



## Université de Caen Normandie

60 RUE MAX POL FOUCHET,

50130 CHERBOURG-EN-COTENTIN

ESIX - UFR  
CAMPUS DE CHERBOURG

V3 - Date de diffusion 21/02/2025



## 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](mailto: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](mailto: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	DMBA	BBAC	MPLA
2	18/04/2024	Reprise suite retour Univ Caen	DMBA	BBAC	MPLA
3	21/02/2025	Correction investissement scénario	BBAC	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

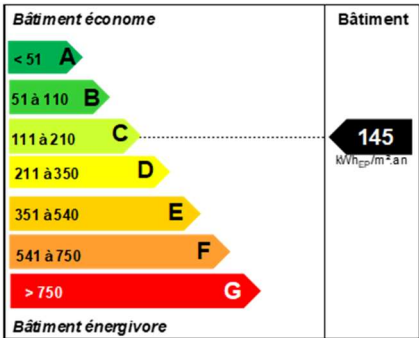
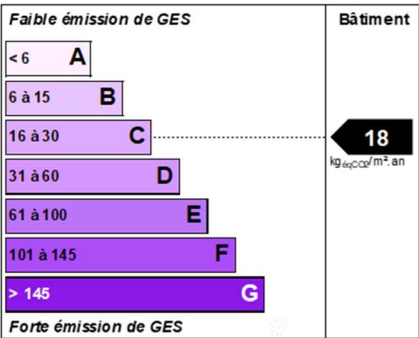
# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b>	<b>3</b>
<b>SYNTHESE DE L'AUDIT ENERGETIQUE</b>	<b>5</b>
<b>1 INTRODUCTION</b>	<b>8</b>
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
<b>2 DESCRIPTION DU SITE</b>	<b>10</b>
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
<b>3 ANALYSE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DU SITE</b>	<b>14</b>
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	15
3.2 HISTORIQUE DES CONSOMMATIONS	15
3.2.1 CONSOMMATIONS TOTALES	15
<b>4 DESCRIPTION DU BATIMENT</b>	<b>16</b>
4.1 DESCRIPTION ET PERFORMANCE DE L'ENVELOPPE	16
4.2 DESCRIPTION DES INSTALLATIONS DE VENTILATION	19
<b>5 DESCRIPTION DES SYSTEMES THERMIQUES</b>	<b>21</b>
5.1 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE CHAUFFAGE	21
5.1.1 DESCRIPTION DE LA PRODUCTION DE CHAUFFAGE	21
5.1.2 DESCRIPTION DES SYSTEMES D'EMISSION DE CHAUFFAGE	22
5.2 DESCRIPTION DE LA PRODUCTION DE REFROIDISSEMENT	25
5.3 DESCRIPTION DE LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE	26
<b>6 DESCRIPTION DES SYSTEMES ELECTRIQUES</b>	<b>27</b>
6.1 DESCRIPTION DE L'ECLAIRAGE	27
6.1.1 EQUIPEMENTS	27
6.2 DESCRIPTION DES AUTRES USAGES	28

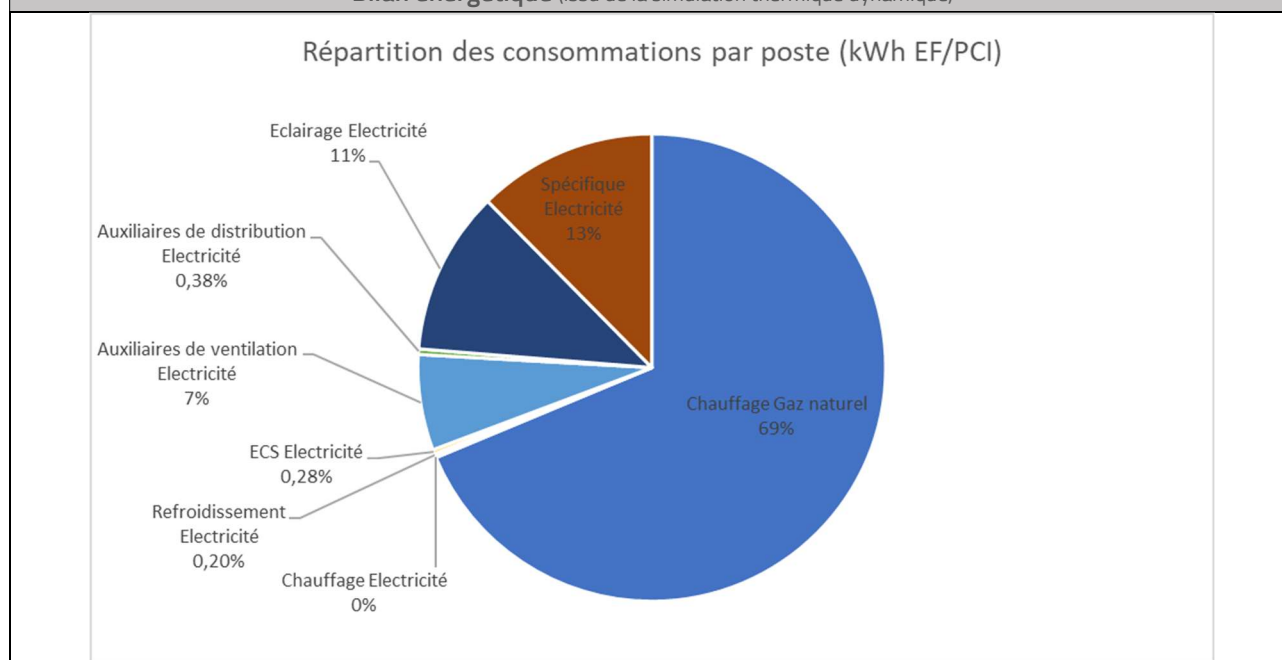
<b>7</b>	<b>ETUDE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES</b>	<b>29</b>
7.1	ANALYSE DES DEPERDITIONS THERMIQUES DU SITE	29
7.2	ANALYSE DES CONSOMMATIONS SIMULEES	31
7.3	COMPARAISON DES CONSOMMATIONS REELLES ET SIMULEES	32
7.3.1	CONSOMMATIONS DE CHAUFFAGE	32
7.3.2	CONSOMMATIONS D'ELECTRICITE	32
<b>8</b>	<b>GISEMENTS DES POTENTIELS D'ECONOMIE D'ENERGIE</b>	<b>33</b>
8.1	ANALYSE CRITIQUE ET PROPOSITION D' ACTIONS	33
8.2	TABLEAU DE SYNTHESE	34
8.3	DETAILS DES INTERVENTIONS	36
<b>9</b>	<b>SCENARIOS DE PERFORMANCE ENERGETIQUE</b>	<b>40</b>
9.1	PRESENTATION DES SCENARIOS	40
9.2	SCENARIO 1	40
9.2.1	SYNTHESE	40
9.2.2	RESULTATS ENERGETIQUES	40
9.2.3	EVOLUTION DES DEPERDITIONS	41
9.2.4	EVALUATION DES RESULTATS	42
9.3	SCENARIO 2	43
9.3.1	SYNTHESE	43
9.3.2	RESULTATS ENERGETIQUES	43
9.3.3	EVOLUTION DES DEPERDITIONS	44
9.3.4	EVALUATION DES RESULTATS	45
9.4	SYNTHESE DES RESULTATS	46
9.5	JUSTIFICATION DES SCENARIOS	46
<b>10</b>	<b>ANNEXES</b>	<b>47</b>
10.1	GRANDEURS UTILES AU DIAGNOSTIC	47
10.1.1	CONVERSION DES UNITES ENERGETIQUES	47
10.1.2	ÉMISSIONS DE CO <sub>2</sub>	47
10.1.3	LEXIQUE DE QUELQUES ABREVIATIONS	48
10.1.4	FACTEUR DE CONVERSION ENERGIE FINALE / ENERGIE PRIMAIRE	48
10.2	REGLEMENTATION THERMIQUE	49

## SYNTHESE DE L'AUDIT ENERGETIQUE

	Année de construction	2008
	Type	Enseignement, administration, laboratoires
	Surface utile brute <sup>1</sup>	5 857 m <sup>2</sup>
	Surface SRT <sup>1</sup>	7 028 m <sup>2</sup>
	Nombre de niveaux	3 niveaux pour chaque bâtiment

Performance énergétique simulée <sup>2</sup>	ETAT INITIAL	
	Consommation réelle : <b>145</b> kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .an	Estimation des émissions : <b>18</b> kg <sub>eq</sub> CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .an
		
Coût énergétique simulé au réel	<b>82 064 €<sup>TTC</sup>/an</b>	
	Dont chauffage (gaz) 39 464 € <sup>TTC</sup> /an Dont autres usages (électricité) 42 600 € <sup>TTC</sup> /an	

### Bilan énergétique (issu de la simulation thermique dynamique)



<sup>1</sup> Fournies par la MOA

<sup>2</sup> 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 <sub>2</sub>		
Scénario 1	213 611	17 999	21%	31%	39%	1 450 000	37
Scénario 2	253 717	21 379	25%	37%	46%	3 087 000	49

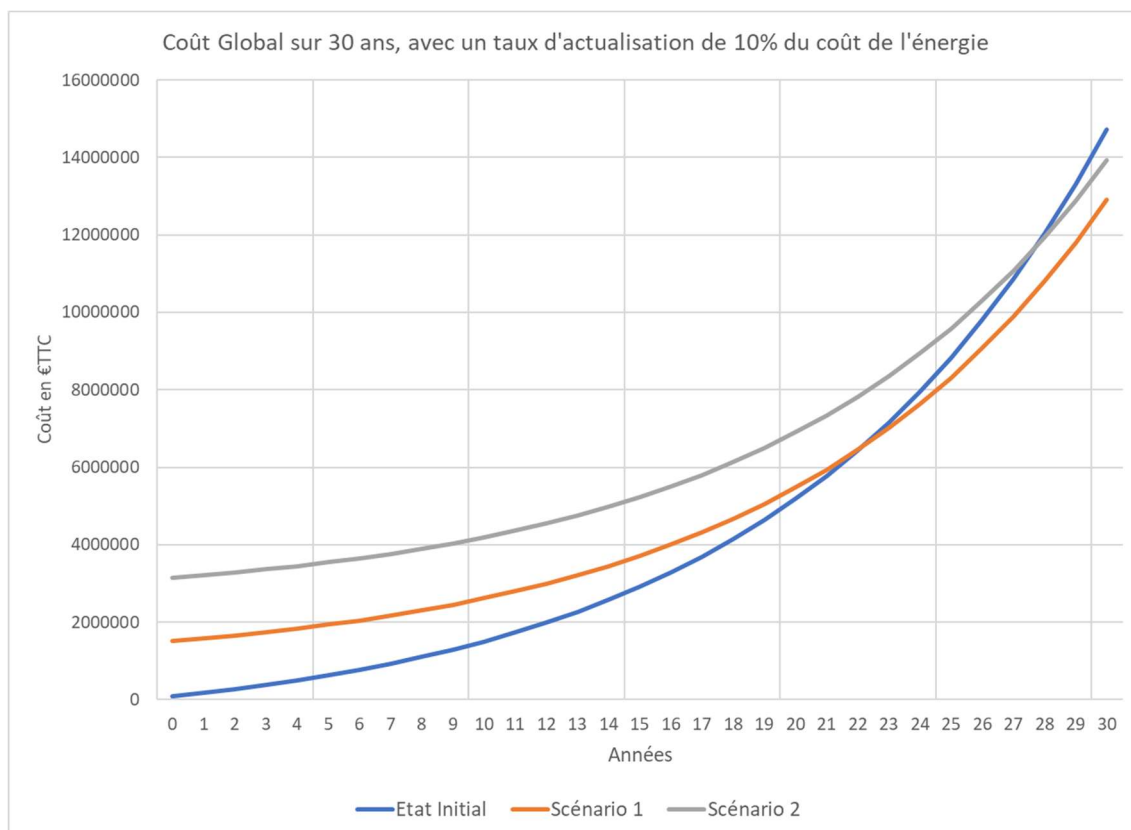
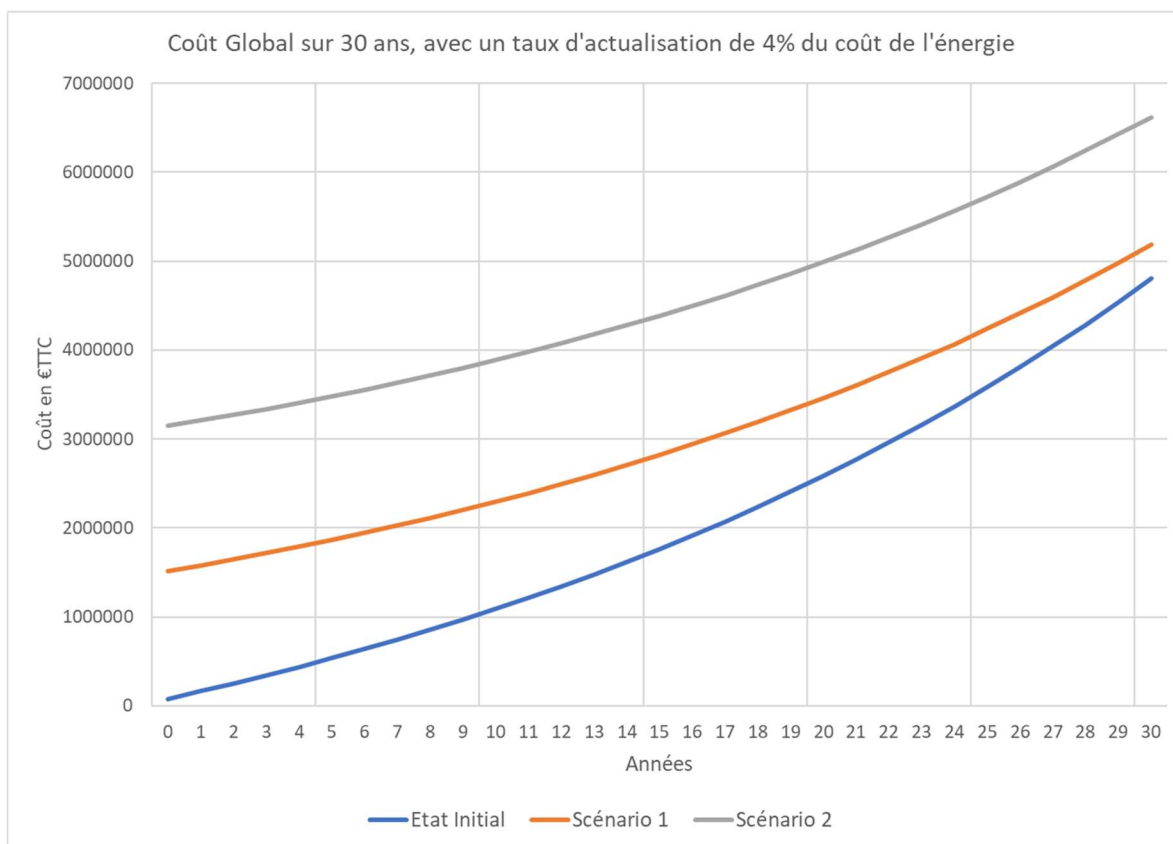
### APPROCHE ENERGETIQUE

Scénario	Consommation énergétique simulée		Emissions de CO <sub>2</sub>		Optimisation	Traitement du bâti	
	kWh EP/PCI/m².SRT		kg CO2/M²SRT			léger	lourd
Scénario 1	114	C	11	B	✓	✓	✓
Scénario 2	109	B	10	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.

## COUT GLOBAL



# 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.).

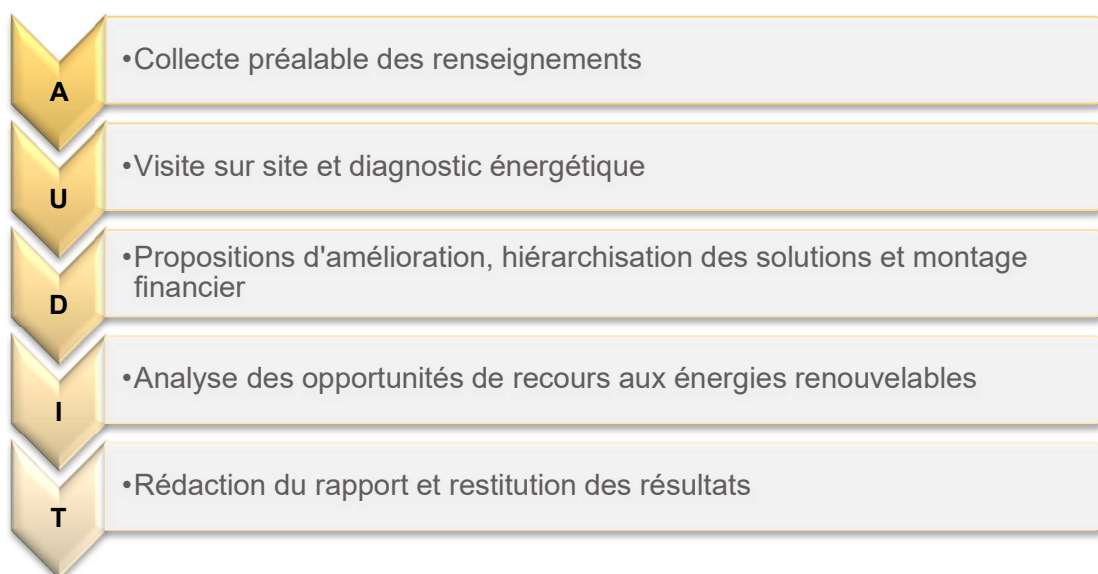
Les principaux objectifs auxquels devra répondre la mission d'audit énergétique sont les suivants :

- 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 13/06/2023.

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>Bâtiment ESIX – Antenne UFR</p> <p>Université de Caen, Campus de Cherbourg, 60 Rue Max Pol Fouchet</p> <p>50 100 Cherbourg-en-Cotentin</p>
---

#### 2.1.2 Coordonnées des interlocuteurs

	Chargé d'exploitation
Nom	Antoine MALOT
Téléphone	02 31 56 59 29
E-mail	<a href="mailto:antoine.malot@unicaen.fr">antoine.malot@unicaen.fr</a>

#### 2.1.3 Visite

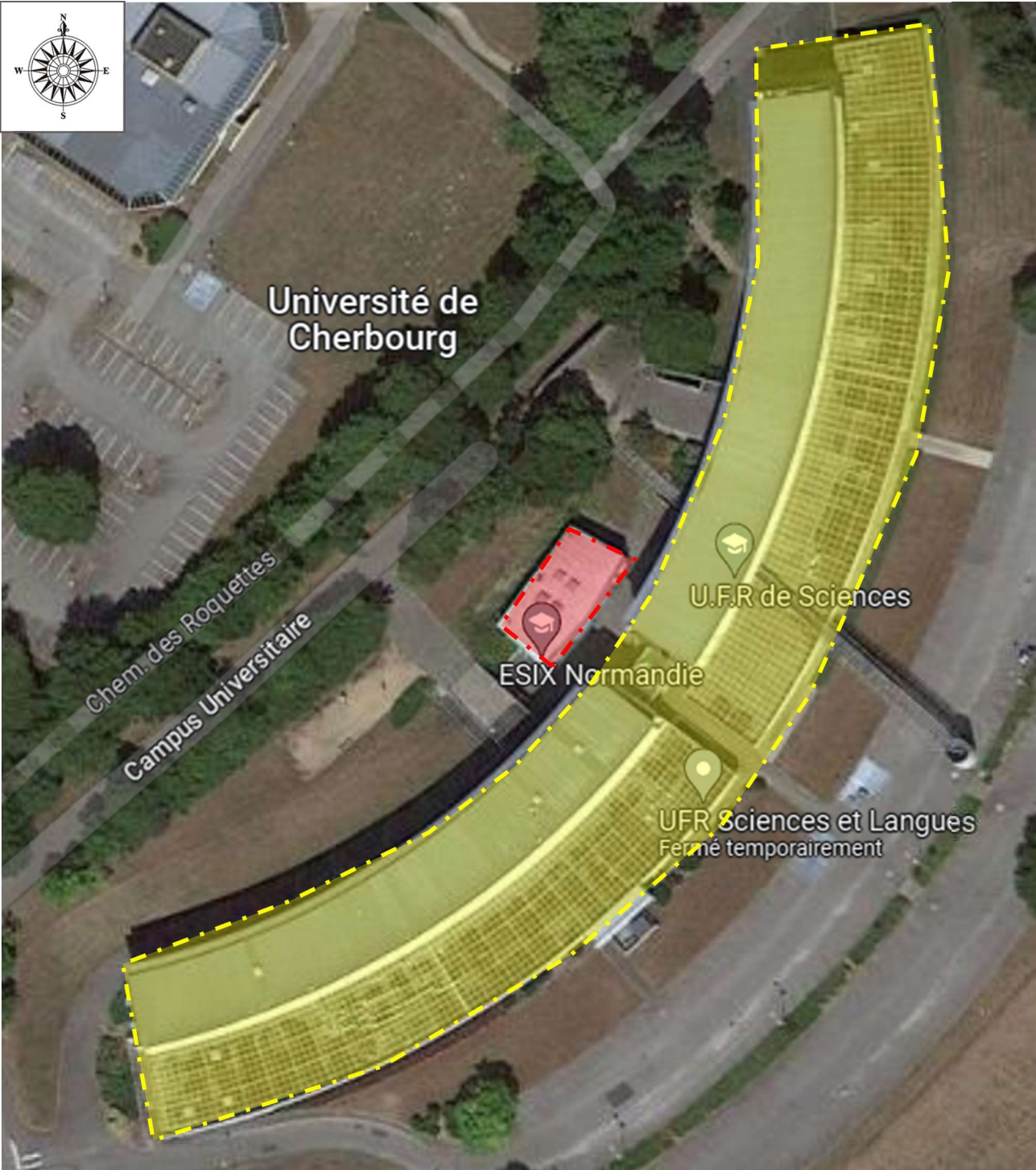
La visite du bâtiment a été réalisée dans les conditions suivantes :



Situation	
Date de la visite :	8 septembre 2022
Diagnostiqueur :	David MBAYE <a href="mailto:dmbaye@alterea.fr">dmbaye@alterea.fr</a>
Accompagnateur :	M. LEQUILBEC
Conditions climatiques :	Ensoleillé – 20°C

#### 2.1.4 Travaux antérieurs ou programmés

Travaux réalisés :	Année de réalisation
Remplacement des deux chaudières gaz	2014

2.1.5 Vue aérienne du site



Désignation	
	Atelier mécanique et métallurgie
	Bâtiment ESIX - UFR

## 2.2 Données d'usage du site

### 2.2.1 Bâtiment

Bâtiment	Année de Construction	Niveau	SUB <sup>3</sup>	Surface SRT	Usage
ESIX - UFR	2008	3	5 857 m <sup>2</sup>	7 028 m <sup>2</sup>	Enseignement, administration, laboratoires



#### Commentaire :

- Le site ESIX – UFR a été construit en 2008. L'ensemble est constitué de deux bâtiments similaires.
- Le site est réparti sur 3 niveaux comprenant des salles de cours, des bureaux d'administration et des laboratoires.
- 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	8h00	8h00	8h00	8h00	8h00	-	-
Fermeture	18h00	18h00	18h00	18h00	18h00	-	-

Le site comprend environ 900 personnes en général. Il est fermé aux étudiants 1 semaine en novembre, 2 semaines en décembre, 1 semaine en février et 2 mois l'été. Les bureaux de l'administration restent occupés (sauf à Noël et 3 semaines l'été).

<sup>3</sup> 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 généralement faible dans les bureaux à cause des infiltrations d'air froid au niveau des fenêtres (très faible étanchéité à l'air). Dans les salles de classe et les laboratoires, le confort hivernal est bon dans l'ensemble.
Estival		Le confort estival est généralement bon sur le site. Des brise-soleil sont présents au niveau des ouvrants du R+1. Des stores intérieurs sont également présents dans l'ensemble des salles. Cependant le hall entièrement vitré du bâtiment UFR est source d'inconfort estival.
Lumineux		Le confort lumineux est très bon. Les apports naturels sont relativement importants du fait de surfaces vitrées conséquentes.
Acoustique		Aucune source d'inconfort n'a été relevée lors de la visite.
Renouvellement d'air (ventilation)		L'ensemble du site est ventilé mécaniquement.
Etanchéité à l'air		Le niveau de l'étanchéité des ouvrants est faible. Les menuiseries sont d'origine et ne sont plus très étanches à l'air ponctuellement. Les joints des menuiseries du hall vitré ne sont plus présents.
Légende :		Confort faible
		Confort moyen
		Confort bon
		Confort très bon

### 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
Eau chaude sanitaire	X	
Eclairage	X	
Bureautique	X	
Auxiliaires de chauffage	X	
Autres usages élec.	X	

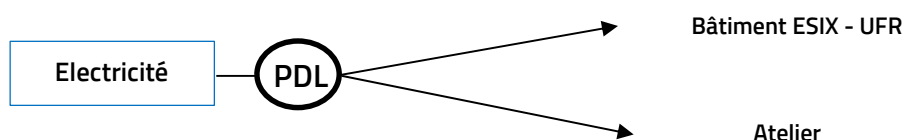
#### 3.2 Description de l'approvisionnement en électricité

##### 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 Atelier – ESIX/UFR	Électricité	-	-	-	-	-

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



PDL : Point de livraison

**Nota :** Le bâtiment Atelier est raccordé au compteur électrique général du bâtiment ESIX-UFR. Il n'y a pas de sous-comptage électrique pour le bâtiment Atelier. De ce fait, une répartition des consommations électriques basée sur la simulation a été réalisée. La répartition est la suivante :

- > ESIX-UFR : 94%
- > Atelier mécanique et métallurgie : 6%

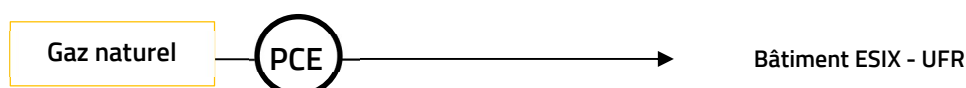
## 3.1 Description de l'approvisionnement en gaz naturel

### 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 – ESIX/UFR	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 (hors atelier).

Consommations énergétiques réelles		2019	Moyenne corrigée DJU
Gaz naturel	Consommations (kWhEF)	447 255	459 457
	Emissions de CO <sub>2</sub> (kg <sub>éq-CO2</sub> )	104 658	107 513
	Dépenses (€ <sup>TTC</sup> )	37 730	38 760
	Coût unitaire (€TTC/kWh)	0,08	
Electricité	Consommations (kWhEF)	216 049	216 049
	Emissions de CO <sub>2</sub> (kg <sub>éq-CO2</sub> )	18 148	18 148
	Dépenses (€ <sup>TTC</sup> )	43 210	43 210
	Coût unitaire (€TTC/kWh)	0,20	

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

#### Commentaires :

- > Les consommations de gaz naturel et d'électricité représentées ci-dessus proviennent directement des compteurs généraux du bâtiment. 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 extérieur isolé ITI		Surface	U	P	V
	Type :	Béton plein	2 205 m²	0,41	2
	Epaisseur :	20 cm			
	Mise en œuvre de l'isolation :	Isolation par l'intérieur			
	Isolant :	Polystyrène expansé			
	Epaisseur d'isolation :	8 cm			
	Pathologies :	Présence de salissures localisées			
	Garde-fou RTex 2023 (R) :	3.2			
	Localisation :				


Menuiserie						
Brique de verre			Surface	Uw	P	V
	Matériau et vitrage :	Briques de verre ancienne	86 m²	3,50	1	2
	Etanchéité :	Moyenne				
	Remplissage :	Air				
	Garde-fou RTex 2023 (Uw) :	1.9				
	Localisation :		Escalier UFR			
Façade rideau hall UFR			Surface	Uw	P	V
	Matériau et vitrage :	Aluminium / Simple vitrage	190 m²	5,0	0	0
	Etanchéité :	Mauvaise				
	Garde-fou RTex 2023 (Uw) :	1.9				
	Pathologies :	Défaut d'étanchéité à l'air (absence de joint)				
	Localisation :		Hall UFR RDC			



Fenêtre PVC 4/10/4		Surface	Uw	P	V	
	Matériau et vitrage :	PVC / Double vitrage lame d'air 10 mm	292 m²	2,80	1	2
	Etanchéité :	Faible				
	Remplissage :	Air				
	Occultation :	Stores intérieurs				
	Matériau occultation :	Textile				
	Garde-fou RTex 2023 (Uw) :	1.9				
	Localisation :		RDC ESIX/UFR			
Fenêtre aluminium 4/10/4		Surface	Uw	P	V	
	Matériau et vitrage :	Aluminium / Double vitrage lame d'air 10 mm	726 m²	3,90	1	2
	Etanchéité :	Faible				
	Remplissage :	Air				
	Occultation :	Stores intérieurs				
	Matériau occultation :	Textile				
	Garde-fou RTex 2023 (Uw) :	1.9				
	Localisation :		R+1 ESIX/UFR			

Plancher bas						
Plancher bas sur extérieur UFR		Surface	U	P	V	
	Type :	Dalle béton	563 m²	0,39	1	2
	Epaisseur :	20 cm				
	Mise en œuvre de l'isolation :	Isolation en sous face				
	Isolant :	Flocage coupe-feu				
	Epaisseur d'isolation :	10 cm				
	Garde-fou RTex 2023 (R) :	3				
	Localisation :		Plancher R+1 UFR			
Plancher bas sur extérieur ESIX		Surface	U	P	V	
	Type :	Dalle béton	208 m²	0,36	1	2
	Epaisseur :	20 cm				
	Mise en œuvre de l'isolation :	Isolation en sous face				
	Isolant :	Fibrastyrène				
	Epaisseur d'isolation :	10 cm				
	Garde-fou RTex 2023 (R) :	3				
	Localisation :		Plancher R+1 ESIX			

Plancher bas sur local non chauffé UFR		Surface	U	P	V
	Type :	Dalle béton	2 107 m²	1,36	0
	Epaisseur :	20 cm			
	Mise en œuvre de l'isolation :	Aucune isolation			
	Isolant :	Aucun			
	Position :	Sur vide sanitaire enterré			
	Ventilation du local non chauffé :	Local peu ventilé			
	Garde-fou RTex 2023 (R) :	3			
Localisation :		Sous-sol UFR			
Plancher bas sur local non chauffé ESIX		Surface	U	P	V
	Type :	Dalle béton	1 910 m²	0,40	1
	Epaisseur :	20 cm			
	Mise en œuvre de l'isolation :	Isolation en sous face			
	Isolant :	Polystyrène expansé			
	Epaisseur d'isolation :	4 cm			
	Position :	Sur vide sanitaire enterré			
	Ventilation du local non chauffé :	Local peu ventilé			
Garde-fou RTex 2023 (R) :	3				
Localisation :		Sous-sol ESIX			




Plancher haut					
Toiture-terrasse		Surface	U	P	V
	Type :	Dalle béton	4 798 m²	0,30	2
	Epaisseur :	20 cm			
	Mise en œuvre de l'isolation :	Isolation par-dessus			
	Isolant :	Laine de verre			
	Epaisseur d'isolation :	12 cm			
	Etanchéité :	Bitumineuse			
	Garde-fou RTex 2023 (R) :	4.5			
	Localisation :				

**Commentaires :**

- > La performance énergétique du bâtiment est moyenne dans l'ensemble. Aucun travaux n'a été réalisé sur le bâti depuis la construction.
- > Les parois verticales sont isolées par l'intérieur avec 8 cm d'isolant. La performance des murs peut être améliorée mais engendra peu de gains énergétiques.
- > Les menuiseries du bâtiment sont en double vitrage 4/10/4 dont le cadre varie (PVC ou aluminium). Les menuiseries du hall vitré de l'UFR sont en simple vitrage avec une très faible étanchéité à l'air (absence de joint sur certaines portions). L'ensemble des menuiseries est peu étanche.
- > Le plancher bas des deux bâtiments donne sur vide-sanitaire accessible. Celui de l'ESIX est isolé en sous-face avec 4cm et celui de l'UFR ne dispose d'aucune isolation. Les parois sont peu performantes. Un ajout/reprise d'isolant permettrait de réduire les déperditions à travers ces surfaces.
- > Les planchers de type toiture-terrasse dalle béton. L'ensemble dispose d'une isolation par-dessus d'une épaisseur de 12cm. La toiture est moyennement performante et en bon état.

## 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	
	Extracteur :	Classique	
	Locaux desservis :	Salles de cours, bureaux, sanitaires	
	Nombre :	11	
	Localisation :	Toiture RDC	
Sorbonnes		P	V
	Technologie :	Autoréglable	
	Extracteur :	Classique	
	Locaux desservis :	Laboratoires ESIX	
	Nombre :	6	
	Localisation :	Toiture RDC	
CTA double flux		P	V
	Technologie :	CTA DF avec récupération d'énergie et sans caisson de mélange	
	Batterie chaude :	Hydraulique	
	Locaux desservis :	Hall UFR et ESIX, amphithéâtres UFR et ESIX	
	Nombre :	2	
	Localisation :	Locaux techniques UFR et ESIX	

#### 4.2.1.2 Descriptions de la régulation de la ventilation

Régulation centrale ventilation			
Fonctionnement permanent salles de cours/bureaux		P	V
-	Technologie : Fonctionnement permanent	0	2
	Programmation : Sans objet		
	Locaux desservis : Sanitaires		
Horloge simple		P	V
-	Technologie : Horloge simple	2	2
	Programmation : Hebdomadaire		
	Performance régulation : Optimisée		
	Locaux desservis : Amphithéâtres et hall		
Fonctionnement permanent sanitaires		P	V
-	Technologie : Fonctionnement permanent	2	2
	Programmation : Sans objet		
	Locaux desservis : Sanitaires		


#### Commentaires :



- > L'ensemble du site est ventilé mécaniquement par des CTA dans les halls et les amphithéâtres, des sorbonnes dans les salles de TP et des extracteurs simple flux dans les bureaux et salles de cours.
- > Seules les CTA sont équipées d'une horloge avec une programmation adaptée à l'usage des locaux. L'extraction réalisée par les sorbonnes et les extracteurs simple flux fonctionne en permanence.
- > La mise en place de CTA double flux avec récupération de chaleur dans tous les locaux permettrait de respecter les taux d'air neuf réglementaires tout en récupérant les calories sur l'air extrait.



## 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			
Chaudière		P	V
	Energie :	Gaz naturel	
	Puissance thermique :	320 kW	
	Technologie :	Condensation	
	Année :	2014	
	Nombre :	2	
	Localisation :	Chaufferie	
		3	2


Auxiliaire de chauffage			
Pompe débit constant		P	V
	Technologie :	Pompe à débit constant	
	Nombre :	2	
	Localisation :	Chaufferie	
		1	2
Pompe débit variable		P	V
	Technologie :	Pompe à débit variable	
	Nombre :	7	
	Localisation :	Chaufferie	
		3	2


Distribution de chaleur			
Equilibrage		P	V
	Organe d'équilibrage :	Présent	
	Technologie :	Bon état	2
	Localisation :	Chaufferie	
Réseaux de chauffage		P	V
	Technologie :	Présence de calorifuge sur l'ensemble des réseaux	2
	Localisation :	Chaufferie	

Commentaires :	
<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Le site compte une chaufferie ainsi qu'une sous-station.</li> <li>&gt; Les chaudières ont été remplacées en 2014 par des chaudières à condensation.</li> <li>&gt; Les réseaux sont correctement calorifugés et permettent de réduire les pertes thermiques.</li> </ul>	

### 5.1.2 Description des systèmes d'émission de chauffage

Emission de chaleur			
Plancher chauffant		P	V
-	Energie :	Hydraulique	
	Technologie :	Plancher chauffant basse température	2
	Localisation :	Hall RDC UFR	
Soufflage depuis une CTA		P	V
	Position :	Bouche de soufflage plafonnière	2
	Localisation :	Amphithéâtres, hall RDC UFR et ESIX	
Radiateur acier		P	V
	Energie :	Hydraulique	
	Technologie :	Radiateur	2
	Matériau :	Acier	
	Localisation :	Ensemble du bâtiment	


Régulation terminale chauffage			
Robinet thermostatique		P	V
	Technologie :	Robinets thermostatiques récents	3
	Localisation :	Ensemble du bâtiment	

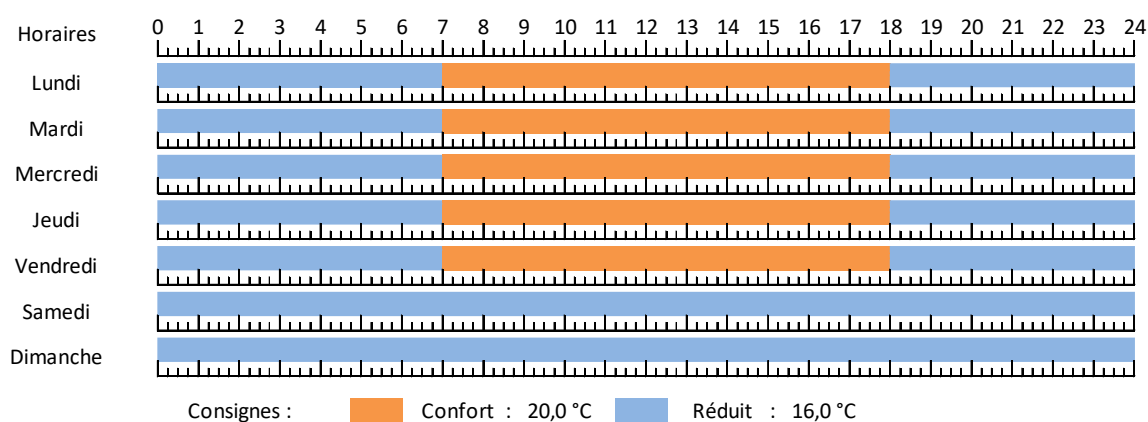
Thermostat d'ambiance simple		P	V
	Technologie : Thermostat d'ambiance	2	2
	Localisation : Amphithéâtres, hall RDC UFR et ESIX		

**Commentaires :**

- > Le site est chauffé en majorité par des radiateurs hydrauliques équipés par des robinets thermostatiques. Ce type d'émission est performant et permet une régulation au plus proche des besoins.
- > Le hall du bâtiment UFR est équipé d'un plancher chauffant hydraulique. Ce type d'émetteur est performant mais les performances thermiques du hall (étanchéité des menuiseries très faible) font que la chaleur est vite dissipée à l'extérieur, laissant le hall très souvent froid.
- > Enfin, les deux amphithéâtres et les halls sont chauffés directement par soufflage d'air chaud depuis les CTA. Ces émetteurs sont adaptés à l'usage.

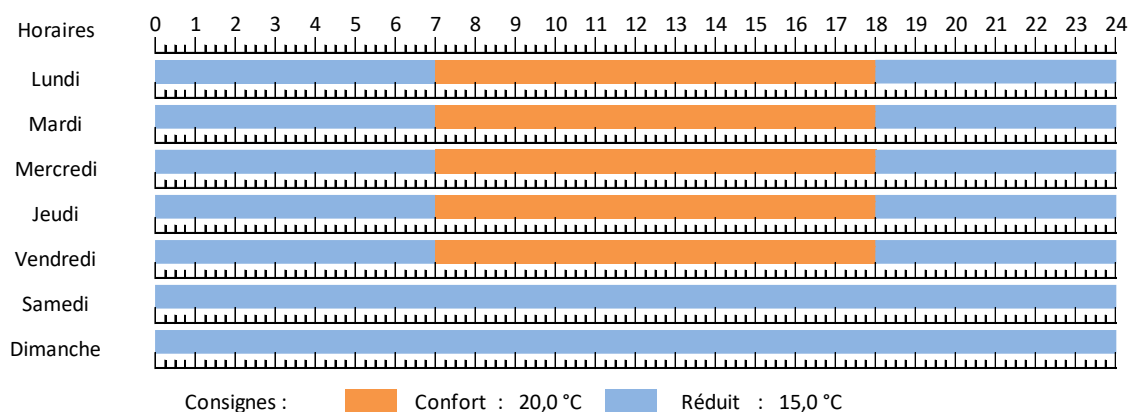
### 5.1.2.1 Description de la régulation de chauffage

Régulation centrale chauffage			
Régulation centrale		P	V
	Technologie : GTC	3	3
	Programmation : Hebdomadaire		
	Nombre de départs réglés : 9		
	Nombre : 1		
Localisation : Chaufferie			

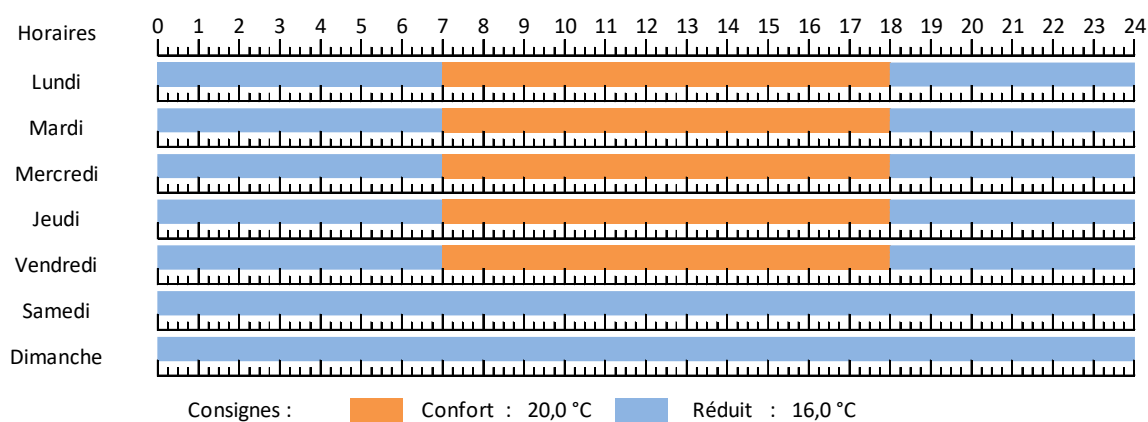
**Départs en chaufferie**
*Planning de fonctionnement du chauffage radiateurs :*




### Planning de fonctionnement du chauffage CTA amphithéâtres :



### Planning de fonctionnement du chauffage plancher chauffant





### Commentaires :

- > Le système de chauffage est géré depuis une GTC.
- > Ce type régulation permet d'avoir un contrôle à distance du système de chauffage et 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 hors gel
- > Les températures de consigne n'ont pas pu être observées, par conséquent celles-ci ont été prises en hypothèse.




## 5.2 Description de la production de refroidissement

Production de froid			
Unité de climatisation		P	V
	Type :	Monosplit	
	Puissance froid :	0 kW	
	Technologie :	3,5 > EER >= 3	2
	Position :	Terrasse	
	Nombre :	3	2
Localisation :		Toiture RDC	


Emission de froid			
Ventilo-convecteurs froid		P	V
	Energie :	Hydraulique	
	Technologie :	2 tubes (refroidissement seul)	2
	Position :	Plafonnière	
	Localisation :	Local baie informatique	

Régulation centrale froid			
Régulation centrale froid		P	V
-	Technologie :	Fonctionnement permanent	0
			2

Régulation terminale froid			
Régulation terminale		P	V
	Technologie :	Thermostat d'ambiance	
	Nombre :	3	2
	Localisation :	Local baie informatique	

Commentaires :	
<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Des systèmes de production de froid sont présents en toiture.</li> <li>&gt; Le local baie informatique est climatisé par des ventilo-convecteurs fonctionnant en permanence.</li> <li>&gt; Des thermostats d'ambiance permettent de contrôler la température intérieure du local.</li> </ul>	

### 5.3 Description de la production d'Eau Chaude Sanitaire

Production ECS			
Ballon électrique		P	V
	Nombre :	7	
	Type de production :	Décentralisée	2
	Technologie :	Adaptée à l'usage	2
	Localisation :	Salle de cours et sanitaires	




#### Commentaires :


- > Des ballons électriques sont présents dans certaines salles de cours ainsi que dans les sanitaires.
- > 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 T8		P	V
	Technologie :	Tube fluorescent T8	
	Type de luminaire :	Tube	
	Locaux desservis :	Salle de cours RDC ESIX, locaux techniques, locaux de stockage	
		1	2
Lampe fluocompacte		P	V
	Technologie :	Lampe fluocompacte	
	Type de luminaire :	Ampoule	
	Locaux desservis :	Sanitaires ESIX/UFR, hall UFR, circulations ESIX et UFR	
		2	2
Dalles LED		P	V
	Technologie :	Luminaires LED	
	Type de luminaire :	Dalle	
	Locaux desservis :	Bureaux ESIX, salles de cours UFR et ESIX, circulations UFR et ESIX, amphithéâtres ESIX et UFR	
		3	2

Pilotage terminal éclairage			
Interrupteur manuel		P	V
	Technologie :	Interrupteur manuel	
	Localisation :	Ensemble du bâtiment	
		1	2

Commentaires :	
<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Diverses typologies d'éclairage sont installées dans le bâtiment. La majorité du bâtiment est éclairé par des luminaires LED performants ou tubes fluorescents T8 économes.</li> <li>&gt; Le pilotage d'éclairage s'effectue par des interrupteurs sur tout le site.</li> </ul>	

## 6.2 Description des autres usages

Autres usages			
Autres usages		P	V
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipement de bureautique</li> <li>- Equipement de cuisine</li> <li>- Etc....</li> </ul>	2	2

### Commentaires :

- > Plusieurs équipements pouvant impacter la consommation énergétique sont aussi présents sur le site. Ils ont un impact majoritairement sur les consommations électriques.

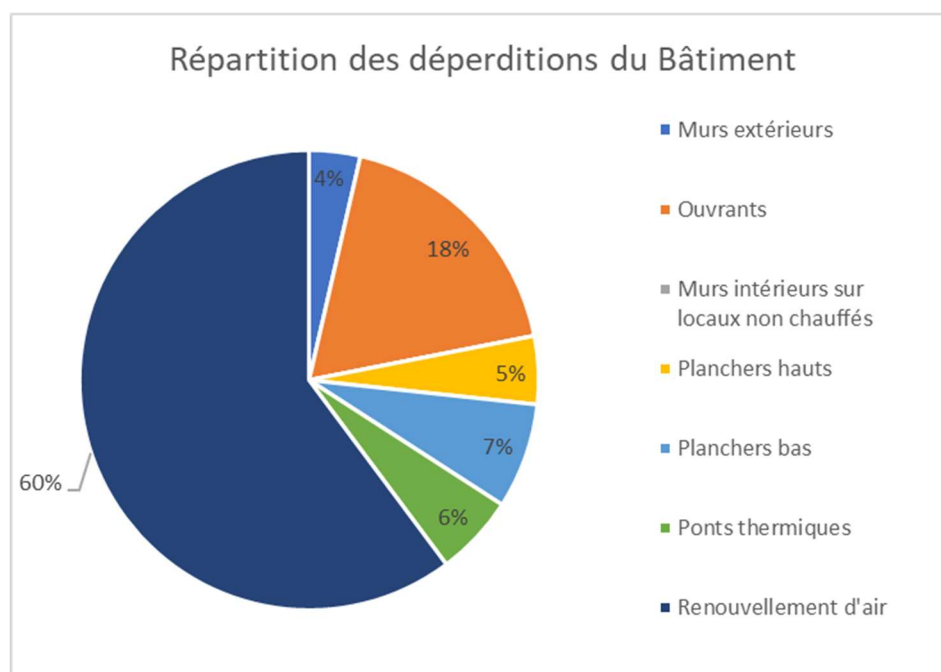
## 7 ETUDE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES

### 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 0,15 vol/h soit un équivalent Q4 de 2,2 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>. 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	
19 4%	99 18%	0 0%	26 5%	40 7%	31 6%	324 60%	538



#### Commentaires :

- > Le poste le plus déperditif est celui du renouvellement d'air avec 60% des déperditions totales. La majeure partie des locaux est ventilée mécaniquement et les débits de ventilation sont importants. Une faible partie de l'air ventilé est recyclée dans les amphithéâtres ainsi les calories de l'air extrait sont récupérées ce qui permet de réduire les déperditions liées au renouvellement d'air. Une généralisation de ce système de ventilation dans les locaux d'enseignement et administratif permettrait de bien réduire les déperditions liées au renouvellement d'air.
- > Les ouvrants représentent 18% des déperditions totales. Les ouvrants représentent une surface significative des parois verticales. L'ensemble a des performances moyennes, excepté dans le hall UFR où les menuiseries sont en simple vitrage et très peu étanches à l'air. Leur remplacement diminuera les déperditions tout en améliorant le confort des usagers.

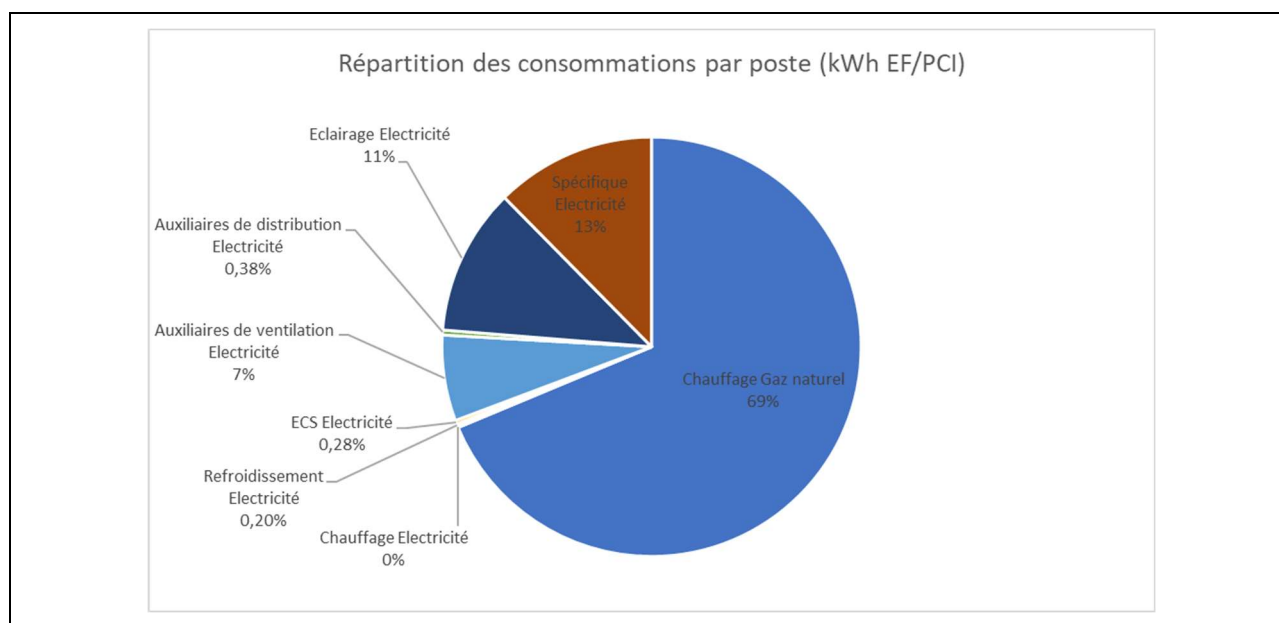
- > Les murs extérieurs génèrent 10% des déperditions totales (murs extérieurs + ponts thermiques). L'ensemble est isolé par l'intérieur avec 8cm d'isolant. Leur performance thermique peut être améliorée en réalisant une isolation par l'extérieur.
- > 7% des déperditions sont dues aux plancher bas. Ces derniers donnent sur un vide-sanitaire. Celui du bâtiment UFR ne dispose d'aucune isolation tandis que celui du bâtiment ESIX est faiblement isolé en sous-face (4cm de flochage coupe-feu). Les parois sont très peu performantes. Une reprise/mise en place d'une isolation permettrait de réduire les déperditions à travers ces surfaces.
- > Les planchers hauts sont responsables de 5% des déperditions totales. Les toitures disposent d'une isolation sous étanchéité de moyenne performance. De plus, Les toitures représentent une grande surface de parois déperditives, la reprise de l'isolation viendra réduire les consommations de chauffage.

## 7.2 Analyse des consommations simulées

Le récapitulatif des simulations est présenté dans le tableau suivant :

Répartition des consommations		kWh EF/PCI	kWh EP/PCI	kg CO <sub>2</sub>	€TTC
Usage	Energie				
Chauffage	Gaz naturel	481 537	481 537	112 680	40 622
Chauffage	Electricité	591	1 524	106	118
Refroidissement	Electricité	1 346	3 473	54	269
ECS	Electricité	1 920	4 953	77	384
Auxiliaires de ventilation	Electricité	39 593	102 150	3 326	7 919
Auxiliaires de distribution	Electricité	3 226	8 323	271	645
Eclairage	Electricité	86 225	222 459	7 243	17 245
Spécifique	Electricité	88 234	227 642	7 412	17 647

<b>TOTAL</b>		<b>702 671</b>	<b>1 052 062</b>	<b>131 168</b>	<b>84 849</b>
--------------	--	----------------	------------------	----------------	---------------



Campus Cherbourg – ESIX – UFR	Etiquette Energie - DJU Moyenne classique		Etiquette Climat	
	150	<b>C</b>	19	<b>C</b>

### Commentaires :

- > Le poste de chauffage est le poste le plus consommateur de ce bâtiment. En effet, le chauffage représente 69% de la consommation car l'enveloppe du bâtiment et le système de ventilation sont peu performants.
- > La consommation électrique ne représente que 31% 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	447 255	5%
Consommations simulées de chauffage	468 798	

#### 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	216 049	2%
Consommations simulées d'électricité	221 118	

#### 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

#### *Contraintes, inconvénients / Opportunités, avantages*

##### *Sur le bâti*

- 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 bas et des refends.
- Les menuiseries ont de faibles performances dans l'ensemble. Le remplacement de ces menuiseries par des ouvrants performants ( $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) permettrait de réduire considérablement 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 liées à ce poste représentant une importante surface de déperditions.
- Les déperditions thermiques des planchers bas sont importantes, du fait de l'absence d'isolation sur le plancher du bâtiment UFR. Le plancher bas du bâtiment ESIX dispose quant à lui une faible épaisseur d'isolant. Les parois sont peu performantes.

##### *Sur le renouvellement d'air*

- L'entièreté du site est ventilée mécaniquement. Les classes, les bureaux et laboratoires sont ventilés par des extracteurs simple flux. Les amphithéâtres et les halls sont ventilés par des systèmes double flux équipés de récupération d'énergie. Les débits d'air sont constants et permettent un renouvellement d'air hygiénique pour les occupants.
- Une généralisation de système double flux avec récupération d'énergie pour les zones d'enseignement et d'administration permettrait d'améliorer le confort des usagers et réduire les déperditions thermiques liées au renouvellement d'air.

## 8.2 Tableau de synthèse

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

	PERF.  Rentabilité énergétique  kWh <sub>EF</sub> / k€ <sub>investi</sub>	TRA  ans	ECONOMIE				ENVIRONNEMENT				Scénarios	
			Coût des travaux		Valorisation	Economie annuelle	Economie annuelle		CO <sub>2</sub> évité		SC1	SC2
			€HT	€HT/m <sup>2</sup>	CEE €	€TTC	Énergie FINALE		annuellement			
							kWh EF/PCI	%	t <sub>eq</sub> -CO2	%		
Reprise de l'isolation par l'intérieur <b>ESIX</b> (R=5 m².K/W)	49	>30	220 000	38	22 809	909	10 737	2%	3	2%		
Reprise de l'isolation par l'intérieur <b>UFR</b> (R=5 m².K/W)	45	>30	177 000	30	18 377	669	7 885	1%	2	1%		X
Mise en place d'une isolation par l'extérieur <b>ESIX</b> (R=5 m².K/W)	43	>30	595 000	102	37 107	2 145	25 317	4%	6	5%		X
Mise en place d'une isolation par l'extérieur <b>UFR</b> (R=5 m².K/W)	39	>30	454 000	78	28 304	1 505	17 744	3%	4	3%		
Remplacement des façades rideaux simple vitrage du hall <b>UFR</b> (Uw = 1,5 W/m².K)	45	>30	266 000	45	2 550	1 020	11 972	2%	3	2%	X	X
Remplacement des menuiseries double vitrage (Uw = 1,3 W/m².K)	101	>30	815 000	139	13 687	6 993	82 512	12%	19	15%	X	X
Reprise de l'isolation des toitures terrasses (R=7 m².K/W)	20	>30	865 000	148	52 972	1 438	16 943	2%	4	3%		X
Isolation du plancher bas sur VS <b>UFR</b> (R=4 m².K/W)	524	16	169 000	29	42 474	7 536	88 522	13%	21	16%	X	X

Reprise de l'isolation du plancher bas sur VS <b>ESIX</b> (R=4 m².K/W)	85	>30	153 000	26	38 502	1 103	13 029	2%	3	2%	X	X
Reprise de l'isolation du plancher bas sur extérieur (R=4 m².K/W)	74	>30	47 000	8	15 553	294	3 467	1%	1	1%	X	X
CTA double flux avec échangeur (75%) dans toutes les zones enseignement et administration	160	>30	841 000	144	10 475	7 136	134 700	20%	37	29%		

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 €/MWhcumac.

Les scénarios retenus prennent en compte uniquement des interventions "bâti". L'isolation des parois va entrainer une amélioration de la perméabilité à l'air du bâtiment (diminution des infiltrations d'air) et ainsi modifier son équilibre thermique. Afin d'éviter l'apparition de condensation sur les parois et d'assurer un renouvellement hygiénique de l'air il est fortement conseillé de combiner ces scénarios avec la mise en place de ventilation mécanique.

### 8.3 Détails des interventions

Interventions	Quantitatif et unité	Prix des travaux (€ <sup>HT</sup> )		Descriptif des travaux et contenu des travaux	Impact sur la pérennité du bâtiment et la qualité architecturale
		€HT	€ TDC		
Reprise de l'isolation par l'intérieur ESIX (R=5 m <sup>2</sup> .K/W)	1218 m <sup>2</sup>	220 000	352 000	Dépose de l'isolation existante. Dévoisement des réseaux électriques et hydrauliques. L'isolation par l'intérieur des murs de façade est réalisée par la mise en place de panneaux isolants en laine minérale. L'isolant possède un R= 5 m <sup>2</sup> .K/W. Mise en place des plinthes adaptées (carrelage ou bois). Reprise de la peinture intérieure des locaux.	Oui
Reprise de l'isolation par l'intérieur UFR (R=5 m <sup>2</sup> .K/W)	982 m <sup>2</sup>	177 000	283 200	Dépose de l'isolation existante. Dévoisement des réseaux électriques et hydrauliques. L'isolation par l'intérieur des murs de façade est réalisée par la mise en place de panneaux isolants en laine minérale. L'isolant possède un R= 5 m <sup>2</sup> .K/W. Mise en place des plinthes adaptées (carrelage ou bois). Reprise de la peinture intérieure des locaux.	Oui
Mise en place d'une isolation par l'extérieur ESIX (R=5 m <sup>2</sup> .K/W)	1982 m <sup>2</sup>	595 000	952 000	Pose d'un échafaudage et préparation des surfaces (lavage et décontamination) des supports et réparation des dégradations. 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 m <sup>2</sup> .K/W. 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.	Oui
Mise en place d'une isolation par l'extérieur UFR (R=5 m <sup>2</sup> .K/W)	1512 m <sup>2</sup>	454 000	726 400	Pose d'un échafaudage et préparation des surfaces (lavage et décontamination) des supports et réparation des dégradations. 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 m <sup>2</sup> .K/W. Traitement des encadrements de baies par retour de l'isolation des façades	Oui

				courantes. L'isolation sera plus fine (quelques centimètres d'épaisseur) en fonction du cadre des menuiseries extérieures.	
Remplacement des façades rideaux simple vitrage du hall UFR ( $U_w = 1,5 \text{ W/m}^2.K$ )	190 m <sup>2</sup>	266 000	425 600	Dépose totale des façades rideaux existantes donnant sur le hall bâtiment UFR. Remplacement des menuiseries par des menuiseries en aluminium avec un double-vitrage peu émissif avec remplissage argon, respectant une performance thermique de $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2.K$ . Mise en place des menuiseries au nu extérieur de la maçonnerie en cas de mise en place d'isolation par l'extérieur de manière à limiter les ponts thermiques et assurer l'étanchéité du complexe.	Oui
Remplacement des menuiseries double vitrage ( $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2.K$ )	1018 m <sup>2</sup>	815 000	1 304 000	Dépose totale des menuiseries existantes donnant sur les classes et les bureaux d'administration. 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 volets roulants seront mis en place sur toutes les menuiseries. En complément, les menuiseries orientées vers le sud devront avoir un facteur solaire faible.	Oui
Reprise de l'isolation des toitures terrasses ( $R=7 \text{ m}^2.K/W$ )	4798 m <sup>2</sup>	865 000	1 384 000	Dépose et repose des équipements présents sur la toiture terrasse (Une intervention simultanée liée à la ventilation peut permettre de mutualiser ces coûts). Dépose de l'étanchéité actuelle et de l'isolant. Mise en place d'un isolant de résistance thermique $R= 7,5 \text{ W/m}^2.K$ . Réhausse des acrotères. Mise en place d'une étanchéité de type bitume. Mise en place des gardes corps fixes (toiture-terrasse accessible UFR)	Oui

Isolation du plancher bas sur VS UFR (R=4 m <sup>2</sup> .K/W)	2107 m <sup>2</sup>	169 000	270 400	Mise en place d'un isolant par des panneaux roulants disposant d'un R=4 m <sup>2</sup> .K/W au plafond des sous-sols, vide sanitaire. Abaissement des réseaux circulant en plafond (hydrauliques, électriques, ...).	Oui
Reprise de l'isolation du plancher bas sur VS ESIX (R=4 m <sup>2</sup> .K/W)	1910 m <sup>2</sup>	153 000	244 800	Dépose de l'isolation existante. Mise en place d'un isolant par des panneaux roulants disposant d'un R=4 m <sup>2</sup> .K/W au plafond des sous-sols, vide sanitaire. Abaissement des réseaux circulant en plafond (hydrauliques, électriques, ...).	Oui
Reprise de l'isolation du plancher bas sur extérieur (R=4 m <sup>2</sup> .K/W)	771 m <sup>2</sup>	47 000	75 200	Dépose de l'isolation existante. Mise en place d'un isolant par des panneaux roulants disposant d'un R=4 m <sup>2</sup> .K/W	Oui

CTA double flux avec échangeur (75%) dans les toutes les zones enseignement et administration	39 109 m <sup>3</sup>	841 000	1 345 600	<p>Mise en place de CTA double flux avec échangeur thermique (rendement des échangeurs de 75 %) pour les bureaux/salles de cours en toiture.</p> <p>Création des réseaux aérauliques avec passage des conduites verticaux dans les gaines techniques et raccordement aux CTA. 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 m<sup>3</sup> /h par occupant dans les salles de classes, 25 m<sup>3</sup> /h par occupant dans bureaux.</p>	<b>Non</b>
---	-----------------------	---------	-----------	---	------------

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 des façades rideaux simple vitrage du hall UFR ( $U_w = 1,5 \text{ W/m}^2.K$ )	266 000	€HT
Remplacement des menuiseries double vitrage ( $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2.K$ )	815 000	€HT
Isolation du plancher bas sur VS UFR ( $R=4 \text{ m}^2.K/W$ )	169 000	€HT
Reprise de l'isolation du plancher bas sur VS ESIX ( $R=4 \text{ m}^2.K/W$ )	153 000	€HT
Reprise de l'isolation des planchers bas sur extérieur ( $R=4 \text{ m}^2.K/W$ )	47 000	€HT
Coût des travaux	1 450 000	€HT
	2 320 000	€TDC

#### 9.2.2 Résultats énergétiques

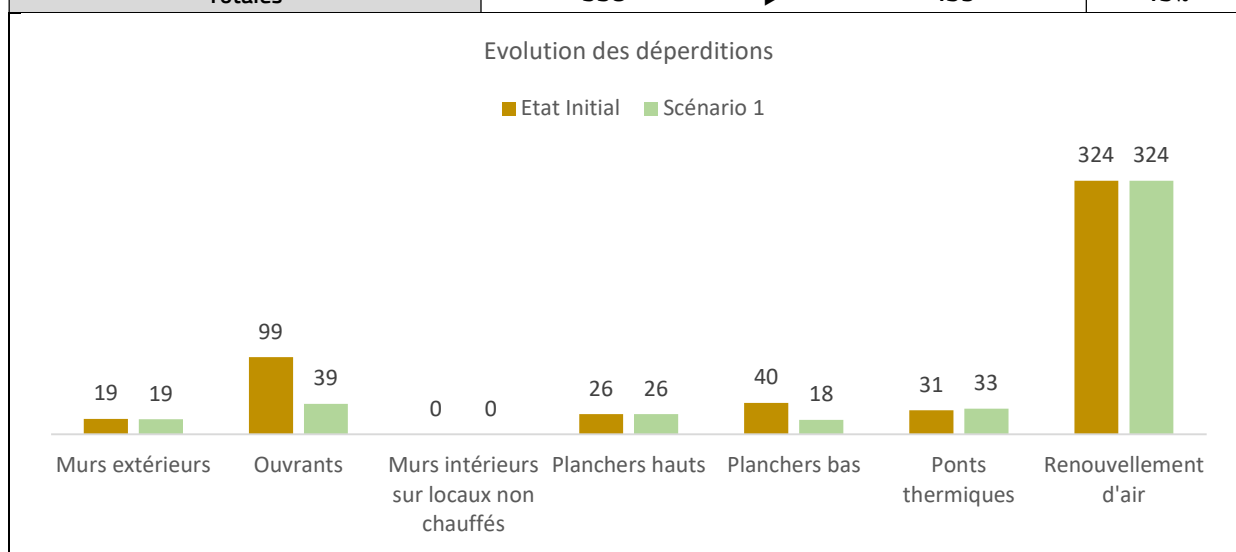
Evolution des consommations - Résultat selon la méthode réelle					Ecart	
Evolution de la classe énergie (kWhEP/m²SRT)	145	C	►	114	C	21%
Evolution de la classe climat (kgCO2/m²SRT)	18	C	►	11	B	39%



### 9.2.3 Evolution des déperditions

	Etat Initial	Scénario 1	Ecart
UBAT	0,73	0,57	36%

Déperditions en kW	Etat Initial	Scénario 1	Ecart
<i>Murs extérieurs</i>	19	19	0%
<i>Ouvrants</i>	99	39	61%
<i>Murs intérieurs sur locaux non chauffés</i>	0	0	0%
<i>Planchers hauts</i>	26	26	0%
<i>Planchers bas</i>	40	18	54%
<i>Ponts thermiques</i>	31	33	-7%
<i>Renouvellement d'air</i>	324	324	0%
<b>Totales</b>	<b>538</b>	<b>459</b>	<b>15%</b>



## 9.2.4 Evaluation des résultats

Scénario 1	
Performance environnementale	
Economie annuelle d'énergie primaire	21% soit 213 611 kWh EP/PCI
Economie annuelle d'énergie finale	31% soit 211 738 kWh EF/PCI
Emissions de CO <sub>2</sub> évitées	39% soit 49,391 Tonnes
Performance économique	
Impact sur les coûts énergétiques la première année (P1)	-17 999 €TTC
Impact sur la maintenance (P2)	0 €TTC
Impact sur les coûts de renouvellement des équipements (P3)	0 €TTC
CEE Mobilisables	14 095 764 kWh <sub>CUMAC</sub>
Valorisation CEE	112 766 €
Temps de retour sur investissement actualisé	37 années
Efficience	
Coût du kWh économisé	6,8 €HT investi/kWhEP
Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évité	29 357 €HT investi/tCO <sub>2</sub>
Dépenses annuelles	
Dépenses énergétiques	62 941 €TTC
Dépenses de maintenance	0 €TTC
Dépenses de renouvellement	0 €TTC

Performance environnementale	
Economie annuelle d'énergie primaire sur 30 ans	6 408 326 kWh EP/PCI
Economie annuelle d'énergie finale sur 30 ans	6 352 140 kWh EF/PCI
Emissions de CO <sub>2</sub> évitées sur 30 ans	1 482 Tonnes
Performance économique	
Dépenses énergétiques sur 30 ans	3 734 176 €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)	5 184 176 €TTC

## 9.3 Scénario 2

### 9.3.1 Synthèse

Dénomination	Coût	
Reprise de l'isolation par l'intérieur UFR ( $R=5 \text{ m}^2.K/W$ ) <sup>4</sup>	177 000	€HT
Mise en place d'une isolation par l'extérieur ESIX ( $R=5 \text{ m}^2.K/W$ )	595 000	€HT
Remplacement des façades rideaux simple vitrage du hall UFR ( $U_w = 1,5 \text{ W/m}^2.K$ )	266 000	€HT
Remplacement des menuiseries double vitrage ( $U_w = 1,3 \text{ W/m}^2.K$ )	815 000	€HT
Reprise de l'isolation des toitures terrasses ( $R=7 \text{ m}^2.K/W$ )	865 000	€HT
Isolation du plancher bas sur VS UFR ( $R=4 \text{ m}^2.K/W$ )	169 000	€HT
Reprise de l'isolation du plancher bas sur VS ESIX ( $R=4 \text{ m}^2.K/W$ )	153 000	€HT
Reprise de l'isolation des planchers bas sur extérieur ( $R=4 \text{ m}^2.K/W$ )	47 000	€HT
Coût des travaux	3 087 000	€HT
	4 939 200	€TDC

### 9.3.2 Résultats énergétiques

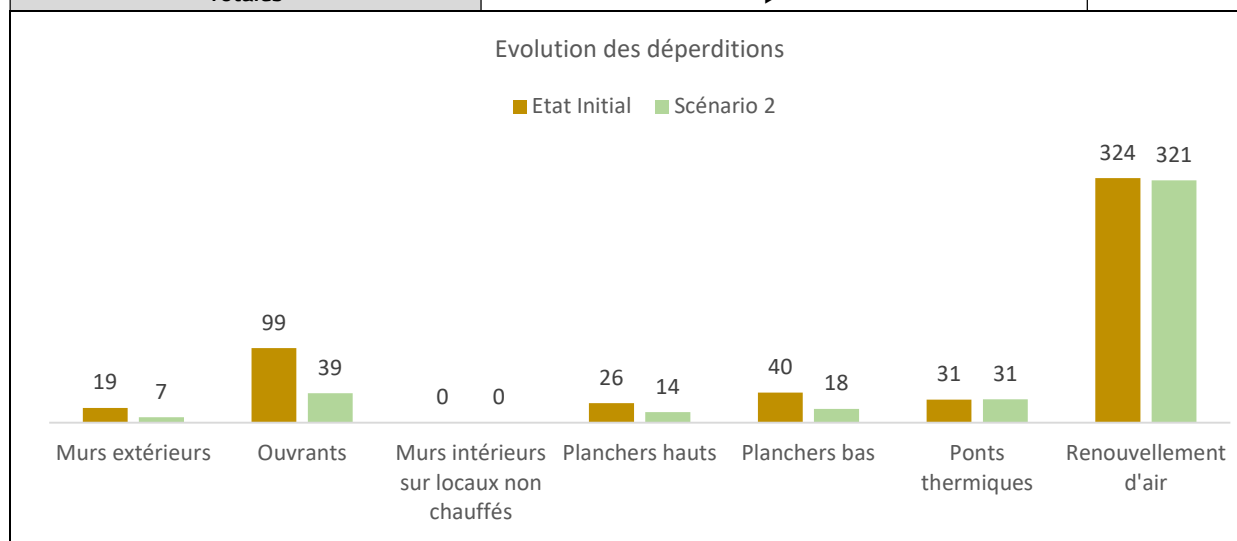
Evolution des consommations - Résultat selon la méthode réelle					Ecart	
Evolution de la classe énergie (kWhEP/m²SRT)	145	C	►	109	B	25%
Evolution de la classe climat (kgCO2/m²SRT)	18	C	►	10	B	46%

<sup>4</sup> La solution « Mise en place d'une isolation par l'extérieur » sur le bâtiment UFR n'est pas intéressante puisque le plancher du R+2 donne majoritairement sur l'extérieur. L'architecture n'est pas propice à la mise en place d'une ITE.

### 9.3.3 Evolution des déperditions

	Etat Initial	Scénario 2	Ecart
UBAT	0,74	0,38	49%

Déperditions en kW	Etat Initial	Scénario 2	Ecart
<i>Murs extérieurs</i>	19	7	62%
<i>Ouvrants</i>	99	39	61%
<i>Murs intérieurs sur locaux non chauffés</i>	0	0	0%
<i>Planchers hauts</i>	26	14	47%
<i>Planchers bas</i>	40	18	55%
<i>Ponts thermiques</i>	31	31	-1%
<i>Renouvellement d'air</i>	324	321	1%
<b>Totales</b>	<b>538</b>	<b>430</b>	<b>20%</b>



La perméabilité à l'air retenue pour le scénario est  $Q_4 = 1,7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ .

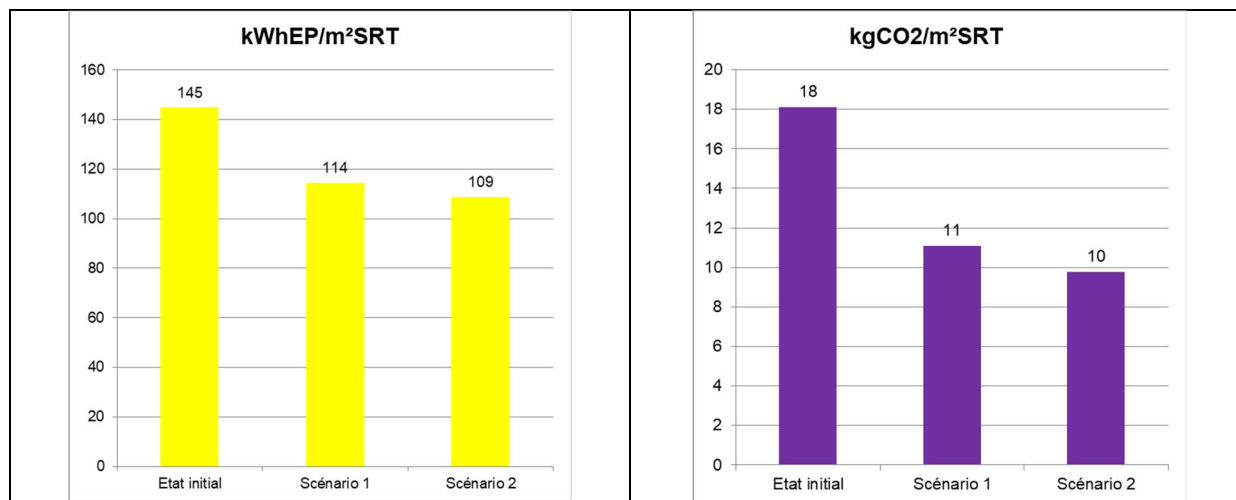
### 9.3.4 Evaluation des résultats

Scénario 2	
Performance environnementale	
Economie annuelle d'énergie primaire	25% soit 253 717 kWh EP/PCI
Economie annuelle d'énergie finale	37% soit 251 528 kWh EF/PCI
Emissions de CO <sub>2</sub> évitées	46% soit 59 Tonnes
Performance économique	
Impact sur les coûts énergétiques la première année (P1)	-21 379 €TTC
Impact sur la maintenance (P2)	0 €TTC
Impact sur les coûts de renouvellement des équipements (P3)	0 €TTC
CEE Mobilisables	27 652 759 kWh <sub>CUMAC</sub>
CEE Mobilisables	221 222 €
Temps de retour sur investissement actualisé	49 années
Efficience	
Coût du kWh économisé	12,2 €HT investi/kWhEP
Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évité	52 611 €HT investi/tCO <sub>2</sub>
Dépenses annuelles	
Dépenses énergétiques	59 561 €TTC
Dépenses de maintenance	0 €TTC
Dépenses de renouvellement	0 €TTC

Performance environnementale	
Economie annuelle d'énergie primaire sur 30 ans	7 611 525 kWh EP/PCI
Economie annuelle d'énergie finale sur 30 ans	7 545 840 kWh EF/PCI
Emissions de CO <sub>2</sub> évitées sur 30 ans	1 760 Tonnes
Performance économique	
Dépenses énergétiques sur 30 ans	3 533 655 €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)	6 620 655 €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 les parties du bâti les plus impactantes sur les consommations : l'isolation des planchers bas (sur extérieur et vide-sanitaire) ainsi que le remplacement intégral des menuiseries.

Le second bouquet permet de reprendre l'ensemble de l'enveloppe du bâtiment afin de réduire au maximum les déperditions pour ainsi réduire la consommation énergétique.

Les travaux d'isolation des planchers bas et le remplacement des menuiseries sont néanmoins jugés prioritaires. Ces deux interventions permettront d'améliorer le confort des occupants tout en réduisant considérablement les consommations de chauffage.

## 10 ANNEXES

### 10.1 Grandeurs utiles au diagnostic

#### 10.1.1 Conversion des unités énergétiques

L'ensemble des unités énergétiques sont ramenées en kWh<sub>EF</sub> dans l'étude afin de pouvoir les comparer :

Énergie	Unité d'origine	Facteur de conversion en kWh <sub>EF</sub>
Bois, Biomasse	1 T	3 000 à 5 000 (selon type : granulé, pellet...)
Electricité	1 kWh	1
Gaz naturel	1 kWh <sub>PCS</sub>	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 CO<sub>2</sub>

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 <sub>CO2</sub> /kWh <sub>EF</sub> ]
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

<b>BBC</b>	Bâtiments Basse Consommation
<b>DF</b>	Double Flux
<b>DV</b>	Double Vitrage
<b>EF, EP</b>	Energie Finale, Energie Primaire (kWh)
<b>ECS</b>	Eau Chaude Sanitaire
<b>EnR</b>	Energies Renouvelables
<b>DJU</b>	Degrés Jours Unifiés
<b>GTB/GTC</b>	Gestion Technique de Bâtiment/ Gestion Technique Centralisée
<b>K</b>	Degrés Kelvin
<b>LBC</b>	Lampe Basse Consommation
<b>PCI, PCS</b>	Pouvoir Calorifique Inférieur, Pouvoir Calorifique Supérieur
<b>PSE</b>	Polystyrène expansé
<b>R</b>	Résistance thermique des matériaux ( $m^2.K/W$ )
<b>RT</b>	Réglementation Thermique
<b>SF</b>	Simple Flux
<b>SV</b>	Simple Vitrage
<b>RDC</b>	Rez-de-chaussée
<b>U</b>	Coefficient de transmission surfacique global de la paroi ( $W/m^2.K$ )
<b>V3V</b>	Vanne 3 Voies
<b>VMC</b>	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 <sub>EP</sub> / kWh <sub>EF</sub> <sup>5</sup>
Bois, biomasse	0,60
Gaz naturel	1,00
Gaz propane	1,00
Electricité	2,58
Fioul	1,00

<sup>5</sup> 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.

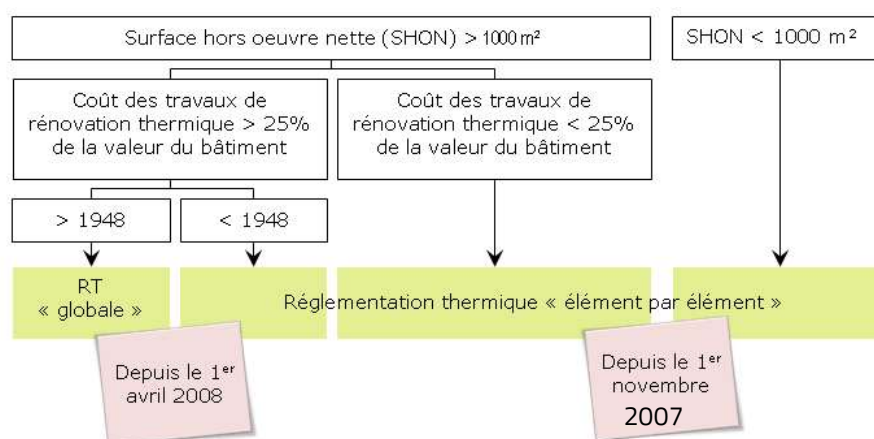
Elle repose sur les articles L. 111-10 et R.131-25 à R.131-28 du Code de la construction et de l'habitation ainsi que sur leurs arrêtés d'application.

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 m<sup>2</sup>, 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<sup>er</sup> novembre 2007.

Note : Le coût conventionnel des bâtiments autres que ceux usage principal d'habitation est de 1 466 €/m<sup>2</sup><sub>SRT</sub> (valeur pour le 1<sup>er</sup> semestre 2022<sup>6</sup>).



<sup>6</sup> Source : Fiche d'application du calcul de la valeur d'un bâtiment version 1.9, mis à jour le 14 janvier 2022.