



Travail de fin d'études pour le diplôme d'ingénieur de l'École de l'aménagement durable des territoires

Année 2023-2024

Voie d'approfondissement :
Bâtiment

Soutenu le 28/08/2024

Devant le jury composé de :

- Présidente du Jury : Pascale AVOUAC
- Maître de TFE : Charlotte MOUE
- Experte : Flavia BARONE MOURAND

Par

Nora HIEULLE

Analyse des dépenses énergétiques et évaluation de l'impact des travaux de rénovation sur les coûts de fonctionnement

- Cas d'étude de la Résidence de France à Ljubljana -

Organisme d'accueil

Ambassade de France en Slovénie



Notice analytique

AUTEUR			
Nom	HIEULLE		
Prénom	Nora		
ORGANISME D'ACCUEIL			
Nom de l'organisme et Localité	Ambassade de France de Slovénie Ljubljana, Slovénie Ministère de l'Europe et des Affaires Etrangères		
Nom du Tuteur	Werner LAVENTURE, Youssef AKCHA & Charlotte MOUE		
ANALYSE DU TFE			
Titre	Analyse des dépenses énergétiques et évaluation de l'impact des travaux de rénovation sur les coûts de fonctionnement		
Title	Analysis of energy expenditure and assessment of the impact of renovation work on operating costs		
Résumé	<p>La rénovation énergétique des bâtiments est un enjeu important au niveau national mais également au niveau européen. L'Etat français est particulièrement investi dans ces démarches pour aider les particuliers et également pour rénover son propre parc immobilier grâce au lancement de programme tel que le programme Ambassades Vertes.</p> <p>De nombreux bâtiments sont ainsi rénovés tous les ans, à l'image de la résidence de France à Ljubljana qui a fait l'objet de plusieurs rénovations énergétiques. Cependant il est difficile d'estimer le gain réel des rénovations, en particulier quand plusieurs rénovations énergétiques sont réalisées en même temps sur un même bâtiment.</p> <p>Le but de cette étude est donc d'évaluer le gain énergétique des différents travaux à réaliser sur le bâtiment de la résidence mais également d'évaluer les gains encore possibles pour améliorer la classe énergétique du bâtiment.</p>		
Abstract	<p>Energy-efficient renovation of buildings is a major issue at both national and European level. The French government is particularly committed to helping private individuals and to renovating its own building stock through programmes such as the Green Embassies programme.</p> <p>A large number of buildings are renovated every year, such as the French residence in Ljubljana, which has undergone several energy-efficiency upgrades. However, it is difficult to estimate the real benefits of renovations, particularly when several energy renovations are carried out at the same time on the same building.</p> <p>The aim of this study is therefore to evaluate the energy gains achieved by the various works carried out on the residence building, and also to assess the potential gains that could still be made to improve the building's energy class.</p>		
Mots-clés (français, 5 maxi)	Logement, rénovation énergétique, consommations énergétiques, impacts carbone, retour sur investissement		
Mots-clés (anglais, 5 maxi)	Housing, energy renovation, energy consumption, carbon impacts, return on investment		
Termes géographique (français)	Ljubljana - Slovénie		
COLLATION			
	Nb de pages	Nb d'annexes (nb de pages)	Nb de réf. biblio.
	83	9 (19 pages)	22

Déclaration de travail personnel

Je déclare que ce rapport constitue l'aboutissement d'un travail personnel et ne peut être suspecté de plagiat.

Le travail présenté distingue explicitement ce que j'ai produit de ce que j'ai emprunté à d'autres. A ce titre, les citations sont clairement identifiables et les sources (écrits, images) qui ont alimenté ma réflexion sont référencées.

Remerciements

Avant de commencer ce travail de fin d'études, j'aimerais exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui m'ont accompagnée et sans qui ce rapport n'aurait pas été possible. Je souhaite également remercier celles et ceux qui ont facilité mon intégration et ont fait de cette expérience en Slovénie une aventure inoubliable.

Je remercie Madame l'Ambassadrice Florence Levy pour sa bienveillance, sa disponibilité, ainsi que pour ses échanges enrichissants sur les différentes missions qui m'ont été confiées.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à l'ensemble de l'équipe qui m'a encadrée tout au long de ce stage. Tout d'abord, je remercie Werner Laventure, Secrétaire Général de l'Ambassade et tuteur au sein de l'ambassade. Sa confiance, son aide et son écoute ont été des éléments clés de mon intégration et de la réussite de mes missions. Je remercie également Youssef Akcha, Charlotte Mouë et Camille Laffargue, respectivement Chargés d'opérations immobilières et Cheffe du secteur étranger numéro 3 à la Direction des Immeubles et de la Logistique (ci-après DIL), pour m'avoir proposé diverses missions et pour avoir suivi mes progrès depuis Paris. Leur soutien à l'Ambassade et à distance a été crucial pour la réalisation de cette étude.

Je tiens également à remercier toutes les personnes avec qui j'ai pu échanger à l'ambassade et qui ont contribué à rendre ce stage agréable et enrichissant, notamment Killian Bataillard, Romina Besic, Polona Gabrovsek, Stéphane Morlot, et Elizabeta Zajc. Un merci particulier à l'ensemble de l'équipe de stagiaires : Ivana Terlevic, Tifenn Poyroux, Matyas Morlot, Joannie David et Alban Magro le VIA.

Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude envers ma tutrice école, Madame Pascale Avouac, pour son suivi tout au long de ce stage ainsi que ses conseils et son orientation, qui ont été essentiels pour que ce rapport soit le plus complet possible.

Sommaire

Table des matières

I. Introduction	8
1. Contexte et Importance du Sujet.....	8
1.1 Présentation générale des enjeux énergétiques actuels autour du bâtiment.....	8
1.2 Consommation énergétique du secteur résidentiel.....	8
1.3 Problématique spécifique des coûts énergétiques dans les résidences diplomatiques..	9
2. Réglementations et normes mises en place pour atteindre les objectifs de performances et de neutralité	10
2.1 Directive Européenne.....	10
2.2 Réglementations Françaises.....	11
2.3 Réglementation Slovène	12
3. Rapport de l'ONRE sur les rénovations énergétiques 2016 – 2019	13
3.1 Evolution du nombre de rénovations	13
3.2 Gain des rénovations	13
4. Problématique du TFE	15
II. Méthodologie	16
1. Description des méthodes de collecte de données.....	16
2. Choix des indicateurs de performance énergétique	17
2.1 Unités d'analyse.....	17
2.2 Prise en compte des données climatiques.....	17
2.3 Etiquette DPE	18
2.4 Données de références	18
3. Outils et logiciels utilisés	19
3.1 Création d'un outil de suivi des consommations énergétiques	19
3.2 Modélisation de la Résidence – Revit & Design Builder	20
3.2.1 Création de la maquette 3D.....	20
3.2.2 Import du modèle 3D sur DesignBuilder.....	20
III. Etat initiale de la Résidence – 2018	21
1. Présentation de la Résidence de France à Ljubljana.....	21
1.1 Caractéristiques principales de la Résidence.....	21
1.2 Matériaux et techniques de construction.....	21
1.3 Energies utilisées et équipements techniques.....	21
2. Consommation énergétique du bâtiment avant travaux.....	22
2.1 Ce que dit l'Audit énergétique de 2018.....	22
2.2 Ce que dit les factures de 2018	22
2.3 Ce que dit l'étiquette énergie de référence.....	23
3. Comparaison avec des normes ou standards énergétiques	25
3.1 Standards énergétiques selon la réglementation Slovène	25
3.2 Standards énergétiques français	25
4. Travaux proposés pour améliorer les performances	29

IV. Impact des travaux de rénovation	30
1. Inventaire des travaux réalisés.....	30
2. Analyse des données post-rénovation.....	31
2.1 Consommation de l'année 2023.....	31
2.2 Comparaison avec les données de référence.....	31
3. Evaluation de l'efficacité des travaux.....	33
3.1 Estimations globales à partir des factures énergétiques.....	33
3.2 Estimations détaillées à partir des estimations globales et d'audits énergétiques.....	36
3.3 Estimation gain potentiel final.....	39
4. Retour sur investissement des travaux.....	40
4.1 Retour sur investissement de chaque action.....	41
4.2 Retour sur investissement global.....	44
5. Conclusion sur l'impact des travaux.....	45
V. Simulations sur DesignBuilder	46
1. Hypothèses de modélisation.....	46
1.1 Hypothèses générales.....	46
1.2 Hypothèses sur les matériaux.....	47
1.3 Système de chauffage et de refroidissement.....	47
2. Simulation.....	48
3. Déperditions en période de chauffe.....	49
3.1 Ensemble du bâtiment.....	49
3.2 Précisions par étages.....	49
4. Déperditions en période de refroidissement.....	51
4.1 Ensemble du bâtiment.....	51
4.2 Par étage.....	51
5. Conclusions.....	52
VI. Recommandations pour l'optimisation continue	53
1. Identification des opportunités d'améliorations supplémentaires.....	53
2. Propositions de mesures spécifiques pour optimiser davantage les performances énergétiques.....	54
2.1 Remplacement de l'ensemble des menuiseries de la Résidence.....	54
2.2 Installation de VMC avec récupérateur de chaleur.....	55
2.3 Energies renouvelables pour réduire les émissions.....	56
2.4 Gain global.....	58
3. Limites et prises de recul.....	59
Conclusion	60
1. Evaluation de l'impact des travaux.....	60
2. Perspectives et recommandations.....	61
3. Outils utiles.....	62
Bibliographie.....	63
Annexes.....	66

Liste des illustrations

Figure 1 - Nombres de logements aidés pour des travaux de rénovations énergétique – Source : ONRE	13
Figure 2 - Gains réalisés selon le type de travaux et le type de logements en 2019 – Source : ONRE	14
Figure 3 - Nouveaux seuils de l'étiquette énergie - Nouveau DPE (PDF) – Source : CEREMA	18
Figure 4 - Etiquette DPE des données de référence (2018/2022) – Source : Auteure	18
Figure 5 – Modélisation de la Façade principale de la Résidence - Source : Auteure	20
Figure 6 - Vue d'ensemble de la Résidence sur Revit - Source : Auteure	20
Figure 7 - Avant/Après de la simplification du modèle - Source : Auteure	20
Figure 8 - Nomenclature des pièces regroupées par étages - Source : Auteure	20
Figure 9 - Photo de la Résidence de France de Ljubljana – Source : Ambassade de France en Slovénie	21
Figure 10 - Energie primaire et émissions de la Résidence – Source : Extrait du diagnostic énergétique de 2018	22
Figure 11 - Etiquette DPE des données du diagnostic énergétique de 2018 – Source : Auteure	22
Figure 12 - Etiquette DPE de la consommation réelle de 2018 – Source : Auteure	23
Figure 13 - Anomalies constatées dans les consommations énergétique de la Résidence en 2018 – Source : Auteure	24
Figure 14 - Etiquette DPE des données de référence (2018/2022) – Source : Auteure	24
Figure 15 - Répartition des DPE de l'ensemble des résidences principales en 2017 – Source : ONRE	26
Figure 16 – Synthèse de la consommation énergétique des résidences diplomatiques françaises – Source : Synthèse Bilans Energetiques et Bilans Carbones Stage 2023, MEAE	27
Figure 17 - Synthèse des émissions de GES des résidences diplomatiques françaises - Source : Synthèse Bilans Energetiques et Bilans Carbones Stage 2023, MEAE	28
Figure 18 - Etiquette DPE de la consommation réelle de 2023 – Source : Auteure	31
Figure 19 - Comparaison de la consommation mensuelle GAZ de la Résidence (données de référence/2023) – Source ; Auteure	32
Figure 20 - Comparaison de la consommation mensuelle ELEC de la Résidence (données de référence/2023) – Source : Auteure	32
Figure 21 - Etiquette DPE selon gain total des travaux énergétiques réalisés en 2023 – Source : Auteure	39
Figure 22 - Graphiques récapitulatifs des gains énergétiques en fonction de l'investissement des différents travaux - Source : Auteure	45
Figure 23 - Programme de présence de la Résidence sur l'année - Source : Auteure	46
Figure 24 - Modélisation de la Résidence en fonction des matériaux - Source : Auteure	47
Figure 25 - Descriptif de la programmation du chauffage et de la climatisation - Source : Auteure	47
Figure 26 - Résultats de la Simulation sur le chauffage, DesignBuilder - Source : Auteurs	49
Figure 27 - Résultats de la Simulation du système de climatisation, DesignBuilder - Source : Auteure	51
Figure 28 - Carte de l'ensoleillement des toitures du centre-ville de Ljubljana – Source : Energetski Atlas Slovenije	56
Figure 29 - Etiquette DPE de la Résidence selon la mise en place des trois pistes d'amélioration – Source : Auteure	59
Figure 30 - Etiquette DPE des données de référence (2018/2022) - Source : Auteure	60
Figure 31 - Graphique des gains énergétiques et climatiques des travaux réalisés en 2023 - Source : Auteure	60
Figure 32 - Etiquette DPE selon gain total des travaux énergétiques réalisés en 2023 – Source Auteure	60
Figure 33 - Graphique des gains énergétiques et climatiques des travaux proposées pour l'amélioration continue - Source : Auteure	61
Figure 34 - Etiquette DPE de la Résidence selon la mise en place des trois pistes d'amélioration – Source : Auteure	61
Figure 35 - Graphiques du classement des résidences selon leur étiquette énergie et carbone – Source : Synthèse Bilans Energetiques et Bilans Carbones Stage 2023, MEAE	62

I. Introduction

1. Contexte et Importance du Sujet

1.1 Présentation générale des enjeux énergétiques actuels autour du bâtiment

Selon l'ADEME en 2023, « *Le bâtiment est le premier secteur en matière de consommation d'énergie (chauffage, climatisation, équipements, éclairage, etc.) et, malgré les politiques d'économie d'énergie, la consommation du secteur a augmenté de 20 % en 30 ans. Afin de diminuer la consommation d'énergie du parc, une priorité est de rénover l'ensemble des bâtiments, logement et tertiaire.* » [1]. En effet les bâtiments représentent à eux seuls 44% de la consommation d'énergie en France et au niveau de l'UE, c'est près de 75% du parc immobilier qui est énergétiquement inefficace. De plus, les bâtiments représentent environ 40% de la consommation d'énergie de l'UE, selon des articles publiés par la commission européenne [2] et [3]. Ce qui place le secteur du bâtiment au cœur des enjeux énergétiques et environnementaux tant au niveau national qu'à l'international.

Pour répondre à ces défis et limiter le réchauffement climatique, l'objectif de neutralité carbone a été défini dans l'Accord de Paris en 2015. Cet accord a été signé par 195 pays dont l'Union Européenne. C'est d'ailleurs dans cette continuité qu'en 2019, l'Union Européenne a mis en place le Pacte vert pour l'Europe, qui vise à atteindre la neutralité climatique d'ici 2050. Ce pacte constitue donc un cadre stratégique ambitieux pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES ci-après) et améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments européens. Ce cadre européen permet d'ailleurs à certains pays de créer des réglementations nationales ou d'améliorer les réglementations existantes. [4]

La France, par exemple, a mis en place des réglementations telles que la Réglementation Environnementale 2020 (RE2020), qui impose des standards élevés en matière de performance énergétique et de réduction des émissions de carbone pour les nouvelles constructions. De même, la Slovénie a développé des initiatives similaires, mettant l'accent sur la rénovation énergétique des bâtiments existants et le soutien financier aux projets d'efficacité énergétique.

1.2 Consommation énergétique du secteur résidentiel

Pendant la consommation énergétique mondiale continue de croître, alimentée par la demande croissante des secteurs résidentiel, industriel et des transports. Le secteur résidentiel représente à lui seul 21% de la consommation énergétique totale mondiale, selon les chiffres de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) de 2023 publiés dans le rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction [5] (page 10). En effet, les bâtiments résidentiels, consomment une part significative de l'énergie pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage et les appareils électroménagers. Ce qui fait de ce secteur, un secteur clés pour agir et répondre aux problématiques de consommation énergétique.

En France, 17% des résidences principales sont considérées comme des passoires thermiques, ce qui représente 5.2 millions de logements de classe énergétique F et G. Il est donc important de réduire ce nombre, d'une part pour réduire la consommation énergétique et les émissions du secteur, mais également pour améliorer le confort de vie des ménages occupant ces logements. [6]

1.3 Problématique spécifique des coûts énergétiques des résidences diplomatiques

L'Etat dispose d'un parc immobilier de 190 000 bâtiments (94 millions de m²). Or l'ensemble de ce parc immobilier consomme et émet à lui seul 16 TWh/an et 2 200 000 tCO₂eq/an. Il est donc primordial d'améliorer les performances de ce parc immobilier. [7]

Le parc immobilier de l'Etat est en partie composé des emprises diplomatiques françaises à l'étranger. Or ces dernières représentent les valeurs et savoir-faire français à l'international. Ainsi pour montrer l'engagement de la France en matière de développement durable, le Ministère de l'Europe et des Affaires Etrangères (ci-après MEAE) a lancé en 2015 le projet « Ambassade verte » [8]. De plus, ce projet a évolué en 2023 avec la création d'un « fonds Ambassades Vertes » permettant d'avoir un budget plus conséquent (1 millions d'euros en 2023 contre 200 000€ en 2022 selon le MEAE).

Ce projet a pour but d'aider les emprises diplomatiques françaises (ambassades, consulats, résidences, ...) à améliorer les performances et de réduire l'impact carbone de leurs différents bâtiments. De plus, des missions transversales sont liées à ce projet tel que la réalisation de bilans énergétiques et carbone pour améliorer la connaissance du MEAE sur ces différentes emprises.

2. Réglementations et normes mises en place pour atteindre les objectifs de performances et de neutralité

L'efficacité énergétique des bâtiments est régie par diverses normes et réglementations, qui varient selon les pays mais partagent souvent des objectifs similaires en matière de réduction de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂. Dans cette partie les normes présentées seront les normes européennes, françaises et slovènes.

2.1 Directive Européenne

Directive renforcée du pacte vert pour l'Europe

Le pacte vert pour l'Europe a été présenté rapidement dans la partie I.1, toutefois en décembre 2023, dans le cadre de ce pacte, la commission européenne a adopté une directive renforcée sur la performance énergétique des bâtiments. Selon l'article sur l'adoption de la directive du 12 Avril 2024, les objectifs de cette directive sont [3] :

- Réduire la consommation moyenne d'énergie primaire des bâtiments résidentiels de 16 % d'ici à 2030 et de 20 à 22 % d'ici à 2035 ;
- Rénover les 16 % de bâtiments non résidentiels les moins performants d'ici à 2030 et les 26 % les moins performants d'ici à 2033 ;
- Tous les nouveaux bâtiments résidentiels et non résidentiels doivent avoir des émissions de combustibles fossiles nulles sur site, à compter du 1 janvier 2028 pour les bâtiments publics et du 1 janvier 2030 pour tous les autres bâtiments neufs ;
- Les subventions pour l'installation de chaudières autonomes alimentées à partir de combustibles fossiles ne seront plus autorisées à partir du 1 janvier 2025 ;
- Déploiement d'installations d'énergie solaire adéquates dans les bâtiments neufs, les bâtiments publics et les bâtiments non résidentiels existants qui font l'objet d'une rénovation nécessitant un permis ;
- Adoption de la mobilité durable grâce à des dispositions relatives au précâblage, aux points de recharge pour les véhicules électriques et aux emplacements de stationnement pour vélos ;
- Meilleure planification des rénovations et un soutien technique et financier.

Directive 2018/844/UE

Il existe une seconde directive européenne qui vise à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments existants et à promouvoir la rénovation énergétique, il s'agit de la directive 2010/21/UE qui a été modifiée par la directive 2018/844/UE en 2018. Cette directive a pour but de définir les normes minimales à respecter pour les bâtiments neufs, les exigences pour les performances des bâtiments existants rénovés et la mise en place de certificats de performances énergétiques. Enfin, cette directive rend obligatoire aux pays de l'UE d'« établir des stratégies de rénovation à long terme pour soutenir la rénovation des bâtiments résidentiels et non résidentiels en parc immobilier à haute efficacité énergétique et décarboné d'ici à 2050 » selon la synthèse de la directive sur EUR-Lex [9]. Ces stratégies doivent mettre en évidence un programme, avec des objectifs à des dates clés (2030/2040) permettant d'atteindre l'objectif de réduction des émissions de GES de l'UE de 80 à 95% par rapport aux émissions de 1990 pour 2050.

Finalement, ces directives européennes ont pour but de fixer les objectifs de réduction de la consommation énergétique globale des bâtiments. Cependant elles permettent aux différents pays de l'UE de choisir leurs propres réglementations. Par conséquent, bien que les différents pays de l'UE aient les mêmes objectifs globaux, la mise en place de stratégie et les objectifs spécifiques peuvent grandement varier d'un pays à l'autre.

2.2 Réglementations Françaises

RE2020 & RT2012

En France la réglementation qui encadre les performances énergétiques d'un bâtiment est la RE2020 qui a remplacé la RT2012 officiellement le 1^{er} Janvier 2022. Cette réglementation fixe de nombreuses exigences expliquées dans le guide RE2020 [10]. Dans ce guide, les nombreuses valeurs à respecter sont indiquées pour réglementer la construction neuve.

Réglementations pour les bâtiments existants

La réglementation qui régit les bâtiments déjà existants est la RT des bâtiments existants. Elle se décline en trois volets (RT existant par élément, existant globale, « travaux embarqués ») pour répondre aux différents besoins des bâtiments résidentiels et tertiaires lors de travaux de rénovation par une maîtrise d'ouvrage. Cette réglementation permet ainsi de fixer des objectifs de performances selon les travaux réalisés. Les objectifs sont différents selon la réglementation en vigueur [11] :

- **RT existant par élément** : lors du remplacement ou de l'installation d'un équipement, il est nécessaire d'installer des produits de performance supérieure aux caractéristiques minimales mentionnées dans l'arrêté modifié au 1^{er} janvier 2018 ;
- **RT existant globale** : lors de travaux de rénovation importants pour des bâtiments existants de surface supérieure à 1000m², la consommation finale de logements doit être inférieure à une consommation maximale située entre 80 et 195 kWh/m².an selon les cas, et les bâtiments non résidentiels doivent avoir réduit leur consommation de 30% suite aux travaux ;
- **Réglementation « travaux embarqués »** : lors de travaux importants de rénovation des bâtiments tel que ravalement de façade, réfection de toiture ou transformation de combles/garages, il est obligatoire de réaliser une isolation thermique pendant les travaux.

Plan & Aides financières

Ainsi deux réglementations permettent de fixer des objectifs clairs de consommations énergétiques en France. Mais pour respecter les exigences nationales et les objectifs européens, l'Etat a mis en place un Plan de Rénovation Énergétique des Bâtiments dans le but d'accompagner, de massifier et d'accélérer les travaux de rénovations en France [12]. De plus, de nombreuses aides de l'Etat ont été mises en place pour inciter davantage aux rénovations énergétiques (MaPrimeRenov', Eco-PTZ, Certificats d'économies d'énergie, ...). Ce qui montre bien l'importance de la rénovation énergétique au niveau français.

2.3 Réglementation Slovène

PURES

En Slovénie, c'est le PURES – « Pravidnik o Učinkoviti Rabi Energije v Stavbah » (« Règles sur l'Utilisation Efficace de l'Energie dans les Bâtiments »), qui réglemente l'utilisation d'énergie des bâtiments. Cette réglementation existe depuis 2010 et a évolué plusieurs fois depuis pour répondre aux directives européennes. Dans cette réglementation, les méthodes de calculs des différentes valeurs seuils de consommation, d'émissions, de déperditions, etc. sont indiquées. Ces valeurs sont valables pour les bâtiments neufs mais également pour les rénovations. Cette réglementation propose donc de nombreuses spécificités telles que l'intégration d'énergies renouvelables ou l'ensemble des valeurs seuils que les matériaux doivent respecter.[13]

Plan & Aides financières

Comme la France, la Slovénie dispose d'un Plan National Energie et Climat (PNEC) [14], ce plan fixe des objectifs pour la période de 2020 à 2030. Les objectifs principaux sont de réduire les émissions de GES de 36% par rapport au niveau de 2005, atteindre une part de 27% d'énergie renouvelable dans la consommation finale brute d'énergie et de réaliser des économies d'énergie primaire à hauteur de 20%. Pour cela des actions sont mises en place tel que l'encouragement à la rénovation énergétique des bâtiments, l'intégration et l'investissement des énergies renouvelables dans les bâtiments. De plus, des subventions de l'Etat existent pour aider les particuliers à financer ces projets (organisme Eco Fund) [15].

3. Rapport de l'ONRE sur les rénovations énergétiques 2016 – 2019

Depuis le début des années 2010, la France a donc intensifié ses efforts pour améliorer l'efficacité énergétique de son parc immobilier. L'ONRE (Observatoire national de la rénovation énergétique) a d'ailleurs réalisé plusieurs rapports sur les rénovations énergétiques réalisés en France aidés par l'Etat. Même si certaines rénovations sont réalisées sans aides de l'Etat, il est donc possible d'avoir une première estimation des rénovations énergétiques réalisées en France.

3.1 Evolution du nombre de rénovations

En mars 2022, l'ONRE a publié les résultats définitifs de « La rénovation énergétique des logements – Bilan des travaux et des aides entre 2016 et 2019 » [16]. Dans cette étude on retrouve le nombre de logements aidés pour la réalisation de travaux chaque année. Selon le graphique ci-dessous (figure 1), le nombre de rénovations a fortement augmenté entre 2016 et 2019 : le nombre d'aide est passé d'environ 1 750 000 à plus de 2 400 000 en 2019, ce qui correspond à une augmentation de 37% du nombre d'aide et donc du nombre de rénovations réalisées.

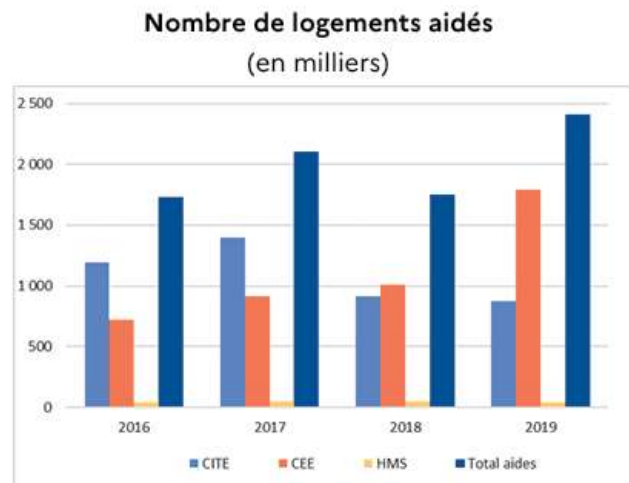


Figure 1 - Nombres de logements aidés pour des travaux de rénovation énergétique – Source : ONRE

3.2 Gain des rénovations

Cette étude permet également de mettre en évidence les gains réalisés selon le type de travaux et selon le type de logement en 2019. Ainsi il est possible de voir (cf figure 2 ci-dessous), que les travaux permettant d'économiser le plus d'énergie par logement sont les travaux sur les systèmes de chauffages et ECS avec un gain de 4.9MWh/an.logement. Cependant les travaux les plus réalisés sont les travaux d'isolation de toitures, murs et planchers qui permettent un gain de 2.4 MWh/an.logement.

		Nombre de logements	Économies d'énergie finale (TWh/an)	Économies d'énergie par logement (MWh/an)
Toiture, murs, plancher	Maisons individuelles	1 260 117	3,07	2,4
	Toutes rénovations			
	Rénovations aidées	871 771	1,81	2,1
	Logements collectifs			
	Rénovations aidées	345 473	1,13	3,3
	Tous logements			
	Rénovations aidées	1 217 243	2,94	2,4
Fenêtres, volets, portes	Maisons individuelles	590 826	0,37	0,6
	Toutes rénovations			
	Rénovations aidées	272 453	0,18	0,7
	Logements collectifs			
	Rénovations aidées	109 900	0,06	0,5
	Tous logements			
	Rénovations aidées	382 353	0,24	0,6
Chauffage, eau chaude sanitaire	Maisons individuelles	780 663	3,95	5,1
	Toutes rénovations			
	Rénovations aidées	558 745	3,49	6,2
	Logements collectifs			
	Rénovations aidées	318 455	0,81	2,6
	Tous logements			
	Rénovations aidées	877 201	4,30	4,9
Ventilation/climatisation	Maisons individuelles	315 789	0,71	2,3
	Toutes rénovations			
	Rénovations aidées	12 380	0,03	2,6
	Logements collectifs			
	Rénovations aidées	28 544	0,05	1,7
	Tous logements			
	Rénovations aidées	40 924	0,08	1,9
Tous postes	Maisons individuelles	2 293 223	8,11	3,5
	Toutes rénovations			
	Rénovations aidées	1 642 268	6,03	3,7
	Logements collectifs			
	Rénovations aidées	764 465	2,13	2,8
	Tous logements			
	Rénovations aidées	2 406 733	8,16	3,4

Figure 2 - Gains réalisés selon le type de travaux et le type de logements en 2019 – Source : ONRE

Bien que ce rapport permette de connaître les économies réalisées, l'unité choisie ne permet pas de réaliser une estimation précise du gain réel selon le type de travaux réalisés. En effet en utilisant le gain moyen par logement, il est considéré qu'un logement de 500m² et de 25m² réalisent les mêmes économies d'énergie. De plus, ce rapport ne permet pas de savoir quels sont les travaux ayant le meilleur rapport entre investissement et économie.

Finalement ce rapport permet de voir les rénovations énergétiques et les économies d'énergie réalisées au niveau national, mais il ne permet pas de comprendre l'impact des différents travaux, en particulier quand plusieurs travaux énergétiques sont réalisés en même temps.

4. Problématique du TFE

Ainsi la rénovation énergétique des bâtiments est un enjeu important au niveau national mais également au niveau européen. De même, l'Etat français est particulièrement investi dans ces démarches pour aider les particuliers (aides financières) et également pour rénover son propre parc immobilier (lancement de programmes tel que le programme Ambassades Vertes). En revanche, il est difficile d'estimer le gain réel des rénovations, en particulier quand plusieurs rénovations énergétiques sont réalisées en même temps sur un même bâtiment. De ces divers points et interrogations découle la problématique suivante :

Comment analyser des dépenses énergétiques et évaluer l'impact des travaux de rénovation sur les coûts de fonctionnement d'un bâtiment ?

Pour répondre à cette problématique, l'étude va se concentrer sur la Résidence de France de Ljubljana. De nombreux travaux de rénovations énergétiques ont été réalisés en 2023 et l'Ambassade souhaite continuer ces rénovations pour maximiser les performances de ce bâtiment.

Pour réaliser cette analyse et évaluer l'impact possible des différents travaux, l'étude va se décomposer en plusieurs parties. Dans un premier temps la méthode de travail et les différents outils utilisés seront présentés pour fixer un cadre d'étude clair en justifiant les choix et hypothèses réalisées.

La seconde partie servira à présenter le bâtiment et sa consommation dans un état initial sans travaux, ce qui permettra ensuite d'évaluer l'impact des travaux de 2023 en essayant de justifier l'intérêt de chacun des travaux réalisés.

Enfin l'étude cherchera à identifier les points faibles restants de ce bâtiment pour proposer des pistes d'amélioration et d'évaluer l'impact final que pourrait avoir le bâtiment sur l'environnement.

II. Méthodologie

1. Description des méthodes de collecte de données

Pour répondre à la problématique posée, la première partie du projet a été consacrée à la création d'un outil de suivi des consommations énergétiques pouvant être utilisé pour la Résidence et pour l'Ambassade de France. Cet outil reprend les consommations en gaz et en électricité depuis 2018 et a pour but d'être complété dans les prochaines années pour assurer un suivi des bâtiments sur le long terme. A l'heure actuelle, l'outil reprend les données de 2018 à mai 2024, ces données ont pu être récupérées auprès de la comptable de l'Ambassade et des entreprises fournissant l'énergie. Par conséquent, il est possible d'analyser les données avant et après les travaux de rénovation énergétique.

En parallèle, un travail de recherche a été mené pour inventorier l'ensemble des travaux réalisés à la Résidence et évaluer leur impact potentiel sur les consommations énergétiques. Cette recherche a inclus l'examen des audits énergétiques réalisés et la consultation d'autres documents pertinents pour estimer l'impact hypothétique de ces travaux. En effet, la Direction de l'Immobilier et de la Logistique du MEAE dispose d'une grande base de données due aux nombreuses emprises diplomatiques et aux différents travaux de rénovations énergétiques effectués. C'est pourquoi, il est possible de comparer les données des bâtiments diplomatiques de Ljubljana à l'ensemble des bâtiments gérés par la DIL.

Cette étape a permis d'obtenir des informations clés pouvant aider à estimer le gain des différents travaux réalisés à la Résidence et donc de pouvoir faire une analyse globale et une analyse plus détaillée, aussi bien pour le gain direct que pour le retour sur investissement permettant ainsi d'évaluer les différents travaux.

2. Choix des indicateurs de performance énergétique

2.1 Unités d'analyse

Le but de cette étude est d'analyser les données du bâtiment mais également de les comparer avec d'autres. Une comparaison neutre avec un même modèle peut aider à comprendre et à mettre en relief les résultats obtenus. C'est pourquoi nous avons choisi de comparer les données selon deux unités : les kWh/m².an et les kgCO₂eq/m².an.

Ces unités permettent une comparaison complète en prenant en compte les données énergétiques mais également les émissions de GES des bâtiments. En effet, une structure peut avoir réduit drastiquement sa consommation mais avoir augmenté ses émissions car l'énergie utilisée aura changé et sera plus polluante. Ce qui n'est pas recherché lors de rénovation énergétique. De plus, ces unités permettent de comparer les bâtiments sur une même dimension, il est donc possible d'étudier des bâtiments ayant une superficie totalement différente et sur une même durée de temps ce qui permet de s'assurer de la cohérence de l'analyse.

2.2 Prise en compte des données climatiques

Pour que le moins de facteurs extérieurs puissent influencer les résultats et donc les consommations, en particulier lors de la comparaison d'années différentes, les consommations seront étudiées sous une forme corrigée grâce aux Degrés Jours Unifiés (ci-après DJU). Les DJU représentent la différence entre la température extérieure et une température de référence intérieure sur une période donnée (DJU par mois). Ici, les DJU chauffagistes et les DJU climaticiens seront utilisés dans le but de comparer sur un pied d'égalité les consommations en gaz et en électricité au vu des besoins en chauffages ou en climatisation.

Des valeurs seuils ont donc été définies pour ces deux DJU pour estimer à partir de quand le chauffage ou la climatisation ont été nécessaires et donc de savoir quels mois ont été influencés par le climat et quels mois nécessitent donc d'être corrigés. En effet, une année peut sembler bien plus économe en gaz ou en électricité et ceci peut ne pas être dû à de réelles économies en interne mais grâce à un climat plus doux nécessitant de moins chauffer ou de moins climatiser.

Une année a alors été définie comme l'année de référence pour le climat. L'ensemble des données sont ensuite corrigées pour voir quelle aurait été la consommation du bâtiment selon le climat de cette année-là. Nous avons choisi comme année de référence 2019, en effet c'était la seule année de référence envisageable :

- 2018 comporte un mois de juillet avec des consommations anormalement faible ce qui pourrait fausser les résultats de l'ensemble des mois de juillet des autres années ;
- Le COVID en 2020 et 2021 fausse les consommations des bâtiments au vu des différents confinements ;
- 2022 représente l'année de sortie du COVID, il peut donc y avoir des variations de consommations dues à la reprise postpandémie ;
- Enfin 2023 est l'année des travaux de rénovations énergétiques et notre année d'étude, cela fausserait donc également les résultats de l'utiliser comme référence.

2.3 Etiquette DPE

Pour que l'analyse soit parlante à tous, les résultats et conclusions seront donnés à partir de l'étiquette DPE. Cette étiquette est connue et obligatoire en France pour les bâtiments publics et les logements soumis aux ventes et locations. Ainsi cette étiquette, en plus d'être compréhensible, sera utile pour le bâtiment.

Pour calculer les valeurs de cette étiquette plusieurs techniques existent comme le calcul 3CL ou le DPE sur facture. Mais cette dernière méthode de calcul est abandonnée pour les logements suite à l'arrêté du 31 mars 2021 [17], la méthode de calcul 3CL est donc la méthode généralisée pour réaliser les DPE depuis 2021. Cependant l'ambassade ne disposant pas des données pour réaliser la méthode de calcul 3CL, la méthode du DPE sur facture sera utilisée dans la suite pour les données de la Résidence.

Cette méthode consiste à calculer la consommation moyenne d'énergie sur une ou plusieurs années et de diviser le tout par la superficie du bâtiment [18]. Cette ancienne méthode sera donc combinée à l'utilisation des nouveaux seuils de l'étiquette énergie, qui sont dorénavant un double seuil (cf figure 3) : c'est la classe la plus défavorable entre l'énergie primaire et les émissions de GES qui déterminera la classe du logement.

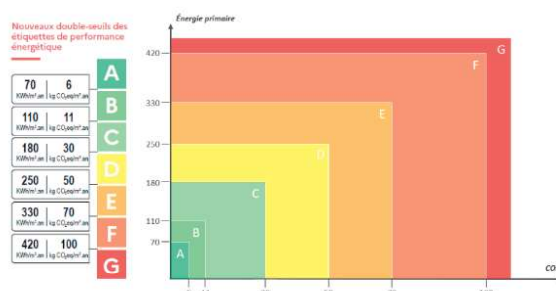


Figure 3 - Nouveaux seuils de l'étiquette énergie - Nouveau DPE (PDF) – Source : CEREMA

2.4 Données de références

Pour estimer au mieux les gains énergétiques réalisés grâce aux différents travaux de 2023, l'étiquette énergie de la Résidence a été réalisée en fonction de la consommation moyenne corrigée de 2018 à 2022. Utiliser une moyenne sur cinq années, plutôt que sur une seule, améliore la fiabilité des données de référence et atténue les variations dues à des événements ponctuels.

En utilisant la méthode sur facture, sur cinq années, l'étiquette énergie de référence est la suivante :

- **Consommation en énergie primaire :** 161kWh/m².an (Classe C)
- **Emissions en GES :** 41.5kgCO₂es/m².an (Classe D)
- **Classe énergétique** selon le double seuil : Classe D. (cf figure 4 ci-contre).

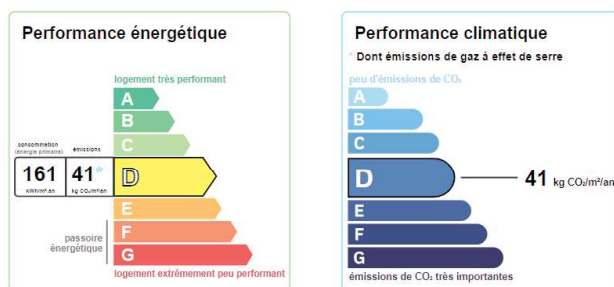


Figure 4 - Etiquette DPE des données de référence (2018/2022) – Source : Auteure

De plus, la consommation de référence est également disponible mensuellement pour permettre de faire les analyses de manière globale, en comparant les données annuelles et de manière plus détaillée, en comparant les données mensuelles.

3. Outils et logiciels utilisés

3.1 Création d'un outil de suivi des consommations énergétiques

Dans le but d'analyser les factures énergétiques de la Résidence, un outil de suivi des consommations énergétiques a été créé sur Excel. Excel a été choisi pour permettre une utilisation facile et intuitive de l'outil et donc permettre une utilisation sur le long terme du document.

L'outil dispose de plusieurs feuilles dans le but de bien compartimenter les données et de simplifier l'utilisation de l'Excel (*cf Annexe 1 - Excel de suivi de la consommation énergétique de la Résidence*) :

- **Feuille 1 - « CONSIGNES »** : Cette feuille résume l'intérêt de l'ensemble des feuilles de l'Excel. De plus, elle explique également quelles feuilles doivent être complétées et comment (quelles données, dans les cases de quelles couleurs, ...). (*cf Annexe 1.a*)
- **Feuille 2 - « INFOS BÂTIMENT »** : On retrouve sur cette feuille l'ensemble des données générales du bâtiment (date d'acquisition, superficie, travaux réalisés, ...). (*cf Annexe 1.b*)
- **Feuille 3 et Feuille 4 - « GAZ » et « ELECTRICITE »** : Ces deux feuilles regroupent l'ensemble des données des factures de gaz et d'électricité de la Résidence depuis 2018 (kWh, prix). De plus, on y retrouve d'autres données telles que les émissions de GES et la consommation corrigée. Ces deux feuilles sont deux des trois feuilles à remplir pour que les autres feuilles puissent se mettre à jour automatiquement. (*cf Annexe 1.c et 1.d*)
- **Feuille 5 - « CONSO CORRIGEE CLIMAT »** : Cette feuille est la troisième et dernière feuille qui nécessite la rentrée de données. En effet, sur cette feuille sont calculées les consommations énergétiques corrigées. Pour cela, il est nécessaire de rentrer les valeurs des DJU chauffagistes et DJU climaticiens. Ensuite les consommations sont corrigées automatiquement en fonction des valeurs/ du climat de 2019. (*cf Annexe 1.e*)
- **Feuille 6 - « RECAP »** : Cette feuille se met automatiquement à jour en fonction de l'ensemble des données rentrées sur les autres feuilles. On y retrouve le récapitulatif des consommations annuelles et les étiquettes obtenues. (*cf Annexe 1.f*)
- **Feuille 7 - « GRAPHIQUES »** : L'ensemble des graphiques permettant d'évaluer la consommation de la Résidence sont présent sur cette feuille. Ils sont triés selon le type d'énergie (Elec, Gaz ou les deux), selon le type de données étudiées (consommation réelle/corrigée, prix de l'énergie, prix des factures) et selon la période étudiée (mois ou années). (*cf Annexe 1.g*)

Finalement les différentes feuilles permettent d'étudier les différents éléments de façon distincte mais également d'avoir une vision globale et complète des données.

3.2 Modélisation de la Résidence – Revit & Design Builder

Afin de compléter l'étude des factures énergétiques, qui permet d'évaluer l'impact des différents travaux, il serait intéressant de repérer les points faibles de la Résidence pour comprendre et proposer les meilleures solutions énergétiques dans le futur. Pour cela, il est possible d'utiliser DesignBuilder qui est un logiciel permettant de réaliser de nombreuses simulations dynamiques. Ce logiciel permet également le calcul des déperditions et gains thermiques du bâtiment aussi bien en hiver qu'en été à partir de la modélisation 3D du bâtiment. Ce qui représente des informations très intéressantes pour notre étude.

3.2.1 Création de la maquette 3D



Figure 5 – Modélisation de la Façade principale de la Résidence - Source : Auteure

Pour utiliser DesignBuilder, il a fallu dans un premier temps, créer un modèle 3D de la Résidence. Or ce logiciel ne permet pas aisément de réaliser des modèles 3D dès que le bâtiment possède des caractéristiques spéciales (mur incurvé, étage avec renforcement, ...). C'est pourquoi le bâtiment a été modélisé dans un premier temps sur Revit, logiciel de conception 3D, pour dessiner facilement le bâtiment et l'ensemble des pièces pour que le modèle soit le plus proche de la réalité possible.

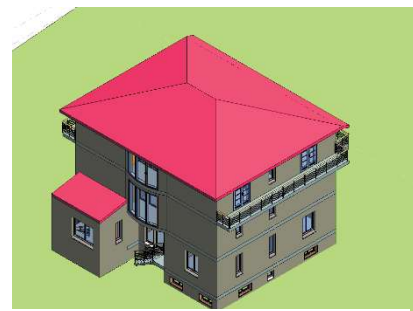
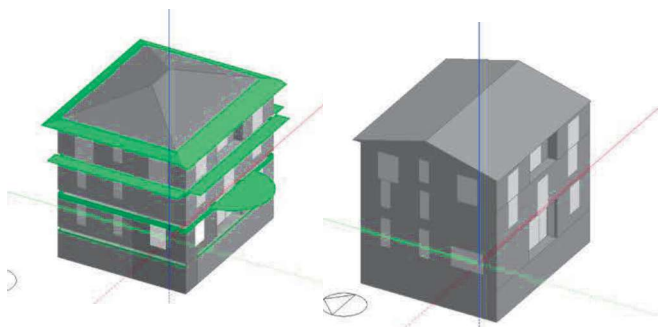


Figure 6 - Vue d'ensemble de la Résidence sur Revit - Source : Auteure

Il a fallu attendre la mission de relevé de plans réalisée en Juillet 2024 pour avoir des versions numériques exploitables du bâtiment de la Résidence. En effet, avant cette mission, il n'était pas possible de réaliser la modélisation sur Revit car aucun plan n'était disponible (compatible avec les logiciels de conception).

3.2.2 Import du modèle 3D sur DesignBuilder



d'obtenir des simulations voulues (cf deuxième image de la figure 7).

Figure 7 - Avant/Après de la simplification du modèle - Source : Auteure

Une fois le modèle créé sur Revit, il a pu être importé sur DesignBuilder au format gbxml. Néanmoins, certains éléments du modèle n'étaient plus conformes au modèle d'origine (cf première image de la figure 7). Par exemple, les balcons ne permettaient pas de réaliser la modélisation correctement. De ce fait, le bâtiment a été modifié et simplifié directement sur DesignBuilder pour s'assurer un modèle permettant de réaliser l'ensemble des

Les « blocks », représentant les différents étages (Block 1 = RDC, block 2 = R+1, block 3 = R+2, block 4 = R-1), ont bien été importés depuis Revit. Ce qui va permettre pour la suite de faire des hypothèses différentes par étage et d'obtenir les gains et pertes par étage également (cf figure 8).



Figure 8 - Nomenclature des pièces regroupées par étages - Source : Auteure

III. Etat initiale de la Résidence – 2018

1. Présentation de la Résidence de France à Ljubljana

La Résidence de France à Ljubljana a été acquise en 1993 par l'Ambassade. Le bâtiment est situé au lieu-dit « Prule » (Prule 9A) à proximité immédiate de la vieille ville, au bord de la rivière.

Les caractéristiques du bâtiment sont résumées dans les trois tableaux ci-dessous selon les caractéristiques principales, les techniques de construction et les énergies utilisées selon le type d'équipements techniques.



Figure 9 - Photo de la Résidence de France de Ljubljana - Source : Ambassade de France en Slovénie

1.1 Caractéristiques principales de la Résidence

Bâtiment étudié	Résidence de France - Slovénie
Ville	Ljubljana – Vieille ville
Type de bâtiment	Logement/ Résidence principale
Nombre d'occupants	Résidence de Madame L'Ambassadrice Intendante et Cuisinier → 3 occupants
Année de construction	1993
Nombre de bâtiment	1
Nombre de niveaux et utilités	R-1 : Cave, Buanderie, Stockage RDC : Chambre invité et cuisine R+1 : Salle de réception R+2 : Partie privative/ Logement
Surface De Plancher	498m ²
Occupation	24h/24

1.2 Matériaux et techniques de construction

Type	Caractéristiques
Murs extérieurs	Mix béton pierre Ep. Mur : 30cm non isolé
Toiture	Toiture en pente – Combles avec isolation vieillissante
Plancher sur sous-sol	Isolé avec traitement contre les remontées capillaires
Vitrages	Vitrages doubles avec menuiseries en bois
Portes	PVC
Protections solaires	Rideaux et volets roulants

1.3 Energies utilisées et équipements techniques

Poste	Energie
Chauffage	Gaz, électricité Chaudière et Pompe à Chaleur – Plancher chauffant
Climatisation	Electricité – Appareils individuels (pas de centralisation)
Eau chaude Sanitaire ECS	Gaz, électricité Chaudière et Pompe à Chaleur
Eclairage	Electricité – Principalement LED mais quelques lampes halogènes
Auxiliaires thermiques	Absent
Equipements divers	Electricité

2. Consommation énergétique du bâtiment avant travaux

En 2015, le projet Ambassades Vertes est lancé par le Ministère de l'Europe et des Affaires Etrangères pour réduire l'empreinte environnementale des emprises diplomatiques françaises à l'étranger.[8] C'est suite à cette volonté du ministère que l'Ambassade de France de Slovénie a fait réaliser en 2018 des audits énergétiques de ses bâtiments, dont la Résidence (cf Annexe 2 : *Audit énergétique de la Résidence de Ljubljana – 2018*).

L'audit énergétique réalisé permet de fournir une évaluation des consommations actuelles, produit un certificat de performance énergétique et donne une vision détaillée de ses consommations énergétiques et de ses émissions de gaz à effet de serre. L'intérêt de cet audit résidait dans sa capacité à fournir des données fiables et chiffrées, nécessaires pour formuler des recommandations adaptées et pour prioriser les travaux de rénovation en fonction de leur impact potentiel sur la réduction des consommations énergétiques et des émissions de GES.

2.1 Ce que dit l'audit énergétique de 2018

Les informations principales de cet audit sont sa consommation en énergie primaire (126kWh/m².an), ses émissions de CO₂ (24kg/m².an) et sa consommation en chauffage (66kWh/m².an), comme indiqué sur la figure 10.

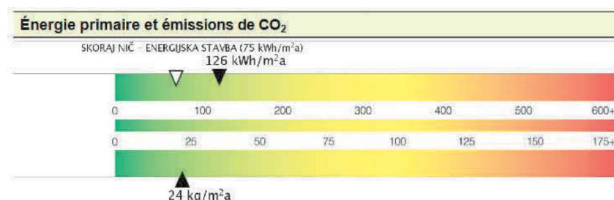
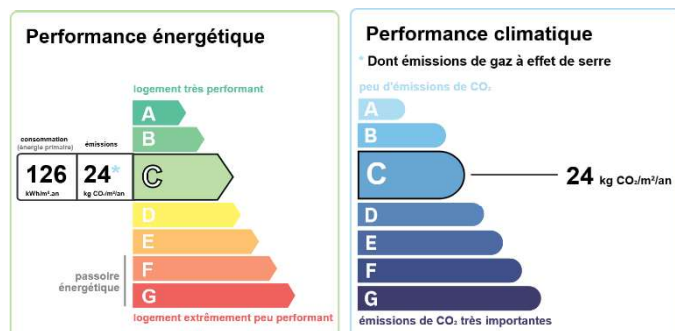


Figure 10 - Energie primaire et émissions de la Résidence – Source : Extrait du diagnostic énergétique de 2018



Ainsi il est possible de réaliser l'étiquette énergétique du bâtiment en 2018. On obtient alors que le bâtiment est de classe C (cf figure 11).

Figure 11 - Etiquette DPE des données du diagnostic énergétique de 2018 – Source : Auteurs

2.2 Ce que disent les factures de 2018

L'ensemble des consommations énergétiques de 2018 a pu être rentré dans l'Excel de suivi des consommations énergétiques. De cette manière il est possible de comparer les données de l'audit énergétique avec les vraies valeurs pour affiner l'analyse, aussi bien au niveau de la consommation énergétique, que pour ses émissions GES. Pour la consommation corrigée de l'année 2018, on obtient alors les valeurs suivantes :

Année	Consommation en kWh/m ² .an corrigée	Emissions GES en kgCO ₂ eq/m ² corrigées
GAZ	109	20.2
ELEC	27.2	16
TOTAL	136	36.2

La consommation totale obtenue est de 136kWh/m².an en énergie primaire et 36.2 kgCO₂eq/m² pour les émissions de GES. L'audit énergétique semble donc avoir légèrement sous-estimé la consommation et les émissions du bâtiment.

Le bâtiment dispose donc d'une étiquette de classe D selon les factures de 2018 (cf figure 12). En effet, bien que la consommation en énergie primaire soit de classe C, les émissions de GES sont de classe D. Avec la rédaction de 2021, le DPE est finalement de classe D.

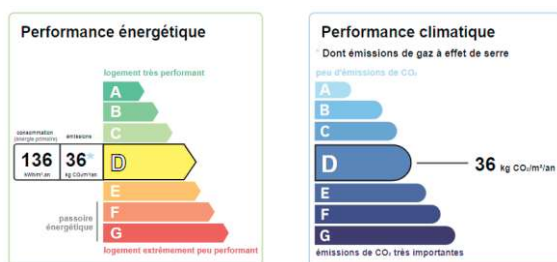


Figure 12 - Etiquette DPE de la consommation réelle de 2018 – Source : Auteurs

2.3 Ce que dit l'étiquette énergie de référence

Maintenant que les valeurs de l'audit réalisé en 2018 et la consommation corrigée de l'année 2018 ont été présentées. Il est intéressant de regarder la consommation moyenne sur 5 ans de 2018 à 2022, qui représente notre étiquette de référence. Il sera alors possible de comprendre si l'audit de 2018 a réellement sous-estimé la consommation de notre bâtiment ou si l'année 2018 présentait des consommations plus importantes que la normale.

Pour calculer le DPE sur ces cinq années, les consommations corrigées de chaque année ont été calculées séparément (en kWh/m².an et kgCO2/m².an), pour ensuite calculer la moyenne de ces différentes valeurs. Ce qui donne le tableau récapitulatif suivant :

Année	Consommation en kWh/m².an	Consommation en kWh/m².an corrigée	Emissions en kgCO2eq/m².an	Emissions en kgCO2eq/m².an corrigées	Classe énergétique de la Résidence
2018	145	136	37,4	36,2	D
2019 REF CLIMAT	166	166	42,0	42,0	D
2020	174	176	43,3	45,0	D
2021	186	169	47,2	44,3	D
2022	160	158	40,4	39,9	D
Données de référence (2018/2022)	166	161	42,1	41,5	D

L'ensemble des années disposent donc de la même classe énergétique. Toutefois, la consommation corrigée de 2018, qui était déjà plus élevée que la consommation estimée par l'audit, est l'année la plus faible répertoriée parmi les 5 années étudiées. En regardant le détail de l'année 2018, on remarque des anomalies au niveau de la consommation des mois de juillet et d'août (cf figure 13). Ces deux mois comportent des consommations anormalement faibles, ce qui peut expliquer cette différence par rapport aux autres années.

CONSOMMATION EN ELECTRICITE - kWh - DONNEES OB							CONSOMMATION EN GAZ - kWh - DONNEES C				
ANNEE	Mois	Nb jours	Nb kWh VT (heures pleines)	Nb kWh MT (heures creuses)	Nb TOTAL	MOY kWh/j	ANNEE	Mois	Nb jours	TOTAL kWh	MOY kWh/j
2018	janv-18	31	817	461	1278	41,23	2018	janv-18	31	7993	257,8
	févr-18	28	626	366	992	35,43		févr-18	28	10153	362,6
	mars-18	31	846	464	1310	42,26		mars-18	31	9301	300,0
	avr-18	30	819	449	1268	42,27		avr-18	30	2582	86,1
	mai-18	31	331	316	647	20,87		mai-18	31	1966	63,4
	juin-18	30	675	306	981	32,70		juin-18	30	1302	43,4
	juil-18	31	307	4	311	10,03		juil-18	31	2476	79,9
	août-18	31	953	925	1878	60,58		août-18	31	83	2,7
	sept-18	30	699	442	1141	38,03		sept-18	30	1330	44,3
	oct-18	31	844	453	1297	41,84		oct-18	31	2776	89,5
	nov-18	30	884	451	1335	44,50		nov-18	30	6688	222,9
	déc-18	31	638	453	1091	35,19		déc-18	31	11806	380,8
TOTAL			8439	5090	13529	445	TOTAL			58456	1933,566283

Figure 13 - Anomalies constatées dans les consommations énergétique de la résidence en 2018 – Source : Auteure

Ainsi la consommation corrigée de référence est de 161kWh/m².an, les émissions sont de 41.5kgCO₂eq/m².an et l'étiquette de référence finale d'avant travaux est de classe D (cf figure 14). Ce qui représente des données bien plus élevées que celle de l'audit.

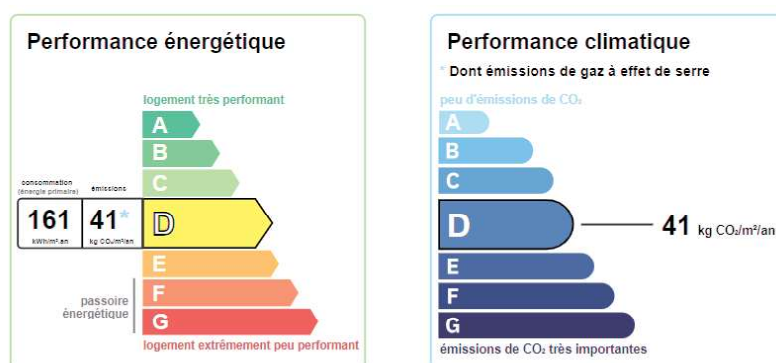


Figure 14 - Etiquette DPE des données de référence (2018/2022) – Source : Auteure

Comme pour la consommation annoncée dans l'audit de 2018, la classe selon la consommation en énergie primaire reste la classe C, bien que notre consommation soit plus élevée de 27kWh/m². Cependant la classe des émissions est D, ce qui représente une classe plus élevée que celle de l'audit mais cette classe est la classe de l'ensemble des données répertoriés.

Cette différence entre l'estimation de l'audit (par un professionnel) et la réalité peut s'expliquer par de nombreux facteurs liés à l'utilisation du bâtiment. En effet, la Résidence est considérée comme un logement avec un usager, alors que de nombreuses personnes y travaillent toute la journée et de nombreuses réceptions y ont lieu. Ainsi ces facteurs peuvent expliquer une consommation plus importante qui n'a pas dû être prise en compte dans l'audit.

3. Comparaison avec des normes ou standards énergétiques

3.1 Standards énergétiques selon la réglementation Slovène

La réglementation PURES est utilisée dans les certificats de performances énergétiques en Slovénie, de cette manière chaque bâtiment ayant ce certificat connaît ses valeurs seuils autorisées selon différents critères [19]. Pour la Résidence (habitation), en 2018, on obtient le tableau comparatif suivant :

	Autorisé	Audit	
Coefficient de déperdition thermique H'T	0,41 W/m ² K	0,48 W/m ² K	
Chaleur annuelle nécessaire pour le chauffage-QNH	35kWh/m ² a	66kWh/m ² a	
Froid annuel nécessaire pour le refroidissement-QNC	50kWh/m ² a	4kWh/m ² a	Valeur de référence
Energie primaire annuelle-QP	189 kWh/m ² a	126 kWh/m ² a	161kWh/m ²

Bien que les valeurs données dans le certificat de performances énergétiques ne semblent pas alarmantes, les besoins énergétiques du bâtiment pour le chauffage et le coefficient de déperditions sont supérieurs aux limites autorisées. Ce qui montre bien l'importance de rénover ce bâtiment, pour d'une part, faire baisser son coefficient de déperdition, et d'autres part, réduire les besoins en chauffage du bâtiment.

De plus, ces valeurs étaient valables en 2018, or cette réglementation a évolué en 2022 pour devenir plus stricte. La consommation en énergie primaire, qui est bien sous le seuil autorisé en 2018, n'est peut-être plus convenable selon la version de 2022. C'est pourquoi la Résidence a besoin de diminuer sa consommation en chauffage, d'améliorer son isolation mais également de diminuer sa consommation en énergie primaire.

3.2 Standards énergétiques français

En 2018, les exigences réglementaires thermiques françaises pour les bâtiments existants visaient à encadrer les travaux de rénovation, mais sans imposer de seuil limite de consommation énergétique. Il n'est donc pas possible de comparer la consommation aux seuils autorisés. Cependant l'ONRE a publié un rapport donnant la répartition des DPE de l'ensemble des résidences principales françaises de 2018. Il est alors possible de comparer et de classer la Résidence par rapport aux logements français.

De plus, en septembre 2023, la DIL du MEAE a publié un document intitulé « Synthèse Bilans Energétiques et Bilans Carbones Stages 2023 ». Ce document regroupe les bilans réalisés par les stagiaires de 2023, selon la méthode de calcul basée sur les factures énergétiques de 2022. Ainsi, la DIL dispose des bilans énergétiques et carbone de 22 emprises diplomatiques et a pu estimer les émissions de 39 postes du réseau diplomatique français. Cela représente un total de 71 bâtiments étudiés, dont 15 ambassades et 27 résidences. Il est donc possible de comparer les données de consommation de la Résidence de France de Ljubljana avec celles d'autres résidences diplomatiques française.

3.2.1 Comparaison à partir des données de l'ONRE

La Résidence de Ljubljana sert de résidence principale à l'Ambassadeur ou à l'Ambassadrice en poste. Par conséquent, la consommation énergétique de la Résidence va être comparée à celle des résidences principales françaises. Le graphique ci-dessous (figure 15), reprend la répartition des DPE de l'ensemble des résidences principales en 2017[20], avec les valeurs des classes énergétiques indiquées sur la partie droite de la figure 15.

Sur les 29 millions de résidences principales au 1^{er} janvier 2018, environ 1,9 million de logements (6,6% du parc) seraient peu énergivores (étiquettes A et B du diagnostic de performance énergétique – DPE).

À l'opposé, environ 4,8 millions de logements (soit près de 17% du parc) seraient très énergivores (étiquettes F et G du DPE, regroupant les logements qualifiés de « passoires thermiques »).

Les étiquettes D et E du DPE sont les plus fréquentes (respectivement 34% et 24% du parc).

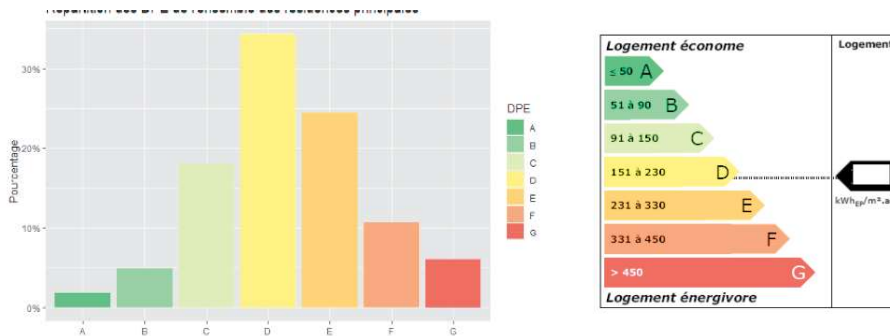


Figure 15 - Répartition des DPE de l'ensemble des résidences principales en 2017 – Source : ONRE

Selon les valeurs utilisées dans ce document, la Résidence de Ljubljana a une consommation de classe D. Celle classe est la plus représentée sur ce graphique avec à elle seule 35% des logements, soit plus de 1/3 des logements. Toujours selon la figure 15, moins de 25% des logements sont d'une classe inférieure à la classe D. Ce qui montre l'importance générale de réduire la consommation des logements. Cela montre également que le bâtiment étudié dispose d'une consommation non alarmante mais importante à réduire pour obtenir un bâtiment performant.

3.2.2 Comparaison avec les résidences diplomatiques françaises

Cette comparaison de la Résidence française à Ljubljana avec les autres résidences françaises dans le monde entier se base sur la consommation en kWh/m².an et sur les émissions en kgCO2eq/m².an. Cependant les classes énergétiques de la synthèse ne sont pas celles utilisées dans les nouveaux DPE depuis 2021, il est donc important de se concentrer sur la consommation et les émissions en GES et de ne pas prendre en compte les classes évoquées précédemment pour comparer les valeurs de Ljubljana avec les mêmes classes que celles utilisées dans le document de la DIL.

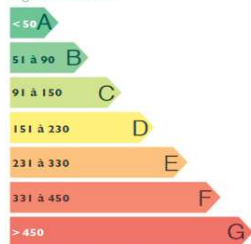
Ainsi cette comparaison se fait à partir de deux graphiques différents classant d'un côté les consommations énergétiques en kWh/m².an et de l'autre les émissions en kgCO2eq/m².an. De plus, la couleur des histogrammes correspond à leur classe énergétique, selon le code couleur de la légende.

Consommation énergétique en kWh/m²

Consommation énergétique

en kWh/m².an en énergie primaire

Logement économe



Logement énergivore

Etiquette énergie	Nombre de bâtiments
A	3
B	7
C	6
D	7
E	1
F	2
G	1
total	27

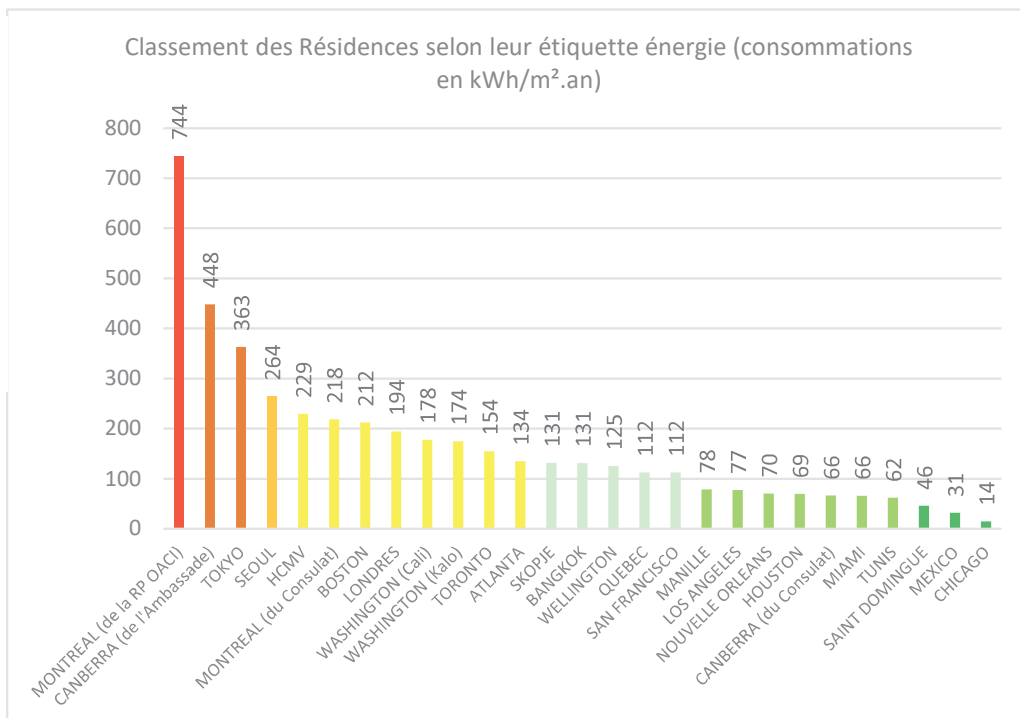
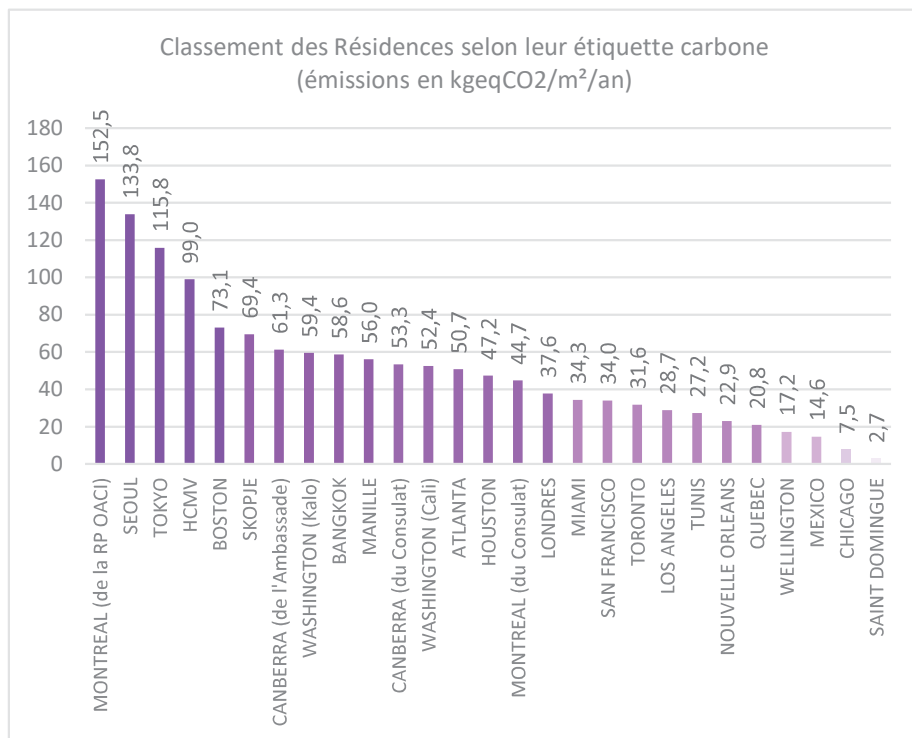


Figure 16 – Synthèse de la consommation énergétique des résidences diplomatiques françaises – Source : Synthèse Bilans Energetiques et Bilans Carbones Stage 2023, MEAE

À partir du graphique de la figure 16, on observe une grande hétérogénéité dans la consommation énergétique des résidences diplomatiques, variant de 14 kWh/m².an à 744 kWh/m².an. En classant notre bâtiment sur ce graphique, il se situe en 18^e position entre Toronto et Washington (Kalo). De plus, la moyenne des consommations énergétiques de l'ensemble des résidences est de 166,7 kWh/m².an, ce qui est supérieur à la consommation de la Résidence de Ljubljana (161 kWh/m².an). Cependant il est pertinent de comparer la Résidence de Ljubljana à la valeur médiane, représentée par le 14^e résidence, qui est Bangkok, avec une consommation de 131 kWh/m².an et une classe C. En étant placée 18^e, notre Résidence consomme donc 20 % de plus que la médiane.

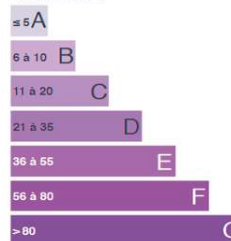
En rajoutant la Résidence de Ljubljana au classement, la classe D devient la classe la plus présente parmi les classes énergétiques des résidences. Malgré le fait que la consommation de la Résidence soit inférieure à la consommation énergétique moyenne, la Résidence se classe en 18^e position et fait donc partir des 40% les plus énergivores. Finalement, notre Résidence est moyennement performante parmi les résidences françaises et il est donc crucial d'améliorer notre consommation énergétique.

Emissions de GES en kgCO₂eq/m²



Émissions de gaz à effet de serre en kg eq CO₂/m².an

Faibles émissions



Fortes émissions

Etiquette carbone	Nombre de bâtiments
A	1
B	1
C	2
D	7
E	6
F	6
G	4
total	27

Figure 17 - Synthèse des émissions de GES des résidences diplomatiques françaises - Source : Synthèse Bilans Energetiques et Bilans Carbones Stage 2023, MEAE

La moyenne des émissions de GES des résidences diplomatiques est de 52,1 kgCO₂eq/m².an, tandis que la valeur médiane est représentée par la résidence de Houston, classée E, avec des émissions de 47,2 kgCO₂eq/m².an (cf figure 17). Dans ce classement, notre Résidence (avec des émissions de 41.5 kgCO₂eq/m².an) se situe en 13e position entre Londres et Montréal. Ce qui signifie qu'elle émet moins de GES que plus de la moitié des résidences diplomatiques, malgré qu'elle soit de classe E. De plus, seulement quatre bâtiments sont classés dans les classes A, B et C. Cette répartition souligne que la grande majorité des résidences se situent dans des classes d'émissions élevés (D et au-dessus) et qu'il existe donc un besoin général de réduire les émissions de GES.

En conclusion, notre Résidence est globalement peu performante en termes de consommation énergétique mais également en termes de GES (comme la majorité des résidences). C'est pourquoi il est nécessaire d'améliorer les performances du bâtiment pour agir sur la consommation et les émissions de la Résidence.

4. Travaux proposés pour améliorer les performances

Pour améliorer les performances de la Résidence, plusieurs mesures ont été proposées dans l'audit de 2018, réparties en trois catégories : améliorer la qualité extérieure du bâtiment, améliorer l'efficacité énergétique des systèmes, et augmenter l'utilisation des sources d'énergies renouvelables. Cinq mesures principales ont été recommandées :

Améliorer la qualité extérieure du bâtiment	Améliorer l'efficacité énergétique des systèmes	Augmenter la part d'utilisation des sources d'énergies renouvelables
<ul style="list-style-type: none"> • L'isolation thermique de la toiture-plafond mansarde • L'isolation thermique des murs extérieurs • Remplacement des équipements du bâtiment (portes, fenêtres, ...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Récupération de la chaleur 	<ul style="list-style-type: none"> • Transition vers pompe à chaleur

De plus des calculs ont été réalisés pour simuler les gains envisageables de certains travaux :

- Le remplacement des menuiseries du bâtiment permettrait de réduire la consommation de 12kWh/m² ;
 - Améliorer l'isolation thermique de la mansarde et de la toiture (20 cm d'épaisseur) réduirait les besoins en gaz de 3kWh/m² ;
 - L'isolation thermique des murs extérieurs (15 cm d'épaisseur) diminuerait la consommation de 15kWh/m².
- La réalisation de ces trois mesures engendrerait un gain énergétique de 27kWh/m².

Ainsi selon les valeurs calculées dans l'audit énergétique, le bâtiment réduirait sa consommation à 99kWh/m², ce qui permettrait au bâtiment d'avoir une consommation énergétique de classe B. Cependant notre consommation énergétique de référence est de 161kWh/m². Finalement, ces travaux permettraient certes de réduire la consommation énergétique, mais ils ne permettraient pas de passer de la classe énergétique C à B.

Il est également important de prévoir des travaux qui permettraient de réduire les émissions de GES également. En effet, pour le moment c'est cette étiquette qui définit l'étiquette globale de la Résidence.

IV. Impact des travaux de rénovation

1. Inventaire des travaux réalisés

Suite à l'audit énergétique, aucune rénovation énergétique n'a été réalisée avant 2021. A partir de 2021, des travaux ont été réalisés à la Résidence mais ces derniers n'avaient pas pour but d'améliorer les performances du bâtiment. Il faut attendre 2023 pour que des travaux et certaines propositions de l'audit soient mis en place.

L'ensemble des travaux réalisés à la Résidence ont été repris dans un tableau récapitulatif à partir des données trouver en poste et à partir d'un document fourni par la DIL.

ANNEE	Devis	Réception	Catégorie de travaux	Type de travaux	Coût HT	Descriptif rapide
2021	16/02/2021	2021	Normes/ Sécurité	Désamiantage	4135	Travaux de retrait de deux conduits identifiés amiantés dans les combles
2022	27/09/2022	2022	Normes/ Sécurité	Sécurisation des balcons	6240	
2023	05/12/2022	10/03/2023	Energie	Rénovation électrique	16010	Les travaux ont été réalisés pour faire suite à l'audit électrique réalisé en Mars 2022 mais des aléas sont encore constatés
2023	26/02/2023 & 03/03/2023	16/05/2023 & 16/05/2023	Energie	Rénovation du système de chauffage & Robinets thermostatiques	5502 & 2106	Remplacement des tuyaux, des vannes d'arrêt et des pompes de circulations dans la chaufferie & Pose de robinets thermostatiques permettant un meilleur contrôle des consommations d'énergie du bâtiment.
2023	02/11/2022	06/06/2023	Isolation	Isolation thermique des combles & Rénovation toiture	10752 & 36528	Reprise du revêtement, de l'étanchéité de la toiture et l'isolation des combles. & L'isolation endommagée a été remplacée par une isolation cellulosique soufflée à la machine (épaisseur de 30cm et d'un lambda de 0,038 W/mK)
2023	25/04/2023	29/09/2023	Isolation	Remplacement des fenêtres de la partie privative	18726	Menuiseries remplacées dans le cadre du projet ambassade verte (projet pluriannuel)
2023	13/01/2023 & 01/06/2023	16/03/2023 & 19/10/2023	Aménagement	Réaménagement de la partie privative	17330	Isolation entre la gaine centrale d'escalier, ouverte, et les parties privatives du dernier étage afin d'obtenir une isolation phonique et limiter les courants d'air. Création d'une cuisine privative à la place d'une des trois salles de bain privatives.

Parmi cette liste de travaux, cinq réalisés en 2023 peuvent avoir un impact sur la consommation énergétique de la Résidence : la rénovation électrique, la rénovation du système de chauffage, l'installation de robinets thermostatiques, l'isolation des combles et le remplacement des fenêtres. Deux de ces interventions sont d'ailleurs des recommandations de l'audit énergétique de 2018. Il est donc intéressant de voir si les 53 096 € HT investis dans ces travaux ont un réel impact sur la consommation et sur quelle période de retour sur investissement.

2. Analyse des données post-rénovation

2.1 Consommation de l'année 2023

Pour évaluer l'impact des travaux, l'étiquette énergétique de la consommation énergétique corrigée de 2023 a été réalisée à partir du tableau de données suivant :

2023	Conso kWh/an CORRIGEE	Conso kWh/m ² .an CORRIGEE	Emissions kgCO ₂ eq/an CORRIGEEES	Emissions kgCO ₂ eq/m ² CORRIGEEES
GAZ	52742	105.9	9757	19,6
ELEC	13441	26.6	7774	15,6
TOTAL	66183	132.5	17531	35,2

Le bâtiment consomme 132kWh/m².an ce qui représente une consommation de classe C. En revanche, les émissions de GES sont de 35.2kgCO₂eq/m², ce qui équivaut à une classe D. Ainsi avec le double seuils, l'étiquette globale de la Résidence en 2023 est de classe D (cf figure 18).

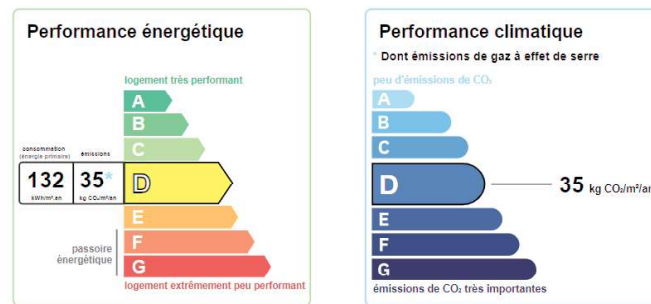


Figure 18 - Etiquette DPE de la consommation réelle de 2023 – Source : Auteure

2.2 Comparaison avec les données de référence

Pour estimer les gains énergétiques réalisés sur l'année 2023 grâce aux travaux énergétiques, les valeurs de 2023 vont être comparées à la consommation de référence, annuellement dans un premier temps puis mensuellement pour mieux comprendre la répartition du gain énergétique.

Pour comparer la consommation annuellement, le tableau ci-dessous a été réalisé pour résumer les économies faites en 2023 :

Gains réalisés entre 2023 et la consommation de référence [= Données de référence – Données 2023]	Gains sur la Consommation corrigée en kWh/an	Gains sur la Consommation corrigée en kWh/m ² .an	Gains sur les Emissions corrigées en kgCO ₂ eq/an	Gains sur les Emissions corrigées en kgCO ₂ eq/m ²
GAZ	13 108	26.3	2 425	4.9
ELEC	1 202	2.4	695	1.4
TOTAL	14 310	28.7	3 120	6.3

Ce tableau met en évidence une baisse globale de 28.4 kWh/m².an en 2023 par rapport aux données de références, ce qui représente une diminution de la consommation énergétique de 18%. De même, les émissions de GES ont diminué de 6.3 kgCO₂eq/m², ce qui représente une diminution de 15%.

Cependant on remarque que cette réduction de consommation est principalement due aux économies de gaz qui sont 10 fois plus importantes que les économies d'électricité. De même, la réduction des émissions de GES est principalement due à la réduction de la consommation en gaz. Mais le rapport entre la réduction des émissions dû au gaz et à l'électricité est bien plus faible que pour la consommation d'énergie. Ce qui s'explique par les facteurs de conversions du kWh au kgCO₂eq.

La consommation énergétique a donc diminué en 2023 par rapport à la moyenne des consommations de la période 2018-2022. En analysant les données mensuelles, on observe que chaque mois de l'année 2023 a enregistré une consommation de gaz inférieure à celle de référence, à l'exception de mars (cf figure 19 ci-dessous).

Les économies réalisées en gaz sont significatives entre avril et novembre : les réductions de consommation dépassent 1 000 kWh par mois.

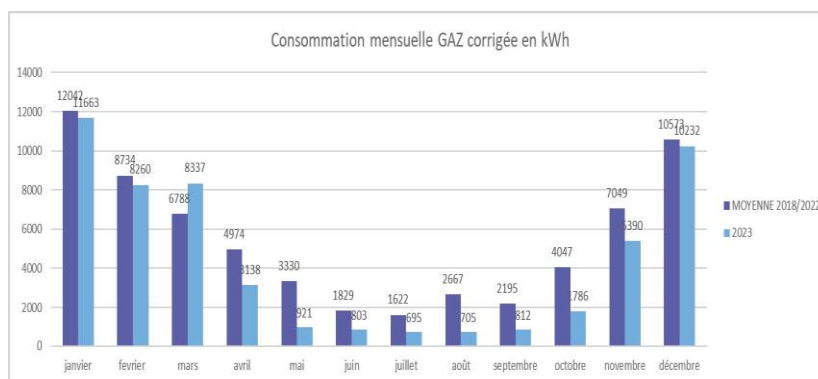


Figure 19 - Comparaison de la consommation mensuelle GAZ de la Résidence (données de référence/2023) – Source ; Auteur

Concernant la consommation électrique, une diminution est également constatée sur l'ensemble des mois, à l'exception de Juillet et Août (cf figure 20 ci-dessous). Pourtant, les économies réalisées en électricité sont nettement moins importantes que celles en gaz et les mois de Juillet et Août ont même enregistré une augmentation de la consommation électrique. Ce qui limite le gain total.

Ces résultats montrent bien l'importance des mesures d'économie d'énergie mises en place à la Résidence. En effet, il a été possible de réduire d'environ 14 000 kWh la consommation de la Résidence et de 3 120 kgCO₂eq les émissions de GES. Toutefois, ils soulignent également la nécessité de poursuivre les efforts pour réduire la consommation électrique, notamment durant les mois estivaux pour permettre un plus fort impact sur les émissions de GES. Enfin, il serait intéressant de comprendre et de connaître la répartition des gains en fonction des différents travaux réalisés.

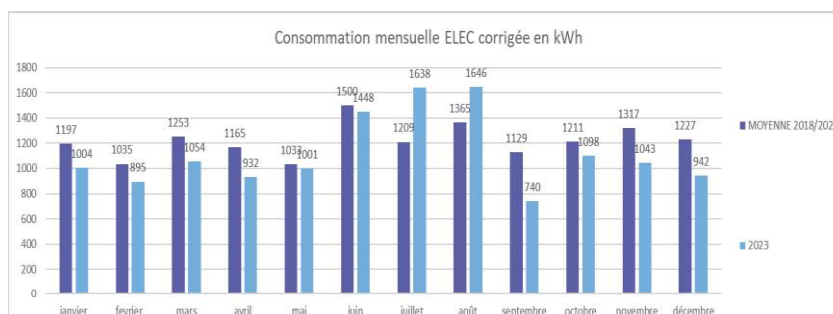


Figure 20 - Comparaison de la consommation mensuelle ELEC de la Résidence (données de référence/2023) – Source : Auteur

3. Evaluation de l'efficacité des travaux

Le but de cette partie est d'estimer le gain énergétique des différents travaux réalisés à la Résidence. Pour estimer ces gains, nous allons dans un premier temps estimer le gain des travaux à partir des factures énergétiques. Puis nous comparerons et préciserons cette estimation par rapport aux données hypothétiques de gains proposées dans différents audits énergétiques réalisés par le MEAE.

3.1 Estimations globales à partir des factures énergétiques

Grâce aux factures nous allons pouvoir estimer les gains des travaux en trois étapes :

- Les gains suite à la rénovation du système électrique (travaux réceptionnés mi-mars 2023) – *analyse des gains sur 12 mois d'avril 2023 à mars 2024 ;*
- Les gains dus à l'isolation des combles (travaux réceptionnés en juin 2023) – *analyse des gains sur les mois de juillet et août 2023 ;*
- Les gains obtenus grâce à la rénovation du système de chauffage, l'installation de robinets thermostatiques, l'isolation des combles et le remplacement des fenêtres – *analyse des gains sur 5 mois de novembre 2023 à mars 2024.*

La rénovation du système de chauffage et la mise en place de robinets thermostatiques ont été réceptionnées en mai 2023. Le système de chauffage n'a donc pas été utilisé avant l'automne 2023. C'est pourquoi les gains énergétiques associés ne pourront être estimés qu'à partir de novembre 2023. Il est certes possible d'estimer une partie des gains de l'isolation sur la période estivale. Mais pour estimer les gains sur la consommation en gaz, il est nécessaire que le chauffage soit en fonctionnement, c'est-à-dire à partir de novembre 2023 également. Il est donc difficile de différencier les gains dus au remplacement des fenêtres, ceux dus à la rénovation du système de chauffage et de ceux de l'isolation des combles.

3.1.1 Impact de la rénovation électrique – étude d'avril 2023 à mars 2024

Les travaux de rénovation électrique de la Résidence ne sont pas des travaux ayant pour but premier de réduire la consommation énergétique. Toutefois, le système électrique datait de l'époque de la construction du bâtiment en 1993 et n'avait jamais été rénové, le système était donc vieillissant. Ainsi la rénovation du système électrique peut permettre de légers gains électriques grâce au remplacement de câbles pouvant être défectueux et entraîner des déperditions électriques.[21]

Pour estimer les gains de ces travaux, une estimation sera fournie en prenant les mois d'avril 2023 à mars 2024 et en les comparant aux données de références. Ce qui donne le tableau suivant :

ANALYSE DE LA CONSOMMATION CORRIGEE ELECTRIQUE SELON LA RENOVATION ELECTRIQUE					
Avant travaux		Après travaux		GAIN [données de référence – données 2023/2024]	
MOIS	Conso [kWh]	MOIS	Conso [kWh]	Gain sur la période [kWh]	Moyenne gain mensuel 2018/2022 [kWh/mois]
Janv. 2018/2022	1197	Janv-24	779	418	126
Févr. 2018/2022	1035	Févr-24	869	166	Gain TOTAL [kWh/an]
Mars 2018/2022	1253	Mars-24	1034	219	1512
Avr. 2021/2022	1165	Avr-23	893	272	Economie moyenne par rapport aux données de références
Mai 2018/2022	1033	Mai-23	1001	32	10.3 %
Juin 2018/2022	1500	Juin-23	1448	52	
Juil. 2018/2022	1209	Juil-23	1638	-429	
Août 2018/2022	1365	Août-23	1646	-281	
Sept. 2018/2022	1129	Sept-23	740	389	
Oct. 2018/2022	1211	Oct-23	1098	113	
Nov. 2018/2022	1317	Nov-23	1043	274	
Déc. 2018/2022	1227	Déc-23	942	285	
TOTAL 2018/2022	14643	TOTAL 2023/2024	13131	1512	

On remarque qu'entre la consommation de référence et la consommation de 2023/2024 d'après travaux électriques, la consommation en électricité a diminué de 1 512 kWh ce qui représente une économie de 10% sur les 12mois.

3.1.2 Impact de l'isolation des combles – étude juillet et août 2023

L'isolation des combles a eu lieu en juin 2023. Le bâtiment possédait déjà une isolation mais cette dernière était abîmée et il était également nécessaire de refaire la charpente. Ainsi ces deux travaux ont été réalisés en même temps. Ces travaux ont impacté principalement la consommation en chauffage mais également l'utilisation de la climatisation. Pour estimer les gains de ces travaux, deux périodes différentes comprises entre juillet 2023 et mars 2024 vont être étudiés dans le but d'estimer les gains de chaque énergie :

- Pour la consommation électrique : les mois d'été où la climatisation a été utilisée (DJU climaticien > DJU seuil = 75°C), ce qui représente les mois de juillet et août.
- Pour la consommation en gaz : les mois où le chauffage a été utilisé (DJU chauffagiste > DJU seuil = 120°C), ce qui représente les mois de novembre 2023 à mars 2024. Cette estimation sera réalisée dans la partie suivante.

Impact des travaux d'isolation sur la consommation électrique corrigée en kWh		
Données étudiées	Juillet	Aout
Avant travaux (données réf)	1209	1365
Après travaux (données 2023)	1638	1646
Evolution de la consommation	+ 429	+ 281
Evolution de la consommation avec prise en compte des gains énergétiques de la rénovation électrique	+ 555	+ 407

Les consommations des mois de juillet et août 2023 sont plus énergivores que ceux des données de références. De plus, en prenant en compte le gain mensuel de 126 kWh réalisé grâce à la rénovation du système électrique, la consommation du mois de juillet et du mois d'août ont augmenté respectivement de 555 kWh et de 407 kWh en 2023 par rapport aux données de référence.

La consommation électrique a donc fortement augmenté pendant l'été 2023 comparé aux données de référence. Il semble donc que la climatisation, qui est l'élément principal influençant l'augmentation de la consommation d'électricité en période estivale, ait été plus fortement utilisée en 2023. L'isolation ne semble donc pas avoir eu d'effet positif sur cette période. Cependant cela ne signifie pas pour autant que l'isolation ait entraîné une

augmentation de la climatisation. En effet, d'autres facteurs extérieurs peuvent avoir joué un rôle dans ce cas précis, tels que les habitudes des usagers du bâtiment. Finalement, la valeur choisie pour l'impact de l'isolation sur la consommation électrique est de 0 kWh.

3.1.3 Impact de la rénovation du système de chauffage, des robinets thermostatiques, de l'isolation des combles et du remplacement des fenêtres – étude de novembre 2023 à mars 2024

L'ensemble de ces travaux réalisés entre juin et septembre 2023 sont des travaux énergétiques ayant un impact sur la consommation en gaz. Dans cette partie, l'estimation globale du gain énergétique sur la consommation en gaz sera réalisée et le gain potentiel individuel sera estimé dans la partie suivante.

En utilisant la même méthode que pour les deux estimations précédentes, le tableau suivant permet de mettre en évidence les gains de l'ensemble de ces travaux :

ANALYSE DE LA CONSOMMATION CORRIGEE EN GAZ SELON LE BOUQUET DE TRAVAUX					
Avant travaux		Après travaux		GAIN [données de référence – données 2023/2024]	
MOIS	CONSO [kWh]	MOIS	CONSO [kWh]	Par mois [kWh]	Moyenne gain mensuel [kWh]
Nov-22	7049	Nov-23	5390	1659	2047
Déc-22	10573	Déc-23	10232	341	Gain TOTAL [kWh/an]
Janv-22	12042	Janv-24	9378	2663	14 329
Févr-22	8734	Févr-24	5782	2952	Economies réalisées sur la période [%]
Mars-22	6788	Mars-24	4166	2622	22,65580285
Total 2018/2022	45186	Total 2023/2024	34949		

La consommation en gaz a diminué de 10 237 kWh sur 5 mois, ce qui représente un gain mensuel de 2047kWh. En considérant que le chauffage est allumé de mi-octobre à mi-mai chaque année, cela représente au total 7 mois de chauffage. Ce qui équivaut à 14 329 kWh économisés sur la période d'utilisation du chauffage.

De plus, ces travaux peuvent avoir un impact sur la consommation en gaz en période estivale, en effet les travaux peuvent permettre d'améliorer l'efficacité du chauffage de l'eau chaude sanitaire. Ainsi il est possible d'arrondir le gain total en chauffage à 15 000 kWh. Sachant que la consommation totale en gaz de référence est de 64 793 kWh, cela représente une diminution de 23.1% des consommations par rapport aux données de référence.

3.1.4 Conclusion

A partir des factures énergétiques sur la période de avril 2023 à mars 2024, il a été possible d'estimer les gains énergétiques à 1 512kWh en électricité et à 15 000 kWh pour le gaz. Ce qui représente au total une diminution de la consommation de 33,1 kWh/m².an. Cette valeur est plus importante que la diminution trouvée entre les données de référence et les données de 2023. Mais cette différence s'explique par la présence de mois en 2023 où aucune rénovation énergétique n'avait été faite, alors que les 12 mois étudiés dans les calculs sont 12 mois où des travaux avaient déjà eu lieu.

En revanche, le détail de l'apport de chaque rénovation n'est pas connu. C'est pourquoi, il serait intéressant de connaître le gain de l'ensemble des travaux dans le détail, pour estimer au mieux les gains envisageables et réaliser par la suite le retour sur investissement.

3.2 Estimations détaillées à partir des estimations globales et d'audits énergétiques

Dans cette partie, les estimations précédentes vont donc être reprises et affinées dans le but d'obtenir l'estimation final des gains de tous les travaux réalisés. Les estimations finales seront ensuite mises sous forme de tableaux récapitulatifs mettant en évidence les gains annuels ainsi que la part d'économie que cela représente par rapport aux données de références, qui pour rappel sont les suivantes :

Consommation de référence	Consommation en kWh/an CORRIGEE	Consommation en kWh/m ² .an CORRIGEE	Emissions en kgCO ₂ eq/AN CORRIGEE	Emission en kgCO ₂ eq/m ² CORRIGEEES
GAZ	65 850	132,2	12 182	24,5
ELEC	14 643	29,4	8 469	17,0
TOTAL	80 493	161,6	20 651	41,5

Les données utilisées pour affiner les résultats sont l'audit énergétique réalisé pour la Résidence en 2018 et l'audit énergétique du campus diplomatique d'Amman (Jordanie). Ce second document a été mis à disposition par la DIL dans le but d'aider à améliorer les estimations et à comparer les travaux envisageables et les méthodes de travail. Dans cet audit, 30 actions chiffrées (coût et gain) sont proposées et certaines de ces propositions correspondent aux travaux étudiés ici.

Certaines de ces fiches vont donc être utilisées pour estimer les gains. Pour cela, les gains énergétiques estimés dans l'audit énergétique du campus diplomatique d'Amman seront remis en kWh/m².an selon la superficie prise en compte dans leur calcul ou la superficie totale de la Résidence (cf Annexe 3 : Tableau des surfaces de l'Ambassade et de la Résidence du campus d'Amman). Cette conversion des gains estimés en kWh/m².an va permettre de retranscrire ces gains à la Résidence de Ljubljana qui est un bâtiment de taille différente.

3.2.1 Rénovation du système électrique

Pour la rénovation du système électrique, l'estimation finale choisie est celle calculée à partir des factures énergétiques. En effet, cette estimation a pu être faite sur une période d'un an, avec peu de facteurs extérieurs pouvant influencer le résultat. De plus, la valeur finale représente des économies de 10% sur la consommation électrique soit 1.8% de la consommation énergétique totale, ce qui semble cohérent au vu du type de travaux réalisés.

Rénovation système électrique	Economies finales			
	Electricité	Gaz	Total	Economie // données de références
Consommation énergétique en kWh/an	1 512	0	1 512	
Consommation énergétique en kWh/m ² .an	3.03	0	3.03	1.9 %
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/an	874.5	0	874.5	
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/m ² .an	1.76	0	1.76	4.2 %

3.2.2 Rénovation du système de chauffage

La rénovation du système de chauffage n'a pas pu être chiffrée dans le détail et cette action n'a pas été proposée dans l'audit énergétique de la Résidence de 2018. Mais l'audit réalisé pour le campus diplomatique d'Amman propose des travaux semblables (audit mis à disposition par la DIL). Ainsi il est possible de chiffrer les travaux à partir de cet audit, en effet, l'action 16 : « Remplacement des pompes de distribution » correspond aux travaux réalisés à la Résidence de Ljubljana (cf Annexe 4.a : Fiche de l'Action n°16).

Cette action permet d'économiser 3.7 kWh/m².an en chauffage et 6.1 kWh/m².an en électricité à Amman (cf Annexe 4.b : Précisions et calculs des gains). Cependant pour calculer les gains énergétiques envisageables dans le cas de la Résidence de Ljubljana, seuls les gains en chauffage doivent être pris en compte. En effet, les gains électriques à Amman sont permis grâce au système de variation de vitesse, ce qui n'a pas été installé à Ljubljana. Alors que les gains en gaz sont permis grâce à la réduction des pertes thermiques, ce qui est le cas à Ljubljana en remplaçant l'ancien réseau. Finalement ces travaux permettent un gain de 3.7 kWh/m².an en gaz à la Résidence.

Remplacement du système de chauffage	Economies finales			
	Electricité	Gaz	Total	Economie // données de références
Consommation énergétique en kWh/an	0	1 843	1 843	
Consommation énergétique en kWh/m ² .an	0	3.7	3.7	2.3 %
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/an	0	341	341	
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/m ² .an	0	0.7	0.7	1.7 %

3.2.3 Installation de robinets thermostatiques

Comme pour le système de chauffage, l'installation des robinets thermostatiques n'a pas pu être chiffrée dans le détail et n'a pas été proposée dans l'audit énergétique de la Résidence de 2018. Mais ces travaux correspondent à l'action 24 de l'audit énergétique du campus d'Amman (cf Annexe 5.a : Fiche de l'Action n°24).

En considérant que les gains sont de 2,3 kWh/m² en électricité et 44,4 kWh/m² pour le chauffage et que deux étages de la Résidence de Ljubljana sont équipés (soit 258m²) (cf Annexe 5.b : Précisions et calculs des gains), on obtient pour la Résidence de Ljubljana des gains de 593.4 kWh pour 258 m² en électricité et de 11 455 kWh pour 258 m² en gaz. Le gain final est donc de 23 kWh/m² en gaz et 1.2 kWh/m² en électricité pour l'ensemble de la Résidence.

Installation de Robinets Thermostatiques	Economies finales			
	Electricité	Gaz	Total	Economie // données de références
Consommation énergétique en kWh/an	593	11 455	12 048	
Consommation énergétique en kWh/m ² .an	1.2	23	24.2	15 %
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/an	343.0	2 119.2	2 462.2	
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/m ² .an	0.6	4.3	4.9	11.9 %

3.2.4 Isolation des combles

Pour l'isolation des combles, l'analyse des factures énergétiques a permis d'estimer que les travaux n'avaient pas d'impact sur la consommation électrique. Mais il n'a pas été possible d'estimer l'impact individuel de ces travaux sur la consommation en gaz. Néanmoins, en 2018, l'audit réalisé pour la Résidence proposait plusieurs actions pour optimiser ses performances et chiffrait le gain des actions. Une des actions proposées était « l'isolation thermique supplémentaire de la mansarde et de la toiture » et cette action avait pour objectif de réduire de 3 kWh/m² la consommation en chauffage du bâtiment. Ainsi cette solution permet de réaliser des économies d'environ 1 500 kWh/an en gaz (cf Annexe 2 : Audit énergétique de la Résidence de Ljubljana - 2018).

Isolation des combles & rénovation de la charpente	Economies finales			
	Electricité	Gaz	Total	Economie // données de références
Consommation énergétique en kWh/an	0	1 500	1 500	
Consommation énergétique en kWh/m ² .an	0	3	3	1.8 %
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/an	0	277.5	277.5	
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/m ² .an	0	0.56	0.56	1.3 %

3.2.5 Remplacement des fenêtres

Comme pour l'isolation des combles, le remplacement des fenêtres était une proposition d'action de l'audit énergétique de 2018 (cf Annexe 2 : Audit énergétique de la Résidence de Ljubljana - 2018). En remplaçant l'ensemble des fenêtres de la Résidence, les besoins en chauffage et donc en gaz sont censés diminuer de 12kWh/m².an. Or seules les fenêtres du second étage ont été changées sur les quatre niveaux. Le second étage est l'un des étages avec le plus de fenêtres et portes-fenêtres et c'est également l'étage le plus utilisé. C'est pourquoi il est possible de considérer que 1/3 des fenêtres ont été changées. Ce qui équivaut à un gain moyen de 4kWh/m².an en gaz, soit au total 1 992 kWh/an.

De plus le remplacement des fenêtres par des fenêtres plus performantes est censé avoir également un impact sur la consommation électrique, grâce à une meilleure isolation et donc une réduction des besoins en climatisation l'été. Or l'audit énergétique réalisé par l'entreprise Béhi pour le campus diplomatique d'Amman (Jordanie) propose une action de remplacement des fenêtres et chiffre les gains selon les différentes énergies utilisées (cf Annexe 6.a : Fiche de l'Action n°9).

Ainsi les économies en électricité sont d'environ 2.9 kWh/m² pour le remplacement de l'ensemble des fenêtres de la Résidence de Ljubljana (cf Annexe 6.b : Précisions et calculs des gains). Or comme seul 1/3 des fenêtres ont été changées, on peut donc estimer le gain à 0.97 kWh/m².an soit 481 kWh/an.

Remplacement des fenêtres de la partie privative	Economies finales			
	Electricité	Gaz	Total	Economie // données de références
Consommation énergétique en kWh/an	481	1 992	2 473	
Consommation énergétique en kWh/m ² .an	0.97	4	4.97	3.1 %
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/an	278.2	368.5	646.7	
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/m ² .an	0.56	0.74	1.30	3.1 %

3.3 Estimation gain potentiel final

Finalement, l'ensemble de ces estimations détaillées permet un gain total de 2 586 kWh/an en électricité (soit 5.2 kWh/m².an) et de 16 790 kWh/an en gaz (33.7 kWh/m².an). Ce qui représente au total une réduction de la consommation de 38.9 kWh/m².an par rapport aux données de références.

Ce gain est supérieur aux gains calculés sur la période d'avril 2023 à mars 2024. Cependant seuls six mois de ces 12 mois étudiés disposent de l'ensemble des rénovations. Il est donc normal de trouver un gain final supérieur grâce aux estimations précédentes.

Ce gain total de 38.9 kWh/m².an permet de réduire la consommation de 161 kWh/m².an à 122.1 kWh/m².an et pour les émissions on obtient une diminution totale de 9.3 kgCO₂eq/m².an, ce qui donne un total d'émissions de GES de 32.2 kgCO₂eq/m².an. Ainsi la classe énergétique du bâtiment resterait la même (cf figure 21). En effet, ni la consommation ni les émissions de GES n'ont changé de classe malgré la diminution importante des consommations.

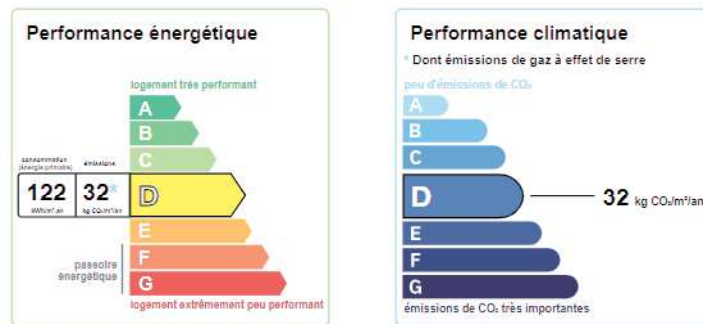


Figure 21 - Etiquette DPE selon gain total des travaux énergétiques réalisés en 2023 – Source : Auteur

Le bâtiment n'ayant pas changé de classe, il est donc important de voir si les travaux réalisés permettent réellement de faire des économies sur le long terme ou si l'investissement réalisé est bien supérieur aux économies réalisables.

4. Retour sur investissement des travaux

Bien que des travaux semblent plus efficaces que d'autres, il est important de s'intéresser au temps de retour sur investissement. Ce temps de retour permettrait de voir quels travaux sont les plus rentables et si l'ensemble de l'argent investi est bien rentabilisé.

Pour cela, nous allons calculer les économies réalisées chaque année en fonction du prix de l'énergie. Le prix de l'énergie sera actualisé chaque année à partir d'un taux calculé en fonction de l'évolution moyenne de l'énergie entre 2018 et 2023.

Année	Prix moyen du GAZ en €/kWh HTVA	Evolution du prix du GAZ /an	Prix moyen de l'ELEC en €/kWh HTVA	Evolution du prix de l'ELEC /an
2018	0,0261	-	0,06195	-
2019	0,0270	3,4%	0,06248	0,9%
2020	0,0247	-8,3%	0,06828	9,3%
2021	0,0254	2,7%	0,06828	0,0
2022	0,0621	144,5%	0,09605	40,7%
2023	0,0790	27,3%	0,11850	23,4%
2024	0,0624	-21,1%	0,15000	26,6%
<i>Evolution moyenne du prix du gaz chaque année</i>		24.8%	<i>Evolution moyenne du prix de l'électricité chaque année</i>	

Les prix de l'énergie augmentent environ de 20% par an pour l'électricité et de 25% pour le gaz selon les données obtenues dans les factures de la Résidence. Cependant une actualisation de 20% peut entraîner une augmentation trop importante du prix de l'énergie et donc de proposer un retour sur investissement trop rapide et donc peu réaliste. Ainsi nous allons choisir un taux d'actualisation de 10% pour le gaz et pour l'électricité. De plus le temps de retour est calculé à partir de 2024 avec comme valeur de référence pour le prix de l'énergie 0.0624€/kWh pour le gaz et 0.15€/kWh pour l'électricité.

4.1 Retour sur investissement de chaque action

4.1.1 Rénovation du système électrique

Données	
Gain annuel GAZ [kWh]	0
Gain annuel ELEC [kWh]	1512
Investissement [€ HT]	16010

Rénovation du système électrique	ELEC		TOTAL	
	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Retour sur investissement [€ HT]
Année				
2024	0,15	227	227	15783
2025	0,17	249	249	15534
2026	0,18	274	274	15259
2027	0,20	302	302	14957
2028	0,22	332	332	14625
2029	0,24	365	365	14260
2030	0,27	402	402	13858
2031	0,29	442	442	13416
2032	0,32	486	486	12930
2033	0,35	535	535	12395
2034	0,39	588	588	11807
2035	0,43	647	647	11160
2036	0,47	712	712	10448
2037	0,52	783	783	9665
2038	0,57	861	861	8804
2039	0,63	947	947	7857
2040	0,69	1042	1042	6814
2041	0,76	1146	1146	5668
2042	0,83	1261	1261	4407
2043	0,92	1387	1387	3020
2044	1,01	1526	1526	1494
2045	1,11	1678	1678	-184
Temps de retour actualisé [an]			22	

Ces travaux ont un temps de retour sur investissement relativement important (22 ans) mais ce temps de retour était attendu pour ce type de travaux. En effet, la rénovation du système électrique a pour but de mettre le bâtiment aux normes et le gain énergétique a permis uniquement grâce à la vétusté de l'ancien réseau.

4.1.2 Rénovation du système de chauffage

Données	
Gain annuel GAZ [kWh]	1 843
Gain annuel ELEC [kWh]	0
Investissement [€ HT]	5 502

Rénovation du système de chauffage	GAZ		TOTAL	
	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Retour sur investissement [€ HT]
Année				
2024	0,06	115	115	5 387
2025	0,07	127	127	5 260
2026	0,08	139	139	5 121
2027	0,08	153	153	4 968
2028/2039	[...]			
2040	0,29	528	528	839
2041	0,32	581	581	258
2042	0,35	639	639	-381
Temps de retour actualisé [an]			19	

Le temps de retour de la rénovation du système de chauffage est de 19 ans ce qui représente un temps de retour assez long. Cette rénovation était nécessaire au vu de l'état de l'ancien réseau. Cependant le nouveau système installé ne permet de réduire que les déperditions thermiques, ce qui représente donc un faible gain et donc un temps de retour plus important au vu du peu d'économies envisageables chaque année.

4.1.3 Installation de robinets thermostatiques

Données	
Gain annuel GAZ [kWh]	11 455
Gain annuel ELEC [kWh]	593
Investissement [€ HT]	2 106

Installation de robinets thermostatiques	GAZ		ELEC		TOTAL	
	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Retour sur investissement [€ HT]
Année						
2024	0,06	715	0,15	89	804	1 302
2025	0,07	786	0,17	98	884	418
2026	0,08	865	0,18	108	973	-554
Temps de retour actualisé [an]				3		

Ces travaux présentent un temps de retour de 3 ans. C'est le temps de retour le plus rapide des travaux réalisés à la Résidence en 2023. La régulation des planchers chauffants, grâce à ce système, est une technique efficace permettant des gains énergétiques significatifs.

4.1.4 Isolation des combles

Données	
Gain annuel GAZ [kWh]	1 500
Gain annuel ELEC [kWh]	0
Investissement [€ HT]	10 752

Isolation des combles	GAZ		TOTAL	
	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Retour sur investissement [€ HT]
Année				
2024	0,06	94	94	10 658
2025	0,07	103	103	10 555
2026	0,08	113	113	10 442
2027	0,08	125	125	10 318
2028/2046	[...]			
2047	0,56	838	838	2 469
2048	0,61	922	922	1 547
2049	0,68	1014	1014	533
2050	0,74	1116	1116	- 583
Temps de retour actualisé [an]			27	

Le temps de retour de l'isolation des combles (27 ans) est très peu intéressant dû à de faibles gains par rapport à l'investissement demandé. Toutefois, le gain énergétique permis grâce à l'isolation des combles a pu être sous-estimée dans l'audit réalisé en 2018. En effet, la consommation énergétique avait été sous-estimée ce qui peut entraîner une sous-estimation générale des gains des différents travaux proposés.

4.1.5 Remplacement des fenêtres de la partie privative

Données	
Gain annuel GAZ [kWh]	1 992
Gain annuel ELEC [kWh]	481
Investissement [€ HT]	18 726

Remplacement des fenêtres	GAZ		ELEC		TOTAL	
	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Retour sur investissement [€ HT]
Année						
2024	0,06	124	0,15	72	196	18 530
2025	0,07	137	0,17	79	216	18 313
2026	0,08	150	0,18	87	238	18 076
2027	0,08	165	0,20	96	261	17 814
2028/20244	[...]					
2045	0,46	920	1,11	534	1 454	4 699
2046	0,51	1 012	1,22	587	1 599	3 100
2047	0,56	1 113	1,34	646	1 759	1 341
2048	0,61	1 224	1,48	711	1 935	- 594
Temps de retour actualisé [an]				25		

Ces travaux ont un coût important ce qui entraîne donc un temps de retour important (25 ans). De plus, comme seule une partie des fenêtres a été changée et non l'ensemble, l'impact reste limité.

4.2 Retour sur investissement global

Données						
Gain annuel GAZ [kWh]		16790				
Gain annuel ELEC [kWh]		2586				
Investissement [€ HT]		53096				
ENSEMBLE TRAVAUX		GAZ		ELEC		TOTAL
Année	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Retour sur investissement [€ HT]
2024	0,06	1 048	0,15	388	1 436	51 660
2025	0,07	1 152	0,17	427	1 579	50 081
2026	0,08	1 268	0,18	469	1 737	48 344
2027	0,08	1 394	0,20	516	1 911	46 433
2028	0,09	1 534	0,22	568	2 102	44 332
2029	0,10	1 687	0,24	625	2 312	42 020
2030	0,11	1 856	0,27	687	2 543	39 476
2031	0,12	2 042	0,29	756	2 798	36 679
2032	0,13	2 246	0,32	831	3 077	33 601
2033	0,15	2 470	0,35	915	3 385	30 216
2034	0,16	2 717	0,39	1 006	3 724	26 493
2035	0,18	2 989	0,43	1 107	4 096	22 397
2036	0,20	3 288	0,47	1 217	4 506	17 891
2037	0,22	3 617	0,52	1 339	4 956	12 935
2038	0,24	3 979	0,57	1 473	5 452	7 484
2039	0,26	4 376	0,63	1 620	5 997	1 487
2040	0,29	4 814	0,69	1 782	6 597	-5 110
Temps de retour actualisé [an]				17		

Ainsi l'ensemble de ces travaux, avec des temps de retours disparates, permet d'obtenir un temps de retour de l'ensemble des travaux de 17 ans (<20 ans). Ce qui représente un temps de retour sur moyen terme intéressant. En effet, les travaux réalisés permettent de réaliser des économies d'énergies mais avec un retour sur investissement qui reste intéressant. Ces travaux semblent donc rentables.

5. Conclusion sur l'impact des travaux

Il a été possible d'estimer le gain total des travaux sur un an ainsi que le gain de chacune des rénovations. Bien que les travaux représentent un investissement important, le temps de retour sur investissement reste intéressant et permet de faire des économies financières au-delà des économies purement énergétiques. Cependant il est important de noter que tous les travaux n'influencent pas les résultats finaux de la Résidence de la même façon et que le rapport entre argent investi et kWh économisé varie fortement (cf figure 22).

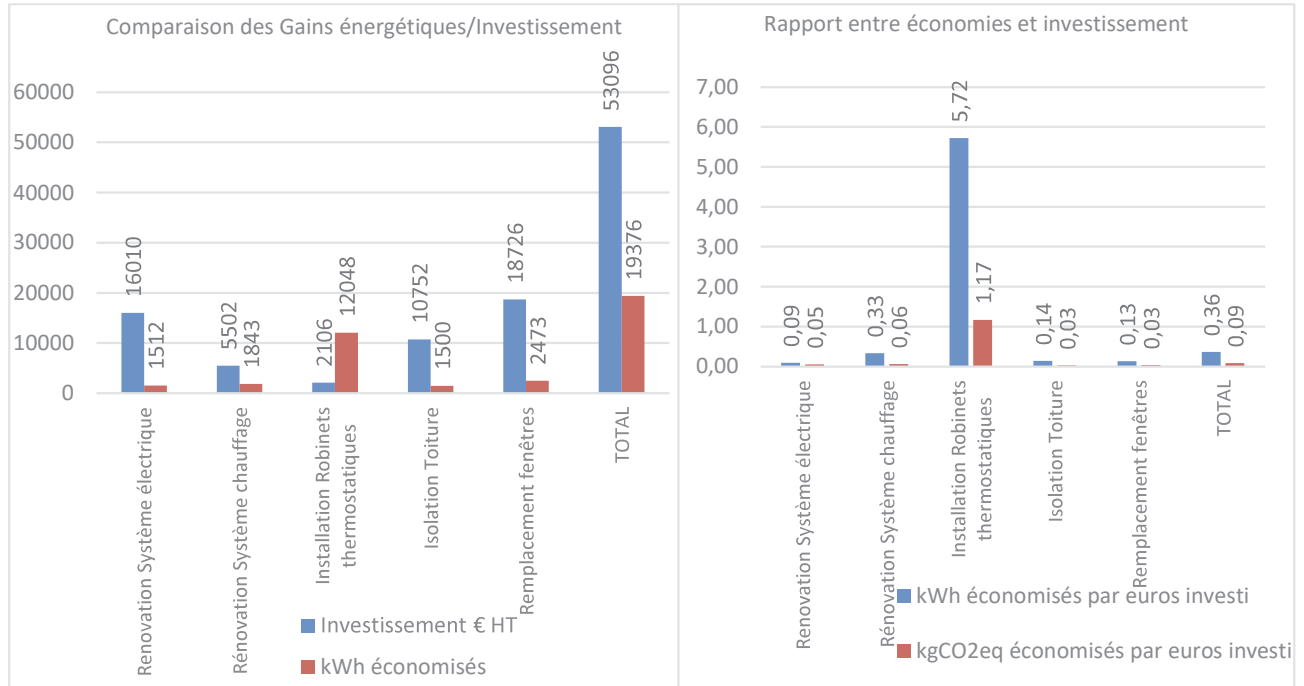


Figure 22 - Graphiques récapitulatifs des gains énergétiques en fonction de l'investissement des différents travaux - Source : Auteure

De plus, la consommation énergétique de la Résidence est estimée à 122 kWh/m².an soit de classe C, malgré tout, les émissions du bâtiment sont toujours de classe D. Ainsi il serait intéressant de comprendre quels sont les différents points sur lesquels il est encore possible de faire levier, pour améliorer d'avantage la consommation du bâtiment et lui permettre peut-être de devenir un bâtiment de classe C ou B.

V. Simulations sur DesignBuilder

L'objectif de cette partie est donc de comprendre quels sont les principaux postes de déperditions du bâtiment grâce à des simulations sur le logiciel DesignBuilder. Pour que les déperditions soient les plus réels possibles, il est important dans un premier temps de choisir les bonnes hypothèses de modélisation du bâtiment. Puis de s'assurer de la véracité du modèle pour ensuite évaluer les gains et pertes du bâtiment selon les différents étages et selon les différents besoins énergétiques. Ces différents points seront donc développés dans les parties suivantes.

1. Hypothèses de modélisation

1.1 Hypothèses générales

Une fois le bâtiment modélisé, une des premières étapes est de définir l'activité du bâtiment. Dans cette étude, les principales hypothèses choisies sont :

- **Type d'espace** : Espace résidentiel avec un bâtiment modélisé comme un espace commun avec circulation ;
- **Densité d'occupation** : 0.006pers/m² car le bâtiment fait 498m² or 2 personnes y travaillent et une personne y vit (Madame l'Ambassadrice, le Chef cuisinier et Intendante) ;
- **Les conditions de chauffage** : entre 19°C et 12°C ;
- **Les conditions de climatisation** : entre 28°C et 24°C ;

De plus, il est important de définir le calendrier de présence au sein du bâtiment. Or deux personnes y travaillent à temps plein et Madame l'Ambassadrice y vit et y passe une grande partie de sa journée. Ainsi le calendrier a été programmé à la main avec un taux de présence complet (cf figure 23). Chaque de chaque mois a été mis sur « On » (en opposition à « Off ») pour indiquer que les systèmes doivent être mis en marche car des personnes sont présentes.

M...	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Jan	On	On	On	On	On	On	On
Feb	On	On	On	On	On	On	On
Mar	On	On	On	On	On	On	On
Apr	On	On	On	On	On	On	On
May	On	On	On	On	On	On	On
Jun	On	On	On	On	On	On	On
Jul	On	On	On	On	On	On	On
Aug	On	On	On	On	On	On	On
Sep	On	On	On	On	On	On	On
Oct	On	On	On	On	On	On	On
Nov	On	On	On	On	On	On	On
Dec	On	On	On	On	On	On	On

Figure 23 - Programme de présence de la Résidence sur l'année - Source : Auteure

1.2 Hypothèses sur les matériaux

Les matériaux retenus pour le bâtiment sont les matériaux standards proposés par DesignBuilder suite à l'importation des données entrées sur Revit. Ainsi les murs sont en béton de 30cm sans isolation, comme c'est le cas de la Résidence.

Lors de l'import de Revit vers DesignBuilder, les portes n'ont pas été gardées, or l'ensemble des portes de la Résidence sont composées de verre ou sont dans des ensembles vitrés. Il a donc été choisi de modéliser l'ensemble des portes par des fenêtres.

De plus, l'ensemble des fenêtres ont été modélisées comme du simple vitrage avec des menuiseries en bois pour se rapprocher de la réalité. Cependant les fenêtres du R+2, qui ont été changées en 2023, ont été modélisées comme du double vitrage avec des menuiseries en pvc.



Figure 24 - Modélisation de la Résidence en fonction des matériaux - Source : Auteure

1.3 Système de chauffage et de refroidissement

Les derniers points à aborder dans la programmation des hypothèses sont le système de chauffage et le système de refroidissement. Il est possible de choisir le type de chauffage utilisé dans le bâtiment, mais il est également possible de choisir quels étages sont climatisés ou non et il est possible de choisir la programmation du chauffage et de la climatisation. Il est important de définir ses différents points de la façon la plus réelle possible car selon les hypothèses choisies, la simulation peut renvoyer des consommations totalement différentes, ce qui va influencer l'ensemble des données étudiées dans la suite.

Les hypothèses retenues ici sont donc les suivantes :

- **Type de chauffage :** Plancher chauffant, chaudière, ventilation naturelle ;
- **Etages chauffés :** R-1, RDC, R+1, R+2 ;
- **Etages climatisés :** RDC, R+1, R+2 ;
- **Programmation du chauffage et de la climatisation :** « TM59_Living_Heat », programme proposé par DesignBuilder permettant de répondre aux besoins en chauffage de pièces de vie d'un espace résidentiel. De plus, ce programme propose également des consignes pour la période estivale qui permettent donc de s'adapter aux besoins en climatisation (cf figure 25).

Profiles
Schedule: Compact
TM59_Living_Heat
Temperature
Through: 30 Apr.
For: Weekdays Weekends Holidays,
Until: 14:00, 0.5,
Until: 23:00, 1,
Until: 24:00, 0.5,
For: WinterDesignDay,
Until: 24:00, 1,
For: AllOtherDays,
Until: 24:00, 0,
Through: 30 Sep.
For: AllDays,
Until: 24:00, 0.5,
Through: 31 Dec,
For: Weekdays Weekends Holidays,
Until: 14:00, 0.5,
Until: 23:00, 1,
Until: 24:00, 0.5,
For: AllOtherDays,
Until: 24:00, 0,

Figure 25 - Descriptif de la programmation du chauffage et de la climatisation - Source : Auteure

2. Simulation

Une fois l'ensemble de ces hypothèses enregistrées sur le logiciel, il est possible de lancer les premières simulations pour s'assurer de la ressemblance des consommations du modèle avec les consommations réelles de la Résidence en 2023.

En lançant la simulation sur l'année 2023, le logiciel calcule une consommation annuelle de 78 824 kWh/an. Ce qui représente une consommation de 158,3 kWh/m².an. Cette consommation est très proche des données de références (161 kWh/m².an) mais assez éloignée de la consommation enregistrée en 2023.

En regardant dans le détail de la consommation, la consommation en chauffage (cf tableau ci-dessous), estimée ici à 69 000 kWh, est supérieure à la consommation de 2023 qui était d'environ 52 000 kWh mais proche de la consommation de référence (65 000 kWh). La consommation en électricité semble quant-à-elle légèrement sous-estimée (9 671 kWh contre 14 000 kWh). Ces différences peuvent s'expliquer d'une part par l'impossibilité d'indiquer la présence de robinets thermostatiques, qui est un des éléments ayant fortement réduit la consommation en gaz entre les données de références et 2023, et d'autre part par la non prise en compte de certains équipements électriques du bâtiment dans la simulation.

Consommation de la Résidence en kWh/an selon les différents calculs	Modélisation DesignBuilder sur 2023	Données énergétiques de 2023	Données énergétiques de références
Gaz	69 153	52 742	65 850
Climatisation	4 152 (climatisation) + 5 519 (éclairage) = 9 671	13 440	14 643
Total	78 824		

Ainsi, bien que les consommations soient plus proches des données de références que de celles de 2023, ce modèle est dans l'ensemble réaliste et peut donc mettre en évidence les postes déperditifs du bâtiment.

3. Déperditions en période de chauffe

3.1 Ensemble du bâtiment

DesignBuilder permet de modéliser le système de chauffage du bâtiment et donc de calculer la température ainsi que les pertes existantes au sein du bâtiment. D'un point de vue global, les conditions de chauffage choisies permettent d'obtenir une température moyenne de 18°C et de 16.51°C pour la température opérative (cf tableau de la figure 26). Ce qui correspond bien aux demandes de chauffage mises en place.

Cependant le graphique donnant les informations les plus importantes est le graphique « Heat Balance » représentée dans la figure 26, qui met en évidence la répartition des pertes et les besoins en chauffage pour maintenir la température souhaitée.

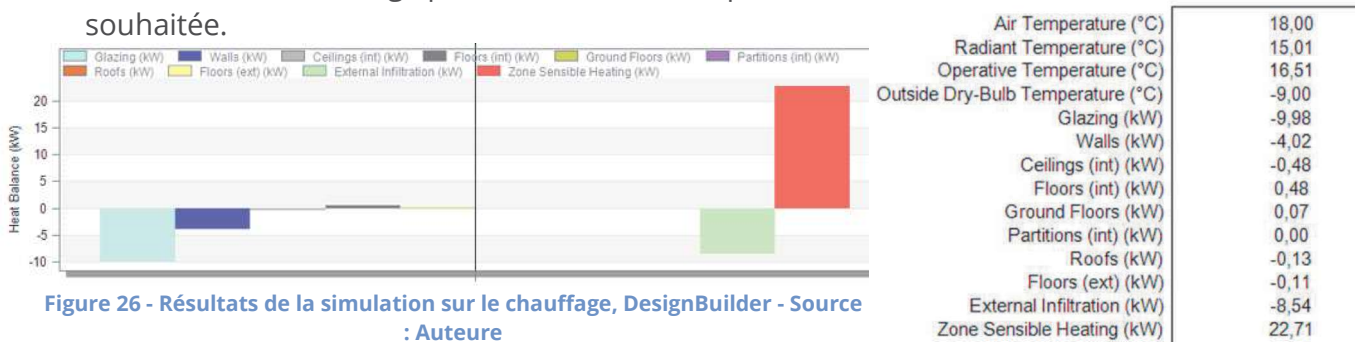


Figure 26 - Résultats de la simulation sur le chauffage, DesignBuilder - Source : Auteure

Sur le graphique et le tableau récapitulatif des données, il apparaît que les besoins en chauffage pour maintenir la température souhaitée sont de 22.71kW. Ceci est principalement dû à trois postes fortement déperditifs : les vitres, suivies des infiltrations extérieures, puis les murs extérieurs. Néanmoins ces deux premiers postes représentent à eux seuls une perte de 17.52 kW, ce qui représente 77% des pertes et donc des besoins en chauffage.

Les infiltrations extérieures représentent les pertes de chaleur dues à l'infiltration d'air extérieur. Ceci à travers des entrées d'air non intentionnelle comme des fissures dans l'enveloppe. Le terme vitre (« Glazing ») ne prend en compte que les surfaces vitrées (cadre des fenêtres non compris). Les déperditions dues à l'étanchéité ou l'ancienneté des menuiseries, sont donc comptées dans les infiltrations extérieures. C'est pourquoi les ensembles vitrés semblent donc être le poste causant la majorité des déperditions énergétiques.

3.2 Précisions par étages

Sachant que les menuiseries du second étage ont été changées, il est intéressant de voir si les données de cet étage montrent des pertes moins importantes que les autres étages. De plus, analyser l'ensemble des étages permettrait de mettre en évidence quelles sont les zones qui demanderaient des travaux en priorité dans le futur. En particulier si des travaux avec un budget limité sont envisagés.

Les étages ne disposent pas du même nombre de fenêtres. Ainsi pour comparer les données et les déperditions des différents étages, il est important de connaître la surface vitrée de chaque étage afin de comparer les déperditions par m². Selon la modélisation réalisée sur Revit, en considérant que les dimensions sont restées les mêmes lors de l'import sur DesignBuilder, les surfaces vitrées sont les suivantes :

Etage	Type de menuiserie	Quantité	Hauteur [m]	Largeur [m]	Surface vitrée [m ²]	Surface vitrée totale [m ²]
R-1	Fenêtre Simple	2	0,55	0,6	0,66	5,28
	Fenêtre Double	7	0,55	1,2	4,62	
RDC	Fenêtre Simple	3	1,6	0,6	2,88	31,8
	Fenêtre Double	5	1,6	1,2	9,6	
	Grande Fenêtre Double	3	1,6	2	9,6	
	Mur Rideaux	4	2,7	0,9	9,72	
R+1	Fenêtre Simple	3	1,6	0,6	2,88	19,8522
	Fenêtre Double	4	1,6	1,2	7,68	
	Porte Vitree	1	2,04	1,43	2,9172	
	Fenêtre Mur Rideaux	3	2,5	0,85	6,375	
R+2	Fenêtre Simple	2	1,6	0,6	1,92	27,0252
	Porte Vitree	5	2,04	1,46	14,892	
	Grande Porte Vitree	1	2,04	1,83	3,7332	
	Fenêtre Mur Rideaux	3	2,4	0,9	6,48	

En reprenant les données de pertes énergétiques des infiltrations externes et des vitres, les déperditions dues aux ensembles vitrés sont bien inférieures pour le second étage.

Block/étage	Surface vitrée [m ²]	Pertes par les fenêtres [kW]	Pertes par infiltrations extérieures [kW]	Déperditions étudiées totales [kW]	Déperditions/m ² de surface vitrée [kW/m ²]
Block 1 – RDC	31.8	4.82	2.45	7.27	0.229
Block 2 – R+1	19.85	2.38	2.35	4.73	0.238
Block 3 – R+2	27.03	1.94	1.80	3.74	0.138
Block 4 – R-1	5.28	0.84	1.94	2.78	0.527

En effet, les déperditions totales du RDC et du R+1 sont plus importantes que celles du R+2. Mais par rapport aux surfaces vitrées, les écarts de déperditions sont bien plus importants et montrent même que les fenêtres du sous-sol sont particulièrement déperditives en comparaison du R+2, ce qui n'était pas visible en ne prenant en compte que le total des déperditions. Les déperditions du R+2 sont à la fois plus faibles grâce aux vitrages mais également grâce aux infiltrations, ce qui montre que le changement de vitrage (simple au double) et du type de menuiserie (bois à PVC) a eu un fort impact sur la réduction des déperditions en période de chauffe.

4. Déperditions en période de refroidissement

4.1 Ensemble du bâtiment

DesignBuilder permet également d'étudier les pertes et besoins en période estivale en prenant une journée de référence. Ici, la journée étudiée est le 15 Août et DesignBuilder permet de calculer les besoins en climatisation, mais également les pertes et les apports de différents facteurs (cf figure 27).

Time	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00
Glazing (kW)	-3,19	-3,36	-0,03	4,97	8,21	7,67	9,06	6,65	2,42	-1,69	-2,33
Walls (kW)	2,75	2,67	1,47	0,27	-1,39	-1,18	-1,34	-0,88	0,26	1,77	2,46
Ceilings (int) (kW)	2,39	2,25	0,52	-0,86	-2,20	-1,30	-1,04	0,18	1,79	2,99	2,76
Floors (int) (kW)	1,46	1,26	-1,77	-4,19	-5,38	-3,87	-3,59	-1,75	0,66	2,69	2,07
Ground Floors (kW)	-0,10	-0,04	-0,29	-0,29	-0,54	-0,39	-0,65	-0,76	-0,62	-0,34	-0,21
Partitions (int) (kW)	0,94	0,90	-0,53	-0,53	-1,84	-1,04	-1,32	-0,66	0,47	1,37	1,21
Roofs (kW)	-0,01	-0,02	-0,12	-0,10	0,01	0,09	0,08	0,08	0,08	0,06	0,02
Floors (ext) (kW)	-0,01	-0,02	-0,11	-0,04	0,02	0,06	0,07	0,08	0,06	0,03	0,01
External Infiltration (kW)	-1,63	-1,81	-1,81	-0,74	0,35	1,24	1,68	1,44	0,78	-0,10	-0,69
External Vent. (kW)	0,00	0,00	0,00	-5,27	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-2,14	-3,72

Figure 27 - Résultats de la Simulation du système de climatisation sur la journée du 15 Août, DesignBuilder - Source : Auteure

En sommant l'ensemble des gains et des pertes sur la journée, les éléments les plus déperditifs sont les vitres et les murs. Cependant, selon les données de la figure 27, les murs renvoient de la fraîcheur en journée et de la chaleur la nuit, ce qui s'explique par la notion de déphasage thermique. En effet, le béton dispose d'un temps de déphasage important. La chaleur absorbée par le mur en journée va mettre du temps à se propager, permettant au bâtiment de rester frais en journée et de restituer cette chaleur la nuit lorsque la température est plus faible. Ce qui représente un avantage certain. Ainsi les vitres sont le poste de déperditions principal.

Toutefois il existe également un fort apport solaire. Il est donc intéressant de comparer les apports de chaque étage pour remarquer si les fenêtres performantes du second étage ont un réel gain en période estivale.

4.2 Par étage

	Apport Solaire extérieur en kW	Apport Vitrages	Surface vitrée	Apport solaire /m ² vitrée	Apport vitrages/m ²	Apport total/m ²
Résidence	72,06	28,38	83,96	0,85826584	0,3380181	1,19628394
Block 1 - RDC	28,69	12,25	31,8	0,90220126	0,38522013	1,28742138
Block 2 - R+1	19,74	6,88	19,85	0,99445844	0,3465995	1,34105793
Block 3 - R+2	17,56	7,24	27,03	0,64964854	0,26785054	0,91749908
Block 4 - R-1	6,06	2,01	5,28	1,14772727	0,38068182	1,52840909

En étudiant les données d'apport solaire et d'apport des vitres, on remarque que les R-1, RDC et R+1, qui ont des fenêtres similaires, ont des apports très semblables autour de 0.35 kW/m² pour les vitres et 1 kW/m² pour les apports solaires. Cependant les fenêtres du R+2 n'ont pas les mêmes apports, ils sont cette fois ci de 0.27 kW/m² et 0.65 kW/m², ce qui représente une différence non négligeable. Les fenêtres sont dans l'ensemble situées aux mêmes endroits et les données sont étudiés par unité de surface. Les emplacements et la différence de surface ne sont pas des éléments ayant pu influencer les apports de chaleur et ce sont donc les fenêtres qui ont cette influence.

5. Conclusions

Cette simulation met en évidence que les fenêtres sont le premier poste entraînant des déperditions énergétiques en hiver et un fort apport de chaleur en été. De plus, on remarque que les fenêtres du deuxième étage sont les plus efficaces du bâtiment. Ainsi il est important de proposer une solution qui permettrait d'avoir des fenêtres aussi efficaces aux autres étages.

La simulation du système de climatisation, montre que le bâtiment dispose de forts apports solaires en été. Or ces apports sont en réalité moins importants, car la Résidence possède des rideaux et des volets sur l'ensemble des fenêtres qui sont là pour lutter contre ce problème : ce poste n'a pas besoin d'une autre solution dans l'immédiat.

VI. Recommandations pour l'optimisation continue

1. Identification des opportunités d'améliorations supplémentaires

La Résidence a donc pu diminuer sa consommation énergétique et ses émissions de façon importantes. Cependant il serait intéressant de continuer sur cette lancée pour que le bâtiment puisse réduire encore un peu sa consommation énergétique pour être de classe B. De plus, il est important de proposer des solutions permettant de réduire drastiquement la consommation en énergie ou l'utilisation d'énergie plus propre. En effet, à l'heure actuelle ce sont les émissions de GES qui définissent la classe de la Résidence. C'est donc sur ce levier qu'il est important d'agir.

Selon les observations réalisées sur DesignBuilder, plusieurs optimisations sont encore possibles. En effet, l'ensemble des fenêtres n'a pas encore été changé et les fenêtres sont très déperditives au vu de leur ancienneté, ce qui entraîne une mauvaise isolation et donc des consommations plus importantes en chauffage et en climatisation.

Une autre observation est le manque d'aération naturelle dans le bâtiment et en particulier dans la partie privative où les menuiseries ont été changés. Ces menuiseries ne disposent pas de grilles de ventilations comme il est possible de voir sur les fenêtres françaises. Le bâtiment ne dispose donc pas de ventilation ce qui entraîne un inconfort de vie, l'utilisation d'appareils tels que des humidificateurs d'air et une ouverture des fenêtres importantes (pertes de chaleur ou de fraîcheur).

Enfin le bâtiment dépend uniquement du gaz et de l'électricité fourni par le réseau électrique. Or ces énergies et plus particulièrement l'électricité, sont fortement émettrices de GES. Il serait donc intéressant d'inclure des énergies renouvelables au sein de la Résidence pour réduire les émissions de GES. Ce point est non négligeable car ce sont avant tout les émissions de GES qui définissent à l'heure actuelle la classe du bâtiment.

2. Propositions de mesures spécifiques pour optimiser davantage les performances énergétiques

2.1 Remplacement de l'ensemble des menuiseries de la Résidence

Les fenêtres de la partie privative de la Résidence ont été changées en 2023 grâce au budget de 25 000€ alloués aux projets Ambassades Vertes. Un budget a également été prévu en 2024 pour remplacer l'ensemble des fenêtres restantes à partir des retours de TVA (la DIL a récupéré la TVA qu'elle avait payé sur de précédents services et travaux).

Ces travaux ont un coût de 24 572.57 € HT et représente un gain de 8kWh/m².an en gaz (12kWh/m² [total gain] – 4 kWh/m² [gain déjà déduit partie privative]) et de 1.94kWh/m² en électricité.

Remplacement des fenêtres restantes	Economies finales			
	Electricité	Gaz	Total	Economie // données de références
Consommation énergétiques en kWh/an	966	3 984	4 950	
Consommation énergétique en kWh/m ² .an	1.94	8	9.94	5.8%
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/an	557.7	737	1 294.7	
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/m ² .an	1.12	1.48	2.60	6.2%
Investissement en € HT	24 572.57			

Remplacement fenêtres restantes		GAZ		ELEC		TOTAL
Année	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Retour sur investissement [€ HT]
2024	0,06	249	0,15	145	394	24 179
2025	0,07	273	0,17	159	433	23 746
2026	0,08	301	0,18	175	476	23 270
2027	0,08	331	0,20	193	524	22 746
2028/2040	[...]					
2041	0,32	1 257	0,76	732	1 989	6 629
2042	0,35	1 382	0,83	806	2 188	4 441
2043	0,38	1 520	0,92	886	2 407	2 035
2044	0,42	1 672	1,01	975	2 647	-613
Temps de retour actualisé [an]				21		

Ces travaux ont un temps de retour de 21 ans, le remplacement des fenêtres est donc un investissement sur le moyen / long terme. Même si l'investissement est conséquent les économies d'énergies réalisées chaque année sont importantes. De plus, ces travaux permettent également d'améliorer le confort de vie grâce à l'amélioration de l'isolation phonique et thermique du bâtiment.

2.2 Installation de VMC avec récupérateur de chaleur

En 2024, l'ambassade de France de Ljubljana a proposé le projet d'installation de Ventilations Mécaniques Contrôlées (VMC) avec récupération de chaleur dans l'ensemble de la Résidence. Pour éviter de trop gros travaux, les appareils envisagés étaient des appareils individuels à installer dans chaque pièce le nécessitant. Ainsi un total de huit appareils étaient envisagés à la Résidence de deux types différents. Les performances des deux appareils sont connues à partir de leur fiche produit et il est donc possible de calculer le gain énergétique de ces travaux (cf *Annexe 7 : Performances et Impact environnemental du système de VMC – Entreprise E-NETSI*). De plus, l'entreprise ayant réalisé le devis, a également accepté de faire le calcul du gain énergétique et de l'impact environnemental de l'installation de ces appareils (cf *Annexe 7.2 : Note de calcul environnemental*). En revanche, le calcul a été réalisé à partir des valeurs maximales des appareils ce qui a donné un gain plus important que la consommation totale du bâtiment.

Le calcul a donc été refait avec les valeurs du mode « Average », qui représente le mode intermédiaire (cf *Annexe 8 : reprise de la note de calcul des systèmes de VMC*). Ce choix permet d'avoir une estimation médiane des gains énergétiques par rapport aux différents modes.

On obtient alors les tableaux récapitulatifs suivants :

Installation VMC avec récupérateur de chaleur		Economies finales				
		Electricité	Gaz	Total	Economie // données de références	
Consommation énergétiques en kWh/an		-2 572	32 508	29 936	36.1 %	
Consommation énergétique en kWh/m ² .an		-5.17	65.28	60.11		
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/an		-1 491.76	6 013.98	4 522.22	21.9 %	
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/m ² .an		-3	12.08	9.08		
Investissement en € HT		20 635.88				
Installation VMC avec récupérateur de chaleur		GAZ		ELEC		TOTAL
Année	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Retour sur investissement [€ HT]
2024	0,06	2 028	0,15	-386	1 643	18 993
2025	0,07	2 231	0,17	-424	1 807	17 186
2026	0,08	2 454	0,18	-467	1 988	15 199
2027	0,08	2 700	0,20	-513	2 186	13 012
2028	0,09	2 970	0,22	-565	2 405	10 607
2029	0,10	3 267	0,24	-621	2 646	7 962
2030	0,11	3 594	0,27	-683	2 910	5 051
2031	0,12	3 953	0,29	-752	3 201	1 850
2032	0,13	4 348	0,32	-827	3 521	-1 671
Temps de retour actualisé [an]				9		

Bien que l'investissement soit important, on remarque que le temps de retour sur investissement est inférieur à 10 ans ce qui représente un temps de retour court. Les travaux sont donc très efficaces du point de vue énergétique. De plus, comme pour le remplacement des fenêtres, ces travaux permettent d'améliorer le confort de vie des habitant grâce à un meilleur renouvellement de l'air et une meilleure qualité de l'air dans le bâtiment.

2.3 Energies renouvelables pour réduire les émissions

Pour répondre aux besoins de réduction des émissions de GES, l'utilisation d'énergies renouvelables semble être une solution pertinente. Sachant que de nombreux travaux ont eu lieu sur le système de chauffage, il serait intéressant de changer d'angle d'approche et de proposer une solution qui permettrait de réduire les besoins en électricité et non en gaz. De plus, c'est l'électricité qui émet le plus de GES. Dans ce sens, la meilleure solution serait l'installation de panneaux photovoltaïques.

L'entreprise « Energetski Atlas Slovenije » propose une carte interactive reprenant l'ensoleillement des toitures de Slovénie. Cependant cette carte n'est pas disponible en libre-service mais il est possible d'avoir la carte du centre-ville de Ljubljana gratuitement (cf figure 28 ci-dessous). Sur cette carte apparaît une partie de notre bâtiment. Or même si l'ensemble de la toiture n'est pas visible, la partie sud/sud-est semble bien ensoleillée. En effet, une partie de la toiture visible est de couleur rouge (couleur avec le plus fort potentiel) et les toitures des habitations voisines sont également rouge et en particulier dans la zone Sud. Ainsi la Résidence de Ljubljana possède un fort potentiel solaire sur sa partie sud/sud-est et selon la légende, cette partie de la toiture a un potentiel supérieur 1200kWh/m².an.



Figure 28 - Carte de l'ensoleillement des toitures du centre-ville de Ljubljana – Source : Energetski Atlas Slovenije

Il est donc possible de mettre des panneaux solaires sur deux pans du toit de la Résidence. Cependant l'un des deux pans possibles est le pan de la façade principale de la Résidence. Or il est important de garder cette façade intacte pour conserver son esthétisme actuel. En effet, ce bâtiment est un bâtiment diplomatique où a lieu l'ensemble des réceptions. Il est donc préférable de ne mettre des panneaux solaires que sur le pan sud/est de la toiture. Les panneaux ne seront pas visibles et sur une partie avec un fort potentiel.

Ce pan de toiture a une surface de 49.75 m², il est possible d'équiper 15 m² de cette surface (cf Annexe 9 : Surface disponible pour la mise en place de panneaux photovoltaïques). La formule pour connaître la production totale d'énergie de panneaux solaire est la suivante :

$$\text{Production totale d'énergie} = \text{surface des panneaux photovoltaïques} * \text{rendement des panneaux} * \text{Irradiance moyenne annuelle de l'emplacement.}$$

En considérant que l'on équipe 15 m² de la toiture, que les panneaux photovoltaïques ont un rendement d'environ 20 % et que l'irradiance moyenne est de 1 200kWh/m².an (valeur minimale possible selon la légende), on obtient une production totale d'énergie de 15 * 0.2 * 1200 = 3 600 kWh/an. Ce qui représente environ 25 % de la consommation en électricité de la Résidence.

De plus, selon Hello Watt [22], il est possible de compter en moyenne 500€/m² de travaux pour des panneaux photovoltaïques. Finalement ces travaux peuvent être estimées à 15*500= 7 500€. Ce qui donne les tableaux suivants :

Installation de panneaux photovoltaïques	Economies finales			
	Electricité	Gaz	Total	Economie // données de références
Consommation énergétique en kWh/an	3 600	0	3 600	4.35 %
Consommation énergétique en kWh/m ² .an	7.23	0	7.23	
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/an	2 082.24	0	2 082.24	10.08 %
Emissions de GES en kgCO ₂ eq/m ² .an	4.18	0	4.18	
Investissement en € HT	7 500			

Photovoltaïques	ELEC			TOTAL
	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Retour sur investissement [€ HT]
2024	0,15	540	540	6 960
2025	0,17	594	594	6 366
2026	0,18	653	653	5 713
2027	0,20	719	719	4 994
2028	0,22	791	791	4 203
2029	0,24	870	870	3 334
2030	0,27	957	957	2 377
2031	0,29	1052	1 052	1 325
2032	0,32	1158	1 158	167
2033	0,35	1273	1 273	-1 106
Temps de retour actualisé [an]				10

Le temps de retour sur investissement est donc de 10 ans, ce qui est un temps de retour attrayant. De plus ces travaux permettent de réduire de 10 % les émissions de GES et ils ont donc un réel impact positif sur l'environnement.

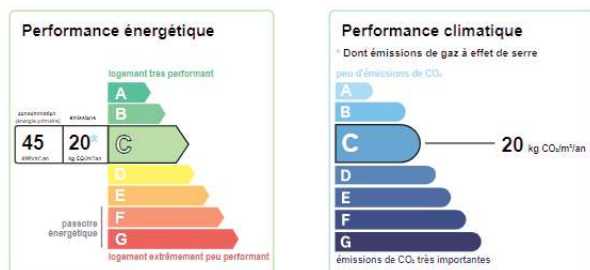
2.4 Gain global

Réaliser ces trois projets représente certes un investissement conséquent, mais cet investissement aurait un temps de retour plus que convenable et permettrait à la Résidence de réaliser des gains énergétiques significatifs. En effet, le temps de retour est de 12 ans, ce qui est un temps de retour très correct et des économies de plus de 4 500€ par an. (cf tableaux ci-dessous)

Projet Fenêtres & VMC & Photovoltaïques	Economies finales			
	Electricité	Gaz	Total	Economie // données de références
Consommation énergétiques en kWh/an	1 994	3 6492	38 486	46.46 %
Consommation énergétique en kWh/m².an	4.00	73.28	77.28	
Emissions de GES en kgCO2eq/an	1 153.33	6 750.98	7 904.31	38.28 %
Emissions de GES en kgCO2eq/m².an	2.31	13.56	15.87	
Investissement en € HT	51 353.28			

Fenêtres & VMC & Photovoltaïques		GAZ		ELEC		TOTAL	
Année	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Prix de l'énergie [€/kWh HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Economies financières réalisées [€ HT]	Retour sur investissement [€ HT]	
2024	0,06	2277	0,15	335	2612	48741	
2025	0,07	2505	0,17	369	2873	45868	
2026	0,08	2755	0,18	405	3161	42707	
2027	0,08	3031	0,20	446	3477	39230	
2028	0,09	3334	0,22	491	3825	35406	
2029	0,10	3667	0,24	540	4207	31199	
2030	0,11	4034	0,27	594	4628	26571	
2031	0,12	4437	0,29	653	5090	21480	
2032	0,13	4881	0,32	718	5599	15881	
2033	0,15	5369	0,35	790	6159	9722	
2034	0,16	5906	0,39	869	6775	2946	
2035	0,18	6497	0,43	956	7453	-4507	
Temps de retour actualisé [an]					12		

De plus, l'ensemble de ces travaux permet de réduire de 77.3 kWh/m².an la consommation en énergie et de 15.9 kgCO2eq/m².an les émissions de GES (cf tableaux ci-dessus). Ces différents gains permettent d'obtenir une consommation finale de 44.8 kWh/m².an et des émissions de 19.9 kgCO2eq/m².an. Ces travaux permettent donc de passer de la classe C à la classe A pour la consommation énergétique ce qui fait de la Résidence un bâtiment très performant. Cependant, bien que ces travaux aient un fort impact sur les émissions, ils ne permettent de passer que de la classe D à C au niveau des émissions. Le bâtiment est donc au final de classe C (cf figure 29).



Ainsi tous ces travaux ont permis de réduire drastiquement la consommation énergétique du bâtiment. En revanche, les émissions n'ont pas été assez réduites pour permettre au bâtiment d'être de classe B ou A.

Figure 29 - Etiquette DPE de la Résidence selon la mise en place des trois pistes d'amélioration – Source : Auteurs

3. Limites et prise de recul

Certains facteurs extérieurs peuvent toutefois avoir influencé cette étude et avoir faussé les résultats. Au MEAE, il n'est pas possible de rester plus de quatre ans à l'étranger dans le même poste. Ainsi l'étude réalisée avec les données de 2018 à 2023, possède des données avec des usagers différents, qui peuvent avoir des habitudes de vie totalement différentes. Certains gains réalisés peuvent donc être le fruit d'une diminution d'utilisation de chauffage ou de climatisation et non des résultats obtenus grâce aux travaux. De plus, les années 2020/2021 ont été prise en compte dans les calculs alors que le covid a entraîné de longues périodes de confinement et donc une présence différente au sein de la Résidence. En effet, l'Ambassadrice de l'époque a pu passer l'ensemble du confinement dans la Résidence comme avoir été rapatriée en France ce qui entraîne des consommations aléatoires qui ont pourtant été prises en compte dans nos données de références.

De plus, les travaux ayant été réalisés en 2023, le recul pour analyser les résultats est inférieur à un an. Ce qui ne permet ni de comprendre aux mieux les différents gains réalisés ni de repérer l'ensemble des gains réels possibles en période estivale.

Conclusion

1. Evaluation de l'impact des travaux

La Résidence de France en Slovénie est donc un bâtiment à l'origine de classe D avec une consommation de 161 kWh/m² (cf figure 30). Ce qui le classait en 18e position dans le classement des bâtiments les moins énergivores et en 13e position dans le classement des émissions de GES.

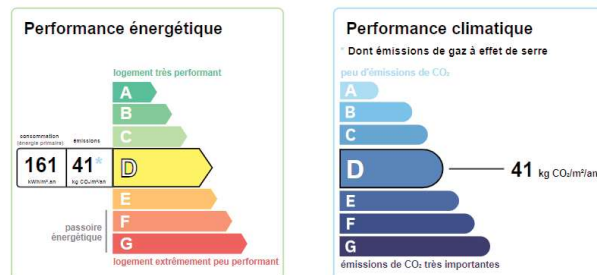


Figure 30 - Etiquette DPE des données de référence (2018/2022) - Source : Auteur

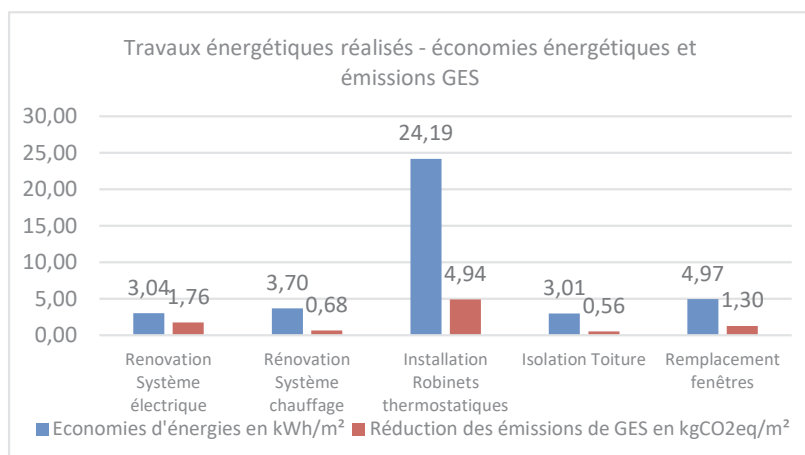


Figure 31 - Graphique des gains énergétiques et climatiques des travaux réalisés en 2023 - Source : Auteur

De nombreux travaux ont été menés en 2023 et il a été possible d'estimer le gain individuel de ces différents travaux ainsi que leur temps de retour sur investissement (cf figure 31).

Ce qui donne au total des économies d'énergies 38.9 kWh/m².an et une réduction des émissions de 9.3 kgCO₂eq/m².an avec un investissement total de 53 096 € HT pour un temps de retour de 17 ans.

Cependant bien que ces travaux permettent de fortes économies, ils n'ont pas permis de changer le bâtiment de classe énergétique (cf figure 32). En effet la consommation est toujours de 122.1 kWh/m².an (classe C comme avant travaux) et les émissions de 32.2 kgCO₂eq/m².an (classe D comme avant travaux).

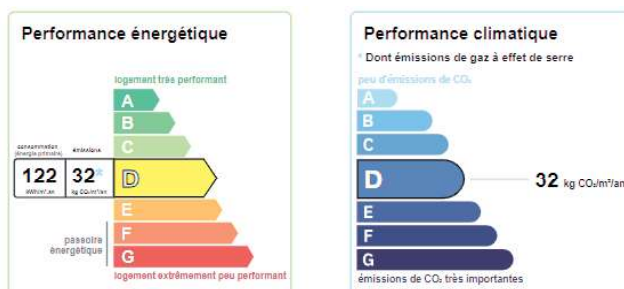


Figure 32 - Etiquette DPE selon gain total des travaux énergétiques réalisés en 2023 – Source Auteur

2. Perspectives et recommandations

Grâce à la réalisation d'études thermiques dynamiques sur le bâtiment de la Résidence et à l'analyse des précédents résultats, plusieurs actions supplémentaires sont envisageables pour réduire davantage la consommation et les émissions du bâtiment.

En effet, trois actions ont été proposées et les gains estimés (cf figure 33) :

- **Remplacer les menuiseries des étages restants ;**
- **Installer une VMC avec récupération de chaleur ;**
- **Intégrer des panneaux solaires au bâtiment.**

Ces actions représentent un investissement total de 51 353 € HT avec un temps de retour de 12 ans.

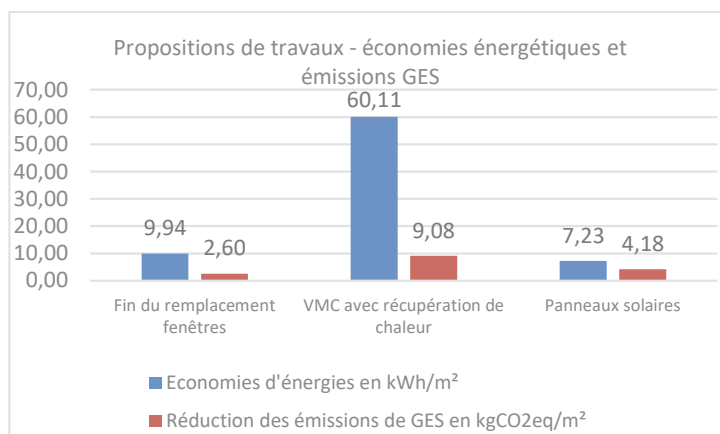


Figure 33 - Graphique des gains énergétiques et climatiques des travaux proposées pour l'amélioration continue - Source : Auteure

Ces travaux réduisent donc au total la consommation de 77.3kWh/m².an et les émissions de 15.9kgCO₂eq/m².an. Ce qui représente des économies impressionnantes et permettent une consommation finale de 44.8 kWh/m².an, soit une performance de classe A. Cependant les émissions de GES, bien que réduites à 19.9 kgCO₂eq/m².an, ne sont que de classe C (cf figure 34).

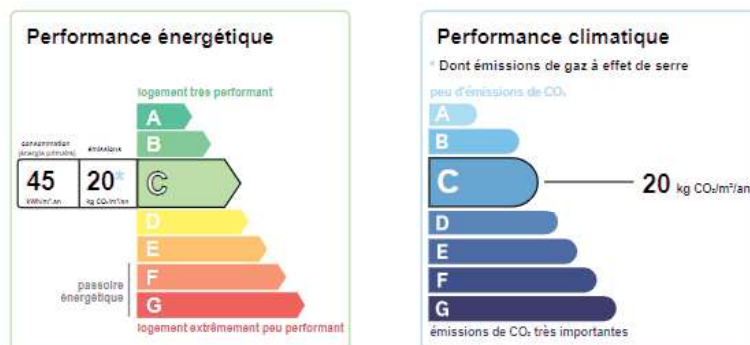


Figure 34 - Etiquette DPE de la Résidence selon la mise en place des trois pistes d'amélioration – Source : Auteure

La classe finale du bâtiment serait donc la classe C. Ce qui donne une impression de bâtiment moyennement performant malgré ces résultats énergétiques. En comparant ces données aux données de la « Synthèse Bilans Energétiques et Bilans Carbones Stages 2023 », étude réalisée par la DIL en 2023, la Résidence de Ljubljana se classe cette fois-ci en 3^e position au niveau de la consommation énergétique et en 5^e position au niveau des émissions de GES (cf figure 35). De plus, seuls deux bâtiments sont mieux classés que notre Résidence au total sur les deux données (les résidences de Chicago et de Mexico). Ainsi avec les travaux déjà réalisés et les travaux proposés, la Résidence de Ljubljana serait la troisième résidence française la plus performante à l'international.

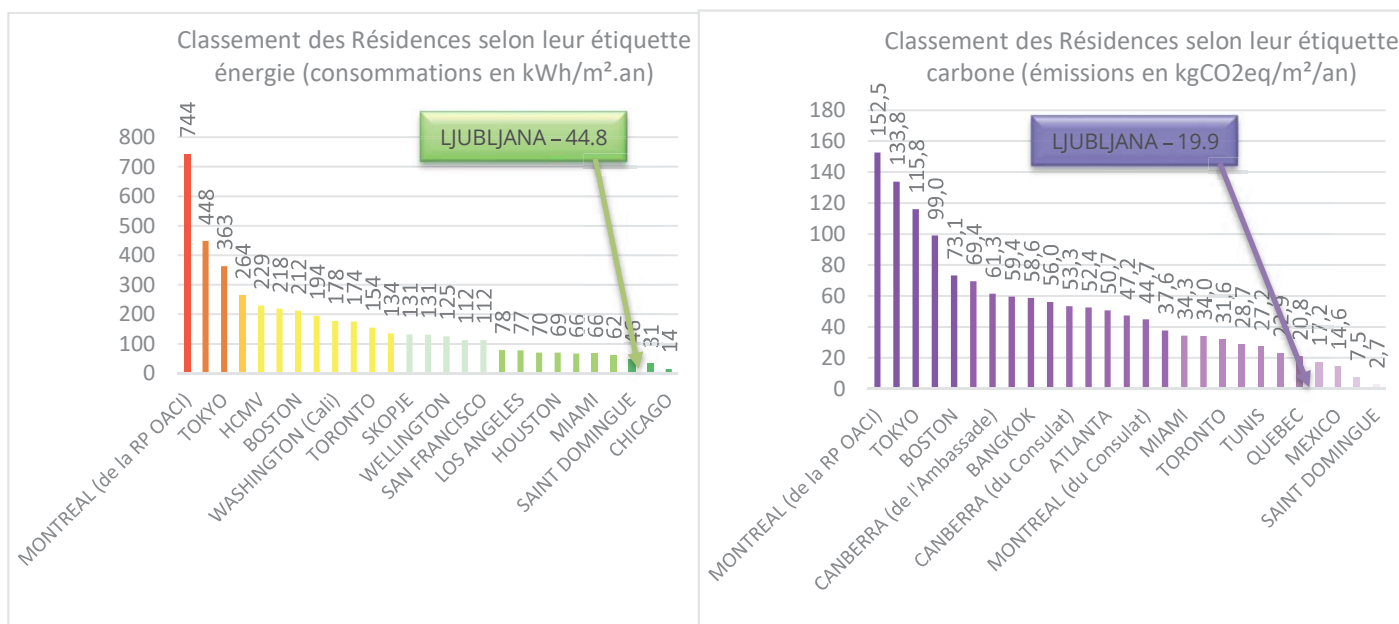


Figure 35 - Graphiques du classement des Résidences selon leur étiquette énergie et carbone – Source : Synthèse Bilans Energétiques et Bilans Carbones Stage 2023, MEAE

3. Outils utilisés

Finalement il a été possible d'évaluer l'impact des différents travaux de rénovation du bâtiment grâce au suivi des factures énergétiques du bâtiment. L'analyse des consommations du bâtiment a permis une première évaluation des gains possibles des travaux, qui par la suite a pu être affinée grâce à l'étude d'audits énergétiques.

Enfin l'étude du bâtiment sur DesignBuilder a donné des informations précieuses sur les possibilités futures et sur les déperditions. En effet, grâce aux informations récoltées sur ce logiciel et aux observations faites à partir des factures, il a été possible de pousser cette étude plus loin avec une liste de recommandation pour de futurs travaux.

Bibliographie

- [1] Agence de la transition écologique. (s. d.). *Bâtiments*. Consulté le 04/06/2024, à l'adresse : <https://www.ademe.fr/les-defis-de-la-transition/batiments/>
- [2] Commission européenne. (17/02/2020). *L'efficacité énergétique des bâtiments*. Consulté le 04/06/2024, à l'adresse : [in focus energy efficiency in buildings fr.pdf \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/energy_efficiency_in_buildings_fr.pdf)
- [3] Commission européenne. (s. d.). *Adoption d'une directive sur la performance énergétique des bâtiments pour réduire les factures énergétiques et réduire les émissions*. Consulté le 02/07/2024, à l'adresse : https://france.representation.ec.europa.eu/informations/adoption-dune-directive-sur-laperformance-energetique-des-batiments-pour-reduire-les-factures-2024-04-12_fr
- [4] Direction générale de la communication. (13/04/2023). *Qu'est-ce que la neutralité carbone et comment l'atteindre d'ici 2050 ?*. Parlement Européen. Consulté le 02/07/2024, à l'adresse : https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2019/10/story/20190926STO62270/20190926STO62270_fr.pdf
- [5] Programme des Nations Unies pour l'environnement et Alliance mondiale pour les bâtiments et la construction (2024). *Rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction - Au-delà des fondations : Intégration de solutions durables pour réduire les émissions du secteur du bâtiment*. Consulté le 05/07/2024, à l'adresse : <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/45095>.
- [6] *Le parc de logements par classe de performance énergétique au 1er janvier 2022*. (s. d.). *Données et études statistiques pour le changement climatique, l'énergie, l'environnement, le logement, et les transports*. Consulté le 02/07/2024, à l'adresse : <https://www.statistiques.developpementdurable.gouv.fr/le-parc-de-logements-par-classe-de-performance-energetique-au-1er-janvier-2022-0>
- [7] *Rénovation énergétique des bâtiments de l'Etat : point d'étape sur les différentes avancées*. (06/09/2022). Ministère de l'économie des finances et de la souveraineté industrielle et numérique. Consulté le 02/07/2024, à l'adresse : <https://www.economie.gouv.fr/renovation-energetique-batiments-etat-point-etape>
- [8] MEAE (s.d.). *Le projet « Ambassade verte »*. France Diplomatie – ministère de l'Europe et des Affaires étrangères. Consulté le 02/07/2024, à l'adresse : <https://www.diplomatie.gouv.fr/fr/le-ministere-et-son-reseau/missions-organisation/services-publics-ecoresponsables/article/le-projet-ambassade-verte>

- [9] EUR-Lex. (s. d.). *La performance énergétique des bâtiments*. Consulté le 02/07/2024, à l'adresse : <https://eur-lex.europa.eu/FR/legal-content/summary/energy-performance-of-buildings.html>
- [10] CABASSUD, N. & Cerema Méditerranée (s.d.). *Guide RE2020 – Eco-construire pour le confort de tous*. Ministère de la Transition Ecologique. Consulté le 07/07/2024, à l'adresse : https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/guide_re2020_dhup-cerema.pdf
- [11] Ministère de la Transition Ecologique et de la cohésion des territoires (05/08/2020). *Exigences réglementaires thermiques pour les bâtiments existants*. Consulté le 06/06/2024, à l'adresse : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/exigences-reglementaires-thermiques-batiments-existants>
- [12] Ministère de la Transition Ecologique et de la cohésion des territoires (05/08/2020). *Plan de rénovation énergétique des bâtiments*. Consulté le 06/06/2024, à l'adresse : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/plan-renovation-energetique-batiments>
- [13] Portal Energetika (s.d.). *Réglementation relative à l'utilisation efficace de l'énergie dans les bâtiments*. Consulté 02/07/2024, à l'adresse : <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=PRAV14331>
- [14] Portail Energetika (s.d.). *Mise à jour du PNEC*. Consulté 14/06/2024, à l'adresse : <https://www.energetika-portal.si/dokumenti/strateski-razvojni-dokumenti/nacionalni-energetski-in-podnebni-nacrt-2024/posodobitev-nepn/#c1523>
- [15] Eko Sklad (s.d.). *English*. Consulté le 02/07/2024, à l'adresse : <https://www.ekosklad.si/english>
- [16] ONRE (Mars 2022). *La rénovation énergétique des logements – Bilan des travaux et des aides entre 2016 et 2019*. Ministère de la Transition Ecologique. Consulté le 07/07/2024, à l'adresse : https://www.connaissancedesenergies.org/sites/connaissancedesenergies.org/files/pdf-actualites/rapport_onre_mars2022.pdf
- [17] Cerema (Novembre 2021). *La réforme du DPE (Logements)*. Ministère de la Transition Ecologique. Consulté le 06/06/2024, à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/210701_Nouveau_DPE_diagnostiqueurs_V1.pdf
- [18] Gobbini, M. (12/03/2024). *Calcul DPE : méthode 2024, simulateur et informations*. Climatte Consulting by Selectra. Consulté le 15/06/2024, à l'adresse : <https://climate.selectra.com/fr/renovation-energetique/dpe/calcul>

- [19] Portail Energetika (s.d.). *Certificat de performance énergétique des bâtiments*. Consulté 14/06/2024, à l'adresse : <https://www.energetika-portal.si/podrocja/energetika/energetske-izkaznice-stavb/>
- [20] Baudry, M., Merly-Alpha, T. & Riedinger, N. (Septembre 2020). *Le parc de Logements – Par classe de consommation énergétique au 1^{er} janvier 2018*. ONRE. Consulté le 04/06/2024, à l'adresse : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/media/3905/download?inline>
- [21] Adeline, M. (22/08/2018). *Refaire l'électricité : quel est l'impact énergétique*. Total Energie. Consulté le 15/07/2024, à l'adresse : <https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/economie-d-energie/refaire-l-electricite-quel-est-l-impact-energetique>
- [22] Sébastien, J. (27/12/2023). *Le prix du panneau solaire au m²*. Hello Watt. Consulté le 07/07/2024, à l'adresse : <https://www.hellowatt.fr/panneaux-solaires-photovoltaiques/prix-panneau-solaire-m2>

Annexes

Liste des Annexes

- **Annexe 1** : Excel de suivi de la consommation énergétique de la Résidence
 - Annexe 1.a : Feuille 1 - CONSIGNES
 - Annexe 1.b : Feuille 2 - INFOS BÂTIMENT
 - Annexe 1.c : Feuille 3 - GAZ
 - Annexe 1.d : Feuille 4 – ELECTRICITE
 - Annexe 1.e : Feuille 5 - CONSO CORRIGEE CLIMAT
 - Annexe 1.f : Feuille 6 – RECAP
 - Annexe 1.g : Feuille 7 - GRAPHIQUES
- **Annexe 2** : Audit énergétique de la Résidence de Ljubljana - 2018
- **Annexe 3** : Tableau des surfaces de l’Ambassade et de La Résidence du campus d’Amman – Audit énergétique – Optimisation énergétique du campus diplomatique d’Amman, Béhi
- **Annexe 4** : Gain hypothétique du remplacement du système de chauffage– Audit énergétique – Optimisation énergétique du campus diplomatique d’Amman, Béhi.
 - Annexe 4.a : Fiche de l’Action n°16
 - Annexe 4.b : Précisions et calculs des gains
- **Annexe 5** : Gain hypothétique de l’installation de robinets thermostatiques – Audit énergétique – Optimisation énergétique du campus diplomatique d’Amman, Béhi.
 - Annexe 5.a : Fiche de l’Action n°24
 - Annexe 5.b : Précisions et calculs des gains
- **Annexe 6** : Gain hypothétique du remplacement des fenêtres – Audit énergétique – Optimisation énergétique du campus diplomatique d’Amman, Béhi.
 - Annexe 6.a : Fiche de l’Action n°9
 - Annexe 6.b : Précisions et calculs des gains
- **Annexe 7** : Performances et Impact environnemental du système de VMC – Entreprise E-NETSI
 - Annexe 7.1 : Déclaration de performances - ComfoSpot 50 & ComfoAir 70
 - Annexe 7.2 : Note de calcul environnemental
- **Annexe 8** : Reprise de la note de calcul des systèmes de VMC
- **Annexe 9** : Surface disponible pour la mise en place de panneaux photovoltaïques

Annexe 1 : Excel de suivi de la consommation énergétique de la Résidence

Annexe 1.a : Feuille 1 - CONSIGNES

EXPLICATIONS ET FONCTIONNEMENT DU FICHER EXCEL - METTRE EN PLACE UN SUIVI ENERGETIQUE PAR RAPPORT A DES DONNEES DE REFERENCE

Cet outils permet de regrouper l'ensemble des données énergétique de la RESIDENCE. Il a été mis en place pour comprendre l'évolution de la consommation et analyser l'impact des travaux énergétiques réalisés à partir de 2023.

C'est pourquoi ce document regroupe l'ensemble des conso en gaz et en électricité depuis 2018. de plus, il existe une donnée de calcul faisant la moyenne des données de 2018 à 2022 (Sans/années avant travaux énergétiques) pour avoir une estimation de l'étiquette énergétique du bâtiment = "DPE SUR FACTURES"

ETAPE	ONGLET	Objectifs de la feuille	Mise à jour de la page	A SAISIR / A LIRE / A REGARDER	COMMENTAIRES
		Consigne pour l'encodage			
		Case à remplir			
		Case contenant des formules, ne pas modifier !			
1	INFOS BATIMENT	Cette feuille sert à regrouper l'ensemble des informations connues sur le bâtiment. On y retrouve donc les caractéristiques principales du bâtiment ainsi que les travaux réalisés.	NECESSAIRE	Saisir les nouveaux travaux réalisés à la suite du tableau A lire et à compléter si d'autres informations sont connues	
2	GAZ	Cette feuille regroupe l'ensemble des consommations en gaz du bâtiment depuis 2018. D'autres informations relatives aux factures et à la consommation sont présentes sur cette page	NECESSAIRE	Saisir les données des nouvelles factures depuis la dernière mise à jour. Attention à respecter le code couleur pour ne compléter que les cases nécessaires.	Pour simplifier la lecture du tableau il est possible de filtrer les données. Cependant il est nécessaire de laisser l'affichage complet pour visualiser les graphiques
3	ELECTRICITE	Cette feuille regroupe l'ensemble des consommations en électricité du bâtiment depuis 2018. D'autres informations relatives aux factures et à la consommation sont présentes sur cette page	NECESSAIRE	Saisir les données des nouvelles factures depuis la dernière mise à jour. Attention à respecter le code couleur pour ne compléter que les cases nécessaires.	Pour simplifier la lecture du tableau il est possible de filtrer les données. Cependant il est nécessaire de laisser l'affichage complet pour visualiser les graphiques
4	RECAP	Cette feuille permet de regrouper les informations annuelles de consommation pour le GAZ et l'ELEC et étiquette énergie. Cette feuille se met automatiquement à jour.	AUCUNE	A Lire pour voir l'évolution des données	
5	CONSO CORRIGEE CLIMAT	Cette feuille regroupe les informations sur le climat des différentes années ainsi que les données de consommation corrigée.	NECESSAIRE	Saisir les nouvelles données climatiques (cf informations de la feuille)	Cette feuille est très importante. Elle permet de comparer les différentes années sur un pied d'égalité. Des explications plus précises sont données sur cette feuille
6	GRAPHIQUES	Cette feuille regroupe l'ensemble des graphiques résumant l'ensemble des données saisies et calculées.	FACULTATIVE	Les graphiques se mettent à jour automatiquement, cependant il est possible de compléter cette feuille en proposant de nouveaux graphiques ou en réalisant des analyses	Il est nécessaire de laisser l'affichage complet de l'ensemble des autres feuilles pour visualiser les graphiques. Les graphiques

Annexe 1.b : Feuille 2 - INFOS BÂTIMENT

FICHES IDENTITE DU BATIMENT							
RESIDENCE :				Facteurs conversion Bilan carbone			
Localisation	Au lieu-dit « Prule » (Prule 9A) à proximité immédiate de la vieille ville, au bord de la rivière.			elec	0,57839948	https://ecometrica.com/assets/Electricity-specific-emission-factors-for-grid-electricity.pdf	
Propriété	Acquise en novembre 1993. Rachat à un particulier (Dr Mirko DUNC) pour 755 250 DEM.			gaz	0,185	https://www.carbonindependent.org/15.html	
Caractéristiques	Bâtiment comprenant 4 niveaux aménagés pour une surface utile brute de 498m².						
SUB	498						
TRAVAUX REALISES							
ANNEE	Devis	Réception	Catégorie de travaux	Type de travaux	Coût	Descriptif rapide	Impact consommation
2021	16/02/2021	2021	Normes/sécurité	Désamiantage	5300	Travaux de retrait de deux conduits identifiés amiantés dans les combles	non
2022	27/09/2022	2022	Normes/sécurité	Sécurisation des balcons	8000		non
2023	05/12/2022	10/03/2023	Energie	Rénovation électrique	19533	Les travaux ont été réalisés pour faire suite à l'audit électrique réalisé en Mars 2022 mais des aléas sont encore constatés	oui, réduction des déperditions et des risques de surtensions
2023	26/02/2023 & 03/03/2023	16/05/2023 & 16/05/2023	Energie	Rénovation du système de chauffage & robinets thermostatiques	11458	Pose de siphons magnétiques de récupération de la ferraille des anciens équipements du réseau avant la pose de nouveaux, remplacement du réseau de tuyauterie, de la pompe à chaleur, pose de robinets thermostatiques permettant un meilleur contrôle des consommations d'énergie du bâtiment.	oui, Selon une étude en installant des robinets thermostatiques, l'économie d'énergie peut atteindre 28%.
2023	02/11/2022	06/06/2023	Isolation	Rénovation et isolation thermique de la toiture	69085	Reprise du revêtement, de l'étanchéité de la toiture et l'isolation des combles. L'isolation endommagée a été remplacée par une isolation cellulosique soufflée à la machine (épaisseur de 30cm et d'un lambda de 0,038 W/mK)	oui, Selon audit de 2018, -3kWh/m²
2023	25/04/2023	29/09/2023	Isolation	Remplacement des fenêtres de la partie privative	22860	Menuiseries remplacées dans le cadre du projet ambassade verte (projet pluriannuel)	oui, selon l'audit de 2018, -12kWh/m² en remplaçant l'ensemble des fenêtres
2023	13/01/2023 & 01/06/2023	16/03/2023 & 19/10/2023	Aménagement	Réaménagement de la partie privative	22218	Isolation entre la gaine centrale d'escalier, ouverte, et les portes privatives du dernier étage afin d'obtenir une isolation phonique et limiter les courants d'air. Création d'une cuisine privative à la place d'une des trois salles de bain privatives.	impact indirect

ANALYSE ET IMPACT DES TRAVAUX ENERGETIQUES – RESIDENCE DE FRANCE DE LJUBLJANA – ANNEXES

Annexe 1.c : Feuille 3 - GAZ

CONSOMMATION EN GAZ - kWh - DONNEES OBTENUES A PARTIR DES FACTURES								CONSOMMATION CORRIGEE - kWh CALCUL AUTOMATIQUE		BILAN CARBONE EN GAZ - kgCO2EQ - CALCUL AUTOMATIQUE			
ANNEE	Mois	Nb jours	TOTAL kWh	MOY kWh/j	€/kWh HTVA	Facture TTC	Evolution de la consommation par rapport à l'année précédente (%)	Consommation corrigée	Consommation corrigée en kWh/m²	kgCO2eq réelle	kgCO2eq/m² réelle	kgCO2eq corrigée	kgCO2eq/m² corrigée
2018	janv-18	31	7993	257,8	0,02576	372,88		11170,2	22,4	1478,71	2,97	2066,49	4,15
	févr-18	28	10153	362,6	0,02576	458,91		7213,2	14,5	1878,31	3,77	1334,45	2,68
	mars-18	31	9301	300,0	0,02576	424,98		6116,5	12,3	1720,69	3,46	1311,55	2,27
	avr-18	30	2582	86,1	0,02576	157,36		2582,0	5,2	477,67	0,96	477,67	0,96
	mai-18	31	1966	63,4	0,02576	132,82		1966,0	3,9	363,71	0,73	363,71	0,73
	juin-18	30	1302	43,4	0,02576	106,38		1302,0	2,6	240,87	0,48	240,87	0,48
	juil-18	31	2476	79,9	0,02576	153,14		2476,0	5,0	458,06	0,92	458,06	0,92
	août-18	31	83	2,7	0,02576	54,52		83,0	0,2	15,36	0,03	15,36	0,03
	sept-18	30	1330	44,3	0,02576	112,38		1330,0	2,7	246,05	0,49	246,05	0,49
	oct-18	31	2776	89,5	0,02695	168,38		3005,0	6,0	513,56	1,03	555,92	1,12
	nov-18	30	6688	222,9	0,02695	328,86		6574,9	13,2	1237,28	2,48	1216,36	2,44
	déc-18	31	11806	380,8	0,02695	538		10430,1	20,9	2184,11	4,39	1929,57	3,87
TOTAL			58456	1933,566283	0,0260575	3008,61		54248,92459	108,9	10814,36	21,72	10036,05	20,15
2019	janv-19	31	11061	356,8	0,02695	508,24	38,38	11061,0	22,2	2046,29	4,11	2046,29	4,11
	févr-19	28	7767	277,4	0,02695	373,12	-23,50	7767,0	15,6	1436,90	2,89	1436,90	2,89
	mars-19	31	4873	157,2	0,02695	258,5	-47,61	4873,0	9,8	901,51	1,81	901,51	1,81
	avr-19	30	7973	265,8	0,02695	381,56	208,79	7973,0	16,0	1475,01	2,96	1475,01	2,96
	mai-19	31	4684	151,1	0,02695	246,65	138,25	4684,0	9,4	866,54	1,74	866,54	1,74
	juin-19	30	1345	44,8	0,02695	109,7	3,30	1345,0	2,7	248,83	0,50	248,83	0,50
	juil-19	31	1998	64,5	0,02695	111,86	-43,54	1998,0	2,8	258,63	0,52	258,63	0,52
	août-19	31	3401	109,7	0,02695	194,03	3997,59	3401,0	6,8	629,19	1,26	629,19	1,26
	sept-19	30	2399	80,0	0,02695	152,93	80,38	2399,0	4,8	443,82	0,89	443,82	0,89
	oct-19	31	3899	125,8	0,02695	214,46	40,45	3899,0	7,8	721,32	1,45	721,32	1,45
	nov-19	30	8108	270,3	0,02695	387,12	21,23	8108,0	16,3	1499,98	3,01	1499,98	3,01
	déc-19	31	11680	376,8	0,02695	533,63	-1,07	11680,0	23,5	2160,80	4,34	2160,80	4,34
TOTAL			68588	2260,677803	0,02695	3471,8	16,92	68588	137,7	12688,78	25,48	12688,78	25,48
2020	janv-20	31	12681	409,1	0,02695	574,69	14,65	14263,1	28,6	2345,99	4,71	2638,67	5,30
	févr-20	29	8697	299,9	0,02695	411,27	8,11	10617,9	21,3	1608,95	3,23	1964,32	3,94
	mars-20	31	8161	263,3	0,02426	448,15	67,47	9251,7	18,6	1509,79	3,03	1711,56	3,44
	avr-20	30	3094	103,1	0,02426	211,21	-61,19	3411,9	6,9	572,39	1,15	631,20	1,27
	mai-20	31	3259	105,1	0,02426	218,92	-30,42	3259,0	6,5	602,92	1,21	602,92	1,21
	juin-20	30	2236	74,5	0,02426	171,07	66,25	2236,0	4,5	413,66	0,83	413,66	0,83
	juil-20	31	2810	90,6	0,02426	197,92	101,00	2810,0	5,6	519,85	1,04	519,85	1,04
	août-20	31	2205	71,1	0,02426	169,62	-35,17	2205,0	4,4	407,93	0,82	407,93	0,82

Annexe 1.d : Feuille 4 - ELECTRICITE

CONSOMMATION EN ELECTRICITE - kWh - DONNEES OBTENUES A PARTIR DES FACTURES										CONSOMMATION CORRIGEE - kWh - CALCUL AUTOMATIQUE		BILAN CARBONE EN GAZ - kgCO2EQ - CALCUL AUTOMATIQUE					
ANNEE	Mois	Nb jours	Nb kWh VT (heures pleines)	Nb kWh MT (heures creuses)	Nb TOTAL	MOY kWh/j	€/kWh HTVA VT	€/kWh HTVA MT	FACTURES TTC	Evolution de la consommation par rapport à l'année précédente (%)	Consommation corrigée	Consommation corrigée en kWh/m²	kgCO2eq réelle	kgCO2eq/m² réelle	kgCO2eq corrigée	kgCO2eq/m² corrigée	
2019	mars-19	31	704	443	1149	37,06	0,07395	0,04995	160,05	-12,29	1149	2,307228916	664,580997	1,33449999	664,580997	1,33449999	
	avr-19	30	687	460	1147	38,23	0,07395	0,04995	159,32	-9,54	1147	2,303212851	663,424198	1,33217771	663,424198	1,33217771	
	mai-19	31	886	466	1352	43,61	0,07395	0,04995	182,83	108,96	1352	2,714899438	781,99609	1,57027327	781,99609	1,57027327	
	juin-19	30	596	352	948	31,6	0,07395	0,04995	178,48	37,82	948	2,714899438	781,99609	1,57027327	781,99609	1,57027327	
	juil-19	31	799	496	1295	41,77	0,07395	0,04995	175,25	316,40	1295	2,600401606	749,02732	1,50407092	749,02732	1,50407092	
	août-19	31	542	436	978	31,55	0,07395	0,04995	140,58	-47,92	978	1,963855422	565,674687	1,13589294	565,674687	1,13589294	
	sept-19	30	784	394	1178	39,27	0,07395	0,04995	165,1	3,24	1178	2,365461847	681,354582	1,36818189	681,354582	1,36818189	
	oct-19	31	683	363	1046	33,74	0,07395	0,04995	150,88	-19,35	1046	2,100401606	605,005851	1,21487119	605,005851	1,21487119	
	nov-19	30	805	467	1272	42,40	0,07395	0,04995	173,54	-4,72	1272	2,554216867	735,724132	1,47735777	735,724132	1,47735777	
	déc-19	31	853	520	1373	44,29	0,07999	0,05657	192,04	25,85	1373	2,757028112	794,142479	1,59466361	794,142479	1,59466361	
	TOTAL			8813	5384	14197	46,7	0,06248	0,04197	1975	4,94	14197	28,50803213	8211,53735	16,4890308	8211,53735	16,4890308
	2020	janv-20	31	762	439	1201	38,74	0,07999	0,05657	171,420	8,88	1201	2,411646586	694,657769	1,39489512	694,657769	1,39489512
févr-20		29	613	485	1098	37,86	0,07999	0,05657	157,570	15,34	1098	2,204819277	635,082624	1,27526631	635,082624	1,27526631	
mars-20		31	715	470	1185	38,23	0,07999	0,05657	126,740	3,13	1185	2,379518072	685,403378	1,376312004	685,403378	1,376312004	
avr-20		30	573	428	1001	33,37	0,07999	0,05657	106,170	-12,73	1001	2,101040161	578,977874	1,16206617	578,977874	1,16206617	
mai-20		31	574	365	939	30,29	0,07999	0,05657	100,780	30,55	939	1,885542169	519,117107	1,09059664	519,117107	1,09059664	
juin-20		30	702	381	1083	36,10	0,07999	0,05657	159,150	-19,90	1083	4,008162163	626,406631	1,25784464	626,406631	1,25784464	
juil-20		31	802	496	1298	41,87	0,07999	0,05657	181,200	0,23	1298	3,143585674	750,762519	1,50755256	750,762519	1,50755256	
août-20		31	613	577	1190	38,39	0,07999	0,05657	165,620	21,68	1190	2,506309654	688,295375	1,3811923	688,295375	1,3811923	
sept-20		30	826	369	1195	39,83	0,07999	0,05657	172,980	1,44	1195	2,398998394	691,187373	1,38792645	691,187373	1,38792645	
oct-20		31	759	445	1204	38,84	0,07999	0,05657	171,590	15,11	1204	2,417670683	696,392968	1,398379454	696,392968	1,398379454	
nov-20		30	847	474	1321	44,03	0,07999	0,05657	184,680	3,85	1321	2,652103442	764,065706	1,53426849	764,065706	1,53426849	
déc-20		31	767	517	1284	41,42	0,07999	0,05657	178,840	-6,48	1284	2,578313253	742,664926	1,49129503	742,664926	1,49129503	
TOTAL			8553	5446	13999	45,9	0,06228	0,04197	1877	-1,30	13999	30,59781383	8097,01425	16,2590486	8097,01425	16,2590486	
2021	janv-21	31	758	561	1319	42,55	0,07999	0,05657	179,240	9,83	1319	2,648594378	762,908908	1,5319456	762,908908	1,5319456	
	févr-21	28	668	468	1136	40,57	0,07999	0,05657	160,580	3,46	1136	2,281124498	657,061804	1,31940112	657,061804	1,31940112	
	mars-21	31	937	448	1385	44,68	0,07999	0,05657	190,670	16,88	1385	2,781124498	801,083273	1,60860095	801,083273	1,60860095	
	avr-21	30	764	500	1264	42,13	0,07999	0,05657	174,680	26,27	1264	2,33815261	731,096936	1,46806614	731,096936	1,46806614	
	mai-21	31	674	435	1109	35,77	0,07999	0,05657	158,440	18,10	1109	2,226907631	641,445018	1,2880422	641,445018	1,2880422	
	juin-21	30	869	641	1510	50,33	0,07999	0,05657	199,250	39,43	1510	2,910214138	873,383207	1,75378154	873,383207	1,75378154	
	juil-21	31	1020	581	1601	51,65	0,07999	0,05657	211,950	23,43	1601	3,116053285	926,017559	1,85947301	926,017559	1,85947301	
	août-21	31	671	562	1233	39,77	0,07999	0,05657	170,210	3,61	1233	3,170153892	713,166533	1,43206135	713,166533	1,43206135	
	sept-21	30	853	403	1256	41,87	0,07999	0,05657	178,030	5,10	1256	2,522088353	726,469741	1,45877458	726,469741	1,45877458	
	oct-21	31	894	498	1392	44,90	0,07999	0,05657	191,060	15,61	1392	2,795180723	805,132069	1,61673106	805,132069	1,61673106	

Annexe 1.e : Feuille 5 - CONSO CORRIGEE CLIMAT

RIGUEUR CLIMATIQUE ET CONSOMMATIONS ENERGETIQUES

Le degré jour unité (DJU) est la différence entre la température extérieure et une température de référence qui permet de réaliser des estimations de consommations d'énergie pour maintenir un bâtiment confortable en proportion de la rigueur de l'hiver (DJU chauffagiste) ou de l'été (DJU climaticien).

Cette valeur permet de mettre en corrélation CONSOMMATION et RIGUEUR CLIMATIQUE. Ce n'est pas parce que l'on consomme plus sur une année que l'on consomme moins bien. Cela dépend de la rigueur climatique de l'année considérée, si il a fait plus froid, on consomme plus, idem si il a fait très chaud on utilise plus de clim.

Le calcul de la consommation corrigée permet de comparer une évolution des consommations en prenant en compte la rigueur climatique d'une zone géographique. Ainsi les consommations sont comparées en ayant les mêmes conditions = même besoins en chauffage, électricité, ...

A savoir : Ce calcul n'est pas fiable à 100% mais donne une tendance réelle sur l'évolution des consommations par rapport à la rigueur climatique.

- DANS LE LIEN INTERNET CI-DESSOUS, IL EST NECESSAIRE DE SELECTIONNER L'AJUBLJANA BEZIGRAD ET UNE ANNEE
 - UTILISER LES DONNEES "DJU CHAUFFAGISTE" (8e ligne) et "DJU CLIMATICIEN" (9e ligne)
 - SAISIR LES VALEURS MENSUELLES DE CHAQUE MOIS DANS LES TABLEAUX CI-DESSOUS
- <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2014/nantes-atlantique/valeurs/07222.html>

Pour les calculs nous avons choisis 2019 comme année de référence pour plusieurs raisons
 - nous voulons une année sans gros travaux énergétiques (2022/2023)
 - une année sans COVID (2020/2021)
 - sans abréviations au niveaux des consommations (Présence de mois avec des consommations anormalement faibles pour l'électricité et le gaz en 2018, particulièrement pendant les mois de juillet et aout).
 Ainsi l'année 2019 est la seule année pouvant servir d'année de référence au niveau des consommations énergétiques

Le calcul du DJU chauffagiste : (18°C (temp de ref) - temp moyenne extérieure) nombre de jour de la période étudié.
 Ainsi en considérant que l'on commence à chauffer selon une certaine température extérieure choisie il est possible de connaître le DJU seuil à partir duquel la rigueur climatique compte. (Si nous sommes en dessous du seuil : nous ne chauffons pas donc le climat n'a pas d'importance sur notre consommation)

Ainsi pour corriger la consommation énergétique, nous gardons ici les valeurs normales si nous sommes en dessous du seuil obtenu (ci-dessous) et nous corrigeons si nous sommes au dessus du seuil

Température de référence intérieure	18		
Température extérieure nécessitant la mise en place de chauffage	14	DJU seuil	120

Le calcul du DJU climaticien : (temp moyenne extérieure - 24°C (temp de ref) - J' nombre de jour de la période étudié.
 Ainsi en considérant que l'on commence à climatiser selon une certaine température extérieure choisie il est possible de connaître le DJU seuil à partir duquel la rigueur climatique compte. (Si nous sommes en dessous du seuil : nous ne chauffons pas donc le climat n'a pas d'importance sur notre consommation)

Ainsi pour corriger la consommation énergétique, nous gardons ici les valeurs normales si nous sommes en dessous du seuil obtenu (ci-dessous) et nous corrigeons si nous sommes au dessus du seuil

Température de référence intérieure	24		
Température extérieure nécessitant la mise en place de clim	26,5	DJU seuil	75

RIGUEUR CLIMATIQUE - DJU chauffagiste - °C											
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
Janvier	375,1	525,6	487,2	488,2	510,3	401,6	438,7				
Février	435,5	352,1	288,4	324,8	322,1	374,4	283,4				
Mars	408,9	268,3	237,2	338,7	341,5	238,3	228,3				
Avril	108,5	193,2	115,2	253,4	205,3	135,1	133,5				
Mai	46,7	158,2	105,3	105	55,2	31,3	71,9				
Juin	16,7	6,2	16,3	3,5	35,2						
Juillet	7,5	6	16,5	4,4	5,6	6,1					
Août	13,4	5,6	4,5	20,8	3,6	14,6					
Septembre	55,9	57,8	42,1	58,7	84,4	30,3					
Octobre	127,3	131,8	153,4	228,3	31,1	55,8					
Novembre	272	297,4	352,3	348,5	277,8	237,8					
Décembre	478,8	483	466,2	511,5	423,2	384,1					
TOTAL	2403,4	2404,1	2347,4	2704,7	2323,2	2140,7	1211,8	0	0	0	0
					1682,4						

RIGUEUR CLIMATIQUE - DJU climaticien - °C											
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
Janvier	0	0	0	0	0	0	0				
Février	0	0,1	0	1,5	0	0	0				
Mars	0	2,4	1,6	4,2	4,2	1,6	1,5				
Avril	31	8,8	20,3	6	4,5	3,6	23,7				
Mai	62,5	118	24,4	3,1	70,7	34,1	29,2				
Juin	115	148	30,3	154,2	140,3	103,4					
Juillet	149,2	170,3	141,2	175,7	203,2	146,8					
Août	172,6	165,3	157,6	129,1	147	150,9					
Septembre	70,7	45,6	60,5	62,3	47,1	80,8					
Octobre	8	15,8	3,3	3,4	15,3	27,8					
Novembre	0	0,5	0,4	0	0,5						
Décembre	0	0	0	0	0	0					
TOTAL	603	569,6	489,6	545,6	638	555	60,4	0	0	0	0

Consommation en GAZ en kWh											
	2018	2019	2020	2021	2022	MOYENNE 2018/2022	2023	2024	2025	2026	2027
Janvier	7353	11061	12681	12367	10108	10342	8796	8720	0	0	0
Février	10153	7767	6637	8371	8231	8444	6763	4854	0	0	0
Mars	3501	4873	8161	8790	8537	7332	7252	3537	0	0	0
Avril	2582	7973	3034	7356	5762	5353	3163	2132	0	0	0
Mai	1966	4684	3253	3314	2828	3330	321	845	0	0	0
Juin	1302	1345	2236	2201	2062	1829	803	0	0	0	0
Juillet	2476	1338	2810	758	670	1622	635	0	0	0	0
Août	83	3401	2205	3188	4458	2667	705	0	0	0	0
Septembre	1330	2339	2510	2107	2628	2195	812	0	0	0	0
Octobre	2776	3839	6662	5723	3831	4530	1786	0	0	0	0
Novembre	6858	8108	3355	3310	7405	3035	6005	0	0	0	0
Décembre	11906	11680	11526	12343	3532	11511	3231	0	0	0	0
TOTAL	58456	68588	72797	76634	66172	68523	43138	19888	0	0	0
TOTAL en kWh/m²/an	117,38	137,73	146,18	153,88	132,88	138	38,67	39,34	0,00	0,00	0,00

Consommation en ELEC en kWh											
	2018	2019	2020	2021	2022	MOYENNE 2018/2022	2023	2024	2025	2026	2027
Janvier	1278	1103	1201	1319	1086	1191	1004	779	0	0	0
Février	332	352	1038	1136	333	1035	835	863	0	0	0
Mars	1310	1143	1185	1385	1237	1253	1054	1034	0	0	0
Avril	1268	1147	1001	1264	1147	1165	932	833	0	0	0
Mai	647	1352	333	1103	1117	1033	1001	0	0	0	0
Juin	361	1352	1033	1310	1270	1239	1070	0	0	0	0
Juillet	311	1235	1238	1601	1526	1206	1412	0	0	0	0
Août	1878	378	1190	1233	1087	1273	1503	0	0	0	0
Septembre	1141	1178	1195	1256	875	1123	1283	0	0	0	0
Octobre	1297	1046	1204	1392	1118	1211	1038	0	0	0	0
Novembre	1335	1272	1321	1522	1135	1371	1043	0	0	0	0
Décembre	1031	1373	1284	1426	362	1227	942	0	0	0	0
TOTAL	13523	14197	13339	16163	13653	14307	13237	3575	0	0	0
TOTAL en kWh/m²/an	27,17	28,51	28,11	32,44	27,43	29	26,58	7,18	0,00	0,00	0,00

Consommation en gaz corrigée = consommation réelle * DJU de ref (2019) / DJU en kWh											
	2018 CLIMAT	2019 REF	2020	2021	2022	MOYENNE 2018/2022	2023	2024	2025	2026	2027
Janvier	11170	11061	14263	13314	10339	12042	11663	9378	0	0	0
Février	7213	7767	10618	3075	8398	8734	8260	5782	0	0	0
Mars	6117	4873	3252	8379	8722	6788	3337	4166	0	0	0
Avril	2582	7973	3412	5479	5422	4374	3163	2353	0	0	0
Mai	1966	4684	3253	3314	2828	3330	321	845	0	0	0
Juin	1302	1345	2236	2201	2062	1829	803	0	0	0	0
Juillet	2476	1338	2810	758	670	1622	635	0	0	0	0
Août	83	3401	2205	3188	4458	2667	705	0	0	0	0
Septembre	1330	2339	2510	2107	2628	2195	812	0	0	0	0
Octobre	3005	3839	5885	3454	3831	4047	1786	0	0	0	0
Novembre	6575	8108	6601	6635	7128	7043	5390	0	0	0	0
Décembre	10430	11680	10458	10709	3537	10513	10232	0	0	0	0
TOTAL en kWh	54243	68588	73608	68012	64795	65800	52442	23124	0	0	0
TOTAL en kWh/m²/an	108,30	137,73	147,81	136,57	130,11	132	105,31	46,43	0,00	0,00	0,00

Consommation en ELEC corrigée = consommation réelle * DJU de ref (2019) / DJU en kWh											
	2018 CLIMAT	2019 REF	2020	2021	2022	MOYENNE 2018/2022	2023	2024	2025	2026	2027
Janvier	1278	1103	1201	1319	1086	1191	1004	779	0	0	0
Février	332	352	1038	1136	333	1035	835	863	0	0	0
Mars	1310	1143	1185	1385	1237	1253	1054	1034	0	0	0
Avril	1268	1147	1001	1264	1147	1165	932	833	0	0	0
Mai	647	1352	333	1103	1117	1033	1001	0	0	0	0
Juin	361	1352	1033	1310	1270	1239	1070	0	0	0	0
Juillet	311	1235	1238	1601	1526	1206	1412	0	0	0	0
Août	1878	378	1190	1233	1087	1273	1503	0	0	0	0
Septembre	1141	1178	1195	1256	875	1123	1283	0	0	0	0
Octobre	1297	1046	1204	1392	1118	1211	1038	0	0	0	0
Novembre	1335	1272	1321	1522	1135	1371	1043	0	0	0	0
Décembre	1031	1373	1284	1426	362	1227	942	0	0	0	0
TOTAL en kWh	13775	14197	15238	16383	13516	14443	13441	3575	0	0	0
TOTAL en kWh/m²/an	27,7	28,5	30,6	32,3	27,3	29	27,0	7,2	0,0	0,0	0,0

Annexe 1.f : Feuille 6 - RECAP

RECAPITULATIF DES INFORMATIONS GENERALES

GAZ													
Année	Consommation			kWh/m².an CORRIGEE	Prix moyen de l'énergie en kWh HTVA	Prix		Gain et répartition		Bilan Carbone			
	kWh/an	kWh/m².an	kWh/an CORRIGEE			Evolution du prix de l'énergie /an	Facture TTC	Gain estimés // Année de référence %	Part de la consommation en %	kgCO2eq/an	kgCO2eq/m²	kgCO2eq/an CORRIGE	kgCU2eq/m² CORRIGE
2018	58456	117,4	54248,9	108,9	0,0261	-	3009	17,6	81	10814,4	21,7	10036,1	20,2
2019 REF CLIMAT	68588	137,7	68588,0	137,7	0,0270	3,4251	3472	-4,2	83	12688,8	25,5	12688,8	25,5
2020	72797	146,2	73608,0	147,8	0,0247	-8,3179	4056	-11,8	84	13467,4	27,0	13617,5	27,3
2021	76634	153,9	68011,8	136,6	0,0254	2,7218	3654	-3,3	83	14177,3	28,5	12582,2	25,3
2022	66172	132,9	64793,2	130,1	0,0621	144,5087	5303	1,6	83	12241,8	24,6	11986,7	24,1
2023	49138	98,7	52742,5	105,9	0,0790	27,2996	5082	19,9	79	9090,5	18,3	9757,4	19,6
2024	19888	39,9	23124,3	46,4	0,0624	-21,0658	1742	64,9	85	3679,3	7,4	4278,0	8,6
2025	0	0,0	0,0	0,0	0,0000		0	100,0	#DIV/0!	0,0	0,0	0,0	0,0
2026	0	0,0	0,0	0,0	0,0000		0	100,0	#DIV/0!	0,0	0,0	0,0	0,0
2027	0	0,0	0,0	0,0	0,0000		0	100,0	#DIV/0!	0,0	0,0	0,0	0,0
MOYENNE Avant travaux (2018/2022)								0					
REF	68529,4	137,6	65850,0	132,2	0,0		3898,5		82,7	12677,9	25,5	12182,2	24,5
Moyenne globale	58810,4	118,1	57873,8	116,2	0,0	44,5	3759,6	12	82,4	10879,9	21,8	10708,7	21,5

ELEC													
Année	Consommation			kWh/m².an CORRIGEE	Prix moyen de l'énergie en kWh HTVA	Prix		Gain et répartition		Bilan Carbone			
	kWh/an	kWh/m².an	kWh/an CORRIGEE			Evolution du prix de l'énergie /an	Facture TTC	Gain estimés // Année de référence %	Part de la consommation en %	kgCO2eq/an	kgCO2eq/m²	kgCO2eq/an CORRIGE	kgCO2eq/m² CORRIGE
2018	13529	27,2	13775,1	27,661	0,06195	-	1927	5,9	19	7825,166	15,713	7967,486	15,999
2019 REF CLIMAT	14197	28,5	14197,0	28,508	0,06248	0,8515	1975	3,0	17	8211,537	16,489	8211,537	16,489
2020	13999	28,1	15237,7	30,598	0,06828	9,2873	1877	-4,1	16	8097,014	16,259	8813,484	17,698
2021	16153	32,4	16388,8	32,909	0,06828	0,0000	2209	-11,9	17	9342,887	18,761	9479,284	19,035
2022	13659	27,4	13616,3	27,342	0,09605	40,6683	2160	7,0	17	7900,358	15,864	7875,650	15,815
2023	13237	26,6	13440,9	26,990	0,11850	23,3754	2553	8,2	21	7656,274	15,374	7774,234	15,611
2024	3575	7,2	3575,0	7,179	0,15000	26,5823	861	75,6	15	2067,778	4,152	2067,778	4,152
2025	0	0,0	0,0	0,000	#DIV/0!		0	100,0	#DIV/0!	0,000	0,000	0,000	0,000
2026	0	0,0	0,0	0,000	#DIV/0!		0	100,0	#DIV/0!	0,000	0,000	0,000	0,000
2027	0	0,0	0,0	0,000	#DIV/0!		0	100,0	#DIV/0!	0,000	0,000	0,000	0,000
MOYENNE Avant travaux (2018/2022)	14307,4	28,7	14643,0	29,4	0,071		2029,8	0	17,3	8275,4	16,6	8469,5	17,0
Moyenne globale	12621,3	25,3	12890,1	25,9	0,089	20,153	1937,6	12	17,6	7300,1	14,7	7455,6	15,0

TOTAL													ETIQUETTE finale selon la réglementation de 2024
Année	Consommation			kWh/m².an CORRIGEE	Etiquette énergétique valeurs de 2024	Facture TTC	Gain estimés // Année de référence %	Bilan Carbone				Etiquette énergétique valeurs de 2024	
	kWh/an	kWh/m².an	kWh/an CORRIGEE					kgCO2eq/an	kgCO2eq/m²	kgCO2eq/an CORRIGE	kgCO2eq/m² CORRIGE		
2018	71985	145	68024,0	136,6	C	4936	15,5	18639,5	37,4	18003,5	36,2	D	D
2019 REF CLIMAT	82785	166	82785,0	166,2	C	5447	-2,8	20900,3	42,0	20900,3	42,0	D	D
2020	86796	174	88845,7	178,4	C	5932	-10,4	21564,5	43,3	22431,0	45,0	D	D
2021	92787	186	84400,6	169,5	C	5863	-4,9	23520,2	47,2	22061,5	44,3	D	D
2022	79831	160	78409,5	157,4	C	7463	2,6	20142,2	40,4	19862,4	39,9	D	D
2023	62375	125	66183,4	132,9	C	7635	17,8	16746,8	33,6	17531,6	35,2	D	D
2024	23463	47	26699,3	53,6	A	2604	66,8	5747,1	11,5	6345,8	12,7	C	C
2025	0	0	0,0	0,0	A	0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	A	A
2026	0	0	0,0	0,0	A	0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	A	A
2027	0	0	0,0	0,0	A	0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	A	A
MOYENNE Avant travaux (2018/2022)	82837	166	80493	161,6	C	5928	0	20953,3	42,1	20651,7	41,47	D	D
Moyenne globale	71432	143	70784	142,1	C	5697	12	18180,1	36,5	18162,3	36,5	D	D



Annexe 1.g : Feuille 7 - GRAPHIQUES

ENSEMBLE DES GRAPHIQUES

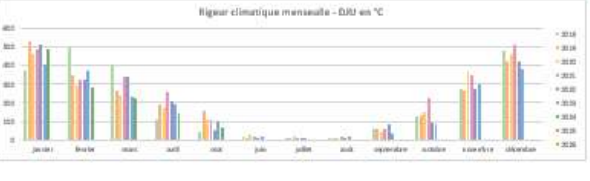
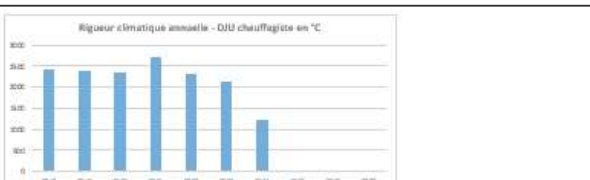


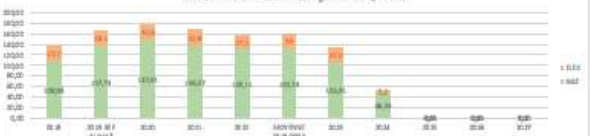
Cette feuille de calcul regroupe l'ensemble des graphiques réalisés en fonction des différentes informations collectées. Ils sont regroupés par énergie, par sujet et par temporalité (mensuelle ou annuelle). Il est possible de filtrer le tableau pour ne faire apparaître que les graphiques voulus.

ATTENTION : BIEN PENSER A LAISSER LES TABLEUX ELEC ET GAZ AFFICHES EN ENTIER POUR LIRE LES GRAPHIQUES CORRECTEMENT

La case commentaire sert à apporter des informations sur l'intérêt du graphique et sur ce qui peut être observé. Il est ensuite possible de rajouter une seconde case analyse pour rajouter des interprétations des graphiques obtenues.

ENERGIE	CLASSEMENT OBJECTIF	TEMPORALITE	GRAPHIQUES	Commentaires
GAZ	Conso énergétique	Mensuel	<p>Consommation en GAZ mensuelle en kWh/jour</p>	<p>Ce graphique représente les consommations moyennes journalières des différents mois des années répertoriées. Chaque point correspond à la consommation en gaz totale divisée par le nombre de jours présent dans chaque mois. Cela permet donc de comparer des valeurs de consommations de périodes de durées différentes ramenées à une même unité de temps.</p>
		Annuel	<p>Consommation annuelle en GAZ en kWh/m².an</p>	<p>Ce graphique permet de voir la consommation annuelle en kWh/m².an. Cette unité est importante car elle permet de comparer différents bâtiments même s'ils sont de surfaces différentes.</p>
	Prix de l'énergie €/kWh HTVA	Mensuel	<p>Prix du GAZ en €/kWh HTVA</p>	<p>Ce graphique permet de voir l'évolution du prix du GAZ au fil du temps. Ce graphique est principalement à titre indicatif. Il permet de visualiser l'évolution du prix de l'énergie au fil du temps et de comprendre l'évolution du coût total de l'énergie chaque année.</p>
	Facture énergétique TTC	Annuel	<p>Coût annuel du GAZ et évolution du prix du kWh</p>	<p>Ce graphique représente l'évolution du coût annuel de l'énergie tout en comparant cette évolution avec l'évolution du coût de l'énergie (courbe se rapportant à l'axe de droite).</p>
	Conso énergétique corrigée	Mensuel	<p>Consommation mensuelle GAZ corrigée en kWh</p>	<p>La consommation corrigée permet de comparer les consommations en énergie des différents mois sur un pied d'égalité. La consommation corrigée prend en compte le climat de chaque mois et permet de calculer les consommations en choisissant un même climat de référence. Ici nous avons choisi comme année et donc climat de référence 2019.</p>

ELEC	Conso énergétique	Mensuel		<p>Ce graphique représente les consommations moyennes journalières des différents mois des années répertoriées. Chaque point correspond à la consommation en gaz totale divisée par le nombre de jours présent dans chaque mois. Cela permet donc de comparer des valeurs de consommations de périodes de durées différentes ramenées à une même unité de temps.</p>
		Annuel		<p>Le premier graphique représente les consommations en heures pleines, en heures creuses ainsi que la consommation totale. ce graphique permet de suivre l'évolution des consommations au fil du temps et de se faire une idée de la proportion des heures creuses et pleines par rapport à la consommation totale.</p> <p>Le second graphique permet de voir la consommation annuelle en kWh/m².an. Cette unité est importante car elle permet de comparer différents bâtiments même s'ils sont de surfaces différentes.</p>
	Prix de l'énergie €/kWh HTVA	Mensuel		<p>Ce graphique permet de voir l'évolution du prix du GAZ au fil du temps et de l'évolution du coût total de l'énergie chaque année.</p>

RIGUEUR CLIMATIQUE	DJU °C	Mensuel		<p>Le degré jour unitié (DJU) est la différence entre la température extérieure et une température intérieure de référence qui permet de réaliser des estimations de consommations d'énergie thermique pour maintenir un bâtiment confortable en proportion de la rigueur de l'hier. De plus le DJU permet de calculer la consommation en énergie corrigée. Il permet d'obtenir des valeurs de consommation à climat constant.</p>
		Annuel		<p>En effet, ce n'est pas parce que l'on consomme plus ou moins sur une année que l'on consomme moins bien ou mieux. Cela dépend de la rigueur climatique de l'année : s'il a fait plus froid, on consomme plus et inversement.</p>
ELEC + GAZ	Conso énergétique	Annuel		<p>Ce graphique permet de voir la consommation totale du bâtiment en kWh/m².an. Réalisé ce graphique avec cette unité permet de comparer la consommation avec n'importe quel autre bâtiment (peut importe sa taille) et également de connaître l'étiquette énergétique du bâtiment (DPE).</p>
	Facture énergétique TTC	Annuel		<p>Ce graphique permet cette fois ci de connaître le coût de l'énergie et voir son évolution au fil des ans</p>
	Conso énergétique corrigée	Annuel		<p>Ce graphique permet donc de comparer la consommation annuelle en énergie su un même pied d'égalité. Ce qui permet d'analyser en considérant que le climat est le même chaque année</p>

Annexe 2 : Audit énergétique de la Résidence de Ljubljana - 2018

CERTIFICAT DE PERFORMANCE

Informations sur le bâtiment

Numéro de carte : 2018-11-386-61886 Valable jusqu'au : 01.03.2028

Code d'identification du bâtiment, d'une ou plusieurs parties d'un bâtiment : commune cadastrale 2677

Classification du bâtiment : 1110001

Année de construction : 1995

Adresse du bâtiment Prule 9A, 1000 Ljubljana

Surface de bâtiment conditionnée $a_{b,cond}$: 498

Numéro de parcelle : 13/16

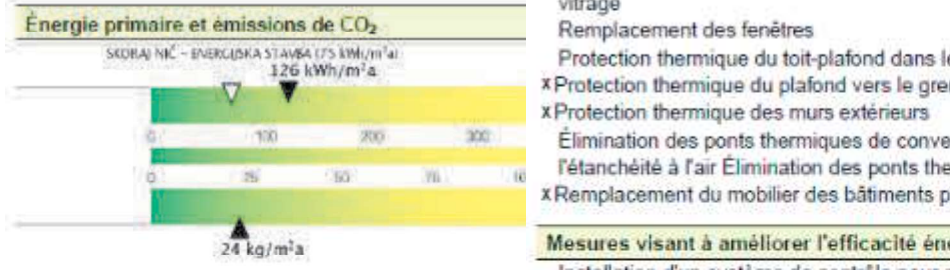
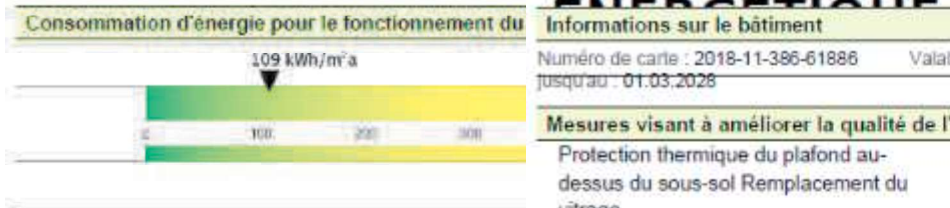
Commune cadastrale : PRULE

Numéro de bâtiment : 178

Type de carte : carte de compte

Type de bâtiment : résidentiel

Nom du bâtiment : Prule 9a

Éditeur

Certificat de performance énergétique Ltd (11)

Nom et signature du responsable : Rok Močnik

Močnik Date d'émission : 01.03.2018

CERTIFICAT DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE D'UN BÂTIMENT

Informations sur le bâtiment

Numéro de carte : 2018-11-386-61886 Valable jusqu'au : 01.03.2028

Recommandations pour des améliorations rentables de l'efficacité énergétique

Mesures visant à améliorer la qualité de l'enveloppe du bâtiment

- Protection thermique du plafond au-dessus du sous-sol
- Remplacement du vitrage
- Remplacement des fenêtres
- Protection thermique du toit-plafond dans les combles
- x Protection thermique du plafond vers le grenier
- x Protection thermique des murs extérieurs
- Élimination des ponts thermiques de convection et amélioration de l'étanchéité à l'air
- Élimination des ponts thermiques de transmission
- x Remplacement du mobilier des bâtiments par du mobilier plus économe en énergie

Mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique des systèmes de cogénération

- Installation d'un système de contrôle pour gérer les flux de chaleur
- Ajustement de la puissance du système de préparation de chaleur à la demande de chaleur réelle
- Installation de pompes à contrôle continu
- Équilibrage hydraulique du système de chauffage
- x Récupération de chaleur
- Protection thermique des gaines dans les espaces non climatisés
- Adapter la capacité du système de ventilation aux besoins réels
- Optimiser le temps de fonctionnement
- Ajuster la puissance de refroidissement en construisant une glacière
- Se connecter au chauffage ou au refroidissement urbain
- Optimiser l'apport de lumière du jour

Mesures visant à accroître l'utilisation des énergies renouvelables

- Installation de panneaux photovoltaïques
- Chauffage à la biomasse
- Passer à l'énergie géothermique
- Installation d'un système d'eau chaude SSE
- x Passage au chauffage par pompe à chaleur

Mesures organisationnelles

- Audit énergétique des bâtiments
- Analyse des systèmes tarifaires
- Éteindre les lumières lorsque les pièces sont inoccupées

Alerte

Les conseils sont génériques et se fondent sur un examen de la situation, de la consommation d'énergie et de l'expérience acquise dans des bâtiments similaires.

CERTIFICAT DE PERFORMANCE

Informations sur le bâtiment

Type de carte : carte de compte

Numéro de carte : 2018-11-386-61886 Valable
jusqu'au 01.03.2028

Type de bâtiment : résidentiel

Commentaire et conditions limites particulières

Les mesures à long terme pour améliorer la qualité de l'enveloppe du bâtiment concernent la réhabilitation de l'enveloppe thermique du bâtiment. Il est recommandé de procéder à une isolation thermique supplémentaire des murs extérieurs, des combles ou de la toiture, et de remplacer les menuiseries par des menuiseries plus efficaces sur le plan énergétique.

À long terme, il est recommandé de passer au chauffage par pompe à chaleur afin d'accroître l'utilisation des sources d'énergie renouvelables.

Afin d'améliorer l'efficacité énergétique du système de ventilation, il est recommandé d'installer un système mécanique de ventilation contrôlée, avec récupération de la chaleur de l'air rejeté ou récupération de la chaleur.

Un certificat de performance énergétique est établi pour un bâtiment (numéro de bâtiment : 178).

Le bâtiment a été construit en 1995 et est situé à Ljubljana, à Prule 9a. Le bâtiment a un plan d'étage de K + P + N + M. Les murs extérieurs sont en briques, avec une isolation thermique supplémentaire, et sont recouverts d'un enduit de façade. Le toit est en bois et est isolé thermiquement. Le mobilier du bâtiment est principalement en profilés de bois, partiellement en profilés métalliques, avec double vitrage. La porte d'entrée est recouverte d'un revêtement en pierre.

Le chauffage est assuré par une chaudière au gaz naturel. Les éléments chauffants sont des radiateurs, un chauffage par le sol est également partiellement installé. Une pompe à chaleur est utilisée pour l'eau chaude sanitaire.

Dans le calcul de la physique du bâtiment, nous avons simulé :

- a) Remplacement des menuiseries par des menuiseries plus économes en énergie ($U_w = 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$) : l'énergie nécessaire au chauffage serait réduite à 54 kWh/m²a.
- b) isolation thermique supplémentaire des murs extérieurs (15 cm - laine de roche). L'énergie nécessaire au chauffage serait réduite à 53 kWh/m²a.
- c) une isolation thermique supplémentaire des combles ou du toit (20 cm - laine de verre). L'énergie nécessaire au chauffage serait réduite à 63 kWh/m²a.
- d) Mesures a, b et c combinées : l'énergie nécessaire au chauffage serait ainsi réduite à 39 kWh/m²a. Le bâtiment entrerait ainsi dans la classe C.

Conformément à la Directive 2010/31/EU - Annexe 1, le bâtiment est classé dans la catégorie Maisons unifamiliales de différents types.

Annexe 3 : Tableau des surfaces de l'Ambassade et de La Résidence du campus d'Amman – Audit énergétique – Optimisation énergétique du campus diplomatique d'Amman, Béhi

Groupes de zones	Noms	Surface m ²	Volume m ³
a	Amb - Circulations horizontales	186	551
b	Amb -Circulations verticales	53	166
c	Amb -Bureaux partie ancienne	442	1260
d	Amb -Bureaux extension	435	1338
e	Amb -Accueil public	97	296
f	Amb -Accueil bureau ambassadeur	101	351
g	Amb -Cuisine	12	42
h	Amb - Locaux divers	92	284
i	Amb - Locaux informatique	149	445
j	Amb - VISAS	24	83
k	Amb - Police	34	115
l	Res - Entree résidence	99	772
m	Res - Salons invités résidence	127	558
n	Res - Salon individuel résidence	31	133
o	Res - Cuisine / plonge résidence	46	207
p	Res - locaux divers résidence	47	208
q	Res - Circulations résidence	36	117
r	Res - Chambres résidence	184	832

⇒ Superficie de la résidence d'Amman : 580m²

Annexe 4 : Gain hypothétique du remplacement du système de chauffage- Audit énergétique – Optimisation énergétique du campus diplomatique d'Amman, Béhi.

Annexe 4.a : Fiche de l'Action n°16

Action n°16 : Remplacement des pompes de distribution Résidence

Description

La chaufferie est équipée de pompes doubles à plusieurs vitesses. Ces pompes possèdent des puissances relativement importantes. Cette solution consiste au remplacement des pompes par des pompes à débit variable. Les pompes du réseau de distribution de chauffage sont les seules concernées par cette optimisation.

Résultats de simulation

Economies énergie finale			
ELECTRICITE	FIOUL	GAZ PROPANE	Total
[kWh/ef/an]	[kWh/ef/an]	[kWh/ef/an]	[kWh/ef/an]
3 550	2 156	0	5 706

Bilan financier				
Economies [€HT]	Coût travaux Investissement [€HT]	Coût opération [€HT]	Temps de retour	
			Brut [an]	Actualisé [an]
1 262	9 000	10 800	9	7

	Etat initial		Action		Incidence
Consommations énergétiques [kWh/ep(PCI)/m²SHON.an]	E	496	E	491	-1%
Émissions de gaz à effet de serre (GES) [kg _{ep} CO ₂ /m²SHON.an]	D	36	D	36	-1%
Dépense annuelle [€HT/an]		125 216		123 954	-1%

Synthèse

Cette optimisation présente un temps de retour intéressant et raison de la vétusté des installations. Elle permet une diminution des consommations électriques grâce à la variation de vitesse et des consommations de fioul grâce à la diminution des pertes thermiques. Les travaux sont à réaliser hors période de chauffe.

- ⇒ Gain en Electricité : $3\,550/580 = 6.12$ kWh/m² et Gain en Fioul/chauffage : $2\,156/580 = 3.72$ kWh/m²

Annexe 4.b : Précisions et calculs des gains

Cette action représente un coût de 10 800 € HT pour la résidence d'Amman et permettrait d'économiser 3.7 kWh/m² en chauffage et 6.1 kWh/m² en électricité. Cependant les travaux ont coûté bien moins cher à Ljubljana (5 502 € HT) que l'estimation faite pour Amman. Cette différence de coût peut s'expliquer par la différence de pompes installées entre les deux résidences. A Amman, les pompes sont des pompes à plusieurs vitesses permettant d'optimiser les besoins et donc de réduire la consommation en électricité. Alors qu'à Ljubljana les nouvelles pompes installées ne disposent pas de cette technologie et peuvent donc coûter moins cher. De plus, seul une partie du réseau de la Résidence de Ljubljana a été repris contre l'ensemble du réseau à Amman. Ainsi ces différents points peuvent expliquer la différence de coût.

Annexe 5 : Gain hypothétique de l'installation de robinets thermostatiques – Audit énergétique – Optimisation énergétique du campus diplomatique d'Amman, Béhi.

Annexe 5.a : Fiche de l'Action n°24

Action n°24 : Régulation terminale Résidence – Robinets thermostatiques

Description

Les émetteurs de chaud au sein de la résidence sont principalement de type radiateur eau chaude. Nous avons cependant constaté lors de notre visite que ces systèmes étaient démunis de régulation terminale. Cette solution consiste donc en la mise en place de têtes thermostatiques sur l'ensemble des radiateurs eau chaude de la résidence.

Cette optimisation permettra une régulation plus précise. Pour information, il n'est pas nécessaire de mettre les robinets en position 6, la position 4 assure une température intérieure de 20°C, suffisamment confortable pour les occupants.

Résultats de simulation

Economies énergie finale			
ELECTRICITE	FIOUL	GAZ PROPANE	Total
[kWhcf/an]	[kWhcf/an]	[kWhcf/an]	[kWhcf/an]
1 359	25 793	0	27 152

Bilan financier				
Economies [€HT]	Coût travaux Investissement [€HT]	Coût opération [€HT]	Temps de retour	
			Brut [an]	Actualisé [an]
1 936	10 000	12 000	7	6

	Etat initial		Action		Incidence
Consommations énergétiques [kWhcf(PCJ)/m²SHON.an]	E	496	E	484	-3%
Émissions de gaz à effet de serre (GES) [kg _{eq} CO ₂ /m²SHON.an]	D	36	D	33	-9%
Dépense annuelle [€HT/an]		125 216		123 200	-2%

Synthèse

Cette optimisation présente un temps de retour sur investissement intéressant et permettra une diminution des consommations grâce à une meilleure régulation terminale. Travaux à réaliser hors période d'occupation.

⇒ Gain en Electricité : $1\,359/580 = 2.34$ kWh/m² et Gain en Fioul : $25\,793/580 = 44.47$ kWh/m²

Annexe 5.b : Précisions et calculs des gains

Cependant 12 000 € HT a été investi contre 2 100 € HT à Ljubljana. Ainsi il est nécessaire de prendre en compte la différence d'investissement. A Amman, des thermostats ont été mis en place sur chaque radiateur, or à la Résidence nous disposons de planchers chauffants, il y a donc moins de robinets à mettre en place. De plus seulement deux étage ont été équipés à Ljubljana, ce qui représente 258 m² équipés contre 580 m² à Amman. Ce qui peut en partie expliquer la différence de coût.

Annexe 6 : Gain hypothétique du remplacement des fenêtres – Audit énergétique – Optimisation énergétique du campus diplomatique d'Amman, Béhi.

Annexe 6.a : Fiche de l'Action n°9

Action n°9 : Remplacement menuiseries extérieures Résidence

Description

Cette solution consiste en le remplacement de l'ensemble des menuiseries extérieures du bâtiment Résidence par des menuiseries plus performantes de type double vitrage avec lame d'argon 4/16/4. Nous recommandons la mise en œuvre de menuiseries de types oscillantes et non coulissantes qui sont plus déperditives.

Certaines menuiseries extérieures apportent une réelle plus-value sur l'aspect visuel du bâtiment. Si cet aspect veut être conservé ces menuiseries devront être réalisées sur mesure ce qui engendrera des coups de fabrication et de mise en œuvre élevés.

Les caractéristiques sont les suivantes : Double vitrage 4/16/4 Argon $U_g \leq 1.1 \text{ W/m}^2.K$; $F5 \leq 0.42$; $U_w \leq 1.8 \text{ W.m}^2.K$.

Surface concernée : 160 m²

Résultats de simulation

Economies énergie finale			
ELECTRICITE	FIOUL	GAZ PROPANE	Total
[kWh/ef/an]	[kWh/ef/an]	[kWh/ef/an]	[kWh/ef/an]
2 005	6 694	0	8 699

Bilan financier				
Economies [€HT]	Coût travaux Investissement [€HT]	Coût opération [€HT]	Temps de retour	
			Brut [an]	Actualisé [an]
1 032	144 000	172 800	>100	35

	Etat initial		Action		Incidence
Consommations énergétiques [kWh/ep(PCI)/m ² SHON.an]	E	496	E	491	-1%
Émissions de gaz à effet de serre (GES) [kg _{ep} CO ₂ /m ² SHON.an]	D	36	D	35	-3%
Dépense annuelle [€HT/an]		125 216		124 185	-1%

Annexe 6.b : Précisions et calculs des gains

Ainsi le remplacement des fenêtres sont censées permettre un gain de 6 694kWh/an en fioul (énergie pour le chauffage à Amman) ce qui correspond à un gain de 11.5 kWh/m².an. Ce qui correspond aux valeurs proposées dans l'audit de la Résidence de Ljubljana pour le gain en chauffage si l'ensemble des fenêtres avait été changé. De plus, cette action permet de réaliser des économies en électricité de 2 005 kWh ce qui équivaut à des économies de 3.5 kWh/m².an.

Sachant que les économies en électricité sont donc de 3.5kWh/m².an et que la température moyenne serre maximale est supérieure à 27°C à Amman contre 22°C à Ljubljana, les besoins en climatisation et en électricité sont donc plus importants à Amman.

De même, les gains permis grâce aux remplacements des fenêtres seront donc plus importants à Amman. Le remplacement des fenêtres de la Résidence de Ljubljana permettrait donc des économies en électricité de $3.5 \cdot 22/27 = 2.9 \text{ kWh/m}^2$, en considérant donc le gain proportionnel à la température moyenne maximale extérieure.

Annexe 7 : Performances et Impact environnemental du système de VMC - Entreprise E-NETS!

Annexe 7.1 : Déclaration de performances - ComfoSpot 50 & ComfoAir 70

ComfoSpot 50 Declaration of Performance

Product data sheet for RVUs as per EU Regulation No. 1254/2014 Contains information requirement for RVUs as per EU Regulation No. 1253/2014 Zehnder ComfoSpot 50 room ventilation unit						
Supplier's name or trademark	Zehnder Group		Zehnder Group			
Supplier's model identifier	ComfoSpot 50		ComfoSpot 50 sensor technology			
SEC [kWh/(m³a)] specific energy consumption (cold, average, warm)	-61.5	-30.1	-9.6	-73.3	-38.4	-15.7
SEC class	A+	B	F	A+	A	E
Type of ventilation unit	Bidirectional RVU		Bidirectional RVU			
Type of drive installed	Multi-stage drive		Speed control			
Type of heat recovery system	Recuperative		Recuperative			
Thermal efficiency [%]	70					
Maximum air volume flow rate [m³/h]	50					
Electric power input [W]	15					
Sound power level [dB(A)]	41					
Reference air volume flow rate [m³/h]	35					
Reference pressure difference [Pa]	0					
SPI [W/(m³/h)]	0,23					
Control factor and control typology	1 Manual control		Control side			
Declared maximum internal and external leakage rates [%]	Internal: 4.2		In			
	External: 3.4		Ex			
Mixing rate	U2					
Position and description of visual filter warning	Warning on the unit display		Warn			
Internet address for assembly and disassembly instructions	www.zehnder-systems.de www.international.zehnder-systems.com		www.zehnder-systems.de www.international.zehnder-systems.com			
Airflow sensitivity to pressure variations [%]	< 20					
Indoor/outdoor air tightness [m³/h]	to the outside: 4.4 to the inside: 6.5		to U to I			
AEC [kWh/a] annual electricity consumption (cold, average, warm)	899	362	317	716		
AHS [kWh/a] annual heating saved (cold, average, warm)	7,523	3,848	1,739	8,245		


ComfoAir 70 Declaration of Performance

Product data sheet for RVUs as per EU Regulation No. 1254/2014 Contains information requirement for RVUs as per EU Regulation No. 1253/2014 Room ventilation unit Zehnder ComfoAir 70												
Supplier's name or trademark	Zehnder Group			Zehnder Group Ze			Zehnder Group			Zehnder Group		
Supplier's model identifier	ComfoAir 70			ComfoAir 70 sensor technology			ComfoAir 70			ComfoAir 70 sensor technology		
SEC [kWh/(m³a)] specific energy consumption (cold, average, warm)	-68.5	-34.3	-12.1	-77.5	-40.8	-17.1	-68.5	-34.3	-12.1	-77.5	-40.8	-17.1
SEC class	A+	A	E	A+	A	E	A+	A	E	A+	A	E
Type of ventilation unit	Bidirectional RVU			Bidirectional RVU			Bidirectional RVU			Bidirectional RVU		
Type of drive installed	Multi-stage drive			Speed control			Multi-stage drive			Variable speed drive		
Type of heat recovery system	Recuperative			Recuperative			Recuperative			Recuperative		
Thermal efficiency [%]	76			78			76			78		
Maximum air volume flow rate [m³/h]	50			50			50			50		
Electric power input [W]	17			17			17			17		
Sound power level [dB(A)]	42			42			34			34		
Reference air volume flow rate [m³/h]	36			36			36			36		
Reference pressure difference [Pa]	50			50			50			50		
SPI [W/(m³/h)]	0.21			0.21			0.21			0.21		
Control factor and control typology	1 Manual control			0.65 Control according to site requirements			1 Manual control			0.65 Control according to site requirements		
Declared maximum internal and external leakage rates [%]	Internal: 0.1			Internal: 0.1 to			Internal: 0.1			Internal: 0.1 in		
	External: 0.9			External: 0.9			External: 0.9			External: 0.9		
Mixing rate	-			-			-			-		
Position and description of visual filter warning	Warning on the unit display			Warning on the unit display			Warning on the unit display			Warning on the unit display		
Internet address for assembly and disassembly instructions	www.zehnder-systems.de www.international.zehnder-systems.com			www.zehnder-systems.de www.international.zehnder-systems.com			www.zehnder-systems.de www.international.zehnder-systems.com			www.zehnder-systems.de www.international.zehnder-systems.com		
Airflow sensitivity to pressure variations [%]	-			-			-			-		
Indoor/outdoor air tightness [m³/h]	-			-			-			-		
AEC [kWh/a] annual electricity consumption (cold, average, warm)	845	308	283	693	156	111	845	308	283	693	156	111
AHS [kWh/a] annual heating saved (cold, average, warm)	8,091	4,136	1,870	8,814	4,404	1,991	8,091	4,136	1,870	8,814	4,404	1,991

50

70

Annexe 7.2 : Note de calcul environnemental



E-NETSI
d.o.o. Ljubljana

Calculation of energy saved and environmental impact reduction using heat recovery units for mechanical ventilation

The project consists of 2 different ventilation heat recovery devices:
2 pieces of Zehnder ComfoAir 70 units and **5 pieces** of Zehnder ComfoSpot 50 units

Energy and environmental data on ComfoSpot 50 – per one-year basis:

Electrical **energy spent** for continuous operation, data from Product Declaration of Performance: 899 kWh of electricity spent per year

Environmental load for one device: 899 kWh x 0,53 kg CO₂/kWh = 477 kg CO₂
 6 devices produce: 6 x 477 = **2.862 kg CO₂ produced**

Energy saved through heat recovery – data from producer Declaration of performance data sheet: 7.523 kWh one device per year
 6 devices x 7.523 kWh = 45.138 kWh per year
 Heating energy fuel: natural gas
 1 MWh = 105 m³ natural gas
 45,138 MWh x 105 m³ gas = 4.740 m³ of gas
 1m³ of gas produces 2,64 kg of CO₂
 4.740 m³ x 2,64 kg CO₂ = **12.514 kg of CO₂ saved**

12.514 kg of CO₂ saved minus 2.862 kg of CO₂ produced = **9.652 kg CO₂ net saved**

Energy and environmental data on ComfoSpot 70 – per one year basis:

Electrical **energy spent** for continuous operation, data from Product Declaration of Performance: 871 kWh of electricity spent per year
 Environmental load for one device: 871 MWh x 0,53 kg CO₂ = 462 kg CO₂
 2 devices produce: 2 x 462 = **924 kg CO₂ produced**

Energy saved through heat recovery – data from producer Declaration of performance data sheet: 7.941 kWh one device per year
 2 devices x 7.941 kWh = 15.882 kWh per year
 Heating energy fuel: natural gas
 1 MWh = 105 m³ natural gas
 15,882 MWh x 105 m³ gas = 1.668 m³ of gas
 1m³ of gas produces 2,64 kg of CO₂
 1.668 m³ x 2,64 kg CO₂ = **4.403 kg of CO₂ saved**

4.403 kg of CO₂ saved minus 942 kg of CO₂ produced = **3.461 kg CO₂ net saved**

CO₂ reduction from all 8 devices:

9.652 kg + 3.461 = **13.113 kg - total CO₂ reduction per one year**

Bojko Jerman, M. Sc. Arch.

E-NETSI
d.o.o. Ljubljana

E-NETSI d.o.o., Šmartinska 58, SI-1000 Ljubljana, Slovénija
 Tel.: +386 (0)41 66 46 31, Fax: +386 (0)1 437 30 68/Rog. pri Društveno sodišču v Ljubljani, št. reg. vr. 141405/00,
 Dun. kapital 6.750 EUR, matična št.: 2081185, OGV št.: SI11040507

Annexe 8 : Reprise de la note de calcul des systèmes de VMC

ComfoSpot 50 Declaration of Performance

Product data sheet for RVUs as per EU Regulation No. 1254/2014 Contains information requirement for RVUs as per EU Regulation No. 1253/2014 Zehnder ComfoSpot 50 room ventilation unit						
Supplier's name or trademark	Zehnder Group		Zehnder Group			
Supplier's model identifier	ComfoSpot 50		ComfoSpot 50 sensor technology			
SEC [kWh/(m³a)] specific energy consumption (cold, average, warm)	-61.5	-30.1	-9.6	-73.3	-38.4	-15.7
SEC class	A+	B	F	A+	A	E
Type of ventilation unit	Bidirectional RVU		Bidirectional RVU			
Type of drive installed	Multi-stage drive		Speed control			
Type of heat recovery system	Recuperative		Recuperative			
Thermal efficiency [%]	70		70			
Maximum air volume flow rate [m³/h]	50		50			
Electric power input [W]	15		15			
Sound power level [dB(A)]	41		41			
Reference air volume flow rate [m³/h]	35		35			
Reference pressure difference [Pa]	0		0			
SPI [W/(m³/h)]	0,23		0,1			
Control factor and control typology	1 Manual control		0,8 Control according to site requirements			
Declared maximum internal and external leakage rates [%]	Internal: 4.2 External: 3.4		Internal External			
Mixing rate	U2		U2			
Position and description of visual filter warning	Warning on the unit display		Warning on the unit display			
Internet address for assembly and disassembly instructions	www.zehnder-systems.de www.international.zehnder-systems.com		www.zehnder-systems.de www.international.zehnder-systems.com			
Airflow sensitivity to pressure variations [%]	< 20		< 20			
Indoor/outdoor air tightness [m³/h]	to the outside: 4.4 to the inside: 6.5		to the outside: 4.4 to the inside: 6.5			
AEC [kWh/a] annual electricity consumption (cold, average, warm)	509	362	317	716	171	171
AHS [kWh/a] annual heating saved (cold, average, warm)	7,523	3,646	1,739	0,245	1,21	1,21

ComfoAir 70 Declaration of Performance

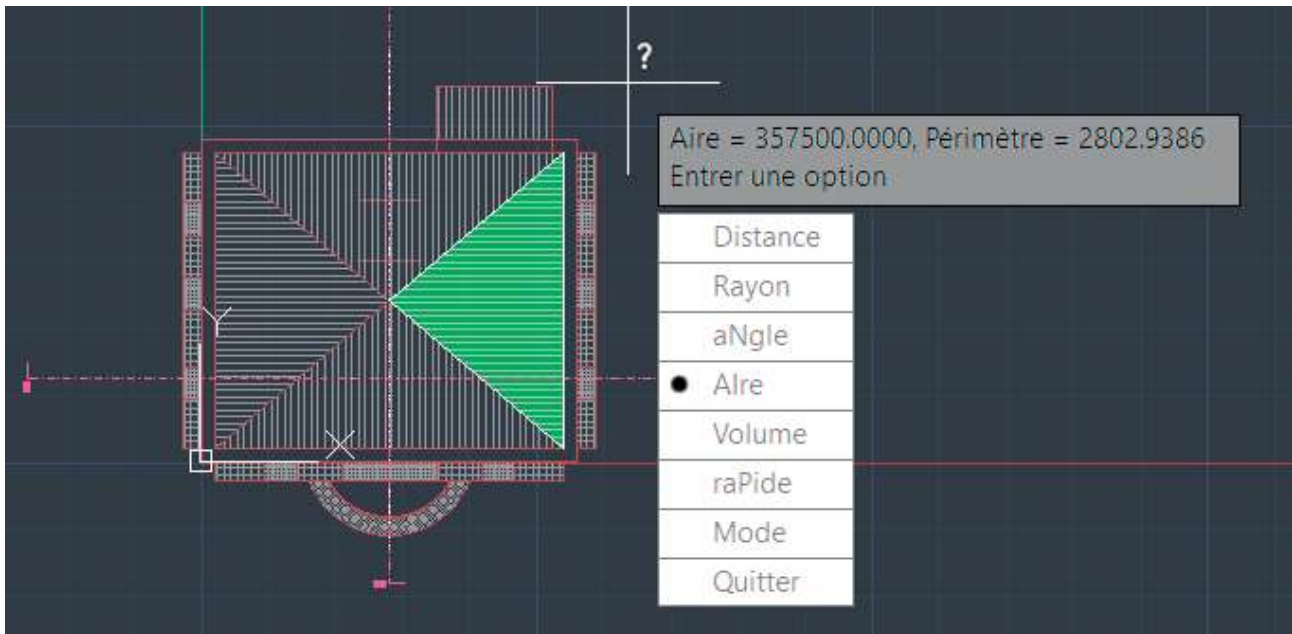
Product data sheet for RVUs as per EU Regulation No. 1254/2014 Contains information requirement for RVUs as per EU Regulation No. 1253/2014 Room ventilation unit Zehnder ComfoAir 70												
Supplier's name or trademark	Zehnder Group			Zehnder Group Ze			hnder Group			Zehnder Group		
Supplier's model identifier	ComfoAir 70			ComfoAir 70 sensor technology			ComfoAir 70			ComfoAir 70 sensor technology		
SEC [kWh/(m³a)] specific energy consumption (cold, average, warm)	-68.5	-34.3	-12.1	-77.5	-40.8	-17.1	-68.5	-34.3	-12.1	-77.5	-40.8	-17.1
SEC class	A+	A	E	A+	A	E	A+	A	E	A+	A	E
Type of ventilation unit	Bidirectional RVU			Bidirectional RVU			Bidirectional RVU			Bidirectional RVU		
Type of drive installed	Multi-stage drive			Speed control			Multi-stage drive			Variable speed drive		
Type of heat recovery system	Recuperative			Recuperative			Recuperative			Recuperative		
Thermal efficiency [%]	76			76			76			76		
Maximum air volume flow rate [m³/h]	50			50			50			50		
Electric power input [W]	17			17			17			17		
Sound power level [dB(A)]	42			42			34			34		
Reference air volume flow rate [m³/h]	36			36			36			36		
Reference pressure difference [Pa]	50			50			50			50		
SPI [W/(m³/h)]	0,21			0,21			0,21			0,21		
Control factor and control typology	1 Manual control			0,85 Control according to site requirements			1 Manual control			0,85 Control according to site requirements		
Declared maximum internal and external leakage rates [%]	Internal: 0.1 External: 0.8			Internal: 0.1 External: 0.9			Internal: 0.1 External: 0.9			Internal: 0.1 External: 0.9		
Mixing rate	-			-			-			-		
Position and description of visual filter warning	Warning on the unit display			Warning on the unit display			Warning on the unit display			Warning on the unit display		
Internet address for assembly and disassembly instructions	www.zehnder-systems.de www.international.zehnder-systems.com			www.zehnder-systems.de www.international.zehnder-systems.com			www.zehnder-systems.de www.international.zehnder-systems.com			www.zehnder-systems.de www.international.zehnder-systems.com		
Airflow sensitivity to pressure variations [%]	-			-			-			-		
Indoor/outdoor air tightness [m³/h]	-			-			-			-		
AEC [kWh/a] annual electricity consumption (cold, average, warm)	645	308	263	693	156	111	645	308	263	693	156	111
AHS [kWh/a] annual heating saved (cold, average, warm)	8,091	4,136	1,870	8,614	4,404	1,991	8,091	4,136	1,870	8,614	4,404	1,991

Performance en mode « cold »	ComfoAir 70	ComfoSpot 50
Nombre	6	2
Consommation électrique [kWh/an. unité]	845	899
Energie sauvée [kWh/an.unité]	8091	7523
Gain énergétique [kWh/an] ((sauvé - elec)*nb unité)	43476	13248
Gain émissions CO2 [kgCO2eq/an]	6040,41	1740,67
TOTAL GAIN [kWh/m²]	113,9036145	
TOTAL EMISSIONS [kgCO2eq/m²]	15,62465863	

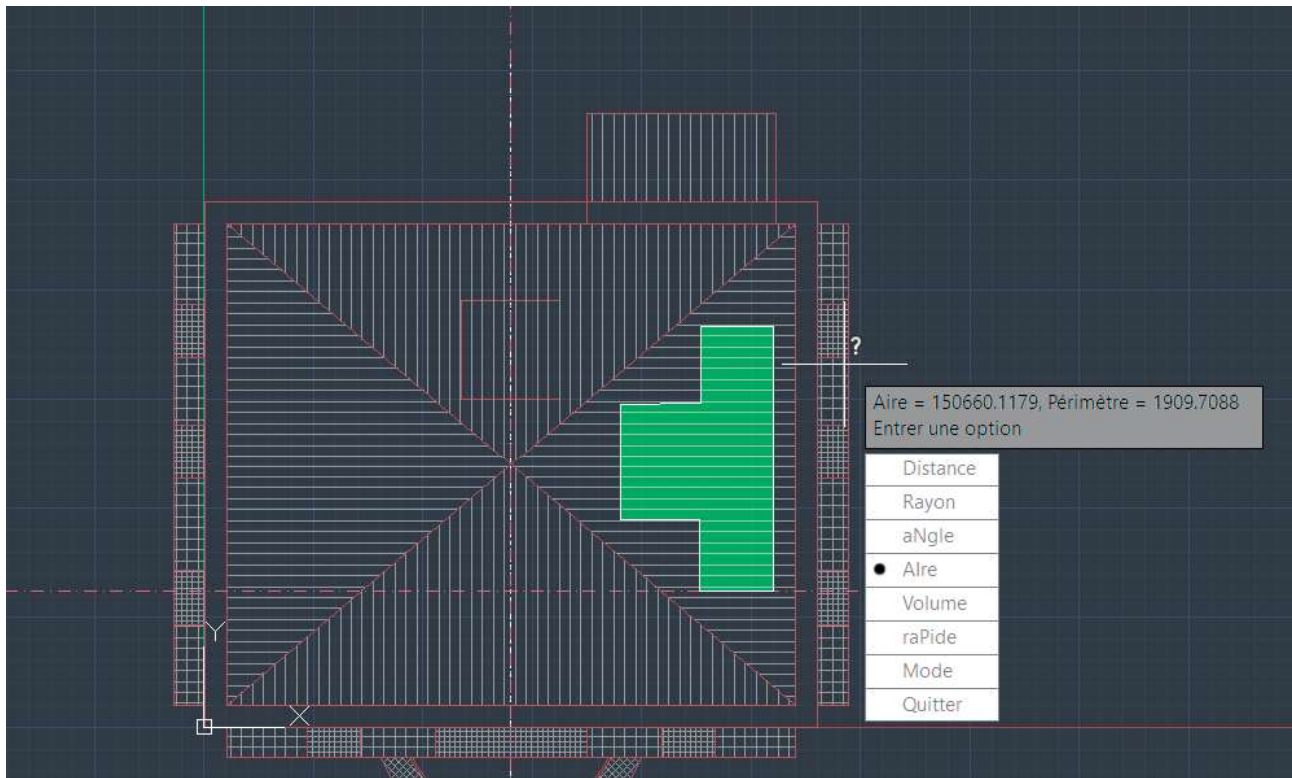
Performance en mode « average »	ComfoAir 70	ComfoSpot 50
Nombre	6	2
Consommation électrique [kWh/an.unité]	308	362
Energie sauvée [kWh/an.unité]	4136	3846
Gain énergétique [kWh/an] ((sauvé - elec)*nb unité)	22968	6968
Gain émissions CO2 [kgCO2eq/an]	3519,12	1003,1
TOTAL GAIN [kWh/m²]	60,1124498	
TOTAL EMISSIONS [kgCO2eq/m²]	9,080763052	

Performance en mode « warm »	ComfoAir 70	ComfoSpot 50
Nombre	6	2
Consommation électrique [kWh/an.unité]	263	317
Energie sauvée [kWh/an.unité]	1870	1739
Gain énergétique [kWh/an] ((sauvé - elec)*nb unité)	9642	2844
Gain émissions CO2 [kgCO2eq/an]	1160,46	275,71
TOTAL GAIN [kWh/m²]	25,07228916	
TOTAL EMISSIONS [kgCO2eq/m²]	2,883875502	

Annexe 9 : Surface disponible pour la mise en place de panneaux photovoltaïques



⇒ Aire du pan de toiture : 35.75m²



⇒ Surface panneaux solaires possible : 15m²