



MAITRISE D'OUVRAGE



MAITRE D'OUVRAGE
CCI Marne Ardennes
12 rue André Huet CS 60025 | 51722 Reims Cedex
+33 6 45 45 29 20

OPÉRATION

OPTIMISATION ENERGETIQUE BATIMENT RACCINE



Etude d'amélioration des performances énergétiques du bâtiment RACCINE

MAITRISE D'OEUVRE

BET TCE
OTEIS
6 Place du roi George 57000 Metz
Tel :
metz@oteis.fr



INDICE	DATE	OBJET	EMETTEUR	APPROBATEUR
0	11/04/2024	Création du document	L.ECH	JBC



SYNTHESE

Dans cette étude, l'utilisation de simulations thermiques dynamiques a permis de mettre en évidence l'état existant du bâtiment RACCINE avec une utilisation à 100% des locaux. Cette étude initiale a permis d'étudier plusieurs scénarios d'amélioration afin d'optimiser les consommations du bâtiment et d'améliorer le confort estival des usagers.

Sur la base des données d'entrées indiquées dans ce document et de la capacité du logiciel utilisé, les besoins du bâtiment obtenus par l'état initial atteignent :

- En chauffage **977 MWh/an**, soit **144 kWh/m²/an** (pour une surface de plancher de 6 799 m²).
- En refroidissement **40 MWh/an**, soit **6 kWh/m²/an** (pour une surface de plancher de 6 799 m²).

Le confort bioclimatique actuel se caractérise par les points suivants :

- Les consignes de chauffage sont respectées dans l'ensemble. Néanmoins, l'absence de GTC fonctionnelle impacte fortement les consommations de chauffage du bâtiment.
- Le confort estival est globalement assuré grâce au système de climatisation, néanmoins, sur les zones exposées, le seuil de 26°C est souvent dépassé en été : **275 h > 26°C** dans la zone d'étude orientée Sud au R+5 ;
- Le confort hygrothermique est respecté dans la globalité du bâtiment avec un bon renouvellement de l'air hygiénique.

Les charges solaires sur les baies vitrées de façade sont importantes et participent à l'inconfort estival de locaux exposés.

L'étude a mis en évidence plusieurs pistes d'améliorations, dont la mise en œuvre d'interventions fondamentales. Nous préconisons la mise en place des interventions suivantes :

- Isolation thermique de l'ensemble du bâtiment, notamment des parties non isolées en porte-à-faux, afin de réduire l'influence des ponts thermiques ;
- Remplacement des menuiseries pour des menuiseries de coefficient de résistance thermique d'au moins 1,3 W/K.m² et d'un facteur solaire de moins de 0,4 ;
- Diminution des surfaces vitrées, en étudiant la possibilité de diminuer les surfaces vitrées au Sud-Ouest et Sud-Est à hauteur de 20% de la surface de façade ;
- Mise en place de protections solaires efficaces sur les vitrages exposés Sud, type brises soleils ;
- Remise en marche de la GTC et de la PAC.

Afin de compléter ces mesures, il sera possible d'améliorer les performances du bâtiment par la mise en place de ventilation double flux avec échangeur.

L'étude solaire du site permet de remarquer un potentiel d'autoconsommation d'énergie produite par panneaux PV sur toiture-terrasse ou en forme d'ombrières sur parking. Cette dernière solution permet d'améliorer le retour sur investissement des installations dites « fondamentales » que présente la solution 4, passant de 34 à 30 années de retour sur investissement.



SOMMAIRE

1	AVANT PROPOS	8
1.1	Objet de l'étude	8
1.1.1	Logiciel utilisé pour la STD	8
1.1.2	Validité de l'étude	8
1.2	Etat des lieux	8
1.2.1	Présentation du bâtiment étudié	8
1.2.2	Présentation des ressources et diagnostics existants	9
1.3	Contexte réglementaire	10
1.3.1	Définitions	10
1.3.2	Concernant les parkings existants	11
2	DIAGNOSTIQUE DE L'EXISTANT	12
2.1	Structure et enveloppe thermique	12
2.2	Chauffage	15
2.2.1	Description des installations	15
2.2.2	Etat des installations	16
2.3	Refroidissement	16
2.4	Ventilation	16
2.4.1	Centrale de traitement de l'air (CTA)	16
2.4.2	Distribution de chaleur et fraîcheur	17
2.4.3	État des installations	17
2.5	ECS	18
2.6	Sécurité incendie	18
2.7	Diagnostic amiante	18
2.8	Acoustique	18
3	SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE	19
3.1	Présentation de l'approche STD	19
3.1.1	Objectifs des simulations thermiques dynamiques et indicateurs	19
3.1.2	Les outils de simulation numérique	20
3.2	Etat des lieux	22
3.2.1	Contexte et masques urbains	22
3.2.2	Plan masse solaire	22
3.2.3	Données état existant : Bâti et enveloppe	22
3.3	Etude météorologique	24
3.3.1	De l'importance de la bonne sélection du fichier météorologique	24
3.3.2	Températures	25
3.3.3	Histogramme des températures	25
3.3.4	Caractéristiques du lieu d'étude	26
3.4	Zones thermiques étudiées et modèle 3D	27
3.4.1	Sources des informations	27
3.4.2	Zones et typologies étudiées	27
3.4.3	Typologie de ponts thermiques	27



3.5	Hypothèses d'usage	33
3.5.1	Apports internes	33
3.5.2	Actions adaptatives des occupants sur leur confort	33
3.5.3	Scénario d'occupation et d'utilisation des équipements électriques	34
3.5.4	Hypothèses des ponts thermiques	35
4	RESULTATS DE SIMULATION DES BESOINS ENERGETIQUES	37
4.1	Comportement global du bâtiment	38
4.1.1	Exposition au soleil	38
4.1.2	Consommations du bâtiment	40
4.1.3	Déperditions thermiques	41
4.2	Variation des températures interieures	42
4.2.1	Bureau orienté sud au niveau R+5 – fichier météo 2010-2019	42
5	SCENARIOS D'AMELIORATION DU CONFORT THERMIQUE ET DES BESOINS ENERGETIQUES	47
5.1	Solution 1 : Enveloppe thermique	47
5.1.1	Façade tour : menuiserie	47
5.1.2	Façade tour : bardage	48
5.1.3	Nappe : menuiserie	50
5.1.4	Nappe et entresol : ITE avec enduit	50
5.1.5	Tour : Isolation des combles perdus	51
5.1.6	Isolation ITE sous face RdC	51
5.1.7	Isolation ITE sous face R+1	51
5.1.8	Isolation de la salle de sport	51
5.2	Solution 2 - 1 : Ajout de brises soleil verticaux orientables manuellement	51
5.3	Solution 2 - 2 : Ajout de brises soleil fixes	52
5.4	Solution 3 - 1 : Remplacement de la GTC et de la PAC	52
5.5	Solution 3 - 2 : Remplacement de la GTC et curage des réseaux de chauffage et climatisation pour l'installation d'un réseau de VRV	53
5.6	Solution 4 - 1 : Cumul des solutions 1, 2 - 1 et 3 - 1	53
5.7	Solution 4 - 2 : Cumul des solutions 1, 2 - 2 et 3 - 1	53
5.8	Solution 4 - 3 : Cumul des solutions 1, 2 - 1 et 3 - 2	53
5.9	Solution 5 : Remplacement de la CTA par du Double flux avec échangeur	54
5.10	Solution 6 : Mise en place d'une PAC reversible	54
5.11	Solution 7 : Cumul des solutions 5 et 6	54
5.12	Comportement de la zone thermique d'étude – Fichier meteo moyen 2010-2019 été chaud-	
	solution 6	55
6	ETUDE SOLAIRE	56
6.1	Préambule	56
6.1.1	Objet de l'étude	56
6.2	analyse du site	56
6.2.1	Ensoleillement sur la France	56
6.3	Contexte financier	57
6.3.1	Tarif d'achat	57
6.3.2	Aides financières mobilisables	58
6.4	des consommations	59
6.5	Analyse du site	59



6.6	Etude de faisabilité – Solution 8 : Panneau solaire en support de la toiture terrasse	62
6.6.1	Information générale sur l'installation	62
6.6.2	Autoconsommation Bâtiment existant.....	62
6.6.3	Autoconsommation bâtiment rénové	66
6.7	Etude de faisabilité – Solution 9 : Ombrières sur toutes les places de parking.....	70
6.7.1	Autoconsommation BATIMENT EXISTANT	70
6.7.2	Autoconsommation BATIMENT RENOVE.....	74
6.8	Etude de faisabilité – Solution 10 : Ombrières à plus de 70% d'autoconsommation	77
6.8.1	Autoconsommation : Bâtiment existant.....	77
6.8.2	Autoconsommation : Bâtiment rénové selon la solution #4	80
7	TABEAU DE SYNTHESE DE L'ETUDE DETAILLEE	85
8	PROPOSITIONS FINALE.....	87
8.1	presentation de l'étude	87
8.1.1	Variantes	87
8.1.2	Hypothèses – équipements de CVC.....	87
8.2	Tableau de synthèse des resultats.....	89
9	ESTIMATION FINANCIERE.....	92
9.1	Aides financières mobilisables – certificats d'économies d'énergie	93
9.1.1	Les principes du dispositif.....	93
9.1.2	Interventions éligibles aux CEE	93
9.2	Analyse financière de l'ensemble des solutions.....	94
9.3	Analyse financière de la sélection de solutions.....	96
9.4	Indicateurs financiers	97
9.4.1	Propositions finales.....	98
9.4.2	Détail des solutions étudiées en amont	99
9.4.3	État existant.....	101
9.4.4	Sélection finale 1	102
9.4.5	Sélection finale 2	103
9.4.6	Sélection finale 3	104
9.4.7	Sélection finale 4	105
9.4.8	Solution 1.....	106
9.4.9	Solution 2-1	107
9.4.10	Solution 2-2	108
9.4.11	Solution 3-1	109
9.4.12	Solution 3-2	110
9.4.13	Solution 4-1	111
9.4.14	Solution 4-2	112
9.4.15	Solution 4-3	113
9.4.16	Solution 5.....	114
9.4.17	Solution 6.....	115
9.4.18	Solution 7.....	116
9.4.19	Solution 8.....	117



9.4.20	Solution 9.....	118
9.4.21	Solution 10.....	119
9.4.22	Solution 10 - Climaxion.....	120
ANNEXE 1 : PLAN DE SYNTHESE EN VUE DE COUPE DES TRAVAUX D'ISOLATION DES PAROIS		121



1 AVANT PROPOS

Le présent rapport analyse les résultats issus du calcul de simulation thermique dynamique (STD) du bâtiment RACCINE de la chambre du commerce et de l'industrie (CCI) Marne Ardennes.

1.1 OBJET DE L'ETUDE

Ce rapport a pour objectif de faire l'état de la performance énergétique actuelle du bâtiment RACCINE d'après un calcul de STD. L'étude doit permettre au maître d'ouvrage de définir un programme d'action cohérent permettant de minimiser les consommations énergétiques et d'atténuer efficacement les phénomènes de surchauffe dans les différents espaces.

Pour répondre à cette problématique, la Simulation Thermique Dynamique (STD) sera utilisée.

Ce rapport présente l'état des lieux du comportement thermique du bâtiment, l'approche STD ainsi que les hypothèses prises en compte et les résultats pour le bâtiment RACCINE. On développera en conclusion les pistes d'amélioration du bâtiment.

1.1.1 Logiciel utilisé pour la STD

L'étude de l'état existant ainsi que l'étude des différents scénarios seront réalisés grâce à Pléiades de IZUBA énergies en version 6.24.1.2.

1.1.2 Validité de l'étude

L'ensemble des préconisations décrites dans cette étude doivent être respectées. Toute modification entraînera la remise en cause des calculs.

1.2 ETAT DES LIEUX

L'état des lieux suivant s'appuie sur les documents et informations fournis par la MOA ainsi que d'une visite de site ayant eu lieu le 25 janvier 2024, sur constats visuels.

1.2.1 Présentation du bâtiment étudié

Le bâtiment RACCINE, situé au N°12, rue André Huet à Reims – 51000, a été construit en 1972 et a été acquis en 2021 par le SCI Immobilière Marnaise. Des travaux de rénovation du RDC ont été achevés en juillet 2022.

Notons que le bâtiment est actuellement occupé à 50% de sa capacité d'accueil.

Le bâtiment est composé d'un bâtiment de 9 étages, divisé en 2 secteurs aux exploitations distincts : la nappe située au RDC, qui est une zone de bureaux exploitée par la CCI et la tour qui s'élève sur 6 étages, ruche d'entreprises, vacante à l'heure actuelle (*voir figure ci-dessous*). On compte aussi un bâtiment annexe abritant la chaufferie.



Figure 1 : Plan de masse

Le bâtiment principal comprend les espaces aux usages suivants :

- R-1 : Espace de stockage et locaux techniques ;
- RDC : bureaux, salles de réunions ;
- Entresol : Circulation vers la tour, salle de détente, salle de réunion ;
- R+1 : Bureaux, salles de réunion ;
- R+2 : Bureaux ;
- R+3 : Bureaux ;
- R+4 : Bureaux ;
- R+5 : Bureaux ;
- R+6 : Combles inoccupés.

1.2.2 Présentation des ressources et diagnostics existants

Les ressources mises à disposition par le maître d'ouvrage et qui ont pu servir à cette étude thermique sont les suivantes :

- Plans architecturaux du site ;
- DOE des installations CVC ;
- Visite de site du 25/01/2024 ;
- Audit énergétique réalisée par CITRON en septembre 2023 ;
- Relevé des consommations de gaz et d'électricité du site.



1.3 CONTEXTE REGLEMENTAIRE

La rénovation des bâtiments de bureaux est encadrée par le décret tertiaire et du décret BACS, découlant du décret tertiaire.

1.3.1 Définitions

1.3.1.1 Décret tertiaire

Le décret s'adresse aux propriétaires et locataires de bâtiments tertiaires. Sont concernés, tous les bâtiments ou locaux d'activité à usage tertiaire et dont la surface d'exploitation est supérieure ou égale à 1 000 m².

La superficie prise en compte peut être cumulative si le bâti héberge plusieurs entreprises, ou si le site est composé de plusieurs bâtiments. Les constructions provisoires, lieux de culte et bâtiments de défense, sécurité civile ou sécurité intérieure du territoire en sont exempts.

La réglementation exige une réduction de la consommation d'énergie finale en appliquant une des deux méthodes présentées à l'article L 111-10-3 du code de la construction et de l'habitation :

- Réduire de 40% d'ici 2030, 50% d'ici 2040, et 60% d'ici 2050 la consommation énergétique finale du bâtiment, par rapport à une année de référence qui ne peut être antérieure à l'année 2010 ;
- Ou, atteindre un niveau de consommation énergétique fixé en valeur absolue pour chaque type d'activité.

Pour atteindre ces objectifs, différentes actions peuvent être mises en place par les propriétaires et preneurs à bail :

- Améliorer la performance énergétique des bâtiments ;
- Installer des équipements performants et mettre en place des dispositifs de contrôle et gestion active de ces appareils ;
- Faire évoluer le comportement des occupants.

À noter : il est permis de mutualiser l'obligation de réduction des consommations sur plusieurs sites. Des mesures particulières ont également été prévues en cas de cessation ou changement d'activité, de contraintes architecturales du bâtiment (monuments historiques, sites classés...), ou si les coûts sont disproportionnés par rapport aux bénéfices attendus. Dans ce cas, une argumentation technique et financière devra être transmise aux autorités responsables.

1.3.1.2 Décret BACS

Entré en vigueur le 21 juillet 2021, le Décret BACS émanant du Décret Tertiaire, impose aux propriétaires de bâtiments tertiaires neufs ou existants, disposant de systèmes de chauffage ou de climatisation dont les équipements ont une puissance nominale supérieure à 290 kW (pour l'échéance de 2025) ou supérieure à 70 kW (pour l'échéance de 2027), d'installer un système de pilotage énergétique.

Les équipements concernés par le Décret BACS sont le chauffage, la climatisation ainsi que la ventilation. Les bâtiments tertiaires devront alors installer un système de GTB (Gestion Technique du Bâtiment) d'ici le 1^{er} janvier 2025 pour les bâtiments dont la puissance nominale dépasse 290 kW et d'ici le 1^{er} janvier 2027 pour les bâtiments dont la puissance nominale dépasse 70 kW.

La Gestion Technique du Bâtiment (GTB) est la solution la plus pertinente pour répondre au décret. La GTB devra être de classe A ou B selon la norme NF EN ISO 52120-1 : 2022



Classe A	Classe B	Classe C
<i>GTB à performance énergétique supérieure</i>	<i>GTB évoluée</i>	<i>GTB standard</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Automatisation d'ambiance en réseau avec saisie automatique des besoins, - Maintenance périodique régulière, - Monitoring énergétique mensuel - Optimisation énergétique durable par des spécialistes formés. 	<ul style="list-style-type: none"> - Automatisation d'ambiance en réseau avec régulation individuelle en fonction des besoins, - Monitoring énergétique annuel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Automatisation des installations primaires en réseau, - Sans automatisation d'ambiance électronique telle que les vannes thermostatiques sur les radiateurs, - Sans monitoring énergétique

➔ Notons que la classe D n'est pas éligible au décret BACS et donc non exposée ici.

1.3.2 Concernant les parkings existants

1.3.2.1 Ombrières sur parking existant : LOI n°2023-175 du 10 mars 2023

Sont concernés les parcs de stationnement extérieurs supérieurs à 1 500 m² existants au 01 Juillet 2023, ou ceux dont la demande de construction est déjà validée au 01 Juillet, ou les nouveaux parcs qui dérogent à l'article 171.4.

Ces derniers doivent se voir équiper, sur au moins 50% de leur superficie, d'ombrières de parking. Ces ombrières doivent permettre la production d'énergie renouvelable sur la totalité de leur partie supérieure assurant l'ombrage.

L'article 40 prévoit par ailleurs un certain nombre d'exceptions. Notons aussi qu'entre parcs adjacents, il existe la possibilité de mutualiser les installations pour atteindre les objectifs des deux parcelles.

Les délais d'application de la loi dépendent de plusieurs facteurs :

Si le parc est géré en concession ou en délégation de service public, l'article doit être appliqué quelque part entre 2026 et 2028, en fonction des dates d'attribution ou de renouvellement desdites concessions.

Si le parc n'est pas géré ni en délégation de service public :

- 1er Juillet 2026 si superficie supérieure ou égale à 10 000 m²
- 1er Juillet 2028 si superficie entre 1 500 m² et 10 000 m²

1.3.2.2 Bornes de recharge pour véhicules électriques : Loi n° 2019-1428 du 26 décembre 2019 d'Orientation des Mobilités (LOM)

La loi LOM impose un pré-équipement en vue de l'installation de bornes de recharge publiques sur les places de stationnement disponibles des bâtiments tertiaires, commerces et cinémas.

Pour les bâtiments tertiaires, industriels et de service public :

- Si le parking possède jusqu'à 40 places : 10 % des places de stationnement, et au minimum une place, doivent être équipées de bornes électriques ;
- Si le parking possède plus de 40 places : 20 % doivent avoir des bornes de recharges.



2 DIAGNOSTIQUE DE L'EXISTANT

2.1 STRUCTURE ET ENVELOPPE THERMIQUE

Bâtiment NAPPE

Bâtiment à simple rez-de-chaussée surélevé sur un sous-sol en béton armé. La façade rez-de-chaussée vient en débord par rapport à l'emprise du sous-sol. Nous remarquons l'absence d'isolant thermique en sous-face de dalle.



Figure 2 : Bâtiment NAPPE - Vue du débord de dalle RdC

La structure est métallique avec un plancher sous terrasse réalisé en bac acier et dalle béton (à confirmer par une dépose de dalles de faux-plafond), selon principe constructif de la Tour. Des poteaux métalliques de section carrée, sur une trame de 4x1.60m forment la structure verticale.

Les façades sont réalisées avec un mur rideau comprenant une allège opaque et un couronnement revêtu de bardage métallique, des menuiseries toute hauteur fixes avec déparclosage par l'extérieur.

Sur patio intérieur, les menuiseries reposent sur une allège en béton armé.



Figure 3 : Bâtiment NAPPE – Vue sur patio intérieur

L'isolation thermique de la toiture terrasse a été refaite il y a une vingtaine d'année par l'apport de 50mm d'isolant et conservation de l'étanchéité existante. Protection par gravillons. Un garde-corps périphérique fixe a été ajouté en périphérie de terrasse non accessible.

Bâtiment TOUR

Bâtiment en R+6 avec entresol, avec le niveau 6 étant un étage technique.

Les niveaux RdC et entresol constituent un noyau en béton armé qui se prolonge jusqu'au PH R+5. Une structure en PRS de hauteur d'étage couronne l'ensemble et assure un rôle de console. Les planchers courants, hors noyau, ont une structure en charpente métallique avec bac acier et dalle béton armé. La structure des planchers est suspendue aux consoles du R+6 par des profilés IPE 160 répartis selon une trame d'1.60m. Cette trame correspond à la trame de façade. Une structure treillis complète les PRS du niveau R+6.

Nous notons la présence d'un lit de laine de verre, réparti sur le plancher. Ce lit est localement comprimé, ce qui nuit à son efficacité.



Figure 4 : Combles Tour



Les façades sont réalisées avec un mur rideau filant devant les nez de dalle et comprenant une allège opaque de 0.45m. La hauteur intérieure sous structure métallique est de 2.80m environ.

Une lisse garde-corps intérieurs assure la protection contre les chutes. Cette lisse est remplacée par une allège fixe de 1m au droit des ouvrants de désenfumage.



Figure 5 : Tour – Niveau R+6 - Vue intérieure des combles



Le nettoyage des façades vitrées est assuré par une nacelle sur chemin de roulement métallique situé en terrasse R+7.



Figure 6 : Tour – Niveau Terrasse R+7

La terrasse supérieure est étanchée par étanchéité multicouche posée sur bac acier dont une partie en pente. Un garde-corps périphérique fixe a été ajouté en périphérie de terrasse non accessible.

MENUISERIES EXTERIEURES

Les menuiseries extérieures en aluminium double vitrage datent de la construction du bâtiment. Leur efficacité thermique est donc inférieure aux exigences actuelles en rénovation de l'enveloppe du bâtiment et présente des défauts d'étanchéités à l'eau et à l'air.

2.2 CHAUFFAGE

2.2.1 Description des installations

Le bâtiment présente des équipements de chauffage diversifiés, combinant plusieurs sources de chauffage.

Une chaufferie, située dans un bâtiment annexe, assure la production de chaleur pour le bâtiment. Elle est dotée d'une production de chauffage mixte, comprenant une pompe à chaleur (PAC) fonctionnant jusqu'à 7°C, ainsi que deux chaudières à gaz qui prennent le relais lorsque la température descend en dessous de ce seuil.

L'émission de chaleur dans les bureaux se fait par l'intermédiaire de gainables en faux plafond en bon état. Les gainables d'origine sont remplacés progressivement par des ventilo-convecteurs de la marque Carrier.

Équipement	Détail	Marque	Modèle	Puissance
Chaudière	Gaz basse température	VISSMAN	Vitoplex	500 kW



Chaudière	Gaz à condensation	VISSMAN	Viocrossal	635 kW
Pompe à chaleur	Air/eau	-	-	590 à 660 W
Pompes à débit constant	Circulation d'eau chaude/glacée	Divers	Divers	0,59 à 1,5 kW
Distribution par ventilo-convecteur	Toutes zones	CARRIER		

2.2.2 Etat des installations

Lors de notre visite sur place, des flaques d'eau dans les locaux techniques, probablement dues à des fuites ou des problèmes de drainage ont été observées.

De plus, d'après un rapport ENGIE, un problème de communication entre la PAC et les chaudières à gaz empêchent la mise en marche de la PAC. Toute la charge de chauffage se déporte sur les chaudières à gaz, entraînant une surconsommation énergétique sur la facture de gaz et un impact carbone du bâtiment plus important.

Dans la simulation, on considérera que la production de chauffage se fait uniquement par les chaudières gaz.

Par ailleurs, les pièces chauffées sont contrôlées individuellement et manuellement, ce qui peut entraîner des écarts de température et des pertes d'énergie sur l'ensemble des locaux.

La gestion technique du bâtiment (GTB) est hors service, ce qui signifie que tout est en fonctionnement forcé et qu'il n'est plus possible de réguler la température en dehors des heures de travail. Cette situation contribue à une augmentation significative des consommations énergétiques, car les systèmes de chauffage et de refroidissement fonctionnent en continu sans ajustement en fonction des besoins réels.



2.3 REFROIDISSEMENT

Le système de refroidissement était assuré par une PAC en production de froid. Cette installation présente néanmoins des défauts de fonctionnement constatés depuis l'emménagement du maître d'ouvrage sur site en 2022. Le refroidissement est donc assuré actuellement par un système provisoire assurant toute la charge de production de froid.

L'eau glacée passe ensuite dans les réseaux pour refroidir l'air dans les ventilo-convecteurs.

2.4 VENTILATION

2.4.1 Centrale de traitement de l'air (CTA)

Le bâtiment est équipé :

- D'un local CTA double flux en sous-sol de la salle de réunion du rez-de-chaussée,
- Un autre local CTA double flux avec échangeur pour le renouvellement d'air de la salle de sport.
- Une troisième CTA double flux assure le traitement d'air, chauffage et climatisation de l'accueil.



Une VMC de soufflage simple flux est utilisée pour les bureaux du rez-de-chaussée, avec une extraction d'air non contrôlée par mise en surpression de la zone.

Une VMC simple flux est présente au 6e étage pour le renouvellement d'air des bureaux de la partie tour.

Enfin, deux caissons d'extraction sont présents en toiture en R+6.

N°	Equipement	Zone desservie	Echangeur : oui/non	Nombre	Usage
1	VMC – simple flux	Bureaux – RDC	non	1	Traitement de l'air
2	VMC – simple flux	Accueil – RDC	non	1	Traitement d'air/chauffage/climatisation
3	VMC – simple flux	De l'entresol au R+5	non	1	Traitement d'air
4	CTA – double flux	Salle de réunion - RDC	non	1	Traitement d'air/chauffage/climatisation
5	CTA – double flux	Salle de réunion - entresol	non	1	Traitement de l'air
6	CTA – double flux	Salle de sport – sous-sol	oui	1	Traitement de l'air
7	Caisson de reprise	Sanitaire de la tour	non	1	Extraction d'air
8	Caisson de reprise	Bureaux de la tour	non	1	Extraction d'air

2.4.2 Distribution de chaleur et fraîcheur

La distribution d'air chaud/froid se fait par un réseau de ventilo-convecteurs alimentés par un réseau d'eau chaude et d'eau glacée. Un recyclage de l'air ambiant est réalisé par le biais des ventilo-convecteurs.

2.4.3 État des installations

Le réseau est bien calorifugé, cependant quelques reprises ponctuelles devront être réalisées. Au cours de la visite des défauts d'isolation des gaines de ventilation ont été identifiés ainsi que des percements non rebouchés à l'emplacement d'anciennes sondes de température (voir figure ci-dessous).





En outre, la **GTB est complètement hors service**, ce qui signifie que tous les systèmes sont en mode de fonctionnement forcé. Cette absence de régulation, en dehors des heures de travail, contribue à une surconsommation d'énergie considérable, car les équipements continuent de fonctionner même lorsque cela n'est pas nécessaire.

Un autre problème concerne le système de production de froid, qui dysfonctionne fréquemment d'après les occupants. Cette panne peut entraîner une surchauffe des espaces climatisés et un inconfort pour les occupants.



2.5 ECS

L'alimentation en eau chaude sanitaire se fait par le biais de chauffe-eau électriques, les capacités et emplacements des ballons sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Emplacement	Effectifs	Type de chauffe-eau	Capacité
Sous-sol	1	CE	200 L
RDC	3	CE instantané	15 L
Entresol à R+5	6	CE	50L

2.6 SECURITE INCENDIE

L'instabilité au feu a été compensé par une détection incendie en plénum sur l'ensemble du bâtiment. Ce système est donc à conserver pour garantir la conformité du bâtiment.

2.7 DIAGNOSTIC AMIANTE

Présence d'amiante avérée dans les joints de la façade mur rideau des bâtiments Tour et Nappe.

2.8 ACOUSTIQUE

Au regard du site, nous n'avons pas relevé d'exigences vis-à-vis des infrastructures routières.

Les bureaux situés en façade Nord-Est, à proximité des équipements de climatisation, sont susceptibles de requérir une isolation acoustique en façade supérieure à 30dB.



3 SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

3.1 PRESENTATION DE L'APPROCHE STD

Les outils de simulation et la démarche adoptée sont présentés dans cette partie, avant une description exhaustive des données d'entrée.

3.1.1 Objectifs des simulations thermiques dynamiques et indicateurs

La simulation thermique dynamique réalisée a pour objectif d'étudier l'influence actuelle du bâtiment, combinée au comportement des occupants, sur leur confort hygrothermique estival d'un côté et sur le maintien de la température de consigne dans les espaces musées de l'autre côté.

Le confort hygrothermique estival est évalué dans différentes zones et pour différentes variantes, via 2 critères :

- La **température opérative** : moyenne de la température d'air et de la température moyenne radiante de la zone thermique. Elle représente la température ressentie par les occupants. Le seuil de confort d'été est fixé à 28°C. 2 indicateurs découlent de ce critère :
 - **Le nombre d'heures d'inconfort (Top > 28°C) durant les périodes d'occupation.** L'objectif de confort visé est de maintenir ce nombre d'heure d'inconfort inférieur à 90h / an dans les locaux étudiés.
 - **La température opérative maximale en période d'occupation (Top_max).** Pour les années météorologiques chaudes avec des périodes caniculaires, Top_max < 34°C est un objectif de confort passif à viser.

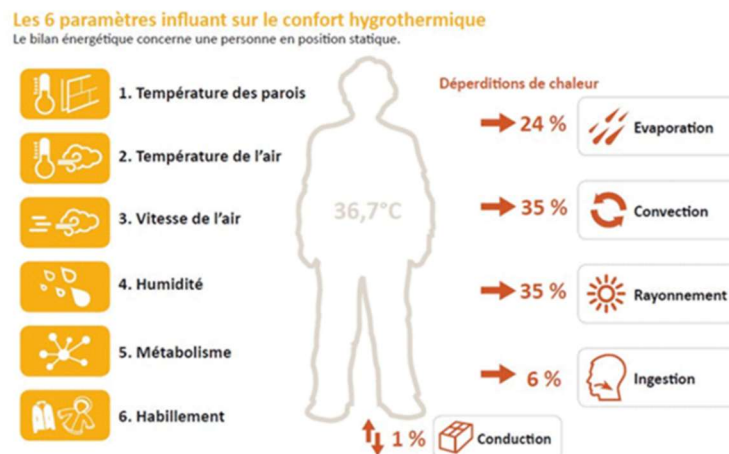


Figure 7 : Les 6 Paramètres influant le confort hygrothermique

- Les **zones de confort hygrothermique du diagramme de Givoni** : diagramme représentant les heures d'occupation par des points dont la température d'air est en abscisse, et l'humidité absolue en ordonnée. Contrairement à l'indicateur de température opérative, ces zones de confort correspondent à différentes vitesses d'air (0, 0.5, 1m/s), et permettent ainsi de prendre en compte l'influence des mouvements d'air, autres paramètres influant sur le confort hygrothermique. Une vitesse d'air de 1 m/s peut abaisser la température ressentie par les occupants jusque 4°C. Ces mouvements d'air peuvent être potentiellement créés par la



ventilation naturelle ou des brasseurs d'air au plafond. Ce dispositif mécanique économe en énergie permet de maîtriser la vitesse d'air à un niveau inférieur de 1m/s, au-delà duquel des nuisances peuvent être remarquées.

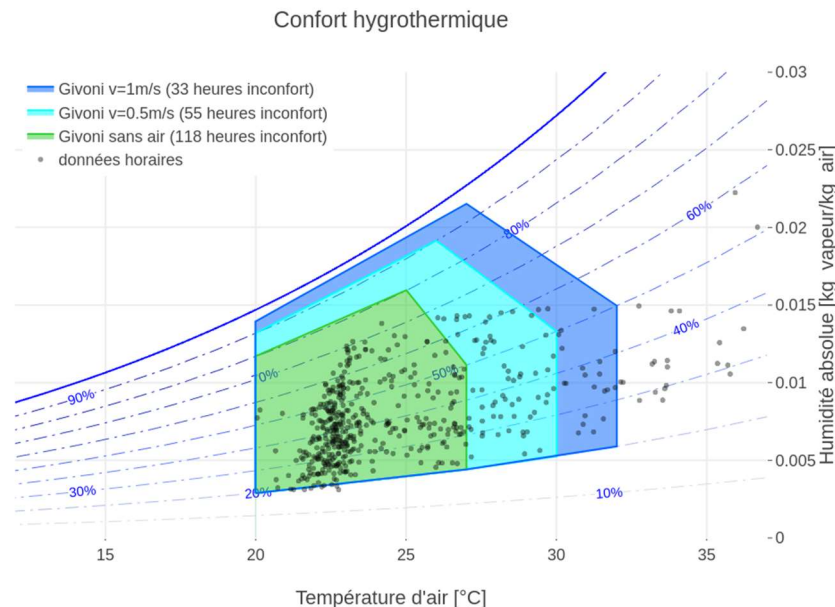


Figure 8 : Exemple de Diagramme de Givoni avec les 3 zones de confort correspondant aux vitesses d'air 1m/s, 0.5 m/s et 0 m/s

3.1.2 Les outils de simulation numérique

Les outils de simulation font appels à l'utilisation de modèles, qui sont des représentations numériques simplifiées de systèmes ou de phénomènes physiques réels, décrits par un ensemble d'équations et interprétés par les outils informatiques. La complexité et la finesse des modèles varient en fonction de ce que l'on cherche à observer. Les modèles permettront de simuler le comportement du système sous différentes sollicitations, et d'établir ainsi des lois de fonctionnement prévisionnelles qui aideront l'optimisation de sa conception.

3.1.2.1 La simulation thermique dynamique des bâtiments

La thermique des bâtiments s'appuie sur des modèles validés, qui réalisent des simulations "déterministes". Celles-ci permettent de prévoir le comportement thermique des bâtiments via des évolutions temporelles de température, d'humidité, de flux de chaleur... et ce, pour des sollicitations météorologiques et des séquences d'occupation données.

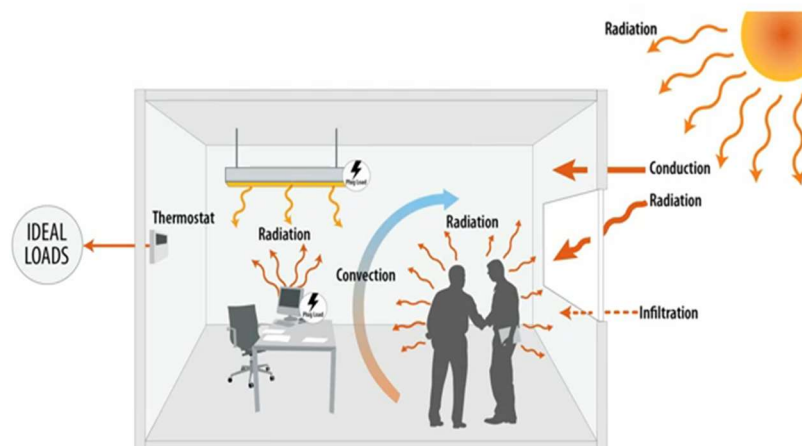


Figure 9 : Phénomènes physiques qui seront intégrés au modèle. (Source NREL)

Les modèles décrivant le comportement thermique dynamique des bâtiments permettent de mieux comprendre et de concevoir l'enveloppe passive du bâti en vue d'obtenir de moindres consommations énergétiques et un plus grand confort. Concevoir un bâtiment économe, confortable et rationnel, nécessite de réaliser de nombreuses simulations pour balayer le champ des possibles et converger peu à peu vers une solution acceptable.

L'utilisation des outils de simulation garantit de fait des solutions techniques et architecturales sûres et efficaces qui assurent des consommations énergétiques conformes aux exigences du client.

3.1.2.2 Approche numérique des modèles énergétiques

Deux maquettes distinctes ont été réalisées pour chaque bâtiment étudié. Un bureau défavorable (orientation Sud-ouest au dernier niveau de chaque bâtiment) sera étudié en termes de confort estival dans chaque bâtiment. On étudiera aussi un espace dans la zone musée de l'hôtel particulier au R+1.

Les bâtiments sont ensuite simulés numériquement avec deux fichiers météo (voir chapitre 3.2) en considérant des scénarios d'occupation et d'usage typique.

3.1.2.3 Choix du logiciel

Les études sont réalisées avec le logiciel Pléiades version 6.24.1.2.



3.1.2.4 Note importante sur la validité de la STD

Les données d'entrée des modèles délimitent le cadre de validité des résultats obtenus par la simulation thermique dynamique. L'information tirée des résultats obtenus par simulation est limitée au cadre des hypothèses réalisées lors de l'élaboration du modèle.



3.2 ETAT DES LIEUX

3.2.1 Contexte et masques urbains


Les bâtiments voisins font l'objet de masque solaire pour le bâtiment et sont pris en compte.

Les arbres situés dans la cour ont été pris en compte. Néanmoins, leur taille ne dépassant pas la hauteur du RDC, ils n'auront pas une grande influence sur le bâtiment étudié.

Les arbres sont définis par des caractéristiques physiques et des caractéristiques de végétalisation définies précédemment en bibliothèque générale de Pleiades. Les caractéristiques physiques sont les suivantes :

- La hauteur du tronc
- La largeur du tronc
- La hauteur du feuillage
- Le diamètre du feuillage.

Cette transmission a été caractérisée par AIA Ingénierie sur l'opération du Lieu totem de la French Tech à Lyon. La caractérisation a été réalisée en fonction de l'essence des arbres, de leur âge, et de la saison (voir Figure 8).



Type arbre	Feuillage	Age	Taux transmission Eté	Taux transmission Mi-saison	Taux transmission Hiver
Peuplier	Caduque	Jeune	0,38	0,55	0,71
		Adulte	0,21	0,45	0,69
		Vieux	0,17	0,33	0,50
Aulne	Caduque	Jeune	0,29	0,51	0,74
		Adulte	0,19	0,35	0,52
		Vieux	0,17	0,36	0,55
Saule	Caduque	Jeune	0,45	0,68	0,90
		Adulte	0,14	0,29	0,43
		Vieux	0,12	0,35	0,57

Figure 10 - Coefficient de transparence du feuillage des arbres - source : étude du lieu totem de Lyon French Tech avec AIA Ingénierie

Nous avons modélisé dans notre simulation les données correspondant à un aulne d'âge adulte.

3.2.2 Plan masse solaire

Le bâtiment est situé dans une zone d'activité commerciale et ne présente pas de bâtiment alentour susceptible de former des masques solaires.

3.2.3 Données état existant : Bâtis et enveloppe

3.2.3.1 Parois opaques

Les caractéristiques thermiques des parois opaques sont détaillées dans le tableau ci-dessous :



Bâtiment RACCINE									
Elements opaques									
n°	Désignation de l'élément	Composition	Epaisseur [m]	Valeur a [W/m².K]	Valeur λ [W/m.K]	Valeur R [m².K/W]	Valeur U [W/m².K]	Cp [J/kg.K]	Densité [kg/m³]
1	Paroi extérieure isolée		0,248			0,68	1,47		
		Extérieur	-	23					
		Enduit extérieur	0,015		1,15	0,01		1000	1700
		Béton lourd	0,2		1,75	0,11		920	2300
		Polystyrène expansé	0,02		0,039	0,51		1380	25
		Plaque de plâtre BA13	0,013		0,325	0,04		799	850
		Intérieur	-	8					
2	Paroi extérieur non isolée		0,363			0,28	3,51		
		Extérieur	-	23					
		Enduit extérieur	0,15		1,15	0,13		1000	1700
		Béton lourd	0,2		1,75	0,11		920	2300
		Plaque de plâtre BA13	0,013		0,325	0,04		799	850
		Intérieur	-	8					
3	Paroi intérieure - cloison semi-épaisse	Ep. Variable				R variable	U variable		
		Intérieur	-	8					
		Béton lourd	épaisseurs variable [8 ; 22 cm]		1,7	[0,05 ; 0,13]	[20 ; 7,7]	1000	2300
		Intérieur	-	8					
5	Plancher bas sur sous-sol / TP		0,3			0,17	5,83		
		Extérieur	-	23					
		Béton lourd	0,3		1,75	0,17		1000	2300
		Intérieur	-	8					
6	Plancher bas sur extérieur		0,2			0,11	8,75		
		Extérieur	-	23					
		Béton lourd	0,2		1,75	0,11		1000	2300
		Intérieur	-	8					
7	Plancher intermédiaire		0,2			0,11	8,75		
		Intérieur	-	8					
		Béton lourd	0,2		1,75	0,11		1000	2300
		Intérieur	-	8					
8	Plancher haut sur combles perdus		0,5			7,43	0,13		
		Intérieur	-	8					
		Béton lourd	0,2		1,75	0,11		1000	2300
		Laine de verre	0,3		0,041	7,32		840	12
		Extérieur	-	23					
9	Toiture terrasse isolée		0,25			1,84	0,54		
		Intérieur	-	8					
		Béton lourd	0,2		0,11	1,82		1000	2300
		Polyuréthane	0,05		2,27	0,02		1400	40
		Extérieur	-	23					

3.2.3.2 Menuiseries extérieures et protections solaires

Le bâtiment est caractérisé par ses façades fortement vitrées et qui devront faire l'objet d'un traitement particulier. Les menuiseries extérieures sont en aluminium double vitrage, elles sont toutes accompagnées de stores intérieurs déroulant en textile clair.



Figure 11 : Façade Nord-Ouest du bâtiment RACCINE

Les caractéristiques thermiques et optiques des menuiseries extérieures et de leurs protections solaires sont reprises dans le tableau ci-dessous :

- Cadre : Aluminium
- Double vitrage
- $U_w = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- $Sw = 0,55 \rightarrow$ Présence de films solaires sur les vitrages, qui permettent la réduction du facteur solaire Sw
- $Tlw = 0,71$

Avec : $U_w [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$: coefficient de déperdition thermique ; $Sw [-]$: Facteur solaire (quotient rayonnement transmis / rayonnement incident) ; $Tlw [-]$: Transmission lumineuse du vitrage de la fenêtre.

3.2.3.3 Perméabilité à l'air

Sans données mesurées de la perméabilité à l'air de l'état existant du bâtiment, une perméabilité à l'air **$Q_{4Pa} = 1,8 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$** a été considérée. Cette valeur correspond à la moyenne d'un bâtiment existant avec une enveloppe de performance médiocre.

3.3 ETUDE METEOROLOGIQUE

3.3.1 De l'importance de la bonne sélection du fichier météorologique

Les Simulations Thermiques Dynamiques (STD) reposent chacune sur un fichier météorologique, incluant les données horaires de **température d'air, point de rosée, humidité relative, pression atmosphérique, rayonnement solaire global et diffus, vitesse et direction du vent** sur une année (8760 heures x nb de variables).

Ces données météorologiques proviennent de **mesures de stations météo locales**, possiblement « moyennées » sur une période de plusieurs années, ou mesurées sur une unique année. Ce dernier cas permet de simuler une « année canicules », mais pose le problème de représentativité du



fichier météo. Le choix de l'année / des années de référence impacte considérablement les résultats de STD.

La station Météo France la plus proche de l'établissement étudié est la station de Bétheny qui se situe au Nord de Reims. La station se situe à moins de 5 km du site étudié, cette distance très faible permet une bonne interpolation des phénomènes climatiques.

On se base dans un premier temps sur un fichier météo généré par le logiciel référence des bases de données météo en *Europe Meteororm*. Le fichier météo tiendra compte des masques proches dû au relief du site mais aussi aux pics de température liés au dérèglement climatique. Afin de prendre en compte au mieux cette dernière notion, on choisit d'étudier le comportement du bâtiment avec un fichier *Météonorm* prenant en compte les températures moyennes entre 2010 et 2019 incluant les températures maximales mensuelles sur 10 ans pour la période estivale (de mai à septembre).

3.3.2 Températures

Ci-dessous, l'évolution de la température à Reims entre 2010 et 2019, dans le cas d'un été chaud. La température maximum atteinte est de 35.2°C au mois de juillet.

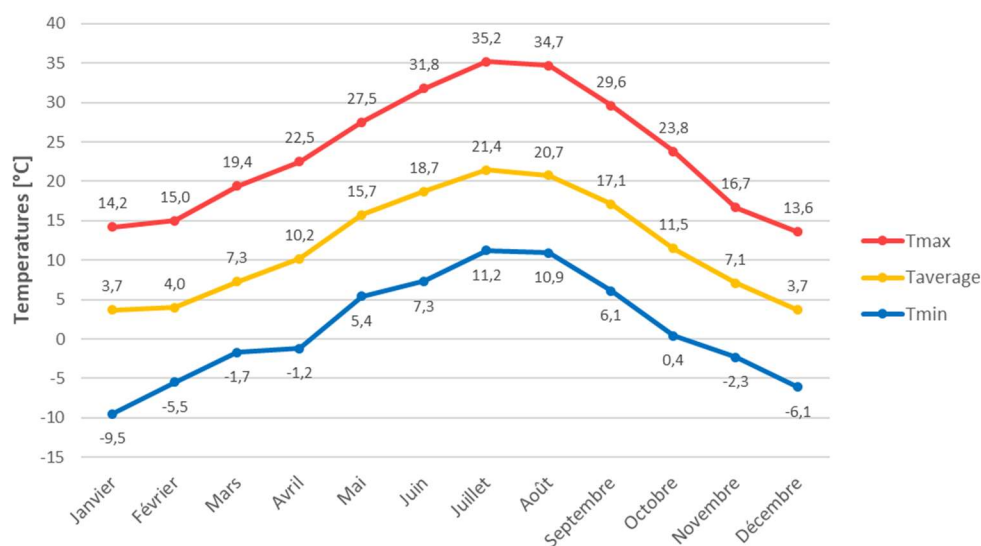


Figure 13 : Températures mensuelles – fichier météo Reims 2010-2019 été chaud

3.3.3 Histogramme des températures

Les histogrammes de températures chaudes (> 28°C) cumulées représentent la « signature » du stress thermique estival, permettant de tester le comportement du bâtiment au risque de surchauffe. Le fichier 2010-2019 contient 138h supérieures à 28°C en période d'occupation des bureaux.

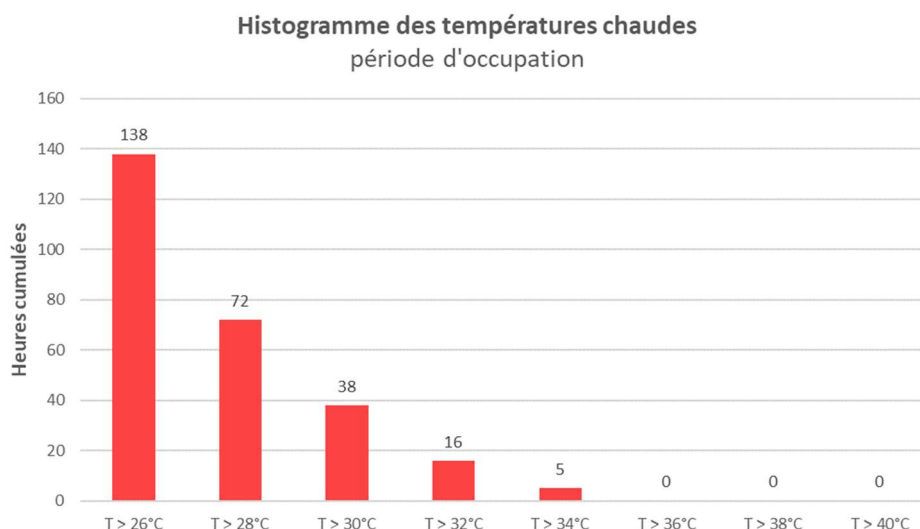
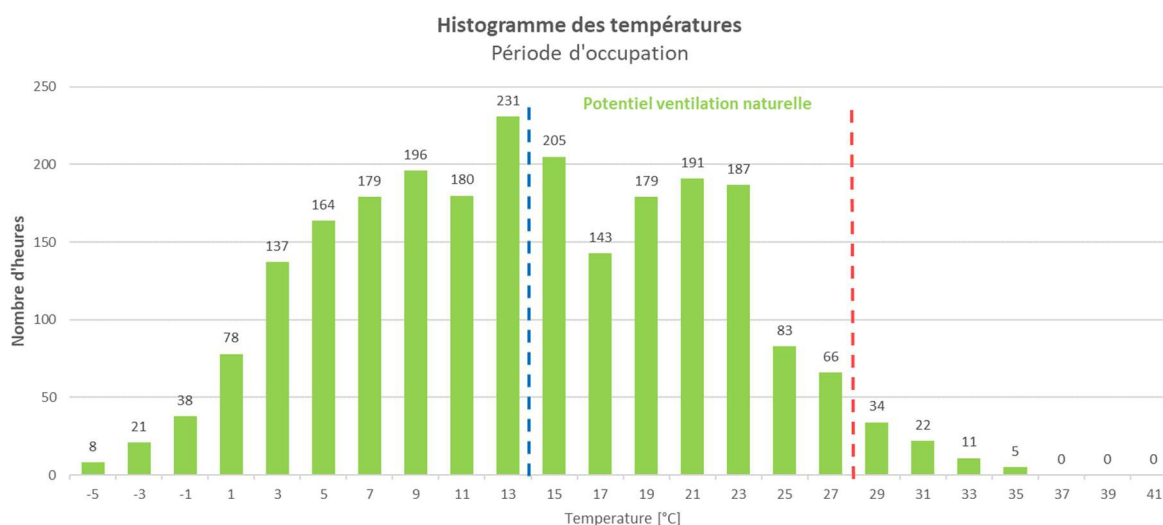


Figure 14 : Histogramme des températures chaudes durant la période d'occupation des bureaux - fichier météo 2010-2019 été chaud

L'histogramme des températures ci-dessous décrit la répartition des températures extérieures du fichier météo.



3.3.4 Caractéristiques du lieu d'étude

Le bâtiment étudié se situe dans la commune de Reims dans le département de la Marne au 12 rue André Huet.

Il se situe dans la zone climatique H1b.

Les conditions de températures et d'hygrométrie retenus pour la simulation sont les suivantes :

- Température extérieure de base : -15 °C
- Température été : 29 °C
- Hygrométrie relative été : 40 %



3.4 ZONES THERMIQUES ETUDIEES ET MODELE 3D

3.4.1 Sources des informations

L'étude se base sur les documents ressources présentés dans la partie 2.2 et 2.4.

De plus, une visite du bâtiment a été réalisée et a permis de collecter diverses informations visuelles, vérifier certaines données, et évaluer qualitativement certains paramètres.

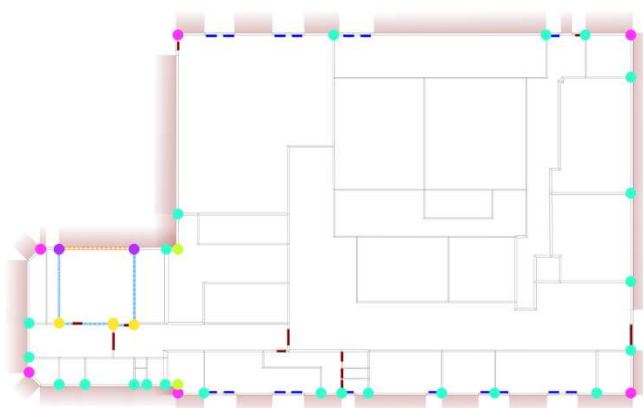
3.4.2 Zones et typologies étudiées

Le bâtiment RACCINE a été modélisé dans sa globalité, détaillé en 40 zones thermiques d'usage et de température intérieure homogène. Chaque zone a des scénarios d'occupation, consigne de température, apports internes, ventilation propre à chaque espace.

Les zones du bâtiment sont réparties sur neuf niveaux (Sous-sol, RDC, Entresol, R+1, R+2, R+3, R+4, R+5, R+6). Le bâtiment étudié à un usage principale tertiaire de bureaux.

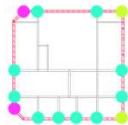
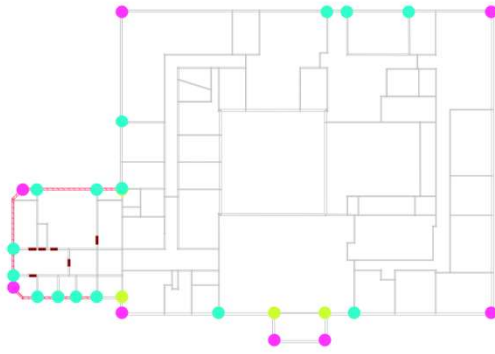
3.4.3 Typologie de ponts thermiques







3.4.3.1 Ponts thermiques bas









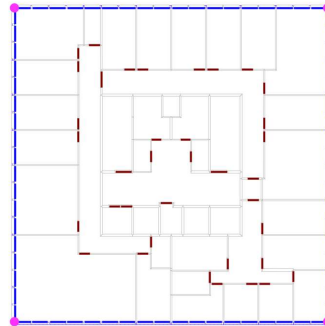
Ponts th. Dalle basse R-1	
	a.1 - BB IT - D Nisol 0.25 W/(m.K)
	a.2 - BB IT - BB 0.95 W/(m.K)
	d.1 - sortant - BB IT - BB T 0.05 W/(m.K)
	d.1 - venant - BB IT - BB 0.05 W/(m.K)
	a.1 - BB Nisol - D Nisol 0.25 W/(m.K)
	d.1 - sortant - Eg Nisol - B 0.13 W/(m.K)
	d.1 - sortant - Eg Nisol - B 0.14 W/(m.K)

	0.6 W/(m.K)
	a.1 - BB IT - BP Nisol 0.25 W/(m.K)
	d.1 - sortant - Eg Nisol - B 0.13 W/(m.K)
	d.1 - sortant - Eg Nisol - B 0.14 W/(m.K)
	1.3 PL face ext. (sur tor LNC) 1 W/(m.K)

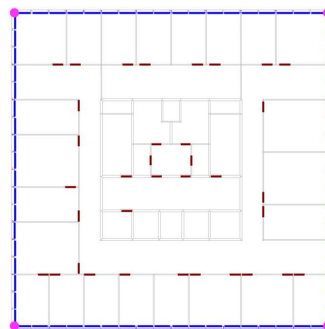


Ponts th. Dalle basse Entresol	
	d.2 - BB ITI - BB 0.95 W/(m.K)
	d.1 - sortant - BB ITI - BB I 0.03 W/(m.K)
	d.1 - rentrant - BB ITI - BB 0.03 W/(m.K)
	b.1 - BB Nisol - BP 0.6 W/(m.K)
	d.1 - sortant - Bg Nisol - B 0.13 W/(m.K)
	d.1 - sortant - Bg Nisol - B 0.14 W/(m.K)

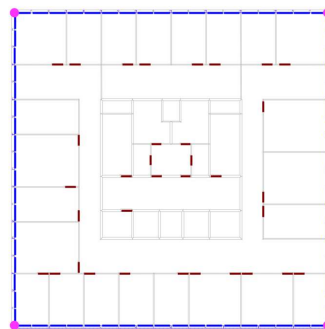
Ponts th. Dalle basse Entresol bis	
	d.2 - BB ITI - BB 0.95 W/(m.K)
	d.1 - sortant - BB ITI - BB I 0.03 W/(m.K)
	d.1 - rentrant - BB ITI - BB 0.03 W/(m.K)
	b.1 - BB Nisol - BP 0.6 W/(m.K)
	d.1 - sortant - Bg Nisol - B 0.13 W/(m.K)
	d.1 - sortant - Bg Nisol - B 0.14 W/(m.K)



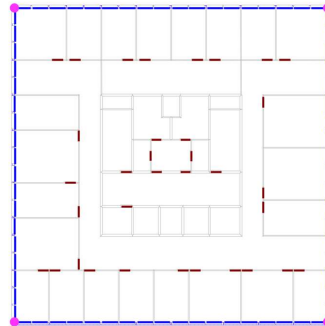
Points th. Dalle basse R+1	
	h.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)
	d.2 - BB (T) - EP 0.09 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - rempart - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)



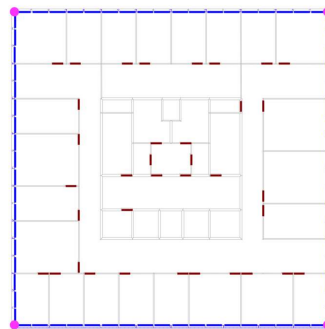
Points th. Dalle basse R+2	
	h.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)
	d.2 - BB (T) - EP 0.09 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - rempart - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)



Points th. Dalle basse R+3	
	h.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)
	d.2 - BB (T) - EP 0.09 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - rempart - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)

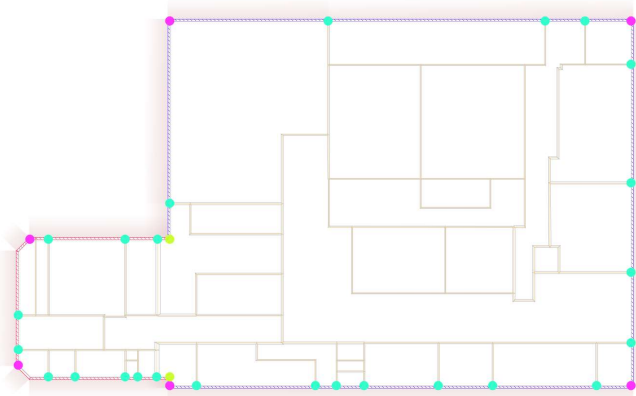


Ponts th. Dalle basse R+4	
	h.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)
	d.2 - BB (T) - EP 0.05 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - reentrant - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)

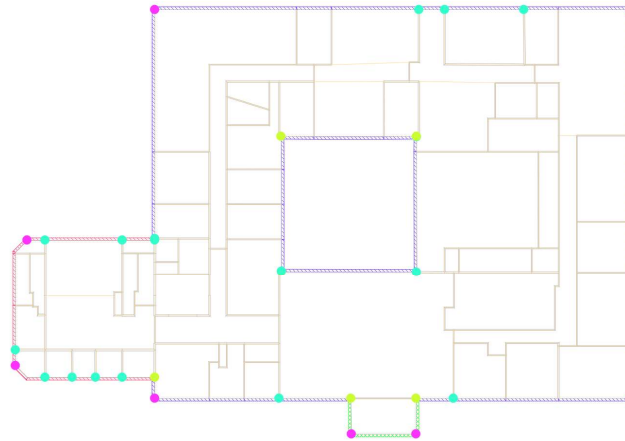


Ponts th. Dalle basse R+5	
	h.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)
	d.2 - BB (T) - EP 0.05 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - reentrant - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)

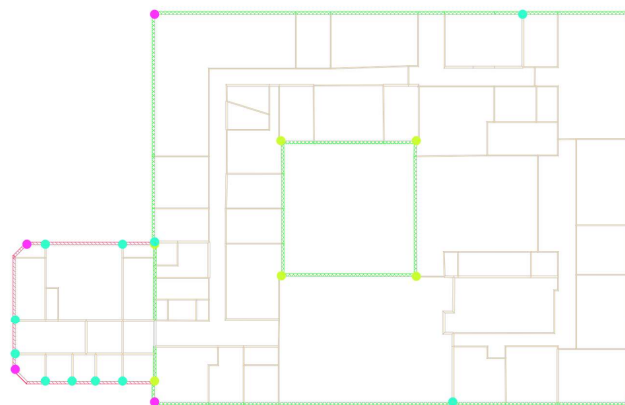
3.4.3.2 Ponts thermiques hauts



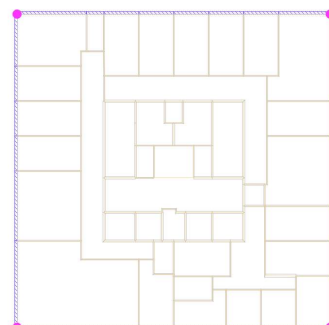
Ponts th. Dalle haute R-1	
	h.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)
	d.2 - BB (T) - EP 0.05 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - reentrant - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	h.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)



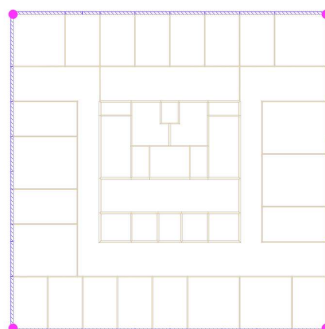
Points th. Dalle haute RDC	
	c.1 - BB (T) - Pl. sol dessus 0.7 W/(m.K)
	b.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)
	a.2 - BB (T) - BB 0.05 W/(m.K)
	d.1 - ventant - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - ventant - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - ventant - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	b.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)



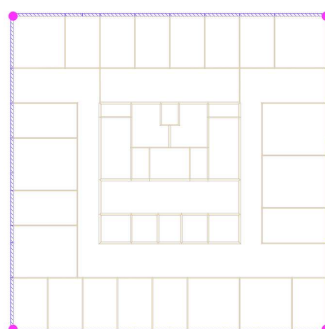
Points th. Dalle haute Entresol	
	c.1 - BB (T) - Pl. sol dessus 0.7 W/(m.K)
	a.2 - BB (T) - BB 0.05 W/(m.K)
	d.1 - ventant - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - ventant - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	b.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)



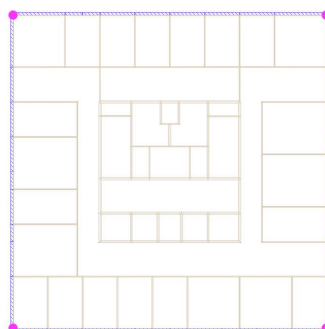
Points th. Dalle haute R+1	
	b.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)
	a.2 - BB (T) - BB 0.05 W/(m.K)
	d.1 - ventant - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - ventant - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)



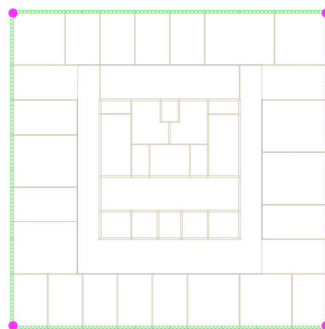
Points th. Dalle haute R+2	
	h.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)
	d.2 - BB (T) - EP 0.05 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)



Points th. Dalle haute R+3	
	h.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)
	d.2 - BB (T) - EP 0.05 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)



Points th. Dalle haute R+4	
	h.1 - BB (T) - EP 0.04 W/(m.K)
	d.2 - BB (T) - EP 0.05 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)



Points th. Dalle haute R+5	
	c.1 - BB (T) - Pl isol dessus 0.7 W/(m.K)
	d.2 - BB (T) - EP 0.05 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)
	d.1 - contour - BB (T) - BB (T) 0.03 W/(m.K)



3.5 HYPOTHESES D'USAGE

3.5.1 Apports internes

Les apports internes résultent de l'occupation humaine, de l'éclairage et des équipements installés (bureautique, ...). Il est très important d'identifier les différents apports ainsi que les horaires d'occupation ou d'utilisation, car ils jouent un rôle prépondérant dans le calcul des besoins thermiques et dans l'atteinte des objectifs du confort d'été et de renouvellement.

3.5.1.1 Apports internes liés aux personnes

La puissance dégagée par une personne est de :

- Chaleur sensible : 80W par occupant ;
- Chaleur latente : 80 W latents par occupant, convertis comme un apport d'humidité en kg/h.

La moitié de ces apports internes est considérée comme un apport radiatif, et l'autre moitié comme un apport convectif.

Ces ratios d'apports internes sont ensuite multipliés par les effectifs et modulés par les plannings d'occupation, afin d'aboutir aux apports internes totaux pour une zone.

3.5.1.2 Apports internes liés à l'éclairage et des auxiliaires

- **Les luminaires** dissipent de même de la chaleur en fonctionnement. Ces apports internes dépendent de leur puissance installée, de leur planning d'utilisation, ainsi que de la lumière naturelle déjà présente dans le local pour les luminaires gradables. Leur fonctionnement est modélisé dans la STD, en tenant compte de la lumière naturelle aux différents points des locaux.
- **Les équipements** (bureautique, équipements techniques etc.) dissipent de la chaleur, en fonctionnement comme en veille. On prend en compte la présence de tels équipements dans les bureaux et les salles de réunion.

Ces apports internes sont considérés 100% convectifs.

Type de luminaire	Usage	Puissance d'éclairage	Équipements	Total Puissance
Type LED, avec interrupteur marche arrêt	Bureau	1,5 W/m ²	1 W/m ²	2,5 W/m ²
	Circulation	1,5 W/m ²	0 W/m ²	1,5 W/m ²
	Sanitaires	1,5 W/m ²	0 W/m ²	1,5 W/m ²
	Salle de réunion	2 W/m ²	1,5 W/m ²	3,5 W/m ²

Tableau 1 : Puissance des luminaires installés en fonction des usages

3.5.2 Actions adaptatives des occupants sur leur confort

3.5.2.1 Activation des protections solaires

- Le bâtiment est équipé de stores intérieurs. On considère leur fermeture progressive jusqu'à 60% d'occultation pour les mois de juin, juillet et août.



3.5.2.2 Réglage individuel des températures de consigne de chauffage

Le réglage des températures de consigne de chauffage par air chaud dans les bureaux sont réglés manuellement dans chaque pièce.

3.5.3 Scénario d'occupation et d'utilisation des équipements électriques

Le bâtiment est occupé toute l'année, fonction de la saison et des heures de la journée. Ci-dessous, les tableaux récapitulant le nombre d'occupants et les apports liés aux équipements par pièce puis par zone en fonction de la période de la journée et du jour de la semaine.

On considère une occupation réduite de moitié pendant les vacances, soit les périodes suivantes :

- Vacances : du 09/04 au 15/04, du 24/12 au 31/12 et du 01/08 au 28/08.

On considère une occupation nulle les week-ends et toutes les nuits entre 18h et 8h.

3.5.3.1 Planning d'occupation des espaces des bureaux

Le temps de travail considéré dans les bureaux s'étend de 08h à 18h du lundi au vendredi, avec des occupations variées en fonction de la journée et une occupation réduite durant les vacances. On considère des occupations de bureaux par défaut, c'est-à-dire, au maximum d'occupation, à 0.09 occupant/m². Ce qui correspond, à un 1 occupant pour un bureau de 11 m².

3.5.3.2 Planning d'occupation des salles de réunion

On considère une occupation des salles de réunion de 9h à 17h, avec des occupations variées en fonction de la journée et des périodes de vacances.

3.5.3.3 Planning d'occupation des espaces de stockage

Les espaces de stockages sont très rarement visités. On considère donc une occupation de 0.001 occ./m² de 8h à 18h les jours de semaine (hors week-end).

3.5.3.4 Planning d'occupation des circulations et sanitaires

Les espaces de circulation et les sanitaires ont une occupation de 8h à 18h, réduite en période de vacances.



3.5.4 Hypothèses des ponts thermiques

Les ponts thermiques de l'étude sont conformes aux valeurs définies par les règles Th-Ex

- Ponts thermiques linéiques structurels

Nom	Class if.	Origin e	□	□□	□□	□□		
a.1 - BB ITI - BP Nisol	1.2	CSTB	0.2 5	0.2 5	0.0 0	0.0 0		
b.1 - BB Nisol - BP	2.1	CSTB	0.6 0	0.3 0	0.3 0	0.0 0		
a.1 - BB Nisol - D Nisol	1.1	CSTB	0.2 8	0.2 8	0.0 0	0.0 0		
d.1 - rentrant - BB ITI - BB ITI	4.2	CSTB	0.0 3	0.0 2	0.0 2	0.0 0		
d.1 - sortant - BB ITI - BB ITI	4.1	CSTB	0.0 3	0.0 2	0.0 2	0.0 0		



b.1 - BB ITI - BP	2.1	CSTB	0.9 4	0.4 7	0.4 7	0.0 0		
c.1 - BB ITI - PI isol dessus	3.1	CSTB	0.7 0	0.7 0	0.0 0	0.0 0		
a.1 - BB ITI - D Nisol	1.1	CSTB	0.2 5	0.2 5	0.0 0	0.0 0		
d.2 - BB ITI - BB	4.3	CSTB	0.9 5	0.4 8	0.4 8	0.0 0		
d.3 - BB ITI - menuis. int.	tout	CSTB	0.0 5	0.0 5	0.0 0	0.0 0		



4 RESULTATS DE SIMULATION DES BESOINS ENERGETIQUES

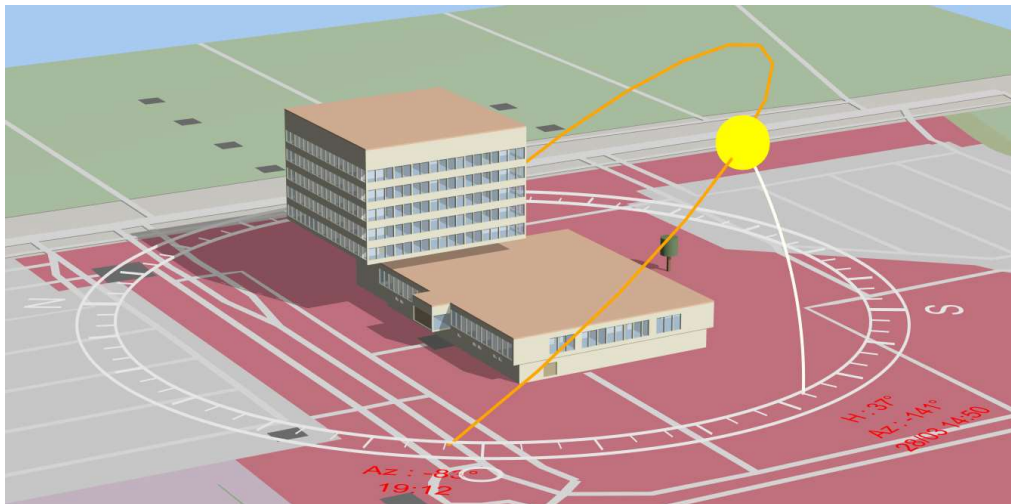


Figure 15 : Vue 3D de la modélisation pléiades du bâtiment existant

L'état existant a été simulé sur toute l'année, basé sur le fichier météorologique de Reims 2010-2019 – été chaud, afin de servir de base aux solutions d'amélioration.

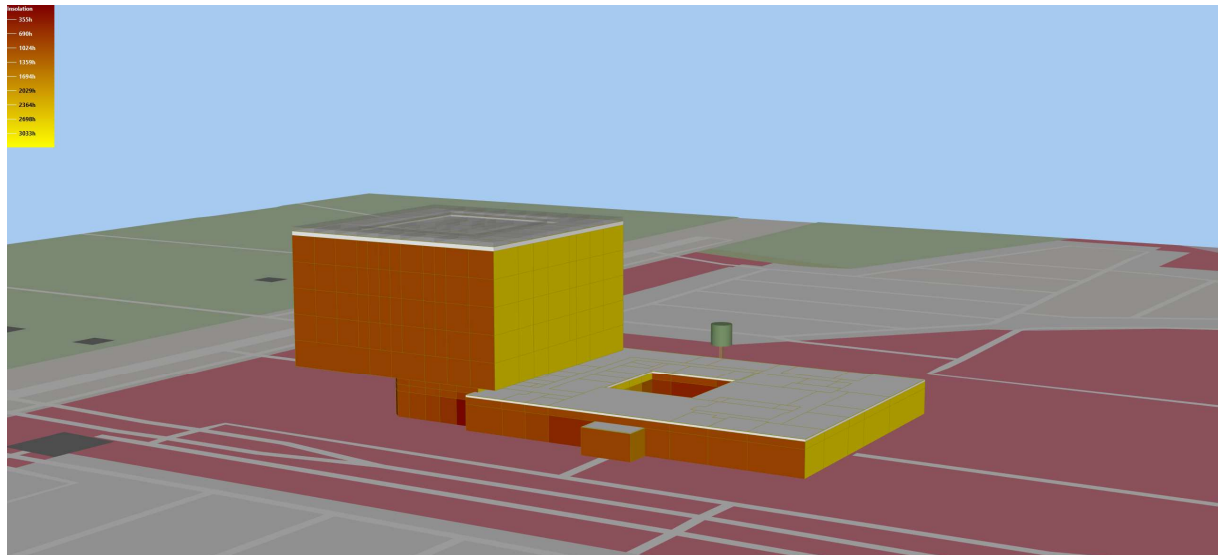
On définit la période de chauffage en fonction des conditions météorologiques du fichier Reims 2000-2009. Les saisons de chauffage et de climatisation sont les suivantes :

- **Chauffage** : Du 17 Septembre au 29 avril
- **Climatisation** : Du 30 avril au 2 Septembre

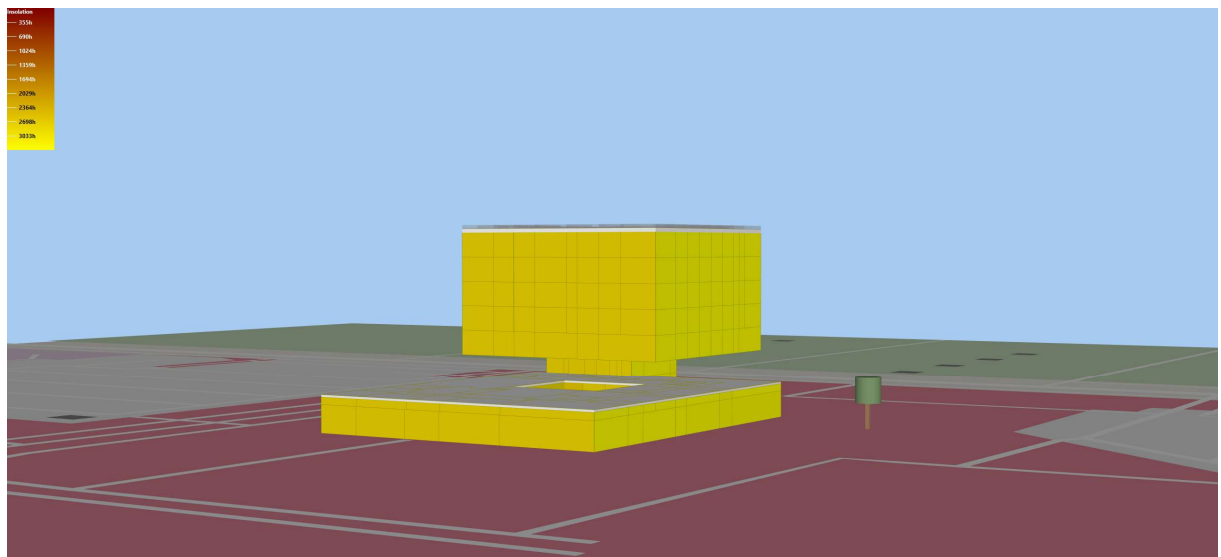


4.1 COMPORTEMENT GLOBAL DU BATIMENT

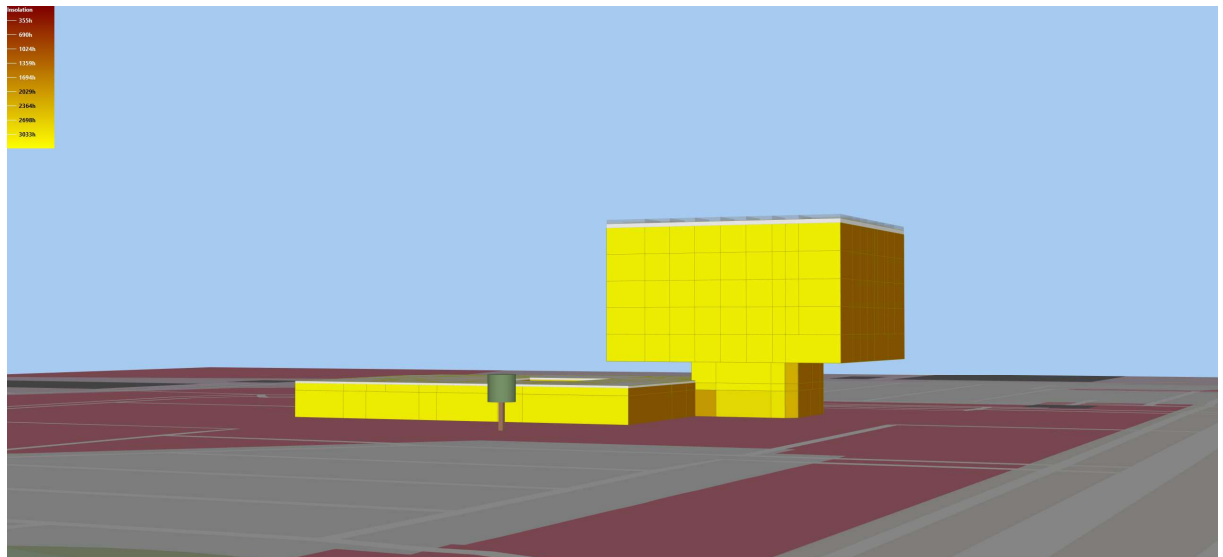
4.1.1 Exposition au soleil



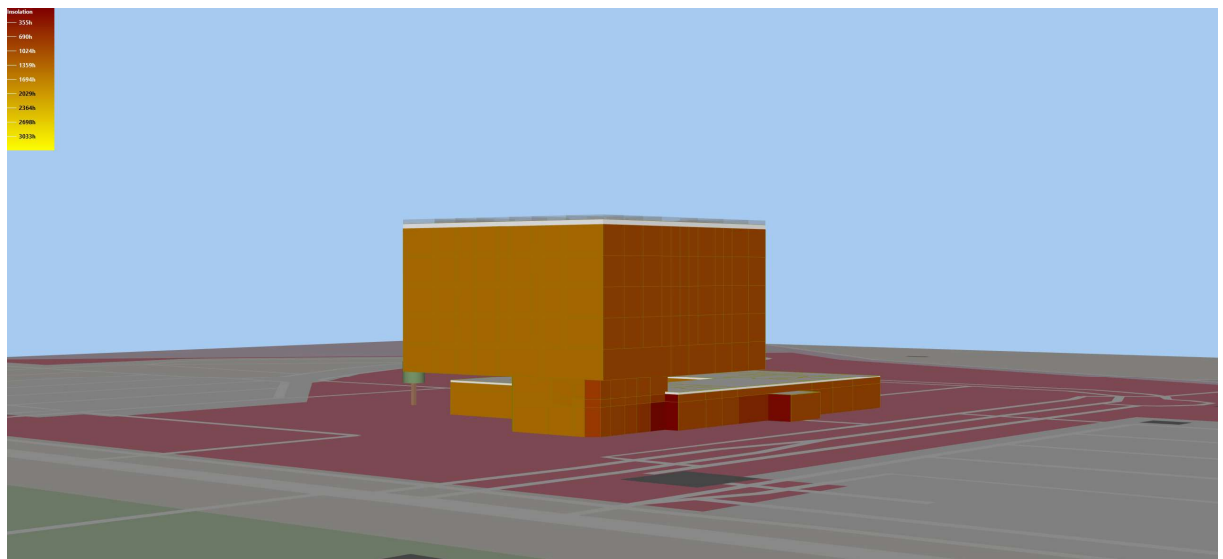
Exposition OUEST



Exposition SUD



Exposition EST



Exposition NORD



4.1.2 Consommations du bâtiment

4.1.2.1 Consommations globales

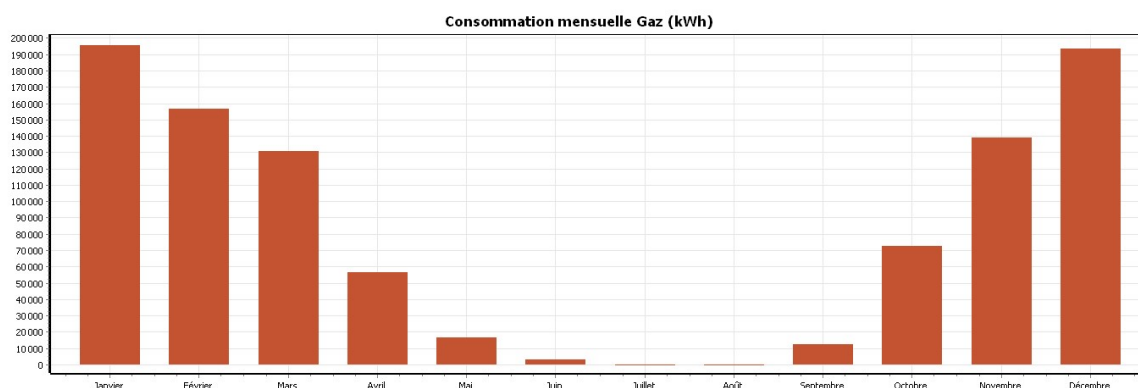


Figure 16 : Consommation mensuelle de gaz (kWh)

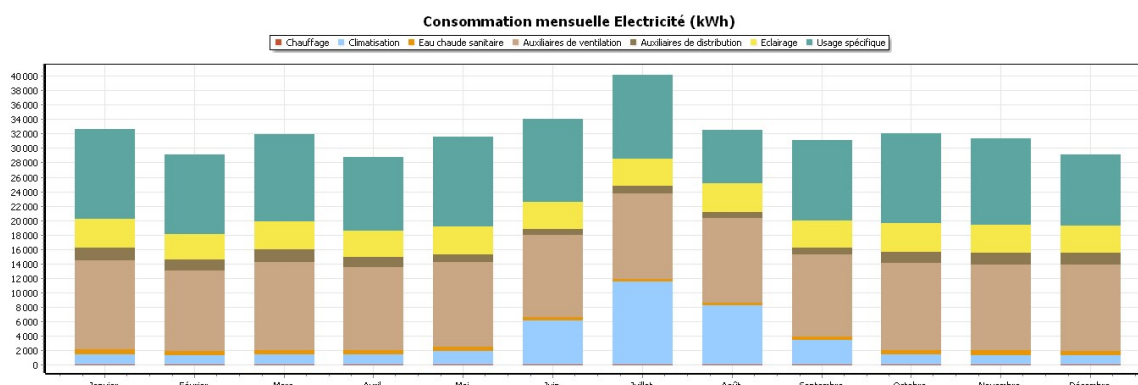


Figure 17 : Consommation mensuelle d'électricité (kWh)

Notons que les légères consommations de climatisations sont liées au fonctionnement annuel des installations de refroidissement.

4.1.2.2 Consommations détaillées

Les résultats suivants sont rapportés au ratio de surface louable, ici 5 000 m².

Existant	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	195	0	195	0,00 €	16,41 €	16,41 €
Refroidissement	0	8	8	1,09 €	0,00 €	1,09 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	3,82 €	0,00 €	3,82 €
Auxiliaire de distribution	0	14	14	1,84 €	0,00 €	1,84 €
Eclairage	0	9	9	1,23 €	0,00 €	1,23 €
Usage spécifique	0	27	27	3,62 €	0,00 €	3,62 €
Vente d'électricité	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Autoconsommation	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Total	195	87	283	11,78 €	16,41 €	28,18 €

* les usages spécifiques correspondent aux consommations électriques liées à l'utilisation du bâtiment (postes informatiques notamment)



4.1.3 Déperditions thermiques

D'après la figure suivante, on identifie une majorité des déperditions thermiques par les parois du bâtiment. La faible isolation de ces dernières explique les pertes par conduction sur ces zones.

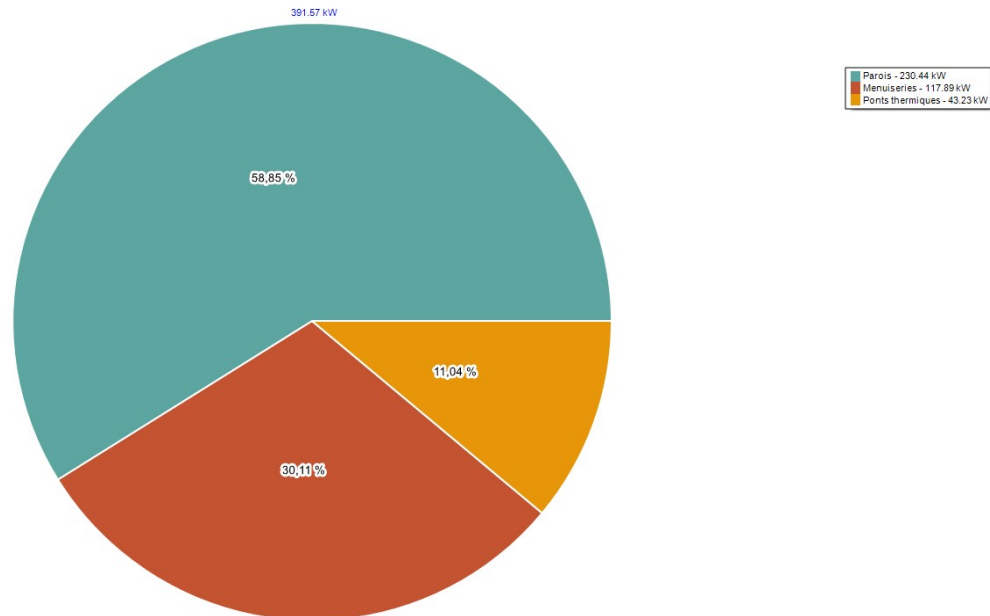


Figure 18 : Déperditions thermiques par conduction à travers les parois, les menuiseries et les ponts thermiques (kW)



4.2 VARIATION DES TEMPERATURES INTERIEURES

L'évolution temporelle des températures intérieures dans l'état existant est étudiée pour 1 zone aux caractéristiques thermiques défavorables :

- Bureau orienté Sud au niveau R+5 – fichier météo Reims 2010-2019, été chaud.

4.2.1 Bureau orienté sud au niveau R+5 – fichier météo 2010-2019

On choisit d'étudier dans un premier temps une zone orienté au Sud au dernier niveau du bâtiment ; zone soumise à de nombreux ponts thermiques et qui est particulièrement susceptible de présenter des pics de températures.

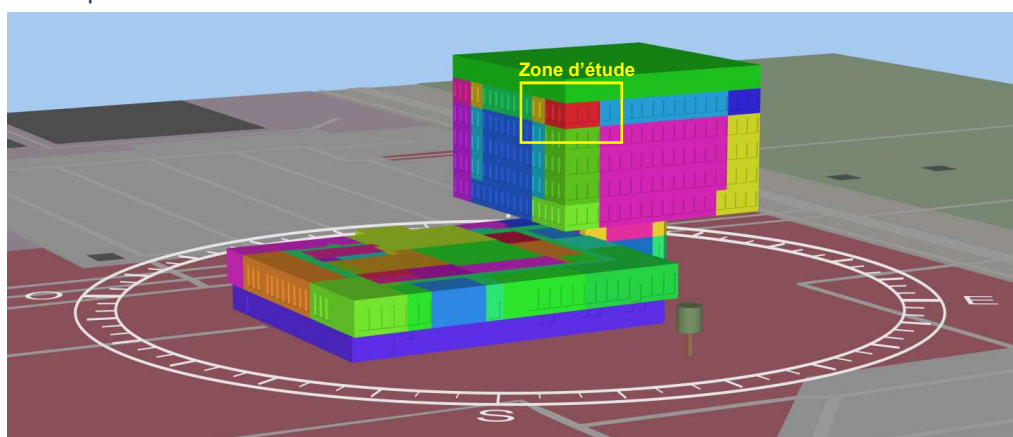


Figure 19 : Plan 3D du zonage thermique du bâtiment complet

4.2.1.1 Confort thermique

Le diagramme cyclique ci-dessous représente les températures opératives horaires (chaque point) sur une année complète (cycle), restreints aux horaires d'occupation du bureau au R+5.

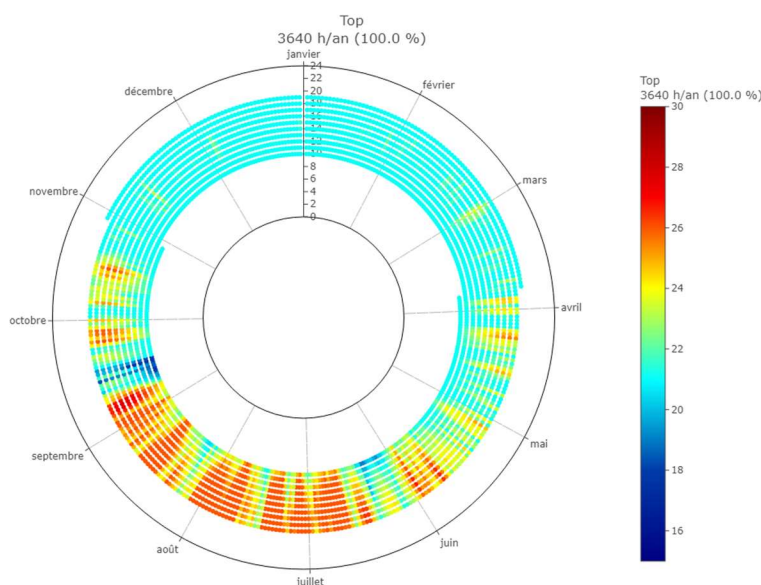


Figure 20 : Diagramme cyclique représentant les températures résultantes horaires pendant les périodes d'occupation sur une année – Etat Existant du bureau R+5

Le nombre d'heures où la température opérative est supérieure à 26°C atteint **314 h/an**, réparties de début juin à début septembre, principalement les après-midis.



La température opérative maximal atteinte en période d'occupation est **27.8°C**, début du mois de septembre. On observe néanmoins que le seuil de 28°C n'est jamais atteint avec le fichier météo utilisé.

Le nombre d'heures où la température opérative est inférieure à 19°C est estimé à **18 h/an**, durant quelques matins de mi-septembre hors période de chauffe.

Le diagramme cyclique ci-dessous (fig. 45) représente toutes les températures opératives horaires inférieures à 19°C sur une année complète et celles supérieures à 26°C, restreints aux horaires d'occupation dans le bureau en R+5.

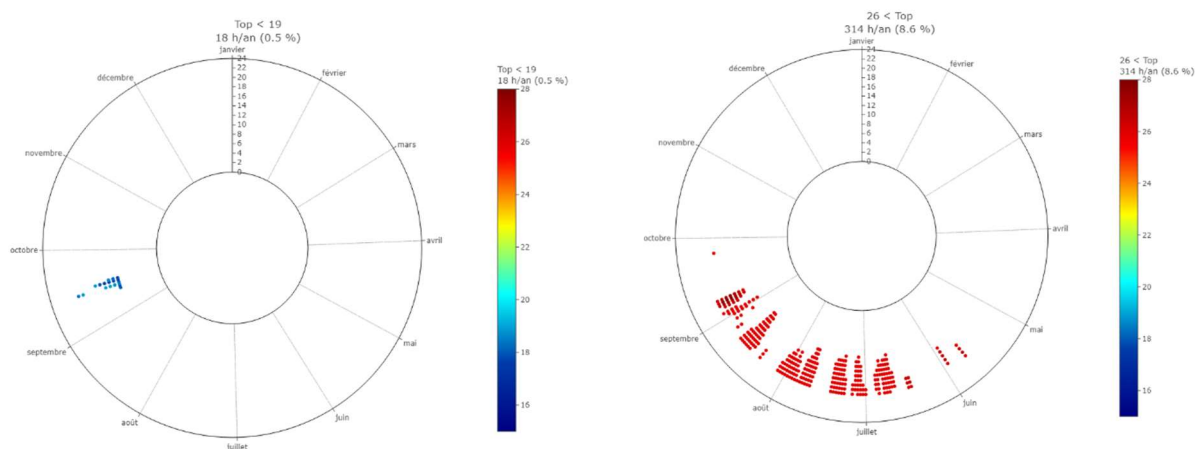


Figure 21 : Diagramme cyclique des valeurs hors des seuils de confort. A gauche : < 19°C. A droite : > 26°C.

Les figures ci-dessous (fig. 22) représentent les variations des températures opératives (Top), températures externes (Text), puissance de chauffe (Pch) et gains thermiques solaires (Qsol), durant une semaine type en hiver et sur une semaine type caniculaire en été pour le cas existant.

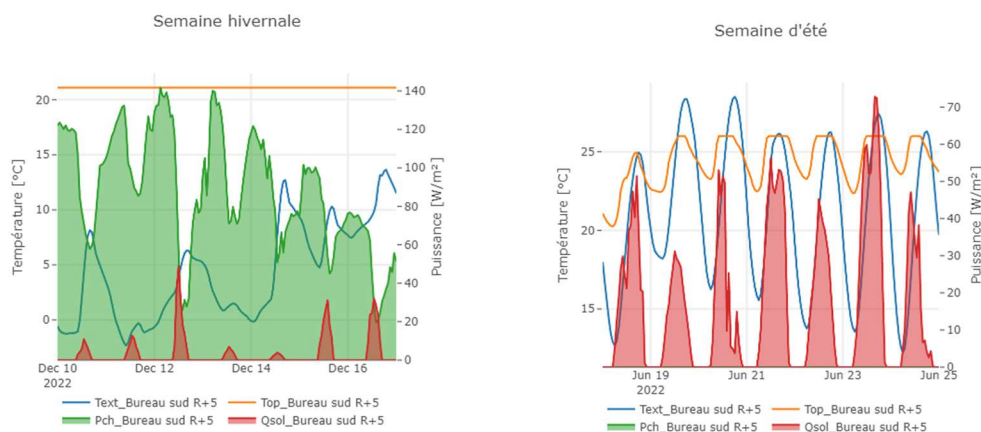


Figure 22 - Évolution des températures opérative (Top), extérieure (Text), puissances de chauffe Pch sur une semaine type en hiver et sur une semaine très chaude d'été – Etat Existant Atelier R+1

En hiver, on note que les puissances de chauffe nécessaires au maintien de la consigne à 21°C sont importantes, atteignant, en cas de faibles températures, des puissances de 140 W/m². De plus, l'absence



de régulation sur la température de consigne impose un fonctionnement continue intense de la production de chaleur.

En été, on observe des pics d'apports solaires atteignant 70 W/m^2 et qui maintiennent la température opérative de la pièce au-dessus de 23°C jour et nuit.

4.2.1.2 Confort hygrométrique

La Figure 19, représentant les zones de confort hygrothermique du diagramme de Givoni permet d'évaluer le confort estival dans le cas de mouvement d'air généré par des brasseurs d'air, ciblé aux périodes d'occupation. On note que les valeurs sous la zone de confort hygrothermique correspondent aux périodes fin janvier/février période froide qui assèche l'air extérieur.

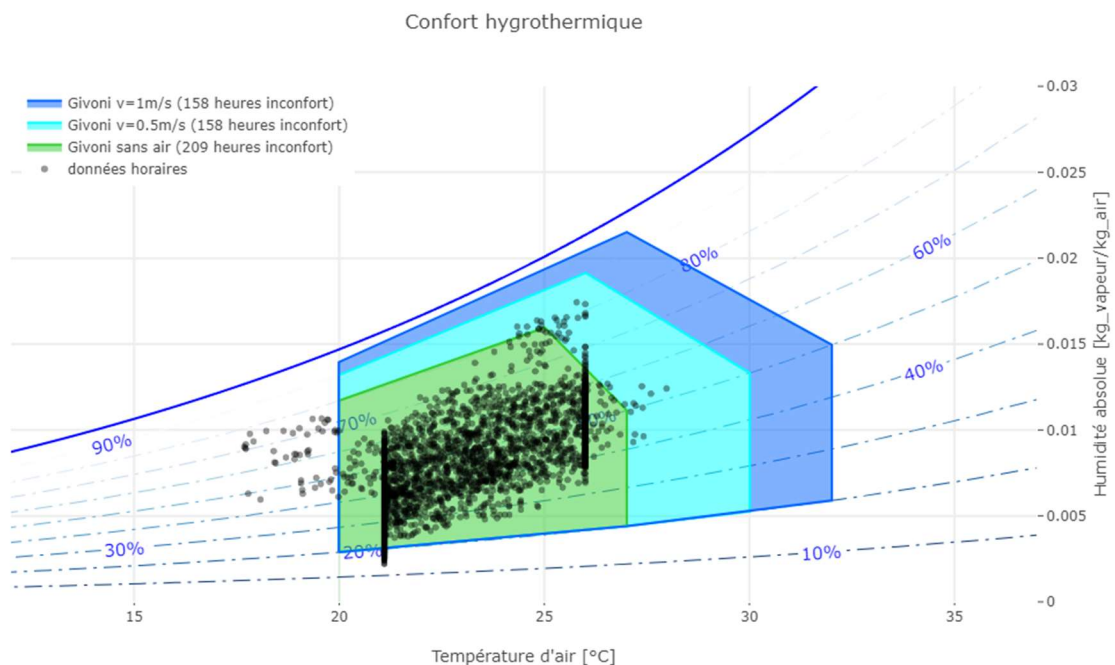


Figure 23 : Diagramme de Givoni pendant une année - Etat existant bureau sud R+5

4.2.1.3 Confort estival

Basé sur les hypothèses détaillées précédemment, le bâtiment a été simulé pour le fichier météo 2010-2019 – été chaud et le fichier de projection des températures en 2040.

Le nombre d'heures d'inconfort durant les périodes d'occupation ainsi que la température opérative maximale atteinte quel que soit l'occupation sont présentées dans le tableau ci-dessous pour toutes les zones thermiques du bâtiment :

Avec INF les niveaux inférieurs, INT les niveaux intermédiaires et SUP les niveaux supérieurs.



Zones	Surface <i>m²</i>	Fichier météo 2000-2009		Fichier météo 2040	
		T° Max °C	Heures > 28°C <i>h</i>	T° Max °C	Heures > 28°C <i>h</i>
Circulation horizontale INT	891,6	25,7	0	28,2	2
Bureaux exposés SUD EST - INT	356,4	26,5	0	29,7	27
Bureaux exposés NORD OUEST - INT	349,6	26,4	0	29	16
Circulations verticales	332,3	25,1	0	26,5	0
Bureaux exposés SUD OUEST - INT	312,3	27	0	30,6	22
Bureaux exposés NORD EST - INT	274,5	26,7	0	29,4	21
Circulation horizontale SUP	255,6	25,7	0	28,4	6
Circulations horizontales INF	247,1	25	0	26,6	0
HALL RDC	201,1	25,1	0	26	0
Bureaux exposés SUD OUEST - INF	144,8	26	0	28,3	3
Sanitaires borgnes INT	133,8	25,2	0	27	0
Bureaux exposés NORD OUEST - INF	130,6	26	0	27,7	0
Bureaux exposés NORD EST - INF	128,3	26	0	28,1	1
Bureaux exposés NORD - INT	122,4	27	0	29,4	16
Bureaux exposés SUD - INF	117,8	26	0	29,3	19
Sanitaires borgnes INF	112,6	25	0	26,5	0
Salle de réunion Borgnes	111,4	25,7	0	27,8	0
Bureaux exposés EST - INF	104,1	26	0	28,4	8
Bureaux exposés NORD OUEST - SUP	102,7	26,6	0	29,2	18
Salle de réunion exposée NORD EST - INF	102,5	26,1	0	28,2	1
Bureaux exposés EST - INT	95,4	27,1	0	30,3	32
Bureaux exposés NORD EST - SUP	90,9	26,9	0	29,4	25
Bureaux exposés SUD EST - SUP	87,6	26,8	0	30	33
Bureaux exposés SUD EST - INF	77,4	25,5	0	27,3	0
Bureaux exposés SUD OUEST - SUP	72,8	27,4	0	30,9	28
Bureaux exposés SUD - INT	66,5	28	1	31,9	36
Bureaux exposés OUEST - INT	58,4	27,7	0	31,4	23
Bureaux borgnes	53,1	25,6	0	27,2	0
Salle de sport	47,5	23,7	0	25,6	0
Salle détente borgne	41,7	23,9	0	25,6	0
Détente SUD EST	35,2	26	0	26,6	0
Sanitaires borgnes SUP	33,8	25,1	0	27	0
SDR exposée SUD EST - INF	32,9	25,1	0	27,1	0
Bureaux exposés OUEST - INF	30,7	26	0	27,7	0
Bureaux exposés NORD - INF	25,5	26	0	27,6	0
Bureaux exposés SUD - SUP	22,2	28	0	31,7	34



Bureaux exposés OUEST - SUP	22,1	27,3	0	30,4	33
Stockage	18,7	23,9	0	25,8	0
Salle de réunion exposée NORD OUEST	16,7	26	0	28	1
Espace traiteur	15,4	24,1	0	25,9	0
Bureaux exposés EST - SUP	14,6	27,8	0	31,3	24
Bureaux exposés NORD - SUP	14,6	27,5	0	29,8	25

On remarque que le bâtiment ne sera plus adapté aux conditions météorologiques d'ici 2040, et ce, malgré le système de refroidissement en place aujourd'hui. L'adaptation du bâtiment devra ainsi tenir compte des besoins futurs en termes de préservation du confort d'été des locaux.



5 SCENARIOS D'AMELIORATION DU CONFORT THERMIQUE ET DES BESOINS ENERGETIQUES

L'atteinte d'un bon confort d'été et de faibles consommations énergétiques est le résultat du couplage de plusieurs mesures passives complémentaires les unes aux autres.

Dans ce chapitre, on étudie plusieurs configurations d'améliorations pour le bâtiment RACCINE. Plusieurs configurations ont été étudiées combinant différentes solutions avec le fichier météo Reims 2000-2009, ainsi que l'état projeté en météo Reims 2040.

5.1 SOLUTION 1 : ENVELOPPE THERMIQUE

L'amélioration de l'enveloppe thermique regroupe un bouquet de travaux permettant de diminuer les déperditions thermiques des parois du bâtiment. On modélise la solution 1 comme suit.

5.1.1 Façade tour : menuiserie

La composition des façades de la Tour sont étudiées selon la composition de la façade présentée ci-dessous. Cette solution propose de baisser la surface vitrée des façades de la tour de **45%** de surface vitrée à **26%**.



Figure 25 : Vue 3D de l'état existant - façade orientation Sud-Est – 45 % de surface vitrée

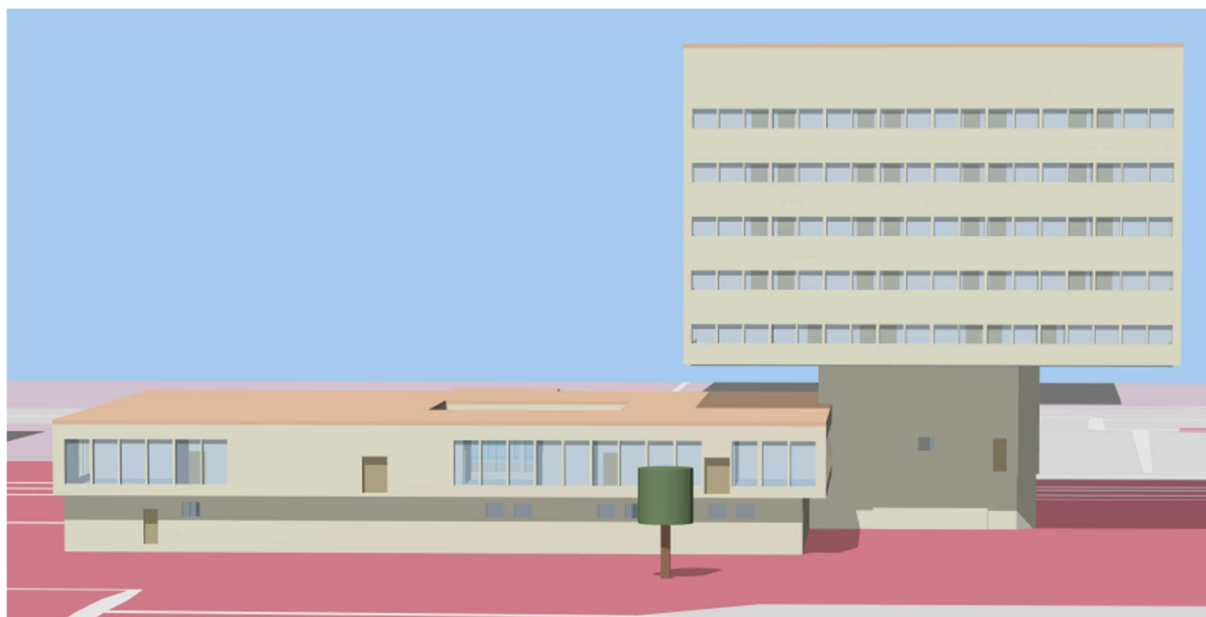


Figure 26 : Vue 3D de la Solution 1 - façade orientation Sud-Est – 26 % de surface vitrée

La hauteur des menuiseries extérieure est diminuées afin d'atteindre une allège à 1 m de hauteur. Les performances des menuiseries sont présentées dans le tableau suivant.

n°	Désignation de l'élément	Tlw [-]	g [-]	Valeur Uw vertical [W/m².K]	Valeur Uw horizontal [W/m².K]
1	Fenêtre alu double vitrage - sans occultation				
	Double vitrage	0,78	0,55	1,00	1,2
	Cadre aluminium	0,4	0,032	2	2
	Global	0,515	0,3739	1,34	1,472

Tableau 2 : Tableau des performances des fenêtres installées dans l'état projeté

5.1.2 Façade tour : bardage

Les façades de la tour ont été modélisé afin d'intégrer une épaisseur d'isolation sur l'ensemble des façades.



Bâtiment RACCINE - état projeté									
Eléments opaques									
n°	Composition	Epaisseur [m]	Valeur a [W/m².K]	Valeur λ [W/m.K]	Valeur R [m².K/W]	Valeur U [W/m².K]	Cp [J/kg.K]	Densité [kg/m3]	
1	Paroi extérieure isolée	0,39			4,27	0,23			
	Extérieur	-	23						
	Enduit extérieur	0,015		1,15	0,01		1000	1700	
	Béton lourd	0,2		1,75	0,11		920	2300	
	Polystyrène expansé	0,16		0,039	4,10		1380	25	
	Plaque de plâtre BA13	0,013		0,325	0,04		799	850	
	Intérieur	-	8						
2	Paroi intérieure - cloison semi-épaisse	Ep. Variable			R variable	U variable			
	Intérieur	-	8						
	Béton lourd	épaisseurs variable [8 ; 22 cm]			1,7 [0,05 ; 0,13]	[20 ; 7,7]	1000	2300	
	Intérieur	-	8						
3	Paroi intérieure isolée sur local non chauffé (LNC)	0,3			2,68	0,37			
	Intérieur	-	8						
	Laine de chanvre / lin	0,1		0,039	2,56				
	Béton lourd	0,2		1,7	0,12		1000	2300	
	LNC	-	8						
4	Plancher bas isolé sur local non chauffé (LNC)	0,40			2,74	0,37			
	Intérieur	-	8						
	Béton lourd	0,3		1,75	0,17		1000	2300	
	Polystyrène expansé	0,1		0,039	2,56		1380	25	
	LNC	-	23						
5	Plancher bas isolé sur extérieur	0,36			4,22	0,24			
	Extérieur	-	23						
	Polystyrène expansé	0,16		0,039	4,10		1380	25	
	Béton lourd	0,2		1,75	0,11		1000	2300	
	Intérieur	-	8						



n°	Composition	Epaisseur [m]	Valeur a [W/m².K]	Valeur λ [W/m.K]	Valeur R [m².K/W]	Valeur U [W/m².K]	Cp [J/kg.K]	Densité [kg/m³]
6	Plancher intermédiaire	0,2			0,11	8,75		
	Intérieur	-	8					
	Béton lourd	0,2		1,75	0,11		1000	2300
	Intérieur	-	8					

7	Plancher haut sur combles perdus	0,5			7,43	0,13		
	Intérieur	-	8					
	Béton lourd	0,2		1,75	0,11		1000	2300
	Laine de verre	0,3		0,041	7,32		840	12
	Extérieur	-	23					

8	Toiture terrasse NAPPE isolée	0,4			6,95	0,14		
	Intérieur	-	8					
	Béton lourd	0,2		0,11	1,82		1000	2300
	Polystyrène expansé	0,2		0,039	5,13		1380	25
	Extérieur	-	23					

5.1.3 Nappe : menuiserie

Les dimensions des menuiseries de la Nappe n'ont pas été modifiées, on modifie seulement les performances thermiques des vitrages et cadres, comme développé dans le *tableau 2 – Tableau des menuiseries*.

5.1.4 Nappe et entresol : ITE avec enduit

La Nappe et l'entresol sont isolés thermiquement par l'extérieur avec un isolant d'épaisseur 15 cm (voir tableau 3 – tableau des parois). Les façades de la Nappe et de l'entresol ainsi que la toiture de la Nappe sont concernées pour cette isolation.

Les ponts thermiques au niveau des acrotères sont traités comme suit :

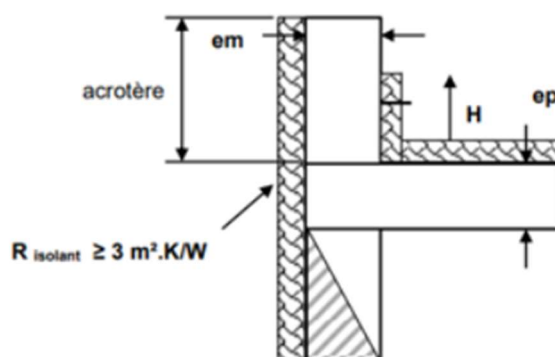


Figure 27 : Isolation des acrotères de la toiture de la NAPPE



5.1.5 Tour : Isolation des combles perdus

Les combles perdus sont isolés par un nouveau lit de laine de verre d'une épaisseur de 30 cm (voir tableau 3 – tableau des parois).

5.1.6 Isolation ITE sous face RdC

L'isolation de la sous-face de la dalle du RdC permet de limiter les ponts thermiques liés au débord de dalle.



Figure 28 : Vue de l'existant - sous dalle du RdC

5.1.7 Isolation ITE sous face R+1

L'isolation de la sous-face de la dalle du R+1 permet de limiter les ponts thermiques liés au porte-à-faux (voir tableau 3 – tableau des parois).

5.1.8 Isolation de la salle de sport

La salle de sport située en sous-sol est isolée par l'intérieur afin de limiter les déperditions vers les zones non chauffées du sous-sol (voir tableau 3 – tableau des parois).

Synthèses des parois isolées :

- Isolation thermique extérieure des façades ainsi que de la toiture de la Nappe ;
- Plancher bas du RDC et plancher intermédiaire du R+1 en porte-à-faux ;
- Plancher bas de la salle de sport ;
- Murs vers locaux non chauffés de la salle de sport.

→ Voir annexe 1 - plan de coupe de synthèse des travaux d'isolation des parois

5.2 SOLUTION 2 - 1 : AJOUT DE BRISES SOLEIL VERTICAUX ORIENTABLES MANUELLEMENT

L'ajout de brises soleil orientables, ici non automatisés, sur les menuiseries des façades orientées au Sud-Ouest et Sud-Est permet de diminuer l'impact du rayonnement solaire en été sans pour autant occulter entièrement les vitrages de la lumière.

→ Les brises soleil verticaux ont été modélisé d'une épaisseur de lame de 9 cm, espacés de 8 cm.



Les brises soleil orientables, contrairement au brises soleil fixes permettent une plus grande flexibilité pour l'usager en fonction des conditions météorologiques. Le risque étant tout de même une utilisation non optimale des BSO, voir pas de gestion du tout en cas de bureau sans occupation.



Figure 30 : Exemple de brises soleil orientables



Figure 29 : Exemple de brises soleil fixes

Pour pallier à une utilisation variable des BSO, on peut aussi penser la mise en place de brises soleils fixes, comme étudié avec la solution 2 - 2. Notons que la mise en place de la GTC permet l'asservissement des BSO est ainsi une utilisation plus optimale de l'installation, cette option sera étudiée en solution 4, lors du cumul des solution 2 et 3.

5.3 SOLUTION 2 - 2 : AJOUT DE BRISES SOLEIL FIXES

Les brises soleil verticaux fixes ont été modélisé d'une épaisseur de lame de 9 cm, espacés de 8 cm. L'orientation est de 10° vers le bas. Ils ont été placés sur les menuiseries des façades orientés au Sud-Ouest et Sud-Est.

5.4 SOLUTION 3 - 1 : REMPLACEMENT DE LA GTC ET DE LA PAC

Le remplacement de la Gestion Technique Centralisée (GTC) implique le remplacement d'une grande partie des équipements de la Tour. La GTC permet ainsi de lier la gestion de l'éclairage, du chauffage et de la climatisation afin d'optimiser l'utilisation du bâtiment.

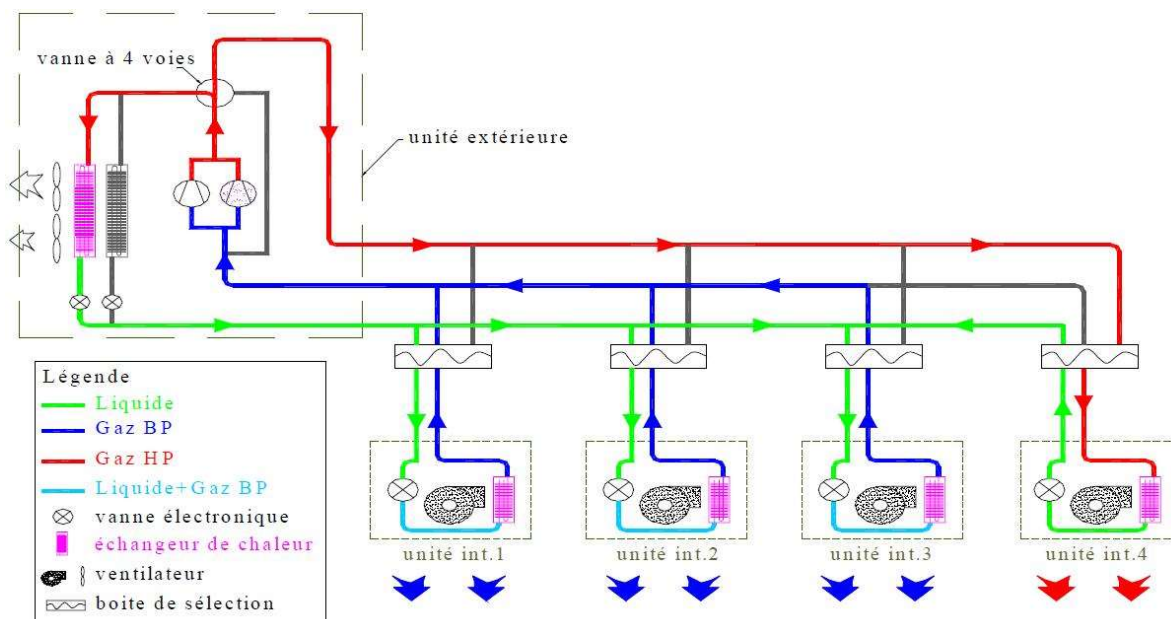
Il est donc prévu :

- Le remplacement de l'ensemble des luminaires par des luminaires à LED gradable avec capteur de présence et de luminosité avec retour d'état à la GTC ;
- Le remplacement de l'ensemble des ventilo convecteurs gainables avec retour d'état à la GTC ;
- La remise à neuf du réseau de chauffage et d'eau glacée et le remplacement des pompes en sous-station par des pompes à débit variable.
- Le remplacement de la PAC par une nouvelle PAC d'une puissance de 240 kW, assurant la majeure partie du chauffage du bâtiment. La PAC est modélisée en cascade avec, en appoint les chaudières gaz actuelles. Ces dernières serviront notamment à assurer la bonne relance de chauffage après arrêt des systèmes. La mise en route d'une nouvelle PAC permettra une nette diminution des consommations de gaz et l'exploitation du coefficient de performance d'une pompe à chaleur.



5.5 SOLUTION 3 – 2 : REMPLACEMENT DE LA GTC ET CURAGE DES RESEAUX DE CHAUFFAGE ET CLIMATISATION POUR L'INSTALLATION D'UN RESEAU DE VRV

Le principal intérêt d'une installation VRV réside dans la capacité du système à produire du chaud et du froid en simultanée avec des coefficients de performance très intéressants. Dans le cas présent, la mise en place d'un système VRV impliquerait un surcoût lié au remplacement complet de l'installation de distribution et au remplacement des productions chaudes et de froid. C'est pour ces raisons que nous ne préconisons pas cette solution.



5.6 SOLUTION 4 - 1 : CUMUL DES SOLUTIONS 1, 2 - 1 ET 3 - 1

On prend en compte les éléments suivants :

- Solution 1 ;
- Solution 2 – 1 ;
- Solution 3 – 1 ;
- Asservissement des BSO.

Le cumul des solutions permet de renforcer l'optimisation liées à l'utilisation du site et de combler les lacunes observées au niveau de l'enveloppe thermique et de l'utilisation. La diminution des surfaces vitrées et la protection des façades orientées Sud ont permis d'améliorer le confort d'été sans pour l'instant changer les types d'installations présents dans le bâtiment.

5.7 SOLUTION 4 – 2 : CUMUL DES SOLUTIONS 1, 2 - 2 ET 3 - 1

On prend en compte les éléments suivants :

- Solution 1 ;
- Solution 2 - 2 ;
- Solution 3 - 1.

5.8 SOLUTION 4 – 3 : CUMUL DES SOLUTIONS 1, 2 - 1 ET 3 - 2

On prend en compte les éléments suivants :

- Solution 1 ;



- Solution 2 – 1 ;
- Solution 3 – 2.

5.9 SOLUTION 5 : REMPLACEMENT DE LA CTA PAR DU DOUBLE FLUX AVEC ECHANGEUR

Le système de renouvellement d'air hygiénique dans les bureaux de la Tour est actuellement effectué par une ventilation double flux sans échangeur. L'air chauffé est ainsi rejeté en extérieur sans valorisation des calories disponibles dans l'air vicié. La mise en place d'une ventilation double flux avec échangeur thermique permet de diminuer le chauffage et refroidissement nécessaire. L'échangeur peut atteindre une efficacité de 90% en fonction des modèles. Néanmoins, dans notre modélisation nous nous contenterons d'une efficacité de l'échangeur de 85%.

Il est prévu de conserver les réseaux de soufflage et reprise. La CTA double flux sera mise en place dans l'actuel local CTA situé au R+6. Le soufflage sera réalisé sur les gainables et la reprise dans les sanitaires et couloir.

5.10 SOLUTION 6 : MISE EN PLACE D'UNE PAC REVERSIBLE

Une PAC réversible permet d'assurer le besoin de chaud en hiver et de froid en été. Nous avons vu précédemment que ces besoins n'étaient pas simultanés dans le bâtiment, on peut donc envisager la mise en place d'une telle PAC afin d'augmenter l'efficacité de l'installation climatique.

5.11 SOLUTION 7 : CUMUL DES SOLUTIONS 5 ET 6

Le cumul des solutions permet de renforcer l'optimisation liées à l'utilisation du site.

5.12 COMPORTEMENT DE LA ZONE THERMIQUE D'ETUDE – FICHIER METEO MOYEN 2010-2019 ETE CHAUD- SOLUTION 6

Pour l'étude d'une zone thermique à l'état rénové, on exploite à nouveau le bureau exposé au Sud au niveau R+5. Pour rappel, la solution 6 propose une rénovation de l'enveloppe du bâtiment ainsi que la remise en marche de la GTC, la PAC actuelle et la mise en place d'une CTA DF pour la tour.

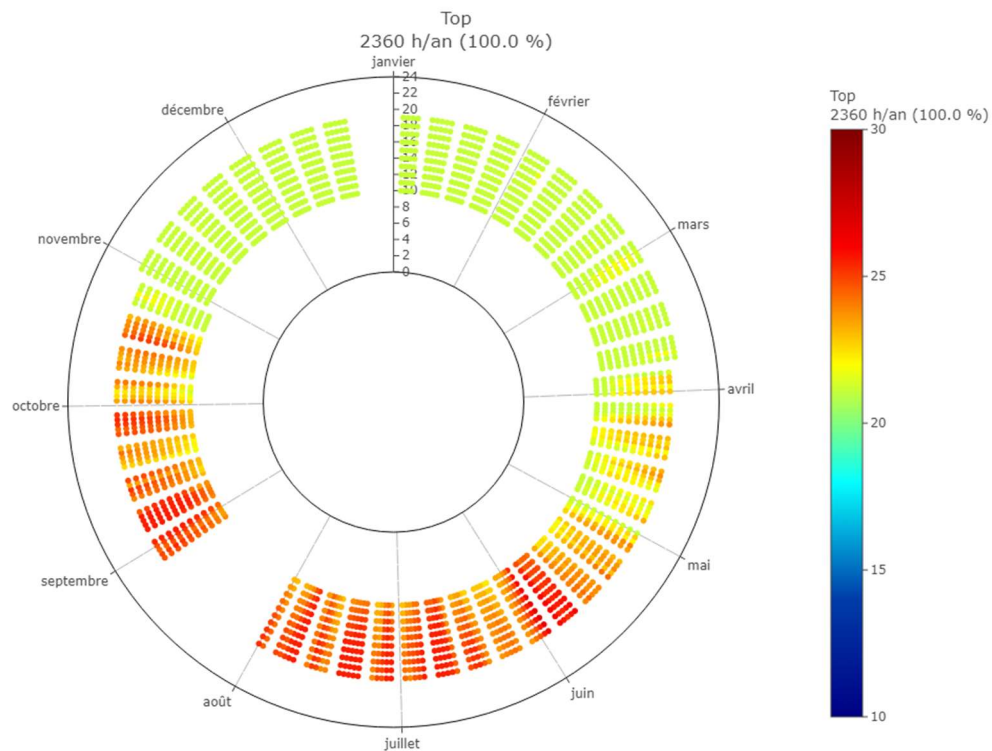


Figure 31 : Diagramme cyclique de température opérative en fonction de l'occupation du bâtiment - solution 6 - fichier météo moyen

Concernant le confort hivernal et estival, on obtient le diagramme cyclique suivant :

On arrive à respecter le confort hivernal sur toute l'année et concernant le confort d'été, le dimensionnement des installations est réalisé de sorte que le seuil de 26°C ne soit jamais dépassé.

6 ETUDE SOLAIRE

6.1 PREAMBULE

6.1.1 Objet de l'étude

Dans le cadre du rendu concernant la rénovation énergétique du bâtiment situé au 12 rue André Huet, il a été demandé à OTEIS d'établir une étude de faisabilité afin de déterminer la surface de panneau photovoltaïque et d'assurer une part importante d'autoconsommation de l'électricité consommée par le bâtiment.

La présente étude a pour objet de présenter les différentes solutions d'implantation des panneaux afin d'assurer une part d'autoconsommation de l'électricité consommée par le bâtiment. On étudie ici :

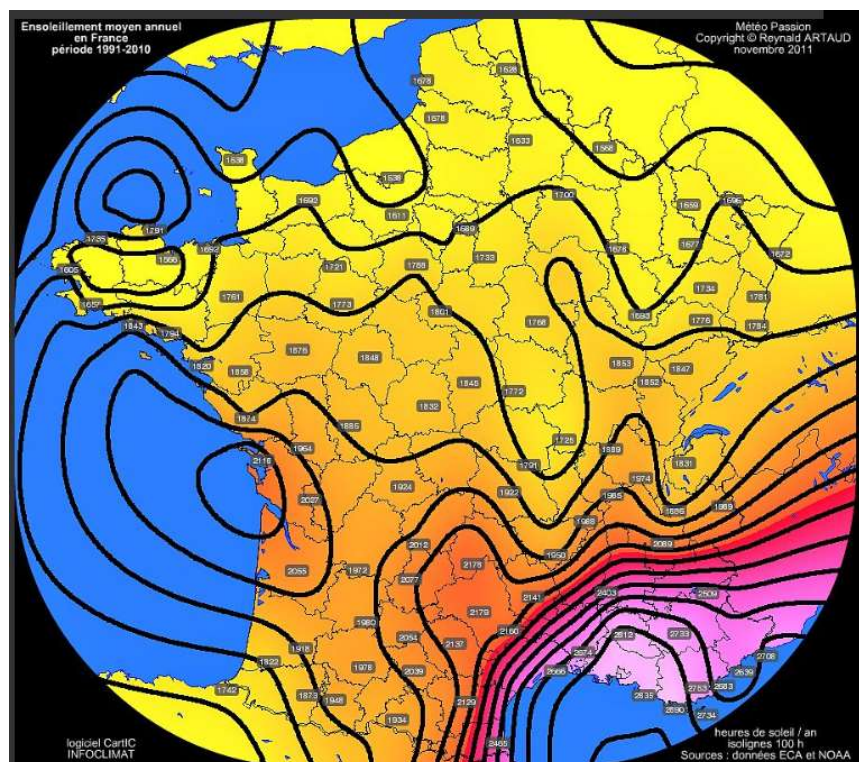
1. Une installation de puissance dimensionnée en fonction de l'usage pour de l'autoconsommation sans batterie ;
2. L'utilisation de la surface maximum disponible en toiture afin d'analyser le potentiel solaire disponible en revente totale.

Ces différentes études de faisabilité permettent d'analyser les différentes solutions citées ci-dessus et constituent des aides à la décision.

Dans le cas où l'intégration au projet d'une installation photovoltaïque était confirmée, des études complémentaires seront nécessaires pour définir de manière précise les prescriptions techniques et modalités de mise en œuvre en vue d'une consultation.

6.2 ANALYSE DU SITE

6.2.1 Ensoleillement sur la France



On remarque immédiatement la suprématie du Sud-Est. L'ensoleillement moyen annuel y est partout supérieur à 2200 heures. Le maximum est atteint au Sud-Ouest du Var avec des valeurs approchant les 2900 heures annuelles.

Certaines régions tirent bien leur épingle du jeu. C'est le cas du massif central, de la Gironde et de la Charente-Maritime, avec en moyenne plus de 2000 heures de soleil par an.

Les régions de France où le soleil brille moins de 1600 heures par an sont à l'intérieur de la Bretagne, le Cotentin, la Seine-Maritime ainsi que la frontière Belge.

Le grand-est se retrouve plutôt en fourchette basse avec une valeur de 1700 heure d'ensoleillement par an.

6.3 CONTEXTE FINANCIER

6.3.1 Tarif d'achat

6.3.1.1 L'obligation d'achat

Dans le cadre de l'obligation d'achat, le kilowattheure d'électricité photovoltaïque est vendu par le producteur à un tarif fixé par arrêté - une mesure incitative à l'origine de nos voisins allemands. Le producteur photovoltaïque injecte de l'électricité sur le réseau ; ENEDIS est obligée d'acheter l'énergie photovoltaïque à un prix fixé par l'arrêté S21. Ce mécanisme permet d'aboutir à une rentabilité normale des capitaux investis sur la durée de vie des installations.

Le prix de rachat reste constant sur 20 ans pour une centrale donnée. Néanmoins, il tend à décroître chaque année pour les nouvelles centrales, comme représenté sur la figure ci-dessous.

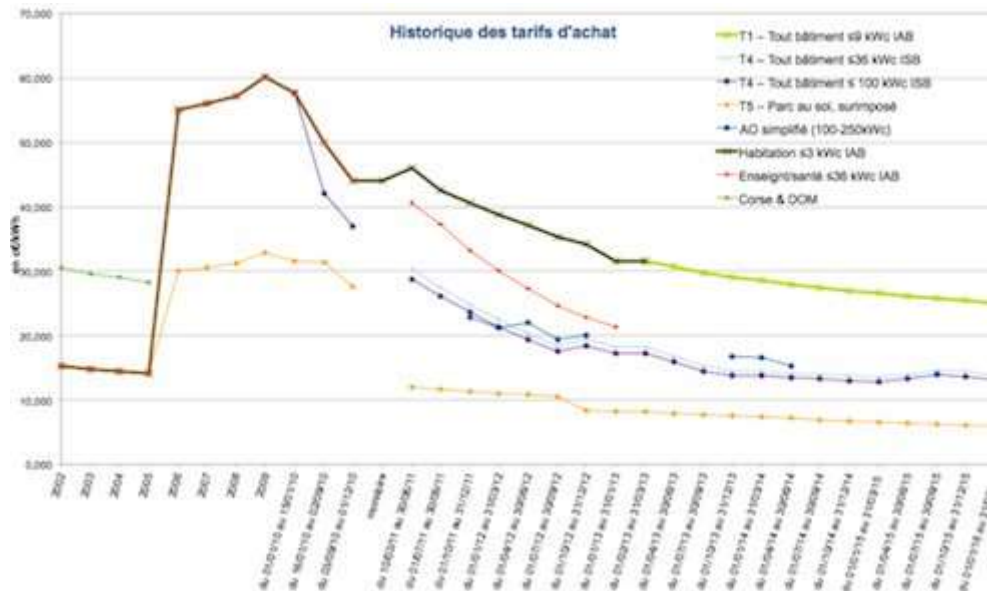


Figure 32 : Graphique représentatif de l'évolution des tarifs d'achat

6.3.1.2 Arrêté tarifaire en vigueur

L'arrêté tarifaire du 9 mai 2017 fixe les conditions pour bénéficier de l'obligation d'achat (vente de la totalité et autoconsommation avec vente du surplus) pour les installations photovoltaïques ≤ 100 kWc implantées sur bâtiment dont la demande complète de raccordement a été déposée à compter du 11 mai 2017, en France métropolitaine continentale.

Tarif d'achat – Barème du T1 2024		
Puissance	Vente totale	Vente du surplus
De 0 à 3 kWc	0.1657€	0.1297€
De 3 à 9 kWc	0.1409€	
De 9 à 36 kWc	0.1363€	0.0778€
De 36 à 100 kWc	0.1185€	
De 100 à 500 kWc	0.1171€	0.1171€

C'est la date de demande complète de raccordement qui détermine le trimestre dans lequel est fixé le tarif d'achat. Une fois sécurisé, le tarif d'achat d'un projet n'est plus affecté par la dégressivité trimestrielle. Il est néanmoins indexé chaque année selon un coefficient L durant les 20 ans du contrat.

6.3.2 Aides financières mobilisables

6.3.2.1 Primes d'investissement

La prime à l'investissement n'est due qu'une seule fois et dépend de la puissance installée (indiquée en Wc). Elle sera versée de façon équirépartie (1/5ème par an pendant 5 ans) par l'acheteur obligé. Comme précisé dans l'arrêté, c'est la demande complète de raccordement qui vaut demande de tarif et de prime, en fonction de l'éligibilité de l'installation.

Cette prime à l'autoconsommation dépend de la puissance de l'installation choisie. Au 4ème trimestre 2024, elle est de :

- 350 € par kWc pour une centrale solaire photovoltaïque d'une puissance inférieure ou égale à 3 kWc ;
- 260 € par kWc pour une puissance comprise entre 3 kWc et 9 kWc ;
- 200 € par kWc pour une puissance comprise entre 9 kWc et 36 kWc ;
- 100 € par kWc pour une puissance comprise entre 36 kWc et 100 kWc.
- 0 € par kWc pour une puissance comprise entre 100 kWc et 500 kWc.

Cette prime n'est pas disponible pour une installation en vente totale. Ainsi, l'investissement de départ peut s'avérer plus élevé.

6.3.2.2 Aide Climaxion

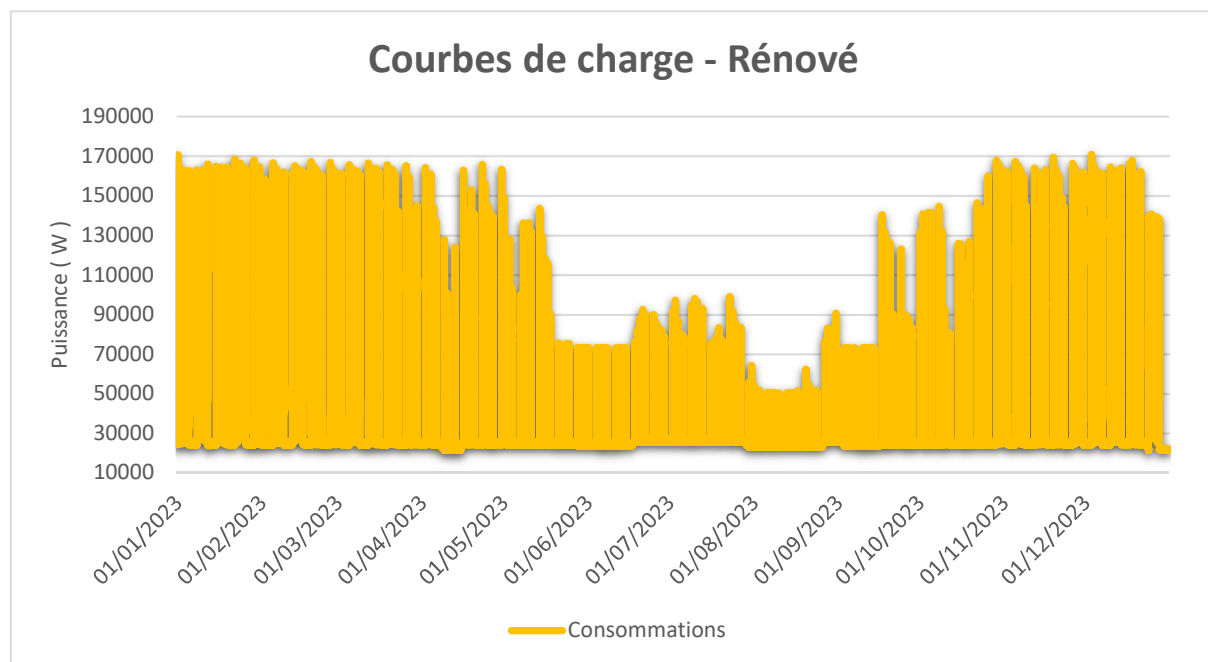
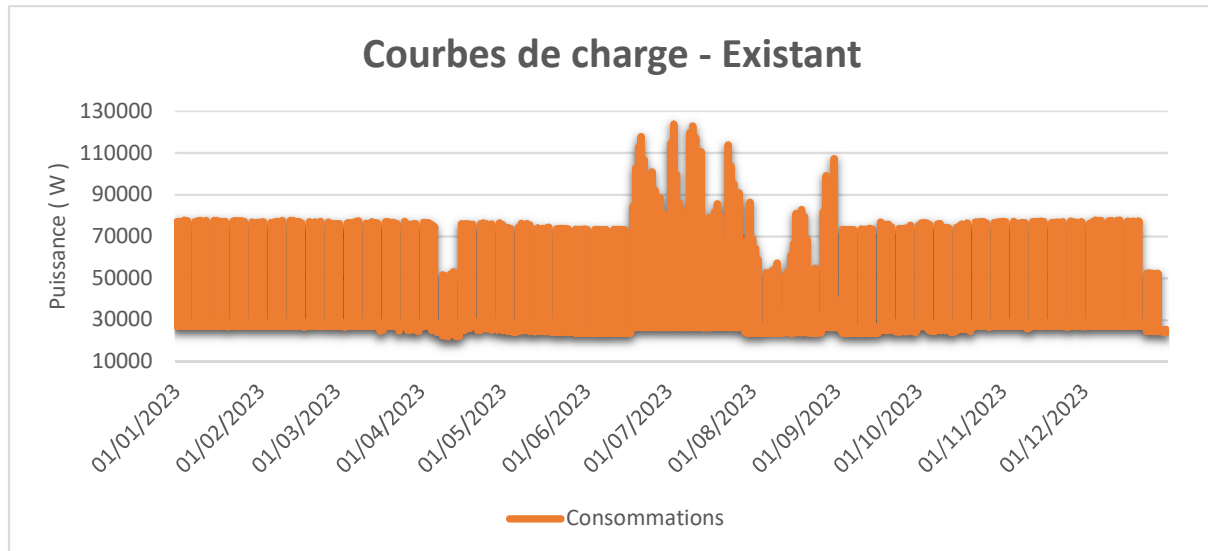
L'aide Climaxion n'est due qu'une seule fois et dépend de la puissance installée (indiquée en Wc). Elle concerne les installations de 3 à 500 kWc avec une autoconsommation supérieure à 70 % et **sans vente du surplus au tarif d'achat réglementé**.

L'aide financière est mobilisable à hauteur de :

- 300 €/kWc pour les 100 premiers kWc installés puis 50 €/kWc de 101 kWc à 500 kWc,
- Plafond à de 30% du coût du projet,
- Hors coût de raccordement.

6.4 DES CONSOMMATIONS

Nous avons déterminé la courbe de charge du bâtiment sur une année complète depuis les modélisations thermiques dynamiques.



Actuellement la pompe à chaleur est à l'arrêt ce qui explique des puissances appelées plus faible en hivers qu'en été.

Ces courbes de puissances représentent, sous forme de graphique, la consommation d'électricité sur une période précise.

6.5 ANALYSE DU SITE

La zone étudiée est composée du bâtiment central et d'un parking au nord.

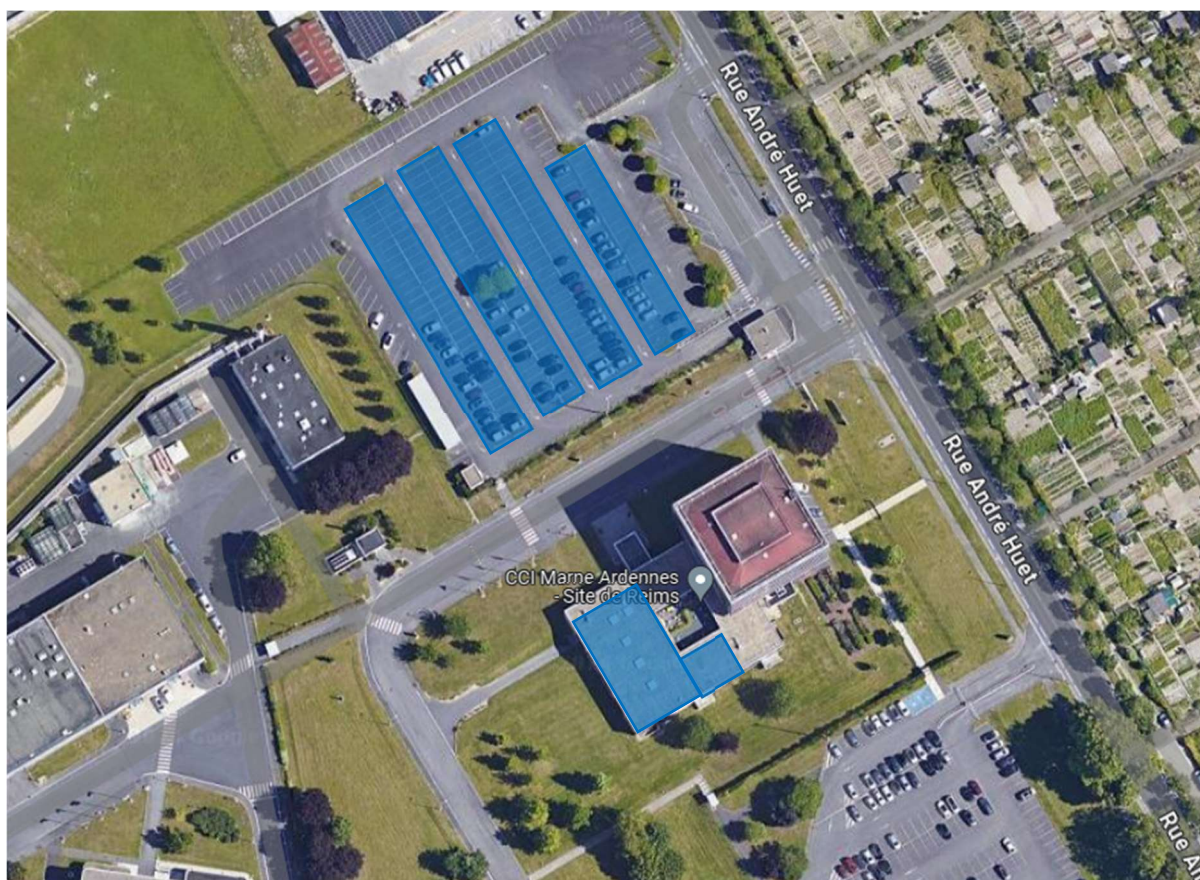


Figure 33 : Vue aérienne de l'ensemble du site du bâtiment RACCINE avec les zones ayant un potentiel d'éclairage (en bleues)

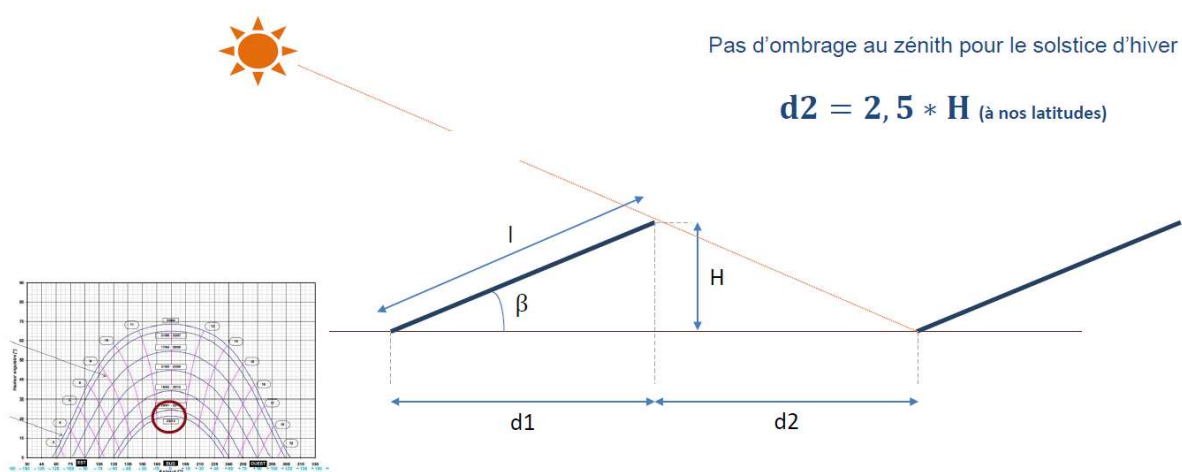
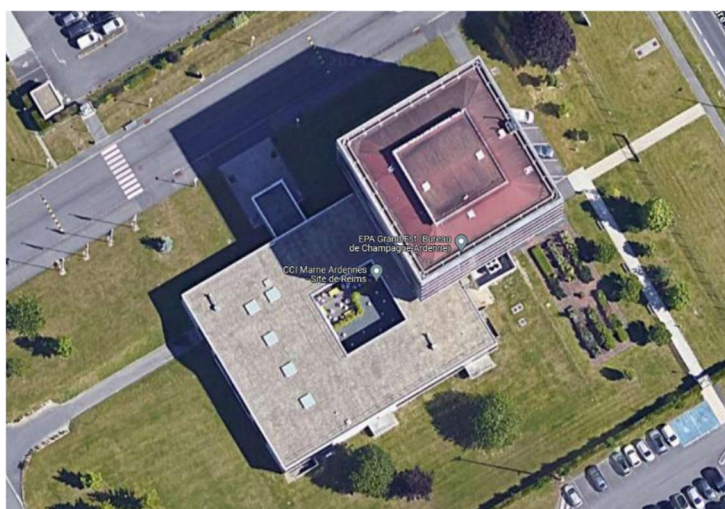
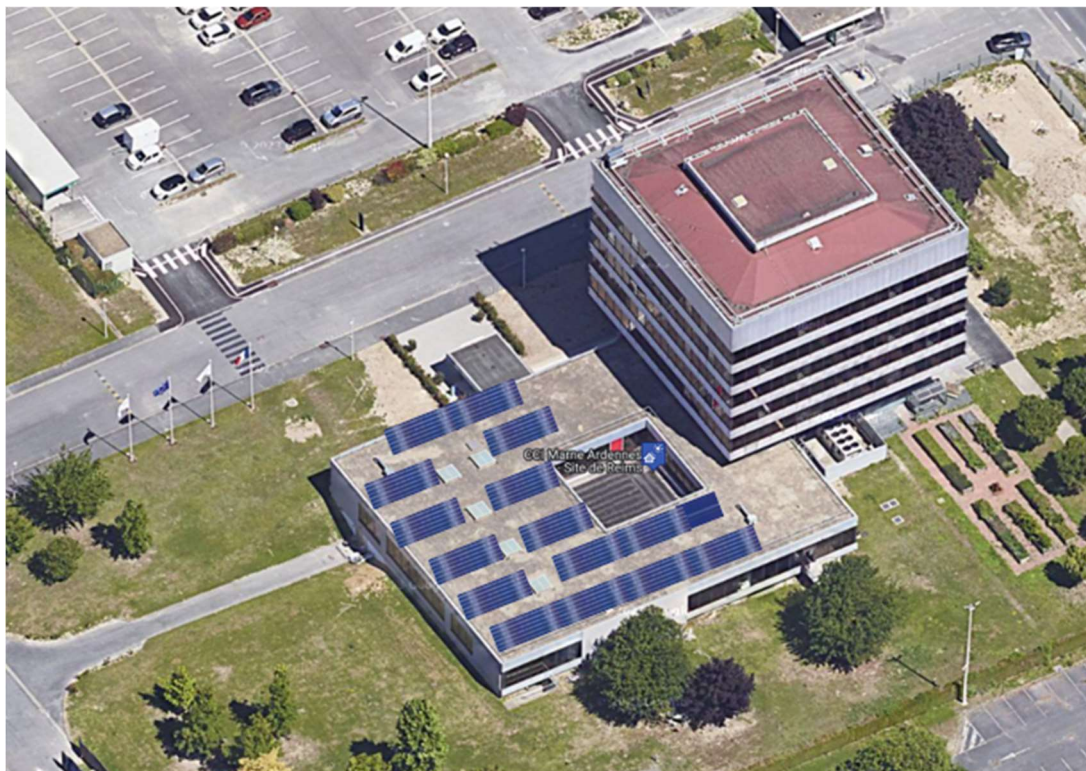


Figure 34 : Description du calcul d'espacement des panneaux photovoltaïques

1. Dans la suite de l'étude nous proposons la mise en place de panneau photovoltaïque sur support en toiture avec une inclinaison à 30°. Cette inclinaison implique une distance minimale $d1 + d2 = 2.50$ m pour la mise en place de panneau de 405Wc de 1.75 x 1.15. (Voir figure 36)
2. Pour les ombrières solaires, nous proposons la mise en place de panneau photovoltaïque sur support en toiture avec une inclinaison à 10° avec une distance de 6 à 8 mètres pour les poteaux et une puissance de 375 Wc par panneau.

Suivant la configuration du bâtiment, il serait possible de mettre en œuvre environ :

- 214 panneaux de 405 Wc soit 87 kWc.



- Le site ne présente pas d'arbre de grande hauteur qui implique un masque important.

6.6 ETUDE DE FAISABILITE – SOLUTION 8 : PANNEAU SOLAIRE EN SUPPORT DE LA TOITURE TERRASSE

6.6.1 Information générale sur l'installation

La première étude de faisabilité a porté sur l'installation de panneaux photovoltaïque sur la toiture terrasse avec :

- 214 modules soit une surface de 428 m²
- Puissance par module de 405 Wc
- Une puissance globale de 87 kWc < 100 kWc

Les caractéristiques sélectionnées sont :

- Orientation -30 ° Sud-Est
- Inclinaison 30°
- Panneaux type Dual Sun flash 405 half cute white
- Pose sur toiture terrasse sur support incliné

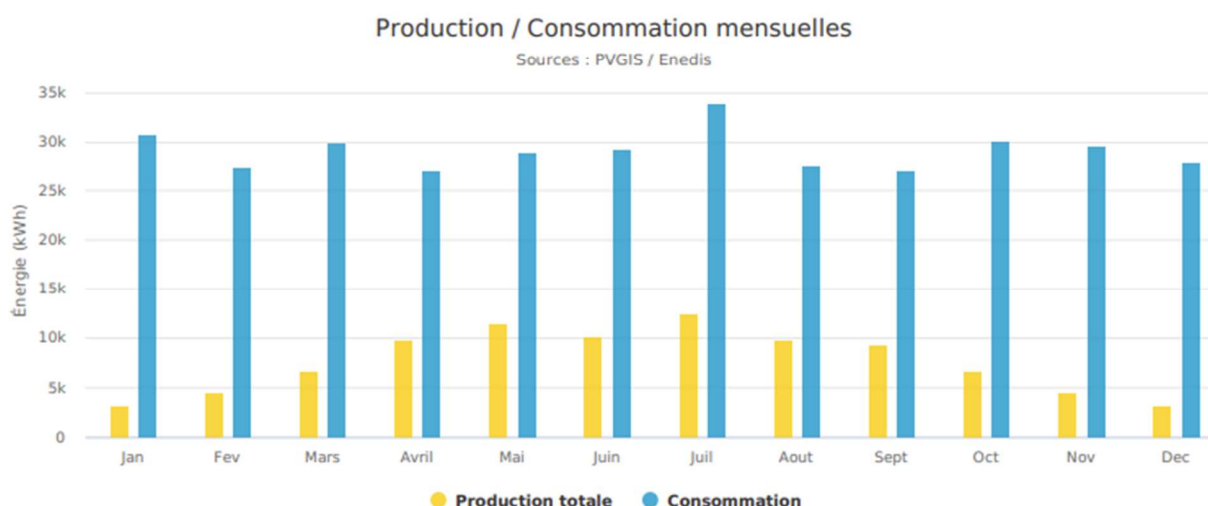
6.6.2 Autoconsommation Bâtiment existant

6.6.2.1 Production et consommation

La production serait alors de :

Production annuelle	Consommation annuelle
91 751 kWh	349 718 kWh

Sur le *graphique* ci-dessus, on peut lire les valeurs mensuelles de **production photovoltaïque** et de **consommation électrique**.



Graphe 'camembert' de gauche

Il représente l'utilisation de la production photovoltaïque :

- En **orange** → la part d'électricité PV produite et consommée directement dans la journée (énergie autoconsommée)
- En **vert** → la part d'électricité PV produite et en surplus qu'il sera possible d'injecter au réseau ou de stocker

Graphe 'camembert' de droite

Il représente la provenance de la consommation électrique :

- En **orange** → la part d'électricité consommée en provenance de votre installation photovoltaïque (énergie autoconsommée)
- En **rouge** → la part d'électricité consommée en provenance du réseau électrique (soutirage restant)

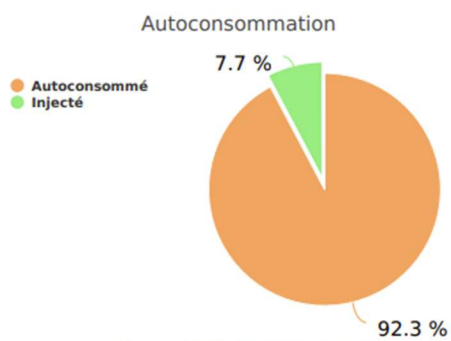


Figure 4 : Production annuelle

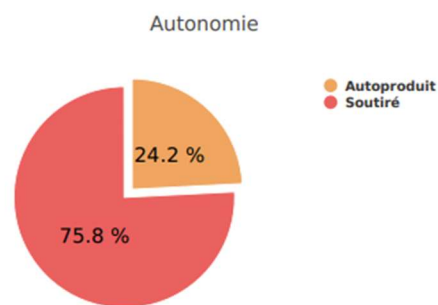


Figure 5 : Consommation annuelle

6.6.2.2 Étude économique et retour sur investissement

Les hypothèses prises sont les suivantes :

Tarif de l'électricité soutirée au réseau	Inflation du prix du kWh soutiré du réseau
0.15 €/kWh	3 %
Tarif d'achat en injection totale	Tarif d'achat en injection partielle
0.1185 €/kWh	0.0778 €/kWh

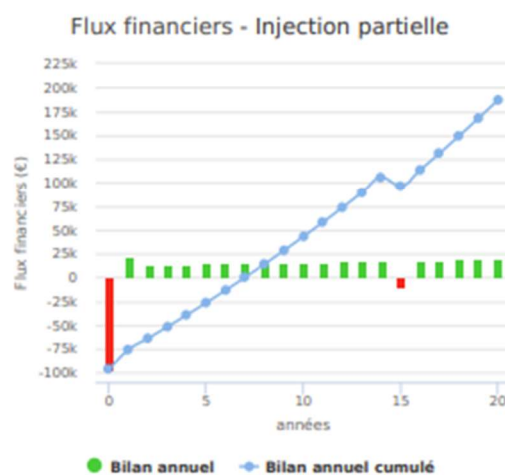
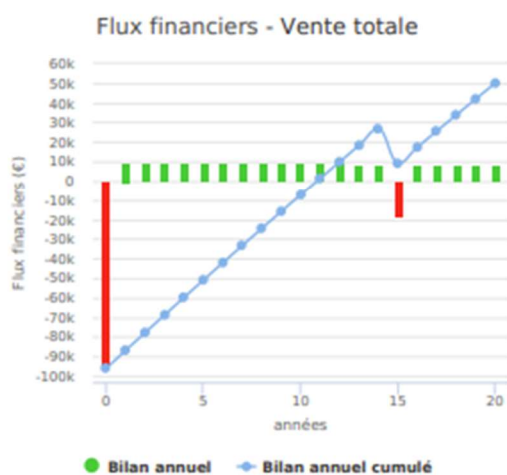
Le tableau ci-dessous fait une synthèse des coûts globaux et des recettes (économies ou vente) réalisées sur toute la durée de vie du projet photovoltaïque.

	Investissement (CAPEX)	Dépenses sur 20 ans (OPEX)	Primes & Subventions	Recettes sur 20 ans		Facture énergétique moyenne sur 20 ans
				Vente	Économie	
Consommateur sans PV	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	70 477 €/an
Consommateur - Vente totale	95 835 €	61 244 €	0 €	207 120 €	0 €	67 975 €/an
Consommateur - Injection partielle	95 835 €	61 244 €	8 700 €	9 734 €	325 566 €	61 131 €/an

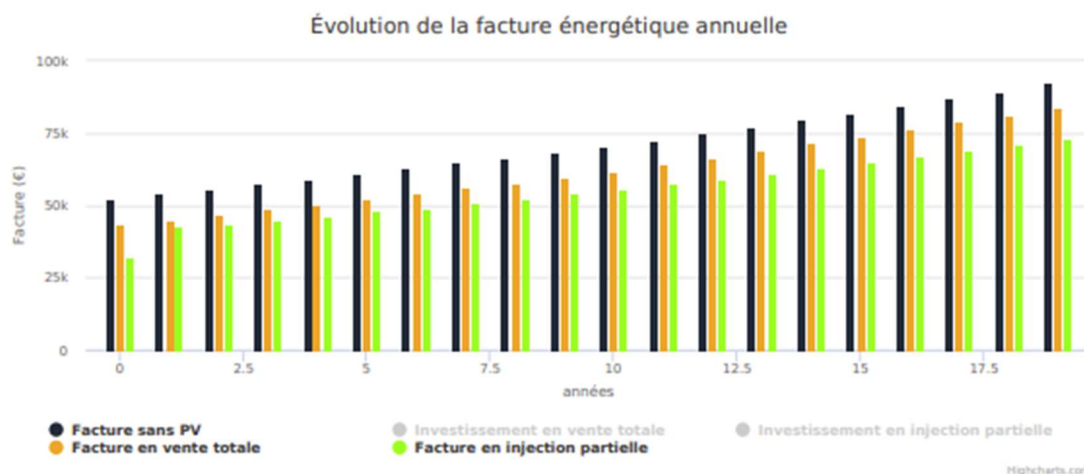
Figure 6 : Tableau récapitulatif

Le(s) graphique(s) ci-dessous présente(nt) une courbe de rentabilité du projet photovoltaïque sur toute sa durée de vie.

- En **rouge** → le coût total de votre investissement
- En **vert** → le bilan financier chaque année (recettes - dépenses) généré par votre installation photovoltaïque
- En **bleu** → le bilan financier cumulé année après année



- Durée de vie de l'installation : 20 ans
- Durée de vie de l'onduleur : 15 ans
- Cout de maintenance annuelle : 2.0% de l'investissement



Prix de revient du kWh PV en vente totale (LCOE)

0,090 €/kWh

Prix de revient du kWh PV en injection partielle (LCOE)

0,085 €/kWh

Le **Temps de Retour Actualisé** (TRA) correspond au nombre d'années nécessaires avant que le projet soit rentable et que l'investissement soit récupéré. Plus le TRA est faible, plus le projet est intéressant.

Le **Taux de Rentabilité Interne** (TRI) correspond au coût maximum des capitaux investis à prendre en compte pour que le projet soit rentable. Il prend en compte tous les flux financiers et les exprime en un rendement annuel apporté par le projet. Plus le TRI est fort, plus le projet est intéressant.

Le tableau ci-dessous fait une synthèse des coûts globaux et des recettes (économies ou vente) réalisées sur toute la durée de vie du projet photovoltaïque.

TRI en vente totale

5,73 %

TRI en injection partielle

16,29 %

TRA en vente totale

11 ans

TRA en injection partielle

7 ans

6.6.3 Autoconsommation bâtiment rénové

6.6.3.1 Production et consommation

La production serait alors de :

Production annuelle	Consommation annuelle
91 751 kWh	431 762 kWh

Sur le *graphique* ci-dessus, on peut lire les valeurs mensuelles de **production photovoltaïque** et de **consommation électrique**.

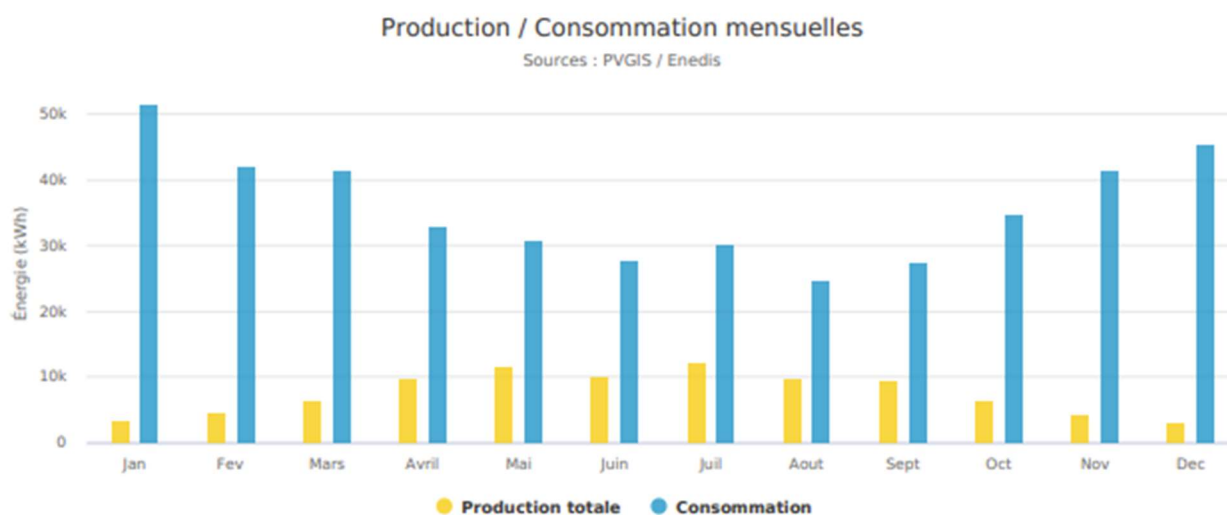


Figure 3 : Production / Consommation mensuelles

Dans ces conditions la part d'auto consommation serait celle-ci :

Graphe 'camembert' de gauche

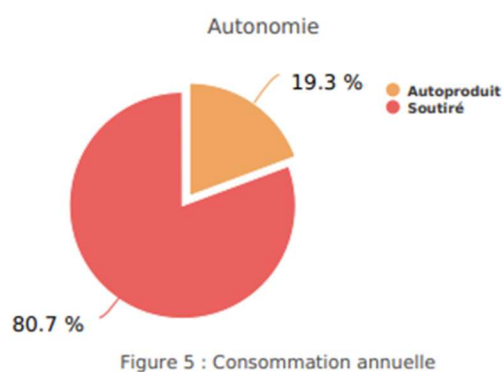
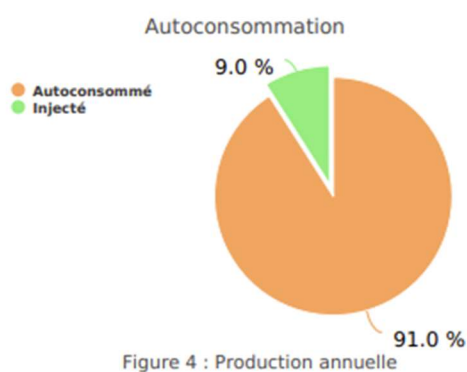
Il représente l'utilisation de la production photovoltaïque :

- En **orange** → la part d'électricité PV produite et consommée directement dans la journée (énergie autoconsommée)
- En **vert** → la part d'électricité PV produite et en surplus qu'il sera possible d'injecter au réseau ou de stocker

Graphe 'camembert' de droite

Il représente la provenance de la consommation électrique :

- En **orange** → la part d'électricité consommée en provenance de votre installation photovoltaïque (énergie autoconsommée)
- En **rouge** → la part d'électricité consommée en provenance du réseau électrique (soutirage restant)



6.6.3.2 Étude économique et retour sur investissement

Les hypothèses prises sont les suivantes :

- Durée de vie de l'installation : 20 ans
- Durée de vie de l'onduleur : 15 ans
- Cout de maintenance annuelle : 2.0% de l'investissement

Tarif de l'électricité soutirée au réseau	Inflation du prix du kWh soutiré du réseau
0.15 €/kWh	3 %
Tarif d'achat en injection totale	Tarif d'achat en injection partielle
0.1185 €/kWh	0.0778 €/kWh

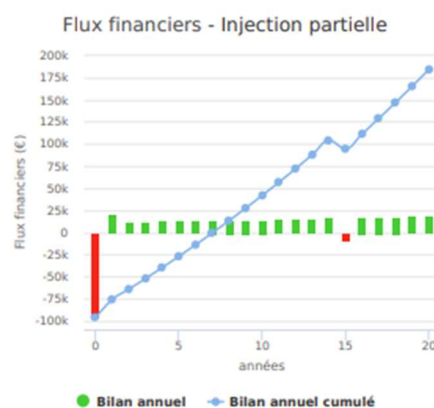
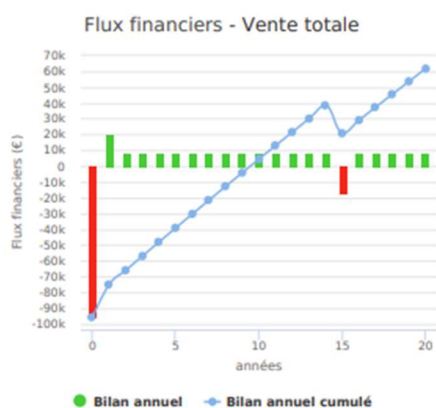
Le tableau ci-dessous fait une synthèse des coûts globaux et des recettes (économies ou vente) réalisées sur toute la durée de vie du projet photovoltaïque.

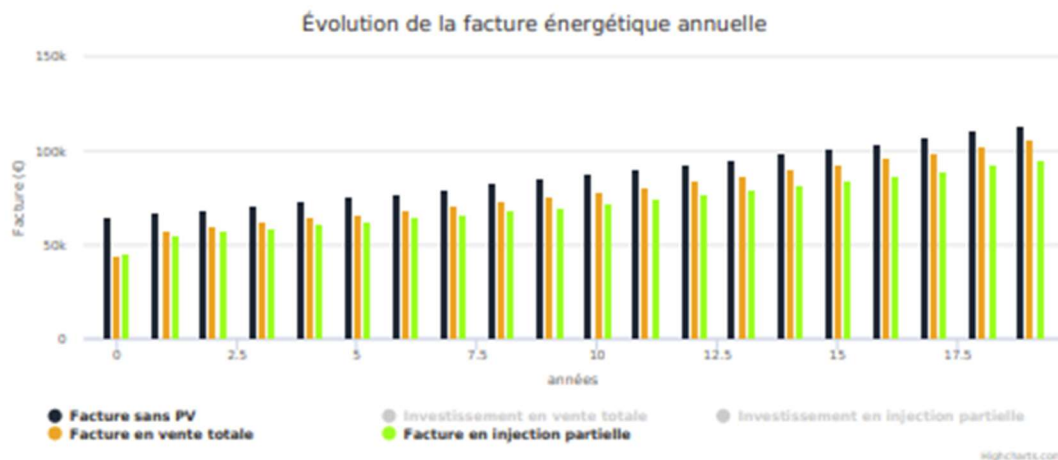
	Investissement (CAPEX)	Dépenses sur 20 ans (OPEX)	Primes & Subventions	Recettes sur 20 ans		Facture énergétique moyenne sur 20 ans
				Vente	Économie	
Consommateur sans PV	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	87 011 €/an
Consommateur - Vente totale	95 700 €	61 217 €	11 571 €	207 120 €	0 €	83 922 €/an
Consommateur - Injection partielle	95 700 €	61 217 €	8 700 €	11 435 €	321 195 €	77 790 €/an

Figure 6 : Tableau récapitulatif

Le(s) graphique(s) ci-dessous présente(nt) une courbe de rentabilité du projet photovoltaïque sur toute sa durée de vie.

- En **rouge** → le coût total de votre investissement
- En **vert** → le bilan financier chaque année (recettes - dépenses) généré par votre installation photovoltaïque
- En **bleu** → le bilan financier cumulé année après année





Prix de revient du kWh PV en vente totale (LCOE)

0,083 €/kWh

Prix de revient du kWh PV en injection partielle (LCOE)

0,085 €/kWh

Le **Temps de Retour Actualisé** (TRA) correspond au nombre d'années nécessaires avant que le projet soit rentable et que l'investissement soit récupéré. Plus le TRA est faible, plus le projet est intéressant.

Le **Taux de Rentabilité Interne** (TRI) correspond au coût maximum des capitaux investis à prendre en compte pour que le projet soit rentable. Il prend en compte tous les flux financiers et les exprime en un rendement annuel apporté par le projet. Plus le TRI est fort, plus le projet est intéressant.

Le tableau ci-dessous fait une synthèse des coûts globaux et des recettes (économies ou vente) réalisées sur toute la durée de vie du projet photovoltaïque.

TRI en vente totale

7,91 %

TRI en injection partielle

16,14 %

TRA en vente totale

9 ans

TRA en injection partielle

7 ans

6.7 ETUDE DE FAISABILITE – SOLUTION 9 : OMBRIERES SUR TOUTES LES PLACES DE PARKING

6.7.1 Autoconsommation BATIMENT EXISTANT

La première étude de faisabilité a porté sur l'installation de panneaux photovoltaïque sur la toiture terrasse avec :

- 1193 modules soit une surface de 2393 m²
- Puissance par module de 375 Wc
- Une puissance globale de 448 kWc < 500 kWc

Les caractéristiques sélectionnées sont :

- Orientation 60° Sud-Ouest
- Inclinaison 10°
- Panneaux type Dual Sun 375 Wc
- Pose sur poteaux idéalement de distance 6 à 8m



6.7.1.1 Production et consommation

La production serait alors de :

Production annuelle	Consommation annuelle
417 953 kWh	349 718 kWh

Sur le *graphique* ci-dessus, on peut lire les valeurs mensuelles de **production photovoltaïque** et de **consommation électrique**.

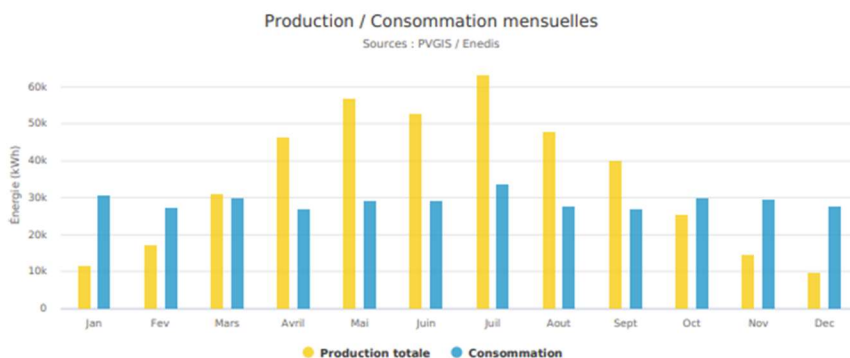


Figure 3 : Production / Consommation mensuelles

Dans ces conditions les parts d'autoconsommation et d'autonomie seront celles-ci :

Graphique 'camembert' de gauche

Il représente l'utilisation de la production photovoltaïque :

- En **orange** → la part d'électricité PV produite et consommée directement dans la journée (énergie autoconsommée)
- En **vert** → la part d'électricité PV produite et en surplus qu'il sera possible d'injecter au réseau ou de stocker

Graphique 'camembert' de droite

Il représente la provenance de la consommation électrique :

- En **orange** → la part d'électricité consommée en provenance de votre installation photovoltaïque (énergie autoconsommée)
- En **rouge** → la part d'électricité consommée en provenance du réseau électrique (soutirage restant)

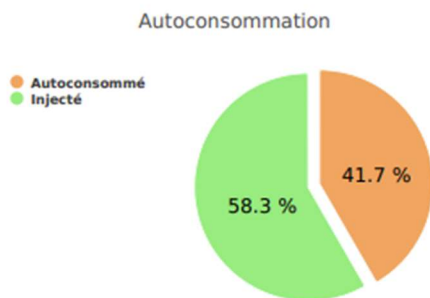


Figure 4 : Production annuelle

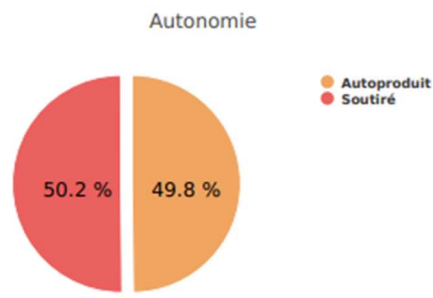


Figure 5 : Consommation annuelle

6.7.1.2 Étude économique et retour sur investissement

Les hypothèses prises sont les suivantes :

- Durée de vie de l'installation : 20 ans
- Durée de vie de l'onduleur : 15 ans
- Cout de maintenance annuelle : 2.0% de l'investissement

Tarif de l'électricité soutirée au réseau	Inflation du prix du kWh soutiré du réseau
0.15 €/kWh	3 %
Tarif d'achat en injection totale	Tarif d'achat en injection partielle
0.1171 €/kWh	0.1171 €/kWh

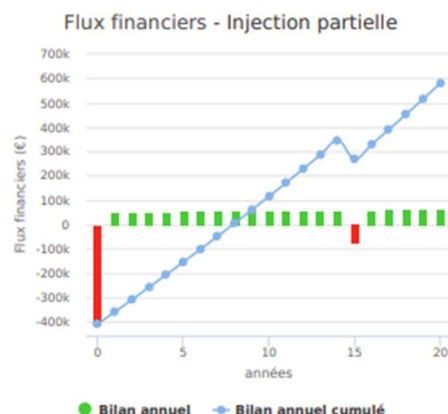
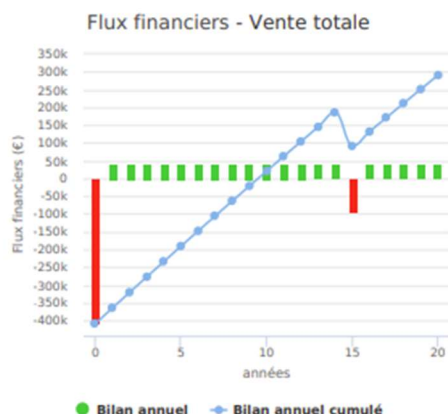
Le tableau ci-dessous fait une synthèse des coûts globaux et des recettes (économies ou vente) réalisées sur toute la durée de vie du projet photovoltaïque.

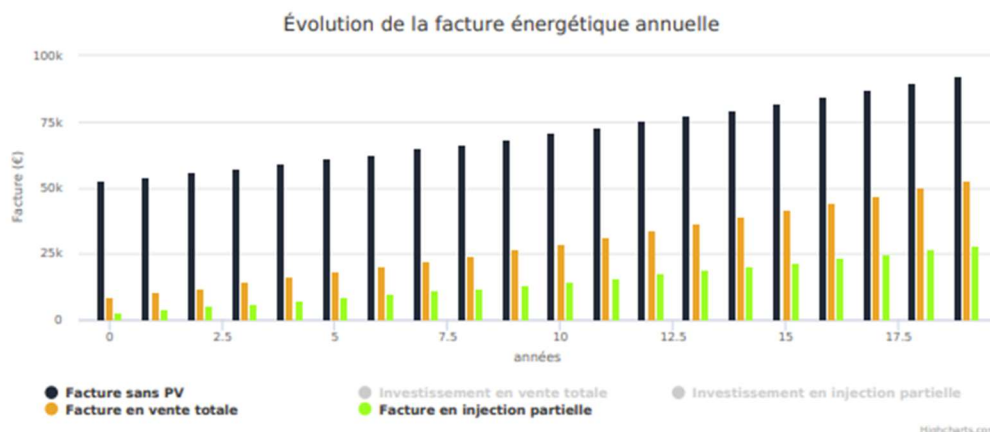
	Investissement (CAPEX)	Dépenses sur 20 ans (OPEX)	Primes & Subventions	Recettes sur 20 ans		Facture énergétique moyenne sur 20 ans
				Vente	Économie	
Consommateur sans PV	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	70 477 €/an
Consommateur - Vente totale	407 680 €	233 773 €	0 €	932 350 €	0 €	55 932 €/an
Consommateur - Injection partielle	407 680 €	233 773 €	0 €	529 221 €	692 884 €	41 444 €/an

Figure 6 : Tableau récapitulatif

Le(s) graphique(s) ci-dessous présente(nt) une courbe de rentabilité du projet photovoltaïque sur toute sa durée de vie.

- En **rouge** → le coût total de votre investissement
- En **vert** → le bilan financier chaque année (recettes - dépenses) généré par votre installation photovoltaïque
- En **bleu** → le bilan financier cumulé année après année





Prix de revient du kWh PV en vente totale (LCOE)

0,081 €/kWh

Prix de revient du kWh PV en injection partielle (LCOE)

0,081 €/kWh

Le **Temps de Retour Actualisé** (TRA) correspond au nombre d'années nécessaires avant que le projet soit rentable et que l'investissement soit récupéré. Plus le TRA est faible, plus le projet est intéressant.

Le **Taux de Rentabilité Interne** (TRI) correspond au coût maximum des capitaux investis à prendre en compte pour que le projet soit rentable. Il prend en compte tous les flux financiers et les exprime en un rendement annuel apporté par le projet. Plus le TRI est fort, plus le projet est intéressant.

Le tableau ci-dessous fait une synthèse des coûts globaux et des recettes (économies ou vente) réalisées sur toute la durée de vie du projet photovoltaïque.

TRI en vente totale

7,77 %

TRI en injection partielle

12,62 %

TRA en vente totale

9 ans

TRA en injection partielle

8 ans

6.7.2 Autoconsommation BATIMENT RENOVE

6.7.2.1 Production et consommation

La production serait alors de :

Production annuelle	Consommation annuelle
417 953 kWh	431 762 kWh

Sur le graphique ci-dessus, on peut lire les valeurs mensuelles de **production photovoltaïque** et de **consommation électrique**.

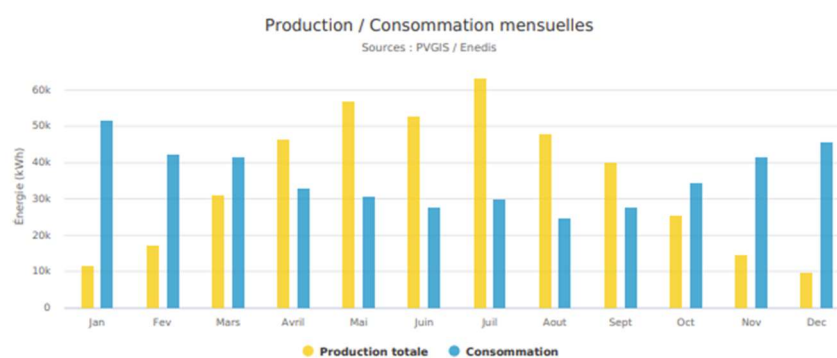


Figure 3 : Production / Consommation mensuelles

Dans ces conditions les parts d'autoconsommation et d'autonomie seront celles-ci :

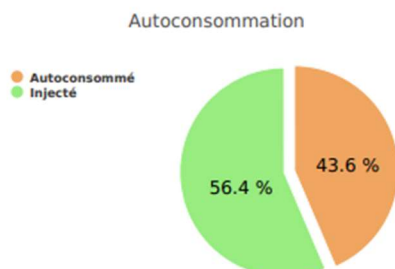


Figure 4 : Production annuelle

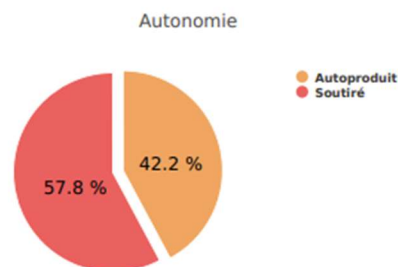


Figure 5 : Consommation annuelle

6.7.2.2 Étude économique et retour sur investissement

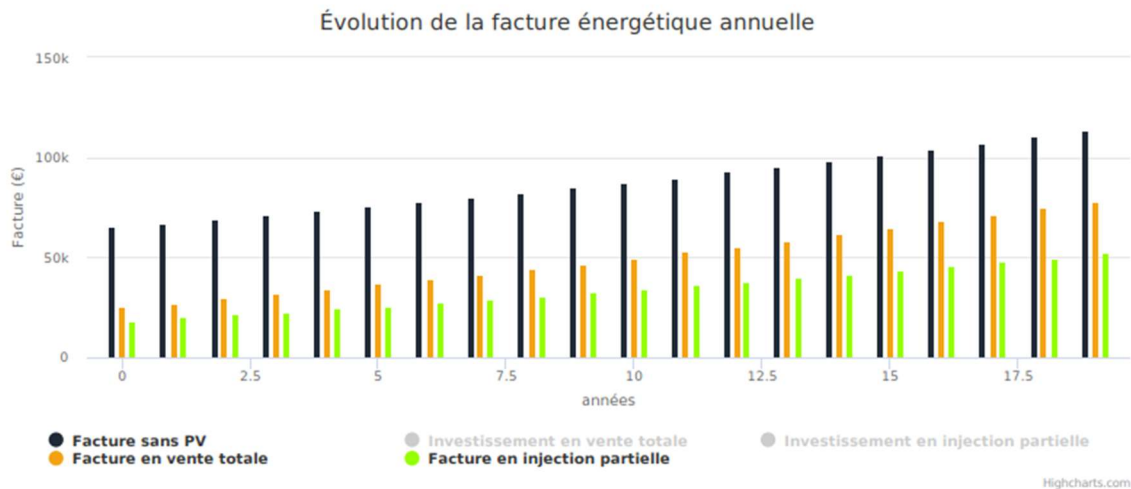
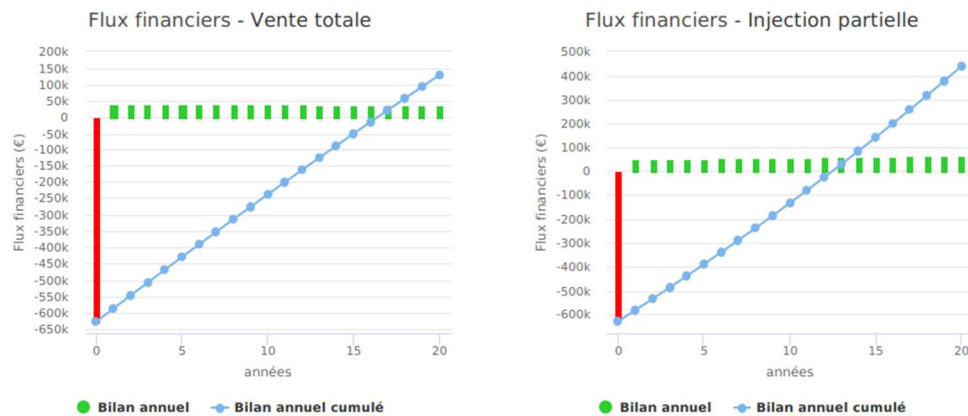
Les hypothèses prises sont les suivantes :

- Durée de vie de l'installation : 20 ans
- Durée de vie de l'onduleur : 15 ans

- Cout de maintenance annuelle : 2.0% de l'investissement

Le(s) graphique(s) ci-dessous présente(nt) une courbe de rentabilité du projet photovoltaïque sur toute sa durée de vie.

- o En **rouge** → le coût total de votre investissement
- o En **vert** → le bilan financier chaque année (recettes - dépenses) généré par votre installation photovoltaïque
- o En **bleu** → le bilan financier cumulé année après année



Prix de revient du kWh PV en vente totale (LCOE)

10,090 €/kWh

Prix de revient du kWh PV en injection partielle (LCOE)

9,955 €/kWh

Le **Temps de Retour Actualisé** (TRA) correspond au nombre d'années nécessaires avant que le projet soit rentable et que l'investissement soit récupéré. Plus le TRA est faible, plus le projet est intéressant.

Le **Taux de Rentabilité Interne** (TRI) correspond au coût maximum des capitaux investis à prendre en compte pour que le projet soit rentable. Il prend en compte tous les flux financiers et les exprime en un rendement annuel apporté par le projet. Plus le TRI est fort, plus le projet est intéressant.

Le tableau ci-dessous fait une synthèse des coûts globaux et des recettes (économies ou vente) réalisées sur toute la durée de vie du projet photovoltaïque.

TRI en vente totale	TRI en injection partielle
2,11 %	6,08 %
TRA en vente totale	TRA en injection partielle
16 ans	12 ans

6.8 ETUDE DE FAISABILITE – SOLUTION 10 : OMBRIERES A PLUS DE 70% D'AUTOCONSOMMATION

On étudie ici la faisabilité de l'installation d'ombrières en parking pour atteindre un taux d'autoconsommation de plus de 70%.

On prend en compte les éléments suivants :

- 506 modules soit une surface de 1013 m²
- Puissance par module de 375 Wc
- Une puissance globale de 190 kWc < 200 kWc

Les caractéristiques sélectionnées sont :

- Orientation 60° Sud-Ouest
- Inclinaison 10°
- Panneaux type Dual Sun 375 Wc
- Pose sur poteaux idéalement de distance 6 à 8 m

6.8.1 Autoconsommation : Bâtiment existant

On utilise la courbe de charge de la simulation du bâtiment existant avec le fichier météo des températures moyennes entre 2010 et 2019.

6.8.1.1 Production et consommation

La production serait alors de :

Production annuelle	Consommation annuelle
177 257 kWh	349 718 kWh

Sur le *graphique* ci-dessus, on peut lire les valeurs mensuelles de **production photovoltaïque** et de **consommation électrique**.

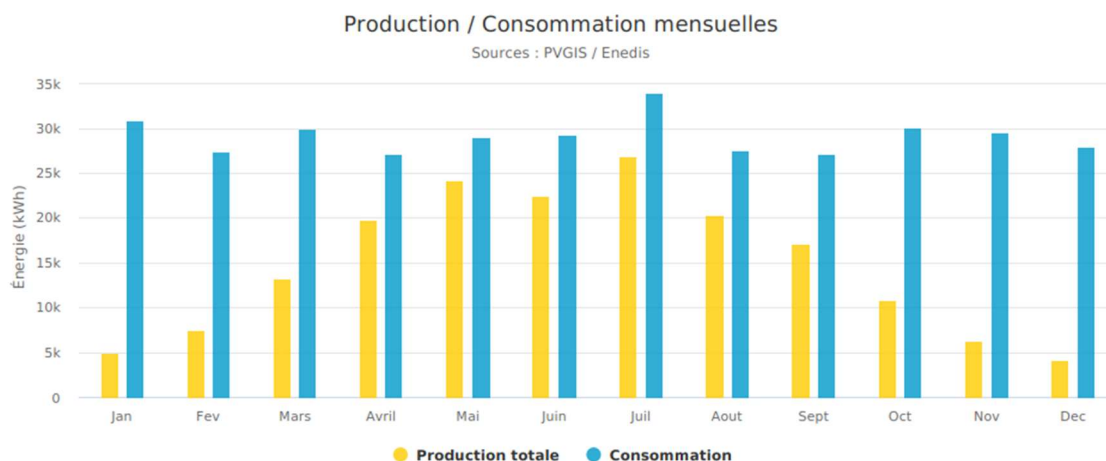


Figure 37 : Production / consommation mensuelles - installation à 190 kWc

Dans ces conditions les parts d'autoconsommation et d'autonomie seraient celle-ci :

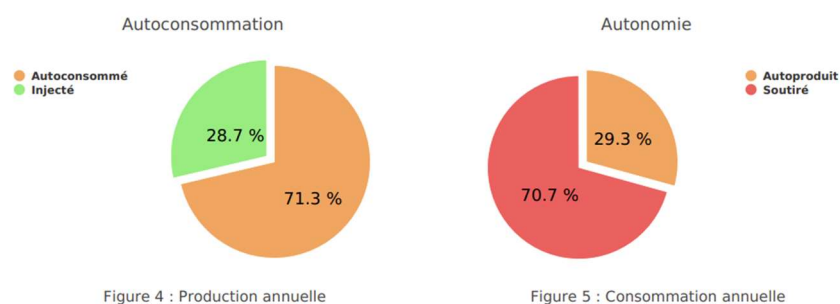


Figure 38 : Part d'autoconsommation (à gauche), part d'autonomie soit la part d'énergie consommée provenant de la source locale de production d'énergie (à droite)

6.8.1.2 Étude économique et retour sur investissement

Les hypothèses prises sont les suivantes :

Tarif de l'électricité soutirée au réseau	Inflation du prix du kWh soutiré du réseau
0.15 €/kWh	3 %
Tarif d'achat en injection totale	Tarif d'achat en injection partielle
0.1171 €/kWh	0.1171 €/kWh

Le tableau ci-dessous fait une synthèse des coûts globaux et des recettes (économies ou vente) réalisées sur toute la durée de vie du projet photovoltaïque.

	Investissement (CAPEX)	Dépenses sur 20 ans (OPEX)	Primes & Subventions	Recettes sur 20 ans		Facture énergétique moyenne sur 20 ans
				Vente	Économie	
Consommateur sans PV	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	70 477 €/an
Consommateur - Vente totale	266 000 €	84 003 €	0 €	395 417 €	0 €	68 206 €/an
Consommateur - Injection partielle	266 000 €	76 887 €	0 €	101 075 €	505 227 €	57 306 €/an

Figure 39 : Tableau financier récapitulatif

Le(s) graphique(s) ci-dessous présente(nt) une courbe de rentabilité du projet photovoltaïque sur toute sa durée de vie.

- En **rouge** → le coût total de votre investissement
- En **vert** → le bilan financier chaque année (recettes - dépenses) généré par votre installation photovoltaïque
- En **bleu** → le bilan financier cumulé année après année

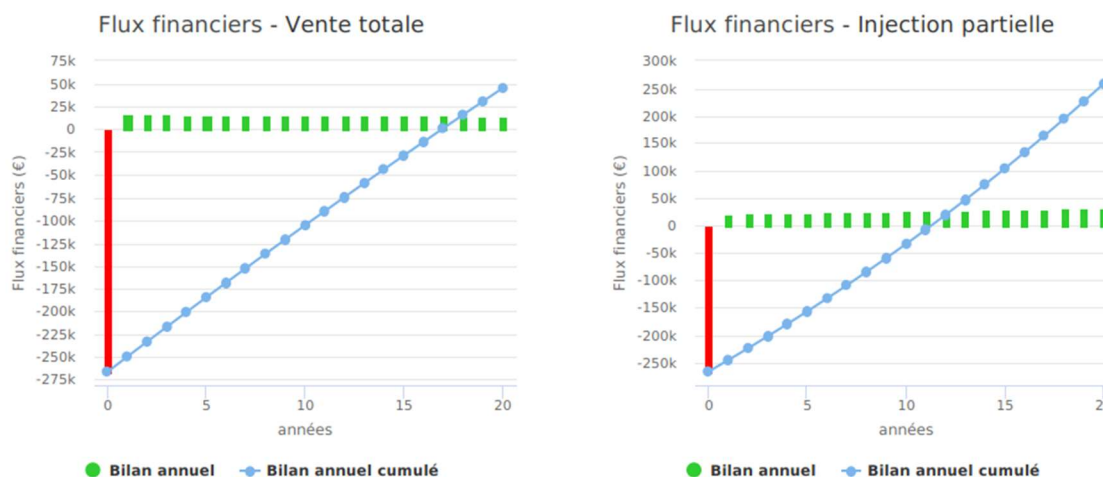
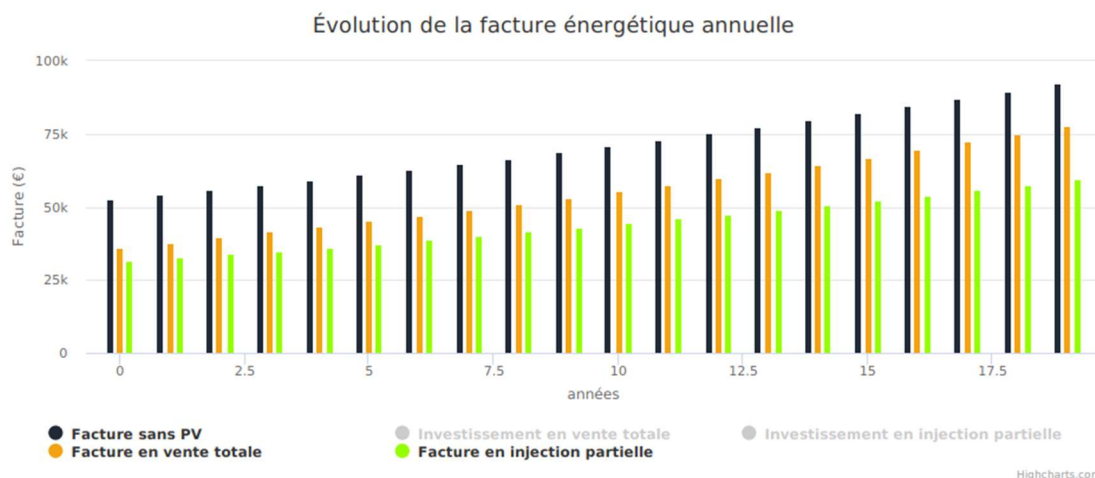


Figure 39 : Flux financier



Prix de revient du kWh PV en vente totale (LCOE)

10,365 €/kWh

Prix de revient du kWh PV en injection partielle (LCOE)

10,154 €/kWh

Le **Temps de Retour Actualisé** (TRA) correspond au nombre d'années nécessaires avant que le projet soit rentable et que l'investissement soit récupéré. Plus le TRA est faible, plus le projet est intéressant.

Le **Taux de Rentabilité Interne** (TRI) correspond au coût maximum des capitaux investis à prendre en compte pour que le projet soit rentable. Il prend en compte tous les flux financiers et les exprime en un rendement annuel apporté par le projet. Plus le TRI est fort, plus le projet est intéressant.

Le tableau ci-dessous fait une synthèse des coûts globaux et des recettes (économies ou vente) réalisées sur toute la durée de vie du projet photovoltaïque.

TRI en vente totale

1,77 %

TRI en injection partielle

7,95 %

TRA en vente totale

17 ans

TRA en injection partielle

11 ans

6.8.2 Autoconsommation : Bâtiment rénové selon la solution #4

On utilise la courbe de charge de la simulation du bâtiment rénové selon la solution #4 avec le fichier météo des températures moyennes entre 2010 et 2019.

6.8.2.1 Production et consommation

La production serait alors de :

Production annuelle
177 257 kWh

Consommation annuelle
431 762 kWh

Sur le *graphique* ci-dessus, on peut lire les valeurs mensuelles de **production photovoltaïque** et de **consommation électrique**.

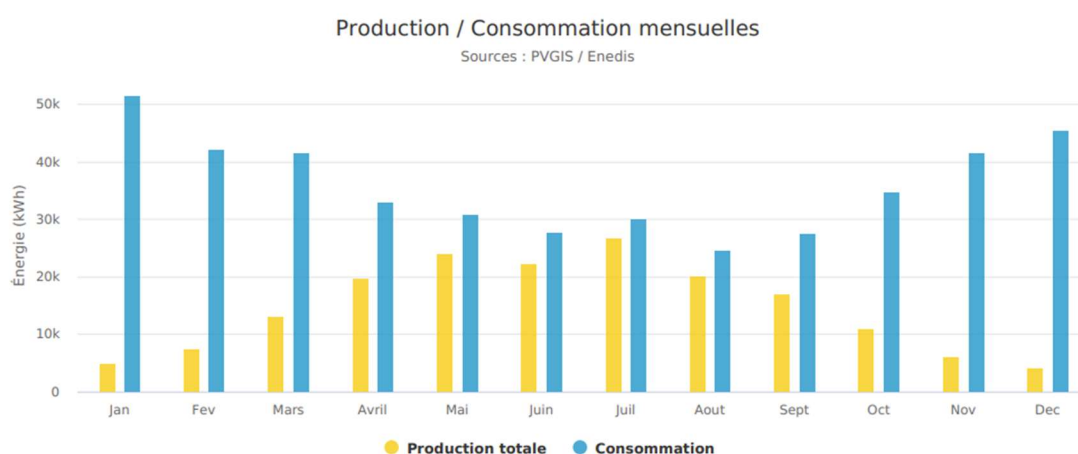


Figure 40 : Production / consommation mensuelles - installation à 190 kWc

Dans ces conditions les parts d'autoconsommation et d'autonomie seraient celle-ci :

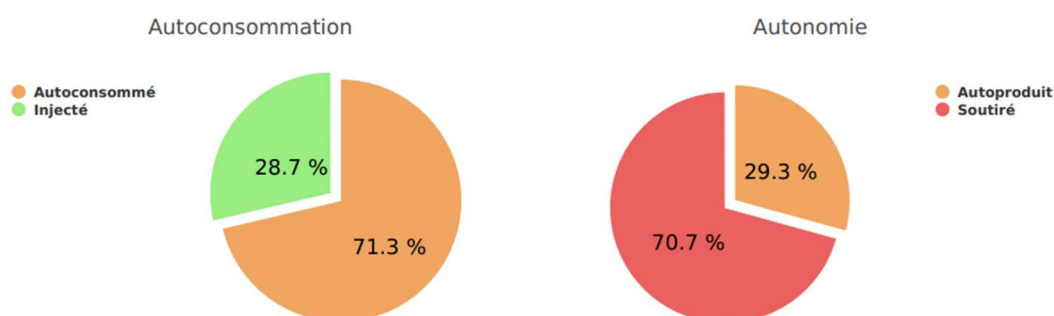


Figure 41 : Part d'autoconsommation (à gauche), part d'autonomie soit la part d'énergie consommée provenant de la source locale de production d'énergie (à droite)

6.8.2.2 Étude économique et retour sur investissement

Les hypothèses prises sont les suivantes :

- Coût d'investissement des ombrières : 1,4 € / Wc
- Durée de vie de l'installation : 20 ans
- Durée de vie de l'onduleur : 15 ans
- Cout de maintenance annuelle : 2.0% de l'investissement

Tarif de l'électricité soutirée au réseau	Inflation du prix du kWh soutiré du réseau
0.15 €/kWh	3 %
Tarif d'achat en injection totale	Tarif d'achat en injection partielle
0.1171 €/kWh	0.1171 €/kWh

Le tableau ci-dessous fait une synthèse des coûts globaux et des recettes (économies ou vente) réalisées sur toute la durée de vie du projet photovoltaïque.

	Investissement (CAPEX)	Dépenses sur 20 ans (OPEX)	Primes & Subventions	Recettes sur 20 ans		Facture énergétique moyenne sur 20 ans
				Vente	Économie	
Consommateur sans PV	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	87 011 €/an
Consommateur - Vente totale	266 000 €	84 003 €	0 €	395 417 €	0 €	84 740 €/an
Consommateur - Injection partielle	266 000 €	76 887 €	0 €	106 903 €	495 145 €	74 053 €/an
Consommateur - Cession du surplus, aide climaxion	266 000 €	74 290 €	30 585 €	0 €	495 145 €	77 739 €/an

Figure 43 : Tableau financier récapitulatif

Le(s) graphique(s) ci-dessous présente(nt) une courbe de rentabilité du projet photovoltaïque sur toute sa durée de vie.

- En **rouge** → le coût total de votre investissement
- En **vert** → le bilan financier chaque année (recettes - dépenses) généré par votre installation photovoltaïque
- En **bleu** → le bilan financier cumulé année après année

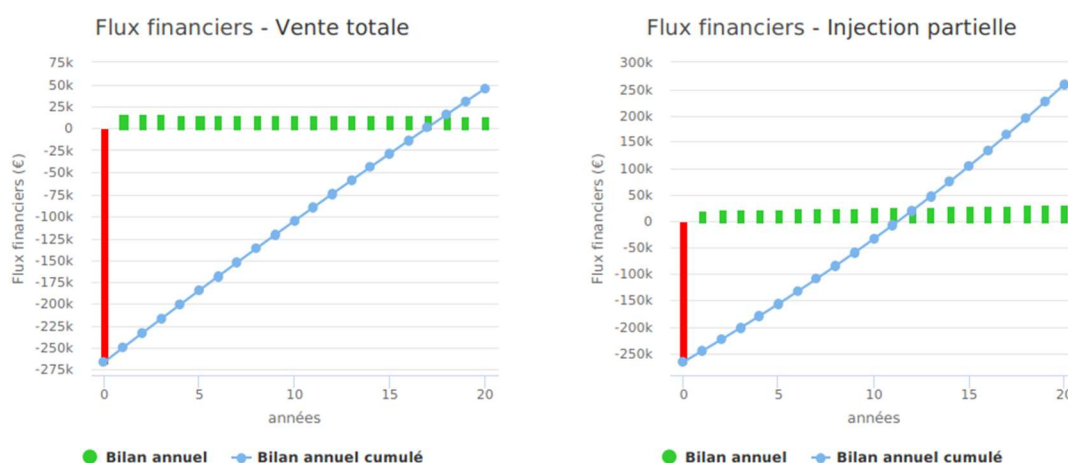
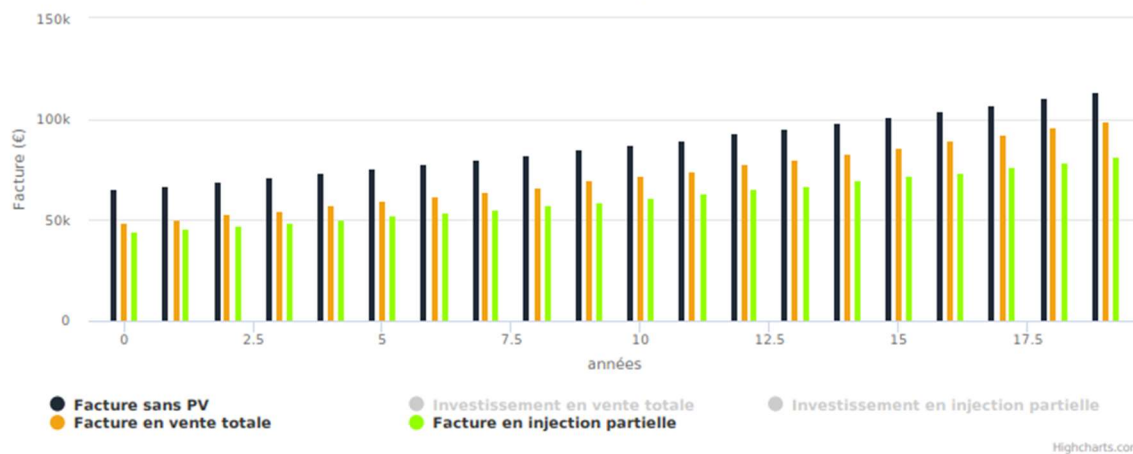


Figure 42 : Flux financier

Évolution de la facture énergétique annuelle



Prix de revient du kWh PV en vente totale (LCOE)

10,365 €/kWh

Prix de revient du kWh PV en injection partielle (LCOE)

10,154 €/kWh

Le **Temps de Retour Actualisé** (TRA) correspond au nombre d'années nécessaires avant que le projet soit rentable et que l'investissement soit récupéré. Plus le TRA est faible, plus le projet est intéressant.

Le **Taux de Rentabilité Interne** (TRI) correspond au coût maximum des capitaux investis à prendre en compte pour que le projet soit rentable. Il prend en compte tous les flux financiers et les exprime en un rendement annuel apporté par le projet. Plus le TRI est fort, plus le projet est intéressant.

Le tableau ci-dessous fait une synthèse des coûts globaux et des recettes (économies ou vente) réalisées sur toute la durée de vie du projet photovoltaïque.

TRI en vente totale

1,77 %

TRI en injection partielle

7,85 %

TRA en vente totale

17 ans

TRA en injection partielle


11 ans

CONCLUSION DE L'ETUDE SOLAIRE

En conclusion, nous préconisons l'installation de panneau solaire photovoltaïque en autoconsommation. La puissance installée sera adaptée en fonction du scénario de rénovation choisi afin de maximiser l'autoconsommation. En effet, la conception du bâtiment ainsi que son utilisation sont fortement compatibles à l'autoconsommation puisqu'il s'agit d'une utilisation principalement sur les heures d'ensoleillement et que la production de chaud et de froid sont partiellement réalisés par des équipements électriques (groupe froid et pompe à chaleur).

Tarif d'achat – Barème du T1 2024		
Puissance	Vente totale	Vente du surplus
De 0 à 3 kWc	0.1657€	0.1297€
De 3 à 9 kWc	0.1409€	
De 9 à 36 kWc	0.1363€	0.0778€
De 36 à 100 kWc	0.1185€	
De 100 à 500 kWc	0.1171€	0.1171€

On synthétise les résultats de l'étude solaire comme suit :

	Panneau solaire en support de la toiture terrasse		Ombrières – totalité du parking		Ombrières – partiel parking	
						
	<i>Bâtiment initial</i>	<i>Bâtiment rénové</i>	<i>Bâtiment initial</i>	<i>Bâtiment rénové</i>	<i>Bâtiment initial</i>	<i>Bâtiment rénové</i>
Nb de modules	214		1 193		506	
Surface	428 m ²		2 393 m ²		1013 m ²	
Puissance crête	87 kWc		448 kWc		190 kWc	
Puissance annuelle	91 751 Wc		417 953 Wc		177 257 Wc	
Part d'autoconsommation	92 %	91 %	58 %	44 %	72,7%	71,3%
Part de conso. annuelle	24 %	19 %	50 %	42 %	36,8%	29,3%
Prix de revient en vente totale	0,09 €/kWh	0,083 €/kWh	0,081 €/kWh	0,081 €/kWh	0,104 €/kWh	0,105 €/kWh
Prix de revient en injection partielle	0,085 €/kWh	0,085 €/kWh	0,081 €/kWh	0,081 €/kWh	0,101 €/kWh	0,092 €/kWh
TRA en vente totale	11 ans	9 ans	18 ans	12 ans	17 ans	17 ans
TRA en injection partielle	7 ans	7 ans	13 ans	16 ans	11 ans	13 ans

7 TABLEAU DE SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE

Zone thermique 1 - fichier météo moyen Bureau orienté SUD - R+5							
		Consommations globale (gaz et élec.)		CONSO CHAUFFAGE		CONSO CLIMATISATION	
Solutions	Interventions	kWh	variation à #0	kWh	variation à #0	kWh	variation à #0
#0	Pas d'intervention - Bâtiment existant à 100 % d'occupation - fichier météo 2000/2019 - été chaud	1 360 877,00		976 605		40 384	
Bâti et usages							
#1	Enveloppe thermique : - Changement de la façade selon la proposition 3 - Isolation de l'enveloppe thermique globale du bâtiment	896 309,00	-34%	529 318	-46%	25 635	-37%
#2-1	Ajout de brises soleils orientables avec <u>gestion manuelle</u> Sud-Ouest et Sud-Est sans changement de la composition de la façade - fermeture de BSO entre mai et août	1 353 915	-1%	984 184	1%	26 398	-35%
#2-2	Ajout de brises soleils fixes Sud-Ouest et Sud-Est intégrés à la façade	1 452 215	7%	1 082 409	11%	24 898	-38%
#3-1	Remise en état de marche de la GTC: - Consignes de chauffage et climatisation en fonction de l'occupation (8h --> 19h les jours de la semaine) - Gestion automatique de l'éclairage par détection de présence et détection de l'éclairement - Remplacement de la PAC avec température fluide amont -7°C/7°C	753 369	-45%	394 468	-60%	31 659	-22%
#3-2	Remise en état de marche de la GTC: - Consignes de chauffage et climatisation en fonction de l'occupation (8h --> 19h les jours de semaine) - Gestion automatique de l'éclairage par détection de présence et détection de l'éclairement - Remplacement du système de chauffage et clim par du DRV	570 310	-58%	222 175	-77%	32 389	-20%
#4-1	#1 + #2-1 + #3-1 : - Amélioration de l'enveloppe thermique - Remise en état de marche de la GTC - Remplacement de la PAC - Ajout de BSO avec <u>gestion centralisée sur la GTC</u>	548 609	-60%	202 740	-79%	19 504	-52%
#4-2	#1 + #2-2 + #3-1 : - Amélioration de l'enveloppe thermique - Remise en état de marche de la GTC - Remplacement de la PAC - Ajout de brises soleils fixes	550 237	-60%	203 056	-79%	19 292	-52%
#4-3	#1 + #2-1 + #3-2 : - Amélioration de l'enveloppe thermique - Remise en état de marche de la GTC - Remplacement de la PAC par une installations de VRV - Ajout de BSO avec <u>gestion centralisée sur la GTC</u>	550 237	-60%	203 056	-79%	19 292	-52%

Equipements de CVC		kWh	variation à #0	kWh	variation à #0	kWh	variation à #0
#5	#4-1 + Mise en place d'une CTA DF avec échangeur pour les bureaux de la TOUR	535 328	-61%	113 497	-88,4%	23 531	-41,7%
#6	#4-1 + Mise en place d'une PAC reversible	545 633	-60%	203 466	-79,2%	3 019	-92,5%
#7	#5 + #6	516 276	-62%	112 592	-88,5%	15 400	-61,9%
#8	#4-1 + mise en place de PV en toiture	548 609	-60%	202 740	-79,2%	19 504	-51,7%
#9	#4-1 + mise en place d'ombrières sur parking	548 609	-60%	202 740	-79,2%	19 504	-51,7%
#10	#4-1 + mise en place d'ombrières sur parking pour un taux d'autoconsommation de 72%	548 609	-60%	202 740	-79,2%	19 504	-51,7%

8 PROPOSITIONS FINALES

Suite aux échanges avec le maître d'ouvrage, nous avons étudiés une série de 4 propositions finales combinant plusieurs interventions étudiées plus haut. Il a été décidé comme bouquet d'interventions communes aux 4 propositions les éléments suivants :

- Amélioration de l'enveloppe thermique ;
- Remise en état de marche de la GTC ;
- Mise en place d'une ventilation DF dans la TOUR ;
- Installation photovoltaïque à hauteur de 190 kWc.

8.1 PRESENTATION DE L'ETUDE

8.1.1 Variantes

Les variantes étudiées dans les propositions finales concernant le mode de chauffage et de refroidissement ainsi que le type d'occultation des menuiseries.

Synthèse des interventions				
Bouquet de travaux communs	Ajout de brises soleils fixes <i>Localisation : façades SO et SE</i>	Ajout de stores intérieurs <i>Localisation : toutes les menuiseries</i> <i>NB : Occultation moins fréquente sur les menuiseries orientées NO et NE</i>	Remplacement de la PAC	Remplacement du système de chauffage et de climatisation par un réseau de VRV
Proposition 1	x	x	x	
Proposition 2	x	x	x	
Proposition 3	x	x		x
Proposition 4	x	x		x

8.1.2 Hypothèses – équipements de CVC

8.1.2.1 Propositions 1 et 2

Les deux propositions intègrent le remplacement du système de chauffage par PAC de puissance de fonctionnement totale de 240 kW.

Le COP de l'installation varie selon sa température de fonctionnement :

Régime de fonctionnement	COP à 7°C
Régime 35/30°C	4.57
Régime 45/40°C	3.6
Régime 55/47°C	3.1

Cette solution préserve une chaudière gaz comme appoint à la PAC ainsi que le groupe froid.

8.1.2.2 Propositions 3 et 4

Les deux propositions étudient la mise en place d'un réseau VRV assurant le chauffage et la climatisation.

On s'inspire ici des caractéristiques d'une installation de VRV type DAIKIN pour paramétrer notre système.

- Fonctionnement en machine réversible air extérieur / air recyclé

	Chauffage	Refroidissement
Puissance absorbée (kW)	450	287
Performance (COP, EER)	3.76	3.01

8.2 TABLEAU DE SYNTHÈSE DES RESULTATS

Zone thermique 1 - fichier météo moyen Bureau orienté SUD - R+5							
		Consommations globale (gaz et élec.)		CONSO CHAUFFAGE		CONSO CLIMATISATION	
Solutions	Interventions	kWh	variation à #0	kWh	variation à #0	kWh	variation à #0
#0	Pas d'intervention - Bâtiment existant à 100 % d'occupation - fichier météo 2010/2019 - été chaud	1 360 877,00		976 605		40 384	
Bâti et usages							
# Finale 1	PAC et brises soleils fixes <i>- Amélioration de l'enveloppe thermique</i> <i>- Remise en état de marche de la GTC</i> <i>- Mise en place d'une ventilation DF dans la TOUR</i> <i>- Installation photovoltaïque à hauteur de 190 kWc</i> - Remplacement de la PAC - Ajout de brises soleils fixes	538 153	-60%	94 776	-90%	24 363	-40%
# Finale 2	PAC et stores intérieurs <i>- Amélioration de l'enveloppe thermique</i> <i>- Remise en état de marche de la GTC</i> <i>- Mise en place d'une ventilation DF dans la TOUR</i> <i>- Installation photovoltaïque à hauteur de 190 kWc</i> - Remplacement de la PAC - Maintien des stores intérieurs	535 830	-61%	85 356	-91%	33 217	-18%

# Finale 3	VRV et brises soleils fixes - Amélioration de l'enveloppe thermique - Remise en état de marche de la GTC - Mise en place d'une ventilation DF dans la TOUR - Installation photovoltaïque à hauteur de 190 kWc - Mise en place d'un système de VRV - Ajout de brises soleils fixes	513 796	-62%	95 230	-90,2%	26 602	-34,1%
# Finale 3 – projection 2070	VRV et brises soleils fixes - Amélioration de l'enveloppe thermique - Remise en état de marche de la GTC - Mise en place d'une ventilation DF dans la TOUR - Installation photovoltaïque à hauteur de 190 kWc - Mise en place d'un système de VRV - Ajout de brises soleils fixes	505 187	-63%	82 440	-91,6%	30 556	-24,3%
# Finale 4	VRV et stores intérieurs - Amélioration de l'enveloppe thermique - Remise en état de marche de la GTC - Mise en place d'une ventilation DF dans la TOUR - Installation photovoltaïque à hauteur de 190 kWc - Mise en place d'un système VRV - Maintien des stores intérieurs	512 616	-62%	86 984	-91,1%	37 802	-6,4%
# Finale 4 – projection 2070	VRV et stores intérieurs - Amélioration de l'enveloppe thermique - Remise en état de marche de la GTC - Mise en place d'une ventilation DF dans la TOUR - Installation photovoltaïque à hauteur de 190 kWc - Mise en place d'un système VRV - Maintien des stores intérieurs	503 892	-63%	74 547	-92,4%	41 531	2,8%

Parmi les solutions étudiées, on relève que la mise en place d'un réseau de VRV permet de baisser les consommations globales du bâtiment. La mise en place de brises soleils fixes favorise l'économie de consommation de climatisation, en comparaison aux stores intérieurs qui laissent entrer les calories des rayons du soleil dans les zones exposées. Néanmoins ce phénomène participe la diminution des consommations de chauffage pour les scénarios 2 et 4.

Une projection des conditions climatiques en 2070 avec un RCP¹ à 4.5 montre que les consommations de froid sont nettement supérieures pour le scénario 4 que le scénario 3 (+35% de consommation de froid entre le scénario « final 4 – projection 2070 » et « final 3 – projection 2070 »).

Toujours concernant le confort d'été, en étudiant l'évolution de la température opérative sur une zone défavorable du bâtiment, soit un bureau du dernier étage orienté Sud, on obtient l'évolution des températures suivantes pour les scénarios 3 et 4.

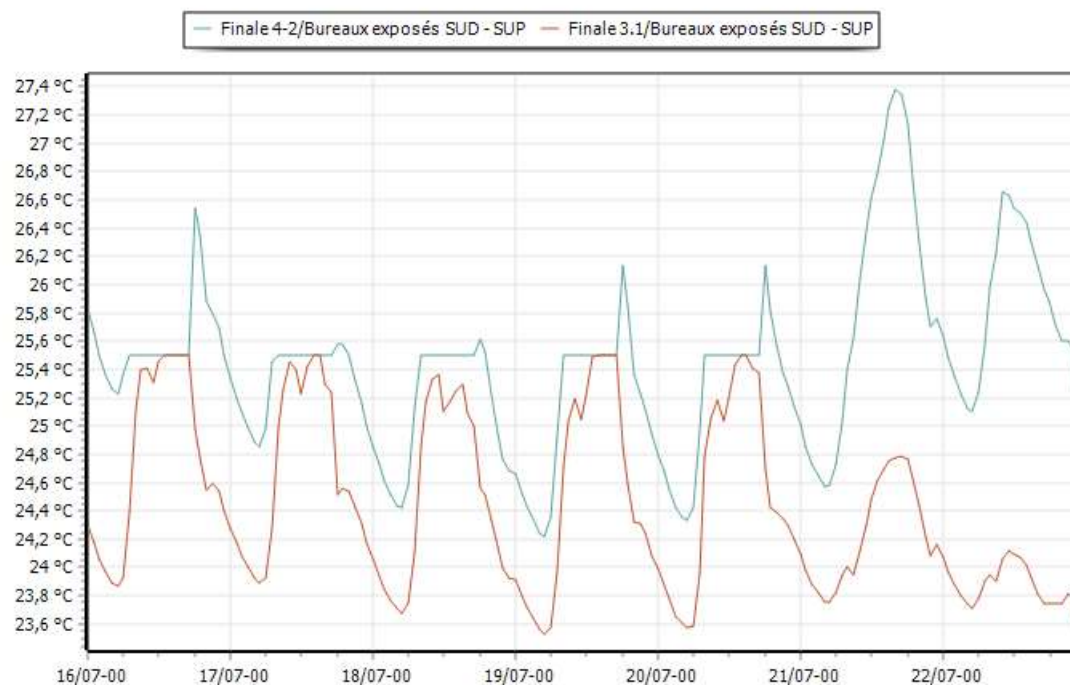


Figure 44 : Evolution de la température opérative dans la zone d'étude – en rouge l'évolution de la température selon le scénario 3, en bleu selon le scénario 4 – semaine d'août

La tendance générale indique que le confort d'été est mieux respecté pour le scénario 3 que le 4.

¹ Les scénarios RCP (« Representative Concentration Pathway » en anglais) ont été mis en place par le GIEC dans son 5ième rapport et représentent la trajectoire du forçage radiatif jusqu'à 2100.

8.3 MODIFICATION DES SURFACES DE FENETRES

Afin d'estimer l'impact des surfaces vitrées sur le bâtiment, on diminue les surfaces vitrées de la NAPPE. Le positionnement des menuiseries reste inchangé, on modifie seulement :

- Leurs dimensions : 1,15 x 1,45 m (H x L) ;
- Leur allège de 1,2 m.



Figure 45 : Vue 3D du bâtiment RACCINE après modification des menuiseries en RDC

Le changement de menuiserie offre un gain au niveau des consommations de chauffage et de refroidissement.

Le gain sur les consommations est de 3% pour le chauffage et de 2% pour le refroidissement. Le gain sur le chauffage provient de la diminution des déperditions surfaciques des menuiseries. On a donc un faible gain, cette option est à envisager pour les travaux de rénovation.

Par extrapolation, ce ratio pourra être appliqué sur l'ensemble des résultats après rénovation.

9 ESTIMATION FINANCIERE

9.1 AIDES FINANCIERES MOBILISABLES – CERTIFICATS D'ECONOMIES D'ENERGIE

9.1.1 Les principes du dispositif

Les Certificats d'économie d'énergie (CEE) constituent un dispositif innovant, introduit par la Loi POPE en 2005 (articles 14 à 17 de la loi n°2005-781) pour réaliser des économies d'énergie finale dans le secteur diffus : résidentiel, tertiaire, petite industrie, agriculture, réseaux et transport.

Par période de 3 ans, l'Etat impose aux obligés (fournisseurs d'énergie et distributeurs de carburants), de faire réaliser un certain volume d'économies d'énergie aux bénéficiaires (ménages, collectivités, entreprises). Ce niveau d'obligation est matérialisé par des Certificats d'Économies d'Énergie (les CEE). Les obligés peuvent déléguer tout ou partie de leur obligation auprès de délégataires qui deviennent obligés à leur tour.

Les CEE sont comptabilisés en « kWh cumac ». Les économies d'énergie sont cumulées sur la durée de vie de l'opération et actualisées à un taux de 4%.

Les éligibles sont d'autres acteurs (collectivités, Anah, bailleurs sociaux), non obligés, qui peuvent obtenir des CEE pour leurs opérations d'économies d'énergie. Les éligibles et les obligés constituent les demandeurs de CEE, ce sont eux qui font leur demande de CEE auprès du service du ministère de l'énergie et du climat, le Pôle National des Certificat d'Economie d'Energie (PNCEE) en charge de leur validation et de leur contrôle. Un demandeur peut mandater un tiers (un mandataire) pour déposer les CEE sur le compte du demandeur.

La demande de CEE doit être supérieure au seuil de 50GWhcumac (1GWhcumac = 1 000 000 kWhcumac). Une dérogation annuelle est autorisée pour chaque demandeur.

Le demandeur doit prouver son rôle actif et incitatif, pour justifier que l'opération d'économie d'énergie lui est attribuable grâce à une aide financière ou un accompagnement dont le bénéficiaire a profité.

Eligibles et obligés peuvent échanger des CEE sur le marché CEE ce qui donne aux CEE une valeur financière.

9.1.2 Interventions éligibles aux CEE

L'ensemble des opérations standardisées éligibles aux CEE est disponible sur le site : <https://calculateur-cee.ademe.fr/user/fiches/AGRI>.

Les interventions suivantes sont éligibles aux CEE :

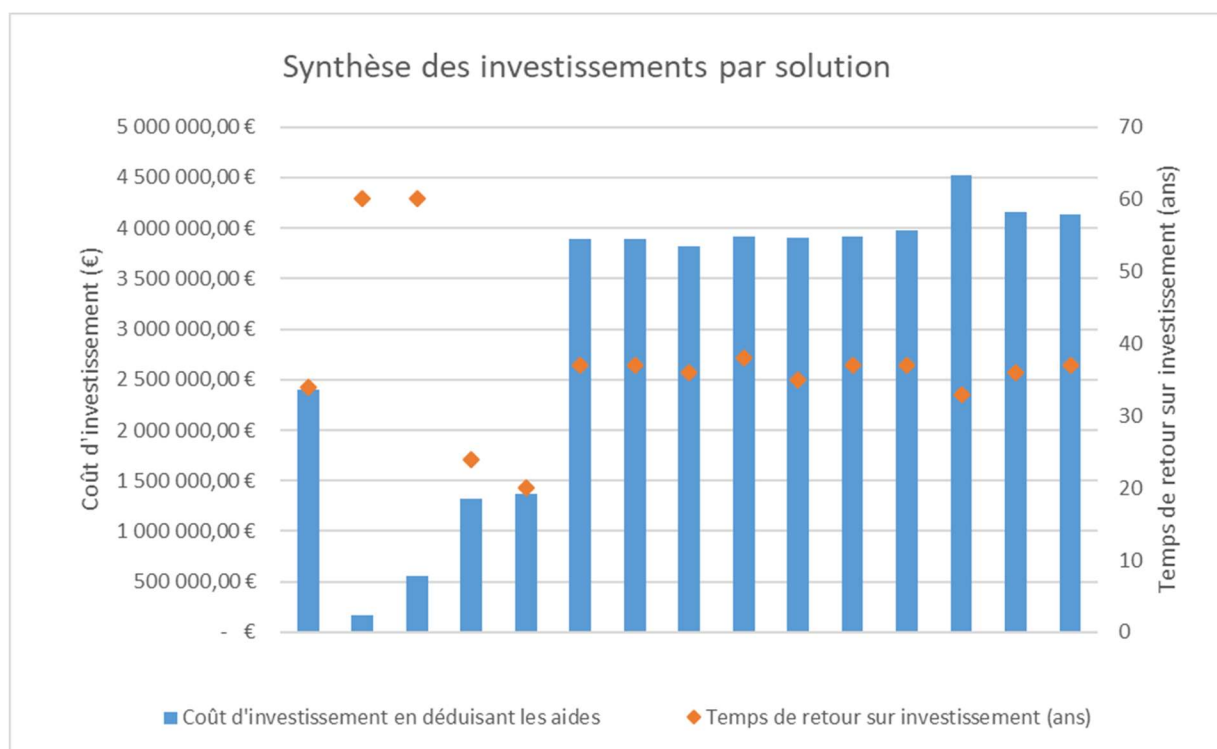
- Isolation des murs ;
- Isolation des planchers ;
- Isolation des combles perdus ;
- Isolation des toitures-terrasses ;
- Changement des menuiseries extérieures ;
- Installation de la GTC ;
- Remplacement de la PAC air/eau ;
- Mise en place d'une ventilation double flux avec échangeur.

Les aides financières sont intégrés aux analyses financières des solutions proposées.

9.2 ANALYSE FINANCIERE DE L'ENSEMBLE DES SOLUTIONS

Synthèse de l'analyse financière

	Synthèse des interventions										Synthèse financière					
	Enveloppe thermique	Ajout de brises soleils orientables à gestion manuelle	Ajout de brises soleils orientables à gestion automatique	Ajout de brises soleil fixes	Mise en marche de la GTC	Remplacement de la PAC	Remplacement du système de chauffage et de climatisation par du réseau VRV	Mise en place d'une CTA DF avec échangeurs - TOUR	Mise en place d'une PAC reversible	Ajout de panneaux PV sur la toiture terrasse - cas d'injection partielle	Ajout d'ombrières sur le parking - cas d'injection partielle	Ajout d'ombrières sur le parking - cas d'autoconsommation à 70%	Coût d'investissement	Aides financières mobilisables	Coût d'investissement en déduisant les aides	Temps de retour sur investissement (ans)
Solution 1	x												2 569 369,39 €	165 084,57 €	2 404 284,82 €	34
Solution 2-1		x						x					167 471,50 €	- €	167 471,50 €	60
Solution 2-2				x									553 981,34 €	- €	553 981,34 €	60
Solution 3-1					x	x							1 352 448,00 €	29 953,51 €	1 322 494,49 €	24
Solution 3-2					x		x						1 399 398,00 €	29 953,51 €	1 369 444,49 €	20
Solution 4-1	x		x		x	x							4 089 288,89 €	195 038,08 €	3 894 250,81 €	37
Solution 4-2	x			x	x	x							4 089 288,89 €	195 038,08 €	3 894 250,81 €	37
Solution 4-3	x		x		x		x						4 008 888,89 €	195 038,08 €	3 813 850,81 €	36
Solution 5	x		x		x	x		x					4 124 288,89 €	209 356,56 €	3 914 932,33 €	38
Solution 6	x		x		x				x				4 113 288,89 €	213 106,29 €	3 900 182,60 €	35
Solution 7	x		x		x			x	x				4 148 288,89 €	227 424,77 €	3 920 864,12 €	37
Solution 8	x		x		x	x				x			4 184 988,89 €	203 738,08 €	3 981 250,81 €	37
Solution 9	x		x		x	x					x		4 716 488,89 €	195 038,08 €	4 521 450,81 €	33
Solution 10	x		x		x	x						x	4 355 288,89 €	195 038,08 €	4 160 250,81 €	36
Solution 10 - climaxion	x		x		x	x						x	4 355 288,89 €	225 623,08 €	4 129 665,81 €	37



Le temps de retour sur investissement varie de 18 à 36 ans pour les 15 solutions proposées dans l'étude. Notons que les solutions 2-1 et 2-2 ne présente pas de retour sur investissement. En effet, la mise en place de brises soleils fait légèrement augmenter les besoins de chauffages. Cette solution participe surtout à l'amélioration du confort d'été, pour constater un retour sur investissement, on doit combiner cette intervention à d'autres solutions passives (amélioration de l'enveloppe thermique, réduction des vitrages, etc.).

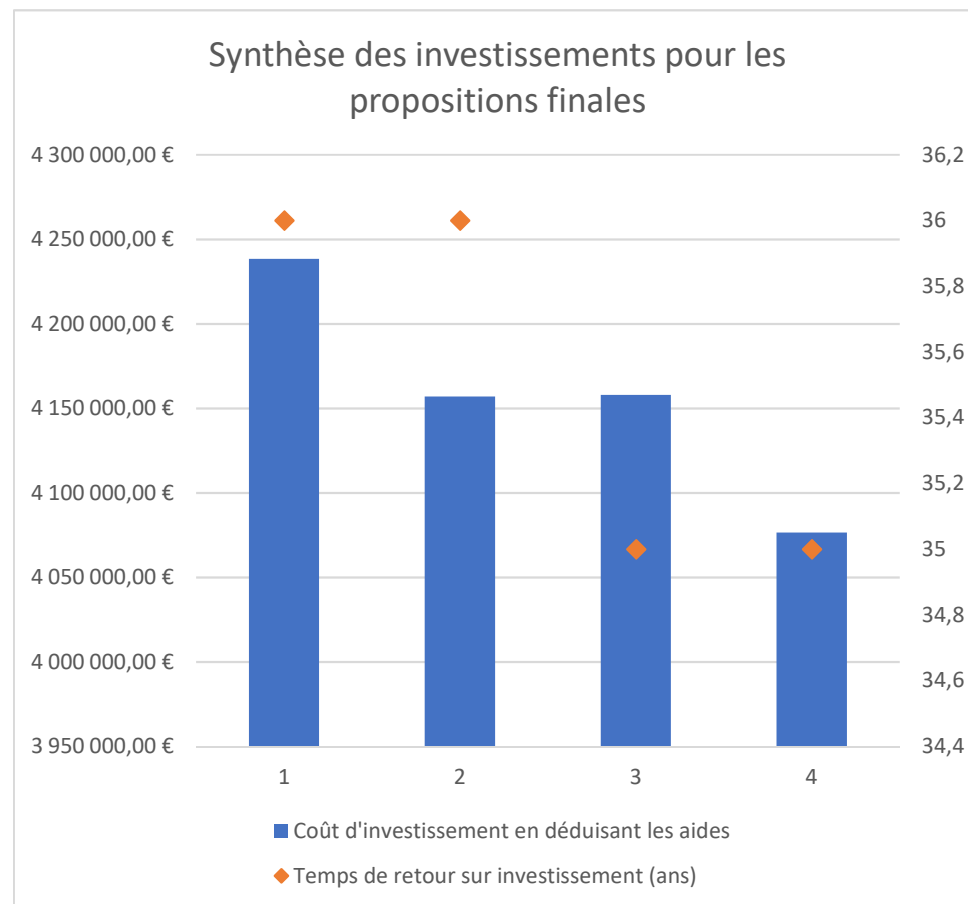
D'après l'étude sur le retour sur investissement les solutions 4-3, 6, 9 et 10 sont à privilégier pour l'amélioration thermique du bâtiment RACCINE. Ces solutions qui cumulent plusieurs interventions permettent d'exploiter au mieux les ressources du bâtiment. La solution 10 permet notamment d'autoconsommer l'énergie produite sur place à hauteur de 72% des besoins en électricité sur site.

9.3 ANALYSE FINANCIERE DE LA SELECTION DES PROPOSITIONS FINALES

Synthèse de l'analyse financière - sélection des propositions finales

	Synthèse des interventions					Synthèse financière			
	Bouquet de travaux communs	Ajout de brises soleils fixes <i>Localisation : façades SO et SE</i>	Ajout de stores intérieurs <i>Localisation : toutes les menuiseries NB : Occultation moins fréquente sur les menuiseries orientées NO et NE</i>	Remplacement de la PAC	Remplacement du système de chauffage et de climatisation par un réseau de VRV	Coût d'investissement	Aides financières mobilisables	Coût d'investissement en déduisant les aides	Temps de retour sur investissement (ans)
Proposition 1	x	x		x		4 447 707,69 €	209 356,56 €	4 238 351,13 €	36
Proposition 2	x		x	x		4 366 364,39 €	209 356,56 €	4 157 007,83 €	36
Proposition 3	x	x			x	4 367 307,69 €	209 356,56 €	4 157 951,13 €	35
Proposition 4	x		x		x	4 285 964,39 €	209 356,56 €	4 076 607,83 €	35

9.4 INDICATEURS FINANCIERS



9.4.1 Propositions finales

	Existant	Proposition 1	Proposition 2	Proposition 3	Proposition 4
	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Consommations énergétiques					
Chauffage	16,41 €	2,30 €	2,08 €	2,57 €	2,35 €
Refroidissement	1,09 €	0,66 €	0,90 €	0,72 €	1,02 €
ECS	0,17 €	0,17 €	0,17 €	0,17 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	3,82 €	5,57 €	5,51 €	5,62 €	5,51 €
Auxiliaire de distribution	1,84 €	0,82 €	0,86 €	0,01 €	0,01 €
Eclairage	1,23 €	0,99 €	0,99 €	1,03 €	0,99 €
Usage spécifique	3,62 €	3,75 €	3,75 €	3,75 €	3,75 €
Vente d'électricité	0,00 €	-0,79 €	-0,79 €	-0,79 €	-0,79 €
Autoconsommation	0,00 €	-2,26 €	-2,26 €	-2,26 €	-2,26 €
Total	0,00 €	11,23 €	11,22 €	10,83 €	10,76 €
Gain					
Chauffage		14,11 €	14,33 €	13,84 €	14,06 €
Refroidissement		0,43 €	0,19 €	0,37 €	0,07 €
ECS		0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Auxiliaire de ventilation		-1,75 €	-1,69 €	-1,80 €	-1,69 €
Auxiliaire de distribution		1,01 €	0,98 €	1,83 €	1,83 €
Eclairage		0,24 €	0,24 €	0,20 €	0,24 €
Usage spécifique		-0,13 €	-0,13 €	-0,13 €	-0,13 €
Vente d'électricité		0,79 €	0,79 €	0,79 €	0,79 €
Autoconsommation		2,26 €	2,26 €	2,26 €	2,26 €
Total		16,95 €	16,97 €	17,35 €	17,42 €
Investissement		4 447 707,69 €	4 366 364,39 €	4 367 307,69 €	4 285 964,39 €
Aide mobilisable		209 356,56 €	209 356,56 €	209 356,56 €	209 356,56 €
Temps de retour sur investissement		36	36	35	35

9.4.2 Détail des solutions étudiées en amont

	Existant	Solution 1	Solution 2-1	Solution 2-2	Solution 3-1	Solution 3-2	Solution 4-1	Solution 4-2	Solution 4-3
	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Consommations énergétiques									
Chauffage	16,41 €	8,9	18,6	20,5	9,0	6,3	4,5	4,5	3,9
Refroidissement	1,09 €	0,7	0,8	0,8	1,0	1,0	0,5	0,5	0,7
ECS	0,17 €	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Auxiliaire de ventilation	3,82 €	3,8	4,3	4,3	4,3	4,3	3,8	3,8	3,8
Auxiliaire de distribution	1,84 €	1,8	2,1	2,1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8
Eclairage	1,23 €	1,2	1,4	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
Usage spécifique	3,62 €	3,6	4,1	4,1	4,1	4,1	3,6	3,6	3,6
Vente d'électricité	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Autoconsommation	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Total	28,18 €	20,24 €	31,42 €	33,26 €	20,55 €	17,78 €	14,40 €	14,44 €	13,94 €
Gain									
Chauffage		7,5	10,0	8,1	19,5	22,3	24,1	24,1	24,7
Refroidissement		0,4	0,5	0,5	0,3	0,3	0,8	0,8	0,6
ECS		0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
Auxiliaire de ventilation		0,0	2,8	2,8	2,9	2,9	3,3	3,3	3,3
Auxiliaire de distribution		0,0	-1,3	-1,3	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0
Eclairage		0,0	0,9	0,9	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3
Usage spécifique		0,0	2,7	2,7	2,7	2,7	3,1	3,1	3,1
Vente d'électricité		0	0	0	0	0	0	0	0
Autoconsommation		0	0	0	0	0	0	0	0
Total		7,9	15,8	13,9	26,6	29,4	32,8	32,7	33,2
Investissement		2 569 369 €	167 472 €	553 981 €	1 352 448 €	1 399 398 €	4 089 289 €	4 089 289 €	4 008 889 €
Aide mobilisable		165 085 €	- €	- €	29 954 €	29 954 €	195 038 €	195 038 €	195 038 €
Temps de retour sur investissement		36	60	60	22	18	35	35	33

	Existant	Solution 5	Solution 6	Solution 7	Solution 8	Solution 9	Solution 10	Solution 10 - climaxion
	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Consommations énergétiques								
Chauffage	16,41 €	2,7	4,9	2,8	4,5	4,5	4,5	4,5
Refroidissement	1,09 €	0,6	0,1	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
ECS	0,17 €	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Auxiliaire de ventilation	3,82 €	5,6	3,7	5,6	3,8	3,8	3,8	3,8
Auxiliaire de distribution	1,84 €	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Eclairage	1,23 €	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Usage spécifique	3,62 €	3,8	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
Vente d'électricité	- €	- €	- €	- €	-0,1	-5,7	-0,8	0,0
Autoconsommation	- €	- €	- €	- €	-2,3	-4,7	-2,3	-2,3
Total	28,18 €	14,69 €	14,35 €	14,39 €	12,01 €	3,98 €	11,35 €	12,14 €
Gain								
Chauffage		25,9	23,6	25,8	24,1	24,1	24,1	24,1
Refroidissement		0,6	1,2	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
ECS		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Auxiliaire de ventilation		1,5	3,4	1,5	3,3	3,3	3,3	3,3
Auxiliaire de distribution		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eclairage		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Usage spécifique		3,0	3,2	3,2	3,1	3,1	3,1	3,1
Vente d'électricité		0	0	0	0,1	5,7	0,8	0,0
Autoconsommation		0	0	0	2,3	4,7	2,3	2,3
Total		32,5	32,8	32,8	35,2	43,2	35,8	35,0
Investissement		4 124 289 €	4 113 289 €	4 148 289 €	4 184 989 €	4 716 489 €	4 355 289 €	4 355 289 €
Aide mobilisable		209 357 €	213 106 €	227 425 €	203 738 €	195 038 €	195 038 €	225 623 €
Temps de retour sur investissement		35	34	35	36	32	34	35

9.4.3 État existant

Existant	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	195	0	195	0,00 €	16,41 €	16,41 €
Refroidissement	0	8	8	1,09 €	0,00 €	1,09 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	3,82 €	0,00 €	3,82 €
Auxiliaire de distribution	0	14	14	1,84 €	0,00 €	1,84 €
Eclairage	0	9	9	1,23 €	0,00 €	1,23 €
Usage spécifique	0	27	27	3,62 €	0,00 €	3,62 €
Vente d'électricité	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Autoconsommation	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Total	195	87	283	11,78 €	16,41 €	28,18 €

9.4.4 Sélection finale 1

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	5	14	19	1,88 €	0,42 €	2,30 €
Refroidissement	0	5	5	0,66 €	0,00 €	0,66 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	41	41	5,57 €	0,00 €	5,57 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,82 €	0,00 €	0,82 €
Eclairage	0	7	7	0,99 €	0,00 €	0,99 €
Usage spécifique	0	28	28	3,75 €	0,00 €	3,75 €
Vente d'électricité	0	7	7	-0,79 €	0,00 €	-0,79 €
Autoconsommation	0	-17	-17	-2,26 €	0,00 €	-2,26 €
Total	5	93	98	10,81 €	0,42 €	11,23 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	190	-14	176	-1,88 €	15,99 €	14,11 €
Refroidissement	0	3	3	0,43 €	0,00 €	0,43 €
ECS	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Auxiliaire de ventilation	0	-13	-13	-1,75 €	0,00 €	-1,75 €
Auxiliaire de distribution	0	8	8	1,01 €	0,00 €	1,01 €
Eclairage	0	2	2	0,24 €	0,00 €	0,24 €
Usage spécifique	0	-1	-1	-0,13 €	0,00 €	-0,13 €
Vente d'électricité	0	-7	-7	0,79 €	0,00 €	0,79 €
Autoconsommation	0	17	17	2,26 €	0,00 €	2,26 €
Total	190	-5	185	0,97 €	15,99 €	16,95 €
Investissement	4 447 707,69 €					
Aide mobilisable	209 356,56 €					
Temps de retour sur investissement	36					

9.4.5 Sélection finale 2

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	4	13	17	1,70 €	0,38 €	2,08 €
Refroidissement	0	7	7	0,90 €	0,00 €	0,90 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	41	41	5,51 €	0,00 €	5,51 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,86 €	0,00 €	0,86 €
Eclairage	0	7	7	0,99 €	0,00 €	0,99 €
Usage spécifique	0	28	28	3,75 €	0,00 €	3,75 €
Vente d'électricité	0	7	7	-0,79 €	0,00 €	-0,79 €
Autoconsommation	0	-17	-17	-2,26 €	0,00 €	-2,26 €
Total	4	93	97	10,84 €	0,38 €	11,22 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	191	-13	178	-1,70 €	16,03 €	14,33 €
Refroidissement	0	1	1	0,19 €	0,00 €	0,19 €
ECS	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Auxiliaire de ventilation	0	-13	-13	-1,69 €	0,00 €	-1,69 €
Auxiliaire de distribution	0	7	7	0,98 €	0,00 €	0,98 €
Eclairage	0	2	2	0,24 €	0,00 €	0,24 €
Usage spécifique	0	-1	-1	-0,13 €	0,00 €	-0,13 €
Vente d'électricité	0	-7	-7	0,79 €	0,00 €	0,79 €
Autoconsommation	0	17	17	2,26 €	0,00 €	2,26 €
Total	191	-6	185	0,93 €	16,03 €	16,97 €
Investissement	4 366 364,39 €					
Aide mobilisable	209 356,56 €					
Temps de retour sur investissement	36					

9.4.6 Sélection finale 3

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	0	19	19	2,57 €	0,00 €	2,57 €
Refroidissement	0	5	5	0,72 €	0,00 €	0,72 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	42	42	5,62 €	0,00 €	5,62 €
Auxiliaire de distribution	0	0	0	0,01 €	0,00 €	0,01 €
Eclairage	0	8	8	1,03 €	0,00 €	1,03 €
Usage spécifique	0	28	28	3,75 €	0,00 €	3,75 €
Vente d'électricité	0	7	7	-0,79 €	0,00 €	-0,79 €
Autoconsommation	0	-17	-17	-2,26 €	0,00 €	-2,26 €
Total	0	93	93	10,83 €	0,00 €	10,83 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	195	-19	176	-2,57 €	16,41 €	13,84 €
Refroidissement	0	3	3	0,37 €	0,00 €	0,37 €
ECS	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Auxiliaire de ventilation	0	-13	-13	-1,80 €	0,00 €	-1,80 €
Auxiliaire de distribution	0	14	14	1,83 €	0,00 €	1,83 €
Eclairage	0	1	1	0,20 €	0,00 €	0,20 €
Usage spécifique	0	-1	-1	-0,13 €	0,00 €	-0,13 €
Vente d'électricité	0	-7	-7	0,79 €	0,00 €	0,79 €
Autoconsommation	0	17	17	2,26 €	0,00 €	2,26 €
Total	195	-6	190	0,95 €	16,41 €	17,35 €
Investissement	4 367 307,69 €					
Aide mobilisable	209 356,56 €					
Temps de retour sur investissement	35					

9.4.7 Sélection finale 4

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	0	17	17	2,35 €	0,00 €	2,35 €
Refroidissement	0	8	8	1,02 €	0,00 €	1,02 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	41	41	5,51 €	0,00 €	5,51 €
Auxiliaire de distribution	0	0	0	0,01 €	0,00 €	0,01 €
Eclairage	0	7	7	0,99 €	0,00 €	0,99 €
Usage spécifique	0	28	28	3,75 €	0,00 €	3,75 €
Vente d'électricité	0	7	7	-0,79 €	0,00 €	-0,79 €
Autoconsommation	0	-17	-17	-2,26 €	0,00 €	-2,26 €
Total	0	92	92	10,76 €	0,00 €	10,76 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	195	-17	178	-2,35 €	16,41 €	14,06 €
Refroidissement	0	1	1	0,07 €	0,00 €	0,07 €
ECS	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Auxiliaire de ventilation	0	-13	-13	-1,69 €	0,00 €	-1,69 €
Auxiliaire de distribution	0	14	14	1,83 €	0,00 €	1,83 €
Eclairage	0	2	2	0,24 €	0,00 €	0,24 €
Usage spécifique	0	-1	-1	-0,13 €	0,00 €	-0,13 €
Vente d'électricité	0	-7	-7	0,79 €	0,00 €	0,79 €
Autoconsommation	0	17	17	2,26 €	0,00 €	2,26 €
Total	195	-5	190	1,02 €	16,41 €	17,42 €
Investissement	4 285 964,39 €					
Aide mobilisable	209 356,56 €					
Temps de retour sur investissement	35					

9.4.8 Solution 1

Consommations énergétiques rénové	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	106	0	106	0,00 €	8,89 €	8,90 €
Refroidissement		5	5	0,69 €	0,00 €	0,69 €
ECS		1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation		28	28	3,78 €	0,00 €	3,78 €
Auxiliaire de distribution		14	14	1,84 €	0,00 €	1,84 €
Eclairage		9	9	1,24 €	0,00 €	1,24 €
Usage spécifique		27	27	3,62 €	0,00 €	3,62 €
Total	106	84	190	11,35 €	8,89 €	20,24 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	89	0	89	0,00 €	7,51 €	7,51 €
Refroidissement	0	3	3	0,40 €	0,00 €	0,40 €
ECS	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Auxiliaire de ventilation	0	0	0	0,03 €	0,00 €	0,03 €
Auxiliaire de distribution	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Eclairage	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Usage spécifique	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Total	89	3	93	0,43 €	7,51 €	7,94 €
Investissement	2 569 369,39 €					
Aide mobilisable	165 084,57 €					
Temps de retour sur investissement	34					

9.4.9 Solution 2-1

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	197	0	197	0,00 €	18,61 €	18,61 €
Refroidissement	0	5	5	0,80 €	0,00 €	0,80 €
ECS	0	1	1	0,20 €	0,00 €	0,20 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	4,29 €	0,00 €	4,29 €
Auxiliaire de distribution	0	14	14	2,07 €	0,00 €	2,07 €
Eclairage	0	9	9	1,38 €	0,00 €	1,38 €
Usage spécifique	0	27	27	4,07 €	0,00 €	4,07 €
Total	197	84	281	12,81 €	18,61 €	31,42 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	-1	0	121	0,00 €	9,98 €	9,98 €
Refroidissement	0	3	3	0,47 €	0,00 €	0,47 €
ECS	0	0	1	0,14 €	0,00 €	0,14 €
Auxiliaire de ventilation	0	0	19	2,82 €	0,00 €	2,82 €
Auxiliaire de distribution	0	0	-8	-1,25 €	0,00 €	-1,25 €
Eclairage	0	0	6	0,91 €	0,00 €	0,91 €
Usage spécifique	0	0	18	2,69 €	0,00 €	2,69 €
Total	-1	3	1	5,78 €	9,98 €	15,76 €
Investissement	167 471,50 €					
Aide mobilisable	0,00 €					
Temps de retour sur investissement	+ 60 ans					

9.4.10 Solution 2-2

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	216	0	217	0,00 €	20,47 €	20,47 €
Refroidissement	0	5	5	0,76 €	0,00 €	0,76 €
ECS	0	1	1	0,20 €	0,00 €	0,20 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	4,30 €	0,00 €	4,30 €
Auxiliaire de distribution	0	14	14	2,07 €	0,00 €	2,07 €
Eclairage	0	9	9	1,40 €	0,00 €	1,40 €
Usage spécifique	0	27	27	4,07 €	0,00 €	4,07 €
Total	216	84	301	12,80 €	20,47 €	33,26 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	-21	0	101	0,00 €	8,12 €	8,12 €
Refroidissement	0	3	4	0,52 €	0,00 €	0,52 €
ECS	0	0	1	0,14 €	0,00 €	0,14 €
Auxiliaire de ventilation	0	0	19	2,81 €	0,00 €	2,81 €
Auxiliaire de distribution	0	0	-8	-1,25 €	0,00 €	-1,25 €
Eclairage	0	0	6	0,89 €	0,00 €	0,89 €
Usage spécifique	0	0	18	2,69 €	0,00 €	2,69 €
Total	-21	3	-18	5,80 €	8,12 €	13,92 €
Investissement	553 981,34 €					
Aide mobilisable	0,00 €					
Temps de retour sur investissement	+ 60 ans					

9.4.11 Solution 3-1

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	51	28	79	4,20 €	4,85 €	9,05 €
Refroidissement	0	6	6	0,96 €	0,00 €	0,96 €
ECS	0	1	1	0,20 €	0,00 €	0,20 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	4,26 €	0,00 €	4,26 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,93 €	0,00 €	0,93 €
Eclairage	0	7	7	1,09 €	0,00 €	1,09 €
Usage spécifique	0	27	27	4,07 €	0,00 €	4,07 €
Total	51	103	155	15,71 €	4,85 €	20,55 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	144	-28	239	-4,19 €	23,74 €	19,55 €
Refroidissement	0	2	2	0,32 €	0,00 €	0,32 €
ECS	0	0	1	0,14 €	0,00 €	0,14 €
Auxiliaire de ventilation	0	0	19	2,86 €	0,00 €	2,86 €
Auxiliaire de distribution	0	8	-1	-0,11 €	0,00 €	-0,11 €
Eclairage	0	2	8	1,20 €	0,00 €	1,20 €
Usage spécifique	0	0	18	2,69 €	0,00 €	2,69 €
Total	144	-16	128	2,89 €	23,74 €	26,63 €
Investissement	1 352 448,00 €					
Aide mobilisable	29 953,51 €					
Temps de retour sur investissement	24					

9.4.12 Solution 3-2

<u>Consommations énergétiques</u>	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	0	41	41	6,30 €	0,00 €	6,30 €
Refroidissement	0	6	6	0,96 €	0,00 €	0,96 €
ECS	0	1	1	0,20 €	0,00 €	0,20 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	4,26 €	0,00 €	4,26 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,93 €	0,00 €	0,93 €
Eclairage	0	7	7	1,06 €	0,00 €	1,06 €
Usage spécifique	0	27	27	4,07 €	0,00 €	4,07 €
Total	0	117	117	17,78 €	0,00 €	17,78 €
<u>Gain</u>	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	195	-41	276	-6,29 €	28,59 €	22,29 €
Refroidissement	0	2	2	0,32 €	0,00 €	0,32 €
ECS	0	0	1	0,14 €	0,00 €	0,14 €
Auxiliaire de ventilation	0	0	19	2,86 €	0,00 €	2,86 €
Auxiliaire de distribution	0	8	-1	-0,11 €	0,00 €	-0,11 €
Eclairage	0	2	8	1,22 €	0,00 €	1,22 €
Usage spécifique	0	0	18	2,69 €	0,00 €	2,69 €
Total	195	-30	166	0,82 €	28,59 €	29,41 €
Investissement	1 399 398,00 €					
Aide mobilisable	29 953,51 €					
Temps de retour sur investissement	20					

9.4.13 Solution 4-1

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	19	21	41	2,87 €	1,62 €	4,49 €
Refroidissement	0	4	4	0,53 €	0,00 €	0,53 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	3,77 €	0,00 €	3,77 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,82 €	0,00 €	0,82 €
Eclairage	0	7	7	0,99 €	0,00 €	0,99 €
Usage spécifique	0	27	27	3,62 €	0,00 €	3,62 €
Total	19	95	114	12,78 €	1,62 €	14,40 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	176	-21	277	-2,86 €	26,96 €	24,10 €
Refroidissement	0	4	5	0,75 €	0,00 €	0,75 €
ECS	0	0	1	0,16 €	0,00 €	0,16 €
Auxiliaire de ventilation	0	0	20	3,35 €	0,00 €	3,35 €
Auxiliaire de distribution	0	8	-1	-0,01 €	0,00 €	-0,01 €
Eclairage	0	2	8	1,29 €	0,00 €	1,29 €
Usage spécifique	0	0	18	3,14 €	0,00 €	3,14 €
Total	176	-7	169	5,82 €	26,96 €	32,78 €
Investissement	4 089 288,89 €					
Aide mobilisable	195 038,08 €					
Temps de retour sur investissement	37					

9.4.14 Solution 4-2

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	19	21	41	2,89 €	1,62 €	4,50 €
Refroidissement	0	4	4	0,52 €	0,00 €	0,52 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	3,77 €	0,00 €	3,77 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,82 €	0,00 €	0,82 €
Eclairage	0	8	8	1,03 €	0,00 €	1,03 €
Usage spécifique	0	27	27	3,62 €	0,00 €	3,62 €
Total	19	95	114	12,83 €	1,62 €	14,44 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	176	-21	277	-2,88 €	26,97 €	24,09 €
Refroidissement	0	4	5	0,76 €	0,00 €	0,76 €
ECS	0	0	1	0,16 €	0,00 €	0,16 €
Auxiliaire de ventilation	0	0	20	3,34 €	0,00 €	3,34 €
Auxiliaire de distribution	0	8	-1	-0,01 €	0,00 €	-0,01 €
Eclairage	0	1	8	1,25 €	0,00 €	1,25 €
Usage spécifique	0	0	18	3,14 €	0,00 €	3,14 €
Total	176	-8	168	5,77 €	26,97 €	32,74 €
Investissement	4 089 288,89 €					
Aide mobilisable	195 038,08 €					
Temps de retour sur investissement	37					

9.4.15 Solution 4-3

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	0	29	29	3,91 €	0,00 €	3,91 €
Refroidissement	0	5	5	0,65 €	0,00 €	0,65 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	3,77 €	0,00 €	3,77 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,82 €	0,00 €	0,82 €
Eclairage	0	7	7	0,99 €	0,00 €	0,99 €
Usage spécifique	0	27	27	3,62 €	0,00 €	3,62 €
Total	0	103	103	13,94 €	0,00 €	13,94 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	195	-29	289	-3,90 €	28,59 €	24,68 €
Refroidissement	0	3	4	0,62 €	0,00 €	0,62 €
ECS	0	0	1	0,16 €	0,00 €	0,16 €
Auxiliaire de ventilation	0	0	20	3,35 €	0,00 €	3,35 €
Auxiliaire de distribution	0	8	-1	-0,01 €	0,00 €	-0,01 €
Eclairage	0	2	8	1,29 €	0,00 €	1,29 €
Usage spécifique	0	0	18	3,14 €	0,00 €	3,14 €
Total	195	-16	179	4,65 €	28,59 €	33,24 €
Investissement	4 008 888,89 €					
Aide mobilisable	195 038,08 €					
Temps de retour sur investissement	36					

9.4.16 Solution 5

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	7	16	23	2,12 €	0,58 €	2,71 €
Refroidissement	0	5	5	0,64 €	0,00 €	0,64 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	41	41	5,60 €	0,00 €	5,60 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,82 €	0,00 €	0,82 €
Eclairage	0	7	7	0,99 €	0,00 €	0,99 €
Usage spécifique	0	28	28	3,75 €	0,00 €	3,75 €
Total	7	104	111	14,10 €	0,58 €	14,69 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	188	-16	295	-2,12 €	28,00 €	25,88 €
Refroidissement	0	3	4	0,64 €	0,00 €	0,64 €
ECS	0	0	1	0,16 €	0,00 €	0,16 €
Auxiliaire de ventilation	0	-13	6	1,52 €	0,00 €	1,52 €
Auxiliaire de distribution	0	8	-1	-0,01 €	0,00 €	-0,01 €
Eclairage	0	2	8	1,29 €	0,00 €	1,29 €
Usage spécifique	0	-1	17	3,01 €	0,00 €	3,01 €
Total	188	-17	171	4,49 €	28,00 €	32,49 €
Investissement	4 124 288,89 €					
Aide mobilisable	209 356,56 €					
Temps de retour sur investissement	38					

9.4.17 Solution 6

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	21	24	45	3,20 €	1,75 €	4,95 €
Refroidissement	0	1	1	0,09 €	0,00 €	0,09 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	3,72 €	0,00 €	3,72 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,82 €	0,00 €	0,82 €
Eclairage	0	7	7	1,01 €	0,00 €	1,01 €
Usage spécifique	0	26	26	3,57 €	0,00 €	3,57 €
Total	21	93	114	12,60 €	1,75 €	14,35 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	175	-24	273	-3,19 €	26,84 €	23,64 €
Refroidissement	0	7	8	1,18 €	0,00 €	1,18 €
ECS	0	0	1	0,16 €	0,00 €	0,16 €
Auxiliaire de ventilation	0	1	20	3,39 €	0,00 €	3,39 €
Auxiliaire de distribution	0	8	-1	-0,01 €	0,00 €	-0,01 €
Eclairage	0	2	8	1,28 €	0,00 €	1,28 €
Usage spécifique	0	0	19	3,19 €	0,00 €	3,19 €
Total	175	-6	168	6,00 €	26,84 €	32,84 €
Investissement	4 113 288,89 €					
Aide mobilisable	213 106,29 €					
Temps de retour sur investissement	35					

9.4.18 Solution 7

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	5	17	23	2,36 €	0,42 €	2,78 €
Refroidissement	0	3	3	0,42 €	0,00 €	0,42 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	41	41	5,59 €	0,00 €	5,59 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,82 €	0,00 €	0,82 €
Eclairage	0	8	8	1,03 €	0,00 €	1,03 €
Usage spécifique	0	26	26	3,57 €	0,00 €	3,57 €
Total	5	103	108	13,96 €	0,42 €	14,39 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	190	-17	295	-2,35 €	28,16 €	25,81 €
Refroidissement	0	5	5	0,86 €	0,00 €	0,86 €
ECS	0	0	1	0,16 €	0,00 €	0,16 €
Auxiliaire de ventilation	0	-13	6	1,52 €	0,00 €	1,52 €
Auxiliaire de distribution	0	8	-1	-0,01 €	0,00 €	-0,01 €
Eclairage	0	2	8	1,26 €	0,00 €	1,26 €
Usage spécifique	0	0	19	3,19 €	0,00 €	3,19 €
Total	190	-16	174	4,64 €	28,16 €	32,80 €
Investissement	4 148 288,89 €					
Aide mobilisable	227 424,77 €					
Temps de retour sur investissement	37					

9.4.19 Solution 8

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	19	21	41	2,87 €	1,62 €	4,49 €
Refroidissement	0	4	4	0,53 €	0,00 €	0,53 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	3,77 €	0,00 €	3,77 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,82 €	0,00 €	0,82 €
Eclairage	0	7	7	0,99 €	0,00 €	0,99 €
Usage spécifique	0	27	27	3,62 €	0,00 €	3,62 €
Vente d'électricité	0	2	2	-0,13 €	0,00 €	-0,13 €
Autoconsommation	0	-17	-17	-2,25 €	0,00 €	-2,25 €
Total	19	80	99	10,39 €	1,62 €	12,01 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	176	-21	277	-2,86 €	26,96 €	24,10 €
Refroidissement	0	4	5	0,75 €	0,00 €	0,75 €
ECS	0	0	1	0,16 €	0,00 €	0,16 €
Auxiliaire de ventilation	0	0	20	3,35 €	0,00 €	3,35 €
Auxiliaire de distribution	0	8	-1	-0,01 €	0,00 €	-0,01 €
Eclairage	0	2	8	1,29 €	0,00 €	1,29 €
Usage spécifique	0	0	18	3,14 €	0,00 €	3,14 €
Vente d'électricité	0	-2	-2	0,13 €	0,00 €	0,13 €
Autoconsommation	0	17	17	2,25 €	0,00 €	2,25 €
Total	176	8	184	8,20 €	26,96 €	35,17 €
Investissement	4 184 988,89 €					
Aide mobilisable	203 738,08 €					
Temps de retour sur investissement	37					

9.4.20 Solution 9

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	19	21	41	2,87 €	1,62 €	4,49 €
Refroidissement	0	4	4	0,53 €	0,00 €	0,53 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	3,77 €	0,00 €	3,77 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,82 €	0,00 €	0,82 €
Eclairage	0	7	7	0,99 €	0,00 €	0,99 €
Usage spécifique	0	27	27	3,62 €	0,00 €	3,62 €
Vente d'électricité	0	49	49	-5,71 €	0,00 €	-5,71 €
Autoconsommation	0	-35	-35	-4,71 €	0,00 €	-4,71 €
Total	19	95	163	2,36 €	1,62 €	3,98 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	176	-21	155	-2,86 €	26,96 €	24,10 €
Refroidissement	0	4	4	0,75 €	0,00 €	0,75 €
ECS	0	0	0	0,16 €	0,00 €	0,16 €
Auxiliaire de ventilation	0	0	0	3,35 €	0,00 €	3,35 €
Auxiliaire de distribution	0	8	8	-0,01 €	0,00 €	-0,01 €
Eclairage	0	2	2	1,29 €	0,00 €	1,29 €
Usage spécifique	0	0	0	3,14 €	0,00 €	3,14 €
Vente d'électricité	0	-49	-49	5,71 €	0,00 €	5,71 €
Autoconsommation	0	35	35	4,71 €	0,00 €	4,71 €
Total	176	-7	120	16,23 €	26,96 €	43,20 €
Investissement	4 716 488,89 €					
Aide mobilisable	195 038,08 €					
Temps de retour sur investissement	33					

9.4.21 Solution 10

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	19	21	41	2,87 €	1,62 €	4,49 €
Refroidissement	0	4	4	0,53 €	0,00 €	0,53 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	3,77 €	0,00 €	3,77 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,82 €	0,00 €	0,82 €
Eclairage	0	7	7	0,99 €	0,00 €	0,99 €
Usage spécifique	0	27	27	3,62 €	0,00 €	3,62 €
Vente d'électricité	0	7	7	-0,79 €	0,00 €	-0,79 €
Autoconsommation	0	-17	-17	-2,26 €	0,00 €	-2,26 €
Total	19	95	121	9,73 €	1,62 €	11,35 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	176	-21	155	-2,86 €	26,96 €	24,10 €
Refroidissement	0	4	4	0,75 €	0,00 €	0,75 €
ECS	0	0	0	0,16 €	0,00 €	0,16 €
Auxiliaire de ventilation	0	0	0	3,35 €	0,00 €	3,35 €
Auxiliaire de distribution	0	8	8	-0,01 €	0,00 €	-0,01 €
Eclairage	0	2	2	1,29 €	0,00 €	1,29 €
Usage spécifique	0	0	0	3,14 €	0,00 €	3,14 €
Vente d'électricité	0	-7	-7	0,79 €	0,00 €	0,79 €
Autoconsommation	0	17	17	2,26 €	0,00 €	2,26 €
Total	176	-7	162	8,87 €	26,96 €	35,83 €
Investissement	4 355 288,89 €					
Aide mobilisable	195 038,08 €					
Temps de retour sur investissement	36					

9.4.22 Solution 10 - Climaxion

Consommations énergétiques	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	19	21	41	2,87 €	1,62 €	4,49 €
Refroidissement	0	4	4	0,53 €	0,00 €	0,53 €
ECS	0	1	1	0,17 €	0,00 €	0,17 €
Auxiliaire de ventilation	0	28	28	3,77 €	0,00 €	3,77 €
Auxiliaire de distribution	0	6	6	0,82 €	0,00 €	0,82 €
Eclairage	0	7	7	0,99 €	0,00 €	0,99 €
Usage spécifique	0	27	27	3,62 €	0,00 €	3,62 €
Vente d'électricité	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Autoconsommation	0	-17	-17	-2,26 €	0,00 €	-2,26 €
Total	19	95	114	10,52 €	1,62 €	12,14 €
Gain	Gaz [kWhEF/m2/an]	Electricité [kWhEF/m2/an]	Total [kWhEF/m2/an]	Electricité [€HT/m2/an]	Gaz [€HT/m2/an]	Total [€HT/m2/an]
Chauffage	176	-21	155	-2,86 €	26,96 €	24,10 €
Refroidissement	0	4	4	0,75 €	0,00 €	0,75 €
ECS	0	0	0	0,16 €	0,00 €	0,16 €
Auxiliaire de ventilation	0	0	0	3,35 €	0,00 €	3,35 €
Auxiliaire de distribution	0	8	8	-0,01 €	0,00 €	-0,01 €
Eclairage	0	2	2	1,29 €	0,00 €	1,29 €
Usage spécifique	0	0	0	3,14 €	0,00 €	3,14 €
Vente d'électricité	0	0	0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Autoconsommation	0	17	17	2,26 €	0,00 €	2,26 €
Total	176	-7	169	8,08 €	26,96 €	35,04 €
Investissement	4 355 288,89 €					
Aide mobilisable	225 623,08 €					
Temps de retour sur investissement	37					

ANNEXE 1 : PLAN DE SYNTHÈSE EN VUE DE COUPE DES TRAVAUX D'ISOLATION DES PAROIS

