

MARCHE PUBLIC DE MAITRISE D'ŒUVRE

AUDIT ENERGETIQUE

Intitulé du marché :

Mission de maîtrise d'œuvre relative à la rénovation énergétique et au réaménagement de l'ancienne Bibliothèque universitaire des Sciences - Bâtiment J dans le cadre du projet Campus durable, accessible et connecté

Université de Perpignan Via Domitia (UPVD)

N° du marché : 2026-24-UPVD-S

La procédure de mise en concurrence et l'exécution du ou des marchés publics à attribuer sont soumis aux dispositions de l'ordonnance n° 2018-1074 du 26 novembre 2018 portant partie législative du code de la commande publique et du décret n° 2018-1075 du 3 décembre 2018 portant partie réglementaire du code de la commande publique (CCP).

Maître d'ouvrage

UNIVERSITE DE PERPIGNAN VIA DOMITIA

52 Av. Paul Alduy,

66100 PERPIGNAN

CAMPUS DE PERPIGNAN

BU SCIENCE

AUDIT ENERGETIQUE

RAPPORT D'ETUDE

Alexandre TESSIER BET

2 square du roc de France

66100 PERPIGNAN

Indice	Date	Objet
0	28/02/2025	Rapport V1

SOMMAIRE

I	Généralités.....	3
I.1	Contexte de l'étude	3
I.2	Résumé de la prestation.....	3
II	Synthèse des résultats de l'étude	5
II.1	Bilan des consommations	5
II.2	Préconisations d'amélioration.....	5
II.3	Préconisations d'investissement.....	6
III	Données générales du projet.....	7
III.1	Situation	7
III.2	Configuration générale du bâtiment.....	7
IV	Etat des lieux et préconisations	16
IV.1	Enveloppe thermique.....	16
IV.2	Ventilation	21
IV.3	Chauffage	23
IV.4	Climatisation	31
IV.5	Eclairage	33
IV.6	ECS.....	33
IV.7	Production locale d'électricité.....	33
IV.8	Suivi des consommations.....	34
V	Bilan énergétique du bâtiment	35
V.1	Bilan des factures	36
V.2	Modélisation du bâtiment.....	36
V.3	Répartition des consommations actuelles.....	53
V.4	Bilan des déperditions (EN12831).....	55
VI	Economies d'énergie potentielles.....	56
VI.1	Variantes simulées	56
VI.2	Résultats des calculs.....	57
VI.3	Comparatif des variantes	64
VI.4	Comparatif des émissions de CO ₂	65

VII	Programmes d'amélioration	66
VII.1	P1 : Programme de rénovation minimal.	66
VII.2	P2 : programme de rénovation optimisé	68
VII.3	P3 : programme de rénovation maximal.....	70
VII.4	Comparatif des programmes de rénovation	72
VII.5	Analyse des puissances de radiateurs installées.....	73
VIII	Analyse du confort thermique	74
IX	Analyse financière.....	77
IX.1	Prix de l'énergie.....	77
IX.2	Répartition des charges énergétiques actuelles	79
IX.3	Estimation des investissements	80
IX.4	Rentabilité des variantes et scénarios.....	84
X	Aspect réglementaire.....	90
X.1	Décret tertiaire.....	90
X.2	Réglementation thermique sur les bâtiments existants.	92
X.3	Installation d'ENR ou végétalisation des toitures	95
X.4	Décret BACS.....	96
XI	CONCLUSION.....	97

I GENERALITES

I.1 Contexte de l'étude

L'UPVD est engagée depuis plusieurs années dans un programme de rénovation énergétique de son patrimoine bâti.

À ce titre, elle envisage d'atteindre une réduction importante de ses consommations d'énergie et en conséquence une forte amélioration de son bilan carbone.

En plus de la volonté en interne d'atteindre une très bonne performance énergétique, elle est soumise à la réglementation, et notamment au « décret tertiaire », le 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire. Ce décret impose une réduction des consommations d'énergie de tout bâtiment tertiaire d'une surface de plancher supérieure à 1000 m².

Dans un premier temps, l'UPVD mène cette opération de rénovation énergétique via la réalisation d'études énergétiques qui permettent de définir des programmes des travaux de rénovation. Il s'ensuit des études de conception de projets pour enfin mener à la réalisation proprement dite des travaux nécessaires à l'atteinte des performances souhaitées.

Plusieurs bâtiments du patrimoine de l'UPVD ont déjà fait l'objet de programme complet de rénovation.

Afin de poursuivre son programme de rénovation énergétique, l'université souhaite aujourd'hui faire réaliser des audits énergétiques des bâtiments suivants :

- Université de Perpignan, BU SCIENCE

I.2 Résumé de la prestation

L'audit énergétique, doit permettre, à partir d'une analyse détaillée des données du (des) bâtiment(s), de dresser une proposition chiffrée et argumentée de programmes d'économie d'énergie cohérents, et amener le maître d'ouvrage à décider des investissements appropriés.

L'objectif de cet audit est de :

- Réaliser un bilan des consommations du bâtiment poste par poste.
- Analyser l'usage du bâtiment par les occupants et les gestionnaires.
- Analyser les caractéristiques techniques des bâtiments à la fois sur l'enveloppe thermique, mais aussi sur les équipements.
- Identifier les éléments engendrant le plus de consommations ainsi que les éléments problématiques.
- Identifier les solutions techniques et d'utilisation du bâtiment à mettre en œuvre permettant de réduire les consommations d'énergie et les coûts de fonctionnement.
- Estimer les investissements nécessaires à la réalisation des actions proposées.
- Identifier les aides financières mobilisables par le maître d'ouvrage.
- Analyser la rentabilité financière des solutions.
- Analyser l'impact environnemental de solutions proposées.
- Définir un programme de travaux cohérent en proposant plusieurs scénarios de rénovation globale.

Les principaux sujets traités sont les suivants :

- Les possibilités d'améliorations de l'enveloppe du bâtiment (isolation, vitrages, confort d'été)
- Le renouvellement d'air / Ventilation
- Le chauffage
- La climatisation
- La production d'eau chaude sanitaire et la distribution
- L'éclairage
- Les possibilités de production d'énergie renouvelable locale

Afin de pouvoir fournir des indicateurs précis en fonction des objectifs qui sont ciblés, il a été décidé de réaliser une simulation énergétique dynamique du bâtiment (SED).

La SED permet d'évaluer les besoins et consommations d'énergie du bâtiment, ainsi que l'évolution de sa température tout au long de l'année en mettant en évidence plusieurs indicateurs du niveau de confort qui sera ressenti dans les locaux.

La SED prend en compte le comportement des usagers (niveau de température, occupations, etc.). Elle est donc relative à la fois du bâtiment et de son usage réel et permet d'obtenir un résultat proche de la réalité.

L'audit énergétique est un préalable :

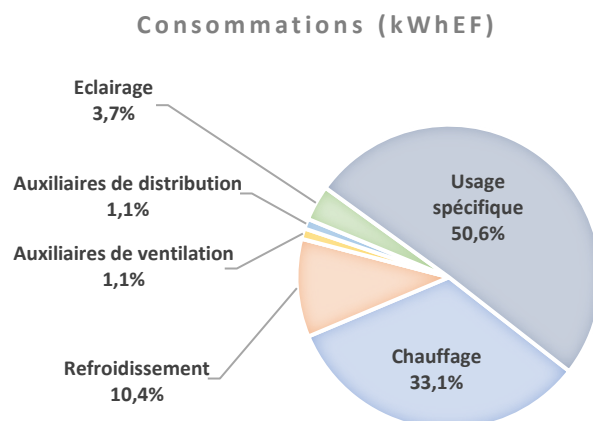
- à un avant-projet sommaire,
- à une mission de conception, d'ingénierie, et de maîtrise d'œuvre,
- à la mise en place d'une comptabilité énergétique,
- à la consultation d'entreprises pour la mise en œuvre d'un contrat de performance énergétique.

Il revient ensuite au maître d'ouvrage de choisir des intervenants compétents (soit directement les entreprises dans les cas simples, soit un maître d'œuvre pour élaborer un projet), de faire réaliser les travaux, les réceptionner et enfin de gérer ses consommations énergétiques.

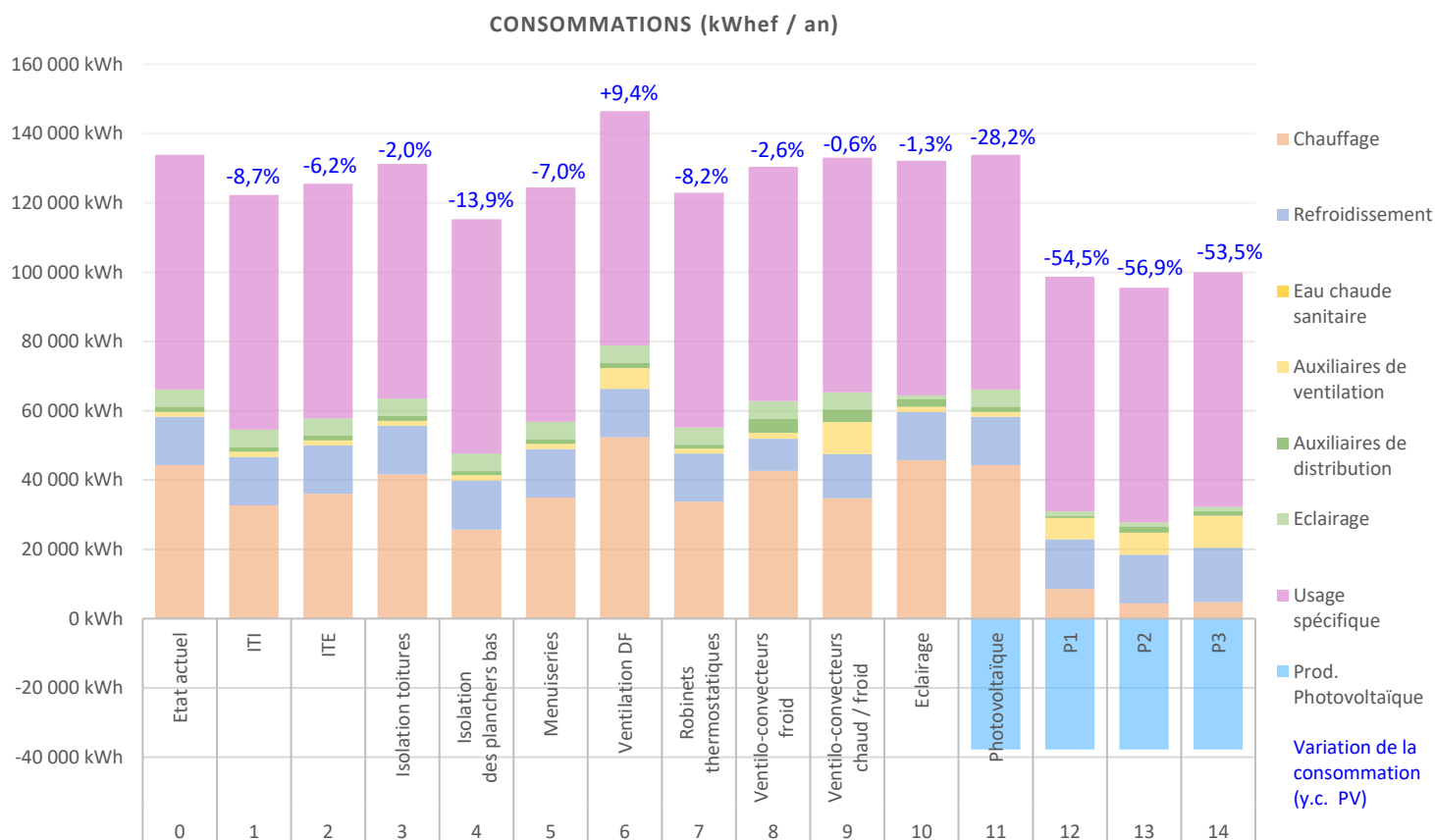
II SYNTHÈSE DES RESULTATS DE L'ETUDE

II.1 Bilan des consommations

	Consommations (Energie finale)
Chauffage	44 316 kWh
Refroidissement	13 937 kWh
Eau chaude sanitaire	0 kWh
Auxiliaires de ventilation	1 490 kWh
Auxiliaires de distribution	1 423 kWh
Eclairage	5 000 kWh
Usage spécifique	67 702 kWh
TOTAL	133 867 kWh
Consommation / m ²	133,2 kWh / m ² .an
DEPENSE	30 316 € / an
CO ₂	11,14 tonnes / an



II.2 Préconisations d'amélioration



II.3 Préconisations d'investissement

n° Variante	Descriptif	Investissement (Aides déduites) ¹	Economie financière annuelle TTC	Temps de retour brut	TRN 1 ²	TRN 2 ³
0	Etat actuel					
1	ITI	56 100 € TDC	2 127 €	26,4 ans	19,7 ans	17,2 ans
2	ITE	69 400 € TDC	1 531 €	45,3 ans	29,0 ans	24,3 ans
3	Isolation toitures	144 500 € TDC	466 €	310,1 ans	78,9 ans	57,5 ans
4	Isolation des planchers bas	107 300 € TDC	3 514 €	30,5 ans	22,0 ans	19,0 ans
5	Menuiseries	287 100 € TDC	1 551 €	185,1 ans	63,6 ans	47,7 ans
6	Ventilation DF	124 100 € TDC	-2 279 €	-	-	-
7	Robinetts thermostatiques	38 400 € TDC	2 058 €	18,7 ans	15,0 ans	13,5 ans
8	Ventilo-convecteurs froid	200 500 € TDC	811 €	247,2 ans	72,1 ans	53,1 ans
9	Ventilo-convecteurs chaud / froid	53 700 € TDC	-569 €	-	-	-
10	Eclairage	27 500 € TDC	780 €	35,3 ans	24,4 ans	20,8 ans
11	Photovoltaïque	54 800 € TDC	9 050 €	6,1 ans	5,6 ans	5,4 ans
P1	Programme Réno 1	751 600 € TDC	16 062 €	46,8 ans	29,7 ans	24,7 ans
P2	Programme Réno 2	896 100 € TDC	16 959 €	52,8 ans	32,1 ans	26,5 ans
P3	Programme Réno 3	1 017 500 € TDC	15 724 €	64,7 ans	36,5 ans	29,6 ans

¹ TDC : toutes dépenses comprises (y compris TVA, études et maîtrise d'œuvre)

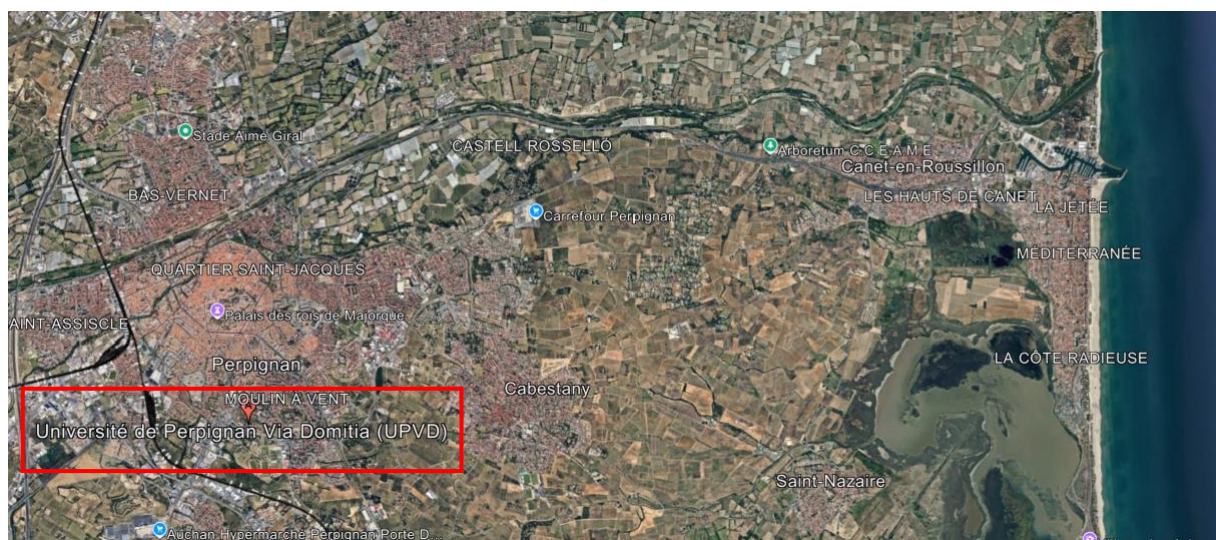
² En considérant une augmentation du prix de l'énergie de 3%/an.

³ En considérant une augmentation du prix de l'énergie de 5%/an.

III DONNEES GENERALES DU PROJET

III.1 Situation

L'université de Perpignan se situe au sud de la ville. Le site bénéficie d'un climat de type méditerranéen.



III.2 Configuration générale du bâtiment

L'environnement du bâtiment est fortement arboré.



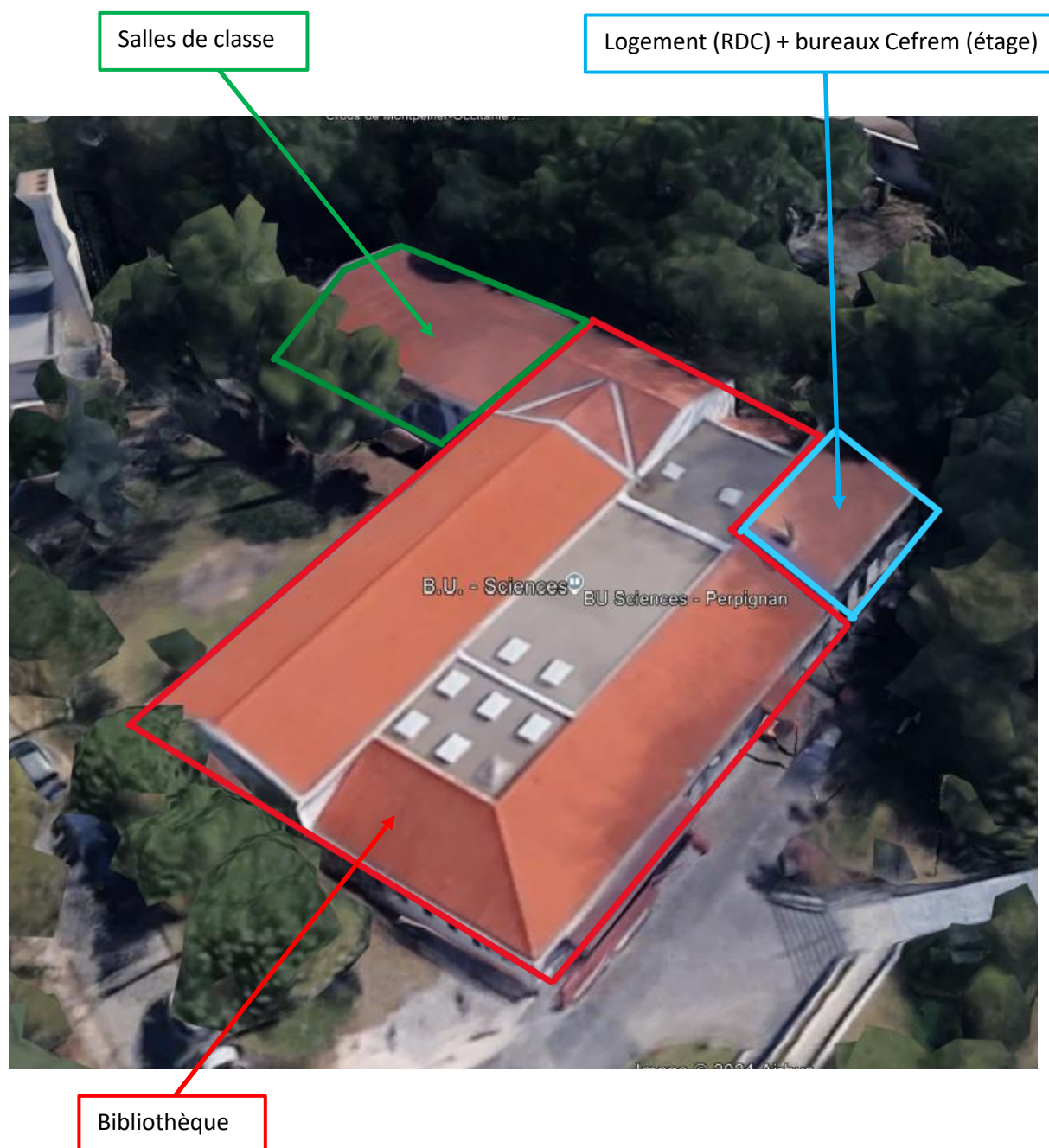
Une partie du bâtiment a été réaménagé en salles de classes.

Une autre partie sert de logement à un personnel de l'université.

Une dernière partie sert aux bureaux du Cefrem.

Il est prévu une conversion de la bibliothèque en salle de classes ou en foyer d'étudiants.

Seule la partie magasin (partie centrale du bâtiment) où sont stockés les ouvrages sera conservée.



Le bâtiment dispose d'une surface utile totale de 1421 m² dont 60m² pour le logement et 60 m² pour les bureaux du Cefrem.

La surface chauffée totale est de 1012 m².



Entrée de la bibliothèque sur la façade Sud-Ouest



façade Sud-Ouest.



Façade Nord-Ouest





Façade Nord-Est



Façade nord-Ouest Salles de classe



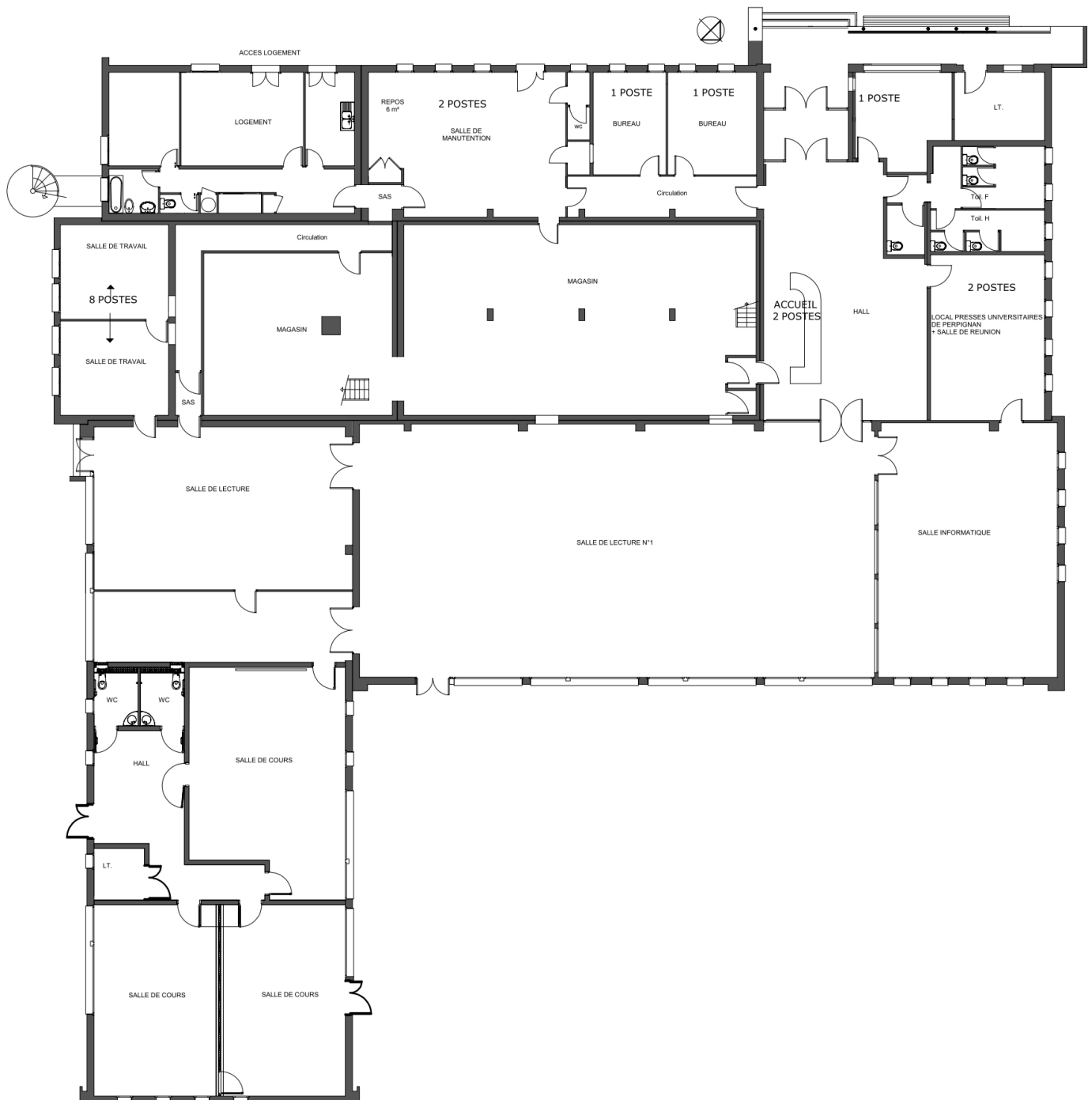
Façade Nord-Est Salles de classe

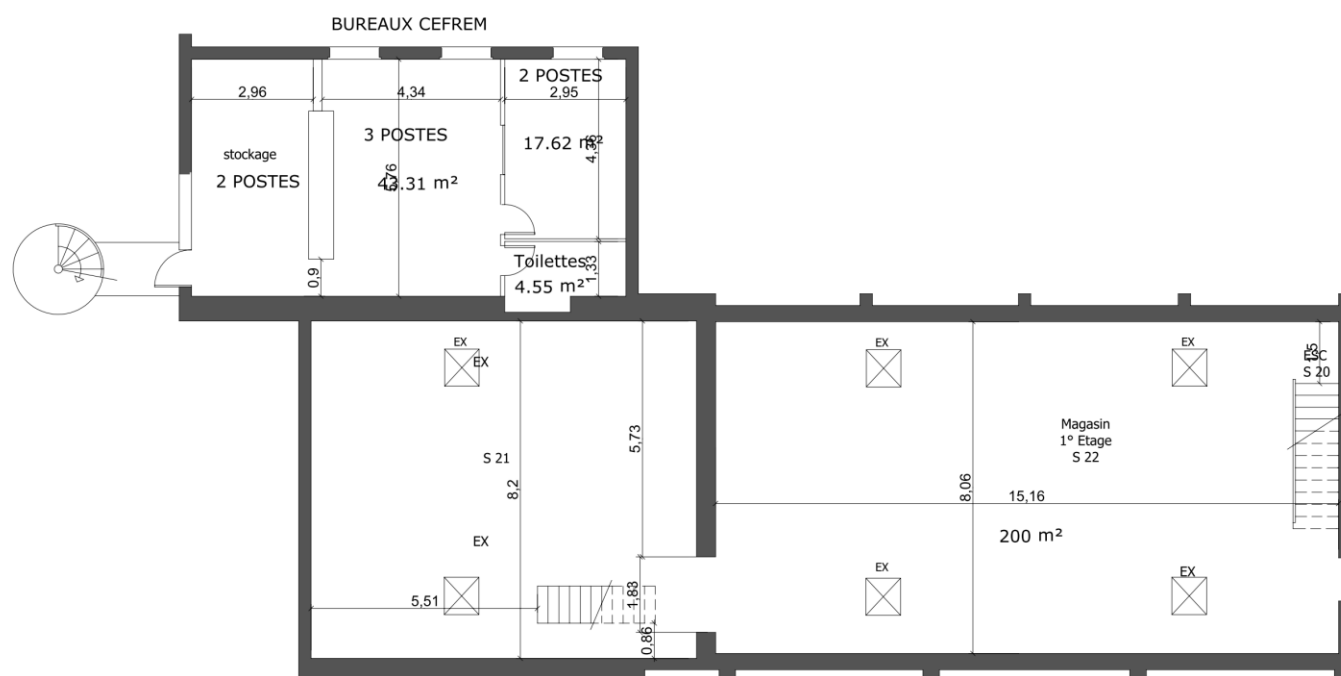


Façade Sud-Est



Façade Sud-Est

Plan du RDC

Plan du R+1

IV ETAT DES LIEUX ET PRECONISATIONS

IV.1 Enveloppe thermique

IV.1.1 Murs extérieurs Bibliothèque

Etat des lieux	Murs en béton de 30cm. <u>Résistance totale de la paroi : $R=0,12 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$.</u>
Désordres et dysfonctionnements	Performance de l'isolation mauvaise.
Action corrective 1	Isolation par l'extérieur avec 12 cm de Polystyrène Expansé de type Th32 avec un <u>$R=3,75 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u> + enduit extérieur. Isoler aussi les murs des locaux chauffés donnant sur les combles. <u>Avantages :</u> - Facilité de mise en œuvre sans impacter l'intérieur du bâtiment. - Permet de traiter les ponts thermiques des planchers intermédiaires (Cefrem) et des refends. - Permet de conserver l'inertie thermique du bâtiment <u>Inconvénients :</u> - Ne permet pas traiter les ponts thermiques de liaison plancher haut léger / murs extérieurs.
Action corrective 2	Doublage Isolant par l'intérieur avec 12 cm de laine minérale GR32 avec un <u>$R=3,75 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u> + plaque de plâtre. Isoler aussi les murs des locaux chauffés donnants sur les combles. <u>Avantage :</u> Permet de traiter les ponts thermiques de liaison plancher haut léger / murs extérieurs. <u>Inconvénients :</u> - Nécessite de déposer et reposer tous les équipements intérieurs situés contre la façade. - Nécessite des travaux à l'intérieur du bâtiment. - Ne permet pas de traiter les ponts thermiques des planchers intermédiaires et des refends. - Perte d'inertie thermique.

IV.1.2 Murs extérieurs salle de classe

Etat des lieux	Murs en béton de 20cm. Isolation intérieure par 9 cm de laine minérale. <u>$R=2,25 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>. + Plaque de plâtre. <u>Résistance totale de la paroi : $R=2,38 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>.
Désordres et dysfonctionnements	Performance de l'isolation moyenne.
Action corrective	-

IV.1.3 Plancher haut sous comble

Etat des lieux	Combles avec toiture en hourdis brique + tuiles maçonnées. Isolation sous-faux plafond par 10cm de laine de roche (<u>$R=2,56 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>) pour les locaux courants ou 15 cm (salles de classes). Certaines pièces ne disposent d'aucune isolation.
Désordres et dysfonctionnements	Performance de l'isolation mauvaise. L'isolant est mal disposé dans de nombreux endroits. L'isolation est vétuste.  

**Action corrective**

Reprendre l'ensemble de l'isolation sous faux plafond du bâtiment.

Installer minimum 30 cm de laine minérale ou de type fibre de bois avec une résistance minimale **$R=8 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K}/\text{W}$**

Prévoir la dépose des faux plafonds démontables existants et vétustes.

Refaire un système thermo acoustique avec suspentes fixées sur les solives, pare-vapeur, fourrures et plaques de plâtre.

Prévoir des trappes d'accès aux combles à différents endroits ainsi que des platelages permettant de circuler au-dessus de l'isolation.

Dans les parties existantes avec des faux plafond en plaque de plâtre récents et ne nécessitant pas d'accès (exemple accueil), il peut être envisagé de souffler de l'isolation en vrac.

IV.1.4 Plancher haut, toiture terrasse

Etat des lieux	Plancher béton sous étanchéité avec 4 cm de polystyrène extrudé sous protection lourde avec un <u>$R=1,94 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>. Résistance totale de la paroi : <u>$R=2,12 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>. L'accueil et le magasin sont équipés de skydomes en polycarbonate afin d'amener de la lumière naturelle ou d'assurer le désenfumage.  <u>$U_w = 6.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$</u>.
Désordres et dysfonctionnements	Performance de l'isolation mauvaise Les volumes situés directement sous la toiture terrasse concernent uniquement le magasin. Celui-ci n'est actuellement ni chauffé ni climatisé.. Dans un souci de conservation des documents stockés, il est nécessaire de maintenir celui-ci dans le volume de l'enveloppe thermique et ne pas isoler les murs entre la bibliothèque et les salles de lecture ou les bureaux. Afin d'améliorer les déperditions globales du bâtiment, cette toiture peut être isolée. Cela permettra de réduire les consommations de chauffage des pièces adjacentes, de limiter la baisse de température du magasin en hivers et la hausse de température en été.
Action corrective	Remplacer l'isolation par des plaques de PSX de 20 cm afin d'obtenir un <u>$R = 6,45 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>. Le cas échéant, il sera nécessaire refaire l'étanchéité du toit terrasse lors de cette opération. Remplacer les skydomes par des systèmes nouvelle génération à haute isolation thermique avec polycarbonate alvéolaire et costières isolées. <u>$U_w = 1.6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$</u>.

IV.1.5 Planchers bas

Etat des lieux	Planchers hourdis béton non isolé donnant sur vide sanitaire. <u>$R=0,21 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K}/\text{W}$</u> 
Désordres et dysfonctionnements	Performance de l'isolation très mauvaise.
Action corrective	Installer des plaques de fibrastyrène de 15 cm pour une résistance thermique <u>$R=4,6 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K}/\text{W}$</u>.

IV.1.6 Menuiseries

Etat des lieux	Les menuiseries en bois. <u>$U_f = 2,5 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$</u>.   Les vitrages sont presque tous en simple vitrage (<u>$U_g = 5,7 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$</u>) Seul le bureau situé entre le local technique et le SAS qui est équipé de menuiseries Alu (<u>$U_f = 5 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$</u>) et de double vitrage clair feuilleté 33.1-10-33.1 non traité (<u>$U_g = 2,86 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$</u>). Le SAS est équipé de menuiseries Alu simple vitrage.
-----------------------	---

Désordres et dysfonctionnements	Isolation thermique mauvaise
Action corrective	Remplacement de l'ensemble des menuiseries par des menuiseries plus performantes. Double vitrage clair 4-16-4 ou 44.2-16-44.2 avec vitrage à faible émissivité et remplissage d'argon $U_g \leq 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ avec écarteur isolant. $U_f \leq 2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$. Remplacer ou améliorer les coffres de volets roulants menuisés actuels pour obtenir un $U_c \leq 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$. Remplacer les portes non isolées délimitant le volume chauffé par des portes performantes $U_p \leq 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$.

IV.2 Ventilation

IV.2.1 Salles de classe

Etat des lieux	Les salles de classes sont ventilées par une VMC double-flux de Marque VIM modèle CAD-O intégral 19 Echangeur rotatif rendement $\approx 80\%$. Moteurs ECM basse consommation. 
Désordres et dysfonctionnements	Cet équipement est performant. Lors de la visite, l'alarme d'encrassement des filtres était activée. Il n'est pas prévu de pilotage à distance de l'installation.
Action corrective	Procéder au nettoyage / remplacement des filtres tous les 6 mois ainsi qu'aux autres opérations de maintenance. Les réseaux doivent aussi être nettoyés périodiquement. La CTA est équipée d'un régulateur communiquant. Raccorder la régulation à un système de gestion technique centralisé permettant de la paramétrer et de recevoir les alarmes de l'installation à distance.

IV.2.2 Ventilations simple flux

Etat des lieux	Les 2 WC de la partie salle de classe sont ventilés par un extracteur simple flux.
Désordres et dysfonctionnements	-
Action corrective	-

IV.2.3 Autres locaux

Etat des lieux	Les locaux restants, notamment tous les bureaux et les salles de lecture ne sont équipés d'aucun système de ventilation mécanique. Le renouvellement d'air se fait au bon vouloir des usagers via l'ouverture des fenêtres.
Désordres et dysfonctionnements	Les débits de renouvellement d'air réglementaires ne peuvent pas être garantis et ne sont probablement pas atteints pouvant induire des concentrations de polluants importants et donc une mauvaise qualité de l'air.
Action corrective	Installation de centrales de traitement d'air associées à des réseaux de diffusion d'air dans tous les locaux. Prévoir des CTA double-flux à récupération de chaleur haut rendement (>80 %) équipées de moteurs basse consommation. Asservir le fonctionnement de ces ventilations à l'occupation. Les CTA devront faire varier leur débit en fonction de l'occupation avec une modulation via des sondes de CO₂. L'ensemble devra être équipé d'un régulateur communicant raccordé sur la GTC. Prévoir une CTA avec une batterie chaude alimentée par un départ spécifique en chaufferie afin réduire la charge thermique sur les radiateurs, et ainsi permettre une température de départ plus faible qu'en cas d'absence de batterie. Cette CTA pourra éventuellement être équipée d'une batterie froide afin d'apporter un peu de rafraîchissement aux locaux pendant la période estivale. Prendre en compte le nombre de personnes qui seront présentes dans les locaux à l'avenir. Si les salles de lectures et d'informatiques sont transformées en salles de classes, la densité de personnes présentes sera augmentée ce qui augmente également les débits de ventilation.

IV.3 Chauffage

IV.3.1 Production de chaleur

Etat des lieux

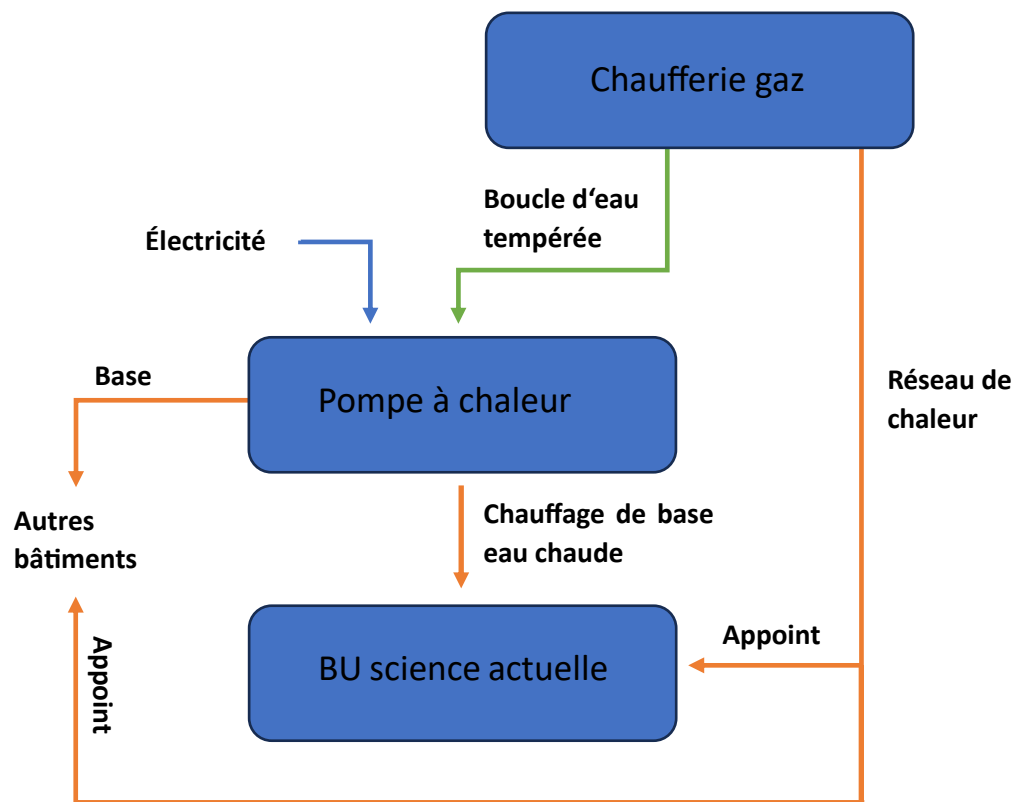
Le bâtiment était jusqu'à récemment alimenté en eau chaude via un réseau de chaleur haute température qui desservait une grande majorité des bâtiments du campus. Ce réseau de chaleur était alimenté par la chaufferie centrale équipée de 3 chaudières gaz.

L'UPVD a installé un nouveau système qui a été mis en service en 2024. Ce système est composé de :

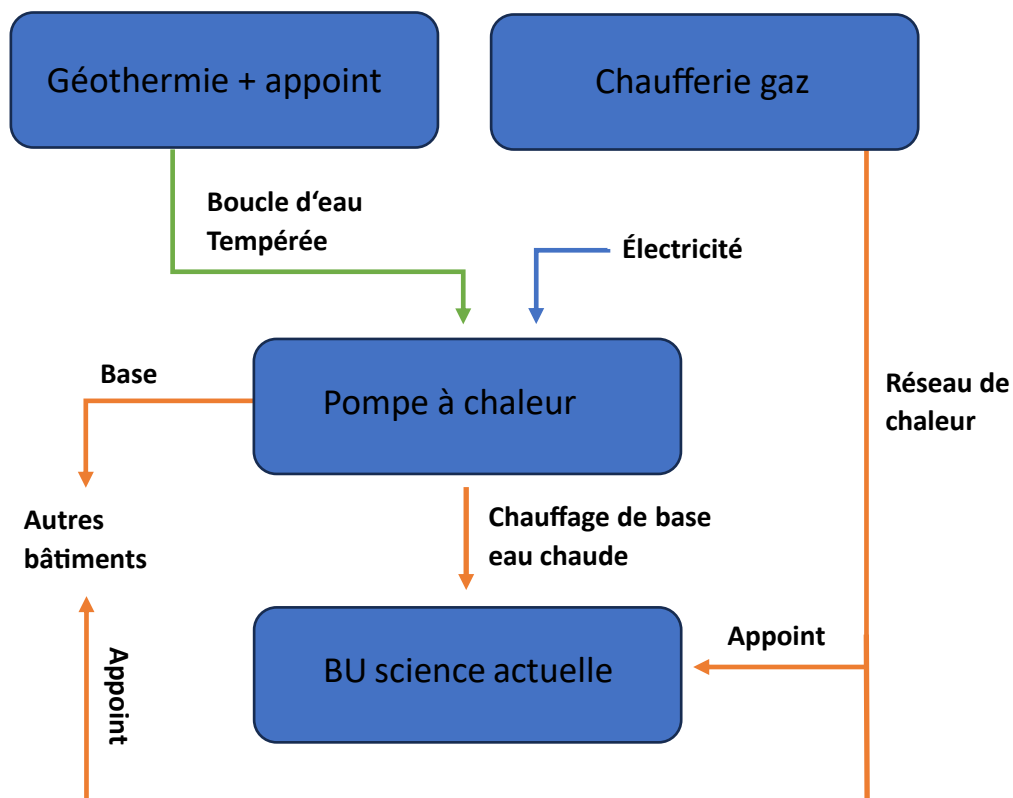
- Un nouveau réseau très basse température de type boucle d'eau tempérée. Ce réseau se situe à une température comprise entre 10 et 20°C soit très proche de la température du sol.
- Plusieurs Pompes à chaleur eau/eau situées dans des locaux indépendants qui puisent de la chaleur sur cette boucle tempérée et génère de l'eau chaude à 65°C (demande maximale) pour alimenter les sous-stations existantes des bâtiments. Chaque bâtiment a conservé sa sous-station initiale qui était auparavant alimentée par le réseau de chaleur haute température au gaz. Les sous-stations sont alimentées depuis les PAC par des réseaux isolés enterrés.
- Une source de chaleur pour alimenter la boucle d'eau tempérée qui est actuellement la chaufferie centrale au gaz et qui devrait basculer dans les prochaines années sur une production par sondes géothermiques.
- Les PAC ont été dimensionnées sur l'hypothèse d'une rénovation thermique des bâtiments. Dans l'attente de ces rénovations, l'ancien réseau de chaleur au gaz est conservé et peut fonctionner en appoint des pompes à chaleur.

Dans ce système, une pompe à chaleur peut alimenter un seul ou plusieurs bâtiments. C'est le cas de la BU science qui est alimentée en eau jusqu'à 65°C par la même pompe à chaleur que la maison des étudiants et la maison des sports.

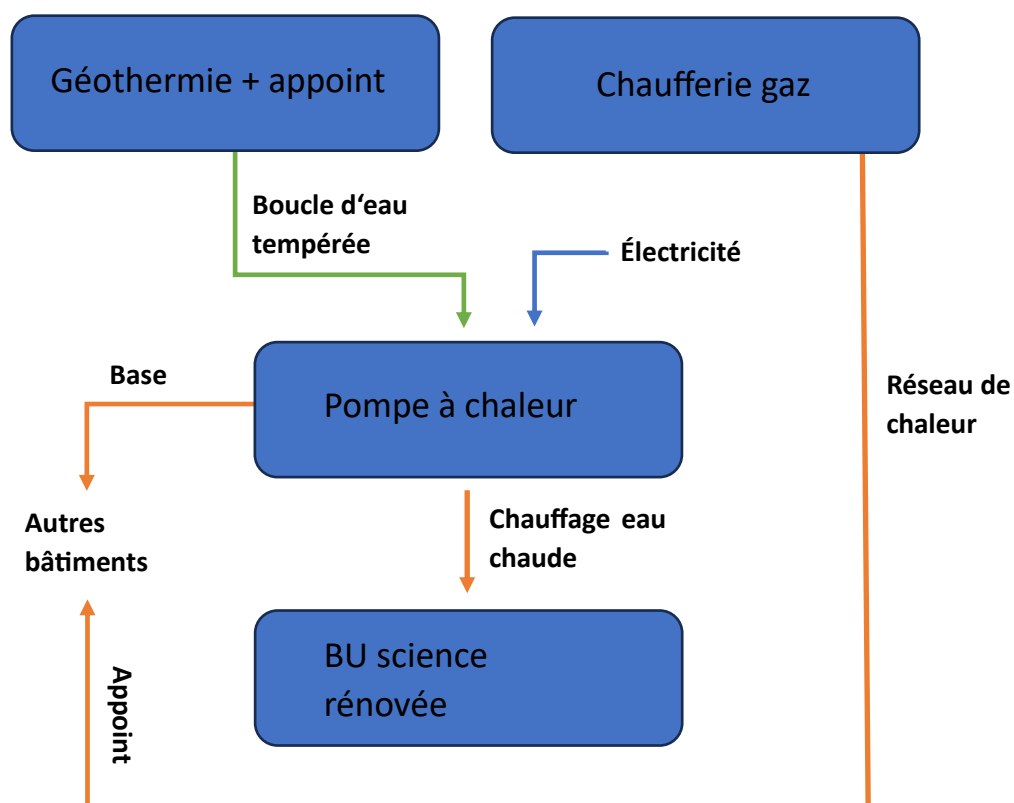
Résumé des flux d'énergie (en chauffage) de l'installation actuelle



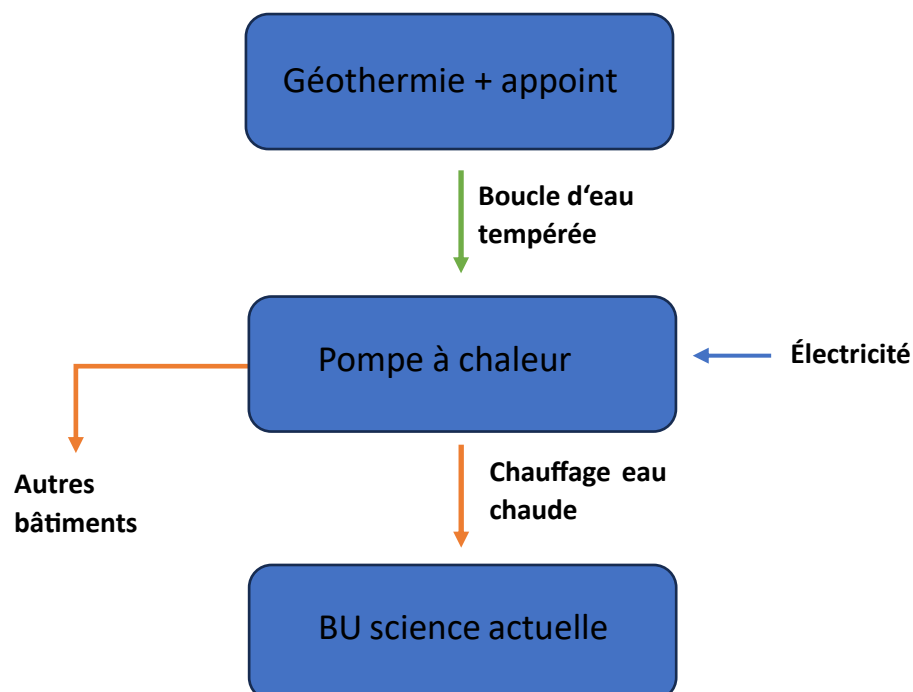
Résumé des flux thermiques avec la géothermie



Résumé des flux thermiques après rénovation et avec géothermie



Résumé des flux thermiques en chauffage après rénovation de tous les bâtiments et avec géothermie (projet final)



Les caractéristiques de la PAC sont les suivantes :

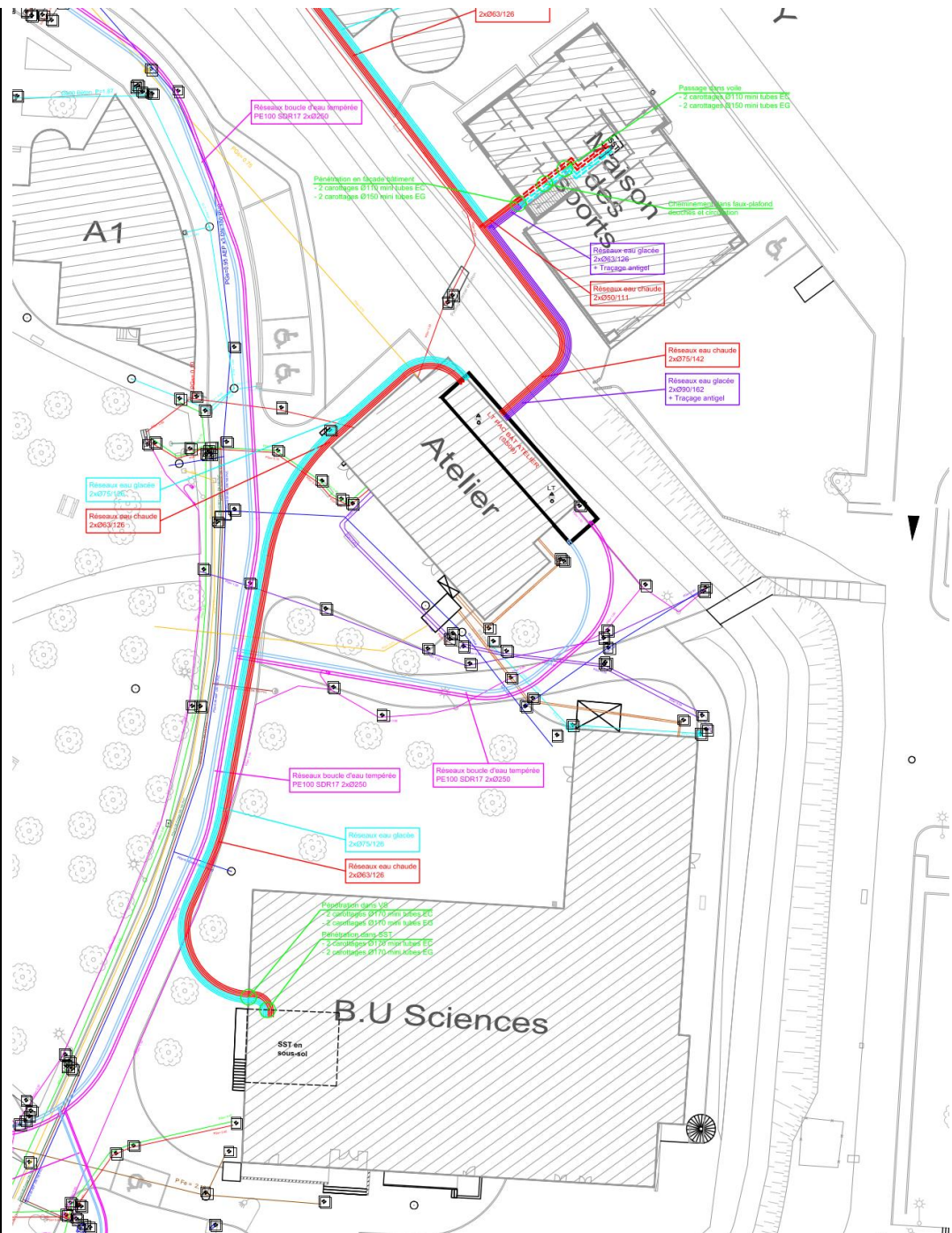
Marque : Trane

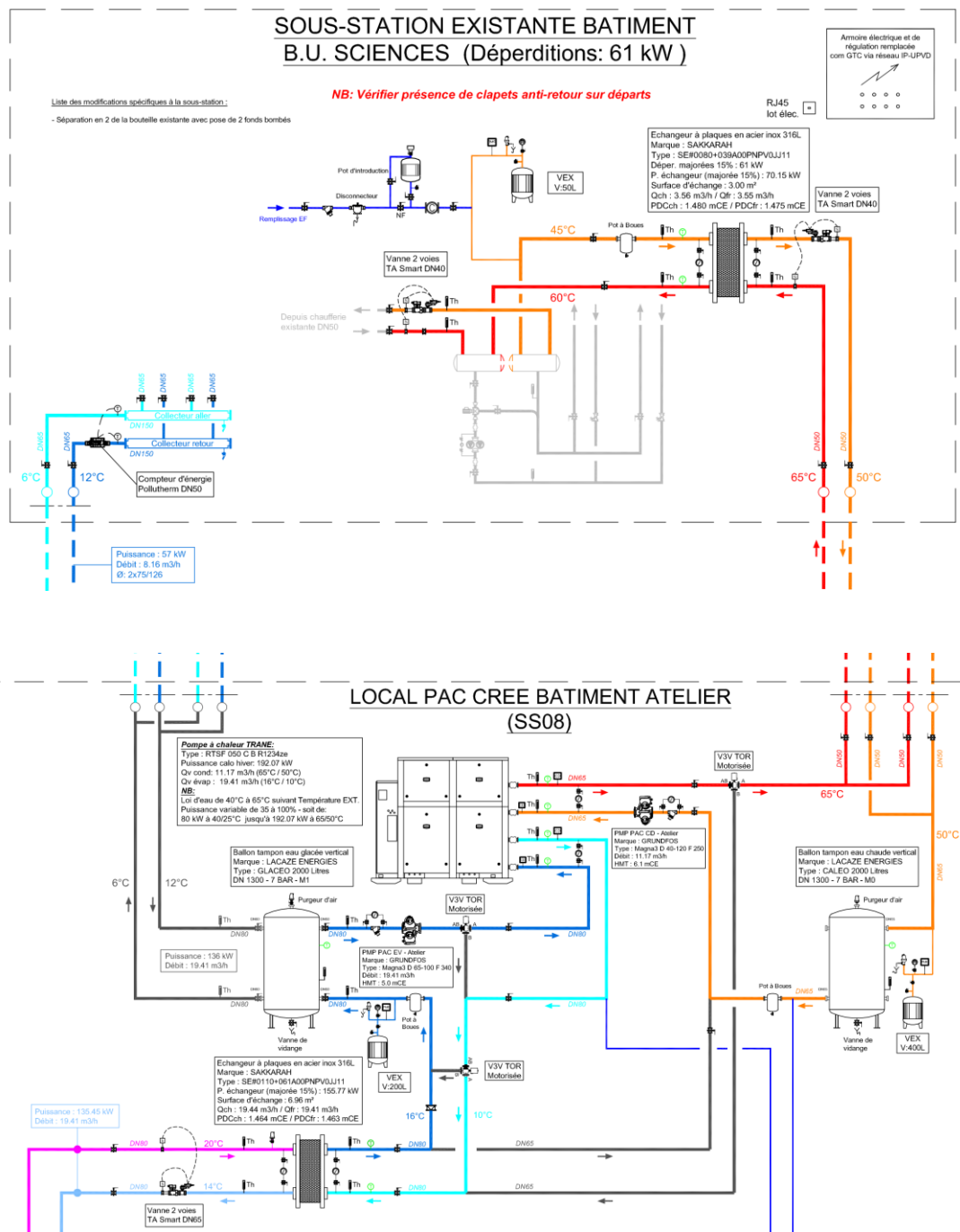
Modèle : RTFS050G

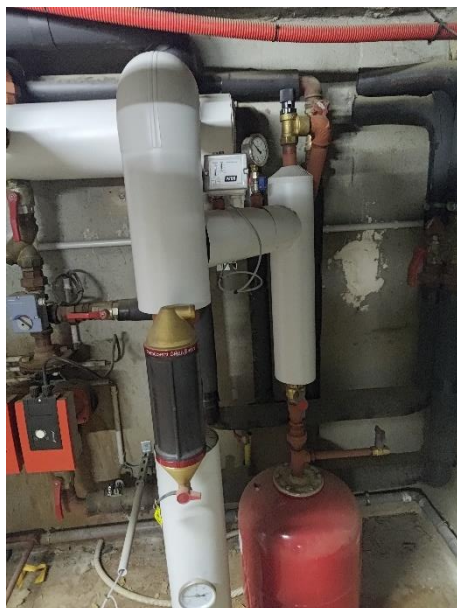


En mode chauffage			
Régime d'eau	EV : 12/7°C Cd : 45/40°C	EV : 12/7°C Cd : 65/55°C	EV : 16/10°C Cd : 65/50°C
Puissance chaud	152 kW	158 kW	192 kW
COP	4.33	2.85	3.38

La pompe à chaleur se situe dans le local attenant à la chaufferie et l'atelier.







*Nouveau réseau avec
jaquette PVC isolation classe 4*



Réseau sous-station isolation classe 1



Pompes et vanne 3 voies non isolés.

Désordres et dysfonctionnements

L'installation en local PAC est récente.

Pour l'instant la source de chaleur principale est le gaz fortement émetteur de CO₂, mais il est prévu d'installer une production géothermique qui permettra de passer principalement sur une ressource renouvelable.

L'isolation de la sous-station n'est pas performante.

Action corrective

Procéder à une rénovation l'isolation de l'hydraulique de la sous-station : conduites, organes hydrauliques (pompes, vannes, etc.).

Reprendre également l'isolation des réseaux en vide sanitaires pour atteindre la classe 4 ou 5.

IV.3.2 Émetteurs

Etat des lieux	La chaufferie et les sous-stations alimentent des réseaux en acier qui parcourent le bâtiment en vide sanitaire et desservent les différents radiateurs du bâtiment.
Désordres et dysfonctionnements	Il n'y a aucun organe d'équilibrage des branches des réseaux. Les seuls éléments d'équilibrage sont les T de réglage des radiateurs. La plupart des radiateurs ne sont pas équipés d'éléments de régulation terminaux permettant de moduler leur puissance en fonction de la température intérieure des locaux. Compte tenu du passage à une génération du chauffage par pompes à chaleur, certains radiateurs sont maintenant alimentés avec de l'eau moins chaude pendant les conditions les plus froides (avec un régime 60/45°C contre 80/65°C auparavant). La rénovation thermique du bâtiment va engendrer une baisse de la puissance nécessaire, ce qui va permettre de baisser la température dans la majeure partie des radiateurs sans induire de problèmes de puissance. Cependant, même dans l'hypothèse d'un bâtiment entièrement rénové, dans certaines pièces, les radiateurs avec un régime 60/45°C restent sous-dimensionnés (cf VII.5-Analyse des puissances de radiateurs installées p73). Cela implique soit de conserver un appoint, soit d'accepter un possible inconfort ponctuel, soit de les remplacer par des radiateurs plus grands, soit d'ajouter des radiateurs.
Action corrective 1	Installer des robinets thermostatiques auto-équilibrant sur chaque radiateur. Remplacer ou ajouter des radiateurs dans les pièces concernées par le manque de puissance (cf VII.5-Analyse des puissances de radiateurs installées p73).
Action corrective 2	Supprimer l'ensemble des radiateurs et basculer sur des ventilo-convecteurs et des gainables (salles de lecture). Cela permettra de réduire la température dans les réseaux de distribution et ainsi d'augmenter le rendement annuel (SCOP) de la PAC. Il sera nécessaire de refaire le réseau de distribution Dans cette hypothèse, les ventilo-convecteurs pourraient également servir à la climatisation de l'ensemble du bâtiment. Pour cela, il sera nécessaire d'installer un départ eau glacée en sous-station.

IV.4 Climatisation

Etat des lieux

Seul un bureau est équipé d'un climatiseur de marque Trane. Celui-ci est très vétuste (R22).

Le local technique informatique serveur est équipé de 2 climatiseurs Daikin de type FAA100BUV1B / AZAS100M7V1B avec les caractéristiques suivantes :

Puissance froid	9.5 kW
EER	3.7

La puissance moyenne consommée par les équipements d'après le service informatique est de 6kW.

En parallèle des climatiseurs, un système de ventilation raccordé directement sur l'extérieur permet de faire du free-colling quand la température extérieure est basse.

Un réseau d'eau glacé a été installé en attente en sous-station. Celui-ci est alimenté par la pompe à chaleur qui pourra fonctionner en mode froid quand les sondes géothermiques seront installées.

Cette PAC peut fonctionner en thermofrigopompe, c'est-à-dire un fonctionnement en chaud et en froid simultané avec récupération de chaleur (transfert d'énergie d'un local à l'autre).

Les performances de la PAC eau/eau en froid sont les suivantes :

Régime d'eau	EV : 12/7°C Cd : 30/35°C
Puissance chaud	182 kW
EER	5.01

Désordres et dysfonctionnements

Le serveur et les bureaux pourraient être climatisés par la géothermie qui a des meilleures performances que des climatiseurs air/air.

En hivers et en mi-saison, le mode thermofrigopompe pourrait être utilisé pour transférer la chaleur du serveur vers les locaux à chauffer.

La configuration du système n'est actuellement pas optimisée pour un fonctionnement chaud et froid simultané avec un déséquilibre entre la charge de chauffage et de climatisation. Ce fonctionnement serait optimisé dans le cas d'une climatisation future du local serveur via la PAC (fonctionnement en hivers avec une charge de chauffage supérieure à la climatisation).

Action corrective 1	Réaliser l'installation d'un réseau d'eau glacée dans le bâtiment avec : - Un départ à température constante - Des conduites en vide sanitaire isolées classe 5 - Des ventilo-convecteurs dans les bureaux et le local serveur, dimensionnés pour un régime haute température (par exemple 18°C/13°C) afin de favoriser le recours au geocooling en inter-saison. Adapter l'installation pour permettre la production de froid et de chauffage en simultané et avec des charges déséquilibrées : production chaud > froid ou froid > chaud avec rejet ou apport de chaleur sur la boucle d'eau : Basculement des retours des réseaux chaud et froid vers la boucle d'eau avant de retourner vers les PAC). Ce réseau d'eau glacée pourra également être raccordé à une CTA prévue pour amener le débit d'air neuf hygiénique réglementaire dans les salles de lecture ou les futures salles de classe. Cela permettra de réaliser un rafraichissement de l'ambiance pendant les périodes les plus chaudes.
Action corrective 2	Supprimer l'ensemble des radiateurs et basculer sur des ventilo-convecteurs et/ou des gainables réversible qui serviront au chauffage et à la climatisation de l'ensemble du bâtiment. Réaliser l'installation d'un réseau d'eau glacée dans le bâtiment avec : - Un départ à température constante - Des conduites en vide sanitaire isolées classe 5 - Des ventilo-convecteurs et/ou gainables dans toutes les pièces et le local serveur, dimensionnés pour un régime haute température (par exemple 18°C/13°C) afin de favoriser le recours au geocooling en inter-saison. Adapter l'installation pour permettre la production de froid et de chauffage en simultané et avec des charges déséquilibrées Créer un réseau d'eau glacée vers les CTA installées.

IV.5 Eclairage

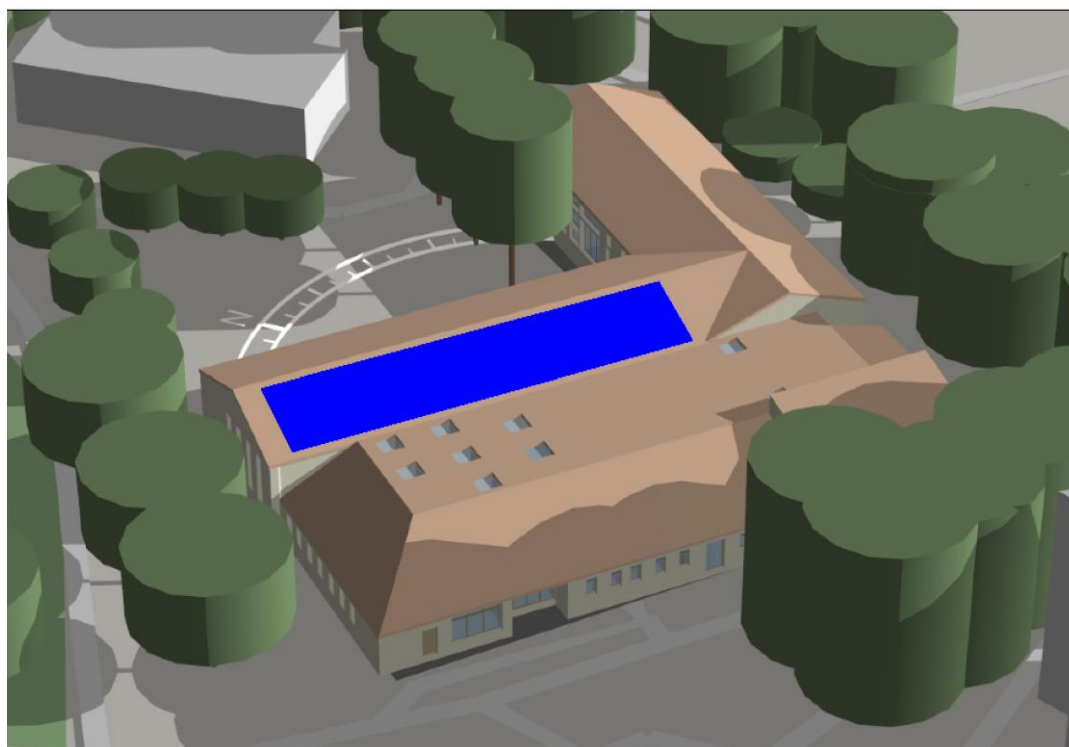
Etat des lieux	Les luminaires sont de type Fluo dans la majorité des pièces.
Désordres et dysfonctionnements	Consommation d'électricité améliorable.
Action corrective	Remplacement des éclairages fluorescents par des LED. Installation de détecteurs de présence avec extinction automatique en fonction de l'absence et d'un seuil de luminosité et/ou gradation automatique.

IV.6 ECS

Etat des lieux	Il n'y a pas de production d'eau chaude sanitaire.
Désordres et dysfonctionnements	-
Action corrective	-

IV.7 Production locale d'électricité

Etat des lieux	Le bâtiment ne possède aucune installation de production locale d'électricité.
Désordres et dysfonctionnements	-
Action corrective	Il est possible d'installer un équipement photovoltaïque en toiture qui pourra fonctionner majoritairement en autoconsommation. Compte tenu que le bâtiment est entouré d'arbres assez hauts qui peuvent induire des ombrages conséquents, seule une petite partie des toitures est véritablement utilisable. La toiture la moins impactée par les ombrages est la toiture la plus haute, c'est-à-dire la toiture des salles de lectures orientée Sud-Ouest. Il sera nécessaire de faire réaliser une étude spécifique sur le photovoltaïque avec un logiciel spécialisé afin d'affiner au mieux la configuration de l'installation au regard des ombrages potentiels. Cela permettra de maximiser les performances de l'installation.



La surface disponible sur ce pan de toiture permet d'installer environ **30 kWc** de panneaux photovoltaïques.

IV.8 Suivi des consommations

Etat des lieux	Les usages spécifiques de l'électricité ne sont pas sous-comptés. Le chauffage et la production d'eau glacé sont équipés de compteurs d'énergie raccordés à la GTC. Cependant, ces sous-comptage thermiques n'ont été mis en service qu'en 2024 et ne disposent pour l'instant pas d'une année complète permettant de réaliser un bilan.
Désordres et dysfonctionnements	Il n'est pas possible de faire un suivi précis des consommations électriques du bâtiment.
Action corrective	Installer des sous-compteurs électriques dans les armoires afin de distinguer les différents usages (éclairage, PC, ventilation, climatisation, climatisation local serveur, consommation local serveur). Raccorder ces compteurs à la GTC.

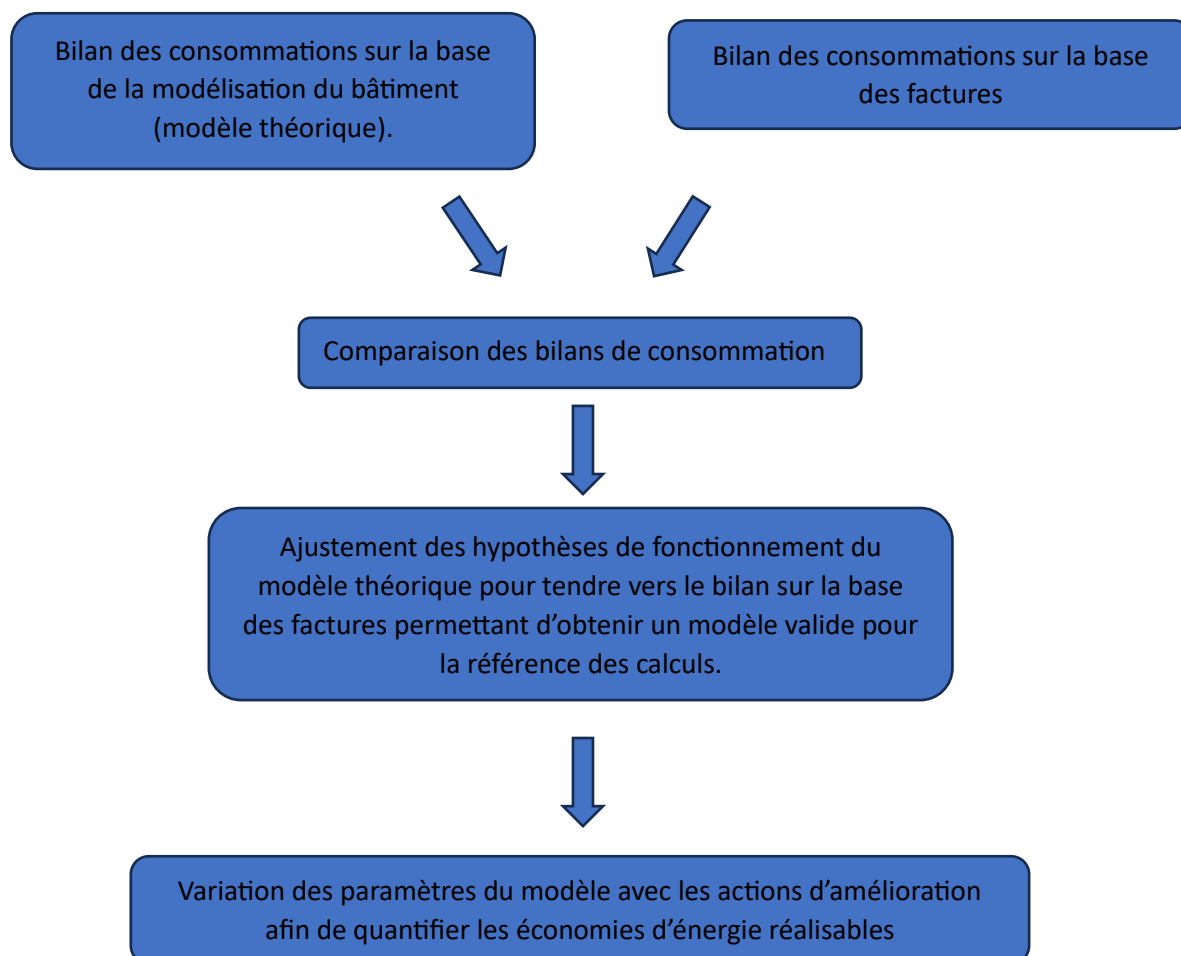
V BILAN ENERGETIQUE DU BATIMENT

Le **bilan énergétique** du bâtiment est réalisé à la fois par une **modélisation énergétique** du fonctionnement de celui-ci (modèle théorique) et par une analyse des **consommations réelles**.

La **modélisation énergétique** (modèle théorique) se base sur l'ensemble des **caractéristiques physiques du/des bâtiments** (enveloppe thermique, équipements, situation géographique, ensoleillement, températures, etc.) mais aussi sur des **hypothèses d'utilisation du bâtiment** (occupation, utilisations d'appareils, niveaux de températures intérieurs fixés, etc.). Ces dernières hypothèses que l'on peut appeler « **scénarios d'utilisation du bâtiment** » sont les données présentant le plus d'incertitude pour la modélisation. En effet, les usages sont susceptibles de varier, et il n'est pas toujours évident d'évaluer ou de recueillir de façon précise les données sur les niveaux d'occupation des locaux, ou bien sur différents paramétrages individuels des consignes de températures effectués par les usagers.

C'est pourquoi, afin de produire un modèle énergétique le plus proche de la réalité, un bilan des consommations réelles servant de référence est effectué sur la base des factures d'énergie. Les scénarios d'utilisation du modèle théorique peuvent alors être ajustés le cas échéant afin de le faire approcher des consommations réelles.

Une fois le modèle théorique de base réalisé, la variation des paramètres de celui-ci (par exemple l'isolation des parois) permet de calculer les économies d'énergie potentielles des différentes améliorations réalisables.



V.1 Bilan des factures

Le bâtiment ne possède pas de factures propres.

En effet, les factures disponibles concernant la BU science sont relatives à un point de livraison pour chaque énergie (électricité et gaz) qui alimente la majorité des bâtiments du campus (transformateur HT et chaufferie centrale).

De plus, les seuls sous-comptages installés au niveau du bâtiment sont ceux de la nouvelle installation de la boucle d'eau tempérée qui n'ont pas encore une année de fonctionnement complète.

Il n'est donc pas possible de faire un bilan des consommations du bâtiment sur la base de mesures ou de factures (consommations réelles) car les données ne sont pas disponibles.

Le bilan des consommations du bâtiment ne pourra donc être fait que sur la base du modèle théorique qui ne pourra pas être ajusté, ce qui augmentera légèrement l'incertitude des calculs.

V.2 Modélisation du bâtiment

V.2.1 Présentation du logiciel utilisé

Le logiciel qui a été utilisé pour la simulation énergétique dynamique du bâtiment est le logiciel « **PLEIADES-COMFIE** » développé par le Centre d'Energétique de l'Ecole des Mines de Paris (module Comfie) et la société IZUBA Energie (interface Pleiades).

Ce logiciel est un outil de simulation thermique permettant de calculer le comportement de différentes zones thermiques d'un bâtiment en régime dynamique.

Ce type de simulation prend en compte les régimes transitoires de montée et de descente de température du bâtiment et permet donc de calculer de manière plus précise les apports solaires et internes utiles en fonction de l'inertie du bâtiment, mais aussi de prendre en compte les échanges entre zones.

L'objectif est d'évaluer de façon précise les consommations d'énergie et le confort thermique des bâtiments étudiés.

COMFIE permet par exemple de simuler le comportement d'une serre, de détecter d'éventuelles surchauffes en été, ou bien de comprendre l'influence d'une ventilation sur le confort thermique.

La simulation énergétique dynamique permet d'une part de faire des calculs de consommations précis, et d'autre part de connaître l'évolution en temps réel de la température à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment.

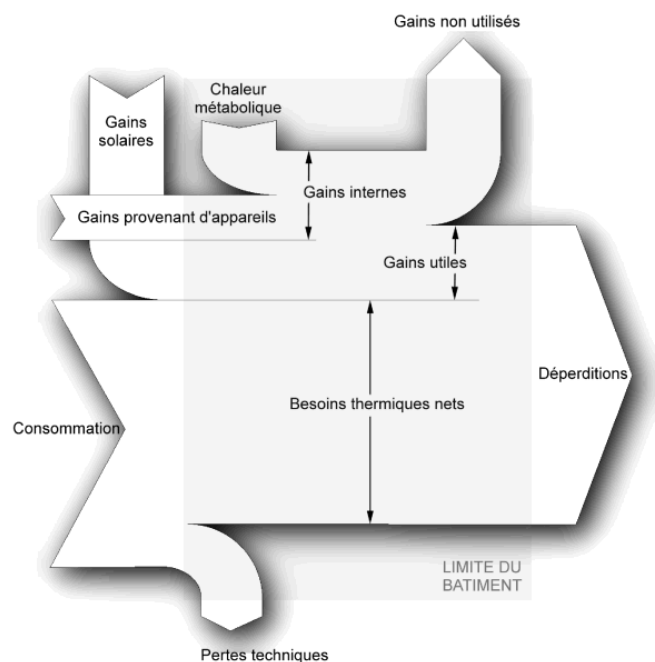
De plus, toutes les hypothèses de calcul sont maîtrisées, ce que ne permettent pas les logiciels de calculs réglementaires. Par exemple, c'est l'utilisateur du logiciel qui définit quand, et à quelle température les locaux sont chauffés. Les données utilisées pour la météo sont aussi maîtrisées.

V.2.2 Paramètres calculés

Le logiciel calcule pour chaque variante les besoins de chauffage et de climatisation le cas échéant.

Il donne également pour chaque zone des indicateurs de performance énergétique en rapportant ces besoins à la surface chauffée ou climatisée. Il fournit également la puissance maximale atteinte en fonctionnement réel.

Le bilan d'énergie (diagramme de Sankey) d'un bâtiment peut se représenter schématiquement ainsi :



Pleiades + Comfie calcule les "besoins nets" à fournir pour assurer le chauffage (ou la climatisation) du bâtiment étudié en tenant compte des apports par les occupants (métabolisme), l'ensoleillement (apports solaires) et la chaleur dissipée par les appareils (moteurs, éclairage ...) à l'intérieur de la zone étudiée.

La consommation finale sera fonction du rendement des équipements de chauffage (ou de climatisation) et donc des pertes thermiques (production, régulation + distribution + émission) de ces équipements. Les calculs liés aux équipements sont basés sur les algorithmes de la méthode Th-BCE 2012.

Enfin, le logiciel permet de connaître l'évolution des températures dans les locaux et de calculer des indicateurs de confort thermique ressentis par les occupants.

V.2.3 Données générales

Les données utilisées pour la modélisation du bâtiment ont été collectées à la fois sur site lors de visites techniques qui ont permis d'identifier les caractéristiques de celui-ci et à la fois sur les éléments fournis par le maître d'ouvrage, à savoir :

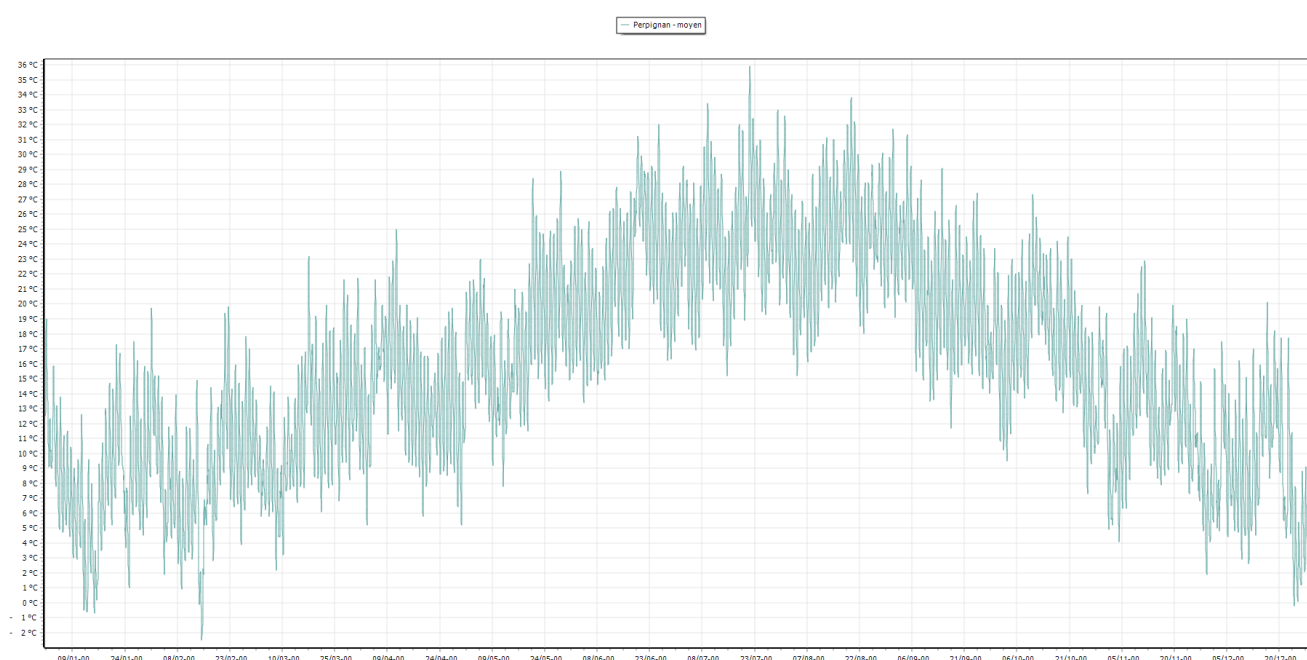
- les plans architecte du bâtiment.
- les heures d'occupations mensuelles.

V.2.4 Climatologie

Le site météo pris en compte pour les différentes simulations dynamiques est celui de **Perpignan**. Les données de bases utilisées sont celles de la base de données météonorm pour la station de Perpignan avec un climat moyen.

Le site bénéficie d'un climat méditerranéen et donc d'un très bon ensoleillement, d'hivers relativement peu rigoureux. Les étés présentent quant à eux un caractère chaud, long et sec.

Evolution des températures extérieures sur l'année (°C)



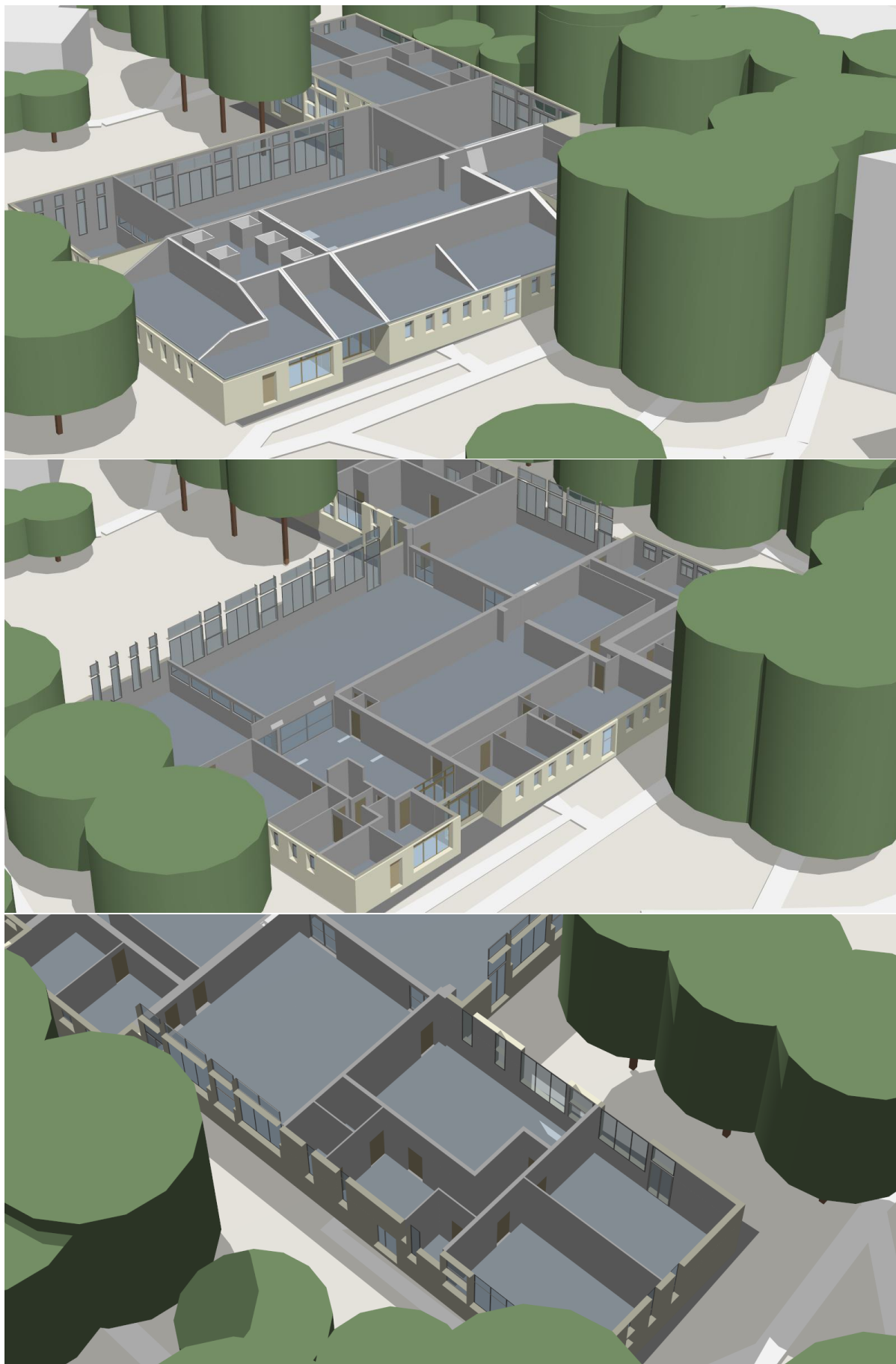
Ce graphique représente l'évolution des températures avec un pas horaire constitué grâce aux données météorologiques des dernières années.

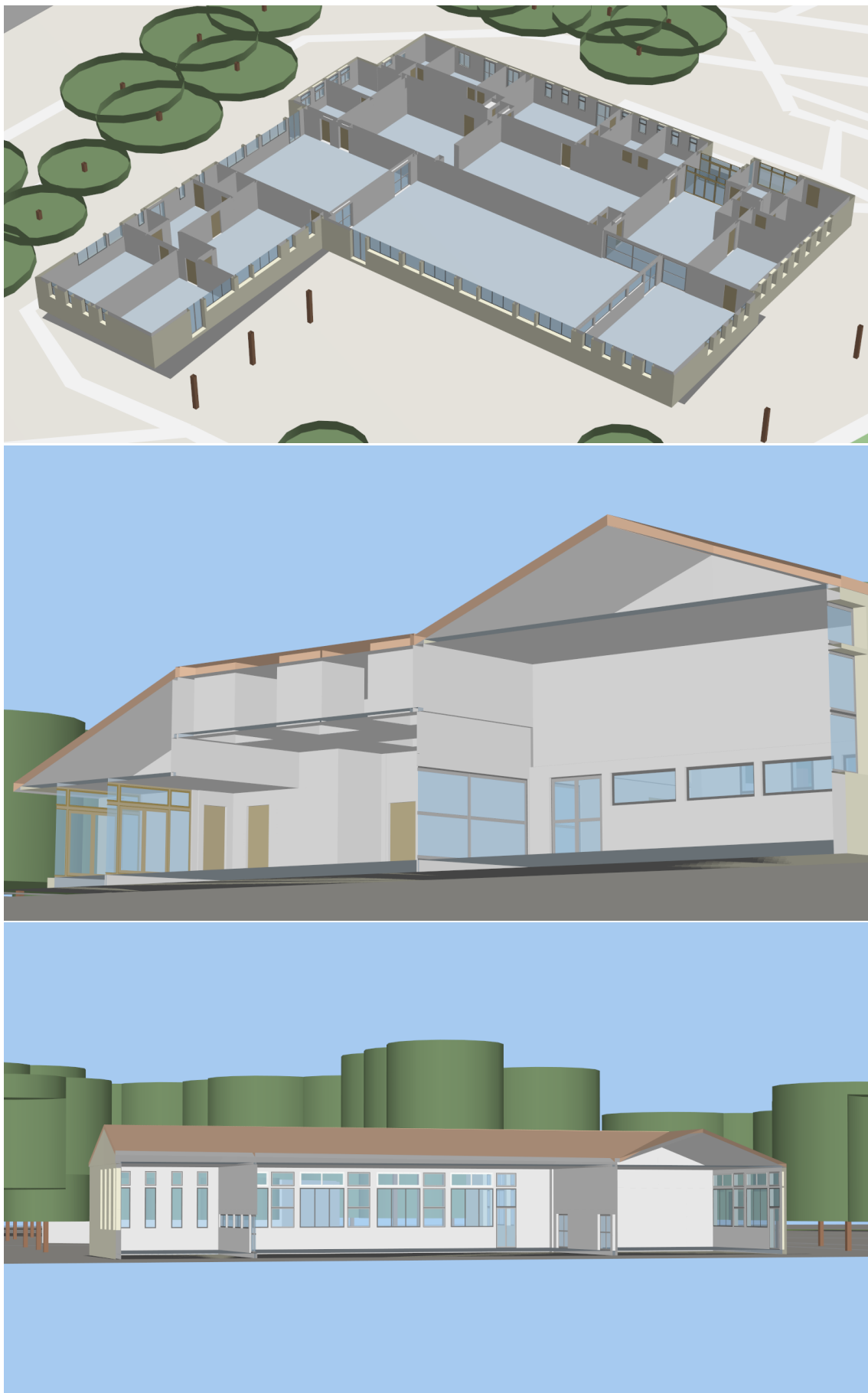
V.2.5 Modélisation graphique

Le bâtiment est modélisé en trois dimensions grâce à l'éditeur graphique du logiciel.

Celui-ci permet faciliter la saisie et donner lieu à une bonne visualisation du comportement du bâtiment par rapport au soleil (exposition, protections solaires...). L'objectif est de se rapprocher au plus près de la forme réelle du bâtiment dans la limite des possibilités du logiciel.





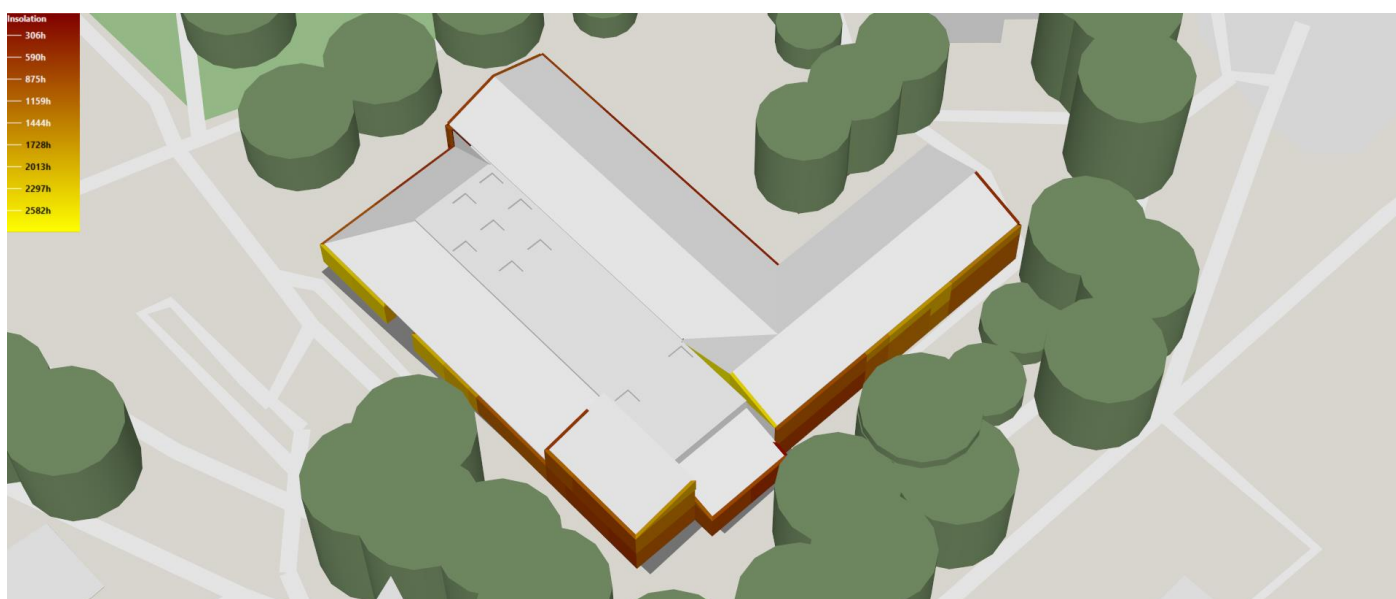
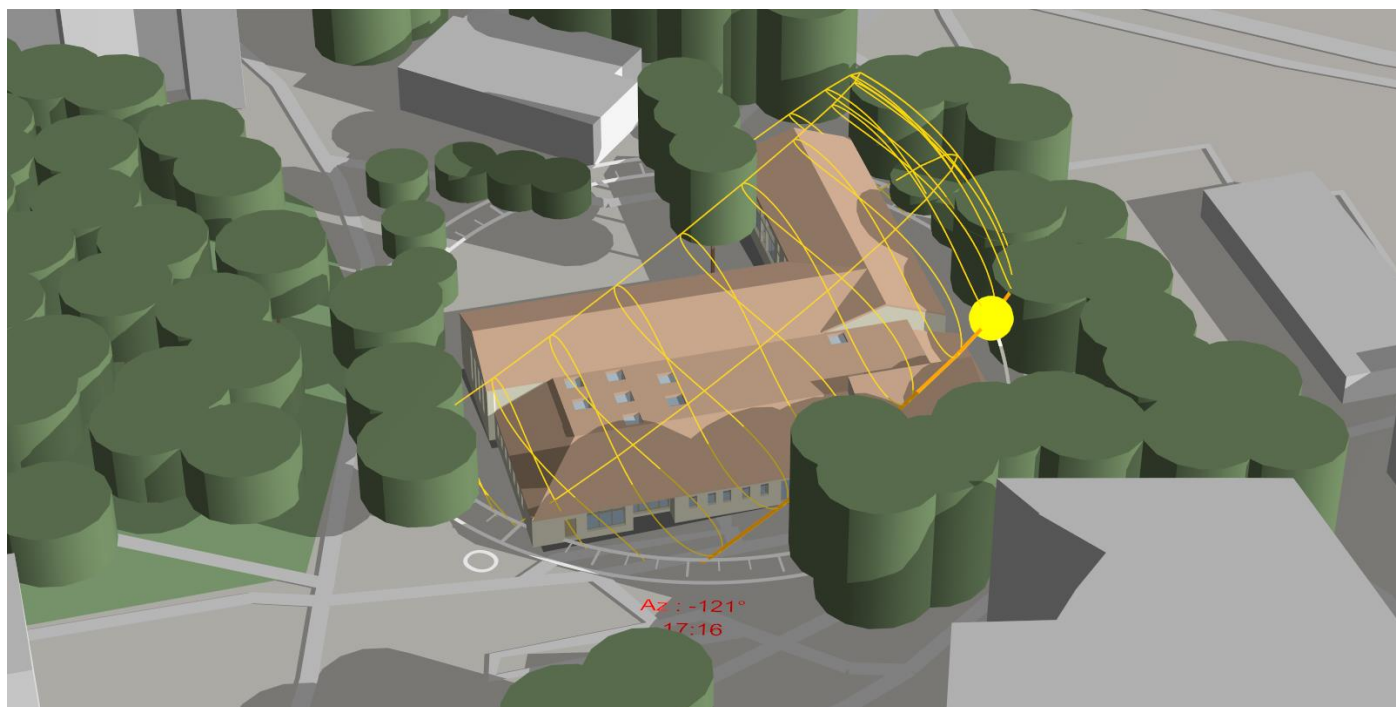


V.2.6 Analyse d'ensoleillement

Les bâtiments sont vus en situation d'éclairement à différents moments stratégiques de l'année.

Les ombres portées sont visibles sur les images et indiquent si le rayonnement solaire pénètre ou pas dans le bâtiment, réchauffant ainsi celui-ci.

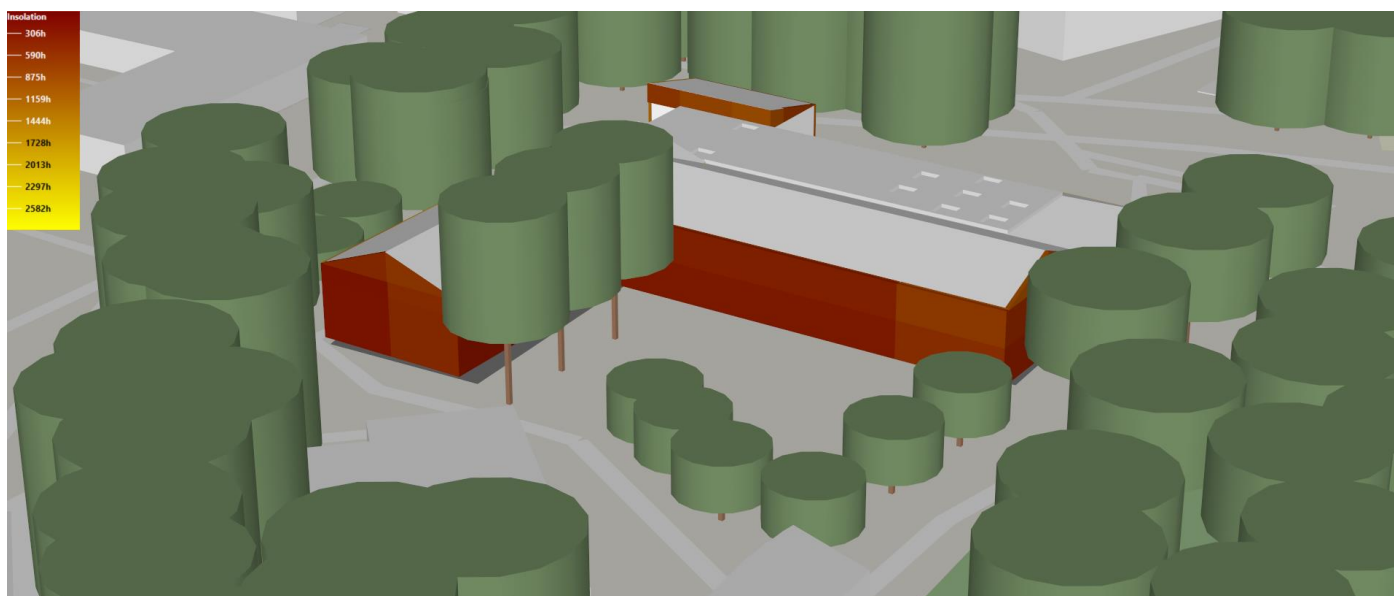
L'objectif est de faire une analyse de l'architecture bioclimatique du bâtiment et de détecter les possibilités de surchauffe en été ainsi que les gains potentiels en hivers. Dans cette analyse, il est considéré que les protections solaires intégrées aux menuiseries sont ouvertes.



Ensoleillement des façades Sud-Est et Sud-Ouest



Ensoleillement des façades Sud-Ouest et Nord-Ouest



Ensoleillement des façades Nord-Est et Nord-Ouest

Globalement, les façades du bâtiment reçoivent peu de rayonnement solaire. Seule une moitié de la façade Sud-Ouest au niveau de l'entrée du bâtiment un niveau à peu près normal de rayonnement sur l'année.

Ensoleillement le matin

15 janvier 9h



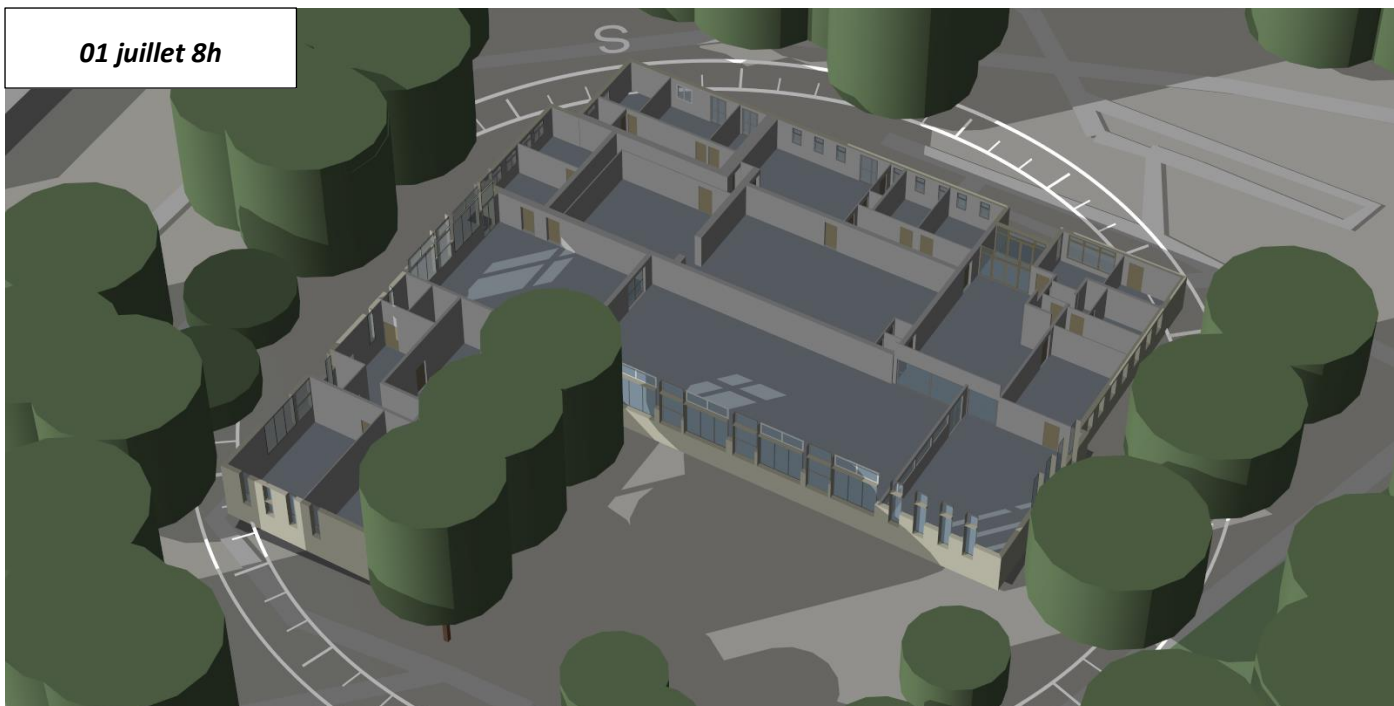
Hivers / matin : le soleil ne pénètre pas dans le bâtiment.

01 avril 8h



Mi-saison / matin : le soleil ne pénètre pas dans le bâtiment.

01 juillet 8h



Eté / matin : le soleil pénètre légèrement dans le bâtiment par les façades Sud-Est et Nord-Est mais les masques proches suppriment la quasi-totalité des apports.

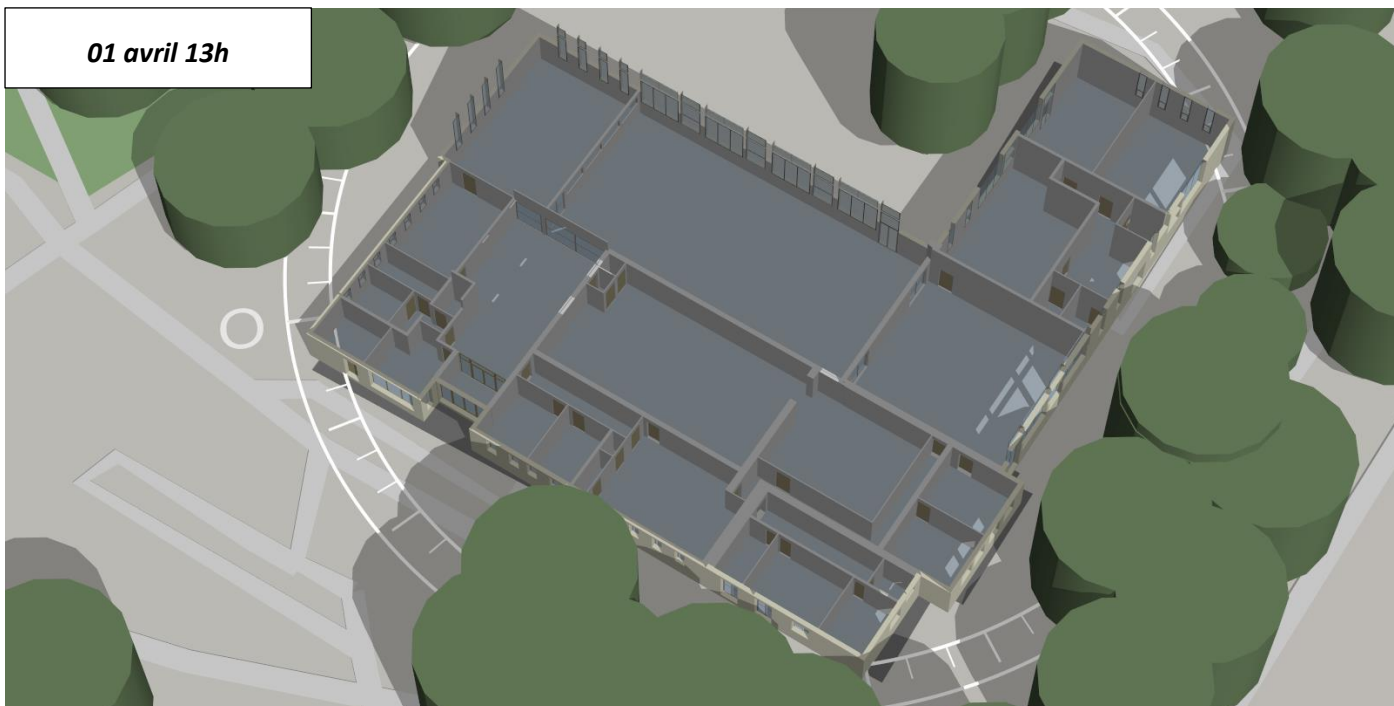
Ensoleillement à la mi-journée

01 janvier 13h



Hivers / mi-journée : pas d'apports solaires

01 avril 13h



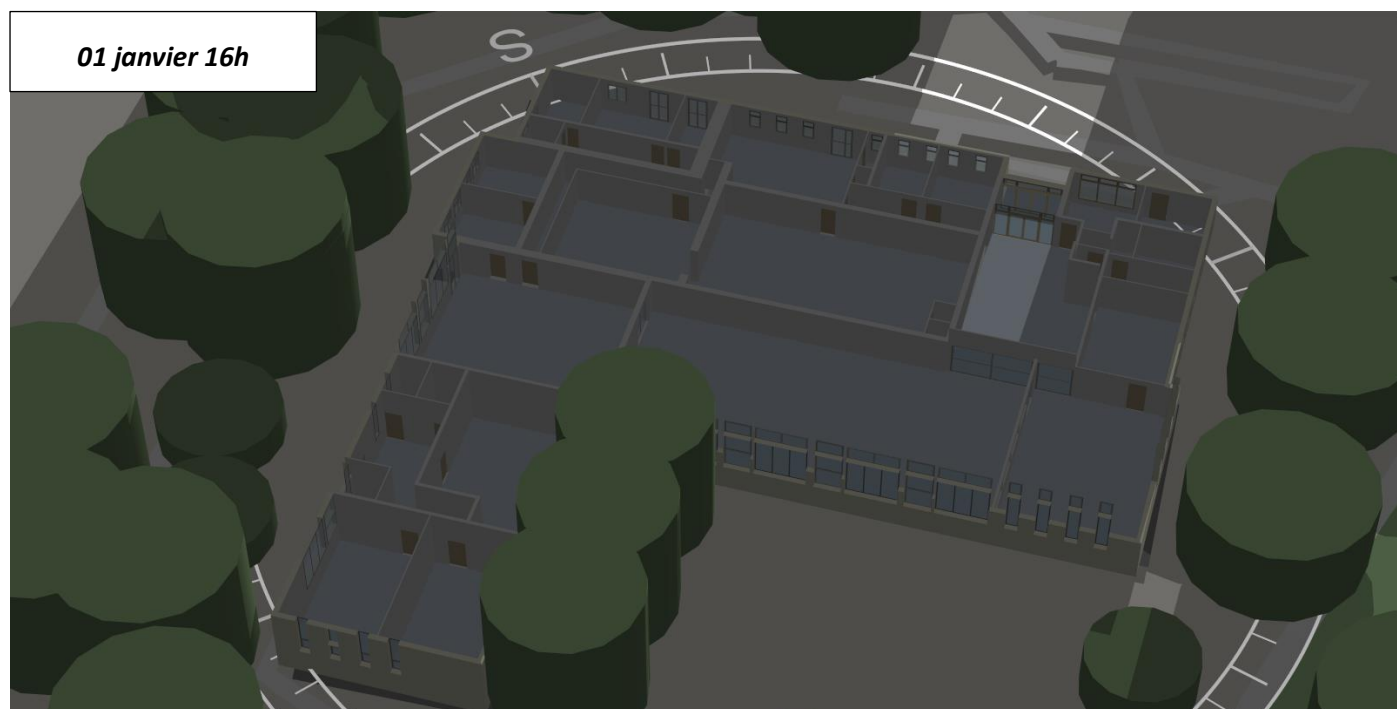
Mi-saison / mi-journée : la végétation masque partiellement les façades Sud-Est et Sud-Ouest

01 juillet 12h

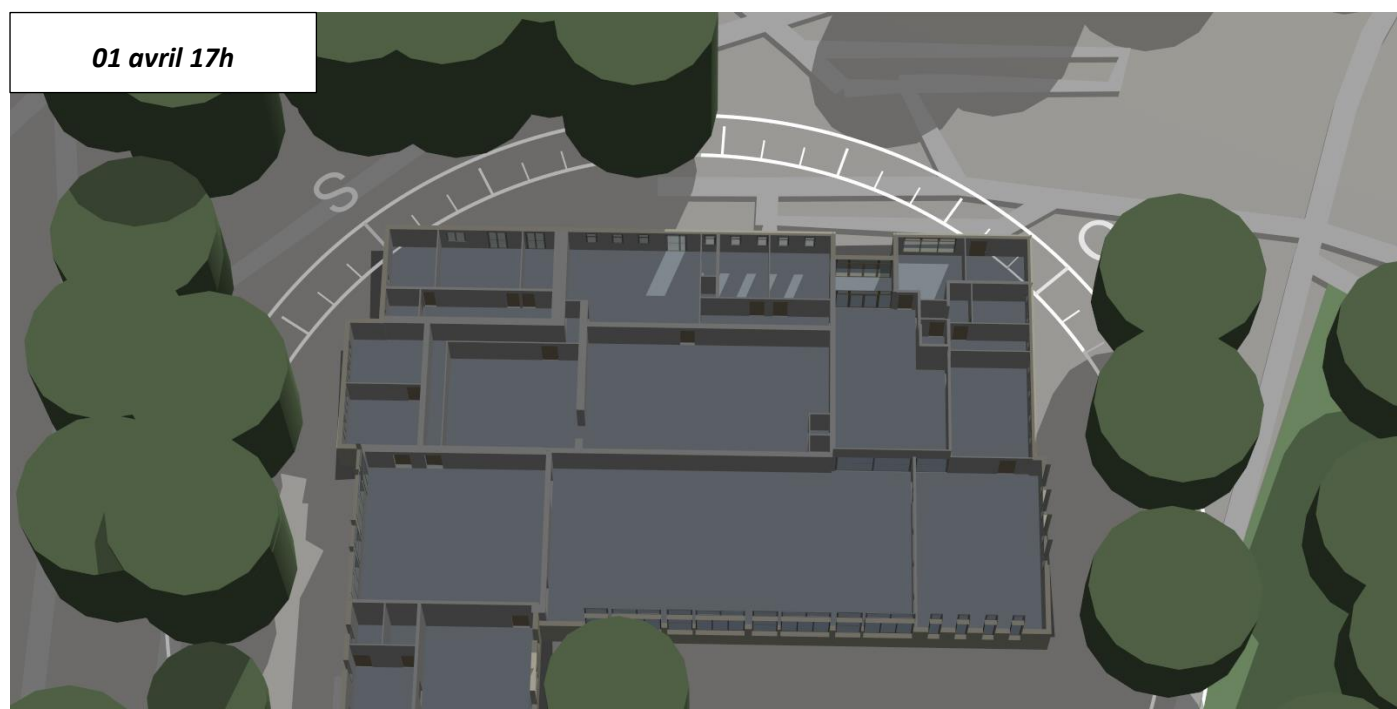


Eté / mi-journée : Il y a un peu d'apports par les menuiseries façade Sud-Est de l'IUT seulement pendant 1h

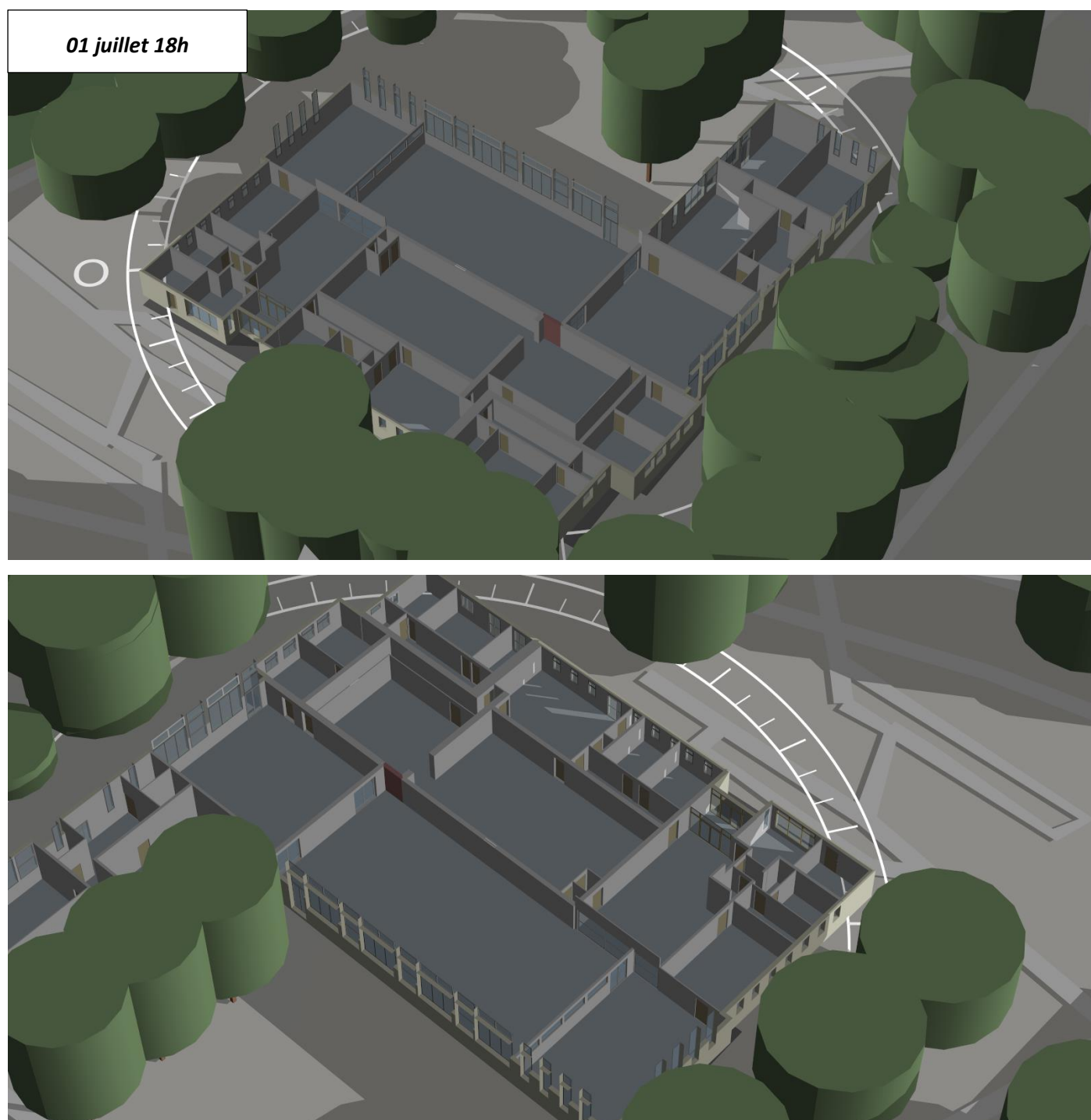
Ensoleillement en fin de journée



Hivers / fin de journée : le soleil pénètre furtivement pendant 1h au niveau de l'entrée



Mi-saison / fin de journée : la façade Sud-Ouest est exposée



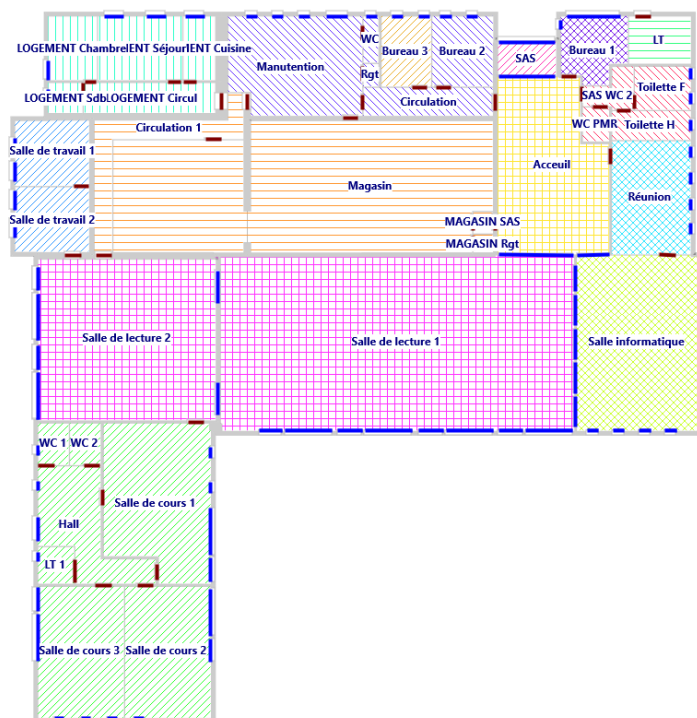
Été / fin de journée : presque pas d'apports en fin de journée, car les menuiseries sont presque toutes protégées par la végétation. Seuls les bureaux au Sud-Ouest reçoivent du rayonnement.

Globalement, le bâtiment étant entouré d'arbres et d'autres bâtiments, il reçoit peu de rayonnement solaire. Seule une moitié de la façade Sud-Ouest au niveau de l'entrée du bâtiment présente des apports solaires, notamment en mi-saison. Les façades les plus vitrées sont au nord et entourées d'arbres et sont donc très peu exposées.

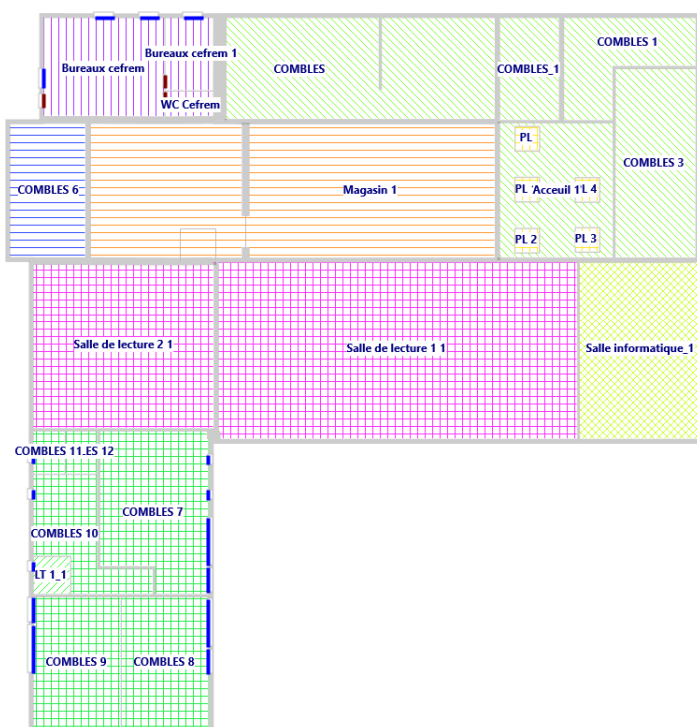
V.2.7 Zonage thermique

Le bâtiment a été découpé en zones pour tenir compte des spécificités des différents locaux relatives aux consignes de températures, aux systèmes de ventilations, aux apports internes et aux différentes orientations.

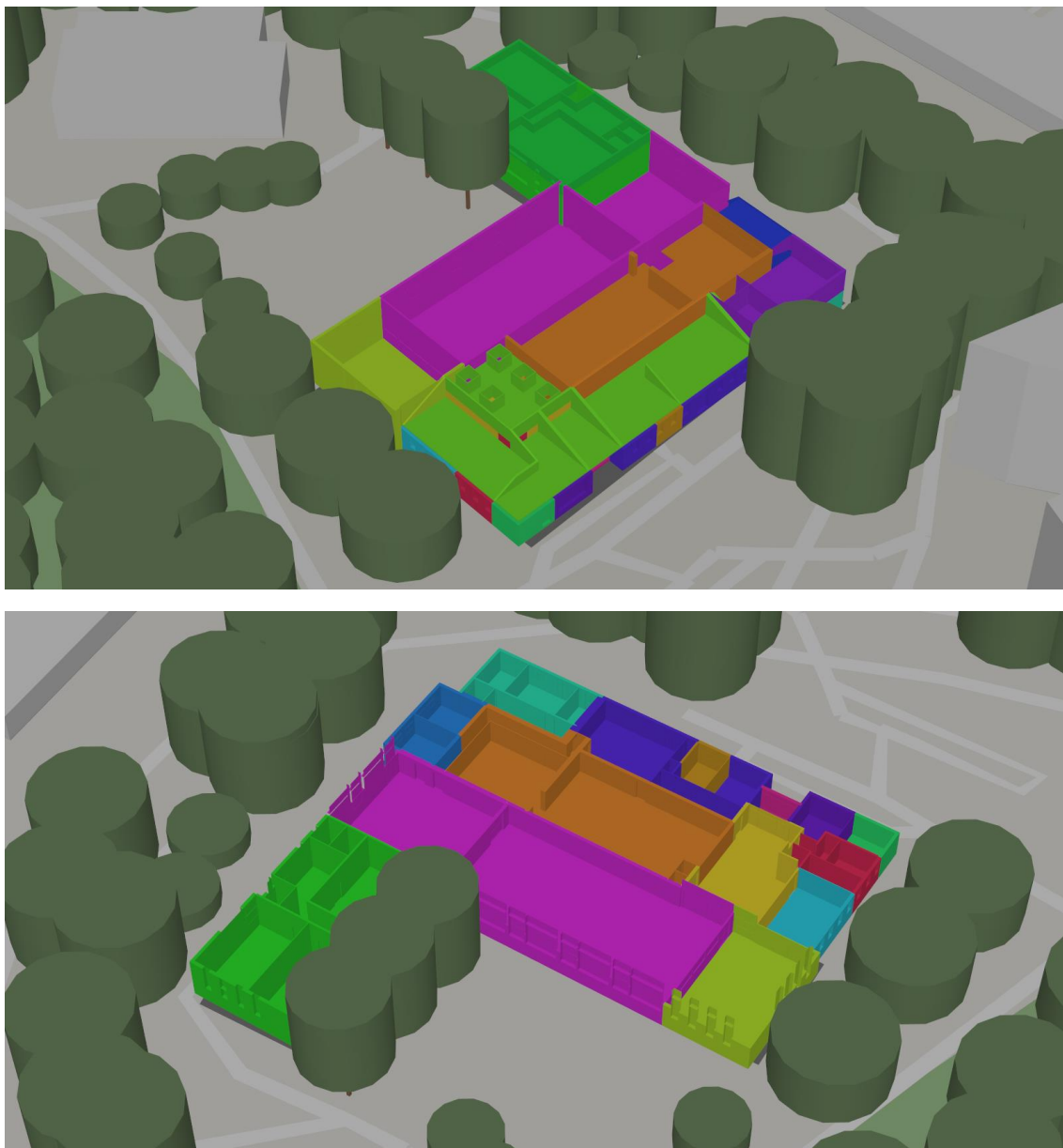
Cela est également utile pour rendre compte les différences de consommation et de confort en fonction des caractéristiques spécifiques à chaque zone.



Niveau 0
Salles de cours
Bureaux
Magasin
Logement
Salles de lectures
Salle informatique
Salles de travail
Sanitaires
LT
Accueil
Réunion
SAS
Bureau 1
Bureau Clim



Niveau 1
Salles de cours
Magasin
Salles de lectures
Salle informatique
Cefrem
Accueil
Combles 1
Combles 2
Combles 4



Vue 3D du zonage thermique

V.2.8 Scénarios d'utilisation du bâtiment

Les scénarios portent sur l'occupation, les consignes de température, les puissances dissipées par les équipements présents, les ventilations, les éclairages.

Le bâtiment est à usage de bibliothèque. Les effectifs réels sont variables et ne sont pas comptabilisés.

Le maître d'ouvrage a mentionné sa volonté de changer l'usage du bâtiment afin d'y faire soit des salles de classe, soit un mix salle de classes / foyer.

Compte tenu de ses informations, la majorité des scénarios utilisés pour l'occupation, les consignes de températures, et les puissances dissipées sont les scénarios standard de la méthode TH-BCE 2012 (enseignement supérieur et logement) affinés au niveau des pièces (salles de classe, centre de documentation, bureaux, réunion, informatique, etc.).

Concernant le local serveur, il est considéré une puissance dissipée moyenne de 6 kW (donnée fournie par le service informatique de l'UPVD).

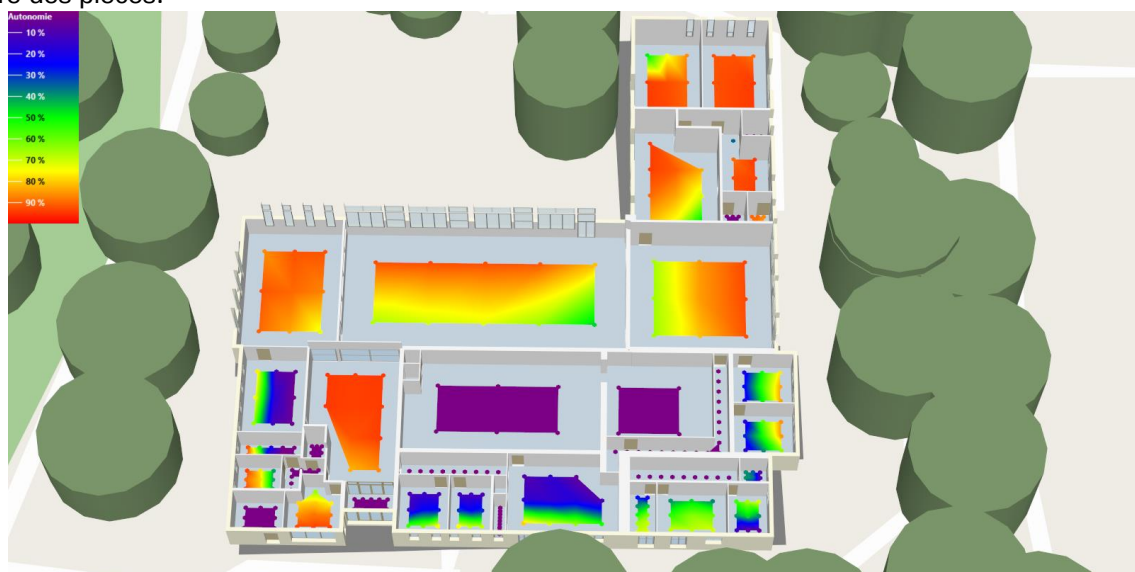
V.2.9 Eclairage

Le scénario de consignes de niveaux d'éclairage est calé sur le scénario d'occupation en considérant un besoin de 300 lux dans les bureaux en moyenne et de 100 lux dans les circulations.

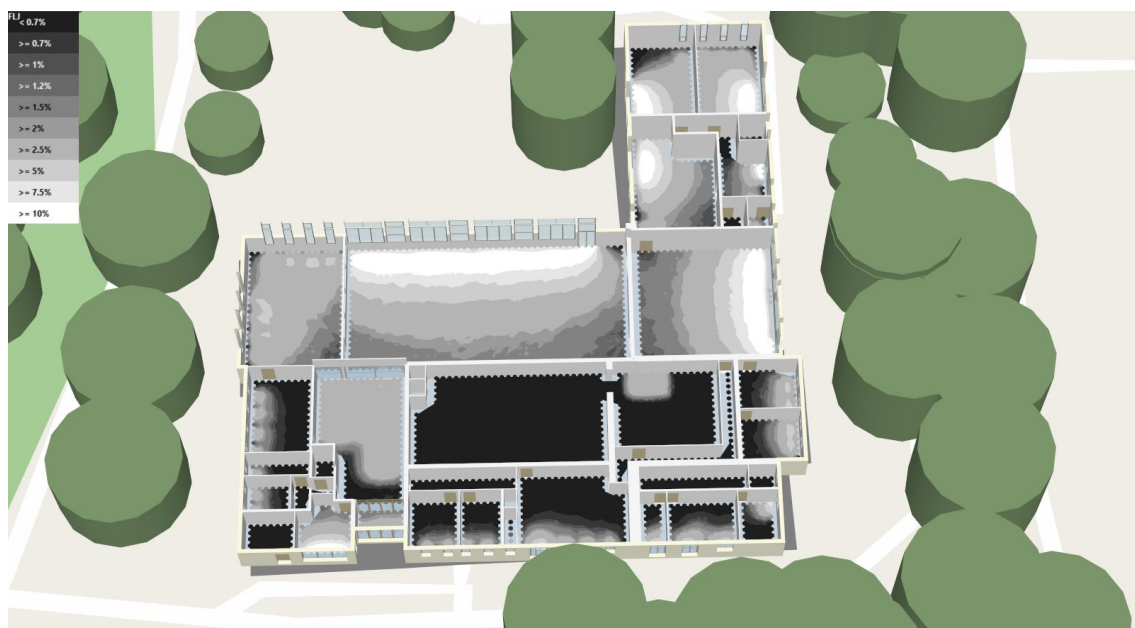
En inoccupation, le besoin d'éclairage est considéré nul.

Les scénarios d'éclairages sont associés avec des équipements d'éclairage qui définissent la puissance installée et le mode de gestion (interrupteurs, détecteurs, etc.).

En associant un calcul d'éclairage naturel, les scénarios de niveau d'éclairage, et un équipement d'éclairage, le logiciel calcule les consommations d'électricité dues à l'éclairage ainsi que la quantité de chaleur dissipée dans les pièces. Cette chaleur est alors prise en compte dans le calcul des besoins de chauffage et dans les niveaux de température des pièces.



Autonomie d'éclairage



Facteur de lumière du jour

Le bâtiment est pourvu de nombreuses et grandes baies vitrées ce qui lui permet de bénéficier de beaucoup de lumière naturelle. Il en résulte un FLJ très bon dans la plupart des pièces ainsi qu'une autonomie en éclairage naturel élevée.

V.2.10 Système de chauffage

Le projet de production géothermique a fait l'objet d'une étude de faisabilité technico-économique qui a démontré l'intérêt de l'installation.

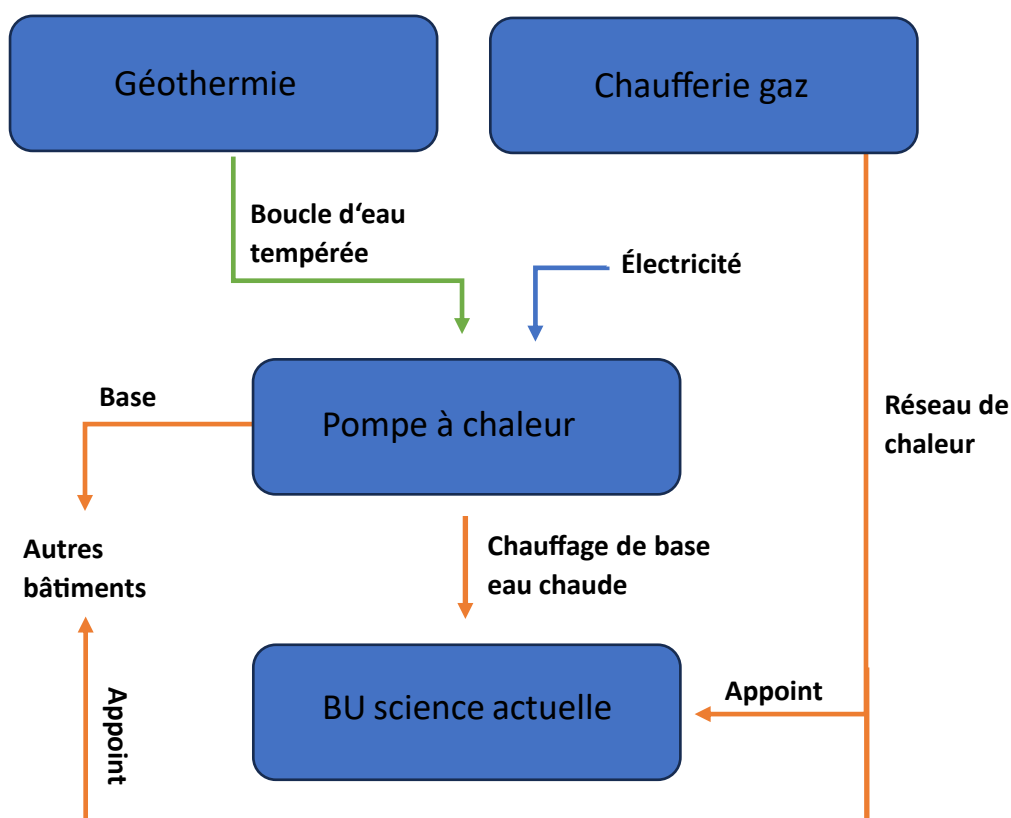
Les financements du projet ont été trouvés et le maître d'ouvrage a indiqué que le lancement était imminent.

Il est donc certain que la production géothermique sera effective d'ici deux ans maximum.

C'est pourquoi l'ensemble des calculs de la présente étude sont réalisés avec l'hypothèse d'une production géothermique, la chaufferie gaz venant uniquement en appoint de celle-ci tant que la rénovation énergétique du bâtiment n'est pas réalisée et que la puissance des PAC n'est pas suffisante pour pallier toutes les situations.

Les calculs sont donc réalisés avec le schéma suivant :

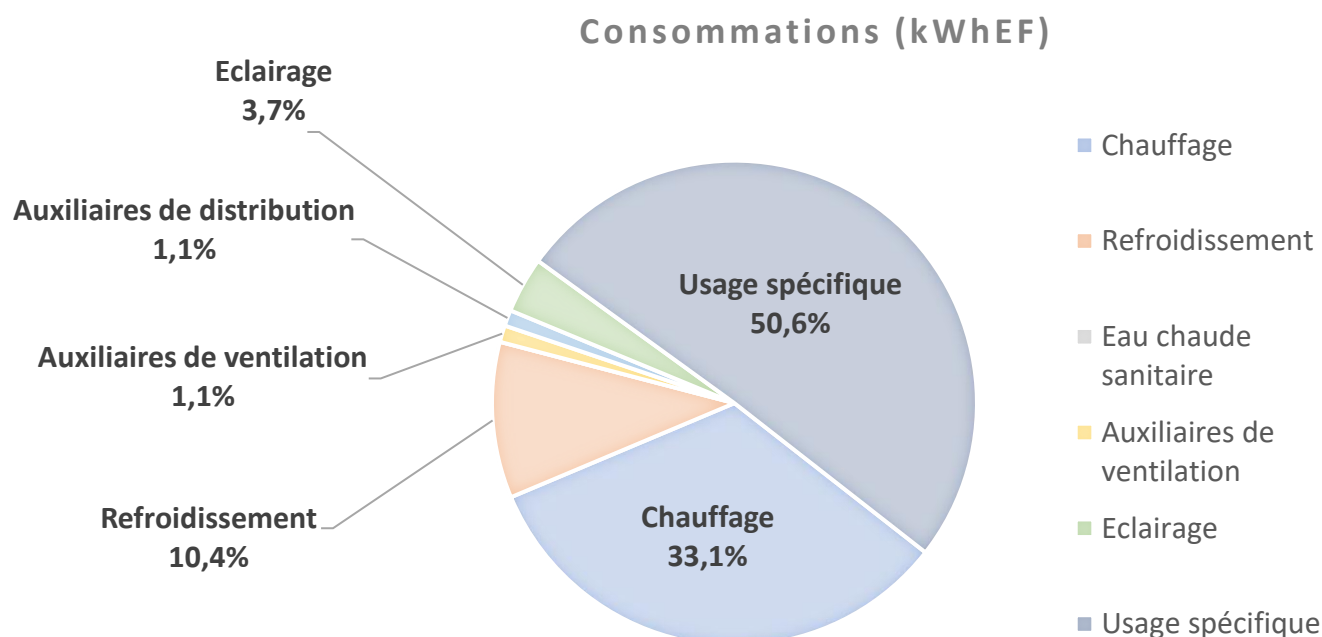
Résumé des flux thermiques avec la géothermie



V.3 Répartition des consommations actuelles

Sur la base des calculs de simulation énergétique, il est possible d'estimer la répartition des différents postes de consommation.

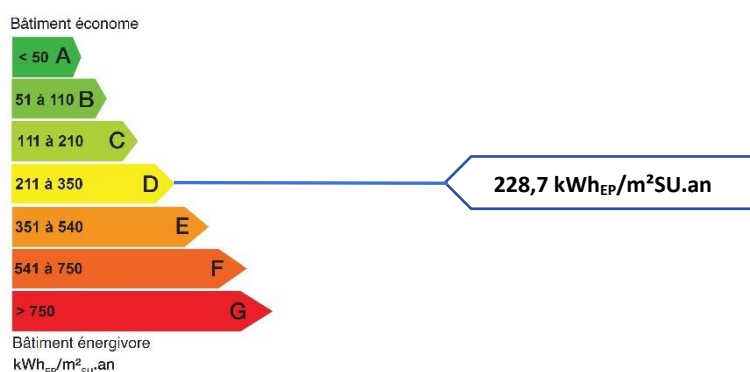
	Gaz (PCS)	Electricité (Energie finale ¹)	TOTAL
Chauffage	12 856 kWh	31 460 kWh	44 316 kWh
Refroidissement	0 kWh	13 937 kWh	13 937 kWh
Eau chaude sanitaire	0 kWh	0 kWh	0 kWh
Auxiliaires de ventilation	0 kWh	1 490 kWh	1 490 kWh
Auxiliaires de distribution	0 kWh	1 423 kWh	1 423 kWh
Eclairage	0 kWh	5 000 kWh	5 000 kWh
Usage spécifique²	0 kWh	67 702 kWh	67 702 kWh
Prod. Photovoltaïque	0 kWh	0 kWh	0 kWh
TOTAL	12 856 kWh	121 011 kWh	133 867 kWh
Coût	1 412 €	28 904 €	30 316 €
CO₂			11,14 tonnes



¹ EF : Energie finale (énergie consommée au niveau du bâtiment). Consommations estimées sur la base de la modélisation du bâtiment.

² Usage spécifique :
- Froid de process (serveur)
- Informatique
- Eclairage extérieur
-- etc...

Surface utile	1 421 m ²	
Surface chauffée	1 013 m ²	
	Consommations (kWh _{EF} /m ² .an) ¹	Consommations (kWh _{EP} /m ² .an) ²
Chauffage	31,2	66,1
Refroidissement	9,8	25,3
Eau chaude sanitaire	0,0	0,0
Auxiliaires de ventilation	1,0	2,7
Auxiliaires de distribution	1,0	2,6
Eclairage	3,5	9,1
Usage spécifique	47,6	122,9
Prod. Photovoltaïque	0,0	0,0
TOTAL	94,2	228,7
TOTAL hors électricité spécifique	46,5	105,8



On peut remarquer que les usages spécifiques de l'électricité représentent environ 50 % des consommations du bâtiment. Cela est dû principalement aux consommations du data-center du bâtiment. La majorité des consommations de climatisation sont également du fait du rafraîchissement de ce local.

Le bilan de consommations actuel met en évidence une nécessité d'utiliser l'appoint gaz pour maintenir la consigne de température en toutes circonstances. Cet appoint est peu utilisé et ne fonctionne que 3% du temps.

Globalement, hors électricité spécifique, les consommations du bâtiment ne sont pas très élevées.

¹ kWh_{EF}/m².an : Energie finale annuelle consommée rapportée au m² de surface chauffée.

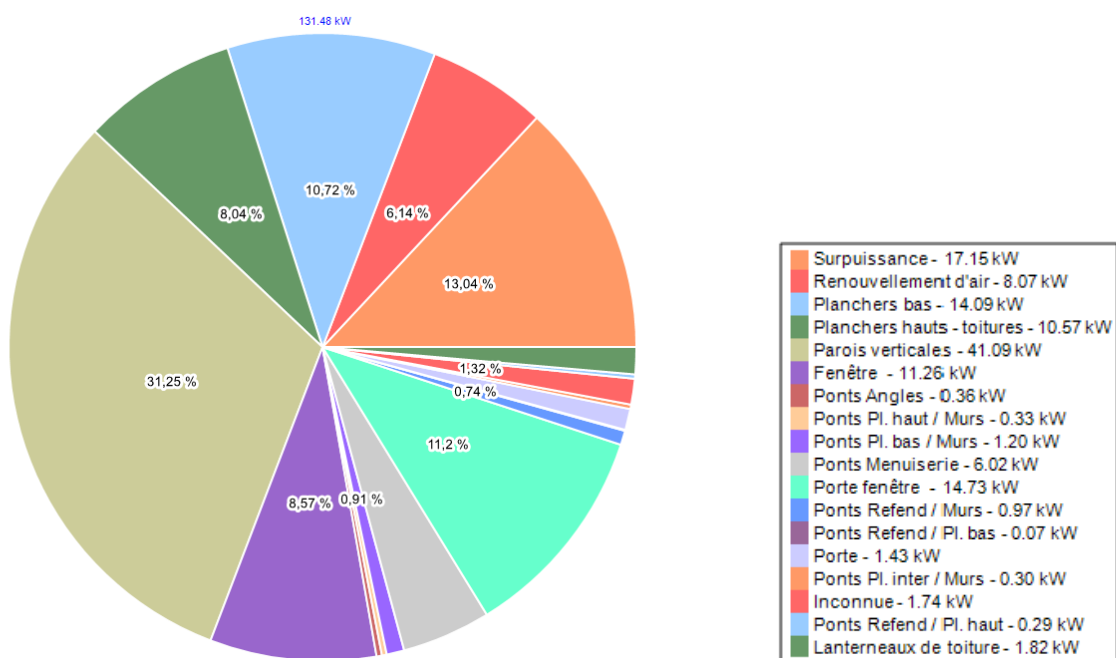
² kWh_{EP}/m².an : Energie primaire annuelle consommée rapportée au m² de surface chauffée.

La classe énergie est indicative et ne vaut pas DPE.

V.4 Bilan des déperditions (EN12831)

Le calcul de déperditions selon la EN12831 permet de visualiser la répartition des pertes du bâtiment pour les besoins de chauffage.

La puissance totale pour compenser les déperditions de chauffage est de **131 kW**.



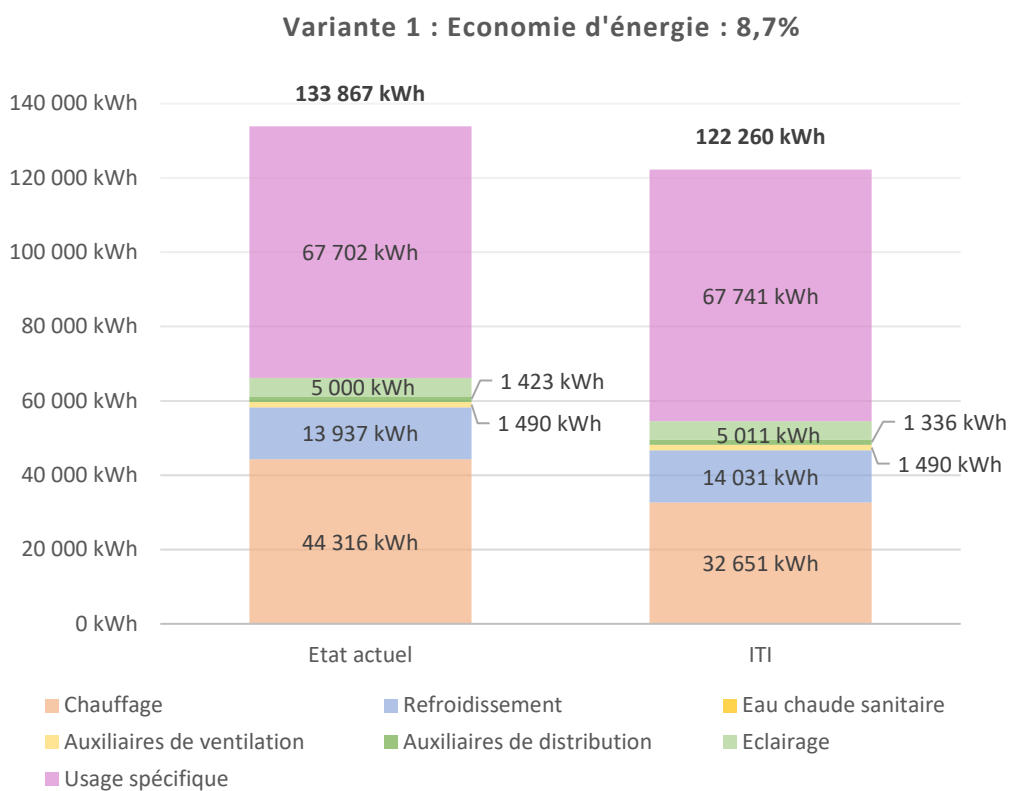
VI ECONOMIES D'ENERGIE POTENTIELLES

VI.1 Variantes simulées

Domaine d'intervention	n° Variante	Descriptif	Paragraphe de référence des préconisations
	0	Etat actuel	
Isolation	1	Isolation thermique par l'intérieur	IV.1.1-Murs extérieurs Bibliothèque
	2	Isolation thermique par l'extérieur	IV.1.1-Murs extérieurs Bibliothèque
	3	Isolation des faux plafonds + Remplacement de l'isolation des toitures + reprise de l'étanchéité + Remplacement des skydomes	IV.1.3-Plancher haut sous comble IV.1.4-Plancher haut, toiture terrasse
	4	Isolation en sous face des planchers bas donnant sur l'extérieur.	IV.1.5-Planchers bas
Menuiseries	5	Remplacement des menuiseries	IV.1.6-Menuiseries
Ventilation	6	Installation de VMC double flux dans l'ensemble de locaux (hors locaux déjà équipés).	IV.2.3-Autres locaux
Chauffage Climatisation	7	Installation de robinets thermostatiques + équilibrage. Reprise de l'isolation de la sous-station. Reprise de l'isolation des réseaux de chauffage en VS.	IV.3.2-Émetteurs
	8	Installation de ventilo-convecteurs dans les bureaux et dans le local serveur	IV.4-Climatisation
	9	Remplacement des radiateurs par des ventilo-convecteurs + reprise des réseaux de distribution	IV.3.2-Émetteurs
Eclairage	10	Remplacement de l'éclairage fluorescent + détecteurs	IV.5-Eclairage
Production d'énergie	11	Photovoltaïque	IV.7-Production locale d'électricité

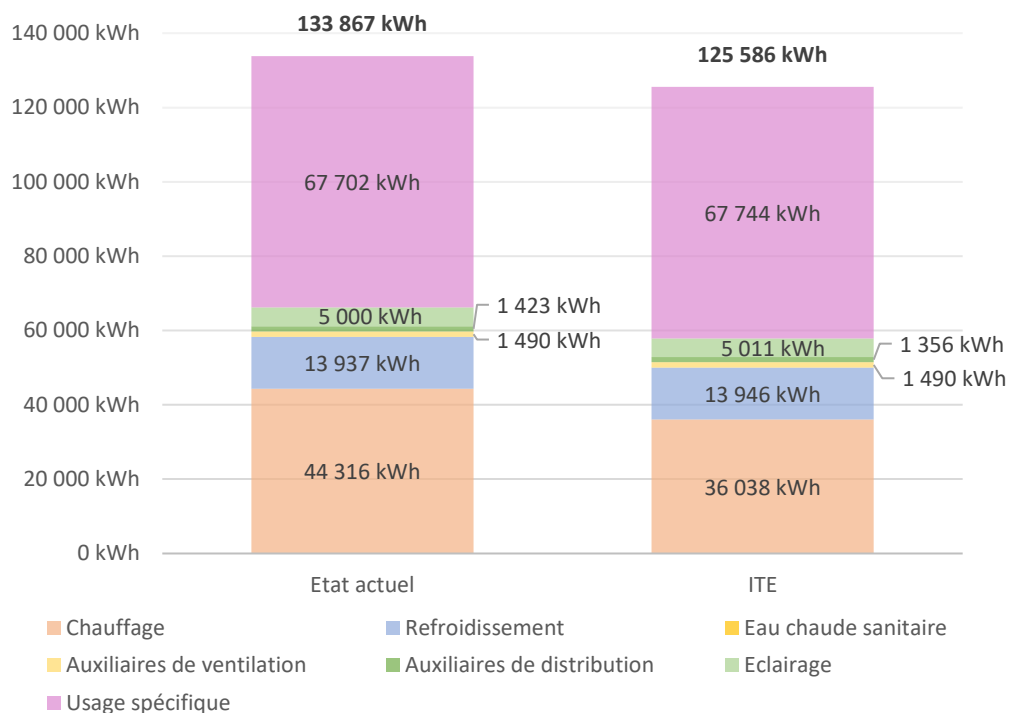
VI.2 Résultats des calculs

VI.2.1 Variante 1 : Isolation des murs par l'intérieur



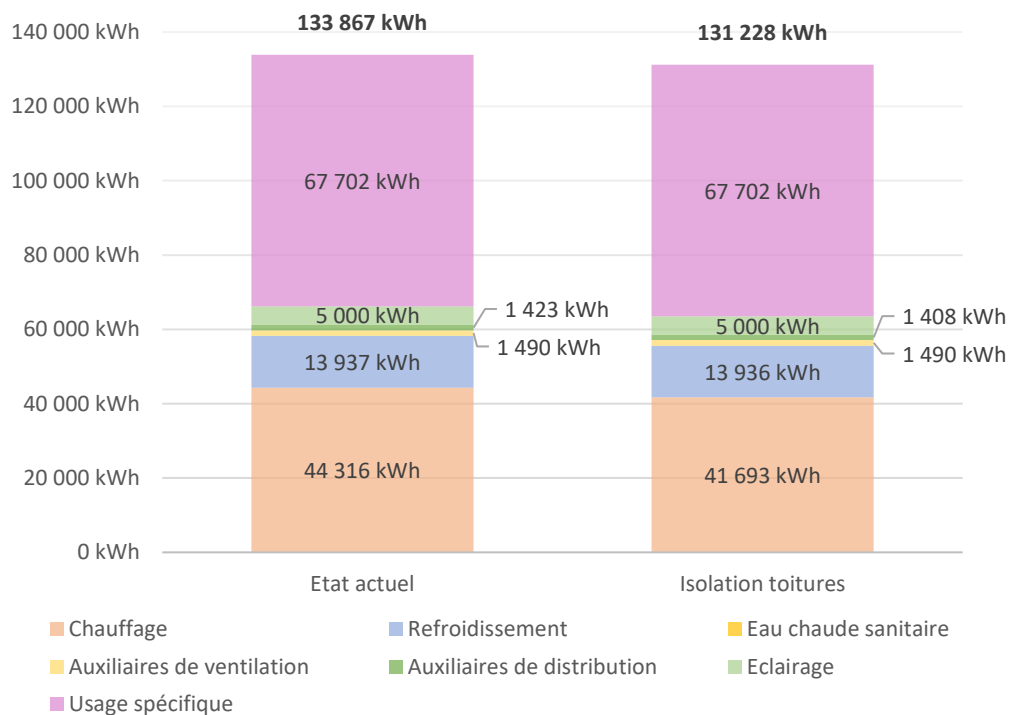
VI.2.2 Variante 2 : Isolation des murs par l'extérieur

Variante 2 : Economie d'énergie : 6,2%

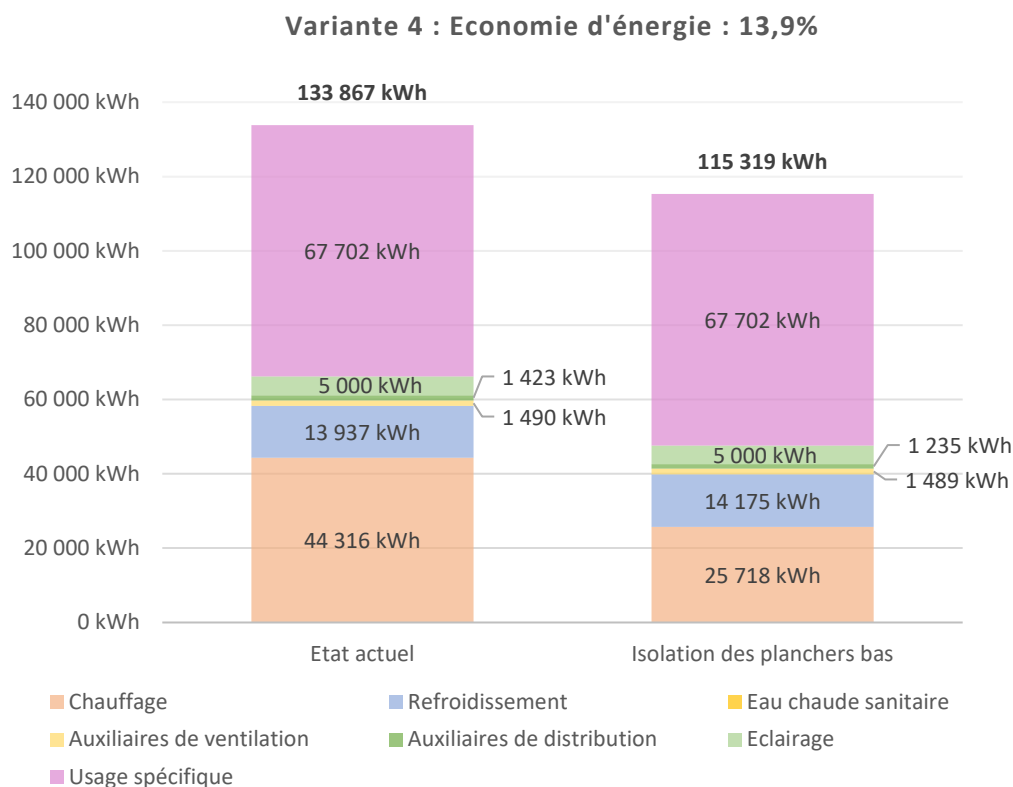


VI.2.3 Variante 3 : Isolation des toitures

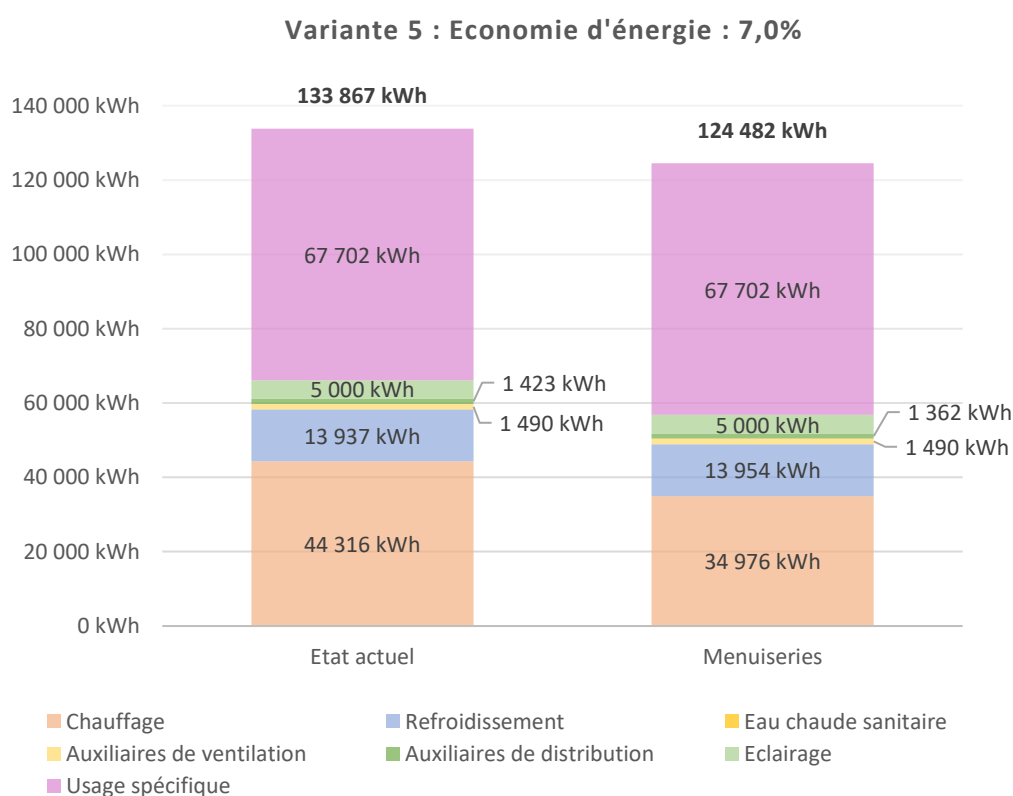
Variante 3 : Economie d'énergie : 2,0%



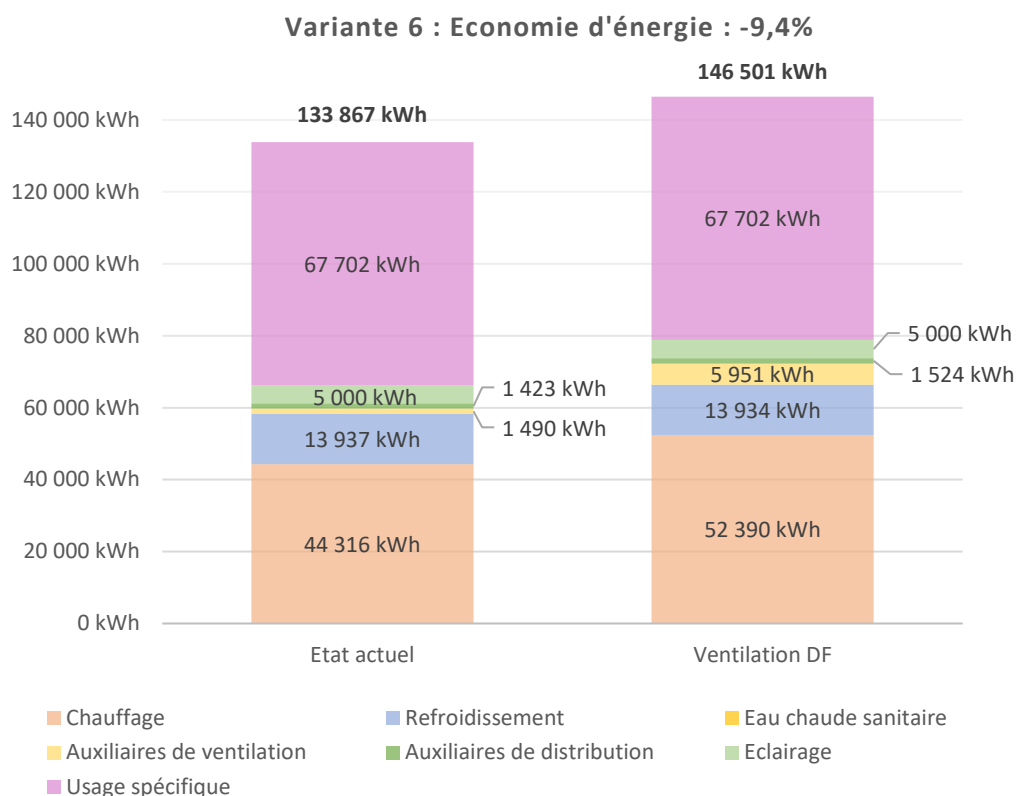
VI.2.4 Variante 4 : Isolation des planchers bas



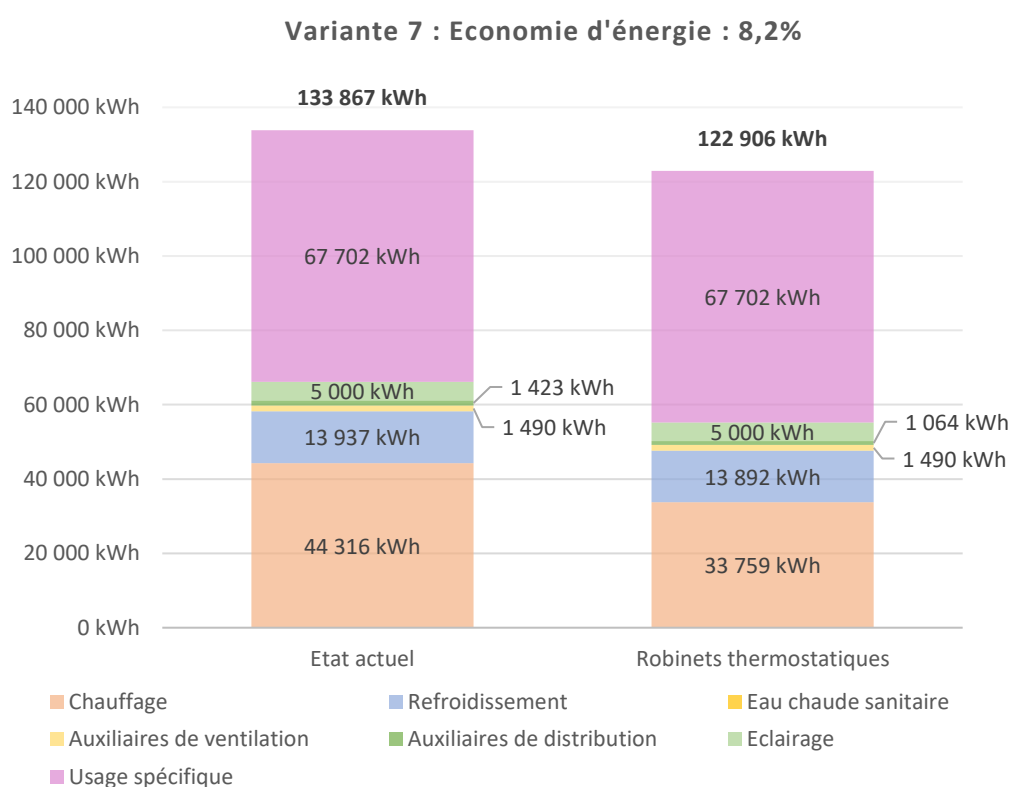
VI.2.5 Variante 5 : Remplacement des menuiseries



VI.2.6 Ventilation des locaux via une CTA double-flux

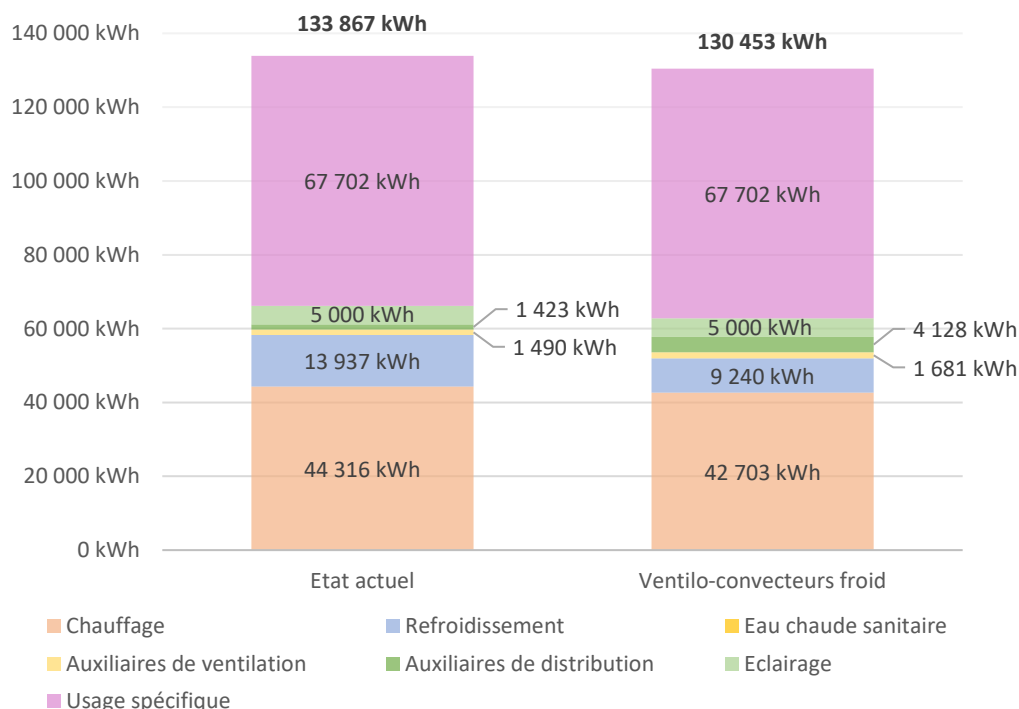


VI.2.7 Variante 7 : Installation de robinets thermostatiques et réfection de la sous-station



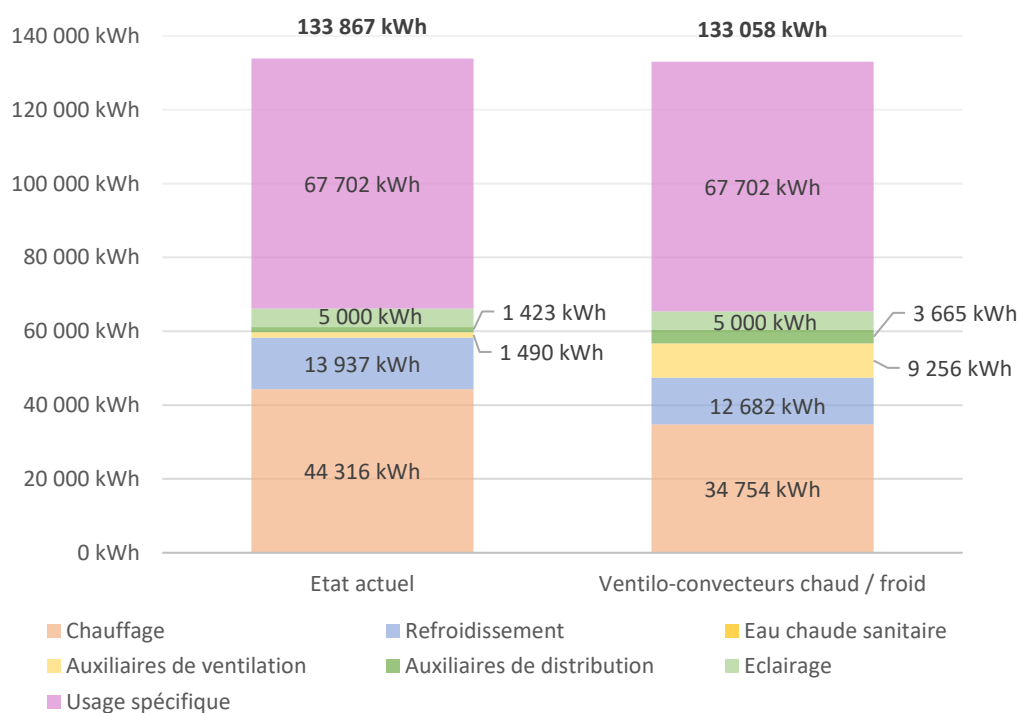
VI.2.8 Variante 8 : Installation de ventilo-convecteurs pour la climatisation des bureaux et du serveur

Variante 8 : Economie d'énergie : 2,6%

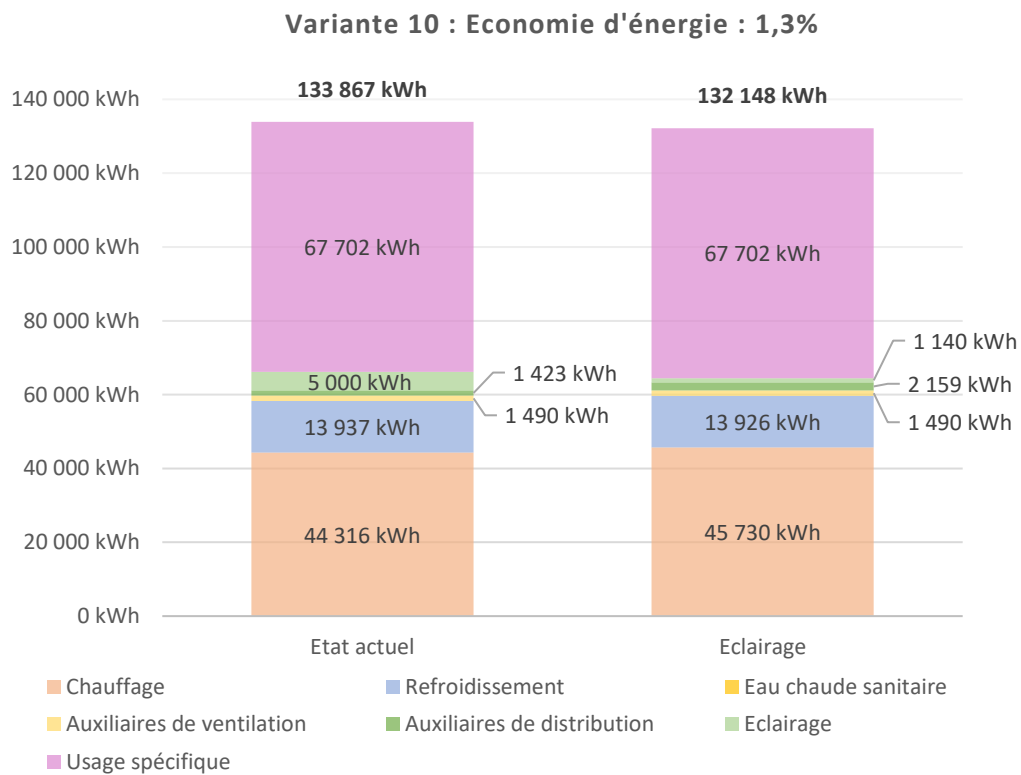


VI.2.9 Variante 9 : Remplacement des radiateurs par des ventilo-convecteurs chaud + froid

Variante 9 : Economie d'énergie : 0,6%

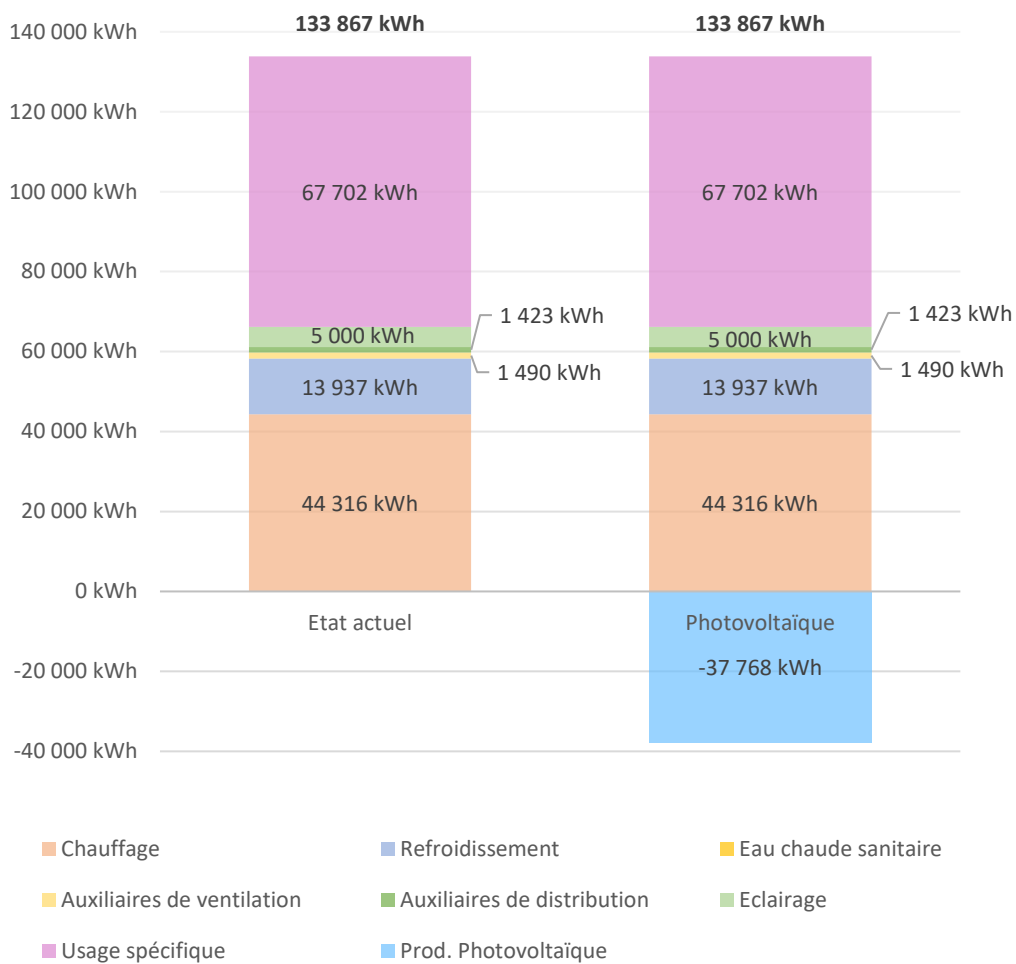


VI.2.10 Variante 10 : Remplacement de l'éclairage

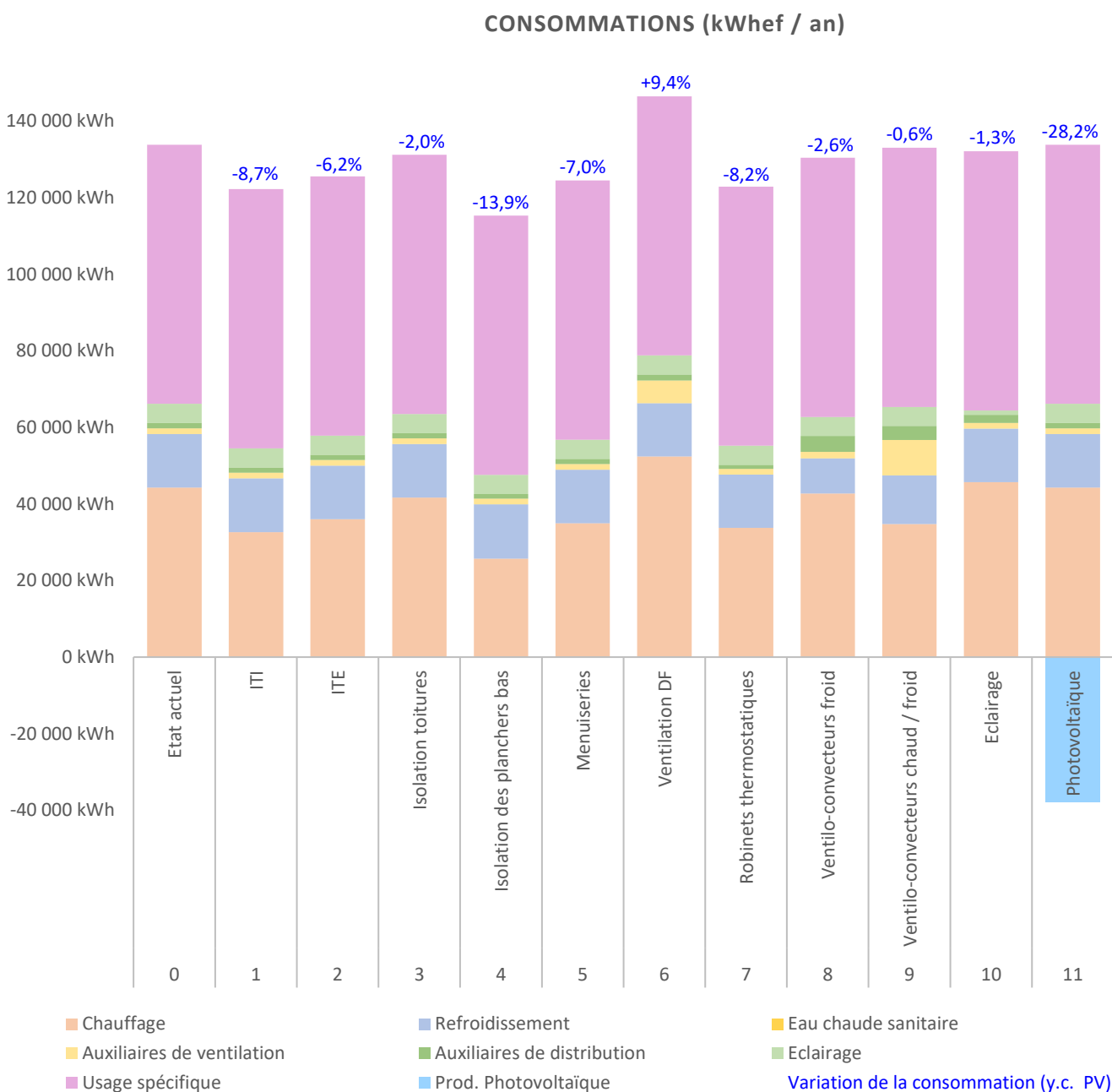


VI.2.11 Variante 11 : Photovoltaïque

Variante 11 : Economie d'énergie : 28,2%



VI.3 Comparatif des variantes



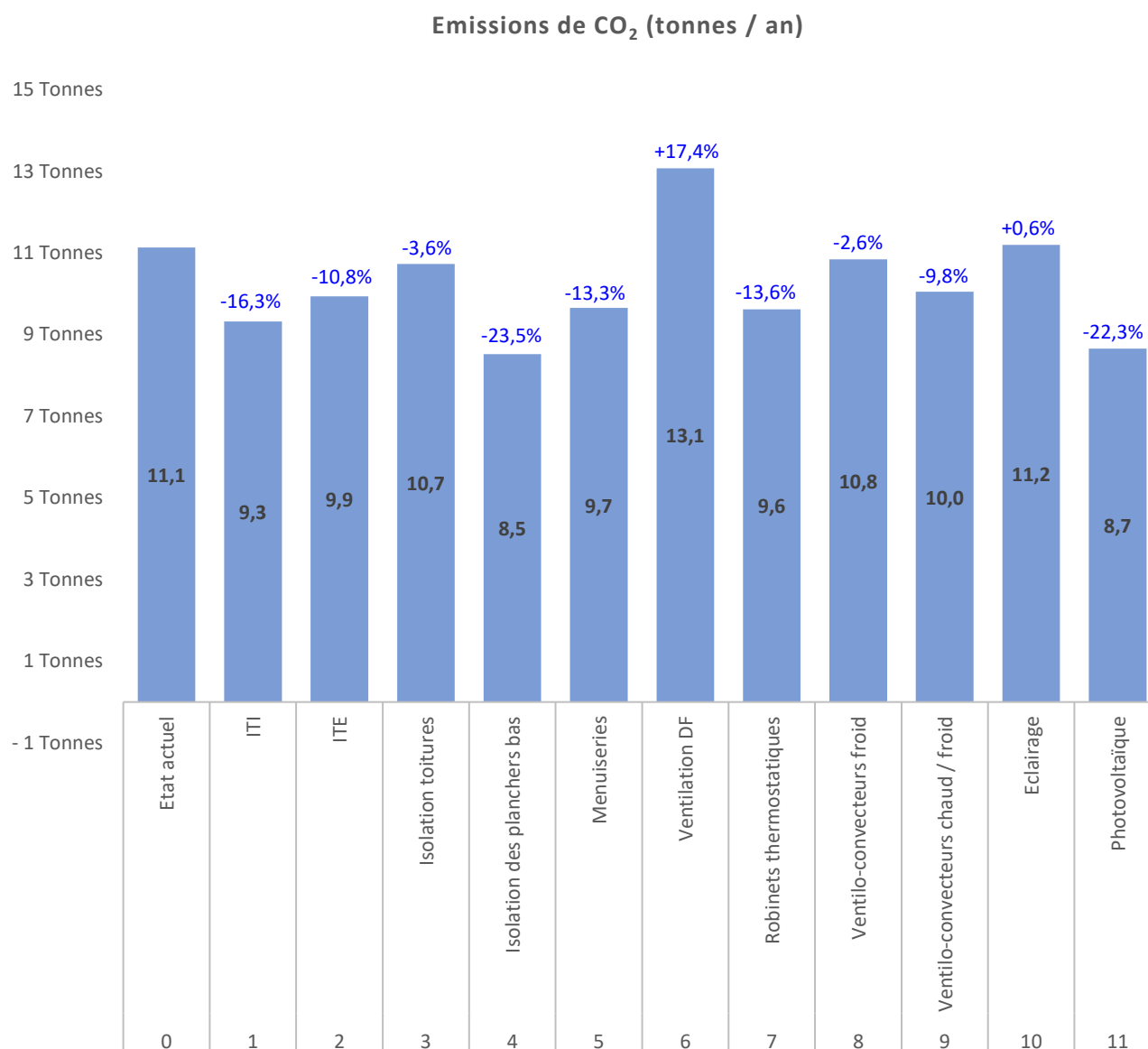
De façon générale, les variations potentielles d'économies d'énergie sont assez limitées au regard de la consommation globale car les économies portent sur les usages non spécifiques de l'énergie qui ne représentent que 50 % des consommations du bâtiment.

La variante 3 (ITE) est moins performante que la variante 1 (ITI), car celle-ci ne permet pas de traiter les ponts thermiques murs extérieurs / planchers haut et que le bâtiment est majoritairement de plain-pied.

La variante 6 fait augmenter les consommations, car elle implique de ventiler un bâtiment qui ne l'est actuellement presque pas hormis via les défauts d'étanchéité à l'air.

La variante 9 induit très peu d'économies, car dans cette variante tout le bâtiment est climatisé et les ventilo-convecteurs installés génèrent des consommations de ventilateurs supplémentaires.

VI.4 Comparatif des émissions de CO₂



VII PROGRAMMES D'AMELIORATION

VII.1 P1 : Programme de rénovation minimal.

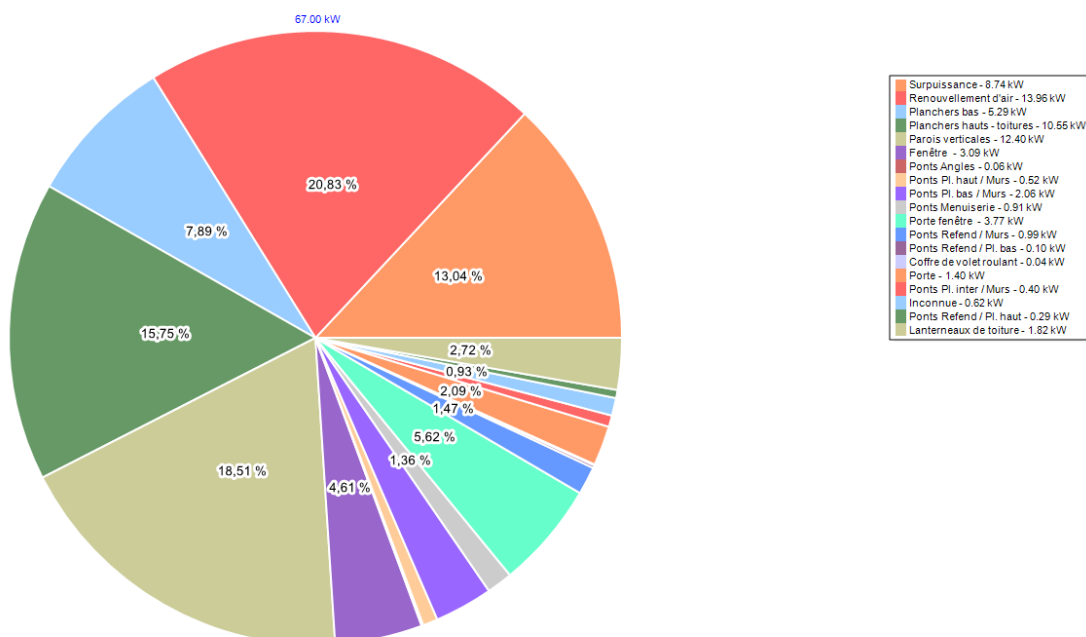
C'est le scénario de rénovation pour un budget d'investissement limité.

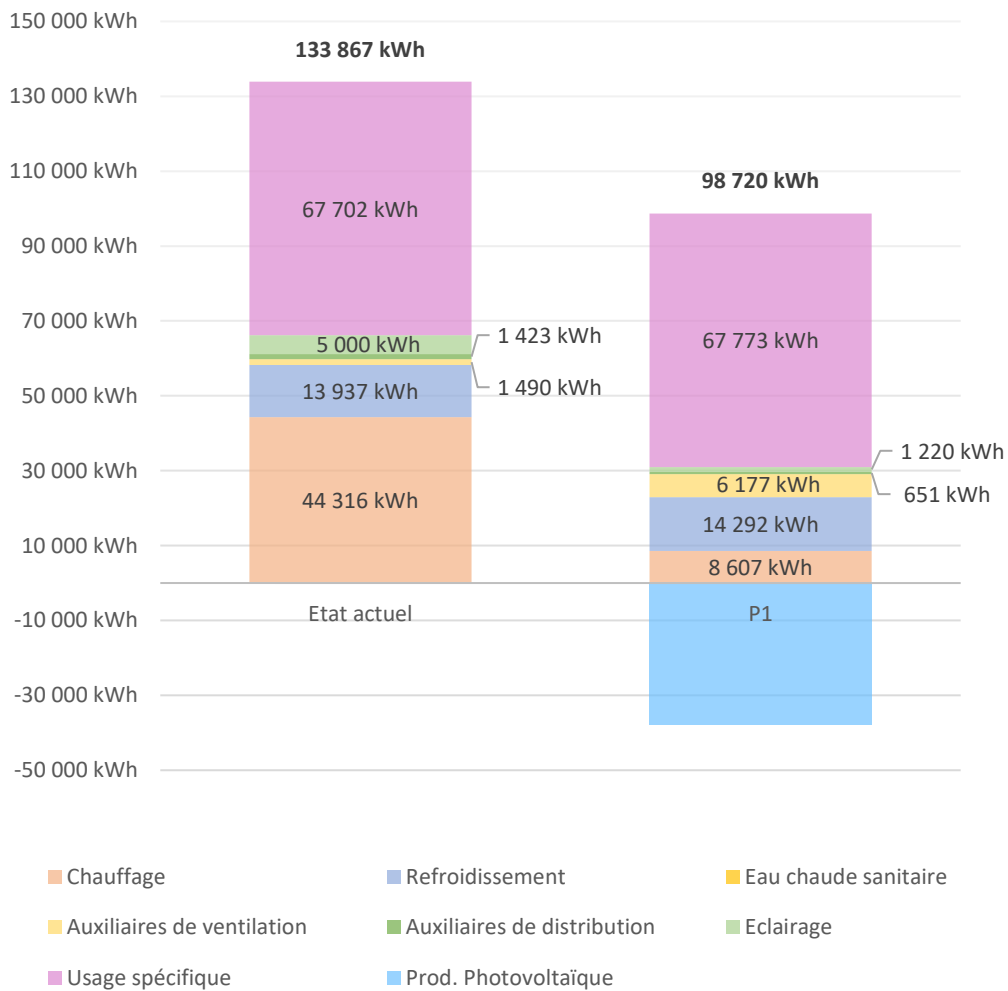
Il combine uniquement les améliorations les moins coûteuses et les plus rentables économiquement ainsi que celles nécessaires au respect de la réglementation.

Les travaux envisagés sont les suivants :

- Isolation des murs par l'intérieur ;
- Isolation des planchers bas ;
- Remplacement des menuiseries ;
- Installation d'un système de ventilation double-flux avec préchauffage de l'air soufflé ;
- Réfection de la sous-station ; isolation des réseaux de distribution ; installation de robinets thermostatiques ;
- Remplacement de l'éclairage fluorescent et installation de détecteurs de présence ;
- Installation d'une production photovoltaïque de 30 kWc ;
- Installation de comptages d'énergie électrique ;

Calcul de déperditions du programme P1 :



Programme 1 : Economie d'énergie : 26,3% hors PV; 54,5% avec PV

VII.2 P2 : programme de rénovation optimisé

Ce scénario qui combine toutes les solutions d'amélioration, à l'exception de celles qui ne génèrent que très peu d'économies, mais nécessitent quand même des investissements conséquents.

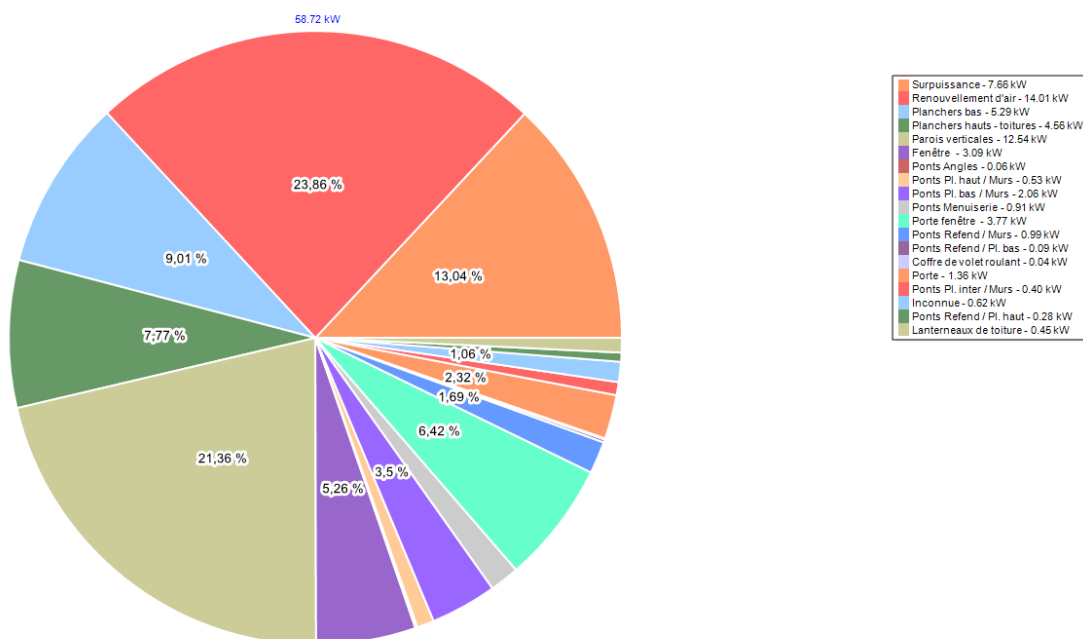
Dans ce programme, en plus des travaux prévus en P1, l'isolation des toitures est refaite. Le système de climatisation est remplacé par un système de ventilo-convecteurs à eau glacée raccordés à la pompe à chaleur actuelle permettant ainsi d'utiliser la géothermie pour la climatisation. Il permet également de profiter de la chaleur évacuée par le serveur en hivers pour chauffer le bâtiment.

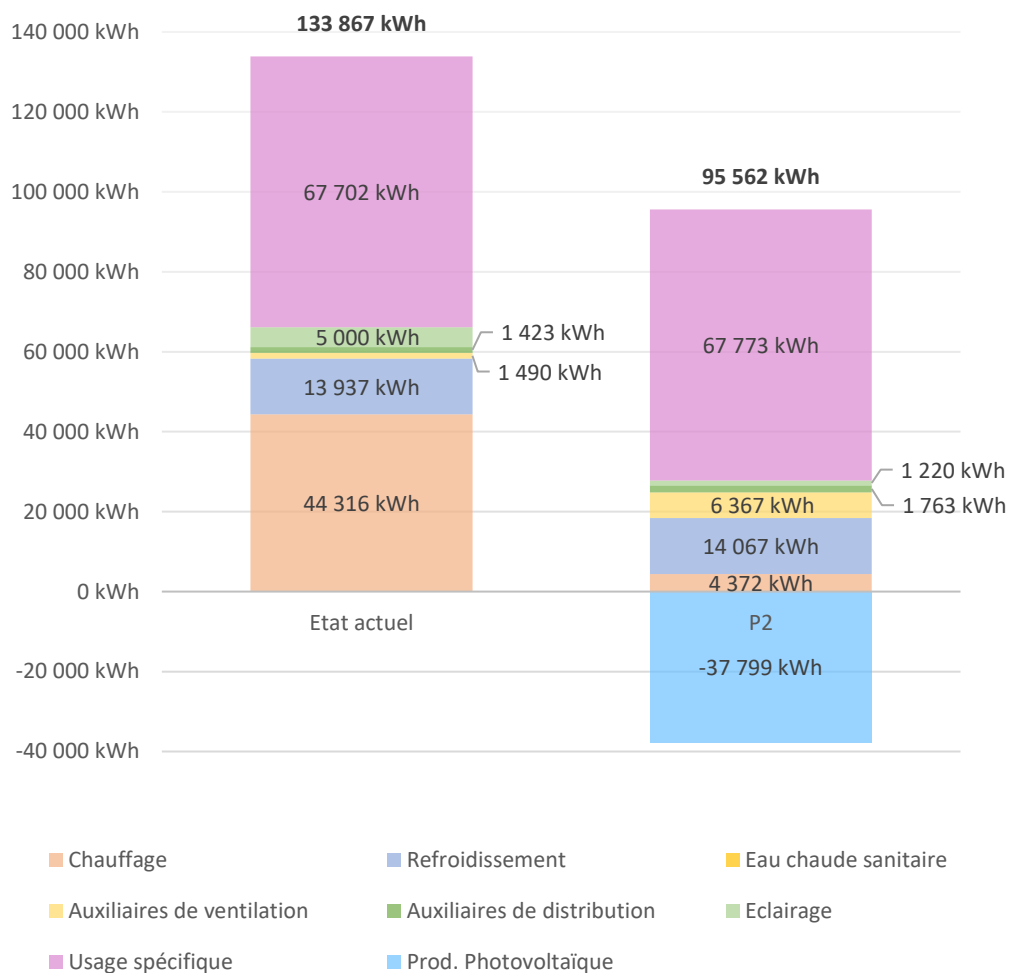
Dans ce programme, tous les bureaux et le serveur sont climatisés avec le nouveau système et les autres locaux occupés bénéficient d'un rafraîchissement de l'air neuf via des batteries à eau glacée raccordées aux CTA double-flux.

Les travaux envisagés sont les suivants :

- Isolation des murs par l'intérieur ;
- Isolation et réfection des planchers hauts ;
- Isolation des planchers bas ;
- Remplacement des menuiseries ;
- Installation d'un système de ventilation double-flux et batteries froides pour le rafraîchissement en période estivale ;
- Réfection de la sous-station ; isolation des réseaux de distribution ; installation de robinets thermostatiques ;
- Création d'un départ eau glacée en sous-station ;
- Installation de ventilo-convecteurs dans le local serveur et les bureaux ;
- Remplacement de l'éclairage fluorescent et installation de détecteurs de présence ;
- Installation d'une production photovoltaïque de 30 kWc ;
- Installation de comptages d'énergie électrique ;

Calcul de déperditions du programme P2 :



Programme 2 : Economie d'énergie : 28,6% hors PV; 56,9% avec PV

VII.3 P3 : programme de rénovation maximal

Ce scénario qui combine toutes les solutions d'amélioration, à l'exception de celles qui ne génèrent que très peu d'économies, mais nécessitent quand même des investissements conséquents.

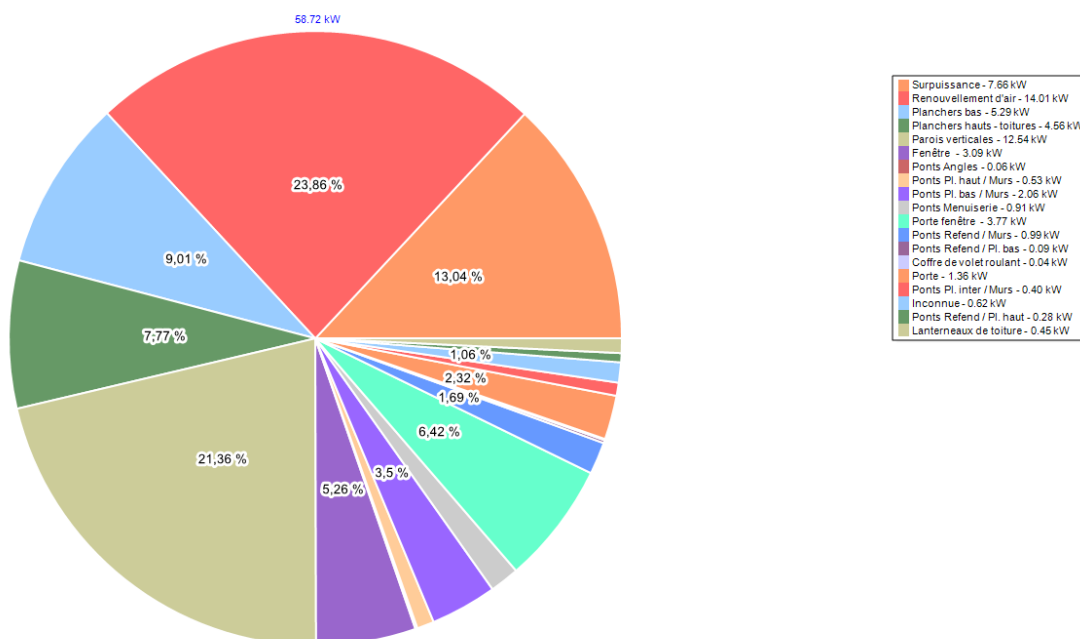
Dans ce programme, en plus des travaux prévus en P1, l'isolation des toitures est refaite. Le système chauffage et de climatisation actuel est remplacé par un système de ventilo-convecteurs faisant le chauffage et la climatisation raccordés à la pompe à chaleur actuelle. Il permet également de profiter de la chaleur évacuée par le serveur en hivers pour chauffer le bâtiment.

Dans ce programme, l'ensemble du bâtiment est climatisé.

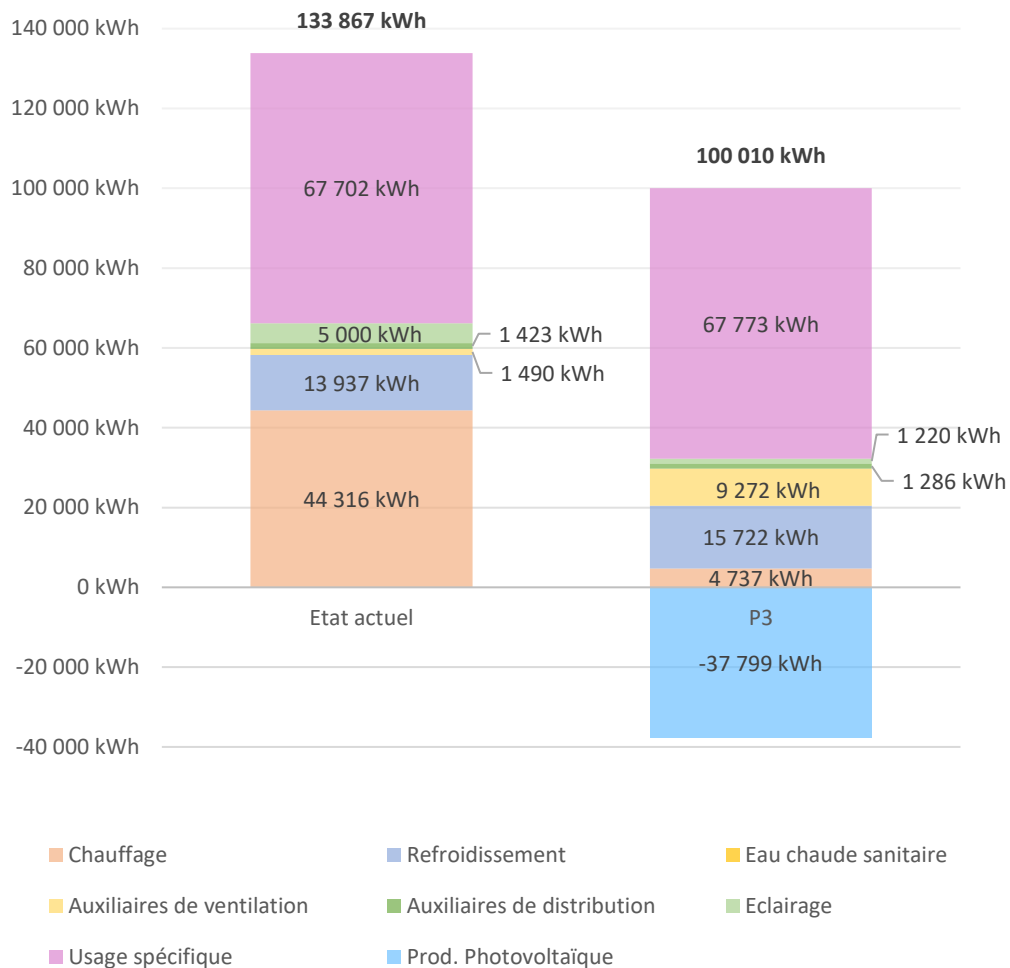
Les travaux envisagés sont les suivants :

- Isolation des murs par l'intérieur ;
- Isolation et réfection des planchers hauts ;
- Isolation des planchers bas ;
- Remplacement des menuiseries ;
- Installation d'un système de ventilation double-flux ;
- Réfection de la sous-station ; suppression des radiateurs et du réseau de chauffage actuel ;
- Installation d'un nouveau système de restitution dans tous les locaux de type de ventilo-convecteurs permettant de réaliser le chauffage et la climatisation ;
- Remplacement de l'éclairage fluorescent et installation de détecteurs de présence ;
- Installation d'une production photovoltaïque de 30 kWc ;
- Installation de comptages d'énergie électrique ;

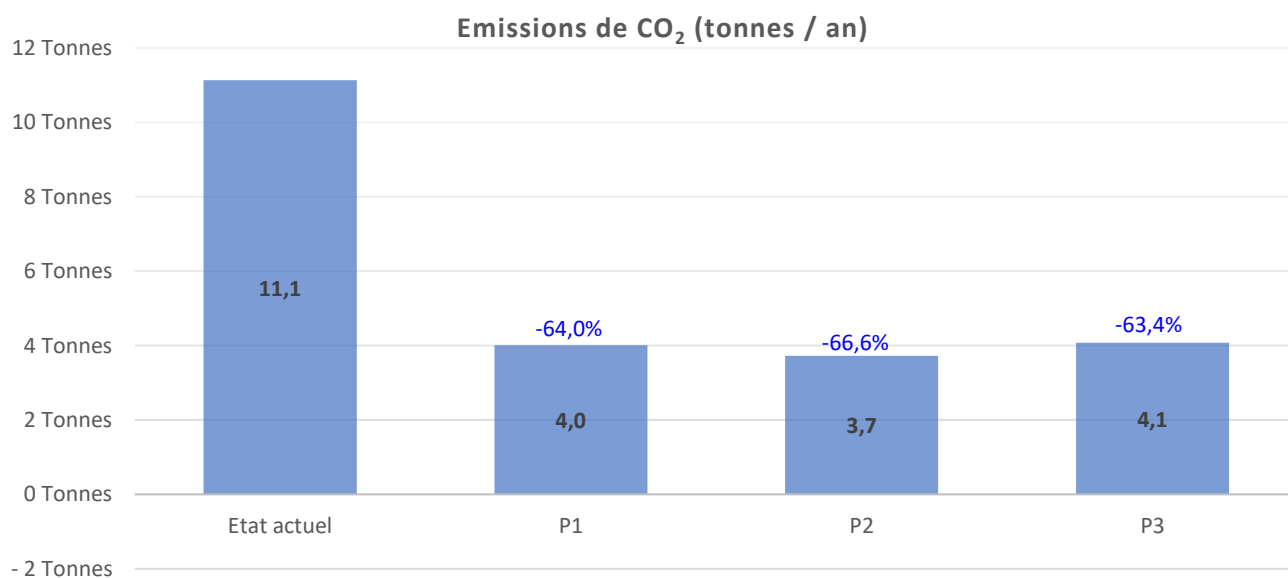
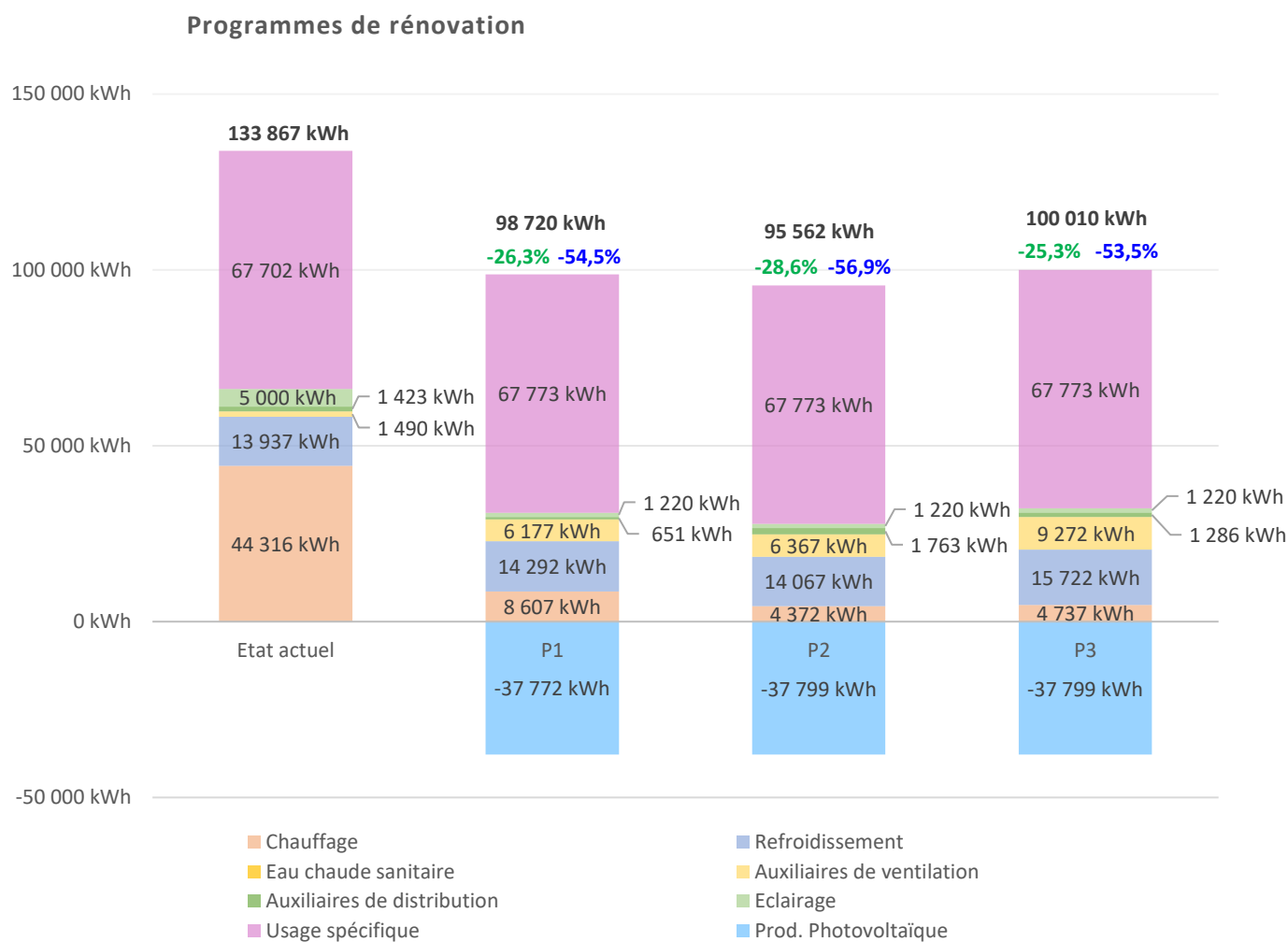
Calcul de déperditions du programme P3 :



Programme 3 : Economie d'énergie : 25,3% hors PV; 53,5% avec PV



VII.4 Comparatif des programmes de rénovation



VII.5 Analyse des puissances de radiateurs installées

L'ancien réseau de chaleur au gaz peut amener de l'eau chaude dans les radiateurs à 80 °C lors des périodes les plus défavorables.

La nouvelle installation peut au maximum faire passer de l'eau à 60 °C dans ces mêmes radiateurs, ce qui va limiter leur puissance.

Avec le bilan des déperditions par pièce et l'analyse de chacun des radiateurs installés, il est possible de calculer si les radiateurs actuels seront suffisamment puissants ou s'il faudra en remplacer certains, ou encore en ajouter.

Le tableau ci-après résume pour chacune des pièces l'adéquation entre les puissances théoriques des radiateurs en fonction de leur régime de température, et les puissances nécessaires dans chacune des pièces pour chacun des scénarios identifiés utilisant les radiateurs (situation actuelle, programmes de rénovation 1 et 2).

Pièce	Puissance installée régime 80/60 °C	Puissance nécessaire Etat actuel	Puissance installée régime 60/45 °C	Puissance nécessaire P1	Puissance nécessaire P2
Salle de cours 1	2546 W	6072 W	1454 W	3653 W	3369 W
Salle de cours 2	6279 W	5067 W	3586 W	2886 W	2677 W
Salle de cours 3	5814 W	5493 W	3320 W	3080 W	2872 W
Salle de travail 1	1104 W	2999 W	630 W	1355 W	1371 W
Salle de travail 2	1104 W	2801 W	630 W	1289 W	1300 W
Réunion	2420 W	2886 W	1383 W	881 W	644 W
Manutention	5327 W	4778 W	3043 W	2406 W	2060 W
Bureau 3	1281 W	1395 W	732 W	567 W	471 W
Bureau 2	1637 W	1904 W	935 W	593 W	476 W
Bureau 1	1525 W	2036 W	871 W	861 W	752 W
Salle de lecture 1	17668 W	25525 W	10091 W	9681 W	7975 W
Salle informatique	8348 W	13961 W	4768 W	3495 W	2954 W
Salle de lecture 2	5909 W	13401 W	3375 W	5748 W	5016 W
Accueil	4435 W	6412 W	2533 W	5222 W	3866 W

On peut remarquer que dans la situation actuelle, les radiateurs sont théoriquement sous dimensionnés dans de nombreuses pièces.

Dans l'hypothèse d'une rénovation, il manque de la puissance dans la salle de cours 1, les 2 salles de travail, la salle de lecture 2, et l'accueil.

Cependant, ce n'est pas par ce que les radiateurs sont légèrement sous-dimensionnés que cela va forcément générer de l'inconfort. En effet, le dimensionnement est réalisé pour les conditions les plus défavorables qui ne sont quasiment jamais atteintes. Ces conditions sont les suivantes :

- Température intérieure à 20 °C ;
- Température extérieure à -4 °C ;
- aucun apport solaire par les menuiseries et les parois (nuit ou très nuageux) ;
- aucun apport interne par les occupants (bâtiment vide) ;
- aucun apports interne par les équipements (éclairage et informatique éteints) ;

VIII ANALYSE DU CONFORT THERMIQUE

Lors de la visite du bâtiment, certains usagers ont fait part d'un confort thermique ressenti problématique en période estivale dans certains locaux.

Un focus est réalisé sur les zones suivantes :

- Les salles de lectures
- La salle informatique
- Les salles de classes
- Les bureaux non climatisés
- Les bureaux climatisés

Le bâtiment n'étant que peu climatisé, certaines variantes permettent d'améliorer le confort, soit en réduisant les apports de chaleur dans le bâtiment, soit en apportant un rafraîchissement ou de la climatisation.

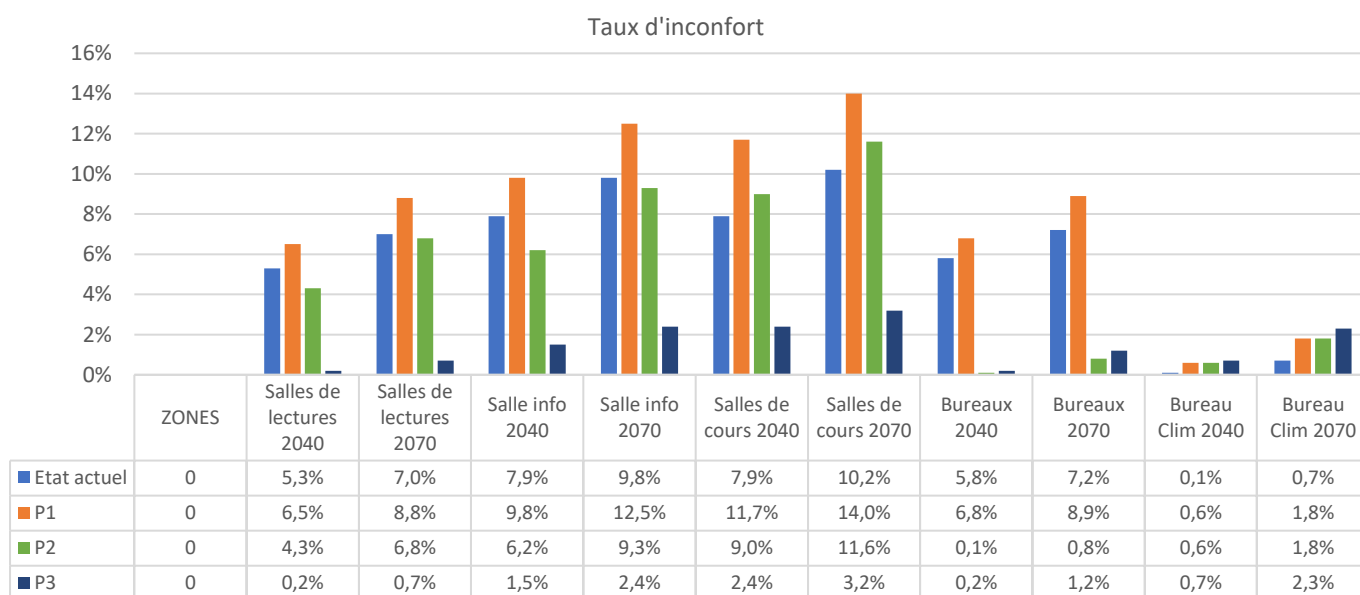
Les variantes comparées sont :

- Variante de Base (état actuel).
- Le programme de rénovation 1.
- Le programme de rénovation 2.
- Le programme de rénovation 3.

On définit le taux d'inconfort comme le rapport entre le nombre d'heures d'occupation de la zone où la température est supérieure à 28 °C sur le nombre d'heures total d'occupation de la zone.

Pour cette analyse du confort, le fichier météo considéré est une projection du climat aux horizons 2040 et 2070 sur la base du scénario du GIEC RCP 4.5 ; soit un scénario optimiste avec une stabilisation du forçage radiatif à +4,5 W/m² en 2040.

Pour chacune des variantes, bien qu'une gestion manuelle des ouvrants soit prise en compte (selon la méthode Th-BCE) il n'est pas considéré de stratégie de ventilation naturelle nocturne en période estivale et/ou en intersaison. Ce type de pratique peu permettre d'augmenter le confort et est tout à fait envisageable dans le cadre de la rénovation du bâtiment, mais nécessite des stratégies de gestion particulière : une personne dédiée à l'ouverture des ouvrants le soir et leur fermeture le matin ou l'installation d'un système de gestion automatique motorisé. De plus, cela nécessite la mise en place de dispositifs anti effraction et anti volatiles.



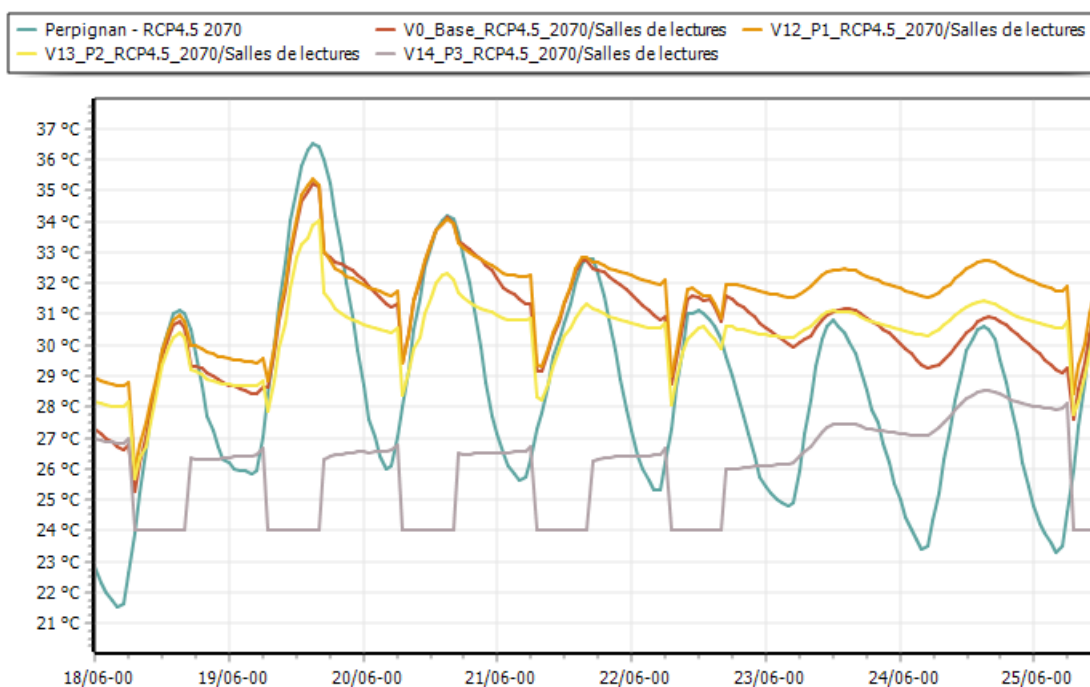
Globalement, les taux d'inconforts sont modérés, car le bâtiment est peu exposé au rayonnement solaire. La majorité des baies se situent au nord, et le bâtiment est entouré de végétations qui lui font de l'ombre (cf V.2.6-Analyse d'ensoleillement). Cependant, avec des projections d'augmentation des températures, certaines pièces comme la salle informatique peuvent devenir inconfortables pendant 10 % du temps.

Le scénario de rénovation P1 induit une augmentation de l'inconfort actuel, notamment à cause de l'installation d'un système de ventilation mécanique, qui bien que performant, augmente les apports par le renouvellement d'air.

Cependant, en cas de pré-traitement de ce renouvellement d'air (Programme 2), le confort est amélioré par rapport à la version de base sans avoir besoin d'installer des systèmes de climatisations dans tout le bâtiment.

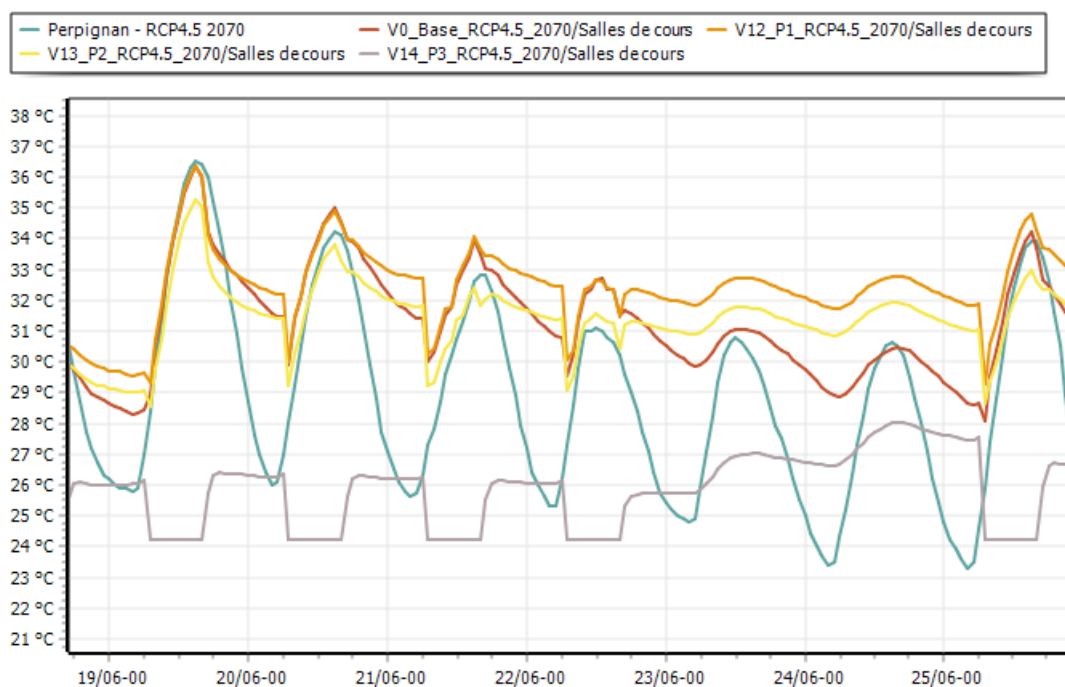
Enfin, le programme 3 avec tous les locaux climatisés présentent bien évidemment le meilleur confort même si parfois la PAC est légèrement sous-dimensionnée en climatisation.

Température fin juin dans les salles de lecture :



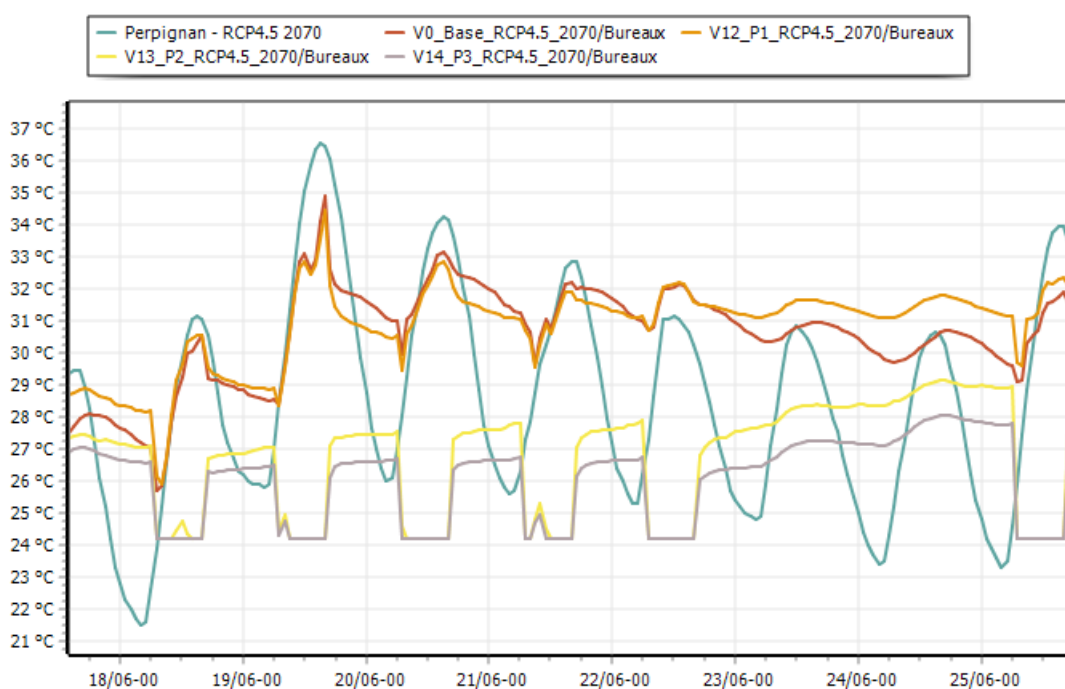
la climatisation (V14_P3) permet de supprimer les pics de chaleurs en période estivale

le prétraitement de l'air neuf (V13_P2) permettent de les atténuer, mais son effet reste limité.

Température fin juin dans les salles de cours :

la climatisation (V14_P3) permet de supprimer les pics de chaleurs en période estivale

le prétraitement de l'air neuf (V13_P2) permettent de les atténuer, mais son effet reste limité.

Température fin juin dans les bureaux actuellement non climatisés :

la climatisation (V13_P2 et V14_P3) permet de supprimer les pics de chaleurs en période estivale

IX ANALYSE FINANCIERE

IX.1 Prix de l'énergie

IX.1.1 Gaz naturel

Le gaz est acheminé pour tout le site de l'UPVD via un seul point de livraison. Le contrat est de type T3 pour une consommation entre 300 000 et 5 000 000 kWh/an.

IX.1.2 Electricité

Comme pour le gaz, le site de L'UPVD est approvisionné par un point d'acheminement principal alimenté en haute tension par Enedis.

Le site dispose d'un approvisionnement en électricité sur la tranche tarifaire des clients raccordés HT supérieur à 250 kVA.

Les tarifs d'utilisation des réseaux publics considérés sont ceux de la TURPE 6 d'août 2023.

Puissance souscrite	
Pointe	414 kW
HPH	414 kW
HCH	414 kW
HPE	414 kW
HCE	414 kW

IX.1.3 Hypothèses de prix considérés dans les calculs

L'ensemble des calculs d'économies réalisés dans l'Audit sont calculées sur la base des prix constatés sur les dernières factures disponibles.

Les variations horaires des tarifs de l'électricité sont prises en compte dans les calculs.

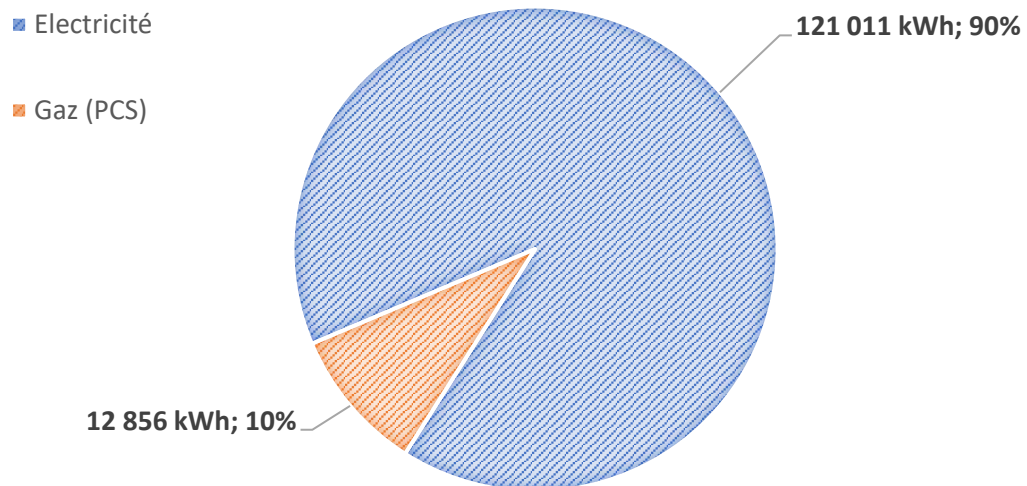
Tarif Gaz 2024 (base facture du 04/01/2024)				
	HT		TTC	
Abonnement	0,00 €			
ATRD transport	29 787,48 €			
ATRD distribution	1 231,08 €			TVA
CTA	304,52 €			
Services	323,40 €			
TOTAL part fixe	31 646,48 €		33 387,04 €	5,50%
Part variable				
	HT	Avec Taxes	TTC	20,00%
kWh	6,92 c€ / kWh	7,75 c€ / kWh	9,30 c€ / kWh	
TICGN	0,84 c€ / kWh			

Tarif Electricité (base facture avril / novembre 2024)						
	HT		PS HPH	414	TTC	
Abonnement			PS HCH	414		
CG	440,76 €		PS HPE	414		
CC	383,76 €		PS HCE	414		
CS Fixe	14 274,72 €		Pointe	414		
CTA	3 311,26 €					
TOTAL part fixe	18 410,50 €				22 092,60 €	
Part variable						TVA
	HT			Avec Taxes	TTC	20,00%
HPH	25,974 c€			28,636 c€	34,363 c€	
HCH	4,778 c€			7,440 c€	8,928 c€	
HPE	18,983 c€			21,645 c€	25,974 c€	
HCE	0,808 c€			3,470 c€	4,164 c€	
CEE	0,612 c€					
CSPE	2,050 c€					

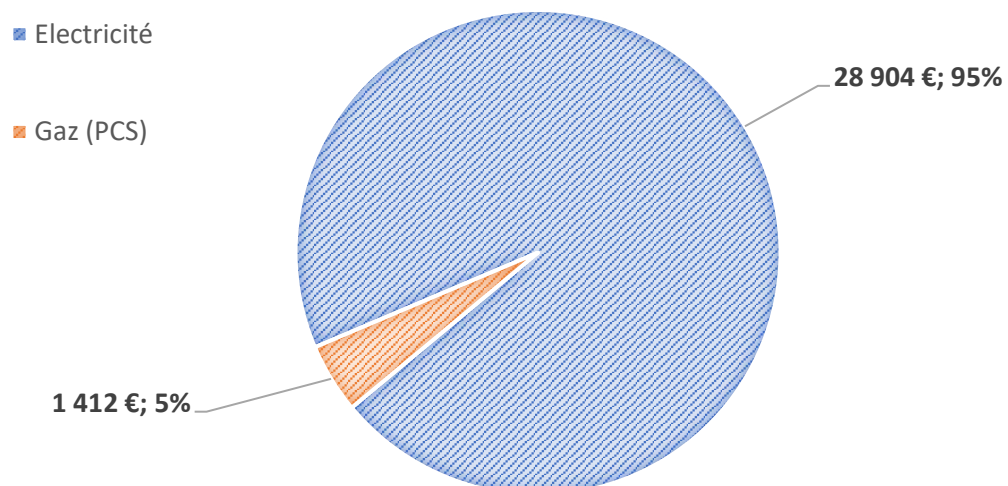
Compte tenu que les prix collectés correspondent à la fourniture du site complet et pas uniquement du bâtiment, seules les parts variables de prix sont utilisées dans les calculs de coût énergétique de l'audit (prix des consommations hors abonnements).

IX.2 Répartition des charges énergétiques actuelles

Consommation totale: 133 867 kWh/an



Coût total: 30 316 € TTC/an



IX.3 Estimation des investissements

Couleur Prog réno	variante	Désignation	Prix total travaux (€ TTC)	Prix total travaux (€TTC) + MOe (10%)	CEE Aides autres	Référence Fiche CEE	Investissement (€ TDC ¹)
	V1	Isolation des murs : Isolation thermique des murs par l'intérieur	58 100 €	64 000 €	7 900 €	BAT-EN-102	56 100 €
	V2	Isolation des murs : Isolation thermique des murs par l'extérieur	70 200 €	77 300 €	7 900 €	BAT-EN-102	69 400 €
	V3	Isolation des toitures : Remplacement de l'isolation des toits terrasses + reprise de l'étanchéité + Remplacement des skydomes	55 000 €	60 500 €	4 400 €	BAT-EN-101 BAT-EN-107 BAT-EQ129	56 100 €
	V3	Isolation des toitures : Reprise de l'isolation en faux plafond. Remplacement des faux plafonds démontables + création d'accès et circulation en combles	90 200 €	99 300 €	10 900 €	BAT-EN-101 BAT-EN-107 BAT-EQ129	88 400 €
	V4	Isolation des planchers : Isolation en sous face des planchers bas par panneaux y compris sous bassement des équipements.	124 800 €	137 300 €	30 000 €	BAT-EN-103	107 300 €
	V5	Menuiseries : Remplacement des menuiseries	264 400 €	290 900 €	3 800 €	BAT-EN-104	287 100 €
	V6	Ventilation : - Installation d'une VMC double-flux traitant l'ensemble de la bibliothèque. - Création d'un départ chauffage CTA en sous- station + raccordement et régulation GTC. - Création d'un réseau d'alimentation en eau chaude vers la CTA. - VMC simple flux hygro B dans le logement.	118 300 €	130 200 €	6 100 €	BAT-TH-126	124 100 €
	V7	Amélioration du système d'émission du chauffage : - Reprise de l'isolation de la sous-station (pompes, vannes, etc.). - Reprise de l'isolation des réseaux de chauffage en VS. - Installation de robinets thermostatiques auto- équilibrants. - Remplacement des radiateurs sous- dimensionnés.	39 200 €	43 200 €	4 800 €	BAT-TH-104 BAT-TH-146 BAT-TH-155	38 400 €

¹ TDC : toutes dépenses comprises (y compris TVA, études et maîtrise d'œuvre ; aides déduites)

Couleur Prog réno	variante	Désignation	Prix total travaux (€ TTC)	Prix total travaux (€TTC) + MOe (10%)	CEE Aides autres	Référence Fiche CEE	Investissement (€ TDC ¹)
	V8	<u>Installation de ventilo-convecteurs pour la climatisation dans le local serveur et les bureaux :</u> - Suppression des climatiseurs des bureaux. - Création d'un départ froid pour ventilo-convecteurs / CTA en sous-station. - Modification hydraulique pour fonctionnement chaud / froid simultané. - Création d'un réseau eau glacée vers le local serveur et les bureaux. - Installation de ventilo-convecteurs dans les bureaux et le local serveur. - Raccordement et pilotage par la GTC.	48 800 €	53 700 €	0 €		53 700 €
	V9	<u>Remplacement du système d'émission du chauffage / climatisation :</u> - Suppression des climatiseurs des bureaux. - Suppression des radiateurs et du réseau de chauffage. - Reprise de l'isolation de la sous-station (pompes, vannes, etc.). - Création d'un départ froid pour ventilo-convecteurs / CTA en sous-station. - Modification hydraulique pour un fonctionnement chaud / froid simultané. - Création d'un réseau eau glacée vers le local serveur et les bureaux. - Installation de ventilo-convecteurs dans tous les locaux. Installation de gainables et de leurs réseaux de diffusion dans les salles de lectures. Raccordement et pilotage par la GTC.	183 300 €	201 700 €	1 200 €	BAT-TH-143	200 500 €
	P2 P3	<u>Possibilité de rafraîchissement pour la CTA :</u> - Batterie froide sur les CTA - Création d'un réseau eau glacée vers les CTA	11 800 €	13 000 €	0 €		13 000 €
	V10	<u>Remplacement des éclairages :</u> remplacement des luminaires fluorescents par des luminaires LED - Installation de détecteurs de présence avec mesure de luminosité dans tous les locaux. Gradation automatique dans les salles de lecture.	25 000 €	27 500 €	0 €	BAT-EQ-127	27 500 €
	V11	<u>Installation d'une production photovoltaïque</u>	55 000 €	60 500 €	5 700 €		54 800 €
	-	<u>Installation de comptages d'énergie électrique</u>	2 300 €	2 600 €	0 €		2 600 €

¹ TDC : toutes dépenses comprises (y compris TVA, études et maîtrise d'œuvre ; aides déduites)

Couleur P réno	variante	Désignation	Prix total travaux (€ TTC)	Prix total travaux (€TTC) + MOe (10%)	CEE Aides autres	Référence Fiche CEE	Investissement (€ TDC ¹)
	P1	Programme de rénovation 1 : - Isolation des murs par l'intérieur ; - Isolation des planchers ; - Remplacement des menuiseries ; - Ventilation ; - Amélioration du système d'émission du chauffage ; - Remplacement de l'éclairage ; - Installation d'une production photovoltaïque ; - Installation de comptages d'énergie électrique ;	735 900 €	809 900 €	58 300 €		751 600 €
	P2	Programme de rénovation 2 : - Isolation des murs par l'intérieur ; - Isolation des toitures ; - Isolation des planchers ; - Remplacement des menuiseries ; - Ventilation ; - Amélioration du système d'émission du chauffage ; - Installation de ventilo-convecteurs dans le local serveur et les bureaux ; - Remplacement de l'éclairage ; - Installation d'une production photovoltaïque ; - Installation de comptages d'énergie électrique ;	892 900 €	969 700 €	73 600 €		896 100 €
	P3	Programme de rénovation 3 : - Isolation des murs par l'intérieur ; - Isolation des toitures ; - Isolation des planchers ; - Menuiseries ; - Ventilation ; - Remplacement du système d'émission du chauffage / climatisation ; - Remplacement de l'éclairage ; - Installation d'une production photovoltaïque ; - Installation de comptages d'énergie électrique ;	988 200 €	1 087 500 €	70 000 €		1 017 500 €

¹ TDC : toutes dépenses comprises (y compris TVA, études et maîtrise d'œuvre ; aides déduites)

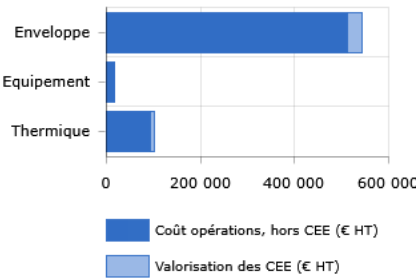
Certificats d'économie d'énergie mobilisables.

Nombre d'opérations	Total de CEE pour le secteur	Valorisation des CEE	Coût min. des travaux	Coût max. des travaux	Taux de couverture moyen
12	5 290,912 MWh cumac	42 327 € HT	664 608 € HT	664 608 € HT	6 %

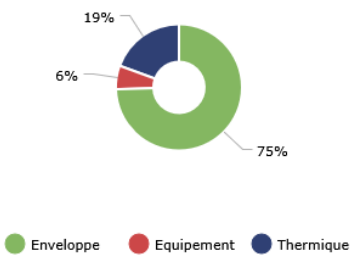
Répartition par catégorie

	MWh cumac	Taux de couverture moyen
Enveloppe	3 942,600	6 %
Equipement	320,000	14 %
Thermique	1 028,312	8 %
Total	5 290,912	6 %

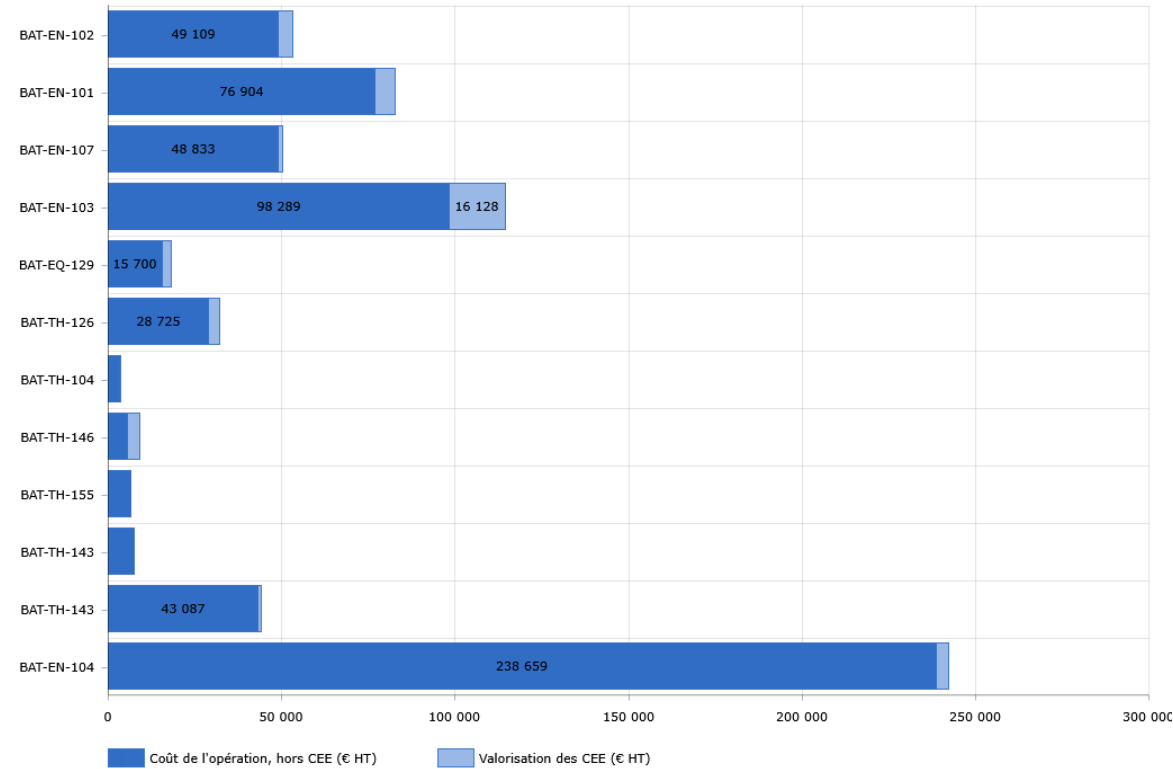
Coût des opérations par catégorie



Répartition des volumes de CEE par catégorie

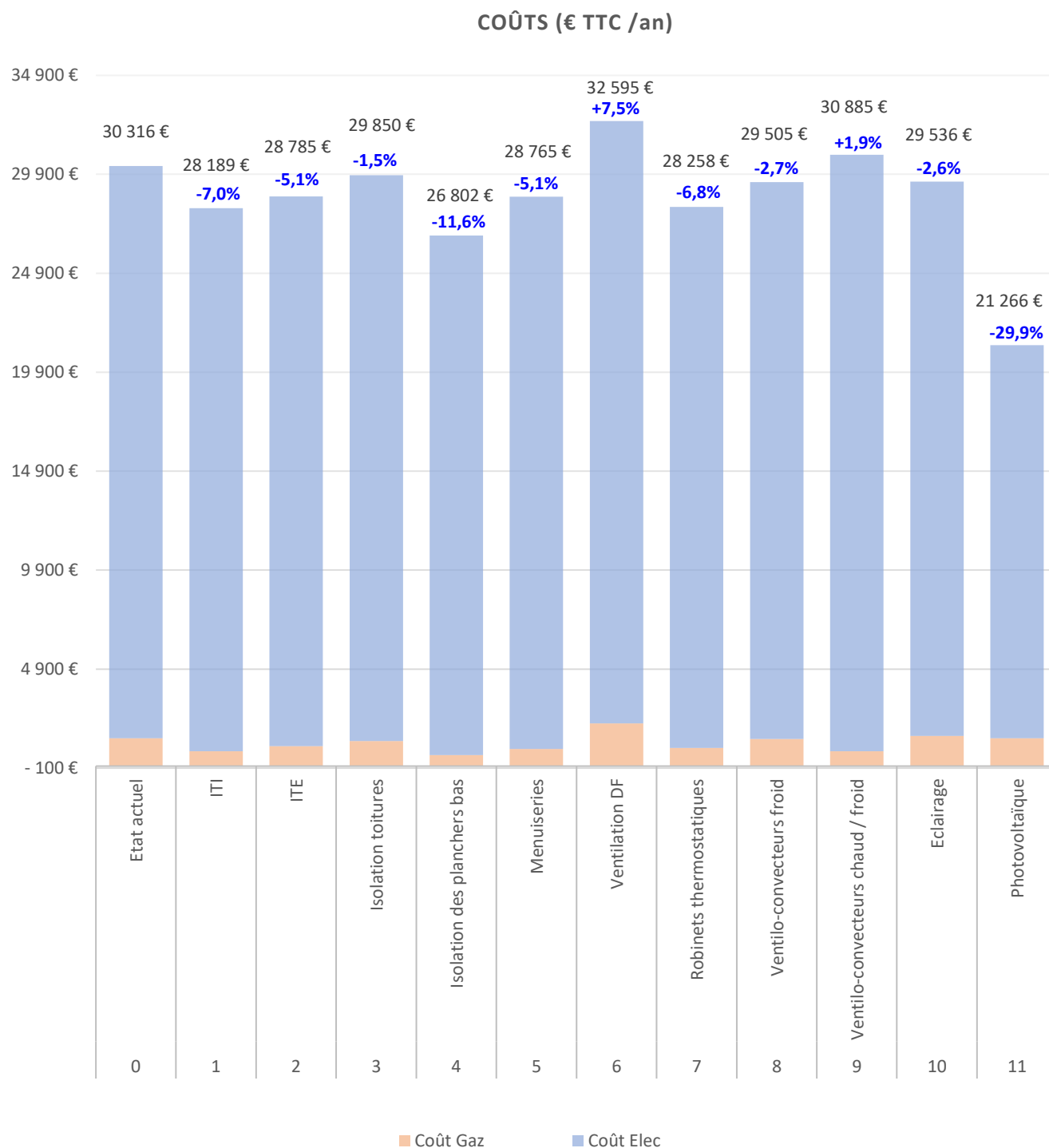


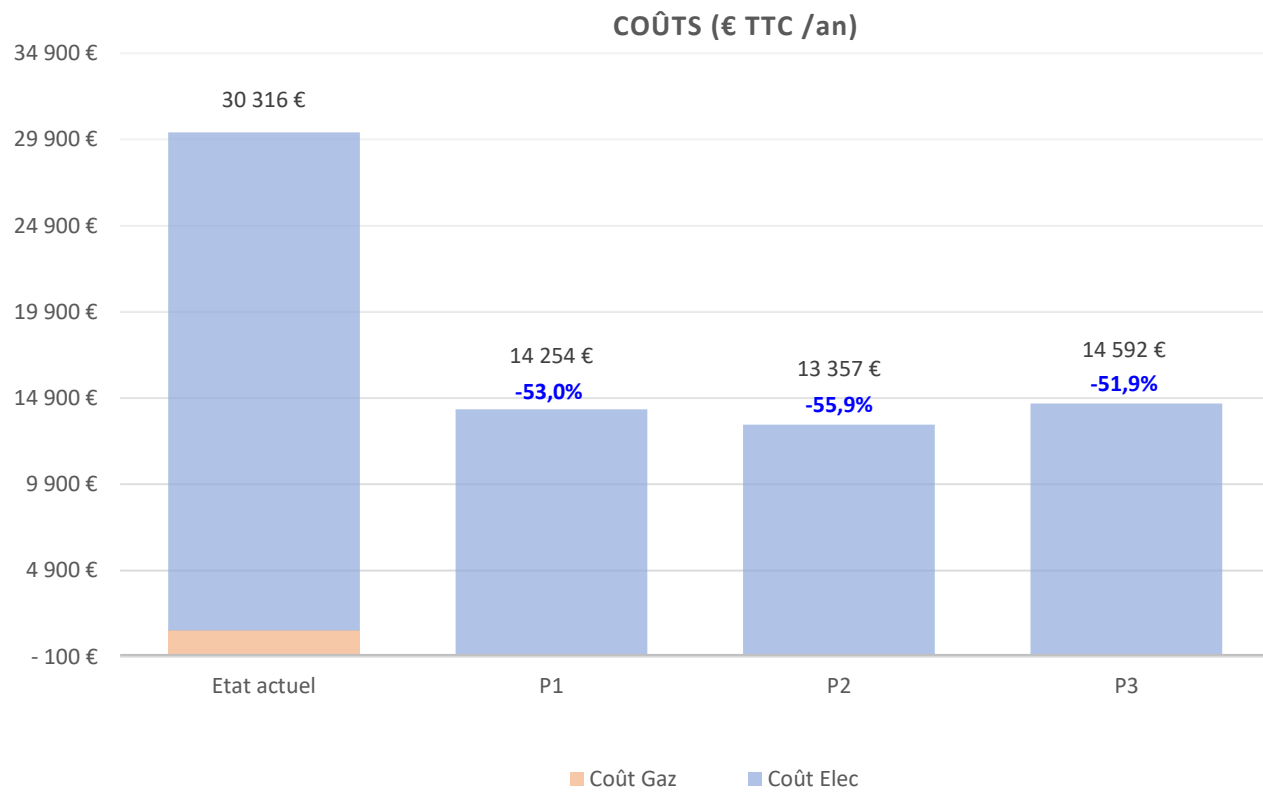
Coût des opérations et valorisation des CEE



IX.4 Rentabilité des variantes et scénarios

IX.4.1 Coût de dépense énergétique annuel





n° Variante	Descriptif	Economie d'énergie	Variation de la consommation (y.c. PV)	Economie financière TTC	Variation des coûts	Economie CO ₂	Variation des émissions de CO ₂
0	Etat actuel						
1	ITI	11 607 kWh	-8,7%	2 127 €	-7,0%	1,8 Tonnes	-16,3%
2	ITE	8 282 kWh	-6,2%	1 531 €	-5,1%	1,2 Tonnes	-10,8%
3	Isolation toitures	2 639 kWh	-2,0%	466 €	-1,5%	0,4 Tonnes	-3,6%
4	Isolation des planchers bas	18 549 kWh	-13,9%	3 514 €	-11,6%	2,6 Tonnes	-23,5%
5	Menuiseries	9 385 kWh	-7,0%	1 551 €	-5,1%	1,5 Tonnes	-13,3%
6	Ventilation DF	-12 634 kWh	+9,4%	-2 279 €	+7,5%	-1,9 Tonnes	+17,4%
7	Robinetts thermostatiques	10 961 kWh	-8,2%	2 058 €	-6,8%	1,5 Tonnes	-13,6%
8	Ventilo-convecteurs froid	3 414 kWh	-2,6%	811 €	-2,7%	0,3 Tonnes	-2,6%
9	Ventilo-convecteurs chaud / froid	810 kWh	-0,6%	-569 €	+1,9%	1,1 Tonnes	-9,8%
10	Eclairage	1 719 kWh	-1,3%	780 €	-2,6%	-0,1 Tonnes	+0,6%
11	Photovoltaïque	37 768 kWh	-28,2%	9 050 €	-29,9%	2,5 Tonnes	-22,3%
P1	Programme Réno 1	72 919 kWh	-54,5%	16 062 €	-53,0%	7,1 Tonnes	-64,0%
P2	Programme Réno 2	76 104 kWh	-56,9%	16 959 €	-55,9%	7,4 Tonnes	-66,6%
P3	Programme Réno 3	71 656 kWh	-53,5%	15 724 €	-51,9%	7,1 Tonnes	-63,4%

IX.4.2 Rentabilité des opérations de rénovation

n° Variante	Descriptif	Investissement (Aides déduites)	Economie financière annuelle TTC	Temps de retour brut	TRN 1 ¹	TRN 2 ²
0	Etat actuel					
1	ITI	56 100 € TDC	2 127 €	26,4 ans	19,7 ans	17,2 ans
2	ITE	69 400 € TDC	1 531 €	45,3 ans	29,0 ans	24,3 ans
3	Isolation toitures	144 500 € TDC	466 €	310,1 ans	78,9 ans	57,5 ans
4	Isolation des planchers bas	107 300 € TDC	3 514 €	30,5 ans	22,0 ans	19,0 ans
5	Menuiseries	287 100 € TDC	1 551 €	185,1 ans	63,6 ans	47,7 ans
6	Ventilation DF	124 100 € TDC	-2 279 €	-	-	-
7	Robinets thermostatiques	38 400 € TDC	2 058 €	18,7 ans	15,0 ans	13,5 ans
8	Ventilo-convecteurs froid	200 500 € TDC	811 €	247,2 ans	72,1 ans	53,1 ans
9	Ventilo-convecteurs chaud / froid	53 700 € TDC	-569 €	-	-	-
10	Eclairage	27 500 € TDC	780 €	35,3 ans	24,4 ans	20,8 ans
11	Photovoltaïque	54 800 € TDC	9 050 €	6,1 ans	5,6 ans	5,4 ans
P1	Programme Réno 1	751 600 € TDC	16 062 €	46,8 ans	29,7 ans	24,7 ans
P2	Programme Réno 2	896 100 € TDC	16 959 €	52,8 ans	32,1 ans	26,5 ans
P3	Programme Réno 3	1 017 500 € TDC	15 724 €	64,7 ans	36,5 ans	29,6 ans

On peut remarquer que dans l'ensemble, les travaux sont difficiles à rentabiliser. Cela est dû au fait que les économies d'énergies sont limitées car :

- Le bâtiment présente des consommations de base moyennes du fait d'une occupation réduite (vacances scolaires) ; d'une intermittence de chauffage déjà bien gérée (nouveau système de GTC).
- Le bâtiment est majoritairement de plein pied avec une surface déperditive principale en toiture. Or, ces parois bien que perfectibles sont déjà un peu isolées.
- Le bâtiment va très prochainement être équipé d'un système de chauffage très performant : pompe à chaleur sur boucle d'eau tempérée à énergie géothermique.

Ces raisons limitent les impacts des actions d'économies d'énergie, ce qui induit une moins bonne rentabilité des investissements.

¹ En considérant une augmentation du prix de l'énergie de 3%/an.

² En considérant une augmentation du prix de l'énergie de 5%/an.

IX.4.3 Analyse en coût global

En prenant en compte les investissements pour les travaux ainsi que des hypothèses d'évolution du prix de l'énergie, il est possible de calculer le coût global des variantes sur 30 ans.

L'évolution des prix considérée est la suivante :

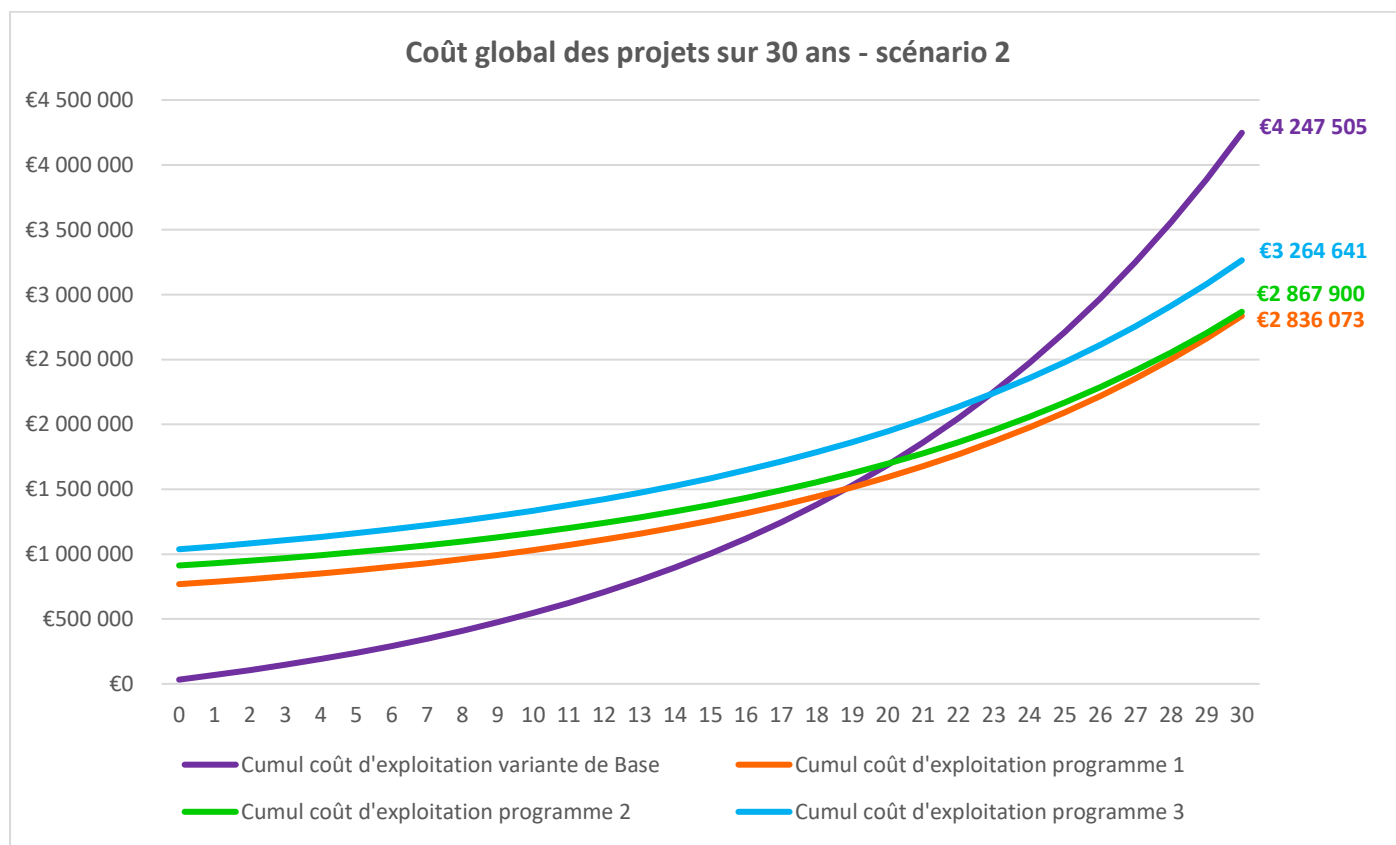
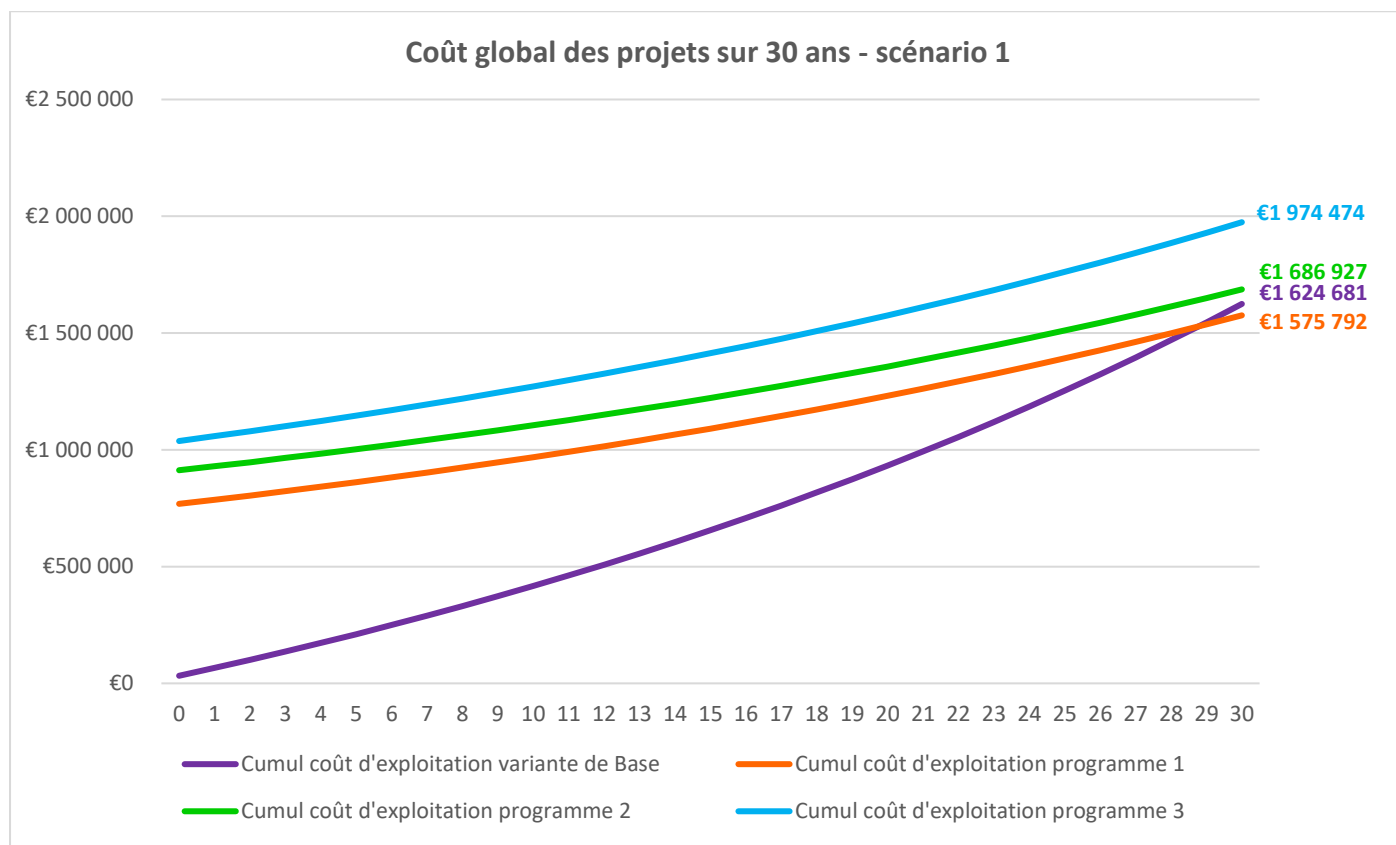
Evolution des prix de l'énergie, taux de croissance annuel moyen considéré

	Scénario 1	Scénario 2
	TCAM du prix en euros courants ¹	TCAM du prix en euros courants ²
Gaz nat- bâtiment	4.1%	7.3%
Elec- bâtiment	3.0%	8.6%
Maintenance	1.85%	1.85%
Gros entretien	1.85%	1.85%

	Base actuel	Programme 1	Programme 2	Programme 3
Gaz	1 412 €	0 €	0 €	0 €
Electricité	28 904 €	14 254 €	18 598 €	18 320 €
PV vente		-125 €	-125 €	-129 €
P1 coût énergie	30 316 €	14 129 €	18 473 €	18 191 €
P2 coût maintenance	1 420 €	1 700 €	1 840 €	2 540 €
P3 coût gros entretien	875 €	1 316 €	1 456 €	3 136 €
TOTAL	32 611 €	17 145 €	21 769 €	23 867 €

¹ Prévisions 2020-2040 Calculs ADEME (SEP) d'après sorties modèle POLES (Enerdata) avec taux d'inflation annuel moyen de 1,85%.

² Evolutions moyenne des prix industriels 2009-2024. Base de données Pégase (Elec IC; gaz : I2).



X ASPECT REGLEMENTAIRE

X.1 Décret tertiaire

Le site héberge des activités tertiaires sur une surface de plancher supérieure à 1000 m² ; il est donc soumis à l'obligation de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire du décret du 23 juillet 2019 et de ses arrêtés d'application.

Les textes de référence sont les suivants :

- Article 175 de la Loi n°2018-1021 du 23 novembre 2018 portant sur l'évolution du logement, de l'aménagement et du numérique
- Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire
- Arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire (dit arrêté « Méthode »)
- Arrêté du 24 novembre 2020 modifiant l'arrêté du 29 septembre 2021 modifiant l'arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire (dit arrêté « Valeurs absolues I »)
- Décret n° 2021-1271 du 29 septembre 2021 modifiant les articles R. 174-27 et R. 174-28 du code de la construction et de l'habitation relatifs aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire
- Arrêté du 29 septembre 2021 modifiant l'arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire (dit arrêté « Report de délais »)
- Arrêté du 13 avril 2022 modifiant l'arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire (dit arrêté « Valeurs absolues II »)

Pour rappel, l'ensemble des consommations d'énergie pour la saisie de l'année de référence doit être effectuée sur la plateforme OPERA avant le 31 décembre 2022.

Les objectifs à atteindre demandés par la réglementation sont les suivants :

Soit par rapport aux consommations de référence du bâtiment

- une réduction des consommations d'énergie finale de 40 % en 2030.
- une réduction des consommations d'énergie finale de 50 % en 2040.
- une réduction des consommations d'énergie finale de 60 % en 2050.

Soit une consommation maximale en valeur absolue rapportée à la surface de plancher.

Selon l'arrêté du 24 novembre 2020, le site héberge des activités se référant à la catégorie Enseignement supérieur et aux sous-catégories :

« Bibliothèque, médiathèque et service d'archives – ERP - Salle de lecture, d'exposition, de conférences, hall d'accueil » ;

« Bibliothèque, médiathèque et service d'archives – Zone de conservation des collections sans contrôle hygrométrique » ;

« Enseignement supérieur - Salles de formation, d'enseignement ou de vie de campus - Sans Process » ;

« Administration Enseignement supérieur Bureaux Standards » (cloisonnés – attribués) ;

« Local serveur (surface salle IT < 20 m²) » ;

En fonction de la zone géographique concernée ainsi qu'aux indicateurs d'intensités d'usage déterminés selon les éléments fournis par le maître d'ouvrage, le niveau de consommation d'énergie finale exprimé en valeur absolue *Cabs* pour l'échéance 2030 du site est de :

$Cabs = CVC + USE = 133,2 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ (pondéré pour chaque sous-catégorie et chaque surface correspondante).

La surface de plancher du site affecté à l'usage tertiaire est de 1 355 m².

Le niveau de consommation de référence d'énergie finale exprimée en kWh/m² de surface de plancher, non ajusté en fonction des variations climatiques, est de :

$Créf = 94,2 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$

La **consommation actuelle du site permet** donc à priori déjà **de répondre aux exigences du décret tertiaire** pour l'échéance 2030. Ces données sont à confirmer via les saisies réalisées sur la plateforme OPERA.

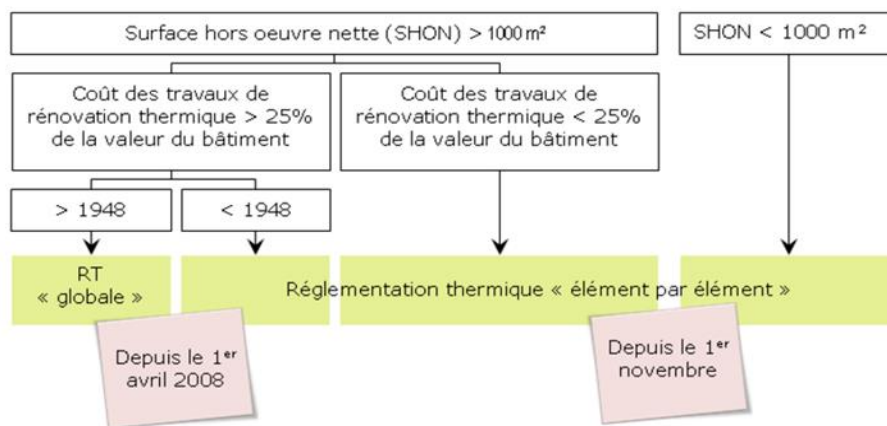
De plus, **les programmes de rénovation identifiés** (P1, P2, et P3) **permettent** de réduire les consommations de respectivement 54,5 % ; 56,9 % ; et 53,5 % et donc **de respecter les exigences relatives Crelat du décret tertiaire à l'horizon 2030 et 2040.**

X.2 Réglementation thermique sur les bâtiments existants.

Le bâtiment est soumis à la réglementation thermique sur l'existant.

Cette réglementation repose sur les articles L. 111-10 et R.131-25 à R.131-28-11 du Code de la construction et de l'habitation ainsi que sur leurs arrêtés d'application.

Selon la surface et l'importance des rénovations effectuées, les bâtiments existants sont soumis soit à la RT existant « globale », soit à la RT existant « par éléments ».



Pour les travaux de rénovation dont la date de permis de construire se situe après le 1^{er} mars 2012, c'est la surface de plancher et non plus la SHON qui est utilisée.

La SDP du bâtiment est supérieure à 1000 m².

La valeur du bâtiment actualisée selon les règles de calcul de la RT existant est de **1 853 196 € HT**.

Le bâtiment est donc soumis à la RT globale à partir d'une enveloppe de travaux de 463 299 € HT.

Les 3 programmes de rénovation identifiés sont soumis à la RT globale.

En plus des exigences de consommations, il sera nécessaire de respecter les exigences de moyens définies dans l'arrêté du 13 juin 2008 lors de la phase de conception et de réalisation des travaux.

Programme de rénovation 1 :

Conforme aux exigences de la RT globale

Consommations Cep et déperditions Ubat									
Bâtiment	Cep initial	Cep projet	Cep ref	Cep max	Cep initial-30°	Ubat base	Ubat projet	Ubat max	U-Bat initial
	kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	W/(m².K)	W/(m².K)	W/(m².K)	W/(m².K)
BU science	111.5	-17.7	90.5		78.0	0.537	0.589	0.806	1.405

Températures Intérieures de Confort pour les groupes CE1		
Groupe	Tic	Tic ref
Groupe Bureaux	32.40°C	37.07°C
Groupe Logement	26.06°C	29.08°C
Groupe 2	33.16°C	36.13°C
Climatisé	29.43°C	35.01°C

Exigences minimales										
Bâtiment	Art 43	Art 45	Art 46	Art 47	Art 48-56	Art 57-63	Art 64-67	Art 68-73	Art 74-78	Art 79-84
BU science	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Programme de rénovation 2 :

Conforme aux exigences du niveau BBC rénovation

Consommations Cep et déperditions Ubat									
Bâtiment	Cep initial	Cep projet	Cep ref	Cep max	Cep initial-30°	Ubat base	Ubat projet	Ubat max	U-Bat initial
	kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	W/(m².K)	W/(m².K)	W/(m².K)	W/(m².K)
BU science	111.5	-4.5	90.7		78.0	0.534	0.487	0.801	1.405

Températures Intérieures de Confort pour les groupes CE1		
Groupe	Tic	Tic ref
Groupe 2	31.21°C	34.60°C
Climatisé	30.29°C	35.16°C
Groupe Bureaux	31.46°C	37.07°C
Groupe Logement	26.03°C	29.14°C

Exigences minimales										
Bâtiment	Art 43	Art 45	Art 46	Art 47	Art 48-56	Art 57-63	Art 64-67	Art 68-73	Art 74-78	Art 79-84
BU science	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Programme de rénovation 3 :**Conforme aux exigences du niveau BBC rénovation**

Consommations Cep et déperditions Ubat									
Bâtiment	Cep initial	Cep projet	Cep ref	Cep max	Cep initial-30	Ubat base	Ubat projet	Ubat max	U-Bat initial
	kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	kWhEP/m²	W/(m².K)	W/(m².K)	W/(m².K)	W/(m².K)
BU science	111.5	-17.6	89.8		78.0	0.534	0.487	0.801	1.405

Températures Intérieures de Confort pour les groupes CE1		
Groupe	Tic	Tic ref
Climatisé	31.30°C	34.61°C
Groupe Bureaux climatisé	31.46°C	37.07°C
Groupe Logement	26.03°C	29.14°C

Exigences minimales										
Bâtiment	Art 43	Art 45	Art 46	Art 47	Art 48-56	Art 57-63	Art 64-67	Art 68-73	Art 74-78	Art 79-84
BU science	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

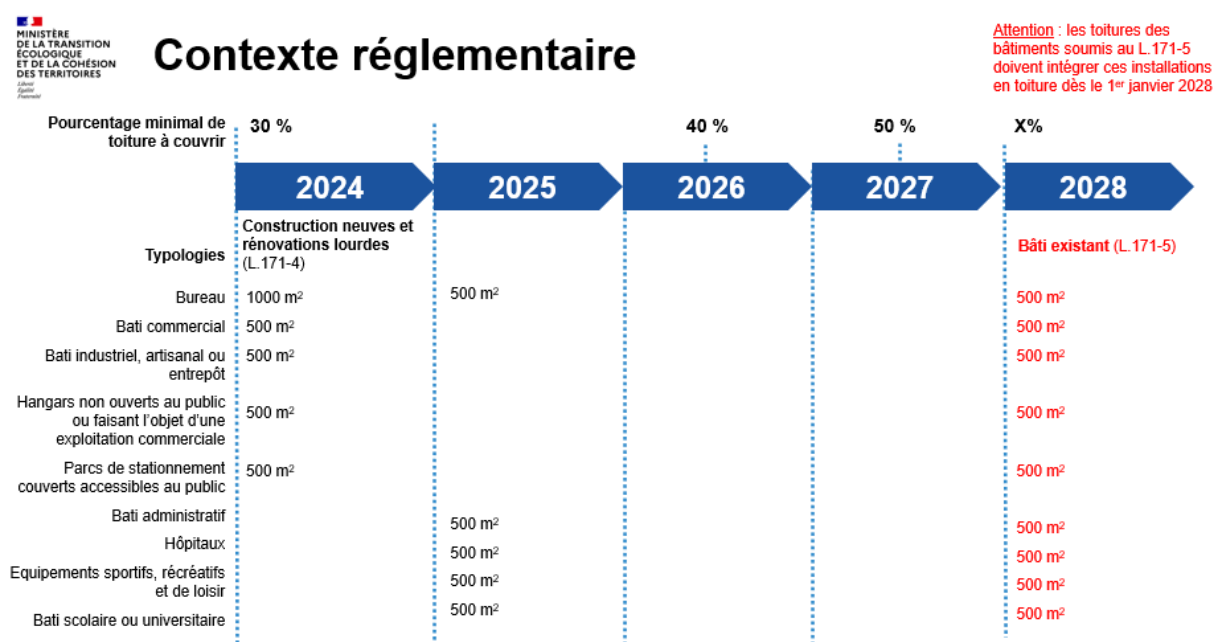
X.3 Installation d'ENR ou végétalisation des toitures

Les constructions neuves et les rénovations lourdes font l'objet d'une obligation de couvrir les toitures avec du photovoltaïque ou de la végétalisation dès lors qu'elles dépassent 500 ou 1000 m² selon les usages du bâtiment en vertu de L. 171-4 du code de la construction et de l'habitation, et de ses décrets et arrêtés d'application.

Pour les bâtiments universitaires, l'obligation démarre à partir de 2025.

A partir de 2028, toutes les toitures existantes de plus de 500 m² seront concernées. L'université de Perpignan sera donc concernée par ce dispositif. Il sera donc obligatoire en 2028 de mettre en place une installation photovoltaïque en toiture de la BU science.

Le calendrier prévu est le suivant :

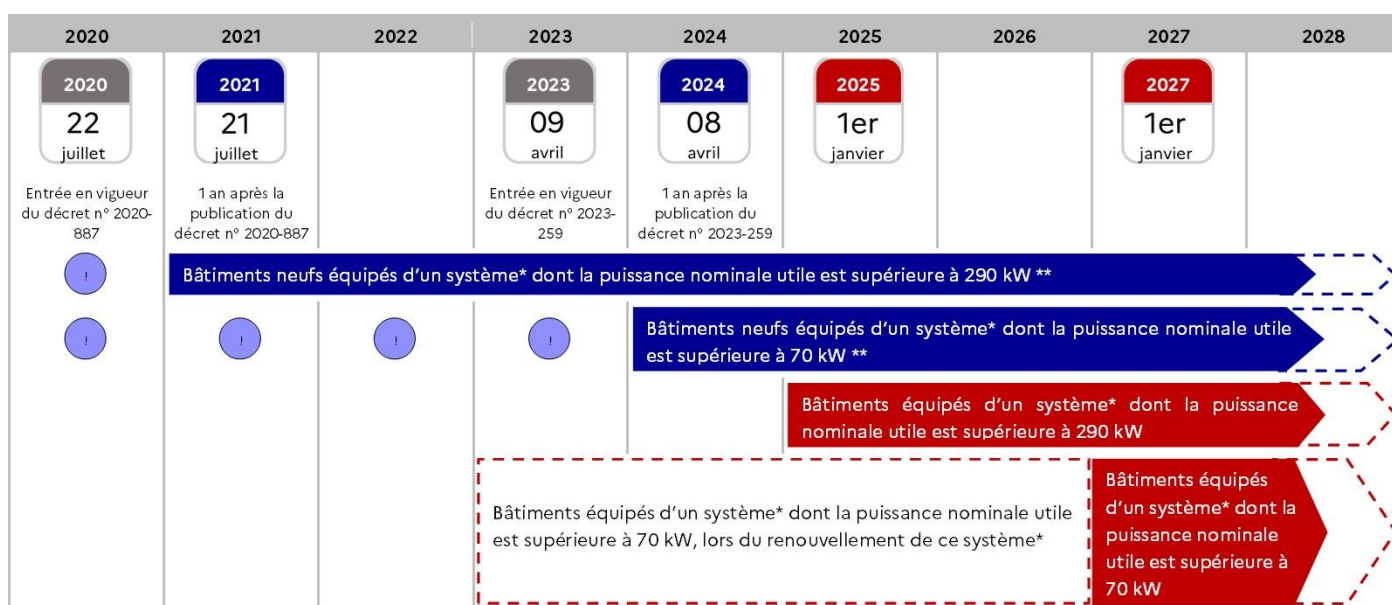


X.4 Décret BACS

Les « BACS » pour « building automation and control system » ou « systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments » permettent de piloter les installations techniques du bâtiment et peuvent contribuer à un gain rapide d'énergie à un coût raisonnable.

Les articles R. 175-1 à R. 175-5-1 du code de la construction et de l'habitation, créés par le décret n° 2020-887 du 20 juillet 2020 relatif au système d'automatisation et de contrôle des bâtiments non résidentiels et à la régulation automatique de la chaleur puis modifiés par le décret n° 2023-259 du 7 avril 2023 relatif aux systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments tertiaires, introduisent des obligations d'installation de ces systèmes.

Ces textes réglementaires visent à optimiser la performance énergétique des bâtiments en imposant l'installation de systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments (BACS) pour tous les bâtiments tertiaires équipés de système de chauffage ou de climatisation, combiné ou non avec un système de ventilation, dont la puissance est supérieure à 290 kW ou 70 kW, selon le calendrier suivant :



* Système de chauffage ou de climatisation, combiné ou non avec un système de ventilation.

** La date de dépôt de permis de construire faisant foi.

Le bâtiment dispose d'une puissance nominale utile supérieure à 70 kW et sera donc soumis au décret en 2025. Il sera donc obligatoire d'installer un équipement de type GTB qui réalisera le pilotage et le comptage des éléments suivants :

- Chauffage
- Climatisation
- Ventilation
- ECS
- Eclairage
- Production d'électricité

La récente installation de la boucle d'eau tempérée a équipé le bâtiment d'une GTC qui permet de piloter le chauffage. Les autres usages sont donc à raccorder à cette GTC. Il sera nécessaire d'installer des comptages d'énergie et de les raccorder à cette GTC.

XI CONCLUSION

Le potentiel d'économies envisageables sur les scénarios calculé s'élève à :

- **54,5 % pour le programme de rénovation 1**
- **56,9 % pour le programme de rénovation 2**
- **53,5 % pour le programme de rénovation 3**

On peut remarquer que les 3 programmes de rénovation étudiés présentent le même ordre de grandeur de niveaux de consommations.

Environ la moitié de ce potentiel d'économie est imputable aux opérations de réduction des consommations, et l'autre moitié à l'installation d'une production locale d'électricité photovoltaïque.

Hors production photovoltaïque, le potentiel d'économie est limité par rapport aux consommations totales des bâtiments pour plusieurs raisons :

- la toiture du bâtiment qui représente sa surface déperditive la plus grande est déjà isolée, même si cette isolation est perfectible ;
- le bâtiment n'est pas occupé pendant de nombreuses périodes et dispose d'un système performant permettant de piloter l'intermittence du chauffage du bâtiment ;
- le système de chauffage est un système performant ;
- L'installation d'un système de ventilation, bien que nécessaire pour la question hygiénique, induit une augmentation des consommations d'énergie ;

En résumé, comme les consommations du bâtiment sont déjà limitées, il est donc difficile de réaliser des économies supplémentaires importantes.

Les faibles économies impactent également directement la rentabilité des opérations.

Cependant, en fonction de l'évolution future du prix de l'énergie, certains scénarios rendent les rentabilités des programmes de travaux sur le long terme plus acceptables.

Le programme 1 est le plus rentable économiquement. Le programme 2 présente une rentabilité proche du programme 1. La rentabilité du programme 3 s'écarte un peu des deux autres, car son investissement et son coût de fonctionnement sont supérieurs. Globalement, les ordres de grandeur des rentabilités des 3 programmes sont similaires.

Les différences de ces 3 programmes se situent surtout au niveau du confort thermique.

En effet, le programme 1 peut paraître insuffisant au regard des prévisions de changement du climat. Le programme 2 permet de limiter l'inconfort, et le programme 3 est le plus performant sur ce point, puisque dans ce scénario tout le bâtiment est climatisé.

Dans tous les cas, en fonction des opérations de rénovation choisies, il sera nécessaire de réaliser des études complémentaires de conception afin de définir et dimensionner précisément les matériaux et équipements à installer.