dans tout le bâtiment. Néanmoins, une sensation d'humidité est présente ponctuellement dans le bâtiment. |
| Étanchéité à l'air |  | Le niveau de l'étanchéité des ouvrants est bon. |
| Légende : |     | <p>Confort faible</p> <p>Confort moyen</p> <p>Confort bon</p> <p>Confort très bon</p> |

3 ANALYSE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DU SITE

3.1 Usages énergétiques du site

Les usages énergétiques du site sont les suivants :

| | Electricité | Gaz naturel |
|----------------------------|-------------|-------------|
| Chauffage | | X |
| Eclairage | X | |
| Bureautique | X | |
| Auxiliaires de chauffage | X | |
| Auxiliaires de ventilation | X | |
| Autres usages élec. | X | |

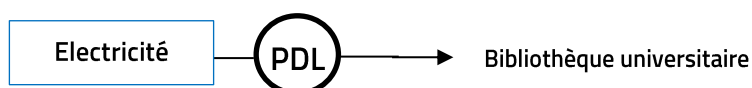
3.2 Description de l'approvisionnement en électricité

3.2.1 Architecture de comptage

Le site possède son propre compteur électrique.

| Zone | Energie | Type de compteur | Matricule compteur | PDL | Fournisseur | Puissance souscrite |
|---|-------------|------------------|--------------------|-----|-------------|---------------------|
| Campus Cherbourg – Bibliothèque Universitaire | Électricité | Electronique | - | - | - | - |

Le schéma ci-dessous présente le système de comptage actuel :



PDL : Point de livraison

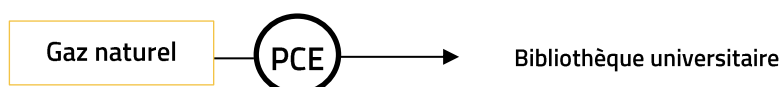
3.1 Description de l'approvisionnement en réseau de chaleur local

3.1.1 Architecture de comptage

Le site possède son propre compteur de gaz.

| Zone | Energie | Type de compteur | Matricule compteur | PDL | Fournisseur | Puissance souscrite |
|---|-------------|------------------|--------------------|-----|-------------|---------------------|
| Campus Cherbourg – Bibliothèque Universitaire | Gaz naturel | Compteur gaz | - | - | - | - |

Le schéma ci-dessous présente le système de comptage actuel :



PCE : Point d'estimation de comptage

3.2 Historique des consommations

3.2.1 Consommations totales

Les consommations présentées correspondent aux consommations réelles de gaz et d'électricité.

| Consommations énergétiques réelles | | 2019 | Moyenne corrigée DJU |
|------------------------------------|--|--------|----------------------|
| Gaz naturel | Consommations (kWhEF) | 89 550 | 91 993 |
| | Emissions de CO ₂ (kg _{éq-CO2}) | 20 955 | 21 526 |
| | Dépenses (€ ^{TTC}) | 7 254 | 7 451 |
| | Coût unitaire (€TTC/kWh) | 0,08 | |
| Electricité | Consommations (kWhEF) | 47 246 | 47 246 |
| | Emissions de CO ₂ (kg _{éq-CO2}) | 3 969 | 3 969 |
| | Dépenses (€ ^{TTC}) | 9 449 | 9 449 |
| | Coût unitaire (€TTC/kWh) | 0,20 | |

| Année | 2019 | DJU Décennale |
|---|-------|---------------|
| Degrés Jours Unifiés (DJU) CHERBOURG - MAUPERTUS | 2 392 | 2 457 |


| Commentaires : |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> > Les consommations de gaz naturel et d'électricité représentées ci-dessus proviennent directement des compteurs généraux de la bibliothèque universitaire. Aucun sous comptage n'est réalisé par bâtiment. > Dans cette étude, la consommation prise en compte pour représenter l'état initial sera la consommation de l'année 2019. |

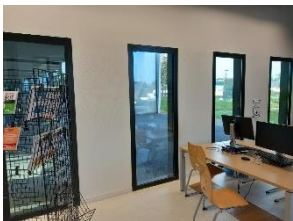
4 DESCRIPTION DU BATIMENT


4.1 Description et performance de l'enveloppe

Les surfaces présentées et prises en compte dans les calculs sont les surfaces thermiques. Ces surfaces correspondent aux surfaces déperditives des locaux chauffés donnant sur l'extérieur ou sur des locaux non chauffés. Les surfaces des murs sont calculées au nu intérieur et ne prennent pas en compte les menuiseries. Les performances thermiques des parois et la vétusté des éléments constitutifs sont évaluées selon l'échelle de notation suivante :

| Performance | 0 | Très peu performant | 1 | Peu performant | 2 | Performant | 3 | Très performant |
|-------------|---|---------------------|---|----------------|---|------------|---|-----------------|
| Vétusté | 0 | A remplacer | 1 | Etat d'usage | 2 | Bon état | 3 | Très bon état |

| Paroi opaque | | | | | |
|---|--------------------------------|---------------------------------|--------|------|---|
| Mur sur local non chauffé | | Surface | U | P | V |
| | Type : | Béton plein | 776 m² | 0,31 | 2 |
| | Epaisseur : | 20 cm | | | |
| | Année : | 2007 | | | |
| | Nature du local non chauffé : | Chaufferie et local ventilation | | | |
| | Mise en œuvre de l'isolation : | Isolation par l'intérieur | | | |
| | Isolant : | Polystyrène expansé | | | |
| | Epaisseur d'isolation : | 8 cm | | | |
| | Garde-fou RTex 2023 (R) : | 2.5 | | | |
| ITI | | Surface | Ueq | P | V |
|  | Type : | Béton plein | 36 m² | 0,46 | 2 |
| | Epaisseur : | 20 cm | | | |
| | Année : | 2007 | | | |
| | Mise en œuvre de l'isolation : | Isolation par l'intérieur | | | |
| | Isolant : | Polystyrène expansé | | | |
| | Epaisseur d'isolation : | 8 cm | | | |
| | Garde-fou RTex 2023 (R) : | 3.2 | | | |

| Menuiserie | | | | | |
|---|----------------------------|---|--------------------|------|---|
| Fenêtre sur extérieur | | Surface | Uw | P | V |
|  | Matériau et vitrage : | Aluminium / Double vitrage lame d'air 16 mm | 261 m ² | 2.30 | 2 |
| | Etanchéité : | Bonne | | | |
| | Remplissage : | Argon | | | |
| | Année : | 2007 | | | |
| | Occultation : | Stores intérieurs | | | |
| | Matériau occultation : | Textile | | | |
| | Position : | Nu intérieur | | | |
| | Garde-fou RTex 2023 (Uw) : | 1.9 | | | |



| Plancher haut | | | | | |
|--|--------------------------------|----------------------|----------------------|------|---|
| Toiture-terrasse | | Surface | U | P | V |
|  | Type : | Charpente métallique | 1 229 m ² | 0,20 | 2 |
| | Épaisseur : | 20 cm | | | |
| | Mise en œuvre de l'isolation : | Isolation par-dessus | | | |
| | Isolant : | Polystyrène expansé | | | |
| | Épaisseur d'isolation : | 10 cm | | | |
| | Etanchéité : | Végétalisée | | | |
| | Année : | 2007 | | | |
| | Garde-fou RTex 2023 (R) : | 4.5 | | | |

| Plancher bas | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------|------|---|
| Plancher bas sur terre-plein | | Surface | U | P | V |
| | Type : | Dalle béton | 1 232 m ² | 0,08 | 3 |
| | Épaisseur : | 20 cm | | | |
| | Mise en œuvre de l'isolation : | Isolation en sous face | | | |
| | Isolant : | Polystyrène expansé | | | |
| | Épaisseur d'isolation : | 6 cm | | | |
| | Année : | 2007 | | | |

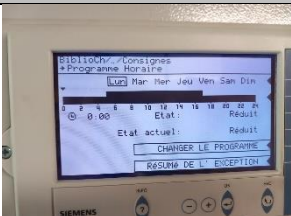
| Commentaires : |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> > La performance énergétique du bâtiment est bonne dans l'ensemble. Aucun travaux n'a été réalisé sur le bâti depuis la construction. > Les épaisseurs de mur et les épaisseurs d'isolation ont été mesurées sur site. > Les épaisseurs d'isolation des planchers hauts et bas n'ont pu être mesurées sur site, une hypothèse a été prise selon l'année de construction du bâtiment. > Les murs, les planchers hauts et les planchers bas sont isolés et possèdent une bonne performance. > Les menuiseries sont d'origine et leurs performances thermiques sont bonnes. |

4.2 Description des installations de ventilation

4.2.1.1 Description des équipements de ventilation

| Equipement de ventilation | | | |
|--|--------------------|--|---|
| Extracteurs simple flux | | P | V |
|  | Technologie : | Autoréglable | |
| | Type : | Sur conduit | |
| | Extracteur : | Classique | |
| | Locaux desservis : | Bureaux bibliothèque, sanitaire bibliothèque, bureau vie étudiante, sanitaires vie étudiante | 2 |
| | Nombre : | 4 | 2 |
| CTA | | P | V |
|  | Technologie : | CTA DF avec récupération d'énergie et sans caisson de mélange | |
| | Batterie chaude : | Hydraulique | |
| | Année : | 2007 | |
| | Locaux desservis : | Salle de lecture bibliothèque | 3 |
| | Nombre : | 1 | 2 |
| Localisation : | | Local CTA | |

4.2.1.2 Descriptions de la régulation de la ventilation

| Régulation centrale ventilation | | | |
|---|--------------------|---------------------|---|
| Horloge simple | | P | V |
|  | Technologie : | Horloge simple | |
| | Programmation : | Hebdomadaire | |
| | Locaux desservis : | CTA et caissons VMC | 2 |


Commentaires :


- > Tous les locaux de la bibliothèque sont ventilés mécaniquement.
- > La salle de lecture de la bibliothèque est sur ventilation double flux et la ventilation est régulée sur programmation horaire.
- > Le reste des locaux est ventilé en ventilation simple flux par extraction sur programmation horaire. Ce système ne permet pas de récupérer les calories de l'air vicié.


5 DESCRIPTION DES SYSTEMES THERMIQUES

5.1 Description de l'installation de chauffage

5.1.1 Description de la production de chauffage


| Production de chaleur | | | |
|---|-----------------------|----------------------|---|
| Chaudières | | P | V |
|  | Energie : | Gaz naturel | |
| | Puissance thermique : | 65 kW | |
| | Classement ICPE : | Non | |
| | Rendement : | 98.5 % | |
| | Technologie : | Condensation | |
| | Fonction : | Chaudière principale | |
| | Position : | Murale | |
| | Année : | 2007 | |
| | Nombre : | 2 | |
| | | 3 | 2 |


| Auxiliaire de chauffage | | | |
|---|---------------|------------------------|---|
| Pompe débit constant | | P | V |
|  | Technologie : | Pompe à débit constant | |
| | Nombre : | 4 | |
| | | 1 | 1 |

| Distribution de chaleur | | | |
|---|---------------|---|---|
| Réseaux de chauffage | | P | V |
|  | Technologie : | Présence de calorifuge sur l'ensemble des réseaux | |
| | | 3 | 2 |

| Commentaires : | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> > Le site compte une chaufferie pour tout le bâtiment. > Les chaudières sont d'origine et sont performantes. > Les réseaux sont correctement calorifugés et permettent de réduire les pertes thermiques. | |


5.1.2 Description des systèmes d'émission de chauffage

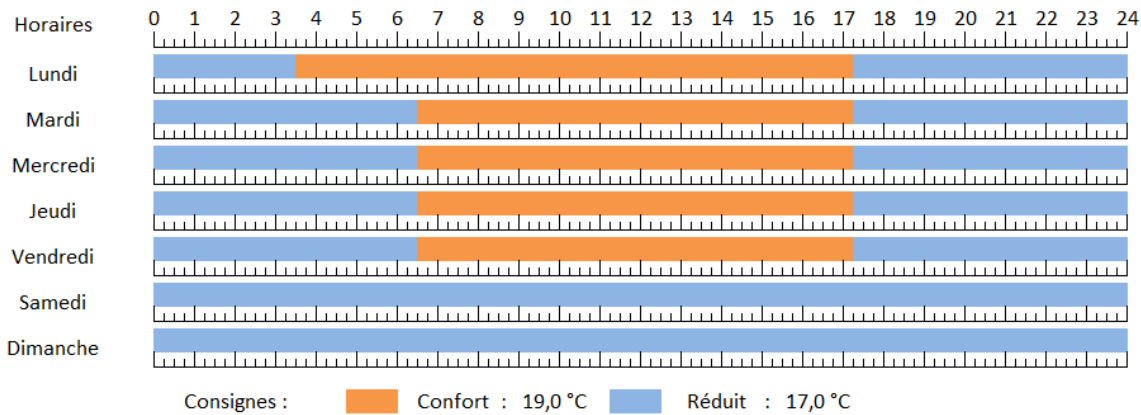
| Emission de chaleur | | | |
|---|---------------|------------------|---|
| Radiateur | | P | V |
|  | Energie : | Hydraulique | |
| | Technologie : | Radiateur | |
| | Année : | 2007 | |
| | | 3 | 2 |
| Emetteurs électriques appoints | | P | V |
| | Technologie : | Convecteur NF kW | |
| | | 1 | 2 |

| Régulation terminale chauffage | | | |
|--|---------------|----------------------------------|---|
| Robinet thermostatique | | P | V |
|  | Technologie : | Robinets thermostatiques récents | |
| | | 3 | 2 |

| Commentaires : | |
|--|--|
| <p>> Tout le site est chauffé par des radiateurs hydrauliques équipés de robinets thermostatiques. Ce type d'émission est très performante et permet une régulation au plus proche des besoins.</p> | |

5.1.2.1 Description de la régulation de chauffage

| Régulation centrale chauffage | | | |
|---|-----------------|--|---|
| Régulation centrale | | P | V |
|  | Technologie : | Loi d'eau avec thermostat d'ambiance par zone et horloge | |
| | Programmation : | Hebdomadaire | |
| | | 3 | 2 |


| Départs en chaufferie | |
|---|--|
| Planning de fonctionnement du chauffage : | |
|  | |

| Commentaires : |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> > Le système de chauffage est géré depuis une GTC situé en chaufferie. > Ce type de régulation permet d'adapter la régulation en fonction des besoins réels du bâtiment. > Le planning de chauffage est adapté à l'occupation. > Pendant la période où le bâtiment est longuement inoccupé, la consigne est mise en réduit. |

5.2 Description de la production de refroidissement

Aucun équipement de production de froid n'est présent dans ce bâtiment.

5.3 Description de la production d'Eau Chaude Sanitaire

| Production ECS | | | |
|---|----------------------|------------------------------|---|
| Ballon électrique | | P | V |
|  | Nombre : | 2 | |
| | Type de production : | Décentralisée | |
| | Volume : | 50 L | |
| | Technologie : | Adaptée à l'usage | |
| | Locaux desservis : | Sanitaires et locaux ménages | |
| | | 2 | 2 |

| Commentaires : |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> > Ces équipements sont adaptés à l'usage du bâtiment. |

6 DESCRIPTION DES SYSTEMES ELECTRIQUES

6.1 Description de l'éclairage

6.1.1 Equipements

| Source d'éclairage | | | |
|---------------------|---|---|---|
| Tube fluorescent T5 | | P | V |
| | Technologie : Tube fluorescent T5 | 2 | 2 |
| | Locaux desservis : Bibliothèque et bureaux | | |
| Luminaire LED | | P | V |
| | Technologie : Luminaires LED | 3 | 2 |
| | Locaux desservis : Sanitaires et circulations | | |

| Pilotage terminal éclairage | | | |
|-----------------------------|---|---|---|
| Détection de présence | | P | V |
| | Technologie : Détection de présence | 3 | 2 |
| | Locaux desservis : Sanitaires et circulations | | |
| Interrupteur manuel | | P | V |
| | Technologie : Interrupteur manuel | 1 | 2 |
| | Locaux desservis : Bibliothèque, bureaux | | |

| Commentaires : | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> > Deux typologies d'éclairage sont installées dans le bâtiment. Les technologies d'éclairage sont récentes et économes. > Le pilotage d'éclairage s'effectue par les interrupteurs sur tout le site dans les bureaux et des détecteurs de présence dans les circulations et les sanitaires ce qui est adapté à l'usage. | |

6.2 Description des autres usages

| Autres usages | | | |
|---------------|------------------------------------|---|---|
| Autres usages | | P | V |
| - | - Equipement de bureautique etc... | 2 | 2 |

| Commentaires : | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> > Plusieurs équipements pouvant impacter la consommation énergétique sont aussi présents sur le site. Ils ont un impact majoritairement sur les consommations électriques. | |

7 ETUDE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES

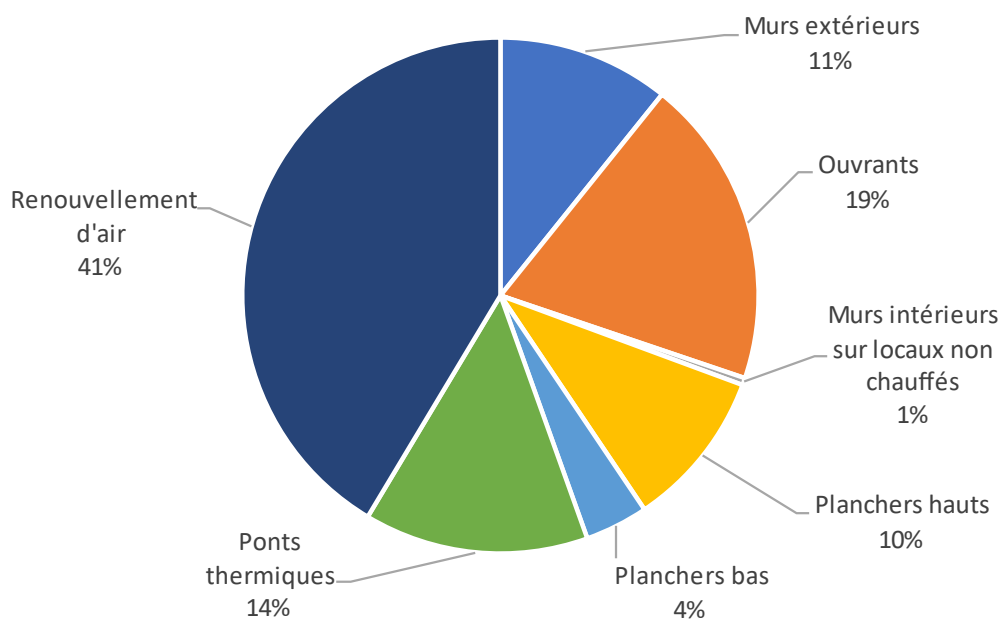
7.1 Analyse des déperditions thermiques du site

A partir des relevés effectués sur le bâti et sur les installations techniques, une étude des déperditions a été réalisée. La perméabilité à l'air du bâtiment a été prise en compte et est intégrée dans la partie « renouvellement d'air ». En effet les défauts d'étanchéité participent indirectement au renouvellement d'air du bâtiment.

Pour ce bâtiment la perméabilité à l'air a été prise en compte à 0,10 vol/h soit un équivalent Q4 de 1,7 m³/h/m². Les résultats sont exposés ci-après.

| Déperditions en kW | | | | | | | | Pertes totales en kW |
|--------------------|----------|---|-----------------|---------------|------------------|----------------------|--|----------------------|
| Murs extérieurs | Ouvrants | Murs intérieurs sur locaux non chauffés | Planchers hauts | Planchers bas | Ponts thermiques | Renouvellement d'air | | |
| 7 11% | 13 19% | 0,3 0,4% | 6 10% | 3 4% | 9 14% | 27 41% | | 65 |

Répartition des déperditions du Bâtiment



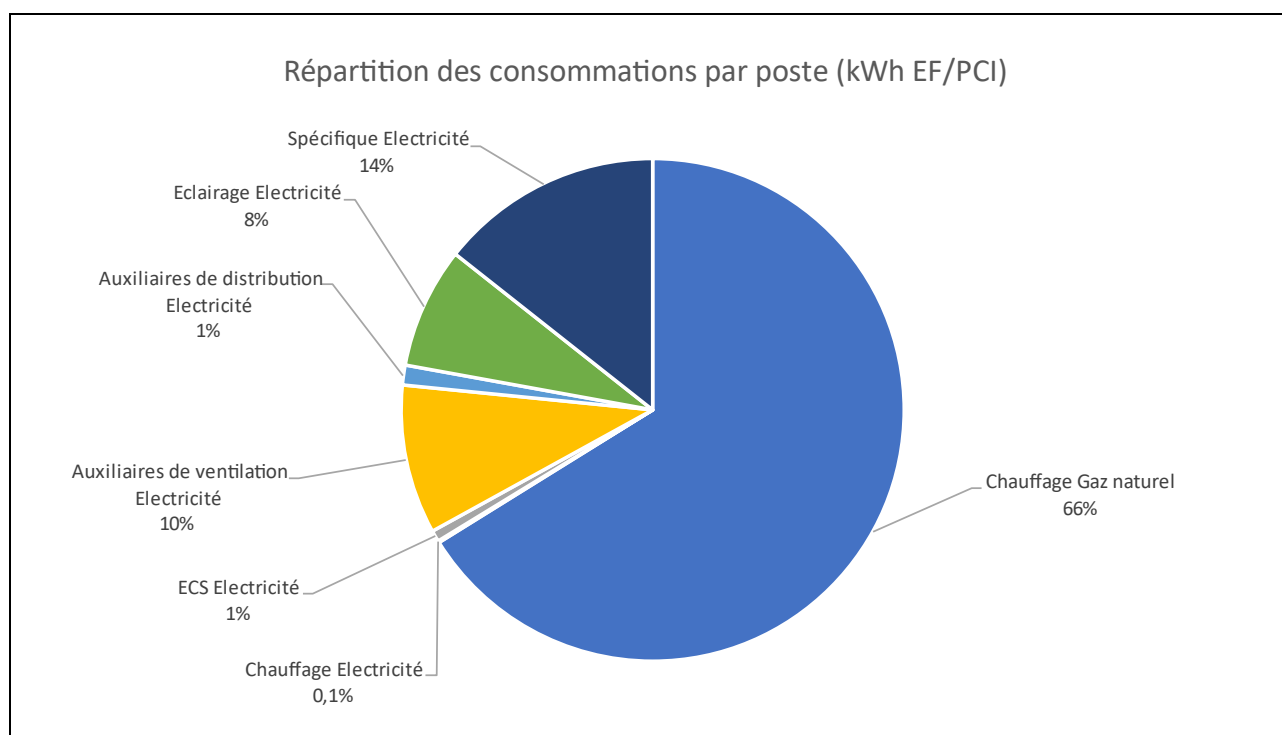
Commentaires :

- > L'un des premiers postes de déperditions du site est engendré par le renouvellement d'air (41%). Le bâtiment est ventilé mécaniquement en extraction simple flux dans tous les locaux (sauf la salle de lecture). Ce système permet un bon renouvellement d'air pour les occupants, mais celui-ci ne permet pas de récupérer les calories sur l'air extrait. Un système de ventilation mécanique en double flux permettrait de récupérer les calories de l'air extrait et de diminuer ainsi les consommations de chauffage.
- > Les menuiseries représentent le deuxième poste le plus déperditif avec 19% des déperditions totales du site. Les menuiseries possèdent des bonnes performances.
- > Les ponts thermiques engendrent 14% des déperditions totales. La majorité des ponts thermiques est causée par les liaisons murs / planchers bas et les liaisons murs / planchers hauts.
- > Les murs donnant sur l'extérieur sont isolés par l'intérieur et sont moyennement performants. L'ajout d'une isolation des murs par l'extérieur permettra de diminuer les déperditions liées à ce poste.
- > Les planchers hauts causent 10% des déperditions totales du site. La performance thermique de la toiture est moyenne. La reprise de l'isolation réduira la facture énergétique du site.
- > 4% des déperditions concernent le plancher bas. Celui-ci donne sur un terre-plein et est correctement isolé.

7.2 Analyse des consommations simulées

Le récapitulatif des consommations est présenté dans le tableau suivant :

| Répartition des consommations | | kWh EF/PCI | kWh EP/PCI | kg CO ₂ | €TTC |
|-------------------------------|-------------|----------------|----------------|--------------------|---------------|
| Usage | Energie | | | | |
| Chauffage | Gaz naturel | 89 124 | 89 124 | 20 855 | 7 219 |
| Chauffage | Electricité | 152 | 391 | 27 | 30 |
| Auxiliaires de ventilation | Electricité | 971 | 2 505 | 39 | 194 |
| Auxiliaires de distribution | Electricité | 12 934 | 33 370 | 1 086 | 2 587 |
| Eclairage | Electricité | 1 717 | 4 430 | 144 | 343 |
| Spécifique | Electricité | 10 490 | 27 065 | 881 | 2 098 |
| TOTAL | | 134 727 | 206 780 | 24 657 | 16 340 |



| BU Cherbourg | Etiquette Energie - DJU Moyenne classique | | Etiquette Climat | |
|--------------|---|---|------------------|---|
| | 127 | C | 18 | B |

Commentaires :

- > Le poste de chauffage est le poste le plus consommateur de ce bâtiment et représente 66% de la consommation du site.
- > La consommation électrique ne représente que 34% de la consommation totale. Cette consommation est répartie sur ces postes : ventilation, éclairage, ECS, les auxiliaires de chauffage et autres usages.

7.3 Comparaison des consommations réelles et simulées

Les consommations simulées ont été obtenues à partir du logiciel de modélisation Pléiades, elles sont basées sur des informations et scénarios réels. Ces derniers ont été adaptés au plus juste afin d'obtenir l'écart le plus faible entre les consommations réelles et les consommations simulées.

7.3.1 Consommations de chauffage

Les scénarios simulés sont basés sur les données réelles, afin de se rapprocher au mieux des consommations de chauffage issues des factures.

Ces données permettent de simuler les consommations réelles du site, Il est alors possible de les comparer aux consommations réelles recueillies sur les factures.

L'objectif est d'obtenir un écart minimal entre les consommations simulées sous l'outil Pléiades et les consommations réelles.

| Consommations totales | kWh EF | Ecart |
|-------------------------------------|--------|-------|
| Consommations réelles de chauffage | 89 550 | -3,1% |
| Consommations simulées de chauffage | 86 766 | |

Commentaires :

- > Les écarts entre les consommations réelles et les consommations simulées du bâtiment sont cohérents pour estimer, par la suite, les économies d'énergie des interventions,

7.3.2 Consommations d'électricité

De la même manière, afin de se rapprocher au mieux des consommations d'électricité réelles, les données réelles ont été ajustées.

L'objectif est d'obtenir un écart minimal entre les consommations simulées sous l'outil Pléiades et les consommations réelles.

| Consommations totales | kWh EF | Ecart |
|--------------------------------------|--------|-------|
| Consommations réelles d'électricité | 47 246 | -3,5% |
| Consommations simulées d'électricité | 45 599 | |

Commentaires :

- > Les écarts entre les consommations réelles et les consommations simulées du bâtiment sont cohérents pour estimer, par la suite, les économies d'énergie des interventions,

8 GISEMENTS DES POTENTIELS D'ECONOMIE D'ENERGIE

8.1 Analyse critique et proposition d'actions

| <i>Contraintes, inconvénients / Opportunités, avantages</i> |
|--|
| <p>Sur le bâti</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les murs sont isolés par l'intérieur, leur performance thermique est moyenne. La mise en place d'une isolation par l'extérieur réduira les déperditions par ces surfaces tout en traitant les ponts thermiques des planchers intermédiaires, des planchers hauts et des planchers bas. - Les menuiseries ont des bonnes performances. Le remplacement de ces menuiseries par des ouvrants plus performants ($U_w = 1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) permettrait de réduire encore les consommations de chauffage et d'améliorer le confort thermique des usagers. - La reprise de l'isolation de la toiture-terrasse permettra de réduire les pertes thermiques et de reprendre l'étanchéité à ce niveau. - Les performances thermiques des planchers bas sont bonnes. Aucune reprise de l'isolation n'est nécessaire. |
| <p>Sur le renouvellement d'air</p> <ul style="list-style-type: none"> - La salle de lecture est ventilée en double flux. La récupération de chaleur permet de récupérer une partie des calories sur l'air extrait. Aucune intervention n'est préconisée. - Le bâtiment est ventilé mécaniquement par des bouches d'extraction installées dans les bureaux et les sanitaires. Les débits d'air sont constants et permettent un renouvellement d'air hygiénique pour les occupants. - Néanmoins, aucune récupération d'énergie n'est réalisée sur l'air extrait des bureaux. La mise en place d'un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur dans l'ensemble des bureaux permettra de réduire les consommations de chauffage tout en améliorant le confort des occupants. |

8.2 Tableau de synthèse

Les gains présentés dans le tableau ci-dessous sont annuels.

| | PERF. Rentabilité énergétique kWh _{EF} / k€ _{investi} | TRA ans | ECONOMIE | | | | ENVIRONNEMENT | | | | Scénarios | |
|---|--|----------------|------------------|------------------|--------------|----------|---------------------------------|----|-------------------------------------|-----|-----------|-----|
| | | | Coût des travaux | | Valorisation | Economie | Economie annuelle | | CO ₂ évité | | SC1 | SC2 |
| | | | €HT | €/m ² | CEE € | €TTC | Énergie FINALE kWh EF/PCI | % | annuellement t _{eq-CO2} | % | | |
| Mise en place d'une isolation par l'extérieur des murs extérieurs (R=5 m ² .K/W) | 39 | >30 | 285 000 | 210 | 15 644 | 910 | 11 161 | 8% | 3 | 11% | | X |
| Remplacement de la façade rideaux du hall (U _w = 1,3 W/m ² .K) | 35 | >30 | 124 000 | 91 | 2 033 | 351 | 4 310 | 3% | 1 | 4% | X | X |
| Remplacement des menuiseries double vitrage 4/16/4 (U _w = 1,3 W/m ² .K) | 63 | >30 | 141 000 | 104 | 4 066 | 727 | 8 880 | 7% | 2 | 8% | | X |
| Reprise de l'isolation des toitures terrasses (R=7 m ² .K/W) | 36 | >30 | 222 000 | 164 | 14 453 | 651 | 8 000 | 6% | 2 | 8% | X | X |
| CTA double flux avec échangeur (75%) dans les zones enseignement et administration | 88 | >30 | 64 000 | 47 | 3 353 | 249 | 5 619 | 4% | 2 | 6% | | |

Travaux jugés prioritaires

Le taux d'actualisation du cout de l'énergie est retenu à 4%.

Le prix moyen pondéré pour le calcul des CEE est de 7,0 €/MWh_{cumac}.

8.1 Détails des interventions

| Interventions | Quantitatif et unité | Prix des travaux (€ ^{HT}) | | Descriptif des travaux et contenu des travaux | Impact sur la pérennité du bâtiment et la qualité architecturale |
|---|----------------------|-------------------------------------|---------|---|--|
| | | €HT | € TDC | | |
| Mise en place d'une isolation par l'extérieur des murs extérieurs ($R=5 \text{ m}^2.K/W$) | 950 | 285 000 | 456 000 | <p>Pose d'un échafaudage et préparation des surfaces (lavage et décontamination) des supports et réparation des dégradations.</p> <p>Mise en œuvre d'une isolation thermique extérieure. La solution choisie est une isolation thermique extérieure en laine minérale sous bardage de type trespas. L'isolant possède un $R= 5,0 \text{ m}^2.K/W$.</p> <p>Traitement des encadrements de baies par retour de l'isolation des façades courantes. L'isolation sera plus fine (quelques centimètres d'épaisseur) en fonction du cadre des menuiseries extérieures.</p> | Oui |
| Remplacement de la façade rideaux du hall ($U_w = 1,3 \text{ W/m}^2.K$) | 88 | 124 000 | 198 400 | <p>Dépose totale des menuiseries existantes.</p> <p>Remplacement des menuiseries par des menuiseries en aluminium avec un double-vitrage peu émissif avec remplissage argon, respectant une performance thermique de $U_w = 1,3 \text{ W /m}^2.K$.</p> <p>Mise en place des menuiseries au nu intérieur de la maçonnerie en cas de mise en place d'isolation par l'intérieur de manière à limiter les ponts thermiques et assurer l'étanchéité du complexe.</p> | Oui |
| Remplacement des menuiseries double vitrage 4/16/4 ($U_w = 1,3 \text{ W/m}^2.K$) | 176 | 141 000 | 225 600 | <p>Dépose totale des menuiseries existantes.</p> <p>Remplacement des menuiseries par des menuiseries en aluminium avec un double-vitrage peu émissif avec remplissage argon, respectant une performance thermique de $U_w = 1,3 \text{ W /m}^2.K$. Des stores intérieurs seront mis en place sur toutes les menuiseries donnant sur les locaux à occupation continue. En complément, les menuiseries orientées vers le sud devront avoir un facteur solaire faible.</p> <p>Mise en place des menuiseries au nu intérieur de la maçonnerie en cas de mise en place d'isolation par l'intérieur de manière à limiter les ponts thermiques et assurer l'étanchéité du complexe.</p> | Oui |

| | | | | | |
|--|-------|---------|---------|---|-----|
| Reprise de l'isolation des toitures terrasses (R=7 m².K/W) | 1 229 | 222 000 | 355 200 | <p>Dépose et repose des équipements présents sur la toiture terrasse (Une intervention simultanée liée à la ventilation peut permettre de mutualiser ces coûts).</p> <p>Dépose des gravillons, de l'étanchéité actuelle et de l'isolant. Mise en place d'un isolant de résistance thermique R= 7,5 W/m². K.</p> <p>Réhausse des acrotères</p> <p>Mise en place d'une étanchéité de type bitume avec couverture graviers.</p> | Oui |
| CTA double flux avec échangeur (75%) dans les zones enseignement et administration | 1 174 | 64 000 | 102 400 | <p>Mise en place de CTA double flux avec échangeur thermique (rendement des échangeurs de 75 %) pour les bureaux/salles et d'une VMC simple flux pour les sanitaires en toiture.</p> <p>Création des réseaux aérauliques avec passage des conduites verticaux dans les gaines techniques et raccordement aux CTA et aux caissons d'extraction. Pour une ventilation double flux, deux réseaux sont nécessaires : un pour le soufflage et un pour l'extraction.</p> <p>Mise en place des bouches d'extraction/de soufflage et des gaines de ventilation au niveau des faux plafonds.</p> <p>Pose des éléments de pilotage et de contrôle (horloge).</p> <p>Mise en place d'une programmation horaire adaptée (7h-19h).</p> <p>Débit de renouvellement d'air à respecter : 18 m³ /h par occupant dans les salles de classes, 25 m³ /h par occupant dans bureaux et débit réglementaire pour les sanitaires.</p> | Non |

Un coefficient de 1,6 a été appliqué entre le montant HT et le montant TDC (toutes dépenses confondues) afin de prendre en compte les honoraires des prestataires de programmation (études préalables, faisabilité, programme), maîtrise d'œuvre (architecte, bureaux d'études), contrôle technique, coordonnateur sécurité et santé, SSI, assistance à maîtrise d'ouvrage, conduite d'opérations, étude de synthèse, autres prestations intellectuelles

9 SCENARIOS DE PERFORMANCE ENERGETIQUE

9.1 Présentation des scénarios

Les scénarios de travaux sont basés sur une approche technique mêlant besoins énergétiques et fonctionnels. L'audit étant axé uniquement sur l'aspect bâti, les interventions étudiées ne concernent donc que les parois du bâtiment.

Deux scénarios sont présentés et compilent de manière progressive les interventions étudiées. :

- Scénario 1 : « **Travaux légers** » ce scénario intègre les travaux légers et urgents ou ayant des temps de retour sur investissement courts ;
- Scénario 2 : « **Rénovation d'ampleur** » ce scénario consiste à rénover de manière globale l'enveloppe du bâtiment

9.2 Scénario 1

9.2.1 Synthèse

| Dénomination | Coût | |
|--|---------|------|
| Remplacement de la façade rideaux du hall ($U_w = 1,3 \text{ W/m}^2.\text{K}$) | 124 000 | €HT |
| Reprise de l'isolation des toitures terrasses ($R=7 \text{ m}^2.\text{K/W}$) | 222 000 | €HT |
| Coût des travaux | 346 000 | €HT |
| | 553 600 | €TDC |

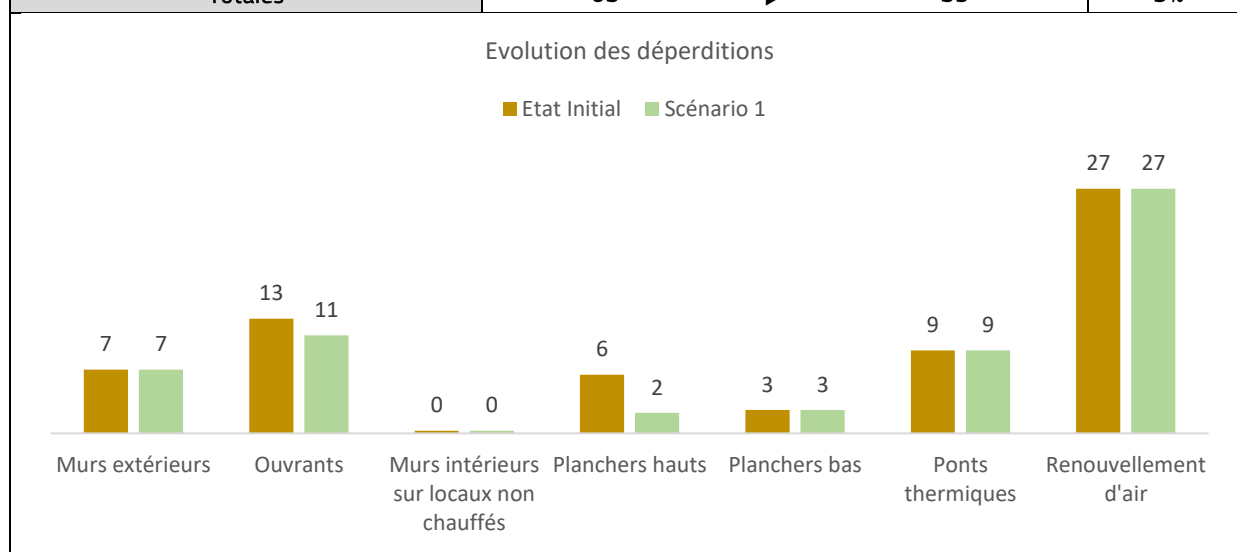
9.2.1 Résultats énergétiques

| Evolution des consommations - Résultat selon la méthode réelle | | | | | Ecart | |
|--|-----|---|---|-----|-------|-----|
| Evolution de la classe énergie (kWhEP/m²SRT) | 127 | C | ► | 119 | C | 6% |
| Evolution de la classe climat (kgCO2/m²SRT) | 15 | B | ► | 13 | B | 12% |

9.2.2 Evolution des déperditions

| | Etat Initial | Scénario 1 | Ecart |
|------|--------------|------------|-------|
| UBAT | 0,41 | 0,35 | 16% |

| Déperditions en kW | Etat Initial | Scénario 1 | Ecart |
|--|--------------|------------|-----------|
| <i>Murs extérieurs</i> | 7 | 7 | 0% |
| <i>Ouvrants</i> | 13 | 11 | 15% |
| <i>Murs intérieurs sur locaux non chauffés</i> | 0 | 0 | 0% |
| <i>Planchers hauts</i> | 6 | 2 | 65% |
| <i>Planchers bas</i> | 3 | 3 | 0% |
| <i>Ponts thermiques</i> | 9 | 9 | 0% |
| <i>Renouvellement d'air</i> | 27 | 27 | 0% |
| Totales | 65 | 59 | 9% |



9.2.3 Evaluation des résultats

| Scénario 1 | |
|---|--------------------------------------|
| Performance environnementale | |
| Economie annuelle d'énergie primaire | 6% soit 12 388 kWh EP/PCI |
| Economie annuelle d'énergie finale | 9% soit 12 305 kWh EF/PCI |
| Emissions de CO ₂ évitées | 12% soit 2,873 Tonnes |
| Performance économique | |
| Impact sur les coûts énergétiques la première année (P1) | -1 003 €TTC |
| Impact sur la maintenance (P2) | 0 €TTC |
| Impact sur les coûts de renouvellement des équipements (P3) | 0 €TTC |
| CEE Mobilisables | 2 355 120 kWh _{CUMAC} |
| Valorisation CEE | 16 486 € |
| Temps de retour sur investissement actualisé | 69 années |
| Efficience | |
| Coût du kWh économisé | 27,9 €HT investi/kWhEP |
| Coût de la tonne de CO ₂ évité | 120 443 €HT investi/tCO ₂ |
| Dépenses annuelles | |
| Dépenses énergétiques | 15 700 €TTC |
| Dépenses de maintenance | 0 €TTC |
| Dépenses de renouvellement | 0 €TTC |

| Performance environnementale | |
|--|--------------------|
| Economie annuelle d'énergie primaire sur 30 ans | 371 655 kWh EP/PCI |
| Economie annuelle d'énergie finale sur 30 ans | 369 139 kWh EF/PCI |
| Emissions de CO ₂ évitées sur 30 ans | 86 Tonnes |
| Performance économique | |
| Dépenses énergétiques sur 30 ans | 931 438 €TTC |
| Dépenses de maintenance sur 30 ans (P2) | 0 €TTC |
| Dépenses de renouvellement des équipements sur 30 ans (P3) | 0 €TTC |
| Coût global (avec investissements) | 1 277 438 €TTC |

9.3 Scénario 2

9.3.1 Synthèse

| Dénomination | Coût | |
|--|-----------|------|
| Mise en place d'une isolation par l'extérieur des murs extérieurs ($R=5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) | 285 000 | €HT |
| Remplacement de la façade rideaux du hall ($U_w = 1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) | 124 000 | €HT |
| Remplacement des menuiseries double vitrage 4/16/4 ($U_w = 1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) | 141 000 | €HT |
| Reprise de l'isolation des toitures terrasses ($R=7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) | 222 000 | €HT |
| Coût des travaux | 772 000 | €HT |
| | 1 235 200 | €TDC |

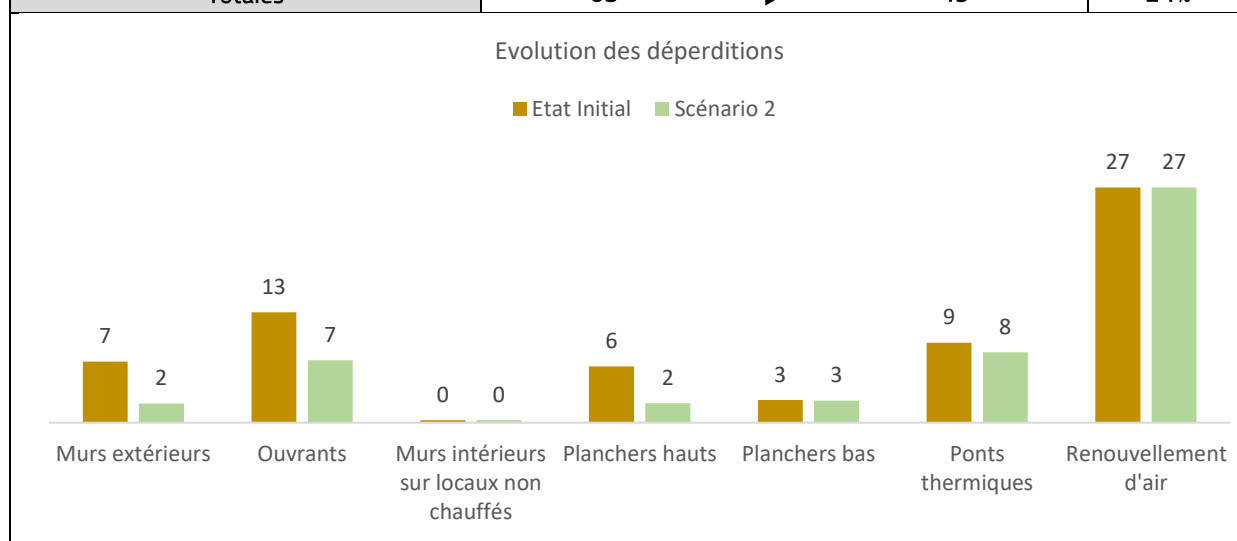
9.3.1 Résultats énergétiques

| Evolution des consommations - Résultat selon la méthode réelle | | | | | Ecart | |
|--|-----|---|---|-----|-------|-----|
| Evolution de la classe énergie (kWh _{EP} /m ² _{SRT}) | 127 | C | ► | 107 | B | 16% |
| Evolution de la classe climat (kgCO ₂ /m ² _{SRT}) | 15 | B | ► | 11 | B | 30% |

9.3.2 Evolution des déperditions

| | Etat Initial | Scénario 2 | Ecart |
|------|--------------|------------|-------|
| UBAT | 0,41 | 0,25 | 41% |

| Déperditions en kW | Etat Initial | Scénario 2 | Ecart |
|--|--------------|------------|------------|
| <i>Murs extérieurs</i> | 7 | 2 | 69% |
| <i>Ouvrants</i> | 13 | 7 | 43% |
| <i>Murs intérieurs sur locaux non chauffés</i> | 0 | 0 | 0% |
| <i>Planchers hauts</i> | 6 | 2 | 65% |
| <i>Planchers bas</i> | 3 | 3 | 2% |
| <i>Ponts thermiques</i> | 9 | 8 | 12% |
| <i>Renouvellement d'air</i> | 27 | 27 | 0% |
| Totales | 65 | 49 | 24% |



La perméabilité à l'air du bâtiment étant déjà correct, celle-ci n'est pas améliorée pour le scénario 2. La perméabilité à l'air retenue est $Q_4 = 1,7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$.

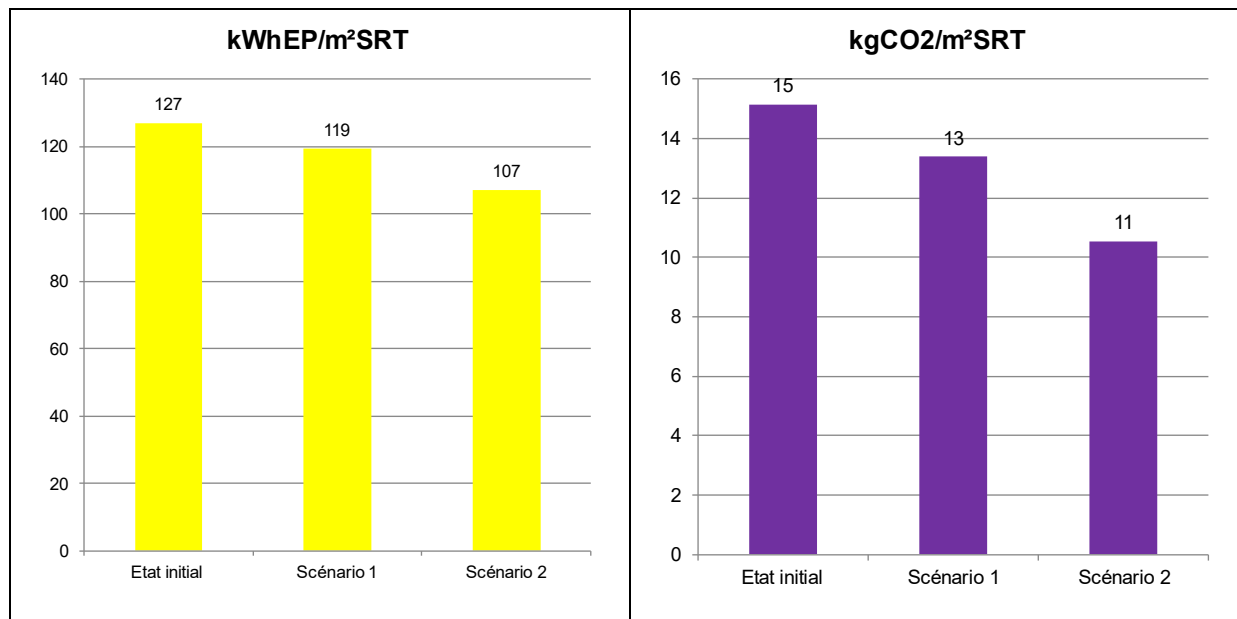
9.3.3 Evaluation des résultats

| Scénario 2 | |
|---|--------------------------------------|
| Performance environnementale | |
| Economie annuelle d'énergie primaire | 16% soit 32 354 kWh EP/PCI |
| Economie annuelle d'énergie finale | 24% soit 32 079 kWh EF/PCI |
| Emissions de CO ₂ évitées | 30% soit 7 Tonnes |
| Performance économique | |
| Impact sur les coûts énergétiques la première année (P1) | -2 619 €TTC |
| Impact sur la maintenance (P2) | 0 €TTC |
| Impact sur les coûts de renouvellement des équipements (P3) | 0 €TTC |
| CEE Mobilisables | 5 170 800 kWh _{CUMAC} |
| CEE Mobilisables | 36 196 € |
| Temps de retour sur investissement actualisé | 65 années |
| Efficience | |
| Coût du kWh économisé | 23,9 €HT investi/kWhEP |
| Coût de la tonne de CO ₂ évité | 103 154 €HT investi/tCO ₂ |
| Dépenses annuelles | |
| Dépenses énergétiques | 14 084 €TTC |
| Dépenses de maintenance | 0 €TTC |
| Dépenses de renouvellement | 0 €TTC |

| Performance environnementale | |
|--|--------------------|
| Economie annuelle d'énergie primaire sur 30 ans | 970 617 kWh EP/PCI |
| Economie annuelle d'énergie finale sur 30 ans | 962 368 kWh EF/PCI |
| Emissions de CO ₂ évitées sur 30 ans | 225 Tonnes |
| Performance économique | |
| Dépenses énergétiques sur 30 ans | 835 557 €TTC |
| Dépenses de maintenance sur 30 ans (P2) | 0 €TTC |
| Dépenses de renouvellement des équipements sur 30 ans (P3) | 0 €TTC |
| Coût global (avec investissements) | 1 607 557 €TTC |

9.4 Synthèse des résultats

Les graphiques suivants présentent l'évolution des scénarios énergétiques étudiés. Les résultats sont ceux de l'étude simulée via la méthode réelle (STD).



9.5 Justification des scénarios

Ces deux bouquets de réalisation des travaux consistent à compiler les propositions d'amélioration proposées dans la partie précédente afin de rendre cohérents tous les travaux sur le bâtiment.

Il est important de comprendre que certains travaux d'amélioration sont en relation directe avec d'autres et que les économies d'énergie vont dépendre de la mise en œuvre de l'ensemble de ces travaux d'amélioration.

Le premier bouquet permet de reprendre une partie du bâti sans paralyser l'usage de l'ensemble du bâtiment : La reprise de la toiture et la reprise du vitrage du hall d'entrée.

Le second bouquet permet de reprendre l'ensemble des enveloppes du bâtiment afin de réduire aux maximums les déperditions pour ainsi réduire la consommation énergétique de ce bâtiment.

Le bâtiment est relativement récent et performant, aucun travaux urgent sur le bâti ne viendra donc engendrer d'important gain. Des interventions sur les systèmes serait plus intéressant pour la bibliothèque universitaire de Damigny. La mise en place d'une ventilation double flux est jugée prioritaire, notamment afin d'améliorer le confort des usagers avec un soufflage d'air chaud via des batteries chaudes liées aux CTA.

10 ANNEXES

10.1 Grandeurs utiles au diagnostic

10.1.1 Conversion des unités énergétiques

L'ensemble des unités énergétiques sont ramenées en kWh_{EF} dans l'étude afin de pouvoir les comparer :

| Énergie | Unité d'origine | Facteur de conversion en kWh _{EF} |
|-------------------|----------------------|---|
| Bois, Biomasse | 1 T | 3 000 à 5 000 (selon type : granulé, pellet...) |
| Electricité | 1 kWh | 1 |
| Gaz naturel | 1 kWh _{PCS} | 0,9 |
| Gaz propane | 1 kg | 12,8 |
| Fioul domestique | 1 litre | 9,97 |
| Réseau de chaleur | 1 kWh | 1 |

10.1.2 Émissions de CO₂

Les facteurs de conversion des émissions de gaz à effet de serre suivant l'arrêté du 27 octobre 2014 modifiant l'annexe 4 de l'arrêté du 15 septembre 2006 sont présentés dans le tableau suivant :

| Énergie | Conversion [kg _{CO2} /kWh _{EF}] |
|---|--|
| Bois, biomasse | 0,013 |
| Gaz naturel | 0,234 |
| Fioul domestique | 0,300 |
| Gaz propane ou butane | 0,274 |
| Charbon | 0,342 |
| Électricité (<i>chauffage</i>) | 0,180 |
| Électricité (<i>ECS, refroidissement</i>) | 0,040 |
| Électricité (<i>valeur moyenne</i>) autres usages | 0,084 |
| Réseau de chaleur | Selon le réseau |
| Réseau de chaleur | 0,342 si non référencé |

En ce qui concerne les réseaux de chaleur, l'arrêté du 27 octobre 2014 modifiant l'arrêté du 15 septembre 2006 donne les valeurs à prendre en compte.

10.1.3 Lexique de quelques abréviations

| | |
|-----------------|---|
| BBC | Bâtiments Basse Consommation |
| DF | Double Flux |
| DV | Double Vitrage |
| EF, EP | Energie Finale, Energie Primaire (kWh) |
| ECS | Eau Chaude Sanitaire |
| EnR | Energies Renouvelables |
| DJU | Degrés Jours Unifiés |
| GTB/GTC | Gestion Technique de Bâtiment/ Gestion Technique Centralisée |
| K | Degrés Kelvin |
| LBC | Lampe Basse Consommation |
| PCI, PCS | Pouvoir Calorifique Inférieur, Pouvoir Calorifique Supérieur |
| PSE | Polystyrène expansé |
| R | Résistance thermique des matériaux ($m^2.K/W$) |
| RT | Réglementation Thermique |
| SF | Simple Flux |
| SV | Simple Vitrage |
| RDC | Rez-de-chaussée |
| U | Coefficient de transmission surfacique global de la paroi ($W/m^2.K$) |
| V3V | Vanne 3 Voies |
| VMC | Ventilation Mécanique Contrôlée |

10.1.4 Facteur de conversion énergie finale / énergie primaire

L'énergie finale correspond à l'énergie payée au compteur d'énergie du site. L'énergie primaire représente l'énergie nécessaire à la fourniture de cette énergie finale. Le facteur de conversion entre ces deux énergies représente les pertes lors du transport, l'énergie nécessaire à l'extraction ou à la transformation de celle-ci, ou à la production (dans le cas de l'électricité par exemple).

Ces facteurs sont réglementés par type d'énergie. En France, les facteurs de conversion utilisés dans la réglementation thermique dans l'existant sont les suivants :

| Énergie | Conversion kWh _{EP} / kWh _{EF} ⁴ |
|----------------|---|
| Bois, biomasse | 0,60 |
| Gaz naturel | 1,00 |
| Gaz propane | 1,00 |
| Electricité | 2,58 |
| Fioul | 1,00 |

⁴ Ces coefficients ne sont pas valables pour les DPE, ni pour les bâtiments neufs. En effet, dans les deux cas précédents, le coefficient de conversion pour le bois est de 1,00.

10.2 Réglementation thermique

La réglementation thermique des bâtiments existants s'applique aux bâtiments résidentiels et tertiaires existants, à l'occasion de travaux de rénovation prévus par le maître d'ouvrage.

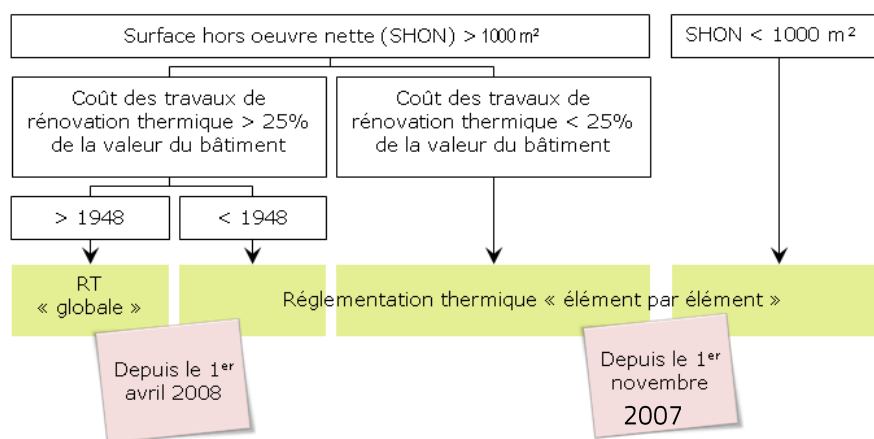
Elle repose sur les articles L. 111-10 et R.131-25 à R.131-28 du Code de la construction et de l'habitation ainsi que sur leurs arrêtés d'application.

L'objectif général de cette réglementation est de fixer des prérequis et des garde-fous sur la performance énergétique d'un bâtiment lorsqu'un maître d'ouvrage entreprend telle amélioration. L'objectif global étant d'apporter une amélioration significative de la performance des bâtiments.

Les mesures réglementaires sont différentes (et les contraintes associées également) selon l'importance des travaux entrepris par le maître d'ouvrage :

- **RT globale :** Pour les rénovations très lourdes de bâtiments de plus de 1 000 m², achevés après 1948, la réglementation définit un objectif de performance globale pour le bâtiment rénové. Ces bâtiments doivent aussi faire l'objet d'une étude de faisabilité des approvisionnements en énergie préalablement au dépôt de la demande de permis de construire. Ce premier volet de la RT est applicable pour les permis de construire déposés après le 31 mars 2008.
- **RT éléments par éléments :** Pour tous les autres cas de rénovation, la réglementation définit une performance minimale pour l'élément remplacé ou installé. Ce second volet de la RT est applicable pour les marchés ou les devis acceptés à partir du 1^{er} novembre 2007.

Note : Le coût conventionnel des bâtiments autres que ceux usage principal d'habitation est de 1 466 €^{HT}/m²_{SRT} (valeur pour le 1^{er} semestre 2022⁵).



⁵ Source : Fiche d'application du calcul de la valeur d'un bâtiment version 1.9, mis à jour le 14 janvier 2022.