



**AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE  
ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE  
DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE  
DE  
**MASTER EN GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE**

Présenté et soutenu publiquement le 17/07/2023 par

**Abdoul Mouizz Témitokpé Homero SAROUKOU (2019 0616)**

**Maître de stage : Ing. Julien SENS, Ingénieur chargé de projets à ECOBATingénierie**

**Encadrant 2iE : Dr. Ing. habil. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE (HDR),  
Maître de conférences CAMES**

Structure (s) d'accueil du stage : ECOBATingénierie

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : **Dr. Igor OUEDRAOGO**, Maître de conférences CAMES

Membres et correcteurs : **Dr. Y. Moussa SORO**, Enseignant – chercheur, Maître de Conférences CAMES  
**Dr. Ing. Aboubakar GOMNA**, Enseignant – chercheur

**Promotion [2022/2023]**

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

## **DEDICACES**

Je tiens à dédier ce modeste travail :

À ALLAH subhana wa ta'ala, pour sa grâce qu'il m'accorde  
tout au long de mon existence.

À mes parents Ibrahim SAROUKOU & Salamatou  
MAMADOU ainsi qu'à ma sœur Yessirath SAROUKOU et  
mon frère Farouk SAROUKOU pour leur amour, leur  
confiance et leur soutien inconditionnel.

À mes cousins Hassane MBYAS SAROUKOU & Hanzim  
SALET SAROUKOU qui ont grandement œuvré pour que je  
puisse poursuivre mon parcours universitaire après 7  
années sabbatiques à 2iE dans de bonnes conditions.

A Zélika Latifah YAMEOGO une amie et une camarade qui  
nous a quitté très tôt, que ton âme repose en paix et que le  
seigneur te compte parmi les bénéficiaires du paradis.

## Citations

“The longer you have to wait for something, the more you will appreciate it when it finally arrives. The harder you have to fight for something, the more priceless it will become once you achieve it. And the more pain you have to endure on your journey, the sweeter the arrival at your destination. All good things are worth waiting for and worth fighting for.”

– Susan Gale

## Remerciements

Mes remerciements vont à l'endroit de :

- L'ensemble du personnel pédagogique et administratif de l'Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) dirigé par le **Prof. El Hadji Bamba DIAW** pour m'avoir encadré et formé durant ces 3 dernières années.
- L'ensemble du personnel pédagogique et administratif de Polytech Annecy Chambéry pour m'avoir donné l'occasion d'effectuer dans de bonnes conditions, une année d'échange international au sein de cette école.
- **Dr. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE** pour avoir toujours été présent quand j'ai eu besoin de son soutien et de ses recommandations.
- L'ensemble du personnel d'ECOBAT Ingénierie dirigé par **Maxence DUHAMEL**, pour m'avoir accueilli et permis d'effectuer ce stage dans de bonnes conditions.
- Mes tuteurs de stages **Julien SENS**, **Antonin BOBAN**, **Nathan VANHOUTTE**, **Wilfried DURAND** et **Pierrick SPROCQ** pour m'avoir accompagné et guidé dans mes travaux. Travailler avec vous a été un honneur et un grand plaisir pour moi. Je vous remercie pour la disponibilité, les explications et la confiance.
- A tous ceux qui ont d'une manière ou d'une autre contribué à la réalisation de ce travail et qui n'ont pas été mentionnés.

## **Résumé**

En France, le secteur du bâtiment représente 44% de la consommation énergétique. Pour mieux faire face aux enjeux économiques et environnementaux liés à ce secteur, le gouvernement a mis en place des réglementations. Le décret tertiaire est une obligation réglementaire qui impose des réductions de consommations en énergies finales aux acteurs du tertiaire. L'objectif de ce travail est de faire l'audit d'un bâtiment assujéti. À travers cette étude nous faisons une analyse fine du bâtiment et des équipements afin de déterminer ces faiblesses. Il ressort de notre analyse que les principales faiblesses du bâtiment se trouvent au niveau de l'enveloppe du bâti, le renouvellement de l'air et la régulation du système de chauffage. Pour atteindre les objectifs, des actions individuelles ont été identifiées, simulées et étudiées d'un point de vue énergétique et environnemental afin d'évaluer leurs impacts et les classer par ordre de priorité. Dans la suite de l'étude, les actions individuelles sont croisées entre elles pour obtenir trois bouquets de travaux qui permettent de respecter les obligations de réduction de consommation fixées pour les années cibles 2030, 2040 et 2050. Chaque bouquet de travaux est caractérisé en termes de gains énergétiques, environnementaux et financiers mais aussi en termes de coût et de retour sur investissement afin de faciliter l'aide à la décision de la maîtrise d'ouvrage.

### **Mots Clés :**

- 
- 1 – Consommation énergétique**
  - 2 – Décret tertiaire**
  - 3 – Audit énergétique**
  - 4 – Enveloppe du bâti**
  - 5 – Travaux de rénovation**

## Abstract

In France, the building sector represents 44% of energy consumption. In order to better face the economic and environmental stakes related to this sector, the government has set up regulations. The tertiary decree is a regulatory obligation that imposes reductions in final energy consumption on tertiary sector actors. The objective of this work is to make the audit of a building subjected. Through this study we make a detailed analysis of the building and equipment to determine its weaknesses. It emerges from our analysis that the main weaknesses of the building are in the building envelope, air renewal and heating system regulation. To achieve the objectives, individual actions were identified, simulated and studied from an energy and environmental point of view in order to evaluate and prioritize their impacts. In the rest of the study, the individual actions are cross-referenced in order to obtain three work packages that allow to respect the consumption reduction obligations set for the target years 2030, 2040 and 2050. Each work package is characterized in terms of energy, environmental and financial gains but also in terms of cost and return on investment in order to facilitate the decision-making process of the project owner.

### Keywords:

---

- 1 - Energy consumption**
- 2 - Tertiary sector decree**
- 3 - Energy audit**
- 4 - Building envelope**
- 5 - Renovation work**

## Nomenclature

### Général

C	Consommation en énergie finale	kWh <sub>ef</sub>
C <sub>ep</sub>	Consommation en énergie primaire	kWh·m <sup>-2</sup> SHON·an <sup>-1</sup>
I <sub>c</sub> énergie	Taux d'émissions de GES du bâtiment	kgCO <sub>2</sub> eq·m <sup>-2</sup> SHON.an <sup>-1</sup>
DJU	Degrés jours unifiés	°C
R	Résistance thermique	m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup>
Sw	Facteur solaire de la fenêtre	(-)
U <sub>d</sub>	Coefficient de transmission thermique d'une porte	W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup>
U <sub>w</sub>	Coefficient de transmission thermique d'une fenêtre	W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup>
SHON	Surface hors œuvre nette	m <sup>2</sup>
U <sub>bat</sub>	Déperdition thermique totale moyenne d'un bâtiment	W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup>

### Sigles

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
BBC	Bâtiment basse consommation
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
CVC	Chauffage, ventilation, climatisation
DSIL	Dotation de soutien à l'investissement local
ECS	Eau chaude sanitaire
ELAN	Evolution du logement, de l'aménagement et du numérique
GTC	Gestion technique centralisé
PAC	Pompe à chaleur
RCU	Réseau de chaleur urbain
RTEX	Réglementation thermique existant
TRI	Temps de retour sur investissement
TRIA	Temps de retour sur investissement actualisé
VMC SF	Ventilation mécanique contrôlée simple flux
VMC DF	Ventilation mécanique contrôlée double flux

## Table des matières

<b>Dédicaces</b> .....	<b>II</b>
<b>Citations</b> .....	<b>III</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>IV</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>V</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>VI</b>
<b>Nomenclature</b> .....	<b>VII</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>XI</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>XII</b>
<b>I. Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>II. Présentation du projet et de la structure d'accueil</b> .....	<b>2</b>
II.1    Présentation de la structure d'accueil.....	2
II.2    Présentation du projet.....	3
II.2.1    Contexte .....	3
II.2.2    Objectifs .....	3
<b>III. Méthodologie de conception</b> .....	<b>5</b>
III.1    Processus de réalisation de l'audit .....	5
III.2    Visite du bâtiment .....	5
III.3    Carte d'identité du site .....	6
III.4    Répartition des usages du site .....	7
III.5    Description du bâtiment .....	9
III.5.1    Composition des parois .....	9
III.5.2    Étanchéité à l'air et renouvellement d'air .....	12
III.5.3    Les équipements techniques.....	12
III.6    Conditions d'occupations, usages et confort .....	15

# AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

III.7	Température de consignes et plages horaires .....	17
III.7.1	Chauffage .....	17
III.7.2	Climatisation .....	17
III.8	Modélisation réaliste .....	17
III.8.1	Présentation du logiciel Pléiades Comfie .....	17
III.8.2	Modélisation de l'état initial du bâtiment .....	18
<b>IV.</b>	<b>Analyse générale du bâtiment .....</b>	<b>21</b>
IV.1	Analyse des résultats obtenus.....	21
IV.1.1	Calcul de la puissance de chauffage.....	21
IV.1.2	Calcul STD.....	22
IV.1.3	Calcul réglementaire .....	23
IV.2	Analyse de l'enveloppe du bâtiment .....	24
IV.2.1	Murs extérieurs.....	24
IV.2.2	Menuiseries .....	24
IV.2.3	Toitures.....	24
IV.2.4	Plancher bas.....	25
IV.2.5	Analyse thermographique infrarouge.....	25
IV.3	Analyse des équipements .....	26
IV.3.1	Chauffage .....	26
IV.3.2	Refroidissement.....	26
IV.3.3	Eau chaude sanitaire.....	26
IV.3.4	Eclairage.....	27
IV.4	Analyse du confort dans le bâtiment .....	27
IV.5	Analyse des consommations .....	29
IV.5.1	Données climatiques .....	29
IV.5.2	Factures énergétiques .....	30
IV.5.3	Année de référence pour le décret tertiaire .....	32
<b>V.</b>	<b>Propositions d'améliorations.....</b>	<b>33</b>
V.1	Actions individuelles.....	33
V.2	Bouquets de travaux .....	36

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

<b>VI. Conclusion.....</b>	<b>42</b>
<b>Recommandations - Perspectives.....</b>	<b>43</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>44</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>46</b>
Annexe I : Organigramme de la structure d'accueil .....	47
Annexe II : Inventaire des équipements électriques du site .....	48
Annexe III : Valeurs standards pour les parois vitrés[16].....	50
Annexe IV : Fiches de préconisations individuelles .....	51
Annexe V : Débits minimum réglementaires .....	64
Annexe VI : Détails du calcul du TRIA .....	66

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Fiche d'identité énergétique du site .....	7
Tableau 2 : Composition des murs extérieurs .....	9
Tableau 3 : Composition des toitures .....	9
Tableau 4 : Composition du plancher bas .....	11
Tableau 5 : Consignes de températures pour la loi d'eau .....	13
Tableau 6: Inventaire des équipements de production d'eau chaude sanitaire.....	14
Tableau 7 : Usages et conditions d'occupations du site .....	16
Tableau 8 : Consigne de température pour le chauffage du bâtiment.....	17
Tableau 9 : Synthèse des consommations obtenues par STD .....	22
Tableau 10 : Résultats du formulaire de satisfaction des usagers de l'espace enseignement ..	27
Tableau 11 : Résultats du formulaire de satisfaction des locaux associatifs.....	28
Tableau 12 : Synthèse des gains potentiels sur les actions individuelles.....	34
Tableau 13 : Synthèse des gains par rapport au décret tertiaire .....	35
Tableau 14 : Bouquet 1 – Actions prioritaires (décret tertiaire 2030) .....	38
Tableau 15 : Bouquet 2- Décret tertiaire 2040 .....	39
Tableau 16 : Bouquet 3 – BBC rénovation (décret tertiaire 2050) .....	40
Tableau 17 : Synthèse des gains énergétiques et financiers.....	41
Tableau 18 : Débits minimum dans les établissements sportifs.....	64
Tableau 19 : Débits minimum dans les établissements d'enseignement élémentaire et primaire .....	65
Tableau 20 : Calcul du temps de retour sur investissement .....	66
Tableau 21 : Coefficient d'inflation des énergies .....	67
Tableau 22 : Calcul du Coût de maintenance actualisé pour la VMC SF.....	67
Tableau 23 : Durée de vie moyenne des systèmes .....	68
Tableau 24 : Calcul du TRIA pour l'isolation des murs par l'intérieur .....	69

## Liste des figures

Figure 1: Synthèse des prestations fournies par ECOBATIngénierie .....	2
Figure 2 : Les étapes chronologiques de réalisation d'un audit énergétique .....	5
Figure 3 : Vue aérienne et orientation du Groupe scolaire Pierre et Marie Curie.....	6
Figure 4: Répartition des usages du bâtiment .....	8
Figure 5 : Plan de repérage du plancher bas.....	11
Figure 6 : Vue d'ensemble de la sous-station .....	14
Figure 7 : Fonctionnalités du logiciel Pléiades Comfie .....	18
Figure 8 : Bibliothèque projet dans le logiciel Pléiades Comfie.....	18
Figure 9 : Vue 3D du bâtiment modélisé dans Pléiades Comfie.....	19
Figure 10 : Répartition des déperditions du bâtiment .....	21
Figure 11 : Répartition des déperditions à travers les parois .....	22
Figure 12 : Répartition de la consommation énergétique du bâtiment .....	23
Figure 13 : Répartition des consommations électriques.....	23
Figure 14 : Etiquette énergétique et émissions de gaz à effet de serre du bâtiment.....	24
Figure 15 : Analyse thermographique d'une façade du bâtiment .....	25
Figure 16 : Degrés- Jours et ensoleillement en 2021 à Dunkerque.....	30
Figure 17 : Consommations en énergies du site GS Pierre Marie Curie.....	30
Figure 18 : Consommations annuelles en chauffage du site GS Pierre Marie Curie entre 2010 et 2021 .....	32
Figure 19 : Consommations cumulées en énergie finale du site Pierre marie Curie .....	32
Figure 20 : L'équipe d'ECOBATIngénierie [15] .....	47

## I. INTRODUCTION

---

De nos jours, l'énergie occupe une place importante dans la vie de l'homme. De par ses multiples applications, elle améliore nos conditions de vie. Généralement on se sert de l'énergie pour se déplacer, cuisiner, se réchauffer ou encore faire fonctionner des appareils électriques. En France, le secteur du bâtiment représente 44% de l'énergie consommée loin devant le secteur du transport (31,3%) et sa part ne cesse d'augmenter avec la croissance démographique [1]. Autrefois l'énergie fossile était l'une des ressources les plus exploitées pour les divers besoins. À la suite du choc pétrolier de 1973, le caractère limité de cette ressource a éveillé une prise de conscience et introduit la notion de transition énergétique. Cette transition étant corrélée à l'efficacité et la sobriété énergétique, des réglementations thermiques ont été mises en place pour progressivement diminuer la consommation énergétique des bâtiments neufs. De 1974 à nos jours, au total six réglementations thermiques se sont succédées [2]. Chacune de ces réglementations sont plus exigeantes les unes que les autres, ce qui témoigne de la volonté de réduire les consommations d'énergies primaires et les émissions de gaz à effet de serre. Hormis la réglementation thermique pour les bâtiments neufs, il existe également une réglementation dédiée aux bâtiments existants afin de les mettre en phase avec ce qui se fait actuellement.

Pour se conformer à ces réglementations, les bâtiments existants doivent faire l'objet d'un audit énergétique afin d'identifier les pistes d'améliorations permettant de réduire les coûts énergétiques et d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

Les différents acteurs qui s'engagent dans la rénovation de leurs biens bénéficient d'un accompagnement de l'Etat à travers des aides financières. Toutefois pour bénéficier de ces aides, il est nécessaire que l'audit soit réalisé par des prestataires titulaires d'une qualification en audit énergétique.

Dans le but de répondre aux exigences du nouveau décret concernant les bâtiments tertiaires, la commune de Grande Synthe située dans le département du Nord en région Hauts-de-France a identifié le groupe scolaire Pierre et Marie Curie pour faire l'objet de travaux de réhabilitation. Le bureau d'étude ECOBAT Ingénierie a donc été sollicité pour son expertise dans le domaine. C'est dans cette optique que s'inscrit cet audit énergétique. Le but étant de faire une analyse fine du bâtiment pour déterminer ces points faibles en termes de confort et de consommations énergétiques. Par la suite des actions chiffrées sont préconisées afin de baisser la consommation énergétique du bâtiment.

## II. PRESENTATION DU PROJET ET DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

### II.1 PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

ECOBATIngénierie est un bureau d'études thermique créé en 2010 par M. Maxence DUHAMEL. Le siège principal de l'entreprise se trouve au 5 Rue de Queux Saint-Hilaire à Hazebrouck dans le Nord de la France depuis 2019. En novembre 2022, elle élargit son périmètre d'action en créant un nouveau bureau à Amiens.

L'entreprise est spécialisée dans l'optimisation thermique, énergétique et environnementale du bâtiment. Sa vocation première est de conduire les opérations de conception des bâtiments (neufs ou rénovés) vers des performances énergétiques réelles et cohérentes compte tenu des enjeux économiques, environnementaux et des volontés spécifiques de chaque maître d'ouvrage. L'ensemble des prestations fournies par le bureau d'études se résume en cinq catégories résumées dans la figure 1.

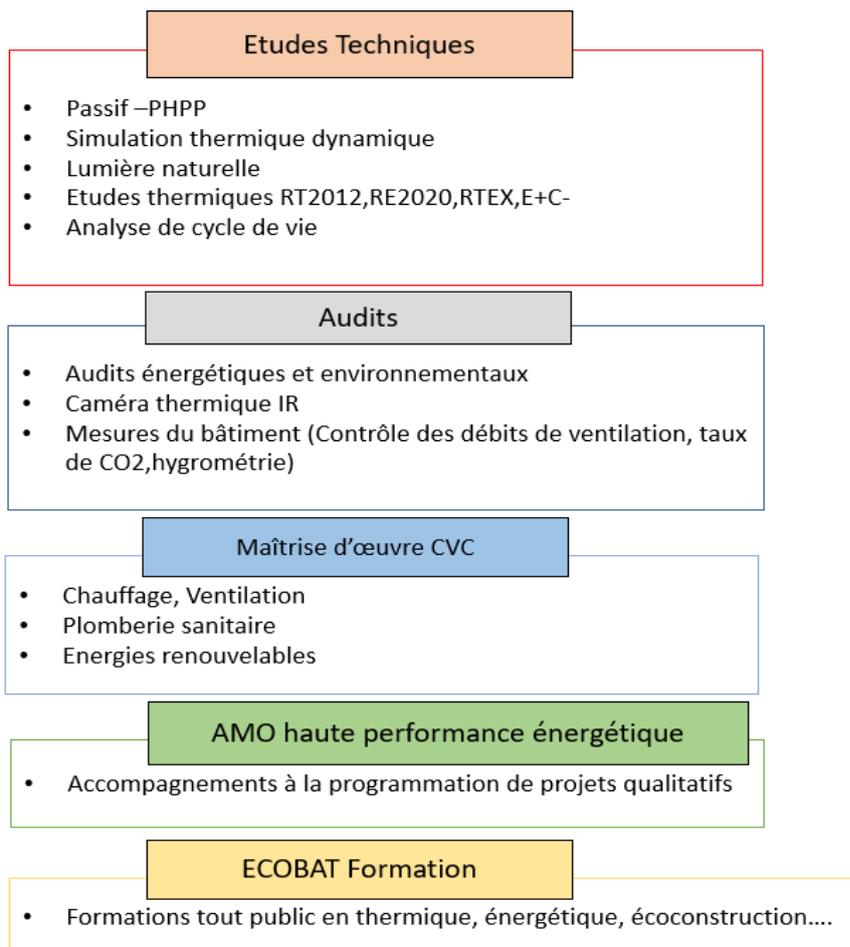


Figure 1: Synthèse des prestations fournies par ECOBATIngénierie

# AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

La figure en annexe I présente l'organisation de l'équipe d'ECOBAT Ingénierie dans la réalisation de ses activités.

## II.2 PRESENTATION DU PROJET

### II.2.1 Contexte

Issu de la loi ELAN (ou loi du logement 2018), le décret « Eco Energie tertiaire » précise les obligations de réductions de consommation énergétique à respecter dans des bâtiments tertiaires afin d'en améliorer la performance énergétique.

De par ce décret, les acteurs du tertiaire qu'ils soient propriétaires ou exploitants sont engagés dans une démarche de sobriété énergétique qui les obligent à rénover leurs bâtiments au risque d'écopier des amendes administratives (jusqu'à 1500 € pour les personnes physiques et 7500 € pour les personnes morales). Plus qu'un objectif environnemental, la réduction des consommations énergétiques et des dépenses associées doit permettre de réaliser des économies malgré un contexte de hausses constantes du prix des énergies.

Le décret tertiaire s'applique aux infrastructures suivantes :

- Les bâtiments à usage exclusivement tertiaire dont la surface plancher est supérieur ou égale à 1000 m<sup>2</sup>,
- Les parties de bâtiment à usage mixte dont la surface plancher cumulée des activités tertiaires est supérieur à 1000 m<sup>2</sup>,
- L'ensemble de bâtiments situés sur un même site ou sur une même unité foncière dont la surface plancher cumulée des activités tertiaires est supérieure ou égale à 1000 m<sup>2</sup> [3].

Dans le but d'accompagner les acteurs dans le processus d'application du décret tertiaire, la plateforme OPERAT a été mise en place par l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). Cette plateforme a pour but de faciliter le recueil et le suivi des consommations.

La date limite pour la déclaration des consommations énergétiques de 2010 à 2020 sur la plateforme OPERAT a été fixée au 31 Décembre 2022. Chaque année, les structures concernées par ce décret devront transmettre à OPERAT, les données de consommations énergétiques afin de démontrer l'atteinte des objectifs réglementaires de réduction de consommation.

L'absence non justifiée de ces informations exposera l'obligé à des sanctions pouvant aller jusqu'à 7 500 euros d'amende par bâtiment et par contrôle [4].

### II.2.2 Objectifs

Dans le souci de rénover l'ensemble de ces bâtiments communaux assujettis au décret tertiaire,

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

la mairie de Grande Synthe a identifié le groupe scolaire Pierre et Marie Curie pour faire l'objet de travaux de réhabilitation. C'est ainsi que notre bureau d'étude a été contacté pour cette expertise technique.

Lorsqu'un site est assujéti au décret tertiaire, il est nécessaire pour l'audit :

- D'analyser les factures énergétiques du site depuis 2010 afin de définir l'année de référence sur laquelle doivent s'appliquer les gains énergétiques
- De définir des bouquets de travaux respectant les objectifs suivants :
  - Gain de 40% par rapport à l'année de référence (obligatoire pour 2030)
  - Gain de 50% par rapport à l'année de référence (obligatoire pour 2040)
  - Gain de 60% par rapport à l'année de référence (obligatoire pour 2050) [5].

L'objectif de ce mémoire est de faire l'audit énergétique du site afin de préconiser les actions à réaliser pour répondre aux objectifs du décret tertiaire. De manière spécifique il s'agit de :

- Orienter le client vers des solutions adaptées à ces besoins tout en respectant les réglementations françaises en vigueur,
- Proposer des bouquets de travaux à réaliser pour baisser la consommation énergétique du bâtiment.

### III. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

#### III.1 PROCESSUS DE REALISATION DE L'AUDIT

La réussite d'une mission est souvent liée à la bonne organisation et à la hiérarchisation des différentes tâches. Afin de réaliser un audit énergétique de qualité, il faut bien évidemment planifier ses activités. Les normes NF EN 16247 sont conçues pour aider à standardiser les pratiques d'audit énergétique en Europe, facilitant ainsi la comparaison des résultats d'audit et favorisant une approche cohérente et rigoureuse de l'évaluation de la performance énergétique. Ces normes sont un outil important pour les professionnels de l'énergie, les auditeurs énergétiques, les entreprises et les institutions soucieuses d'améliorer leur efficacité énergétique et de contribuer à la transition vers une économie plus sobre en carbone. La norme NF EN 16247-1 spécifie les exigences générales et les différentes étapes pour la réalisation de la mission. La figure 2 présente les étapes chronologiques de réalisation d'un audit énergétique comme le recommande la norme.



Figure 2 : Les étapes chronologiques de réalisation d'un audit énergétique

La norme NF EN 16247-2 traite des audits énergétiques dans les bâtiments. Elle précise les exigences, la méthodologie et les livrables d'un audit énergétique dans un bâtiment ou groupe de bâtiments, à l'exclusion des habitations privées individuelles.

Cette norme doit être appliquée en association avec la NF EN 16247-1, qu'elle complète [6].

#### III.2 VISITE DU BATIMENT

Une fois que les informations nécessaires pour réaliser l'audit sont connues, on programme la date de la visite du bâtiment avec le maître d'ouvrage. A cet effet, il est recommandé que la

# AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

personne qui nous servira de guide soit un occupant du site qui maîtrise globalement le bâtiment et qui serait capable de répondre à nos questions.

La visite sur place peut durer entre une demi-journée et une journée selon la taille du bâtiment et ses spécificités. La visite comprend :

- Un temps sur table avec la personne désignée du site afin de comprendre le projet, identifier les contraintes, attentes et motivations, etc.
- Une analyse fine du bâtiment : mode constructif, niveau d'isolation des parois, état des isolants, état et typologie des menuiseries (simple ou double vitrage), etc.
- Un relevé des installations techniques en place : système de chauffage et de climatisation, production d'eau chaude sanitaire, ventilation et éclairage.

Dans le cadre de la visite sur place, nous pouvons être amenés à utiliser des appareils de mesures tels que : la caméra thermique, le télémètre, l'anémomètre, le thermomètre, le luxmètre, etc.

### III.3 CARTE D'IDENTITE DU SITE

Le site qui fait l'objet de cet audit est situé dans le centre-ville de Grande Synthe, il est sujet à de nombreux masques lointains et proches. La figure 3 donne une vue aérienne du périmètre occupé par le site.

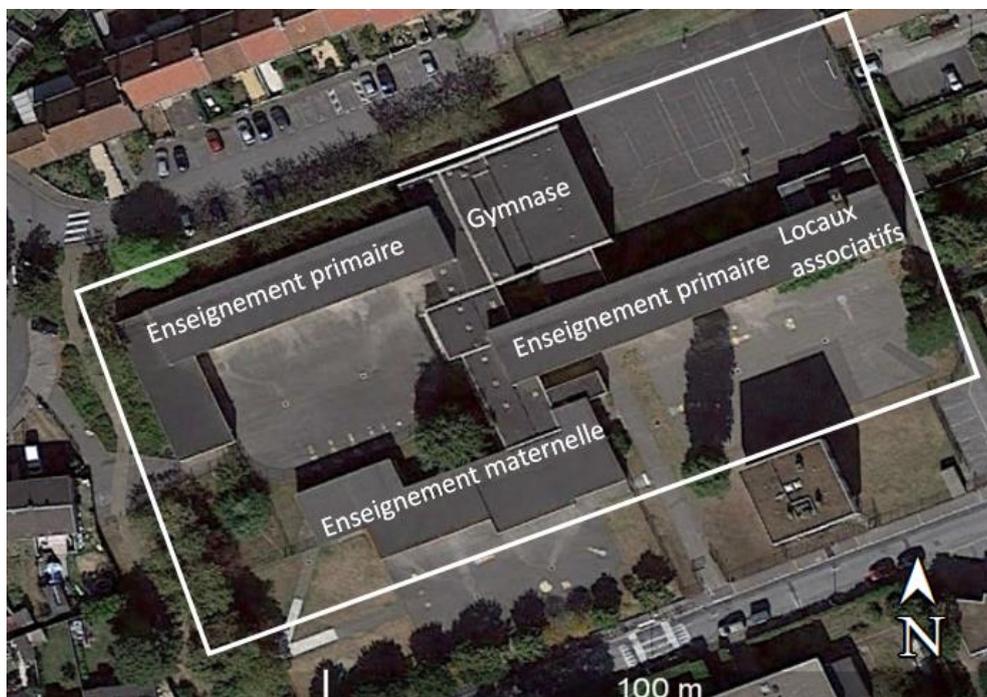


Figure 3 : Vue aérienne et orientation du Groupe scolaire Pierre et Marie Curie

Les premières informations recueillies sur l'identité énergétique du site lors de la visite sont résumées dans le tableau 1.

# AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Tableau 1 : Fiche d'identité énergétique du site

Activités	Ecole maternelle, primaire et locaux associatifs
Localisation et zone climatique	Nord (H1 a)
Altitude	3 m
Année de construction	1955
Nombre de bâtiments étudiés	1
Surface (SHON)	3300 m <sup>2</sup>
Type de chauffage	Réseau de chaleur
Consommation de réseaux de chaleur (2021)	374 360 kWh <sub>ef</sub>
Consommation d'électricité (2021)	44 229 kWh <sub>ef</sub>
Coût annuel en énergies (€ HTVA)	35 212 €

## III.4 REPARTITION DES USAGES DU SITE

Le groupe scolaire Pierre et Marie Curie de Grande Synthe a été construit en 1955. Le mode constructif du bâtiment est représentatif de cette époque avec une structure principale entièrement en béton, très peu d'isolation thermique et de nombreuses surfaces vitrées. La légende de la figure 4 précise les quatre usages distincts du bâtiment.

# AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

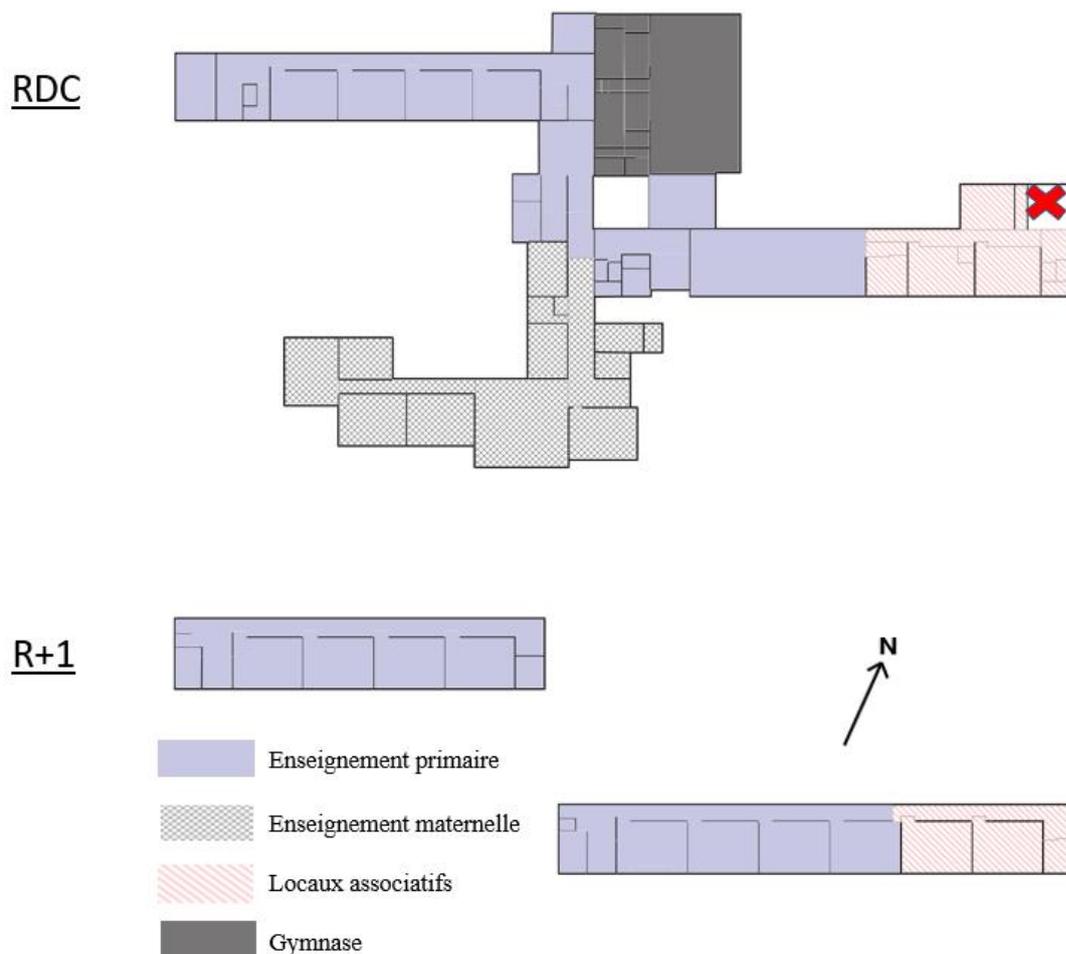


Figure 4: Répartition des usages du bâtiment

Le bâtiment est composé de deux niveaux. Au rez-de-chaussée se retrouvent un préau, un gymnase, les salles de classes, dortoirs, bureaux et salles de jeux, et les locaux associatifs. A l'étage se trouvent d'autres salles de classe et deux locaux associatifs.

Depuis novembre 2020, le chauffage du bâtiment est fait avec le réseau de chaleur urbain relié à la sous-station située derrière les Restos du cœur (croix rouge sur la Figure 4).

### III.5 DESCRIPTION DU BATIMENT

#### III.5.1 Composition des parois

##### III.5.1.1 Murs extérieurs

La structure du bâtiment d'origine est en béton de 22,5 cm non isolé. Le calcul de la résistance thermique de la paroi est détaillé dans le tableau 2.

Tableau 2 : Composition des murs extérieurs

Composants	Epaisseur cm	Conductivité thermique $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Résistance thermique $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
Enduit extérieur	1	1,15	0,01
Béton	22,5	1,162	0,19
Chaux	1	1,8	0,01
Total			<b>0,21</b>

##### III.5.1.2 Toitures

Les compositions de toitures sont différentes selon les endroits du bâtiment. Le tableau 3 met en évidence les différents éléments qui caractérisent ces toitures. La conductivité thermique des matériaux est prise dans la base de données du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) enregistrée dans le logiciel Pléiades. Les valeurs considérées peuvent aussi varier selon l'état d'usure des matériaux.

Tableau 3 : Composition des toitures

<b>Toiture terrasse en béton isolée au-dessus avec 4 cm de polyuréthane sous l'étanchéité</b>			
Composants	Epaisseur cm	Conductivité thermique $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Résistance thermique $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
Polyuréthane	4	0,03	1,33
Béton	17,5	1,370	0,13
Chaux	2	0,35	0,06
Total			<b>1,52</b>
<b>Toiture avec faux plafond au-dessus du gymnase supposé isolé avec 4 cm de laine de verre</b>			
Composants	Epaisseur cm	Conductivité thermique $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Résistance thermique $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
Laine de verre	4	0,055	0,73
Plâtre courant	1,5	0,35	0,04
Total			<b>0,77</b>

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

<b>Toiture avec faux plafond au-dessus de la réserve isolée avec 20 cm de laine de verre</b>			
Composants	Epaisseur cm	Conductivité thermique $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Résistance thermique $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
Laine de verre	20	0,04	5
Laine de roche	4	0,041	0,98
Plâtre courant	2	0,35	0,06
<b>Total</b>			<b>6,01</b>
<b>Toiture avec faux plafond isolée avec 4 cm de laine de verre</b>			
Composants	Epaisseur cm	Conductivité thermique $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Résistance thermique $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
Polyuréthane	4	0,03	1,33
Lame d'air	1,5	0,094	0,16
Plâtre courant	2	0,35	0,06
<b>Total</b>			<b>1,55</b>
<b>Toiture avec faux plafond au-dessus de la maternelle avec 12 cm de laine de verre</b>			
Composants	Epaisseur cm	Conductivité thermique $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Résistance thermique $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
Laine de verre	12	0,04	3
Plâtre courant	1,5	0,35	0,04
<b>Total</b>			<b>3,04</b>
<b>Plancher intermédiaire en béton au-dessus du préau isolé en faux plafond</b>			
Composants	Epaisseur cm	Conductivité thermique $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Résistance thermique $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
Dalles pleines	17,5	1,399	0,13
Laine d'air	5	0,625	0,73
Laine de verre	16	0,04	4
Laine de roche	4	0,041	0,98
<b>Total</b>			<b>5,19</b>

### III.5.1.3 Plancher bas

Le bâtiment est majoritairement construit sur terre-plein sauf la zone dédiée à l'enseignement primaire comme illustré sur la figure 5.

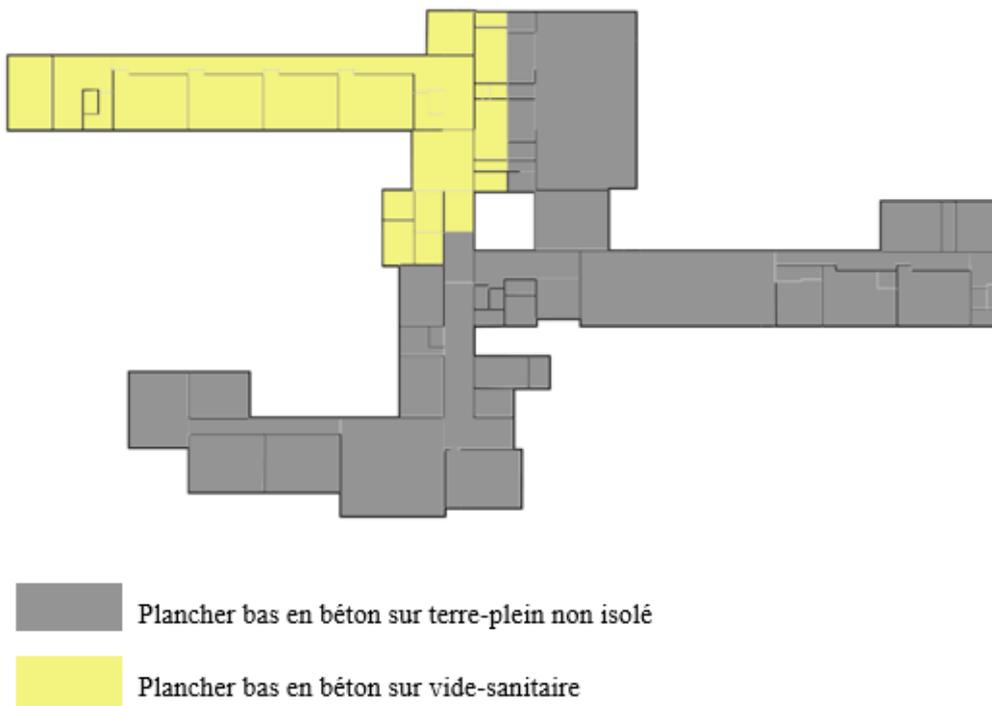


Figure 5 : Plan de repérage du plancher bas

Le tableau 4 détaille la composition du plancher bas et le calcul de sa résistance thermique.

Tableau 4 : Composition du plancher bas

<b>Plancher bas en béton</b>			
Composants	Epaisseur cm	Conductivité thermique $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Résistance thermique $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
Dalles pleines	17,5	1,399	0,13
Carrelage	2	1,7	0,01
Total			<b>0,77</b>

### III.5.1.4 Les menuiseries

#### III.5.1.4.1 Fenêtres

- Fenêtres en double vitrage aluminium d'épaisseur de lame d'air variable selon les endroits :
  - 8/12/8 sans protection solaire ;  $U_w = 3,1 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
  - 4/12/4 sans protection solaire ;  $U_w = 3,1 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
  - 4/16/4 sans protection ;  $U_w = 3,1 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
  - 4/12/4 avec stores intérieurs ;  $U_w = 2,8 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
  - 4/12/4 avec rideaux ;  $U_w = 2,9 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

- 4/15/4 sans protection solaire ;  $U_w = 3,1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
- Fenêtres simple vitrage ( $U_w$  estimé  $\sim 4.8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ),
- Double polycarbonate dans le gymnase ( $U_w$  estimé  $\sim 3.2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ )

Les caractéristiques thermiques des surfaces vitrées sont déterminées à l'aide d'un vitromètre qui permet de mesurer l'épaisseur du vitrage et de la lame d'air entre les vitres. La codification "8/12/8" désigne une fenêtre à double vitrage composée de deux panneaux de verre de 8 mm chacun, séparés par un espace d'isolation de 12 mm.

### III.5.1.4.2 Portes

La porte d'accès aux Restos du cœur est métallique avec un coefficient de transmission  $U_w$  estimé à  $5,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ .

### III.5.2 Étanchéité à l'air et renouvellement d'air

#### III.5.2.1 Ventilation

Aucune ventilation mécanique contrôlée (VMC) n'est présente dans le bâtiment. Le renouvellement d'air se fait par ouverture des fenêtres. Dans les salles de classe, les enseignants sont obligés de faire cours avec les portes ouvertes pour ne pas déclencher le capteur  $\text{CO}_2$ . Les usagers sont parfois gênés par de mauvaises odeurs provenant très souvent des toilettes.

#### III.5.2.2 Etanchéité à l'air

Aucun test d'infiltrométrie n'a été réalisé. Il est donc difficile d'évaluer la perméabilité à l'air du bâtiment. Dans le reste de l'étude, nous avons considéré une valeur cohérente pour ce bâtiment (nous avons pris  $n_{50} = 5 \text{ vol/h}$ ). La norme **NF EN 12831** recommande de prendre cette valeur par défaut en l'absence de test d'infiltrométrie.

### III.5.3 Les équipements techniques

#### III.5.3.1 Le chauffage

- Production

A sa genèse le bâtiment était chauffé grâce à une chaudière à gaz située dans la chaufferie à côté du local de stockage. Depuis 2020 la production de chauffage est assurée par le réseau de chaleur ARSYEL de la ville de Grande Synthé. Le réseau de chaleur date de 2020 et s'étend sur 16,5 km. Sa production d'énergie est à 95% d'origine renouvelable, il livre un total de 26 000 MWh avec une émission de  $96 \text{ gCO}_2\cdot\text{kWh}^{-1}$  [7].

L'échangeur présent en sous-station est d'une puissance de 250 kW, il permet d'alimenter en

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

eau chaude les émetteurs de chaleur du bâtiment.

- Distribution

Quatre départs sont présents, alimentant le gymnase, la maternelle, la primaire et les Restos du cœur. Chaque départ est équipé d'un doublet de circulateurs à vitesse constante. Le réseau de radiateurs eau chaude est en bon état, en distribution bitube, bien calorifugé en volume non chauffé. Le tableau 5 donne les températures de consignes pour la loi d'eau du chauffage.

Tableau 5 : Consignes de températures pour la loi d'eau

Température d'eau aux différents départs Zones	Température extérieure - 10 ° C	Température extérieure 20°C
Maternelle	60 °C	20 °C
Primaire	70°C	22°C
Gymnase	70°C	20°C
Restos du cœur	60°C	25°C

- Émission

Les émetteurs sont principalement des radiateurs à eau chaude en acier. Ils sont pour la plupart équipés d'un robinet simple. Des panneaux rayonnants hors service sont présents sous le plafond des vestiaires. Deux aérothermes chauffent le gymnase.

- Régulation

Les différents départs sont réglés sur température extérieure avec une loi d'eau. Une programmation horaire permet de réguler l'échangeur. Il n'y a pas de système de régulation terminale sur les radiateurs (robinets simples).

On retrouve les éléments nécessaires à la réglementation des chaufferies : porte coupe-feu, ventilations, accès pompiers, etc. La Figure 6 donne une vue d'ensemble de la sous-station.

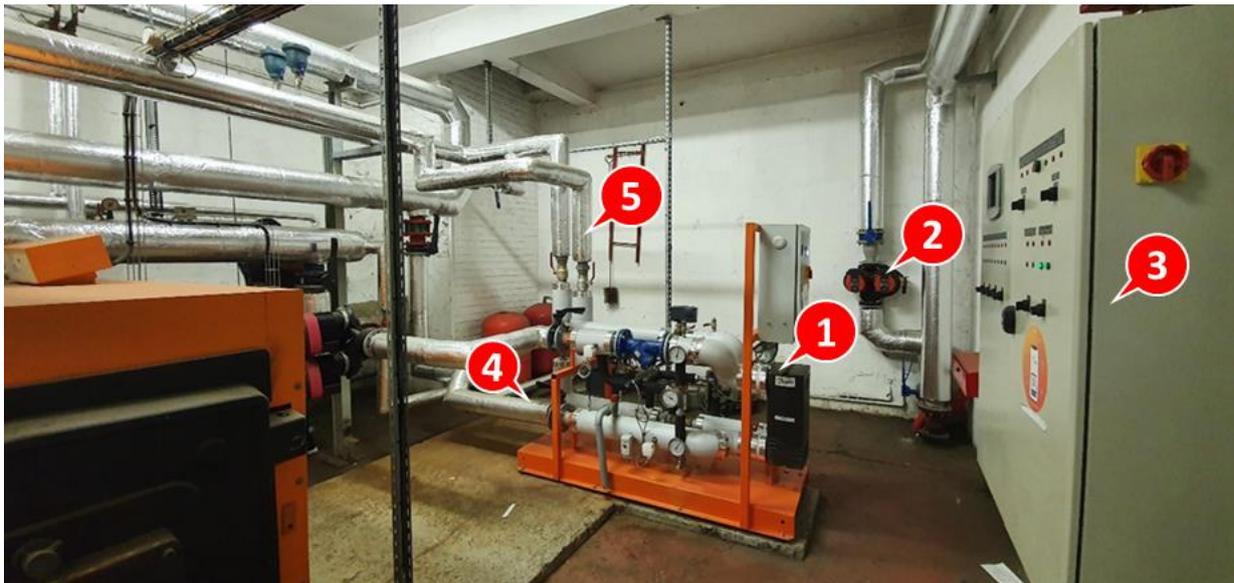


Figure 6 : Vue d'ensemble de la sous-station

Légende :

1) Echangeur de la sous-station. 2) Circulateur. 3) Automate de régulation du système de chauffage. 4) Conduite d'arrivée de la sous-station. 5) Conduite de départ vers le bâtiment.

III.5.3.2 Refroidissement

Au sein du bâtiment, un seul local est climatisé. Il s'agit du local de stockage du Resto du cœur. Ce genre de local est refroidi pour assurer la conservation, la qualité et la sécurité des produits alimentaires stockés. La production de froid est réalisée par une pompe à chaleur (PAC) Air/Air. L'émission est assurée par une unité intérieure murale. La pièce est équipée d'un thermostat d'ambiance. Lors de notre visite, la consigne était de 19 °C.

III.5.3.3 Eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire (ECS) est présente dans les réfectoires, le gymnase et les sanitaires via des ballons électriques à accumulation. L'ECS est principalement utilisée pour le nettoyage et l'entretien des espaces communs. Le tableau 6 résume l'ensemble des équipements de production d'eau chaude sanitaire relevés dans le bâtiment.

Tableau 6: Inventaire des équipements de production d'eau chaude sanitaire

Chauffe-eau électrique	Nombre	Puissance	Ballon de stockage	Localisation	Année de fabrication
Pacific	2	1200 W	100 l	Sanitaire R+1	1996
Pacific	1	1200 W	50 l	Salle de dessin	2013

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Thermor	1	1200 W	100 l	Sanitaire mixte	2012
Pacific	1	4500 W	500 l	Vestiaire gymnase	2006
Atlantic	1	1200 W	100 l	Réfectoire primaire	2012
Atlantic	1	2200 W	200 l	Réfectoire maternelle	2021

### III.5.3.4 Eclairage et lumière naturelle

L'éclairage est assuré principalement par des tubes néons de puissances diverses selon les pièces du bâtiment. Depuis 2009, lors des travaux d'amélioration de la sécurité électrique de l'établissement, il est possible de couper un circuit d'éclairage sur deux depuis le réfectoire à l'entrée de la maternelle.

### III.5.3.5 Autres usages électriques

Hormis l'éclairage et l'eau chaude sanitaire qui consomment l'électricité, on distingue d'autres appareils à usages électriques dans le bâtiment. Il s'agit notamment des appareils électroménagers dans les salles de repos (réfrigérateurs, micro-ondes, cafetières, lave-linge etc.) mais aussi des équipements de bureautique dans les classes comme les ordinateurs, vidéoprojecteurs, photocopieuses, imprimantes etc.

Pour une prise en compte de ces consommations dans l'étude, les puissances de ces appareils ont été relevées ainsi que leur scénario d'utilisation. Le tableau en annexe II représente l'inventaire de ces appareils.

## III.6 CONDITIONS D'OCCUPATIONS, USAGES ET CONFORTS

Lors de notre visite nous avons interrogé le maître d'ouvrage sur les conditions d'occupations et les usages du bâtiment, ainsi que sur le ressenti quant au confort à l'intérieur du bâtiment. Le tableau 7 donne un récapitulatif sur les informations recueillies concernant l'usage et l'occupation du site.

**AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE**

Tableau 7 : Usages et conditions d'occupations du site

Local	Usages	Occupation	Période	Durée/semaine
Classes	Enseignement maternelle & Primaire	20 personnes par classe	Sur la période scolaire	4 jours/ semaine 8h35-12h et 13h35-16h30
Salle informatique	Enseignement primaire	10 personnes	Sur la période scolaire	Environ 12h / semaine
Direction	Bureaux	2 personnes	Sur la période scolaire	4 jours/semaine 8h-17h les lundis et jeudis Demi-journée les mardis et vendredis
Salles d'arts plastiques	Enseignement primaire	10 personnes	Sur la période scolaire	7h par semaine
Bibliothèque	Enseignement primaire	5 personnes	Sur la période scolaire	4 jours / semaine 8h35 -12h et 13h35 -16h30
Gymnase	Activités sportives	20 personnes	Sur la période scolaire	5 jours / semaines Selon le calendrier reçu
Association Neitsabes	Autre salle ou hall	6-8 personnes	Sur toute l'année	Tous les lundis 17h30 - 21h
Association 3A	Autre salle ou hall	10 - 15 personnes	6 fois par an	6 fois par an
Association Métisse Mélody	Autre salle ou hall	15 personnes	Sur toute l'année	Tous les lundis et jeudis 17h30 - 21h
Réfectoires des profs	Repos	7 personnes	Sur la période scolaire	4 jours / semaine durant les pauses
Resto du cœur	Local de distribution & stockage	30 personnes	78 jours sur l'année	3 jours / semaine Mercredi & jeudi 08h-17h Vendredi 8h-12h30

### III.7 TEMPERATURE DE CONSIGNES ET PLAGES HORAIRES

#### III.7.1 Chauffage

La régulation du système de chauffage du bâtiment est centralisée et effectuée par l'exploitant de la sous station. Les consignes de températures diffèrent selon chaque usage du bâtiment comme indiqué dans le tableau 8.

Tableau 8 : Consigne de température pour le chauffage du bâtiment

Zones \ Périodes	En occupation	En inoccupation courte (Nuit, Week end)	En inoccupation longue (Vacances scolaire)
Maternelle & primaire	21°C	16°C	16°C
Gymnase	18°C	14°C	14°C
Locaux associatifs	20°C	15°C	15°C

Ces valeurs ont été définies et renseignées directement par l'exploitant.

#### III.7.2 Climatisation

La température à l'intérieur du local de stockage du Resto du cœur est régulée par le biais d'un thermostat d'ambiance. La température de consigne est fixée à 19°C quelque soit la période (occupation et inoccupation).

### III.8 MODELISATION REALISTE

La modélisation réaliste consiste à encoder le bâtiment sur un logiciel de calcul réglementaire en saisissant les compositions des parois opaques, des menuiseries ainsi que les équipements. L'objectif final est de retomber sur les factures énergétiques grâce à la simulation énergétique dynamique (SED) en se basant sur les comportements des usagers dans le bâtiment. En France, les logiciels les plus utilisés et reconnus dans ce domaine sont entre autres : ArchiWIZARD, Energie Plus, Perrenoud, Climawin ou encore Pléiades Comfie.

#### III.8.1 Présentation du logiciel Pléiades Comfie

Pléiades Comfie est le logiciel par excellence dans le domaine de la thermique du bâtiment. Il est utilisé par de nombreux bureaux d'études thermiques dans la réalisation des tâches quotidiennes et très apprécié pour sa facilité d'utilisation mais aussi par son côté graphique. Des mises à jour régulières sont faites par l'équipe d'IZUBA énergies pour prendre en compte les changements dans la réglementation [8]. La figure 7 donne un aperçu des différentes fonctionnalités du logiciel.

# AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

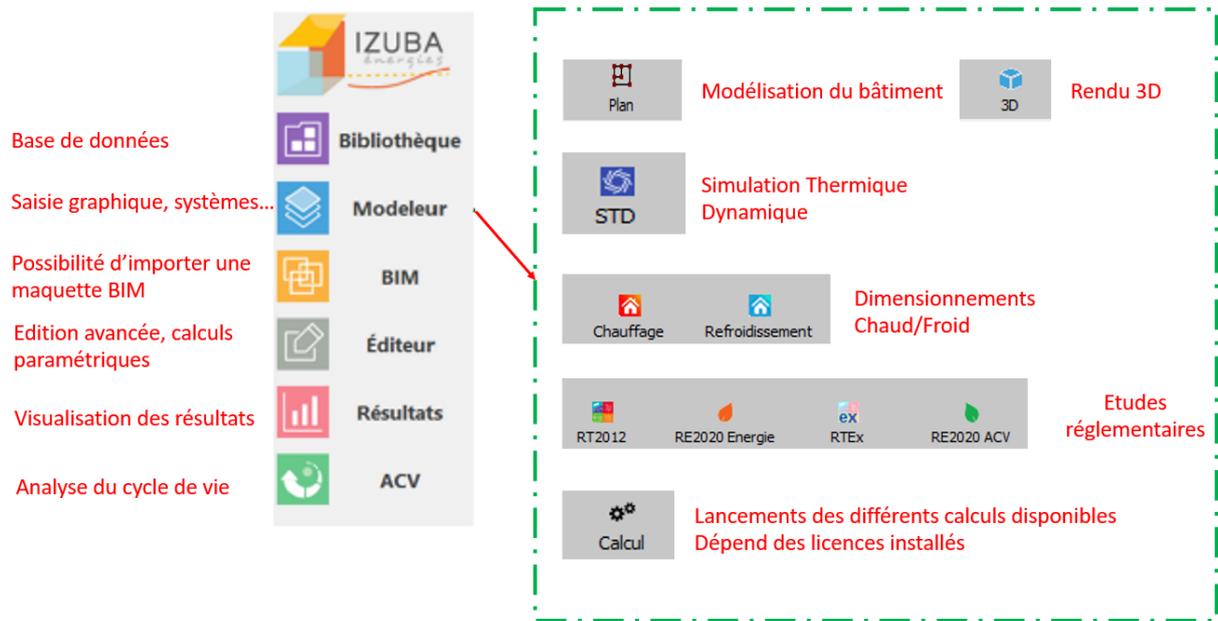


Figure 7 : Fonctionnalités du logiciel Pléiades Comfie

## III.8.2 Modélisation de l'état initial du bâtiment

Pour modéliser le bâtiment nous pouvons soit le dessiner directement dans le logiciel en utilisant les plans DWG reçu comme fond de plan ou importer directement la maquette BIM. L'onglet 3D permet de s'autocorriger progressivement sur le dessin réalisé dans le plan. Une fois la maquette réalisée, on passe à l'encodage des composants du bâti (parois opaques, parois vitrés, ponts thermiques, ventilation, système de chauffage, etc.) via la bibliothèque du projet. La figure 8 nous donne un aperçu sur la bibliothèque projet et la saisie d'une composition de parois.

Composants	T	cm	kg/m <sup>3</sup>	λ	R	
Enduit extérieur	↓	1.000	17	1.15	0.01	Extérieur ↓ Intérieur
Béton sable et gravillons blocs pl. 22.5cm	↓	22.50	495	1.162	0.19	
Mortiers ciment ou chaux ( ρ > 2000)	↓	1.000	20	1.8	0.01	
<b>Total</b>		<b>24.5</b>	<b>532</b>		<b>0.21</b>	

Figure 8 : Bibliothèque projet dans le logiciel Pléiades Comfie

Les caractéristiques thermiques, massiques et volumiques des éléments sont établies en se

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

basant sur les fascicules du CSTB, de l'ADEME ou du ministère de l'Environnement. Ces fascicules fournissent des directives et des recommandations pour choisir les valeurs appropriées. Ainsi tous les auditeurs sont certains de partir sur les mêmes valeurs standards.

Le principe est le même pour les menuiseries (fenêtres, portes) pour déterminer la performance thermique. Il existe des fascicules qui servent de guide afin de déterminer le coefficient de transmission thermique  $U_w$  des menuiseries (Annexe III).

L'encodage des équipements techniques se fait sur la base des données recueillies auprès du maître d'ouvrage ou relevées sur les plaques signalétiques, dans le pire des cas il est possible d'obtenir les caractéristiques d'un système en recherchant sur internet.

La saisie des ponts thermiques est une autre partie sensible dans l'encodage, la précision dans la saisie nous permet d'avoir un bâtiment qui se rapproche assez de la réalité.

La figure 9 est une illustration de la modélisation 3D du bâtiment dans le logiciel Pléiades Comfie.

Dans l'ensemble de l'étude, nous avons besoin principalement des trois onglets suivants : chauffage, STD/SED et RTEx.



Figure 9 : Vue 3D du bâtiment modélisé dans Pléiades Comfie

### III.8.2.1 L'onglet Chauffage

Cet onglet nous permet de dimensionner de manière précise le système de chauffage en fonction des besoins réels du bâtiment grâce à la norme **NF EN 12831**. C'est une norme européenne qui est recommandée pour se conformer aux réglementations en matière d'efficacité énergétique des bâtiments. Le principe est basé sur le calcul des déperditions thermiques du bâtiment dues à la transmission et le renouvellement de l'air sur la base des données climatiques du site.

Il nous sera utile pour vérifier si le système actuel est bien dimensionné mais aussi de déterminer la nouvelle puissance de chauffage après l'amélioration de l'enveloppe. En effet, une fois l'enveloppe thermique traitée, la puissance de chauffage sera nettement réduite et le modèle de remplacement sera moins onéreux.

### III.8.2.2 L'onglet STD/SED

La simulation énergétique dynamique (SED) est une simulation que nous effectuons sur le logiciel Pléiades Comfie pour calculer la consommation énergétique annuelle réelle du bâtiment, avec la meilleure précision possible.

Contrairement à une simulation thermique dynamique (STD), une SED permet non seulement de calculer les différents besoins thermiques qui caractérisent l'enveloppe du bâtiment, mais également de remonter aux consommations liées aux systèmes énergétiques et autres équipements présents dans le bâtiment (bureautique, éclairage, ascenseurs, etc.).

Le calcul est effectué sur une année type, au pas de temps horaire et sur la base des scénarios d'utilisation (occupation, consigne de température, puissance). Grâce à cet outil on a la possibilité d'évaluer l'impact des préconisations sur la consommation énergétique du bâtiment et les économies d'énergies qu'elles engendrent [9].

### III.8.2.3 L'onglet RTE<sub>x</sub>

Cet onglet est lié à la réglementation thermique concernant les bâtiments existants [10], elle permet de réaliser les calculs réglementaires afin de déterminer la consommation conventionnelle en énergie primaire du bâtiment (Cep). Cet indice permet d'évaluer la performance du bâtiment indépendamment de son usage et de le comparer à d'autres bâtiments.

## IV. ANALYSE GENERALE DU BATIMENT

---

Une fois que toutes les informations recueillies sur le projet sont encodées dans le logiciel pour modéliser l'état initial du projet, nous pouvons lancer les calculs.

Les résultats obtenus concernent :

- La puissance de chauffage,
- La consommation énergétique du site (réseaux de chaleur et électricité),
- La consommation conventionnelle en énergie primaire.

### IV.1 ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS

#### IV.1.1 Calcul de la puissance de chauffage

##### IV.1.1.1 Puissance de chauffage théorique

La puissance de chauffage déterminée par calcul sur le logiciel est estimée à 360 kW en considérant les compositions des parois, les débits de ventilation réglementaires et une température intérieure de 18°C. La puissance installée est de 250 kW pour l'ensemble du site. Les équipements en place ne permettent pas de chauffer convenablement avec un renouvellement de l'air hygiénique réglementaire.

##### IV.1.1.2 Déperditions théoriques

Les résultats obtenus par calcul indiquent que les déperditions sont majoritairement dues à la conduction à travers les parois soit 248 kW. Les pertes par renouvellement d'air quant à elles s'élèvent à 108 kW ce qui représente 27% des déperditions totales. La figure 10 illustre la répartition des déperditions du bâtiment.

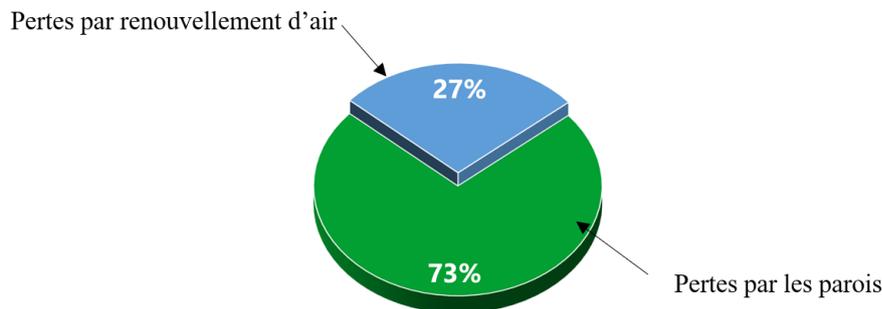


Figure 10 : Répartition des déperditions du bâtiment

La figure 11 illustre la répartition des déperditions dues à la transmission par les parois.

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

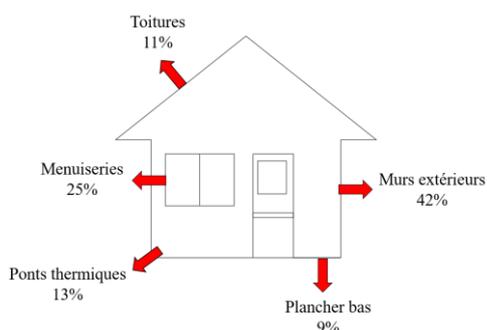


Figure 11 : Répartition des déperditions à travers les parois

### IV.1.2 Calcul STD

Le calcul de la consommation énergétique du bâtiment par la SED sur la base des différents scénarios d'occupations et d'utilisations nous permet de trouver une consommation théorique de **368 086 kWh** en réseau de chaleur urbain et une consommation électrique de **57 685 kWh**. Le tableau 9 donne un aperçu des résultats obtenus.

Tableau 9 : Synthèse des consommations obtenues par STD

	Electricité (kWh)	Réseaux de chaleur (kWh)
Chauffage		368 086
Refroidissement	4 505	
Eau chaude sanitaire	4 706	
Auxiliaire de ventilation	895	
Auxiliaire de distribution	1 844	
Eclairage	5 528	
Usage spécifique	40 209	
Total	57 685	368 086

Cette valeur théorique de la consommation énergétique déterminé grâce à la SED est relativement proche (environ 2%) de la facture énergétique du site en 2021. Pour rappel, le décret tertiaire s'applique sur l'ensemble des consommations en énergie finale du site assujetti d'où la nécessité de cumuler toutes les consommations liées aux différents usages.

D'un point de vue purement énergétique, la consommation en réseau de chaleur est l'enjeu principal comme on peut l'observer sur la figure 12. En effet ce poste représente 86% des consommations totales.

# AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

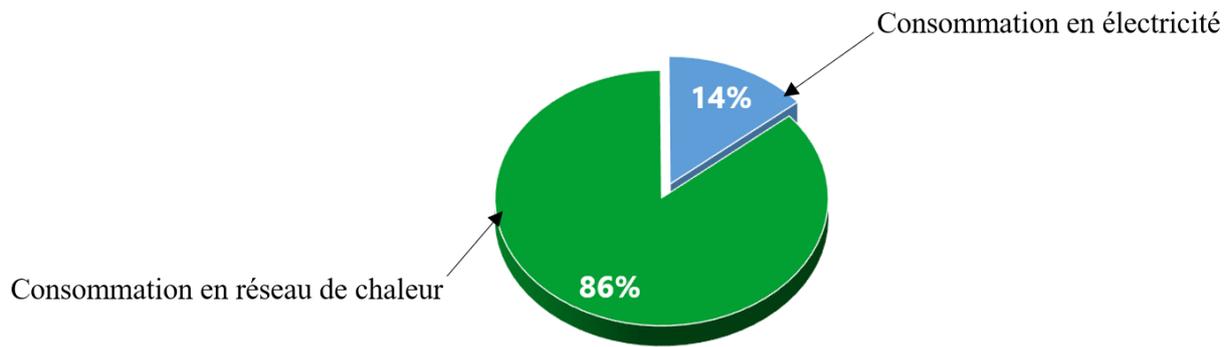


Figure 12 : Répartition de la consommation énergétique du bâtiment

Il est également possible grâce à la SED d'estimer la répartition des consommations par équipements comme illustré sur la figure 13.

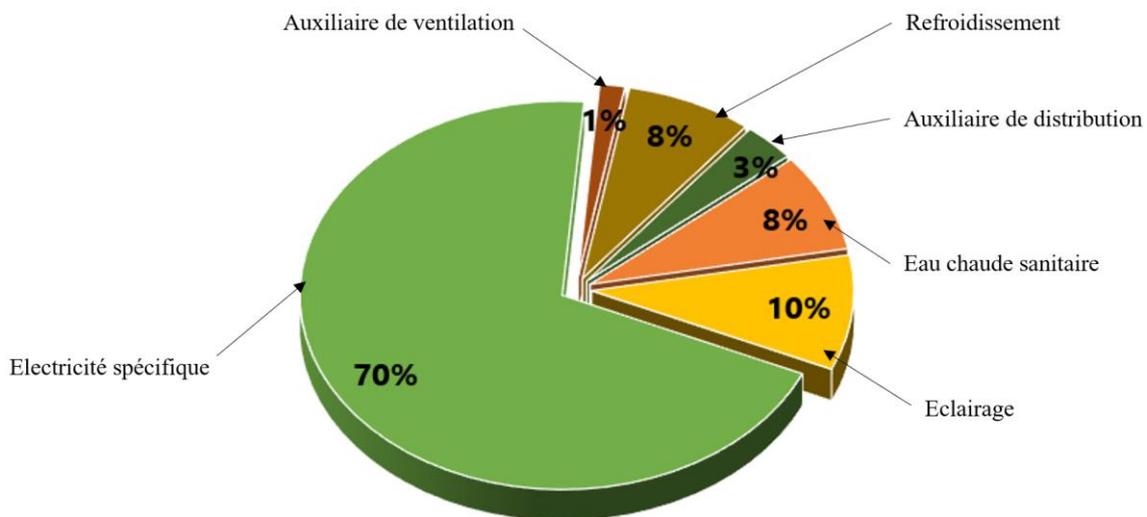


Figure 13 : Répartition des consommations électriques

## IV.1.3 Calcul réglementaire

L'étude thermique RT existant donne un Cep de **198 kWh<sub>ep</sub>·m<sup>-2</sup>SHON·an<sup>-1</sup>**, ce qui place le bâtiment en **classe énergétique D**.

En termes d'émissions de gaz à effet de serre, l'étude indique **17 kgCO<sub>2</sub>eq·m<sup>-2</sup>SHON·an<sup>-1</sup>**, ce qui place le bâtiment en **classe C**.

La consommation de référence pour ce type de bâtiment est de **122,5 kWh<sub>ep</sub>·m<sup>-2</sup>SHON·an<sup>-1</sup>**.

Les différents résultats sont obtenus par la méthode de calcul TH-C-E ex développée par la CSTB. C'est la méthode recommandée en France pour le calcul du Cep. On peut retrouver les hypothèses considérées dans le calcul dans l'annexe de l'arrêté du 08 août 2008 portant approbation de la méthode de calcul [11].

# AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

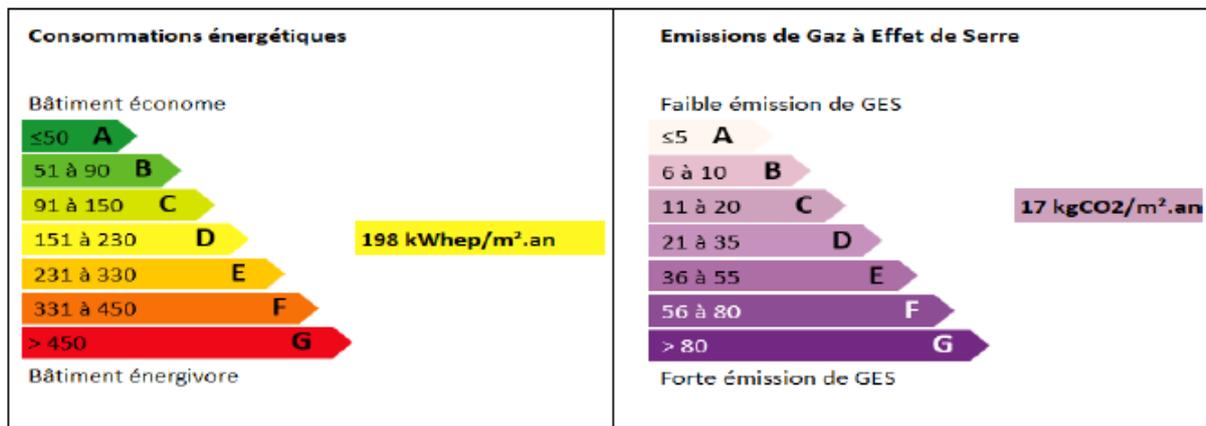


Figure 14 : Etiquette énergétique et émissions de gaz à effet de serre du bâtiment

Les usages réglementaires retenus dans le calcul du Cep sont le chauffage, l'ECS pour le nettoyage et l'entretien des espaces communs, l'éclairage, la ventilation et les auxiliaires. Les autres usages spécifiques (cuisson des aliments, bureautiques, etc.) ne comptent donc pas dans le calcul réglementaire.

## IV.2 ANALYSE DE L'ENVELOPPE DU BATIMENT

### IV.2.1 Murs extérieurs

Les murs du bâtiment sont en béton de 22,5 cm non isolé qui correspond à une résistance thermique  $R = 0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  c'est le poste déperditif n°1 du bâtiment.

L'arrêté du 22 mars 2017 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants impose pour les murs donnant sur l'extérieur une résistance thermique minimale  $R = 2,9 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ , il est donc nécessaire d'isoler les murs [12].

Il existe deux techniques pour isoler un mur : l'isolation thermique par l'intérieur (ITI) et l'isolation thermique par l'extérieur (ITE).

### IV.2.2 Menuiseries

Les menuiseries représentent le poste déperditif n°2 du bâtiment par conduction, elles sont anciennes et peu performantes (non isolantes et non étanches à l'air).

L'arrêté du 22 mars 2017 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants impose un coefficient de transmission thermique minimale  $U_w \leq 1,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  pour les fenêtres et  $U_d \leq 2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  il est donc nécessaire de remplacer les anciennes menuiseries par des modèles plus récents et plus performants [12].

### IV.2.3 Toitures

Les compositions des toitures du bâtiment diffèrent d'une zone à une autre, certaines sont très peu ou pas isolées. Par ailleurs on remarque l'absence de traitement de l'étanchéité de l'air, ce qui représente des déperditions thermiques non négligeables.

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

On rappelle que l'arrêté du 22 mars 2017 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants impose une résistance thermique minimale  $R=4,4 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  pour les rampants de toiture de pente inférieure à  $60^\circ$  et une résistance thermique minimale  $R=3,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  pour les toitures terrasses [12].

### IV.2.4 Plancher bas

Le bâtiment est majoritairement construit sur terre-plein sauf la zone dédiée à l'enseignement primaire. La résistance thermique du plancher bas est de  $0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  ce qui est relativement faible comparé aux valeurs imposées par la réglementation ( $R=2,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ) [12]. Etant donné que c'est le poste moins déperditif du bâtiment, les travaux d'isolation du plancher bas peuvent passer en dernier dans la priorité des actions pour renforcer l'enveloppe thermique du bâtiment.

### IV.2.5 Analyse thermographique infrarouge

L'analyse thermographique d'un bâtiment permet de visualiser les défauts d'isolation de celui-ci notamment la présence de ponts thermiques. La caméra thermique détecte les rayonnements thermiques émis par les objets et les représente visuellement en attribuant des couleurs correspondantes à l'échelle de température. Les objets qui émettent plus de chaleur apparaissent en rouge ou en jaune, tandis que ceux qui émettent moins de chaleur apparaissent en bleu. Cette représentation colorée permet d'identifier facilement les variations de température dans la scène observée.

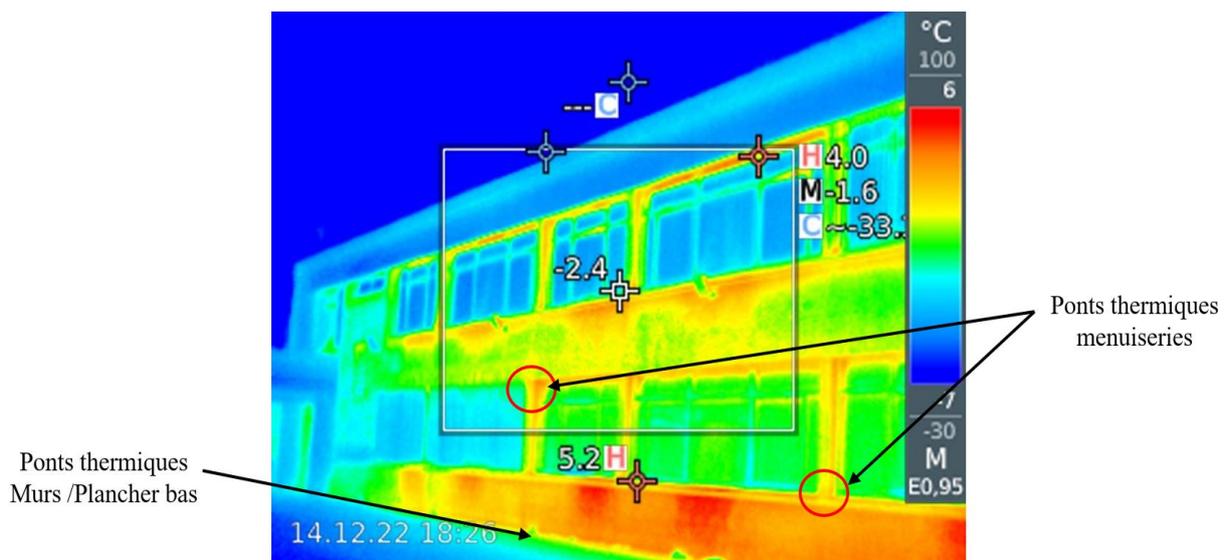


Figure 15 : Analyse thermographique d'une façade du bâtiment

La figure 15 est une photo prise avec une caméra thermique au niveau de la façade arrière du bâtiment. On constate que les murs sont très déperditifs (couleur jaune) ce qui est normal vu

qu'ils ne sont pas isolés ; on peut également distinguer deux types de ponts thermiques sur ce cliché : les ponts thermiques murs/ plancher bas et les ponts thermiques au niveau de l'intégration des menuiseries dans les murs (en rouge).

### IV.3 ANALYSE DES EQUIPEMENTS

#### IV.3.1 Chauffage

Le chauffage du bâtiment est assuré depuis 2021 par la sous-station présente dans le local chaufferie. La distribution est assurée par des réseaux bien calorifugés et des circulateurs à vitesse variable positionnés en vitesse constante.

La régulation est faite par Gestion Technique Centralisé (GTC). L'exploitant de la sous station s'assure du paramétrage et du pilotage de la GTC, il peut également suivre et contrôler les paramètres à distance via une application sur son smartphone. Pour chaque départ on a : une programmation horaire en fonction de l'usage, des consignes pour la courbe de chauffage (loi d'eau), les températures de consignes en occupation et inoccupation etc.

D'une manière générale le système de chauffage est assez performant, cependant il comporte les points faibles suivants :

- Absence de robinets thermostatiques sur les radiateurs
- Absence de thermostats d'ambiance (la régulation se fait manuellement par l'exploitant)
- L'utilisation des circulateurs des départs en vitesse constante
- Une partie des locaux associatifs sont sur le même départ que l'école primaire
- L'inadéquation des températures de consignes avec l'usage et l'occupation des zones.

#### IV.3.2 Refroidissement

Le local de stockage des Restos du cœur est équipé d'une pompe à chaleur air/air qui assure le refroidissement. La pièce est également régulée sur thermostat d'ambiance mais au cours de notre visite nous avons pu constater que la porte d'accès du local reste ouverte pendant toute la durée de l'entreposage des denrées ce qui constitue des sources d'apports de chaleur dans le local.

#### IV.3.3 Eau chaude sanitaire

Le stockage d'eau chaude sanitaire pour le nettoyage et l'entretien des espaces communs ou les courts tirages d'eau chaude n'est pas pertinent. En effet, lorsqu'on stocke de l'eau chaude, il y a une perte d'énergie due à la dissipation de la chaleur à travers les parois du ballon. Cette perte d'énergie peut être significative, surtout si le ballon d'eau chaude est mal isolé. Ainsi, le

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

chauffage et le maintien de l'eau chaude dans le réservoir entraînent une consommation d'énergie supplémentaire et des coûts plus élevés. Dans le cas des courts tirages, le stockage de l'eau chaude engendre également un temps d'attente plus long ce qui peut être inconfortable pour les usagers. Il est donc préférable d'opter pour des chauffe-eaux instantanés.

### IV.3.4 Eclairage

L'éclairage artificiel est actuellement assuré par des néons peu performants. On pourrait optimiser le système d'éclairage en passant sur des éclairages LED avec gestion automatique de l'allumage et de l'extinction.

## IV.4 ANALYSE DU CONFORT DANS LE BATIMENT

Lors de l'entretien que nous avons réalisé avec la maîtrise d'ouvrage, nous lui avons posé des questions relatives au confort et aux comportements au sein du bâtiment. Ces questions sont :

- Etes-vous globalement satisfait du confort dans votre établissement ?
- Avez-vous froid à certaines périodes de l'année ?
- Avez-vous trop chaud à certaines périodes de l'année ?
- Si oui, comment vous en protégez-vous ?
- Ressentez-vous la nécessité d'ouvrir les fenêtres (renouvellement et qualité de l'air, chaleur etc.) ?
- Etes-vous globalement satisfait du confort visuel dans votre établissement ?
- Allumez-vous la lumière pendant la journée ?
- Êtes-vous gênés par le soleil (éblouissement) ?
- Si oui, comment vous en protégez-vous ?

Selon la maîtrise d'ouvrage, le confort thermique est peu satisfaisant.

Les occupants du site ont également été invités à répondre à ces questions via un formulaire de satisfaction en ligne diffusé sur Google. Au total, 10 personnes ont participé à cette enquête, comprenant 6 usagers de l'école primaire, 3 usagers des locaux associatifs et 1 usager de la maternelle. Les tableaux 10 et 11 présentent les résultats du formulaire de satisfaction remplis par les usagers du bâtiment. La satisfaction a été jugée sur une échelle de 1 à 7 pour les différents critères ci-dessous. On détermine le niveau de satisfaction de chaque critère en faisant une moyenne des notations données par les participants de l'enquête.

Tableau 10 : Résultats du formulaire de satisfaction des usagers de l'espace enseignement

Sondage de satisfaction	Primaire 1	Primaire 2	Primaire 3	Primaire 4	Primaire 5	Primaire 6	Maternelle
Confort d'été	6	4	3	5	7	3	4

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Confort d'hiver	4	2	3	3	5	3	4
Qualité de l'air	4	3	2	3	6	3	4
ECS	6	3	2	5	1	5	3
Eclairage	5	7	3	4	7	4	3
Acoustique	4	1	3	2	1	3	4
<b>1 = Très Satisfait   7 = Très Insatisfait</b>							

Tableau 11 : Résultats du formulaire de satisfaction des locaux associatifs

<b>Sondage de satisfaction</b>	Assos 1	Assos 2	Assos 3
Confort d'été	3	4	5
Confort d'hiver	4	3	4
Qualité de l'air	3	4	3
ECS	4	3	4
Eclairage	4	3	3
Acoustique	5	2	2
<b>1 = Très Satisfait   7 = Très Insatisfait</b>			

- Confort d'hiver

Le confort d'hiver est différent selon les pièces. Sur six usagers du primaire questionnés, quatre trouvent que le bâtiment est assez confortable contrairement aux deux autres qui jugent le bâtiment trop froid. Néanmoins le personnel juge certaines zones du bâtiment moins confortables comme les couloirs, le gymnase, le préau ou encore les toilettes. Dans la maternelle et les associations il fait trop chaud. La régulation terminale n'est pas efficace. Les robinets simples ne permettent pas de réguler la température. Les radiateurs ne procurent pas assez le confort attendu. La présence de courants d'air accentue l'inconfort. Les fenêtres sont ouvertes dans les classes pour aérer lorsque l'alarme du capteur de CO<sub>2</sub> sonne.

Dans l'ensemble, les occupants sont peu satisfaits du confort d'hiver.

- Confort d'été

Nombreux cas de surchauffe en été et parfois en intersaison dans l'ensemble du bâtiment, notamment dans les salles de classes orientées Sud.

Les portes et fenêtres sont ouvertes régulièrement. Des protections solaires intérieures sont présentes sur la plupart des menuiseries et sont souvent utilisées. Leur efficacité est très mitigée. Dans l'ensemble, les occupants sont peu voire non satisfaits du confort d'été.

- Qualité de l'air

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

La ventilation est jugée insuffisante dans la plupart des classes du primaire. Dans les classes de la maternelle, la ventilation est adaptée contrairement aux locaux associatifs où elle est trop importante. L'air est trop sec dans la maternelle et trop humide dans certaines zones du primaire. Les usagers du bâtiment sont parfois gênés par de mauvaises odeurs provenant très souvent des toilettes. Ces mauvaises odeurs sont ressenties généralement le matin et lors de la saison pluvieuse.

Dans l'ensemble, les occupants sont peu satisfaits de la qualité de l'air.

- Confort visuel

Les locaux sont assez éclairés dans le bâtiment hormis quelques locaux associatifs qui paraissent sombres. Cependant les locaux orientés Sud sont sujets à l'éblouissement. Lorsque les protections sont utilisées, il est nécessaire d'allumer la lumière artificielle pour atteindre une luminosité correcte.

Dans l'ensemble, les occupants sont peu voire pas satisfaits du confort visuel.

- Confort acoustique

Les nuisances sonores sont disparates selon les endroits du bâtiment.

Dans l'ensemble, les occupants sont assez satisfaits du confort acoustique.

### IV.5 ANALYSE DES CONSOMMATIONS

#### IV.5.1 Données climatiques

Les calculs réalistes ont été réalisés à partir des données climatiques de la station météo la plus proche de la commune de Grande Synthé (6,7 km) située à Dunkerque.

La figure 16 met en évidence les DJU relevés en 2021 sur la station de Dunkerque.

« Les Degrés Jours Unifiés (DJU) sont utilisés pour qualifier la rigueur d'un climat et caractériser ainsi une consommation de chauffage. Les DJU représentent l'écart de température entre une température intérieure conventionnelle (18°C) et la température extérieure moyenne de la journée »[13]. La somme des DJU sur une période permet de déterminer les besoins de chauffage et de climatisation d'un bâtiment

# AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

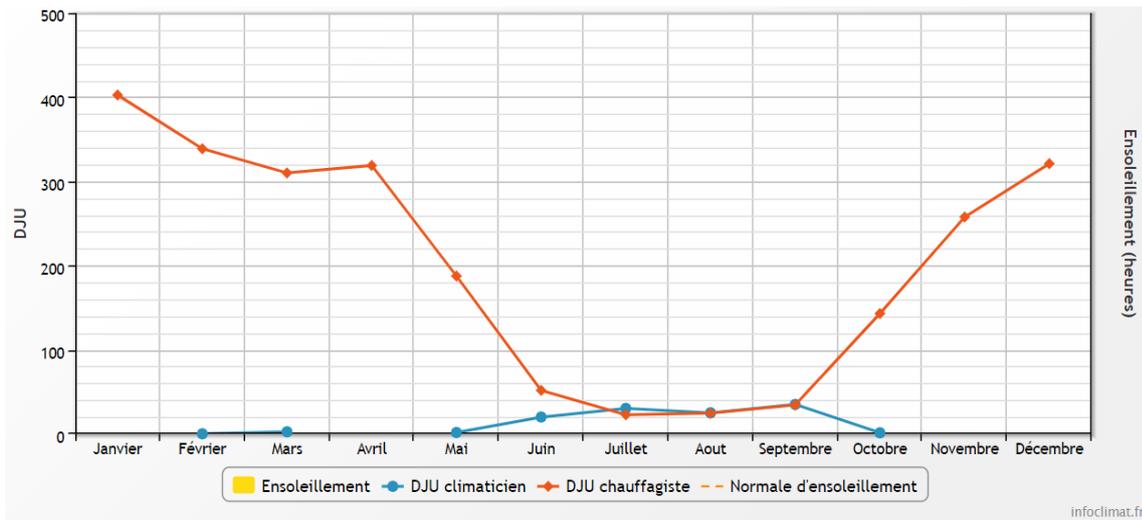


Figure 16 : Degrés- Jours et ensoleillement en 2021 à Dunkerque

On peut remarquer sur la figure que les valeurs de DJU sont assez élevées durant les mois décembre à avril ce qui est assez logique vu qu’il s’agit des périodes les plus rudes de l’hiver.

## IV.5.2 Factures énergétiques

L’étude s’est basée sur les factures énergétiques du site qui nous ont été transférées par le maître d’ouvrage. Elle concerne la période allant de 2015 à 2021. Les valeurs de l’année 2020 n’ont pas été prises en compte à cause du confinement durant la pandémie du Covid.

### IV.5.2.1 Electricité

La consommation d’électricité du site comprend l’éclairage, l’ECS, l’électricité spécifique (équipements de cuisine, autres) et les auxiliaires de chauffage.

Il est possible d’établir un profil de consommations annuelles à partir des données reçues.

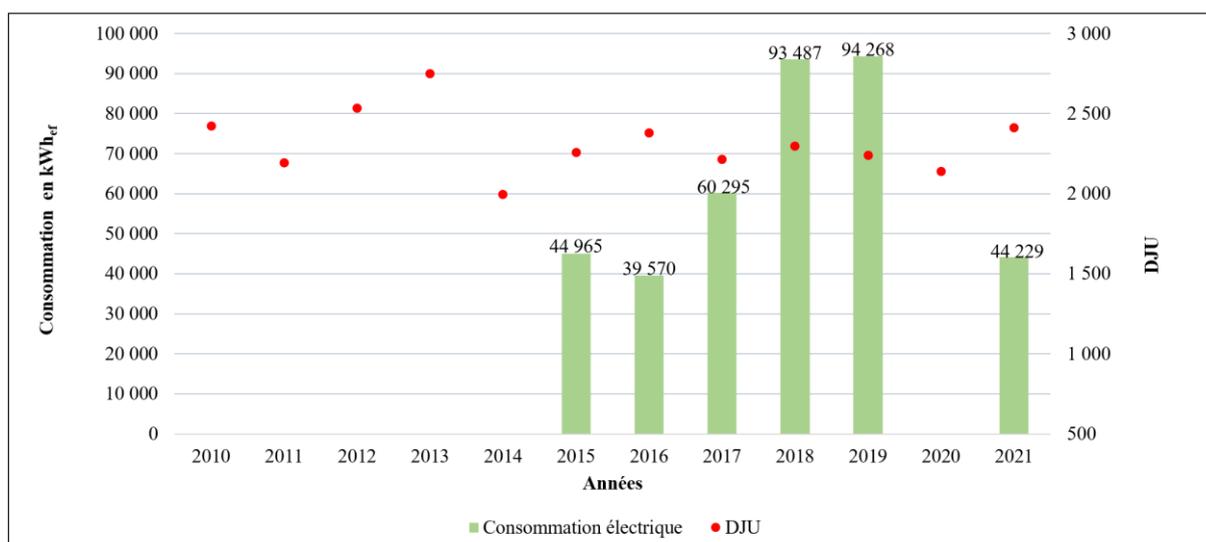


Figure 17 : Consommations en énergies du site GS Pierre Marie Curie

La figure 17 montre que :

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

- La consommation électrique n'est pas proportionnelle aux DJU. Cela montre que de 2015 à 2021, il n'y a aucune consommation d'électricité utilisée pour le chauffage dans le bâtiment.
- La consommation électrique a été beaucoup plus importante en 2018 et 2019. Dans les documents qui ont été mis à notre disposition par la maîtrise d'ouvrage, il n'y a pas d'éléments qui justifient ces pics de consommations. Le guide qui nous a accompagnés lors de la visite n'a également pas pu expliquer ces pics. Il est possible qu'un rattrapage ait été effectué sur les factures énergétiques.

La consommation moyenne annuelle d'électricité du groupe scolaire Pierre et Marie Curie entre 2015 et 2021 est de **62 804 kWh<sub>ef</sub>**.

### IV.5.2.2 Réseau de chaleur

La consommation du réseau de chaleur est uniquement liée au chauffage du bâtiment.

Le périmètre d'étude ne dispose pas actuellement de sous compteur propre à chaque usage du bâtiment. Les consommations en chauffage de l'école maternelle, primaire, du gymnase et des locaux associatifs sont donc cumulées.

Il est possible d'établir un profil de consommations mensuelles et annuelles à partir des données reçues.

La figure 18 montre que :

- La consommation gaz est n'est pas corrélée aux valeurs des DJU. Cela montre que la régulation en chaufferie des bâtiments avant le raccordement au réseau de chaleur urbain n'était pas efficace.
- La consommation énergétique du bâtiment est relativement stable entre 2015 et 2021.

La consommation moyenne en gaz du site entre 2015 et 2019 est de **351 401 kWh<sub>ef</sub>**.

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

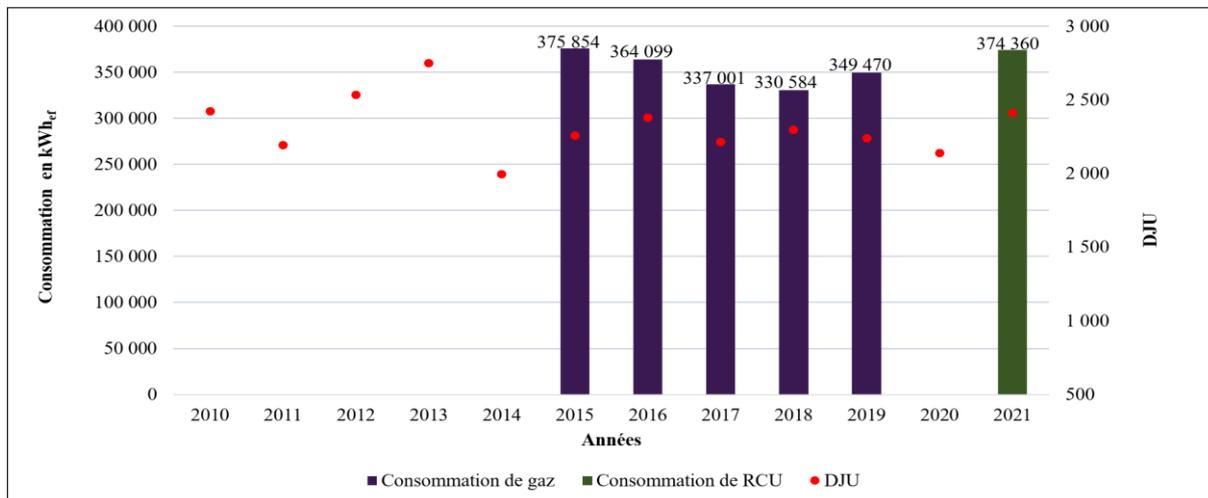


Figure 18 : Consommations annuelles en chauffage du site GS Pierre Marie Curie entre 2010 et 2021

### IV.5.3 Année de référence pour le décret tertiaire

La figure 19 illustre la consommation annuelle en énergie du Groupe Scolaire Pierre et Marie Curie entre 2010 et 2020 pour l'ensemble des usages du bâtiment (chauffage, climatisation, production d'eau chaude sanitaire, éclairage, etc.).

On peut constater que la consommation énergétique du site la plus élevée a été relevée en 2019 avec une consommation de **443 738 kWh**.

Les calculs des gains énergétiques relatifs des simulations à venir seront exprimés par rapport à 2019, année de référence.

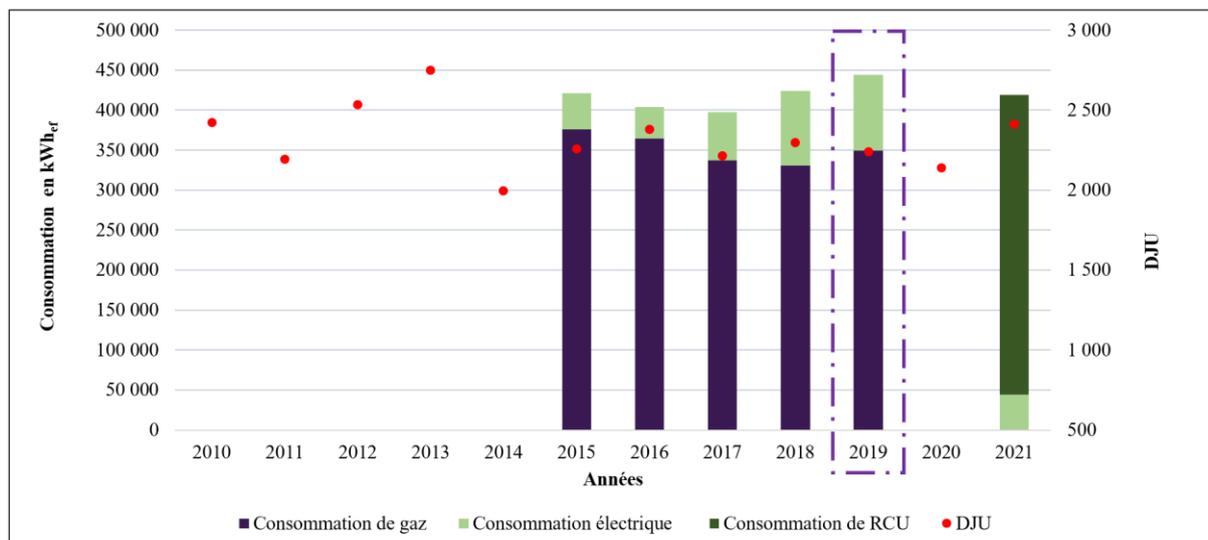


Figure 19 : Consommations cumulées en énergie finale du site Pierre Marie Curie

## V. PROPOSITIONS D'AMELIORATIONS

---

Le but de cette partie est de déterminer les bouquets de travaux à réaliser pour améliorer la performance énergétique du bâtiment et atteindre les objectifs du décret tertiaire. Grâce à la STD et SED nous pouvons évaluer l'impact des différentes actions préconisées sur les besoins en chauffage ainsi que la consommation en électricité et en réseau de chaleur urbain.

Sur les bases des résultats obtenus lors de la modélisation de l'état initial, il a été défini la stratégie d'action suivante :

- 1- l'amélioration de l'enveloppe ,
- 2- l'amélioration des systèmes (utilisation de systèmes plus performants et automatisation de la gestion ),
- 3- le recours aux énergies renouvelables.

Dans un premier temps, nous allons agir prioritairement sur l'enveloppe thermique car les déperditions par conduction constituent 73% des déperditions totales du bâtiment. L'amélioration de l'enveloppe thermique (isolation, vitrages) alliée au traitement de l'étanchéité à l'air permet de réduire très largement le besoin (environ 20 à 40% selon le niveau de performance) et donc la consommation en chauffage.

Une fois la perméabilité à l'air maîtrisée, il est important d'envisager un système de ventilation efficace améliorant la santé et le confort des occupants. Enfin, le remplacement de certains équipements (régulation, chaudière, etc.) permet une amélioration des performances énergétiques.

Pour aller plus loin, une production d'énergies renouvelables (panneaux photovoltaïques, géothermiques, récupération de chaleur) peut être envisagée en vue de se libérer des énergies fossiles.

### V.1 ACTIONS INDIVIDUELLES

Selon le niveau de performance des éléments par rapport à la réglementation thermique existants RTE<sub>ex</sub>, nous avons défini des actions individuelles que nous jugeons pertinentes pour l'audit. Chaque préconisation est simulée avec la SED en tenant compte des scénarios d'occupation et d'utilisation du bâtiment.

A l'issue de la simulation nous obtenons les consommations énergétiques prévisionnelles en réseau de chaleur et en électricité. On détermine les gains énergétiques et financiers de chaque action individuelle en faisant une différence entre la consommation énergétique de référence et

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

celle obtenue par simulation.

Les détails sur les différentes fiches de préconisations sont donnés en annexe IV.

Tableau 12 : Synthèse des gains potentiels sur les actions individuelles

Travaux	Investissement avec primes	Gain annuel énergétique	Gain annuel financier HT	Temps de retour brut	Temps de retour actualisé
<b>Remplacement des menuiseries</b>	430 944 €	46 368 kWh	3 426 €	>50 ans	46 ans
<b>Isolation des toitures</b>	111 988 €	23 202 kWh	1 718 €	>50 ans	33 ans
<b>Isolation des murs ITI</b>	105 787 €	149 402 kWh	11 013 €	10 ans	9 ans
<b>Isolation des murs ITE</b>	220 612 €	133 895 kWh	9 857 €	23 ans	17 ans
<b>Remplacement des menuiseries dans les volumes occupés</b>	270 373 €	27 036 kWh	2 015 €	>50 ans	47 ans
<b>Isolation du plancher bas sur vide-sanitaire</b>	13 811 €	51 101 kWh	3 800 €	4 ans	4 ans
<b>Isolation des toitures non ou peu isolées</b>	54 955 €	18 645 kWh	1 383 €	40 ans	25 ans
<b>Ventilation mécanique contrôlée simple flux</b>	34 980 €	- <sup>1</sup>	-	-	-
<b>Ventilation mécanique contrôlée double flux</b>	176 628 €	-	-	-	-
<b>ECS instantanée</b>	2 800 €	3 969 kWh	667 €	5 ans	5 ans
<b>Régulation</b>	6 615 €	63 825 kWh	4 729 €	2 ans	2 ans
<b>Robinets thermostatiques</b>	5 615 €	29 892 kWh	2 233 €	3 ans	3 ans
<b>Amélioration éclairage (LED/DP/gradation)</b>	50 359 €	581 kWh	172 €	>50 ans	>50 ans
<b>Installation d'un système photovoltaïque de 5 kWc</b>	15 000 €	5 917 kWh	1 012 €	15 ans	14 ans

<sup>1</sup> L'installation d'une ventilation mécanique contrôlée n'apporte pas de gains énergétiques.

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Tableau 13 : Synthèse des gains par rapport au décret tertiaire

Travaux	Coût des travaux (sans primes)	Gain énergétique (kWh)	Gain par rapport à l'année de référence (%)
<b>L'ensemble des prix indiqués dans ce tableau sont en € HT avec l'utilisation de matériaux conventionnels.</b>			
<b>Bâti</b>			
Remplacement des menuiseries	445 200 €	46 368 kWh	10,4%
Isolation des toitures	133 350 €	23 202 kWh	5,2%
Isolation des murs ITI	130 135 €	149 402 kWh	33,7%
Isolation des murs ITE	244 960 €	133 895 kWh	30,2%
Remplacement des menuiseries dans les volumes occupés	279 600 €	27 036 kWh	6,1%
Isolation du plancher bas sur vide-sanitaire	25 960 €	51 101 kWh	11,5%
Isolation des toitures non ou peu isolées	65 111 €	18 645 kWh	4,2%
<b>Systèmes énergétiques : Ventilation</b>			
Ventilation mécanique contrôlée simple flux	49 256 €	-	-
Ventilation mécanique contrôlée double flux	189 606 €	-	-
<b>Systèmes énergétiques : Chauffage et ECS</b>			
ECS instantanée	2 800 €	3 969 kWh	0,9%
Amélioration du système de régulation du chauffage	10 000 €	63 825 kWh	14,4%
Robinets thermostatiques	7 840 €	29 892 kWh	6,7%
<b>Systèmes énergétiques : Eclairage</b>			
Amélioration éclairage (LED/DP/gradation)	52 954 €	581 kWh	0,1%
<b>Systèmes énergétiques : Production photovoltaïque</b>			
Installation d'un système photovoltaïque de 5 kWc	15 000 €	5 917 kWh	1%

Les tableaux 12 et 13 présentent une synthèse des actions individuelles préconisées. Ils donnent un aperçu sur les gains énergétiques et financiers potentiels ainsi que le temps de retour sur investissement.

On remarque également qu'aucune action individuelle ne permet d'atteindre l'objectif décret tertiaire 2030, il est donc nécessaire de faire des actions combinées (bouquet de travaux) pour atteindre les objectifs du décret tertiaire.

## V.2 BOUQUETS DE TRAVAUX

Dans cette partie, nous avons défini 3 bouquets de travaux permettant d'atteindre respectivement les objectifs de 2030, 2040 et 2050.

Les tableaux 14, 15 et 16 donnent une vue globale sur les actions combinées dans chaque bouquet accompagné des gains énergétiques et financiers potentielles.

Les aides suivantes ont été intégrées dans les calculs financiers : la dotation de soutien à l'investissement (DSIL) et le certificat d'économie d'énergie (CEE).

La DSIL est un dispositif financier mis en place en France pour soutenir les projets d'investissement des collectivités territoriales, telles que les communes, les départements et les régions. Le but de la DSIL est d'apporter un soutien financier aux collectivités pour la réalisation de leurs projets d'investissement, en complément d'autres sources de financement.

Le CEE est une stratégie mise en place par l'État français pour réduire les consommations en énergie. Pour être éligible à une aide CEE il faut accomplir une action d'efficacité énergétique qui garantit un gain énergétique. Le gain énergétique est évalué en fonction de la performance énergétique minimale imposée pour chaque élément. Par exemple pour bénéficier d'une CEE dans le cadre d'isolation des murs extérieurs il faut une résistance minimale  $R = 3,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ .

Les aides concernant les CEE ont été déterminées selon les fiches d'opérations standardisées 4ème période [14]. En décrivant les travaux d'amélioration réalisés dans le fichier Excel fourni par l'ADEME aux bureaux d'études, il est possible de connaître le montant des aides éligibles. Au vu de l'enveloppe budgétaire relativement contrainte de la DSIL, il est recommandé de ne pas solliciter plus de 40% de subventions sur les opérations d'investissements. Les aides ont été intégrées dans chaque bouquet car ils permettent tous de faire plus de 30% d'économies d'énergies.

Les fiches de préconisations ci-dessous indiquent :

- Le coût d'investissement : il s'agit du coût de la pose et de la fourniture. Les prix indiqués sont les coûts moyennés des catalogues professionnels actuels.
- Le surcoût écologique : c'est le surcoût de la fourniture d'un isolant écologique par rapport à un isolant traditionnel.
- Le montant total économisé : il s'agit de l'économie brute annuelle. Le prix du kWh économisé tient compte de l'analyse des factures sur 2 à 3 ans.
- Le gain actualisé sur 20 ans : il s'agit des économies sur 20 ans liées à l'action, en prenant en compte l'augmentation du prix des énergies, l'entretien, la maintenance et le remplacement des équipements.

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

- Le Temps de Retours sur Investissement (TRI) : c'est le temps nécessaire pour que l'investissement de départ puisse être récupéré grâce au gain énergétique annuel.
- Le Temps de Retours sur Investissement Actualisé (TRIA) : le TRIA est un TRI qui prend en compte l'augmentation des prix des énergies, de l'entretien, la maintenance et le remplacement des équipements (Annexe VI).
- La quantité de CO<sub>2</sub> économisé : il s'agit des émissions de CO<sub>2</sub> évitées grâce aux économies d'énergies réalisés par rapport à la situation de référence.
- Le coefficient  $Cep_{initial}$  est calculé en appliquant la méthode de calcul TH-C-E ex 2008 et en utilisant comme données d'entrée les caractéristiques réelles du bâtiment et de ses équipements avant travaux, ou les valeurs par défaut qu'elle fournit ainsi que les valeurs conventionnelles.
- Le coefficient  $Cep_{projet}$  est calculé en appliquant la même méthode de calcul et en utilisant comme données d'entrée les caractéristiques réelles du bâtiment et de ses équipements après travaux.
- Le coefficient BBC réno indique le niveau de consommation d'énergie que le bâtiment doit atteindre pour être classé dans la catégorie bâtiment basse consommation.
- Le Coefficient  $U_{bat\ projet}$  caractérise les déperditions thermiques de l'enveloppe du bâtiment après travaux.

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Tableau 14 : Bouquet 1 – Actions prioritaires (décret tertiaire 2030)

Description du programme																														
Ce bouquet contient les actions suivantes :																														
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation des murs par l'intérieur</li> <li>• Mise en place d'un système de ventilation simple flux</li> <li>• Optimisation de la régulation du système de chauffage</li> <li>• Mise en place de robinets thermostatiques</li> <li>• Isolation des toitures non ou peu isolées</li> </ul>																														
Investissements € HT																														
Bouquet 1	Classique	Ecologique																												
Investissement hors primes	262 342 € HT	301 585 € HT																												
Investissement avec primes	103 016 € HT	126 562 € HT																												
Gain et temps de retour sur investissement																														
Gains énergétiques et financiers																														
Conso EF économisée	186 813 kWh <sub>eff</sub> /an																													
Montant électricité économisé	- 913 € HT/an																													
Montant RCU économisé	14 226 € HT/an																													
Montant total économisé	13 313 € HT/an																													
Temps de retour sur investissement (Années)																														
Gain sommé sur 20 ans	385 620 € HT																													
TRI brut	8 années	10 années																												
TRI actualisé	7 années	9 années																												
Gains environnementaux																														
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	17 478 kg CO <sub>2</sub> eq/an																													
Nouvelles étiquettes énergétiques																														
<p><b>Consommations énergétiques</b></p> <p>Bâtiment économe</p> <table border="0"> <tr><td>≤50</td><td><b>A</b></td></tr> <tr><td>51 à 90</td><td><b>B</b></td></tr> <tr><td>91 à 150</td><td><b>C</b></td></tr> <tr><td>151 à 230</td><td><b>D</b></td></tr> <tr><td>231 à 330</td><td><b>E</b></td></tr> <tr><td>331 à 450</td><td><b>F</b></td></tr> <tr><td>&gt; 450</td><td><b>G</b></td></tr> </table> <p>Bâtiment énergivore</p>	≤50	<b>A</b>	51 à 90	<b>B</b>	91 à 150	<b>C</b>	151 à 230	<b>D</b>	231 à 330	<b>E</b>	331 à 450	<b>F</b>	> 450	<b>G</b>	<p><b>Emissions de Gaz à Effet de Serre</b></p> <p>Faible émission de GES</p> <table border="0"> <tr><td>≤5</td><td><b>A</b></td></tr> <tr><td>6 à 10</td><td><b>B</b></td></tr> <tr><td>11 à 20</td><td><b>C</b></td></tr> <tr><td>21 à 35</td><td><b>D</b></td></tr> <tr><td>36 à 55</td><td><b>E</b></td></tr> <tr><td>56 à 80</td><td><b>F</b></td></tr> <tr><td>&gt; 80</td><td><b>G</b></td></tr> </table> <p>Forte émission de GES</p>	≤5	<b>A</b>	6 à 10	<b>B</b>	11 à 20	<b>C</b>	21 à 35	<b>D</b>	36 à 55	<b>E</b>	56 à 80	<b>F</b>	> 80	<b>G</b>	<p><b>CEP initial : 197,79 kWh<sub>eff</sub>/m<sup>2</sup></b></p> <p><b>CEP réf : 116,3 kWh<sub>eff</sub>/m<sup>2</sup></b></p> <p><b>BBC réno : 69,8 kWh<sub>eff</sub>/m<sup>2</sup></b></p> <p><b>CEP Projet : 104,29 kWh<sub>eff</sub>/m<sup>2</sup></b></p> <hr/> <p><b>Ubat max : 0,929 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup></b></p> <p><b>Ubat projet : 0,793 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup></b></p>
≤50	<b>A</b>																													
51 à 90	<b>B</b>																													
91 à 150	<b>C</b>																													
151 à 230	<b>D</b>																													
231 à 330	<b>E</b>																													
331 à 450	<b>F</b>																													
> 450	<b>G</b>																													
≤5	<b>A</b>																													
6 à 10	<b>B</b>																													
11 à 20	<b>C</b>																													
21 à 35	<b>D</b>																													
36 à 55	<b>E</b>																													
56 à 80	<b>F</b>																													
> 80	<b>G</b>																													

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Tableau 15 : Bouquet 2- Décret tertiaire 2040

Description du programme		
Ce bouquet contient les actions suivantes :		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation des toitures</li> <li>• Isolation des murs par l'intérieur</li> <li>• Mise en place d'un système de ventilation double flux</li> <li>• Optimisation de la régulation du système de chauffage</li> <li>• Amélioration éclairage (LED/DP/gradation)</li> <li>• Mise en place de robinets thermostatiques</li> <li>• Remplacement des menuiseries des volumes occupés</li> </ul>		
Investissements € HT		
Bouquet 1	Classique	Ecologique
Investissement hors primes	803 485 € HT	1046 188 € HT
Investissement avec primes	405 971 € HT	551 593 € HT
Gain et temps de retour sur investissement		
Gains énergétiques et financiers		
Conso EF économisée	234 803 kWh <sub>ef</sub> /an	
Montant électricité économisé	-1 267 € HT/an	
Montant RCU économisé	17 934 € HT/an	
Montant total économisé	16 666 € HT/an	
Temps de retour sur investissement (Années)		
Gain sommé sur 20 ans	484 258 € HT	
TRI brut	25 années	34 années
TRI actualisé	18 années	23 années
Gains environnementaux		
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	21 908 kg CO <sub>2</sub> eq/an	
Nouvelles étiquettes énergétiques		
<p><b>Consommations énergétiques</b></p> <p>Bâtiment économe</p> <p align="center">86 kWh/m<sup>2</sup>.an</p> <p>Bâtiment énergivore</p>	<p><b>Emissions de Gaz à Effet de Serre</b></p> <p>Faible émission de GES</p> <p align="center">6 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an</p> <p>Forte émission de GES</p>	<p><b>CEP initial : 86,48 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup></b></p> <p><b>CEP réf : 116,3 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup></b></p> <p><b>BBC réno : 69,8 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup></b></p> <p><b>CEP Projet : 86,48 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup></b></p> <hr/> <p><b>Ubat max : 0,929 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup></b></p> <p><b>Ubat projet : 0,619 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup></b></p>

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Tableau 16 : Bouquet 3 – BBC rénovation (décret tertiaire 2050)

Description du programme		
Ce bouquet contient les actions suivantes :		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacement des menuiseries</li> <li>• Isolation des toitures</li> <li>• Isolation des murs par l'intérieur</li> <li>• Mise en place d'un système de ventilation double flux</li> <li>• Optimisation de la régulation du système de chauffage</li> <li>• Amélioration éclairage (LED/DP/gradation)</li> <li>• Installation d'un système photovoltaïque de 5 kWc</li> <li>• Mises en place de robinets thermostatiques</li> <li>• Isolation du plancher bas sur vide-sanitaire</li> </ul>		
Investissements € HT		
Bouquet 1	Classique	Ecologique
Investissement hors primes	1010 045 € HT	1076 083 € HT
Investissement avec primes	512 729 € HT	552 351 € HT
Gain et temps de retour sur investissement		
Gains énergétiques et financiers		
Conso EF économisée	296 869 kWh <sub>ef</sub> /an	
Conso EP économisée	290 599 kWh <sub>ep</sub> /an	
<b>Montant électricité économisé</b>	<b>- 810 € HT/an</b>	
<b>Montant RCU économisé</b>	<b>22 325 € HT/an</b>	
<b>Montant total économisé</b>	<b>21 515 € HT/an</b>	
Temps de retour sur investissement (Années)		
Gain sommé sur 20 ans	<b>627 336 € HT</b>	
TRI brut	<b>24 années</b>	<b>26 années</b>
TRI actualisé	<b>18 années</b>	<b>19 années</b>
Gains environnementaux		
<b>Quantité de CO<sub>2</sub> économisée</b>	<b>28 094 kg CO<sub>2</sub>eq/an</b>	
Nouvelles étiquettes énergétiques		
<p><b>Consommations énergétiques</b></p> <p>Bâtiment économe</p> <p>≤50 <b>A</b></p> <p>51 à 90 <b>B</b></p> <p>91 à 150 <b>C</b></p> <p>151 à 230 <b>D</b></p> <p>231 à 330 <b>E</b></p> <p>331 à 450 <b>F</b></p> <p>&gt; 450 <b>G</b></p> <p>Bâtiment énergivore</p>	<p><b>Emissions de Gaz à Effet de Serre</b></p> <p>Faible émission de GES</p> <p>≤5 <b>A</b></p> <p>6 à 10 <b>B</b></p> <p>11 à 20 <b>C</b></p> <p>21 à 35 <b>D</b></p> <p>36 à 55 <b>E</b></p> <p>56 à 80 <b>F</b></p> <p>&gt; 80 <b>G</b></p> <p>Forte émission de GES</p>	<p><b>CEP initial : 86.48 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup></b></p> <p><b>CEP réf : 116,3 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup></b></p> <p><b>BBC réno : 69,8 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup></b></p> <p><b>CEP Projet : 68,85 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup></b></p> <hr/> <p><b>Ubat max : 0,929 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup></b></p> <p><b>Ubat projet : 0,528 W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup></b></p>

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHE DANS LE CADRE DU  
DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Le tableau 17 résume les gains énergétiques et financiers obtenues à partir des 3 bouquets de travaux définis.

Tableau 17 : Synthèse des gains énergétiques et financiers

Travaux	Coût des travaux avec primes	Temps de retour brut	Temps de retour actualisé	Gain annuel énergétique kWh	Gain par rapport à l'année de référence (%)	Gain annuel financier	Etiquette énergie	2030  - 40%	2040  - 50%	2050  - 60%
Etat Initial	-	-	-	-		-	D			
Bouquet 1 - Actions Prioritaires	103 016 €	8 ans	7 ans	186 813 kWh	42%	13 313 €	C			
Bouquet 2 - Décret Tertiaire 2040	405 971 €	25 ans	18 ans	234 803 kWh	53%	16 666 €	B			
Bouquet 3 - BBC rénovation	512 729 €	24 ans	18 ans	296 869 kWh	67%	21 515 €	B			

Le bouquet 1 permet d'atteindre les objectifs de 2030 avec un temps de retour sur investissement assez rapide comparé aux deux autres bouquets. Cette différence s'explique par le fait que la réalisation de certaines actions comme le remplacement des menuiseries, la mise en place d'un système de ventilation double flux ou encore l'amélioration de l'éclairage sont des actions qui induisent un coût d'investissement élevé.

Dans un contexte où la durée du mandat d'un élu est de 6 ans, on peut dire que le TRI est assez long. Mais avec du recul lorsqu'on considère des facteurs comme la taille et la complexité du projet, les coûts associés à la mise en œuvre et les impacts attendus on se rend compte que les chiffres sont assez cohérents. La prochaine étape après l'audit sera la phase de restitution du projet en présence du maître d'ouvrage afin de le convaincre car il est important pour un élu de s'assurer que les ressources publiques seront utilisées de manière efficace et efficiente.

## VI. CONCLUSION

---

Dans ce travail, nous avons effectué l'audit énergétique du Groupe Scolaire Pierre & Marie Curie de Grande Synthé. Le but de cet audit est de répondre aux objectifs fixés par le décret tertiaire qui impose des réductions de consommations en énergies finales pour l'horizon 2050. Dans un premier temps, nous nous sommes rendus sur le site pour les relevés concernant l'enveloppe du bâtiment et les systèmes ; ensuite nous avons fait une analyse des factures énergétiques afin de déterminer l'année de référence à partir de laquelle les éventuels gains énergétiques seront exprimés.

Dans un second temps, nous avons modélisé le bâtiment dans le logiciel Pléiades Comfie et encodé les différents équipements présents dans le bâtiment. Grâce à la SED, nous sommes retombés sur les consommations de l'année 2021 en utilisant les scénarios d'utilisations et d'occupations du bâtiment. L'analyse des résultats obtenus nous a permis de conforter nos hypothèses quant aux points faibles du bâtiment que sont l'enveloppe du bâti et le renouvellement de l'air.

Dans la dernière partie de ce travail nous préconisons des actions individuelles qui sont combinées par la suite pour donner des bouquets de travaux. A cet effet, nous avons défini trois bouquets.

Le bouquet 1 comprend les actions prioritaires qui permettent d'atteindre les objectifs de 2030 et d'effectuer des économies sans investissement significatif avec un TRIA de 7 ans pour un gain énergétique de 42%.

Le bouquet 2 comprend des actions un peu plus poussées qui améliorent l'enveloppe thermique et le renouvellement d'air (VMC DF, remplacement de menuiseries pour les volumes occupés, l'isolation des toitures). Elle permet d'atteindre les objectifs de 2040 avec un investissement et un TRIA plus élevé (18 ans pour un gain énergétique de 53%) par rapport au bouquet 1.

Le bouquet 3 consiste à une rénovation globale du bâtiment avec en plus une mise en place d'un système photovoltaïque en revente totale. Ce bouquet est plus intéressant que le bouquet 2, elle présente un même ratio économie / investissement pour un gain énergétique de 67%.

Sur le plan personnel, ce stage constitue pour moi un grand pas dans le monde professionnel. Il m'a permis de travailler dans un domaine qui me passionne et qui fait appel à beaucoup de compétences à la fois comme la thermique du bâtiment, la conception et le dimensionnement des équipements techniques en CVC ainsi que les énergies renouvelables.

## **RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES**

---

A l'issu du travail ainsi effectué, nous pouvons apporter les perspectives suivantes :

- Installer des sous-compteurs permettant d'identifier les consommations propres à chaque zone du bâtiment.
- Installer un système de gestion technique centralisé qui permettrait de suivre les consommations, identifier les futurs problèmes qui pourraient apparaître et réguler les locaux à distance si nécessaire
- Faire une étude de faisabilité d'un projet visant à installer un système photovoltaïque afin de réduire la facture électrique du site compte tenu de l'espace disponible notamment sur les toitures terrasses de l'étage.

## Bibliographie

- [1] F. Lassot, « Énergie dans les bâtiments », *Ministères Écologie Énergie Territoires*. <https://www.ecologie.gouv.fr/energie-dans-batiments> (consulté le 13 mars 2023).
- [2] Kalegos, « Historique des Réglementations Thermiques », 19 février 2018. <https://www.e-rt2012.fr/explications/generalites/precedentes-reglementations-thermiques/> (consulté le 24 février 2023).
- [3] Légifrance, « Article R174-22 - Code de la construction et de l'habitation ». [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000043819501](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043819501) (consulté le 22 mars 2023).
- [4] C. Martin, « Décret tertiaire : le guide des entreprises », *Opéra Énergie*, 18 juillet 2019. <https://opera-energie.com/decret-tertiaire-obligations-renovation-energetique/> (consulté le 22 mars 2023).
- [5] C. Martin, « Consommation d'énergie des bâtiments tertiaires : obligations 2023 », *Opéra Énergie*, 27 novembre 2020. <https://opera-energie.com/consommation-energie-batiments-tertiaires/> (consulté le 29 décembre 2022).
- [6] N. DIAB, « Audits énergétiques NF EN 16247 ». Afnor Energies. Consulté le: 15 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://pdfcoffee.com/download/2-afnor-energies-audits-energetiques-en-16247-pdf-free.html?reader=1>
- [7] Arsyel, « Dunkerque - Plan du reseau de ma ville ». <https://www.rezomee.fr/arsyel/plan-reseau> (consulté le 18 mai 2023).
- [8] N. VANHOUTTE, « Développement d'outils internes et chargé de projets au sein du Bureau d'Etudes Techniques ECOBATIngénierie (Optimisation thermique, énergétique et écologique du bâtiment) », UniLaSalle Rennes - École des Métiers de l'Environnement, Rapport de stage, 2019.
- [9] « Etude Thermique et Énergétique STD/SED | BMD CONSULT' ». <https://www.bmdconsult.fr/simulation-thermique-dynamique-etude-std-sed.php> (consulté le 14 mars 2023).
- [10] « Textes réglementaires - Le site "www.RT-bâtiment.fr" devient le site "RT-RE-bâtiment" ». <https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/textes-reglementaires-a35.html> (consulté le 23 mai 2023).
- [11] « annexe\_arrete\_th-c-e\_ex\_bo\_10\_10\_2008.pdf ». Consulté le: 23 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://rt-re-batiment.developpement->

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

durable.gouv.fr/IMG/pdf/annexe\_arrete\_th-c-e\_ex\_bo\_10\_10\_2008.pdf

- [12] DREAL Pays de la Loire, « La réglementation thermique pour les bâtiments existants évolue au 1er janvier 2018 », 22 août 2017. <https://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/la-reglementation-thermique-pour-les-batiments-a4177.html> (consulté le 28 mars 2023).
- [13] Bureau d'études Atis, « Audit énergétique résidence le menhir rue de vannes à Brest ». Consulté le: 23 mars 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://docplayer.fr/207011753-Audit-energetique-residence-le-menhir-rue-de-vannes-a-brest.html>
- [14] ADEME, *Outil de calcul des Certificats d'Économies d'Énergie (CEE)*, 2017. <https://calculateur-cee.ademe.fr/user/fiches/BAT> (consulté le 21 mai 2023).
- [15] ECOBATIngénierie, « Contacter Ecobat Ingénierie ». <https://www.ecobating.com/contact/> (consulté le 18 février 2023).
- [16] CSTB, « Règles Th-U Fascicule 3 : Parois vitrées ». 23 novembre 2012.
- [17] Aldes, « La ventilation dans le tertiaire guide de conception & solutions techniques ». Consulté le: 20 janvier 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.scribd.com/document/348783447/Aldes-Vmc-Tertiaire#>

## Annexes

### *Sommaire des annexes*

Annexe I : Organigramme de la structure d'accueil .....	47
Annexe II : Inventaire des équipements électriques du site .....	48
Annexe III : Valeurs standards pour les parois vitrés[16].....	50
Annexe IV : Fiches de préconisations individuelles .....	51
Annexe V : Débits minimum réglementaires .....	64
Annexe VI : Détails du calcul du TRIA .....	66

# AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

## ANNEXE I : ORGANIGRAMME DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

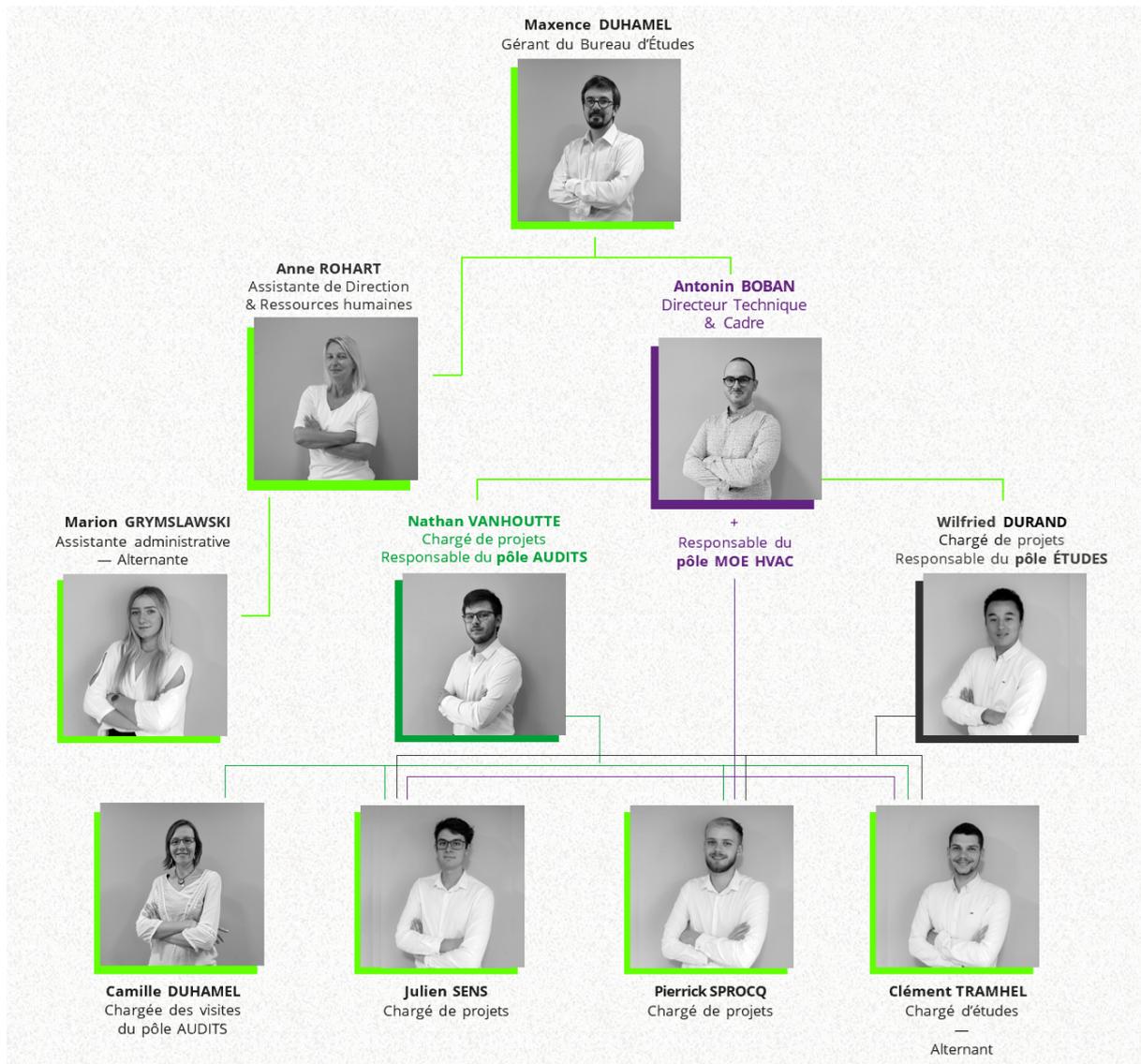


Figure 20 : L'équipe d'ECOBAT Ingénierie [15]

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

ANNEXE II : INVENTAIRE DES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES DU SITE

Emplacement	Appareils	Puissance (W)	Scénario d'utilisation
Local de stockage	4 bahuts	400	Tous les jours
	3 réfrigérateurs	250	
Rangement primaire	1 réfrigérateur	60	3h par jour en période scolaire
	1 microondes	1000	
Sanitaire mixte	1 sèche-mains	1200	5h par jour en période scolaire
Association 3A	1 ordinateur	100	4h tous les lundis et jeudis
	1 sonorisation	1000	
	1 réfrigérateur	300	
Association Neitsabes	1 réfrigérateur	300	4 h par semaine
	1 ordinateur	100	
Salle informatique	10 ordinateurs	100	12h par semaine en période scolaire
	1 projecteur	100	
	1 serveur	60	Tous les jours
Salles de classes	6 tableaux blanc interactif	100	6h par jour en période scolaire
	6 Ordinateurs	100	
	Projecteurs	100	
Réfectoire professeurs maternelle	2 laves linges	1500	5h par jour en période scolaire
Rangement maternelle	1 sèche-linge		
Resto du cœur	3 Cafetières	800	5h par jour en période d'occupation
	2 ordinateurs	100	8h par jour en période d'occupation
	1 microondes	800	3h en période d'occupation

**AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE**

	1 imprimante	300	1h par jour
	1 box internet	30	Tous les jours
	1 réfrigérateur	500	
Bureau directrice	1 ordinateur	100	7h par jour en période scolaire
	1 imprimante	500	1h par jour en période scolaire
Bibliothèque	1 ordinateur	100	7 h par jour en période scolaire
Salle de réunion	1 réfrigérateur	80	Tous les jours
	1 microonde	510	3h par jour en période scolaire
	1 ordinateur	100	
Dortoir	1 réfrigérateur	100	Tous les jours

# AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

## ANNEXE III : VALEURS STANDARDS POUR LES PAROIS VITRES [16]

### 3.1.2 Doubles vitrages verticaux

#### 3.1.2.1 Remplissage air à 100 %

Tableau XVI

Épaisseur lame (mm)	$U_g$ W/(m <sup>2</sup> .K)									
	Vitrages non traités	Vitrages à isolation thermique renforcée Émissivité normale utile $\epsilon_n$								
		0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
6	3,3	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9
8	3,1	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7
10	2,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5
12	2,8	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
14	2,8	1,5	1,5	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,2
15	2,7	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
16	2,7	1,4	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
18	2,7	1,4	1,4	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
20	2,7	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2

### 3.6 Coefficient $U_w$ des portes courantes

Ne sont concernés ici que les portes courantes. Pour les portes comportant une isolation spécifique et d'une manière générale, pour toutes les portes particulières, on peut se reporter aux Avis Techniques les concernant ou effectuer le calcul selon le NF EN ISO 10077 parties 1 et 2 ou la norme NF EN ISO 6946.

Tableau XLIX

Nature de la menuiserie	Type de portes	Coefficient $U$ W/(m <sup>2</sup> .K)
Portes simples en bois	Portes opaques :	
	– pleines	3,5
	– pleines avec montants de 45 mm	3,3
	Portes équipées de vitrage simple :	
– proportion de vitrage < 30 %	4,0	
– proportion de vitrage comprise entre 30 et 60 %	4,5	
Portes équipées de vitrages doubles à lame d'air de 6 mm quelle que soit la proportion du vitrage	3,3	
Portes simples en métal	Portes opaques	5,8
	Portes équipées de vitrages simples quelle que soit la proportion du vitrage	5,8
	Portes équipées de vitrage double :	
	– proportion de vitrage < 30 %	5,5
– proportion de vitrage comprise entre 30 et 60 %	4,8	
Portes en verre sans menuiserie	Portes en vitrage simple	5,8
Éléments souples battants		5,8

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

ANNEXE IV : FICHES DE PRECONISATIONS INDIVIDUELLES

Fiche de préconisation Enveloppe	<b>1- Isolation murs ITI</b>
Etat Actuel	
Les murs du bâtiment représentent le poste déperditif n°1.	
Description de l'action	
<p>Nous proposons d'isoler l'ensemble des murs des bâtiments par l'intérieur avec un isolant en laine minérale avec <math>R = 3,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}</math> (~12 cm), la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air et d'une plaque de plâtre.</p> <p>Cette action est nécessaire pour améliorer le confort dans les différentes pièces.</p> <p>Surcoût écologique : 22965 € HT (isolant type laine de bois).</p>	
Investissements	
Surface : 1 531 m <sup>2</sup>	Coût : 85 €/m <sup>2</sup> HT
Investissement hors primes	130 135 € HT
Investissement avec primes	105 787 € HT
Les travaux induits comme la mise en peinture ou le déplacement des réseaux ne sont pas compris.	
Gain et temps de retour sur investissement	
Gains énergétiques et financiers	
Conso EF économisée	149 402 kWh <sub>ef</sub> /an
Montant électricité économisé	- 76 € HT/an
Montant RCU économisé	11 089 € HT/an
Montant total économisé	11 013 € HT/an
Temps de retour sur investissement	
Gain sommé sur 20 ans	331 617 € HT
TRI brut	10 années
TRI actualisé	9 années
Gains environnementaux	
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	14 304 kg CO <sub>2</sub> eq/an
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilité de mises en œuvre et économique</li> <li>- Adaptée à l'intermittence des usages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pertes de surface habitable</li> <li>- Les travaux ne peuvent s'effectuer que lorsque le bâtiment est occupé.</li> </ul>

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Fiche de préconisation Enveloppe	<b>2- Isolation murs ITE</b>
Etat Actuel	
Les murs du bâtiment représentent le poste déperditif n°1.	
Description de l'action	
<p>Nous proposons d'isoler l'ensemble des murs des bâtiments par l'extérieur. Il est prévu l'utilisation de polystyrène expansé avec un <b>R = 3,7 m<sup>2</sup>·K·W<sup>-1</sup> (~14 cm)</b>.</p> <p>En cas de travaux globaux, l'isolation des parois doit être étudiée en prenant en compte le remplacement des menuiseries et l'isolation des toitures (traitement des ponts thermiques, menuiseries au nu extérieur, etc...).</p> <p>Cette action est nécessaire pour améliorer le confort dans les différentes pièces.</p> <p>Surcoût écologique : 61 240 € HT (isolant type fibre de bois).</p>	
Investissements	
Surface : 1 531 m <sup>2</sup>	Coût : 160 €/m <sup>2</sup> HT
Investissement hors primes	244 960 € HT
Investissement avec primes	220 612 € HT
Les travaux induits comme la reprise des appuis de fenêtres, le déplacement des descentes d'eaux pluviales, un éventuel bardage (surcoût estimé à 153 100 € HT) ne sont pas compris.	
Gain et temps de retour sur investissement	
Gains énergétiques et financiers	
Conso EF économisée	133 895 kWh <sub>ef</sub> /an
Montant électricité économisé	- 91 € HT/an
Montant RCU économisé	9 948 € HT/an
Montant total économisé	9 857 € HT/an
Temps de retour sur investissement	
Gain sommé sur 20 ans	296 893 € HT
TRI brut	23 années
TRI actualisé	17 années
Gains environnementaux	
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	12 809 kg CO <sub>2</sub> eq/an
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucun impact sur la surface utile</li> <li>- Traitement des ponts thermiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> </ul>

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Fiche de préconisation Enveloppe	<b>3- Remplacement des menuiseries</b>
Etat Actuel	
Les murs du bâtiment représentent le poste déperditif n°2.	
Description de l'action	
Remplacer l'ensemble des menuiseries par des modèles à isolation renforcée et étanches à l'air : double vitrage ( $U_w \leq 1,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ et $S_w \leq 0,35$ ) :	
✓ La continuité de l'étanchéité à l'air entre les menuiseries et les parois devra être assurée	
✓ Les menuiseries seront posées en applique intérieure en cas d'isolation des murs par l'intérieur, et par l'extérieur en cas d'isolation par l'extérieur.	
Surcoût triple vitrage estimé à : 74 200 € HT.	
Investissements	
Surface : 742 m <sup>2</sup>	Coût : 600 €/m <sup>2</sup> HT
Investissement hors primes	445 200 € HT
Investissement avec primes	430 944 € HT
Les travaux induits comme la reprise des appuis de fenêtres (mise en peinture, etc.) ne sont pas compris.	
Gain et temps de retour sur investissement	
Gains énergétiques et financiers	
Conso EF économisée	46 368 kWh/an
Montant électricité économisé	- 10 € HT/an
Montant RCU économisé	3 436 € HT/an
Montant total économisé	3 426 € HT/an
Temps de retour sur investissement	
Gain sommé sur 20 ans	103 107 € HT
TRI brut	>50 ans
TRI actualisé	46 années
Gains environnementaux	
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	4 446 kg CO <sub>2</sub> eq/an
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminution des infiltrations d'air</li> <li>- Diminution des déperditions de chaleur</li> <li>- Amélioration du confort visuel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> </ul>

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Fiche de préconisation Enveloppe	<b>4- Isolation toitures</b>
Etat Actuel	
Les murs du bâtiment représentent le poste déperditif n°4.	
Description de l'action	
Nous proposons d'isoler l'ensemble des toitures avec un isolant type laine minérale pour atteindre un $R = 6 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ (~24 cm).	
Nous préconisons l'ajout d'une membrane étanche à l'air et freine-vapeur côté intérieur de l'isolant.	
Surcoût écologique : 33 337 € HT (isolant type métisse)	
Investissements	
Surface : 2 223 m <sup>2</sup>	Coût : 60 €/m <sup>2</sup> HT
Investissement hors primes	133 350 € HT
Investissement avec primes	111 988 € HT
Les travaux induits comme la réfection des couvertures et des plafonds (mise en peinture, ...) ne sont pas compris.	
Gain et temps de retour sur investissement	
Gains énergétiques et financiers	
Conso EF économisée	23 202 kWh <sub>ef</sub> /an
Montant électricité économisé	2 € HT/an
Montant RCU économisé	1 716 € HT/an
Montant total économisé	1 718 € HT/an
Temps de retour sur investissement	
Gain sommé sur 20 ans	51 686 € HT
TRI brut	>50 ans
TRI actualisé	33 années
Gains environnementaux	
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	2 228 kg CO <sub>2</sub> eq/an
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilité de mise en œuvre</li> <li>- Réduction des déperditions</li> <li>- Opportun en cas de remplacement des éclairages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction de la hauteur sous-plafond</li> </ul>

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Fiche de préconisation Enveloppe	<b>5- Remplacement des menuiseries volumes occupés</b>
Etat Actuel	
Les murs du bâtiment représentent le poste déperditif n°2.	
Description de l'action	
Remplacer uniquement les menuiseries des volumes occupés par des modèles à isolation renforcée et étanches à l'air : <b>double vitrage</b> ( $U_w \leq 1,3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ et $S_w \leq 0,35$ ) ; <b>Porte</b> $U_d < 1.5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$	
✓ La continuité de l'étanchéité à l'air entre les menuiseries et les parois devra être assurée	
✓ Les menuiseries seront posées en applique intérieure en cas d'isolation des murs par l'intérieur, et par l'extérieur en cas d'isolation par l'extérieur.	
Surcoût triple vitrage estimé à : 74 200 € HT.	
Investissements	
Surface : 466 m <sup>2</sup>	Coût : 600 €/m <sup>2</sup> HT
Investissement hors primes	279 600 € HT
Investissement avec primes	270 373 € HT
Les travaux induits comme la reprise des appuis de fenêtres (mise en peinture, etc.) ne sont pas compris.	
Gain et temps de retour sur investissement	
Gains énergétiques et financiers	
Conso EF économisée	27 036 kWh/an
Montant électricité économisé	26 € HT/an
Montant RCU économisé	1 989 € HT/an
Montant total économisé	2 015 € HT/an
Temps de retour sur investissement	
Gain sommé sur 20 ans	60 546 € HT
TRI brut	>50 ans
TRI actualisé	47 années
Gains environnementaux	
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	2 608 kg CO <sub>2</sub> eq/an
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminution des infiltrations d'air</li> <li>- Diminution des déperditions de chaleur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> </ul>

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Fiche de préconisation Enveloppe	<b>6- Isolation plancher bas sur vide-sanitaire</b>
Etat Actuel	
La zone du bâtiment dédiée à l'enseignement primaire est construite sur vide-sanitaire et non isolé.	
Description de l'action	
Nous proposons d'isoler le plancher bas sur vide-sanitaire par dessous. Nous vous proposons d'y installer un isolant <b>R = 3,0 m<sup>2</sup>·K·W<sup>-1</sup> type polyuréthane (~7 cm)</b> . L'espace restreint dans le vide sanitaire peut compliquer les travaux à effectuer	
Investissements	
Surface : 649 m <sup>2</sup>	Coût : 40 €/m <sup>2</sup> HT
Investissement hors primes	25 960 € HT
Investissement avec primes	13 811 € HT
Gain et temps de retour sur investissement	
Gains énergétiques et financiers	
Conso EF économisée	51 101 kWh <sub>eff</sub> /an
Montant électricité économisé	33 € HT/an
Montant RCU économisé	3 767 € HT/an
Montant total économisé	3 800 € HT/an
Temps de retour sur investissement	
Gain sommé sur 20 ans	114 227 € HT
TRI brut	4 années
TRI actualisé	4 années
Gains environnementaux	
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	4 922 kg CO <sub>2</sub> eq/an
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction des déperditions</li> <li>- Supprime la sensation de sol froid en hiver</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accessibilité du vide sanitaire</li> </ul>

**AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE**

Fiche de préconisation Enveloppe	<b>7- Isolation toitures non ou peu isolées</b>
<b>Etat Actuel</b>	
Certaines toitures du bâtiment ne sont pas assez isolées. Les toitures du bâtiment représentent le poste déperditif n°4.	
<b>Description de l'action</b>	
Nous proposons d'isoler les toitures non ou peu avec un isolant type laine minérale pour atteindre un $R = 6 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ (~24 cm). Nous préconisons l'ajout d'une membrane étanche à l'air et freine-vapeur côté intérieur de l'isolant.	
<b>Investissements</b>	
Surface : 1085 m <sup>2</sup>	Coût : 60 €/m <sup>2</sup> HT
Investissement hors primes	65 111 € HT
Investissement avec primes	54 955 € HT
<b>Gain et temps de retour sur investissement</b>	
<b>Gains énergétiques et financiers</b>	
Conso EF économisée	18 645 kWh <sub>ef</sub> /an
Montant électricité économisé	6 € HT/an
Montant RCU économisé	1 377 € HT/an
Montant total économisé	1 383 € HT/an
<b>Temps de retour sur investissement</b>	
Gain sommé sur 20 ans	41 595 € HT
TRI brut	40 années
TRI actualisé	25 années
<b>Gains environnementaux</b>	
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	1 793 kg CO <sub>2</sub> eq/an
<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilité de mise en œuvre</li> <li>- Réduction des déperditions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction de la hauteur sous-plafond</li> </ul>

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Fiche de préconisation systèmes énergétiques	<b>8- Ventilation mécanique contrôlée</b>
Etat Actuel	
Il n'a pas de VMC dans le bâtiment.	
Description de l'action	
<p>A l'issue de travaux de rénovation comprenant l'isolation thermique et le remplacement des menuiseries, le bâtiment disposera d'une meilleure étanchéité à l'air. Pour assurer la bonne ventilation du bâtiment, soit l'extraction de l'air viciée et l'introduction d'air neuf, la ventilation mécanique contrôlée devient essentielle.</p> <p>Dans le cas des écoles, une VMC double flux est vivement recommandée afin d'améliorer la qualité de l'air et le confort thermique.</p> <p>Les déperditions thermiques d'une VMC double flux sont bien moins importantes que dans le cas d'une VMC simple flux qui ne récupère pas la chaleur.</p> <p>Afin de limiter encore davantage les déperditions dues à la VMC, nous vous proposons de réguler cette installation en fonction de la présence effective (Détecteur de présence, capteur CO<sub>2</sub>, etc.)</p>	
Investissements	
Coûts estimatifs VMC double flux :	
Investissement hors primes	189 606 € HT
Investissement avec primes	176 628 € HT
Coûts estimatifs VMC simple flux :	
Investissement hors primes	49 256 € HT
Investissement avec primes	34 980 € HT

La mise en place d'un système de ventilation dans le bâtiment n'apporte pas de gains énergétiques ou financiers mais le gain lié à cette action est beaucoup plus pour le confort des occupants. Rappelons que le questionnaire rempli par les occupants du site indiquait qu'ils n'étaient pas du tout satisfaits de l'état actuel. La ventilation par ouverture des fenêtres n'est pas une méthode efficace pour assurer une qualité d'air optimale. Selon la **norme EN 16 798**, la qualité d'air dans un bâtiment non résidentiel est jugée acceptable lorsque le taux de CO<sub>2</sub> est compris entre 1000 et 1400 ppm.

Les valeurs des débits réglementaires considérées dans le dimensionnement du système de ventilation figurent en annexe V.

**AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE**

Fiche de préconisation systèmes énergétiques	<b>9- ECS instantanée</b>
Etat Actuel	
L'eau chaude sanitaire est produite par des chauffe-eaux électriques à accumulation	
Description de l'action	
Les chauffe-eaux des sanitaires utilisés pour le ménage sont à accumulation, ce qui n'est pas adapté aux tirages courts occasionnels. Nous vous proposons de passer sur des chauffe-eaux instantanés électriques, lorsque les ballons seront hors-services.	
Investissements	
Coûts estimatifs	
Investissement hors primes	2 800 € HT
Investissement avec primes	2 800 € HT
Gain et temps de retour sur investissement	
Gains énergétiques et financiers	
Conso EF économisée	3 969 kWh <sub>ef</sub> /an
Montant électricité économisé	667 € HT
Montant total économisé	667 € HT
Temps de retour sur investissements	
Gain sommé sur 20 ans	13 647 € HT
TRI brut	5 années
TRI actualisé	5 années
Gains environnementaux	
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	714 kg CO <sub>2</sub> eq/an

**AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE**

Fiche de préconisation systèmes énergétiques	<b>10- Régulation</b>
Etat Actuel	
Les consignes de températures dans les espaces d'enseignement (maternelle et primaire) et les locaux associatifs sont au-dessus de la température du seuil réglementaire (19 °C) fixé pour ces usages.	
Description de l'action	
Nous proposons d'optimiser la régulation du système de chauffage avec les actions suivantes : → Réguler les zones avec des thermostats d'ambiance programmables → Revoir les températures de consigne (19°C en occupation, 16°C en inoccupation courte, et 12°C en inoccupation longue (vacances)). → Séparer le départ vers les locaux associatifs pour réguler indépendamment cette zone.	
Investissements	
Coûts estimatifs	
Investissement hors primes	10 000 € HT
Investissement avec primes	6 615 € HT
Gain et temps de retour sur investissement	
Gains énergétiques et financiers	
Conso EF économisée	63 825 kWh <sub>ef</sub> /an
Montant électricité économisé	11 € HT
Montant RCU économisé	4 718 € HT
Montant total économisé	4 729 € HT
Temps de retour sur investissements	
Gain sommé sur 20 ans	129 822 € HT
TRI brut	2 années
TRI actualisé	2 années
Gains environnementaux	
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	6 132 kg CO <sub>2</sub> eq/an

L'optimisation de la régulation du système de chauffage est l'action la plus pertinente des préconisations. En effet, elle présente le meilleur ratio économie/investissement (0,79) par rapport aux autres actions individuelles. Hormis l'acquisition des thermostats d'ambiance programmable qui constituent un investissement, le reste des sous actions consiste juste à un reparamétrage de la GTC.

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Fiche de préconisation systèmes énergétiques	<b>11- Robinets thermostatiques</b>
Etat Actuel	
Les radiateurs à eau chaude sont pour la plupart équipés d'un robinet simple	
Description de l'action	
Le réseau ne dispose pas de robinets thermostatiques. Nous proposons d'installer des robinets performants ( <b>variation temporelle <math>\leq 0,4</math> °C</b> ). Dans la salle de classe, une seule vanne thermostatique peut remplacer l'ensemble des robinets pour faciliter l'utilisation.	
Investissements	
Coûts estimatifs	
Investissement hors primes	7 840 € HT
Investissement avec primes	5 615 € HT
Gain et temps de retour sur investissement	
Gains énergétiques et financiers	
Conso EF économisée	29 892 kWh <sub>ef</sub> /an
Montant électricité économisé	37 € HT
Montant RCU économisé	2 196 € HT
Montant total économisé	2 233 € HT
Temps de retour sur investissements	
Gain sommé sur 20 ans	67 060 € HT
TRI brut	3 années
TRI actualisé	3 années
Gains environnementaux	
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	2 888 kg CO <sub>2</sub> eq/an

La mise en place de robinets thermostatiques permet de faire des économies d'énergies non négligeables. Le principe consiste à moduler le débit d'eau chaude qui circule dans les radiateurs en fonction de la température intérieure du local. Par exemple, si les apports solaires font monter la température dans une pièce, le robinet va réduire le débit de l'eau chaude qui traverse la vanne. Ce qui fait qu'on consomme moins d'énergie par rapport au cas où la régulation terminale est assurée par des robinets simples.

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Fiche de préconisation systèmes énergétiques	<b>12- Amélioration éclairage (LED/DP/gradation)</b>
Etat Actuel	
Le bâtiment possède un système d'éclairage sans gestion automatique.	
Description de l'action	
<p>Passer sur des luminaires à LED.</p> <p>Mettre en place des systèmes d'extinction automatique et de gradation d'éclairage dans les salles de cours, le bureau, la cuisine et les locaux associatifs.</p> <p>Mettre en place des systèmes d'allumage et d'extinction sur détection de présence et d'absence dans les sanitaires, les espaces de circulation et de rangement.</p>	
Investissements	
Coûts estimatifs	
Investissement hors primes	52 954 € HT
Investissement avec primes	50 359 € HT
Gain et temps de retour sur investissement	
Gains énergétiques et financiers	
Conso EF économisée	581 kWh/eq/an
Montant électricité économisé	230 € HT
Montant RCU économisé	-58 € HT
Montant total économisé	172 € HT
Temps de retour sur investissements	
Gain sommé sur 20 ans	4 423 € HT
TRI brut	> 50 ans
TRI actualisé	> 50 ans
Gains environnementaux	
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	171 kg CO <sub>2</sub> eq/an

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Fiche de préconisation systèmes énergétiques	<b>13- Energie solaire photovoltaïque</b>
Etat Actuel	
. Aucune énergie renouvelable n'a été installée sur l'école	
Description de l'action	
<p>Utilisé toute l'année, le bâtiment consomme de l'électricité régulièrement. Dans cette fiche, nous proposons d'installer 6 kWc de panneaux photovoltaïques avec revente totale.</p> <p>Cela représente environ 42 m<sup>2</sup> de panneaux. La toiture terrasse peut accueillir les panneaux. Ce n'est pas une action prioritaire mais elle peut être opportune pour des gains économiques plus importants.</p> <p>Si le bâtiment dispose d'un compteur communicant, vous pouvez signer une convention d'autoconsommation collective avec Enedis. Ainsi, vous profiterez des tarifs de l'autoconsommation pour une plus grande partie des kWh produits par les panneaux photovoltaïques installés sur les bâtiments communaux. Cette démarche peut permettre des gains économiques supérieurs.</p>	
Investissements	
Coûts estimatifs	
Investissement hors primes	15 000 € HT
Investissement avec primes	15 000 € HT
Gain et temps de retour sur investissement	
Gains énergétiques et financiers	
Conso EF économisée	5917 kWh <sub>ef</sub> /an
Montant électricité économisé	994 € HT
Montant RCU économisé	18 € HT
Montant total économisé	1 012 € HT
Temps de retour sur investissements	
Gain sommé sur 20 ans	25 634 € HT
TRI brut	15 années
TRI actualisé	14 années
Gains environnementaux	
Quantité de CO <sub>2</sub> économisée	1 065 kg CO <sub>2</sub> eq/an

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

ANNEXE V : DEBITS MINIMUM REGLEMENTAIRES

Dans les locaux tertiaires, les débits de ventilation pour les bâtiments recevant du public (écoles, salles de spectacles, commerce etc.) sont définis dans les règlements sanitaires départementaux. Pour ce qui est des bâtiments accueillant des travailleurs, les débits sont fixés par le code de travail.

Les tableaux 18 et 19 renseignent sur les débits considérés dans le cas du dimensionnement du système de ventilation dans notre travail [17].

Tableau 18 : Débits minimum dans les établissements sportifs

Type de local			Débit m <sup>3</sup> /h		
			Par personne	Par m <sup>2</sup>	Par local
<b>Partie sportive</b>	Entrée d'air	Salle d'activité sportive	30	3	
		• Partie sportifs			
		• Partie spectateurs	18 (30)	15 (25)	
		Salle d'éducation physique spécialisée	30	5	
		Salle d'entraînement spécialisé	30	2	
	Sortie d'air	Cabinets d'aisance isolés			30
		Douches collectives et cabinets d'aisance groupés			30 + 15 N
		Vestiaires (N = nombre de casiers)			15+ 5N
<b>Bureaux</b>	Entrée d'air	Hall		0.4	
		Bureau d'entrée	25		25
		Bureau direction	25		25
		Salle pour personnel d'entretien et de service	18 (30)	4,5 (7,5)	
		Salle des professeurs	18 (30)	5,1 (8,6)	
	Sortie d'air	Cabinets d'aisance isolés			30
		Cabinets d'aisance groupés			30 + 15 N
	Indépendant	Infirmierie	18		36
<b>Réunion</b>	Entrée d'air	Salle de réunion	18 (30)	5,1 (8,6)	
	Sortie d'air	Cabinets d'aisance isolés			30
		Cabinets d'aisance groupés			30+ 15N

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

Tableau 19 : Débits minimum dans les établissements d'enseignement élémentaire et primaire

Type de local			Débit m <sup>3</sup> /h		
			Par personne	Par m <sup>2</sup>	Par local
<b>Salles de cours</b>	Entrée d'air	Salle de cours (primaire, collège)	15	10	
		Salle de cours (lycée)	18	10	
		Salles de sciences	15	7.1	
		Salles de technologie	15	4.2	
		Salles d'enseignement pratique	45	16.7	
	Sortie d'air	Cabinets d'aisance isolés			30
		Cabinets d'aisance groupés			30+15 N
		Salle de mensurations et soins	18	3.6	
		Bureau du médecin et de l'A.S.	18	2	
	<b>Administration</b>	Entrée d'air	Bureau de l'orientation	25	2
Bibliothèque, CDI			18	1.8	
Salle de travail			18 (25)	1,8 (2,5)	
Salle de réunions des élèves			18	12	
Bureau direction			25		25
Bureaux individuels			25		25
Local duplication			45		45
Sortie d'air		Cabinets d'aisance isolés			30
		Cabinets d'aisance groupés			30+ 15 N
<b>Salle à manger</b>		Entrée d'air	Salle à manger des élèves	23 (30)	24,4 (33,4)
	Salle à manger du personnel		22 (30)		330 (450)
	Sortie d'air	Lingerie		0.4	
Réserve alimentaire			0.4		
<b>Cuisine</b>	Sortie d'air	Cuisine moins de 150 repas simultanés		25 / repas	
		Cuisine de 150 à 500 repas simultanés		20 / repas	
<b>Réunion</b>	Indépendant	Salle de réunion des professeurs	18 (30)	6 (10)	
		Salle de travail des professeurs	18 (30)	6 (10)	

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

ANNEXE VI : DETAILS DU CALCUL DU TRIA

Le temps de retour sur investissement (TRI) est un indice qui permet de définir la rentabilité d'un investissement. La formule utilisée est généralement la suivante :

$$TRI = \frac{\text{Investissement initial}}{\text{Gain annuel}}$$

Le tableau 20 présente les détails du calcul du TRI pour chaque action individuelle.

Tableau 20 : Calcul du temps de retour sur investissement

Travaux	Prix Unitaire	Surface m <sup>2</sup>	Investissement sans primes	Aides CEE	Investissement hors primes	Gain annuel financier	TRI
Remplacement des menuiseries	600 €	742	445 200 €	14 256 €	430 944 €	3 437 €	125
Isolation des toitures	60 €	2223	133 380 €	21 362 €	112 018 €	1 723 €	65
Isolation des murs ITI	85 €	1531	130 135 €	24 348 €	105 787 €	11 049 €	10
Isolation des murs ITE	160 €	1531	244 960 €	24 348 €	220 612 €	9 890 €	22
Remplacement des menuiseries dans les volumes occupés	600 €	466	279 600 €	9 227 €	270 373 €	2 021 €	134
Isolation du plancher bas sur vide-sanitaire	40 €	649	25 960 €	12 149 €	13 811 €	3 811 €	4
Isolation des toitures non ou peu isolées	60 €	1085	65 100 €	10 156 €	54 944 €	1 387 €	40
ECS instantanée	700 €	4	2 800 €	0 €	2 800 €	658 €	4
Régulation			10 000 €	3 385 €	6 615 €	4 744 €	1
Robinets thermostatiques	80 €	93	7 440 €	2 225 €	5 215 €	2 239 €	2
Amélioration éclairage (LED/DP/gradation)			52 954 €	2 596 €	50 358 €	168 €	299
Installation d'un système PV de 5 kWc			15 000 €	0 €	15 000 €	981 €	15

Le TRIA quant à lui nous permet de prendre en compte l'augmentation des prix des énergies, de l'entretien, la maintenance et le remplacement des équipements.

## AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

L'actualisation des gains permet de déterminer la valeur de l'investissement dans le futur.

On s'intéresse pour commencer au gain financier. Il est déterminé à partir des paramètres suivants :

- Coût du kWh de l'électricité et du RCU
- Consommations énergétiques en RCU et en électricité.

Donc

Gains financiers = (conso RCU \* coût du kWh RCU) + (conso élec \* coût du kWh élec)

L'ensemble des calculs ont été réalisés dans un classeur Excel en partant sur les hypothèses suivantes.

Tableau 21 : Coefficient d'inflation des énergies

Coefficient d'inflation des énergies	
Inflation exploitation	4%
Inflation gros entretien	2%
Inflation électricité	3%
Inflation réseau de chaleur	4,1%

Pour actualiser les gains on utilise la formule suivante :

$$V(0) = V(n)/(1 + i)^n$$

Où **V(0)** est la valeur actuelle du flux, **V(n)** est la valeur du flux à l'année n, **i** est le taux d'actualisation et **n** est le nombre d'années.

### 1- Coût de maintenance

L'inflation des coûts de maintenance s'applique aux équipements comme la ventilation, l'ECS ou le système photovoltaïque. En supposant un surcoût de 190 € par exemple pour la maintenance d'un système de ventilation simple flux, les calculs financiers nous donnent une valeur de 281 € à l'année n = 10 comme illustré dans le tableau 22.

Tableau 22 : Calcul du Coût de maintenance actualisé pour la VMC SF

Coût de maintenance actualisé						
Année	0	1	2	3	4	5
VMC SF	190,00 €	197,60 €	205,50 €	213,72 €	222,27 €	231,16 €
Coût de maintenance actualisé						
Année	6	7	8	9	<b>10</b>	11
VMC SF	240,41 €	250,03 €	260,03 €	270,43 €	<b>281,25 €</b>	292,5 €

# AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

## 2- Coût de gros entretien et renouvellement

Les travaux de renouvellement et de gros entretien interviennent lorsque les éléments sont en fin de cycle de vie. Pour cela les calculs sont réalisés en prenant en compte la durée de vie des systèmes. Le tableau ci-dessus donne une liste exhaustive des durées de vie moyenne des systèmes.

Tableau 23 : Durée de vie moyenne des systèmes

Durée de vie des systèmes	
Remplacement des menuiseries	51 ans
Isolation toiture	51 ans
Isolation murs ITI	51 ans
Isolation murs ITE	51 ans
ECS instantanée	15 ans
Régulation	12 ans
LED	25 ans
Photovoltaïque	25 ans
Robinet thermostatique	21 ans
Isolation plancher bas	51 ans
VMC SF	40 ans
VMCDF	40 ans
Calorifugeage	21 ans

Contrairement au coût de maintenance, on actualise ici chaque fois à la fin du cycle de l'élément. Par exemple pour l'ECS instantané on obtient un coût de maintenance actualisé à l'année 15. A cet effet une condition « SI » a été affecté au calcul afin de prendre en compte uniquement l'année de remplacement du système dans l'actualisation du coût.

## 3- Augmentation du prix de l'énergie

Pour obtenir la valeur future des gains financiers qu'on réalise sur chaque opération de rénovation, on applique séparément le coefficient d'inflation de chaque poste (RCU et électricité) aux gains financiers actuels puis on les additionne.

## 4- Temps de retour sur investissement actualisé

On obtient le temps de retour sur investissement actualisé (TRIA) par itérations en comparant les gains actualisés cumulées de chaque année avec l'investissement. L'itération s'arrête

AUDIT ENERGETIQUE DU GROUPE SCOLAIRE PIERRE ET MARIE CURIE DE  
GRANDE SYNTHÉ DANS LE CADRE DU DISPOSITIF ECO-ENERGIE TERTIAIRE

lorsque le gain actualisé est supérieur ou égale à la valeur initiale de l'investissement.

Prenons l'exemple de l'isolation des murs par l'intérieur le coût de l'investissement est estimé à 105 787 €HT en considérant un prix de 85€/m<sup>2</sup>. Le tableau 24 illustre le calcul du TRIA pour l'isolation des murs par l'intérieur.

Tableau 24 : Calcul du TRIA pour l'isolation des murs par l'intérieur

Année	1	2	3	4	5
Gains RCU	11 089 €	11 544 €	12 017 €	12 510 €	13 023 €
Gains électricité	-75 €	-78 €	-80 €	-82 €	-85 €
Gains total	11 014 €	11 466 €	11 937 €	12 428 €	12 938 €
Gains actualisé sommé	11 014 €	22 480 €	34 418 €	46 845 €	59 783 €
TRIA	-	-	-	-	-

Année	6	7	8	9	10
Gains RCU	13 557 €	14 113 €	14 691 €	15 294 €	15 921 €
Gains électricité	-87 €	-90 €	-93 €	-95 €	-98 €
Gains total	14 023 €	14 599 €	15 198 €	15 822 €	12 938 €
Gains actualisé sommé	73 253 €	87 276 €	101 874 €	117 073 €	132 895 €
TRIA	-	-	-	<b>9 ans</b>	<b>9 ans</b>

