

Maître d'ouvrage

UNIVERSITE DE PERPIGNAN VIA DOMITIA

52 Av. Paul Alduy,

66100 PERPIGNAN

CAMPUS DE NARBONNE

SITE DE COUBERTIN

AUDIT ENERGETIQUE

RAPPORT D'ETUDE

Alexandre TESSIER BET

2 square du roc de France

66100 PERPIGNAN

| Indice | Date | Objet |
|--------|------------|------------|
| 0 | 22/10/2024 | Rapport V1 |

SOMMAIRE

| | | |
|-------------|---|------------|
| I | GENERALITES | 2 |
| I.1 | CONTEXTE DE L'ETUDE | 2 |
| I.2 | RESUME DE LA PRESTATION | 2 |
| II | SYNTHESE DES RESULTATS DE L'ETUDE..... | 4 |
| II.1 | BILAN DES CONSOMMATIONS | 4 |
| II.2 | PRECONISATIONS D'INVESTISSEMENT | 4 |
| III | DONNEES GENERALES DU PROJET | 6 |
| III.1 | SITUATION..... | 6 |
| III.2 | CONFIGURATION GENERALE DU BATIMENT | 6 |
| IV | ETAT DES LIEUX ET PRECONISATIONS..... | 12 |
| IV.1 | ENVELOPPE THERMIQUE | 12 |
| IV.2 | VENTILATION | 28 |
| IV.3 | CHAUFFAGE..... | 31 |
| IV.4 | CLIMATISATION | 38 |
| IV.5 | ECLAIRAGE | 39 |
| IV.6 | ECS | 39 |
| IV.7 | PRODUCTION LOCALE D'ELECTRICITE | 39 |
| IV.8 | SUIVI DES CONSOMMATIONS..... | 40 |
| V | BILAN ENERGETIQUE DU BATIMENT..... | 41 |
| V.1 | BILAN DES FACTURES | 42 |
| V.2 | MODELISATION DU BATIMENT | 43 |
| V.3 | REPARTITION DES CONSOMMATIONS ACTUELLES..... | 65 |
| V.4 | PERFORMANCE ENERGETIQUE | 66 |
| V.5 | BILAN DES DEPERDITIONS (EN12831) | 67 |
| VI | ECONOMIES D'ENERGIE POTENTIELLES | 68 |
| VI.1 | VARIANTES SIMULEES | 68 |
| VI.2 | RESULTATS DES CALCULS..... | 70 |
| VI.3 | COMPARATIF DES CONSOMMATIONS..... | 80 |
| VI.4 | COMPARATIF DES EMISSIONS DE CO ₂ | 81 |
| VII | PROGRAMMES DE RENOVATION | 82 |
| VII.1 | P1 : PROGRAMME DE RENOVATION MINIMAL | 82 |
| VII.2 | P2 : PROGRAMME DE RENOVATION OPTIMAL AVEC PAC AIR/EAU | 83 |
| VII.3 | P3 : PROGRAMME DE RENOVATION OPTIMAL AVEC PAC AIR/AIR | 85 |
| VII.4 | COMPARATIF DES PROGRAMMES DE RENOVATION..... | 87 |
| VIII | ANALYSE DU CONFORT THERMIQUE | 88 |
| IX | ANALYSE FINANCIERE | 91 |
| IX.1 | PRIX DE L'ENERGIE | 91 |
| IX.2 | REPARTITION DES CHARGES ENERGETIQUES ACTUELLES | 94 |
| IX.3 | ESTIMATION DES INVESTISSEMENTS | 95 |
| IX.4 | RENTABILITE DES VARIANTES ET SCENARIOS | 97 |
| IX.5 | ASPECT REGLEMENTAIRE | 102 |
| X | CONCLUSION | 107 |

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'en suit 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 un audit énergétique des bâtiments suivants :

- Université de Narbonne, site de Coubertin

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 :

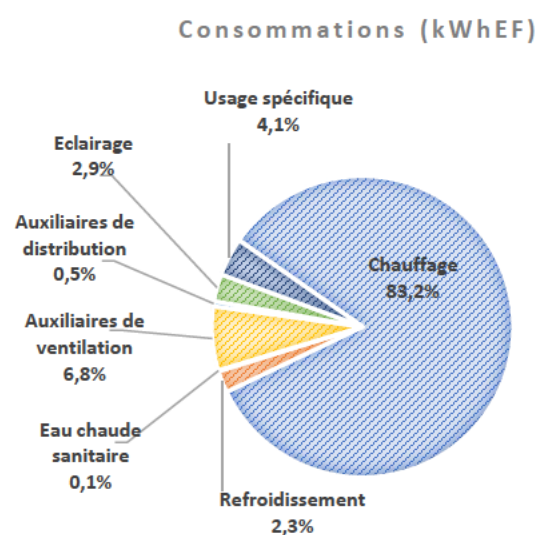
- à un avant-projet sommaire,
- à une mission de conception, d'ingénierie, et de maîtrise d'œuvre,
- à la mise en place d'une comptabilité énergétique,
- à la consultation d'entreprises pour la mise en œuvre d'un contrat de performance énergétique.

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'ÉTUDE

II.1 Bilan des consommations

| | Consommations (Energie finale) |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Chauffage | 510 540 kWh |
| Refroidissement | 14 356 kWh |
| Eau chaude sanitaire | 669 kWh |
| Auxiliaires de ventilation | 42 019 kWh |
| Auxiliaires de distribution | 3 358 kWh |
| Eclairage | 17 957 kWh |
| Usage spécifique | 25 006 kWh |
| TOTAL | 613 905 kWh / an |
| Consommation / m ² | 196,8 kWh / m ² .an |
| DEPENSE | 86 166 € / an |
| CO ₂ | 121,5 tonnes / an |



Non communiqué

II.2 Préconisations d'investissement

Non communiqué

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.

³ TDC : toutes dépenses comprises (y compris TVA, études et maîtrise d'œuvre)

Non communiqué

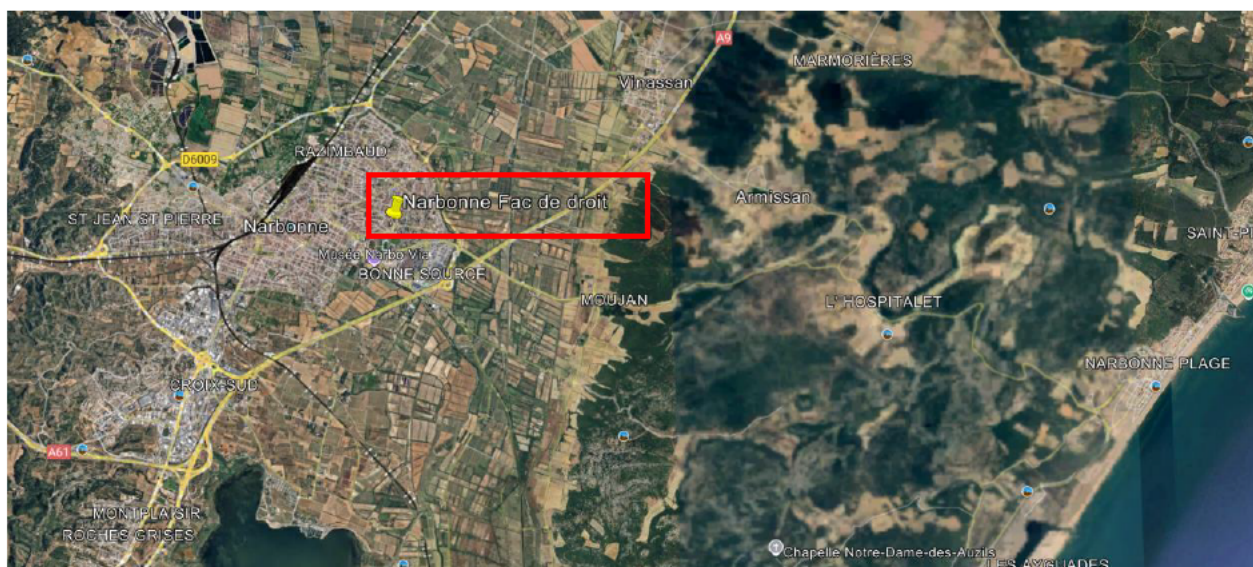
¹ En considérant une augmentation du prix de l'énergie de 3%/an.

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

III DONNEES GENERALES DU PROJET

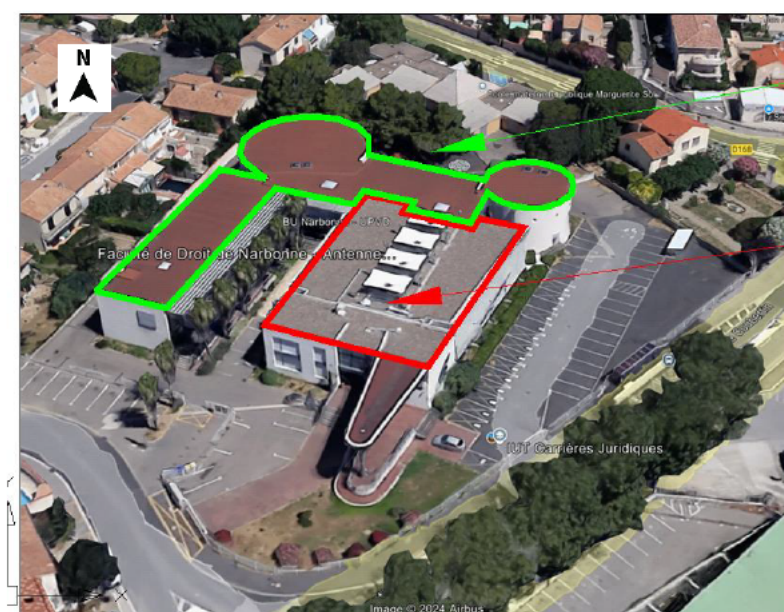
III.1 Situation

Le bâtiment se situe à Narbonne, à l'est de la ville. Il bénéficie d'un climat de type méditerranéen.



III.2 Configuration générale du bâtiment

Le bâtiment présente une surface de 3200 m² et a été construit en 2 phases. L'IUT dans un premier temps puis le DEUG de droit quelques années plus tard accompagné des 2 amphithéâtres dont la construction s'est achevée en 1997.



Licence de droit 2ème phase de construction

IUT 1ère phase de construction

Les locaux de l'IUT s'articulent en forme de U autour d'un patio central isolé de l'extérieur par une verrière horizontale. Il est connecté via sa partie nord à l'espace qui dessert les locaux communs avec la licence de droit, à savoir les deux amphithéâtres, la bibliothèque universitaire et la cafétéria.



Entrée de l'IUT côté Sud.



Patio intérieur de l'IUT



circulation centrale qui connecte l'IUT et la licence et permet l'accès aux amphithéâtres.

Le bâtiment des licences de droit est constitué d'un monobloc rectangulaire avec une façade entièrement vitrée.



Cour intérieure entre les 2 bâtiments avec la licence de droit sur la gauche, l'IUT sur la droite et la partie centrale commune au milieu.



La façade ouest de la fac de droit est équipée d'un important brise soleil.

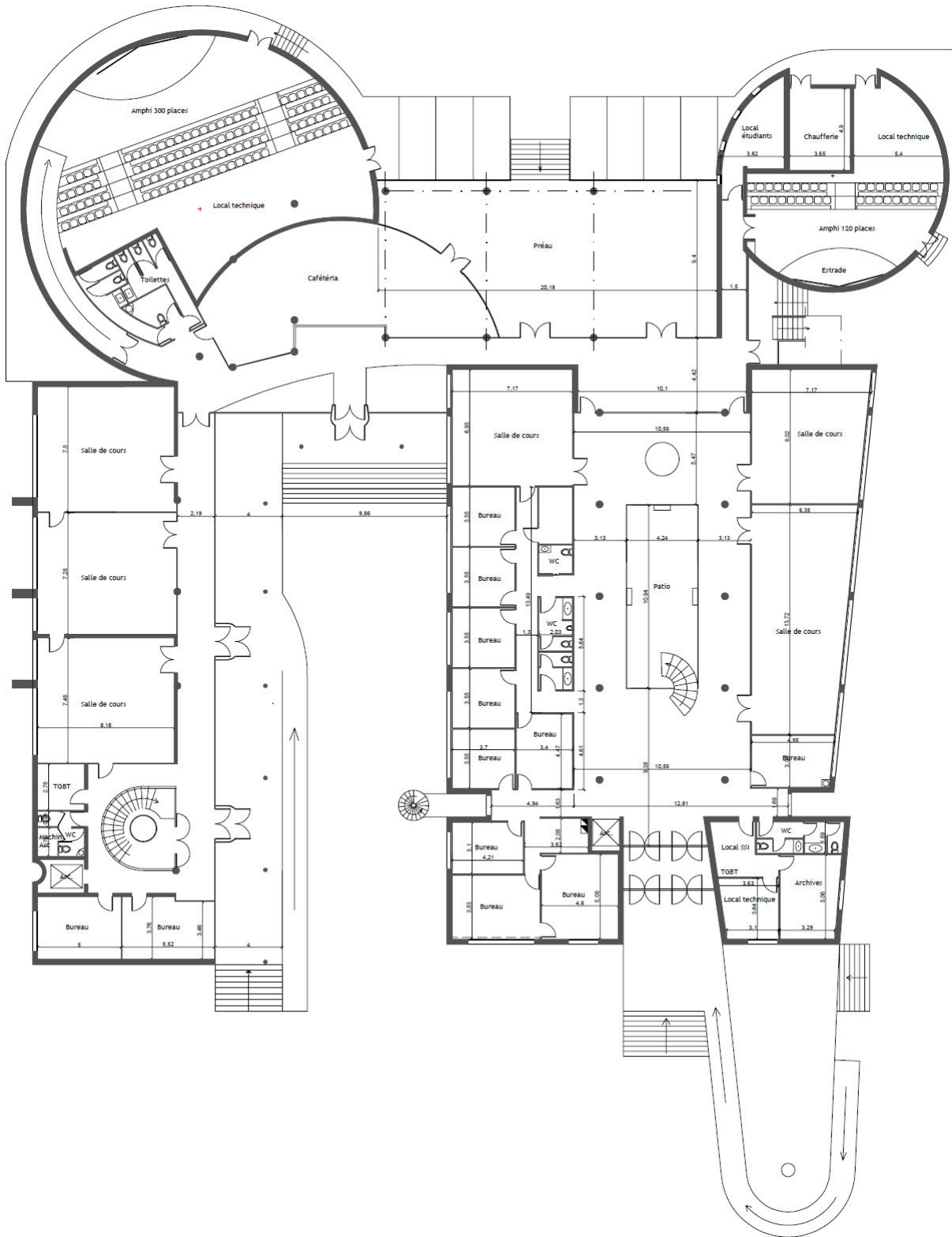


La façade est de l'IUT.

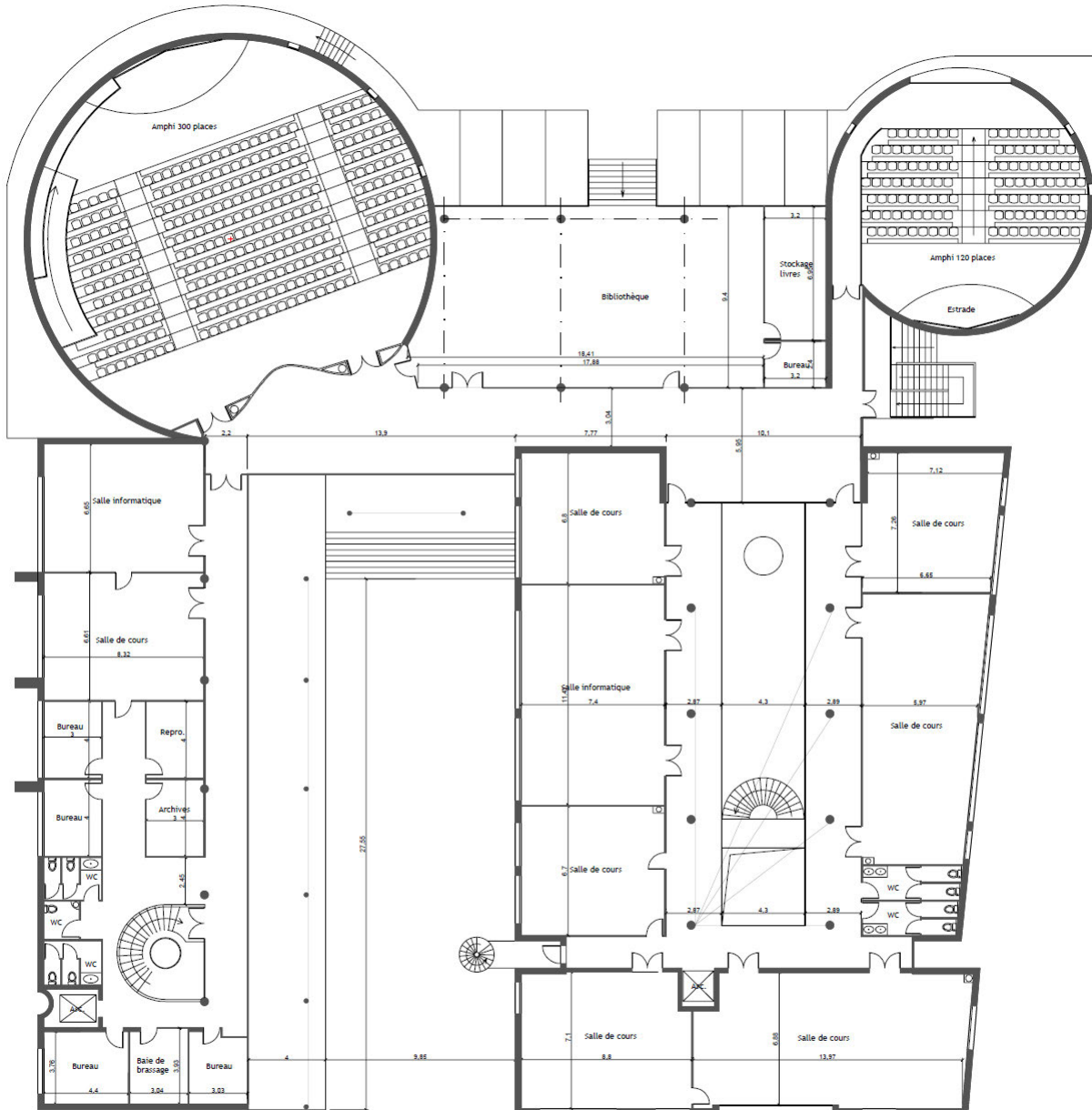


Façades nord (partie centrale du bâtiment) : les 2 amphithéâtres (le petit au fond et le grand au premier plan) sont séparés par la bibliothèque à l'étage qui dispose d'une façade vitrée et par une circulation donnant sur un préau au RDC.

Plan du RDC



Plan du R+1



IV ETAT DES LIEUX ET PRECONISATIONS

IV.1 Enveloppe thermique

IV.1.1 Murs extérieurs

Etat des lieux

Murs maçonnés en bloc de béton de 20cm.

Isolation intérieure par 9cm de polystyrène expansé Th38. $R=2,37 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$. Plaque de plâtre.



Résistance totale de la paroi : $R=2,64 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$.

Dans le bâtiment des licences de droit, en partie haute des murs, au-dessus des linteaux, les murs ne sont pas isolés.

De plus, il n'y a pas de coffres de volets roulants ce qui a pour conséquence de mettre le volume du faux plafond directement en contact avec l'extérieur.



Vue dans le faux plafond du bâtiment licences de droit. Il n'y a pas de coffres volets roulants. La lumière extérieure pénètre dans le faux plafond, car il y a un contact direct entre l'extérieur et le faux plafond par l'espace permettant au volet de descendre.



Coffres de volets roulants isolés dans la partie IUT



| | |
|--|--|
| Désordres et dysfonctionnements | <p>Performance de l'isolation moyenne.</p> <p>Etanchéité à l'air très mauvaise dans la partie licence de droit.</p> |
| Action corrective | <p>Il est impératif de corriger le défaut d'isolation en partie haute des murs ainsi que le problème d'étanchéité à l'air du bâtiment due à l'absence de coffre de volets roulants dans le bâtiment des licences.</p> <p>Il sera à minima nécessaire d'installer des coffres de volets roulant en bois isolés par du polystyrène avec une continuité d'isolation entre le dormant du linteau des menuiseries et les murs extérieurs avec maximum un $U_c = 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$. De nouveaux coffres peuvent aussi être installés en cas de remplacement des menuiseries. La partie restante entre le dessus des coffres devra être isolée par un doublage 90+10 de PSE.</p> <p>Un complément d'isolation par l'extérieur sur l'ensemble des façades peut être envisagé avec pour objectif principal de réduire les ponts thermiques. Il permettrait également d'augmenter la performance de la paroi en partie courante.</p> <p>Dans ce cas une ITE avec 8 cm de Polystyrène Expansé de type Th32 serait suffisante avec un <u>$R = 2,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>.</p> |

IV.1.2 Plancher haut IUT

| | |
|--|---|
| Etat des lieux | <p>Plancher béton plein avec isolation inversée en polystyrène extrudé.</p> <p>Isolation avec 6 cm de PSX avec un <u>$R = 1,94 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>.</p> <p>Lame d'air + faux plafond côté intérieur.</p> <p><u>Résistance totale de la paroi : $R = 2,51 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>.</p> |
| Désordres et dysfonctionnements | <p>Performance de l'isolation mauvaise</p> |

| | |
|--------------------------|--|
| Action corrective | <p>Remplacer ou compléter l'isolation du toit avec des plaques de polystyrène extrudé pour obtenir une épaisseur totale de 24 cm et un <u>$R=6,9 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>.</p> <p>Pour effectuer cette opération, il sera nécessaire de retirer puis réinstaller la protection lourde en graviers.</p> <p>Il serait opportun de refaire l'étanchéité du toit terrasse lors de cette opération.</p> <p>Une autre possibilité consiste à repartir sur un système isolant sous-étanchéité autoprotégée avec une résistance thermique du même ordre de grandeur. Dans ce cas, prévoir une étanchéité autoprotégée réfléchissante (couleur claire).</p> |
|--------------------------|--|

IV.1.3 Plancher haut, licence de droit


| | |
|--|--|
| Etat des lieux | <p>Plancher léger bac acier avec 4 cm de laine de roche sous étanchéité autoprotégée avec un <u>$R=1,08 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>.</p> <p>Lame d'air + faux plafond côté intérieur.</p> <p><u>Résistance totale de la paroi : $R=1,54 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>.</p>  <p>Les amphithéâtres, les circulations et les escaliers sont équipés de skydomes en polycarbonate afin d'assurer le désenfumage.</p> <p><u>$U_w = 6.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$</u>.</p>  |
| Désordres et dysfonctionnements | Performance de l'isolation très mauvaise |
| Action corrective | Remplacer l'isolation du toit avec des panneaux de laine de roche pour obtenir une épaisseur totale de 26 cm soit un <u>$R = 6,8 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u> . |

| | |
|--|--|
| | <p>Il sera nécessaire de rehausser les acrotères et refaire l'étanchéité du toit terrasse lors de cette opération. Prévoir une étanchéité autoprotégée réfléchissante.</p> <p>En cas d'isolation des murs par l'extérieur, il faudra réaliser une isolation de tous les acrotères.</p> <p>Remplacer les skydomes par des systèmes nouvelle génération à haute isolation thermique avec polycarbonate alvéolaire et costières isolées.</p> <p><u>$U_w = 1.6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$.</u></p> |
|--|--|

IV.1.4 Plancher haut des amphithéâtres


| | |
|--|--|
| Etat des lieux | <p>Plancher léger bac acier avec 4 cm de laine de roche sous étanchéité autoprotégée avec un <u>$R=1,08 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>.</p> <p>Lame d'air + Isolation par 8cm de laine de verre (<u>$R=2,05 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>). en faux plafond côté intérieur.</p> <p><u>Résistance totale de la paroi : $R=3,37 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$.</u></p> |
| Désordres et dysfonctionnements | Performance de l'isolation moyenne |
| Action corrective | <p>Remplacer l'isolation du toit avec des panneaux de laine de roche pour obtenir une épaisseur totale de 26 cm soit un <u>$R=6,8 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u>.</p> <p>Il sera nécessaire de rehausser les acrotères et refaire l'étanchéité du toit terrasse lors de cette opération. Prévoir une étanchéité autoprotégée réfléchissante.</p> <p>En cas d'isolation des murs par l'extérieur, il faudra réaliser une isolation de tous les acrotères.</p> |

IV.1.5 Planchers bas de l'IUT


| | | |
|--|---|--|
| Etat des lieux | <p>Planchers hourdis béton non isolé donnant sur l'extérieur</p> <p><u>$R=0,21 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{K/W}$</u></p> |  |
| Désordres et dysfonctionnements | Performance de l'isolation très mauvaise. | |

| | |
|--------------------------|---|
| Action corrective | <p>Installer des plaques de fibrastyrène de 15 cm pour une résistance thermique <u>$R=4,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$</u>. Faire le tour des poutres avec des plaques de 5cm d'épaisseur.</p> <p>En cas d'isolation des murs par l'extérieur, il faudra veiller à la continuité de l'isolation entre la sous-face du plancher et les murs extérieurs.</p> |
|--------------------------|---|

IV.1.6 Planchers bas de la licence de droit

| | | |
|--|--|---|
| Etat des lieux | <p>Planchers hourdis polystyrène sans languettes donnant sur vide sanitaire ou directement sur l'extérieur</p> <p><u>$R=0,64 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$</u></p> <p><u>$U_p=1,08 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$</u> (pour celui donnant sur VS)</p> |  |
| Désordres et dysfonctionnements | Performance de l'isolation très mauvaise. | |
| Action corrective | <p>Installer des plaques de fibrastyrène de 15 cm sur les parties donnant sur l'extérieur accessibles pour une résistance thermique <u>$R=6,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$</u>. Faire le tour des poutres avec des plaques de 5cm d'épaisseur.</p> <p>En cas d'isolation des murs par l'extérieur, il faudra réaliser veiller à la continuité de l'isolation entre la sous-face du plancher et les murs extérieurs.</p> | |

IV.1.7 Planchers des amphithéâtres et de la bibliothèque

| | | |
|--|--|--|
| Etat des lieux | <p>Flocage en sous-face de dalle.</p> <p>Epaisseur 6cm.</p> <p><u>$R=1,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$</u></p> |  |
| Désordres et dysfonctionnements | Performance de l'isolation mauvaise. | |
| Action corrective | Refaire un flocage en sous-face des amphithéâtres avec une épaisseur plus importante permettant une bonne résistance thermique ($R=3,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ en 15cm d'épaisseur). | |

IV.1.8 Menuiseries

| | |
|---|---|
| <p>Etat des lieux</p> | <p>Les menuiseries sont Aluminium à coupe thermique des années 1990 peu performantes.</p> <p>$U_f : 5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$.</p> <p>Le bâtiment possède plusieurs murs rideaux.</p> <p>Les vitrages sont tous en double vitrage à l'exception des 2 renforcements dans le patio de l'IUT et des portes d'accès.</p> <p>Les vitrages sont de type double vitrage clair 4-12-4 non traités $U_g = 2,85 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ pour les menuiseries classiques.</p> <p>Double vitrage clair feuilleté 33.1-6-33.1 non traités $U_g = 3,19 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ pour les façades rideaux.</p> <p>En fonction des différentes caractéristiques thermiques des menuiseries ainsi que de leurs dimensions, la plage de U_w considérée est la suivante :</p> <p><u>$U_w = 3,11-5,8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$.</u></p> <p>Certains locaux ne disposent pas ou très peu d'ouvrants.</p> <p>Certaines portes opaques donnant sur le volume chauffé sont en métal non isolé.</p> |
| <p>Désordres et dysfonctionnements</p> | <p>Isolation thermique moyenne.</p> <p>Malgré la présence de brises soleils, certaines façades rideaux sont exposées à des apports solaires conséquents pendant la saison estivale principale pour celles qui sont au RDC.</p> |
| <p>Action corrective</p> | <p>Remplacement de l'ensemble des menuiseries par des menuiseries plus performantes.</p> <p>Double vitrage clair 4-16-4 ou 44.2-16-44.2 avec vitrage à faible émissivité et remplissage d'argon <u>$U_g \leq 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$</u> avec écarteur isolant.</p> <p><u>$U_f \leq 2 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$.</u></p> <p>Prévoir des ouvrants supplémentaires (protégés contre l'effraction au RDC) afin de pouvoir faire du free-coolling manuellement en mi-saison.</p> <p>Prévoir des vitrages à faible facteur solaire pour les menuiseries du RDC des murs rideaux de la FAC et de l'entrée centrale.</p> <p>Remplacer ou améliorer les coffres de volets roulants menuisés actuels pour obtenir un <u>$U_c \leq 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$.</u></p> <p>Remplacer les portes non isolées délimitant le volume chauffé par des portes performantes <u>$U_p \leq 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$.</u></p> <p>Remplacer le mur en briques de verre par des briques plus performantes (<u>$U \leq 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$</u>).</p> |



IV.1.9 Toiture vitrée patio et sky domes

Etat des lieux

Le patio de l'IUT est équipé d'une toiture vitrée avec une structure métallique et des ouvertures en polycarbonate.

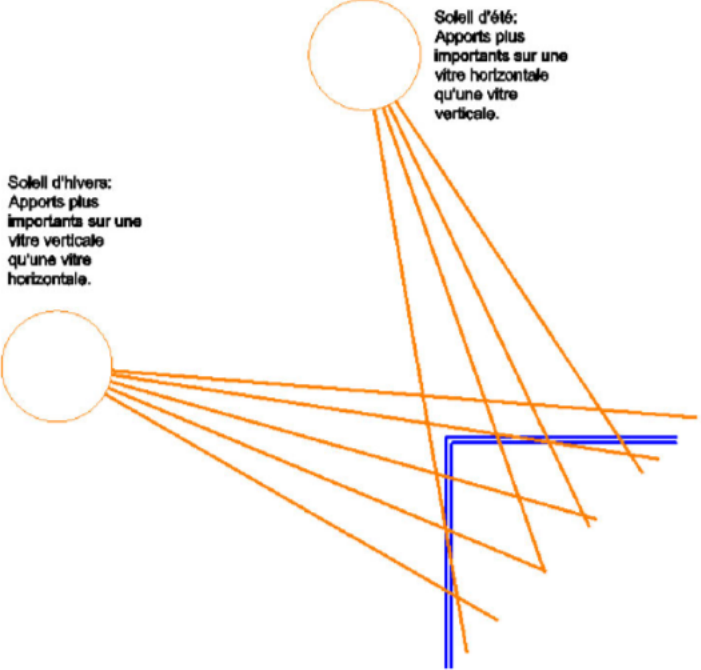
Ce toit vitré est protégé du soleil par des toiles d'ombrage.

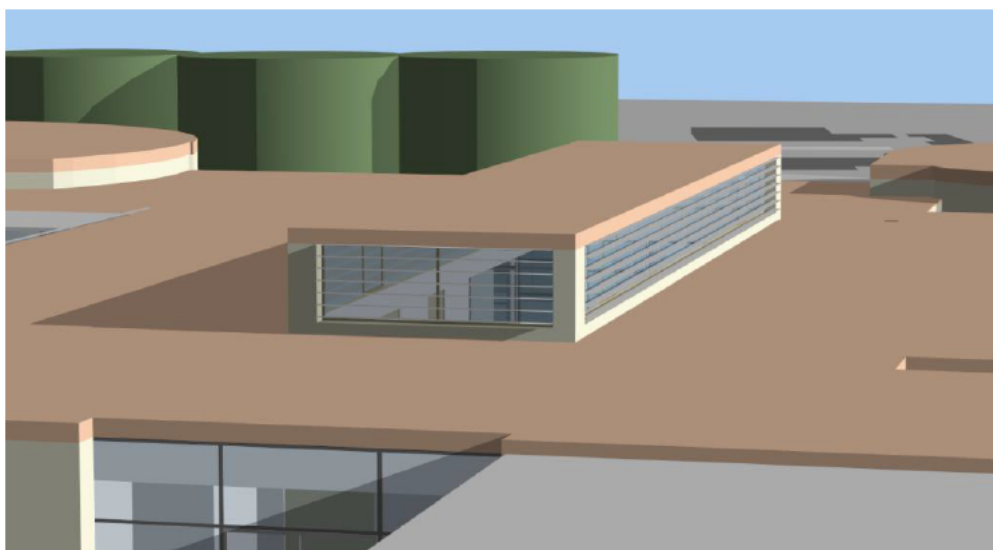


Vue intérieure de la toiture vitrée du patio



Vue extérieure de la toiture vitrée du patio avec les toiles d'ombrage

| | |
|---|--|
| Désordres et dysfonctionnements | <p>Isolation thermique mauvaise.</p> <p>Apports solaires importants en période estivale malgré <u>les toiles d'ombrages qui ne protègent qu'une partie du toit vitrée.</u></p> <p>Les toitures vitrées avec des vitrages horizontaux font entrer beaucoup de rayonnement solaire en été car à cette saison l'azimut est plus élevé et les rayons sont plus à la verticale de la paroi. Inversement, en hivers, quand le soleil est bas les rayons vont être plus vers l'horizontale, faisant entrer dans le bâtiment moins d'apports gratuit que dans le cas d'une paroi vitrée verticale.</p>  <p>Soleil d'été: Apports plus importants sur une vitre horizontale qu'une vitre verticale.</p> <p>Soleil d'hiver: Apports plus importants sur une vitre verticale qu'une vitre horizontale.</p> |
| Action corrective Option 1 | <p>Supprimer la toiture vitrée et les toiles d'ombrage. Remplacer l'ensemble par un édicule de toiture sur l'ensemble de l'ouverture avec une toiture isolée et des menuiseries sur les parties verticales équipées de brises soleils horizontaux avec une inclinaison à 0° sur les façades Sud-Est et Sud-Ouest et de 40 ° sur les façades Nord-Ouest et Nord-Est.</p> <p>Prévoir des ouvrants motorisés.</p> <p>Il est possible d'utiliser les poteaux béton qui traversent la toiture comme support de la structure de l'édicule qui pourrait éventuellement être réalisée en structure bois afin minimiser les charges.</p> <p>Il sera impératif de faire appel à un bureau d'étude structure pour le dimensionnement de cet ouvrage.</p> |

*Toiture actuelle*

Edicule vitré avec des brise soleil permettant de faire entrer le rayonnement direct en hivers et le bloquer en été tout en profitant de la lumière naturelle toute l'année.

Action corrective
Option 2

Une autre option moins onéreuse consiste à conserver le même principe qu'actuellement, mais améliorant l'isolation et la protection solaire en faisant le choix de l'optimisation en été au détriment des apports en hivers.

Cela consisterait à remplacer la paroi en polycarbonate actuelle par du polycarbonate multicouche nouvelle génération ($U_g \leq 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$), et installer une protection solaire extérieure plus couvrante et plus efficace. Celle-ci pourrait éventuellement être réalisée par une ombrière en panneaux photovoltaïques.

IV.1.10 Protections solaires des parois vitrées

Etat des lieux

Le bâtiment présente des surfaces vitrées très importantes, ce qui lui permet de bénéficier d'une bonne lumière naturelle mais peut engendrer des apports de chaleur excessifs en été.

De façon générale, des brise soleil à lame fixe ont été disposés sur la quasi-totalité du bâtiment permettant ainsi que limiter les apports calorifiques en été.



Brise-soleil de la façade Sud-Est des licences et de l'accès central orienté Sud-Ouest



Brise-soleil de la façade Nord-Ouest des licences



Brise-soleil de la façade Nord-Ouest des licences



Brise-soleil de la façade Nord-Ouest de l'IUT



Façade Sud-Est de l'IUT : seulement une partie est équipée de brise-soleil



Façade Sud-Ouest de l'IUT : aucun brise soleil.



Façade Nord-Est bibliothèque : aucune protection solaire extérieure



Façade Sud-Est : La façade rideau ne dispose d'aucune protection extérieure

La quasi-totalité des locaux dispose de volets roulants qui sont utiles pour l'anti-effraction, apportent un complément d'isolation et peuvent servir de protection solaire complémentaire. D'autres locaux disposent uniquement de stores intérieurs.

Désordres et dysfonctionnements

L'absence de protection solaire extérieure dans certains locaux peut générer des apports solaires trop important en période estivale et induire de l'inconfort ou des surconsommations de climatisation.

Les brise soleils à lame fixe ne sont pas efficaces à toutes les heures de la journée et doivent être complétés par des systèmes de volets roulants. Cependant les volets roulants ont pour inconvénient de ne pas laisser passer la lumière quand ils sont fermés et de ne pas permettre de faire de la ventilation nocturne, car ils doivent être fermés la nuit pour éviter les effractions.

Action corrective

Installer des brises soleils à lames orientables sur les locaux non pourvus : tous les locaux situés de part et d'autre de l'entrée de l'IUT et la bibliothèque.

Ajouter une casquette à l'étage sur le mur rideau côté Sud-Est.

IV.1.11 Etanchéité à l'air des parois

Etat des lieux

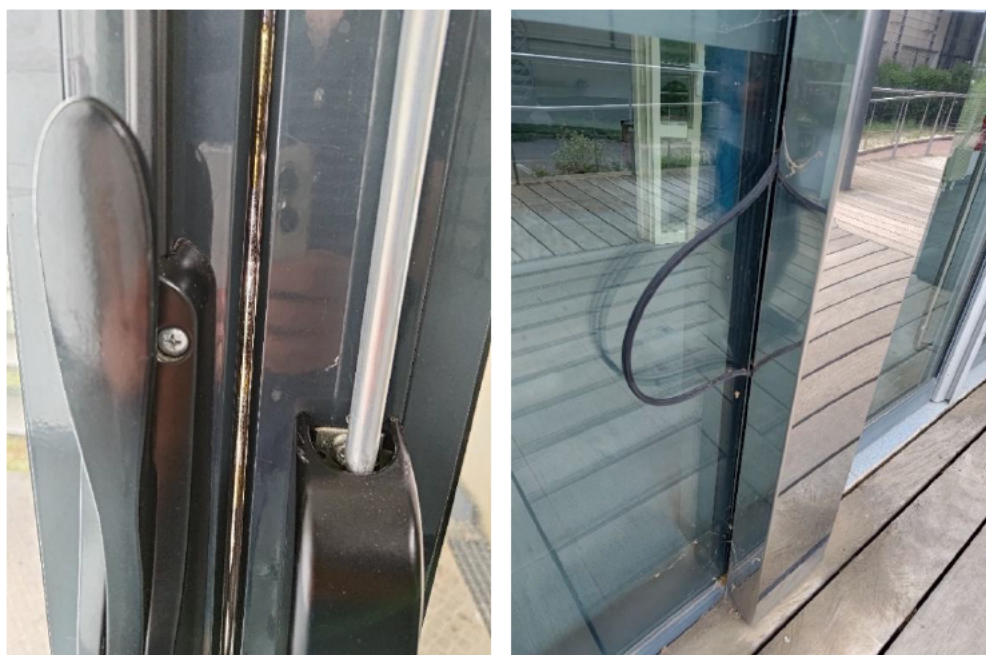
Plusieurs points visibles avec des défauts d'étanchéité à l'air des parois ont été constatés. C'est le cas notamment :

- de toutes les fenêtres avec volet roulant des licences de droit (pas de coffre de volets roulants).
- du mur extérieur de la cafétéria.
- de certaines menuiseries extérieures, notamment les accès au bâtiment.

Ces défauts ont été repérés par constat visuel uniquement. Il est probable que ne nombreux autres défauts soient présents sans qu'ils soient forcément visibles à l'œil nu par exemple au droit des traversées des parois extérieures par les réseaux techniques ou au niveau des gaines de désenfumage.



Mur extérieur de la cafeteria vue dans le faux plafond : manque d'isolation et d'étanchéité à l'air



Défauts d'étanchéité de menuiseries extérieures.

| | |
|---------------------------------|---|
| Désordres et dysfonctionnements | Les défauts d'étanchéité à l'air induisent des surconsommations de chauffage, de climatisation et peuvent générer de l'inconfort. |
| Action corrective | <p>Procéder à un test d'étanchéité à l'air du bâtiment avec mise en dépression par porte soufflante et mise en évidence des défauts d'étanchéité.</p> <p>Sur les menuiseries avec absence de coffres de volets roulants, installer des coffres menuisés isolés par du polyuréthane avec une continuité d'isolation entre le dormant du linteau des menuiseries et les murs extérieurs pour obtenir au maximum un $U_c = 1,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$.</p> <p>Isoler la partie restante entre le dessus des coffres par un doublage 90+10 de PSE.</p> <p>Corriger les autres défauts d'étanchéité.</p> <p>Procéder à un deuxième test pour validation.</p> |

IV.2 Ventilation

IV.2.1 Amphithéâtres

Etat des lieux

Les amphithéâtres sont ventilés par des centrales de traitement d'air double-flux avec caisson de mélange permettant de recycler environ 50 % du flux d'air. L'apport d'air neuf est normalement régulé par des sondes de CO₂ qui sont actuellement hors service.

Ces CTA sont équipées de batteries d'eau chaude. Elles assurent le renouvellement d'air des locaux et le traitement thermique pour le chauffage.

Débit de soufflage / reprise pour la CTA du grand Amphi : 10 000 m³/h (air neuf 5400 m³/h).

Débit de soufflage / reprise pour la CTA du petit Amphi : 4 800 m³/h (air neuf 2160 m³/h)

Le soufflage se fait en partie basse dans les contre-marches et en partie haute en faux plafond. La reprise se fait en partie haute.



CTA CIAT du grand Amphi. En bas le caisson de soufflage. En haut le caisson de reprise. Au centre, la vanne 3 voies motorisée qui régule le débit d'eau dans la batterie de chauffage. A gauche le caisson de mélange.



Les réseaux de distribution sont réalisés en panneaux rigides isolés.

Certains de ces réseaux sont abîmés et percés.



| | |
|--|--|
| Désordres et dysfonctionnements | <p>Il n'y a aucune récupération d'énergie de l'air extrait pour préchauffer l'air neuf.</p> <p>La totalité de l'air neuf est réchauffée par la chaudière à gaz du bâtiment.</p> |
| Action corrective | <p>Remplacement des CTA actuelles par des CTA double-flux à récupération de chaleur (efficacité $\geq 80\%$) équipées de moteurs basse consommation.</p> <p>Les CTA devront faire varier le débit d'air neuf en fonction de l'occupation avec une modulation via des sondes de CO₂.</p> <p>La mise en route et l'arrêt devront être asservis à l'occupation via de la détection de présence et de la programmation.</p> <p>L'échangeur devra pouvoir être bypassé et la CTA.</p> <p>L'ensemble devra être équipé d'un régulateur communicant pouvant dialoguer avec une GTB.</p> <p>Une partie des réseaux sont à reprendre. S'assurer de la bonne étanchéité à l'air des réseaux. Afin d'améliorer le confort en période estivale, il est possible de faire du rafraichissement soit prévoyant des batteries froides en cas d'installation d'un système de production d'eau glacée, soit par détente directe avec des CTA thermodynamiques.</p> <p>En cas de rafraichissement, il pourra être nécessaire de reprendre une partie de la diffusion d'air.</p> |

IV.2.2 Ventilations simple flux

| | |
|-----------------------|---|
| Etat des lieux | <p>Certaines salles à forte occupation sont équipées de ventilateurs d'extraction simple flux. C'est le cas de la bibliothèque, et de la cafétéria et de la salle B6 de l'IUT. Ces ventilateurs de gaine sont en fonctionnement permanent dans ces locaux. Ils disposaient à l'origine d'unités gainables ou murales qui assuraient l'apport d'air neuf et le préchauffage de celui-ci. Ces unités sont actuellement hors service, mais l'extraction fonctionne toujours hormis pour la salle B6.</p> <p>Les sanitaires sont ventilés par des petits extracteurs simple flux.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p><i>Extracteur de la cafétéria</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>Extracteur sanitaires</i></p> </div> </div> |
|-----------------------|---|



Ventilo-convecteur d'insufflation

| | |
|--|--|
| Désordres et dysfonctionnements | Ce type de ventilation en tout air neuf dans des salles où les débits sont importants engendre des consommations de chauffage importantes. |
| Action corrective | <p>Installer des 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 ($\geq 80\%$) équipées de moteurs basse consommation. Asservir le fonctionnement de ces ventilations à l'occupation.</p> <p>Les CTA devront faire varier leur débit en fonction de l'occupation avec une modulation via des sondes de CO_2 et des registres motorisés dans chaque pièce.</p> <p>L'ensemble devra être équipé d'un régulateur communicant pouvant dialoguer avec une GTB.</p> |

IV.2.3 Autres locaux

| | |
|--|--|
| Etat des lieux | Les locaux restants, notamment tous les bureaux et les salles de classe, 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 importantes et donc une mauvaise qualité de l'air. |
| Action corrective | <p>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 ($\geq 80\%$) équipées de moteurs basse consommation. Asservir le fonctionnement de ces ventilations à l'occupation.</p> <p>Les CTA devront faire varier leur débit en fonction de l'occupation avec une modulation via des sondes de CO_2 et des registres motorisés dans les salles de classe.</p> <p>L'ensemble devra être équipé d'un régulateur communicant pouvant dialoguer avec une GTB.</p> |

IV.3 Chauffage

IV.3.1 Chaufferie

Etat des lieux

La chaufferie centrale est équipée de 2 chaudières basse température à gaz de marque Atlantic Guillot de type modèle LRP.

Une première chaudière alimente une bouteille de découplage via un réseau primaire en chaufferie. Cette bouteille alimente 2 réseaux secondaires. Un premier réseau alimente les CTA et les systèmes à air. Ce réseau fonctionne à température constante. Le deuxième réseau alimente les radiateurs de la licence de droit. Ce départ est régulé en fonction de la température extérieure.

Cette chaudière dispose d'un brûleur d'une puissance de 550 kW

La deuxième chaudière est la chaudière de l'IUT. Celle-ci a été déplacée dans la chaufferie actuelle lors de la construction de la licence de droit. Elle alimente un réseau primaire qui passe sous le plancher bas du bâtiment à l'extérieur et dessert la sous-station de l'IUT où elle était installée précédemment. La sous-station de l'IUT alimente 2 réseaux dont la température est régulée en fonction de la température extérieure. Ces réseaux alimentent respectivement les radiateurs côté nord et les radiateurs côté sud de l'IUT.

Cette chaudière dispose d'un brûleur d'une puissance de 300 kW.



Les brûleurs datent de 1995. Les chaudières sont plus récentes.

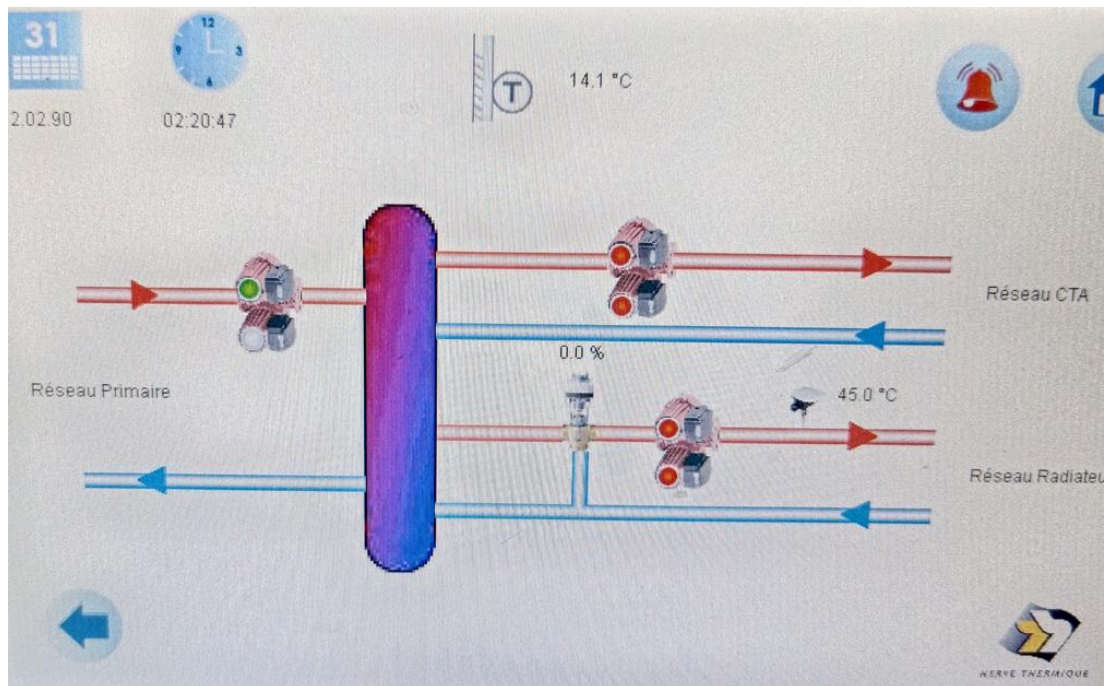


Réseaux de la chaudière licence de droit.

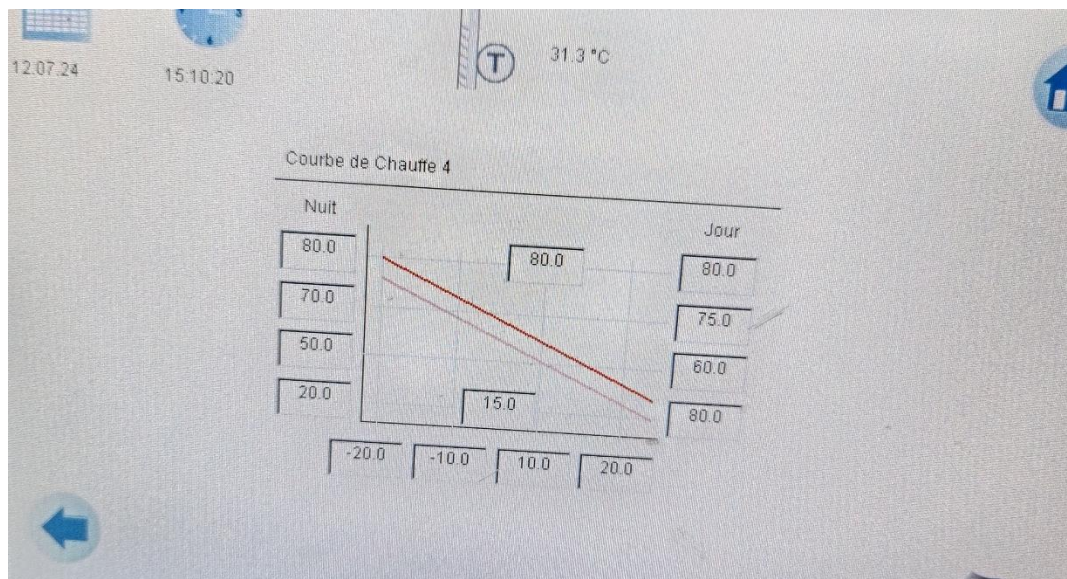


Sous-station de l'IUT

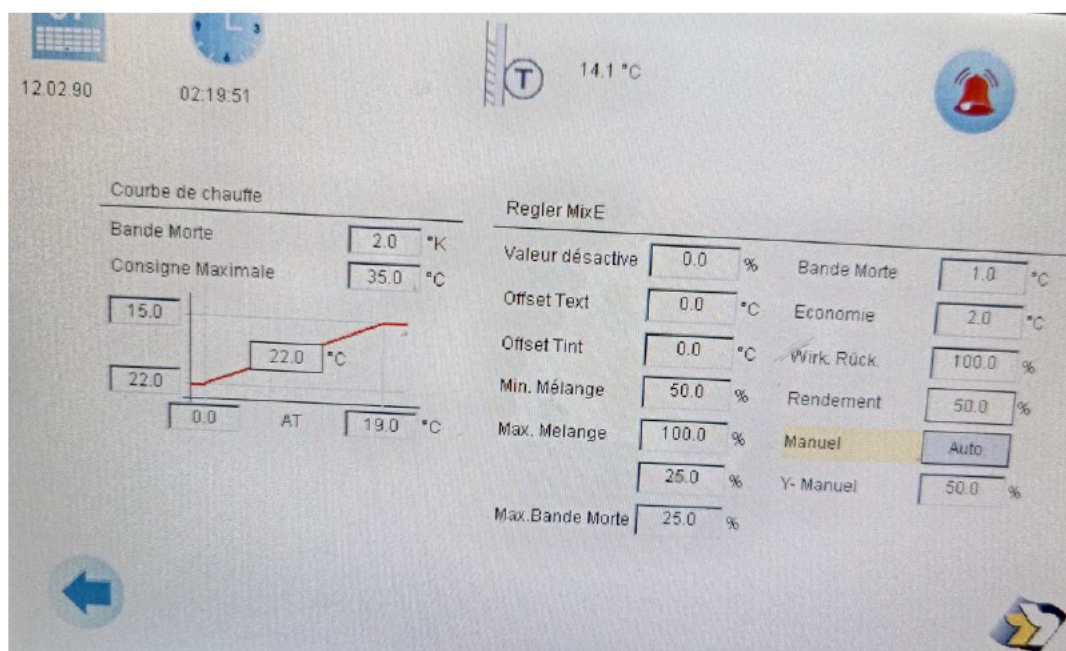
L'ensemble des pompes, des températures de départs, et le fonctionnement des CTA sont géré par une petite GTC dont l'interface se situe sur l'armoire chaufferie.



Visualisation des réseaux de la chaudière licence de droit.



Paramétrage de la courbe de chauffe en fonction de la température extérieure.



Paramétrage de la température de soufflage des CTA.

Désordres et dysfonctionnements

Les chaudières sont assez anciennes et donc peu performantes.

Les chaudières sont surdimensionnées.

Le gaz naturel est une énergie fortement émettrice de CO₂.

La majorité des pompes sont relativement anciennes engendrant des consommations d'électricité importantes.

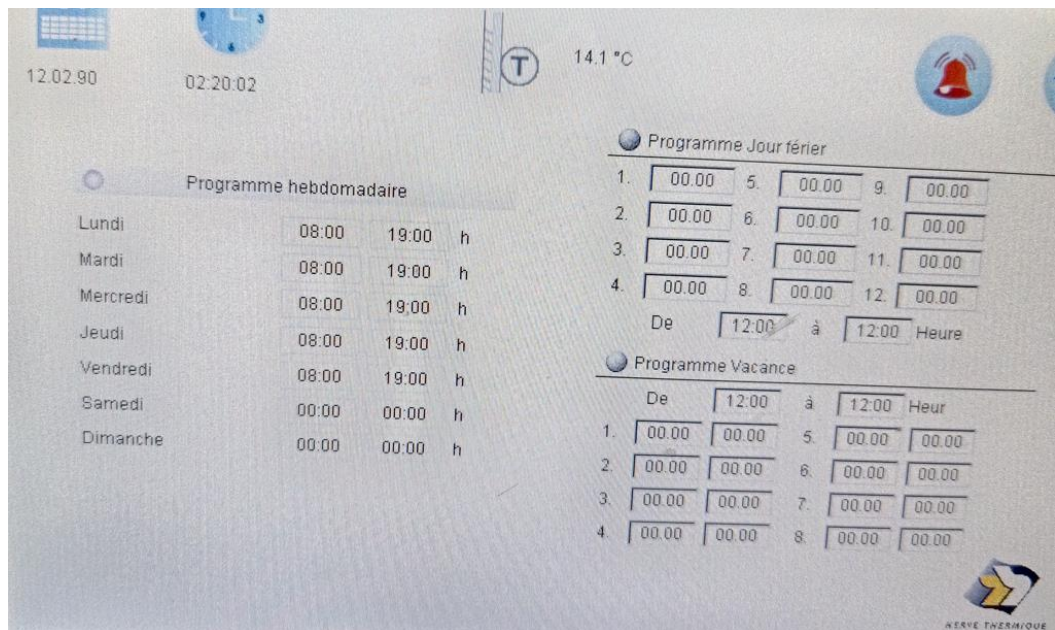
Les organes hydrauliques (pompes, vannes ne sont pas isolés).

Il n'y a pas de vanne de réglage de débit sur les pompes secondaires de la chaudière licence de droit et sur la pompe primaire de la chaudière de l'IUT.

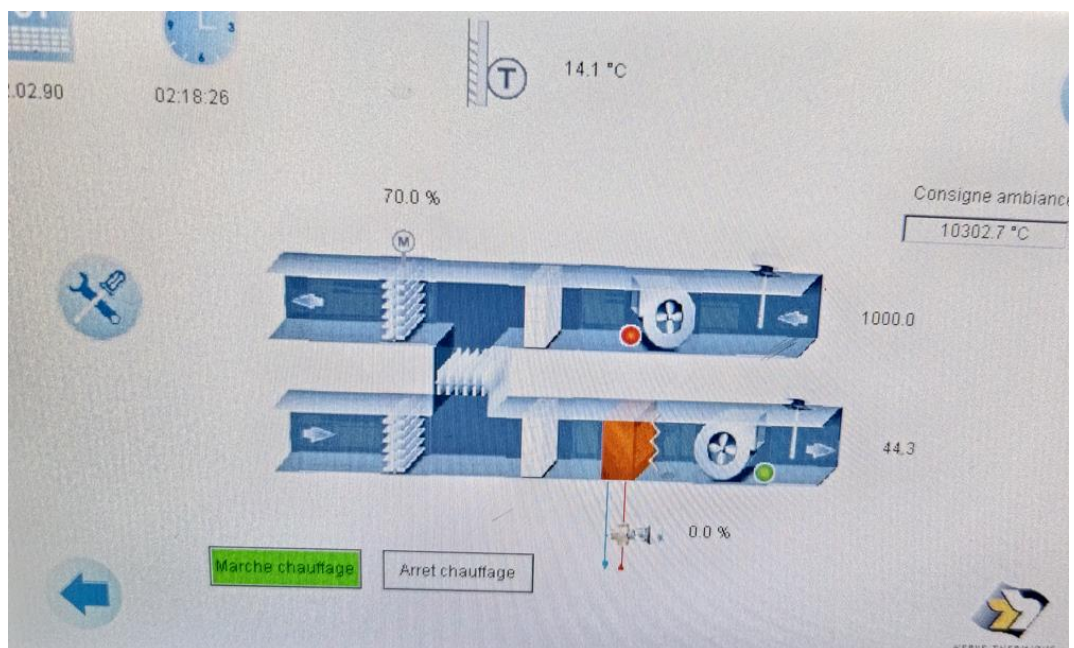
Le réseau primaire de l'IUT est peu isolé (19mm) et passe à l'extérieur du bâtiment, ce qui engendre des surconsommations.

Il a été remarqué des problèmes de fonctionnement de la GTB. Celle-ci ne gère actuellement pas les réduits de température comme elle le devrait, et ne gère pas non plus le fonctionnement des pompes. Seul le démarrage et l'arrêt des CTA est fonctionnel, mais il n'est pas effectif pendant les périodes de vacances scolaires.

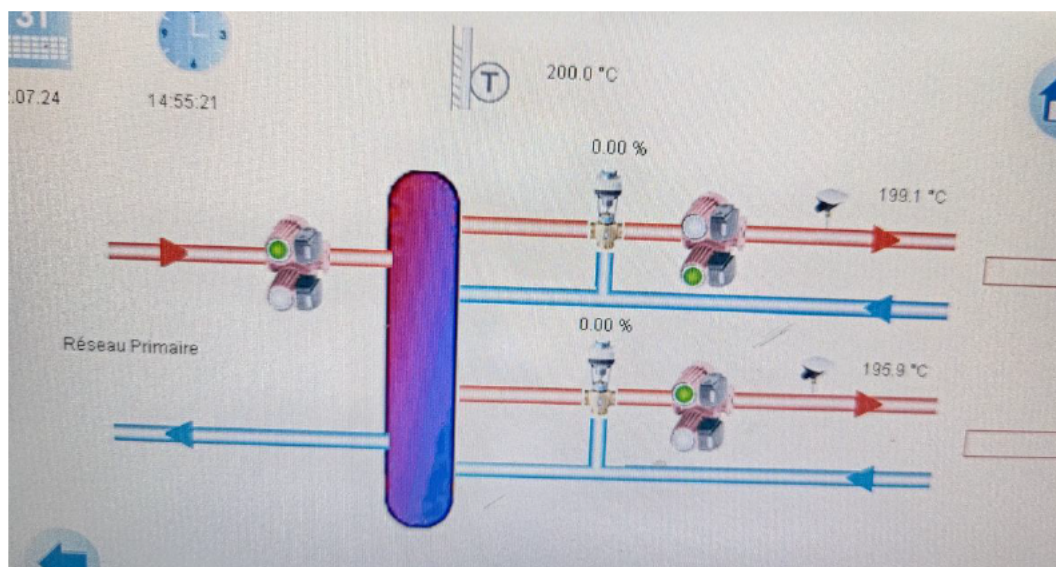
La date et l'heure ne sont pas bonnes. Il n'y a aucun arrêt ou réduit de chauffage de programmé pendant les vacances scolaires. Les températures affichées sont parfois aberrantes. Les pompes fonctionnent en permanence, y compris en été quand les chaudières sont éteintes. Les CTA sont allumés pendant des périodes où les locaux sont totalement inoccupés.



Date et heure aberrantes (relevé en juillet 2024 à 13h30). Pas de paramétrage des vacances scolaires.



Températures aberrantes sur la page des CTA.



Températures aberrantes sur la page de la sous-station de l'IUT.

| | |
|---|--|
| Action corrective Option 1 | <p>Action corrective à minima :</p> <p>Revoir complètement la GTB actuelle afin d'aboutir à un système parfaitement fonctionnel de classe B minimum permettant :</p> <p>De réguler le fonctionnement des chaudières et la température du réseau en fonction de la température extérieure.</p> <p>De corriger la température des réseaux en fonction de la température intérieure (par zone).</p> <p>De mettre en place des réduits de température le soir, les week-ends, les vacances et les jours fériés.</p> <p>D'optimiser les réduits et les relances avec une fonction d'apprentissage en fonction des temps de montée en température du bâtiment.</p> |
| Action corrective Option 2 | <p>Remplacer les chaudières actuelles par des chaudières à condensation en conservant la majorité de l'hydraulique chaufferie et les réseaux de distribution.</p> <p>Remplacer les anciennes pompes par des pompes électroniques à débit variable et moteurs basse consommation.</p> <p>Installer une nouvelle GTB avec optimisation, minimum classe B.</p> <p>Sur-isoler le réseau d'alimentation de la sous-station de l'IUT.</p> <p>Installer des coques isolantes sur les vannes et les pompes.</p> |
| Action corrective Option 3 | <p>Remplacer les chaudières par des pompes à chaleur Air/eau en conservant la majorité de l'hydraulique chaufferie et les réseaux de distribution.</p> <p>Remplacer les anciennes pompes par des pompes électroniques à débit variable et moteurs basse consommation.</p> <p>Installer une nouvelle GTB avec optimisation, minimum classe B.</p> <p>Sur-isoler le réseau d'alimentation de la sous-station de l'IUT.</p> <p>Installer des coques isolantes sur les vannes et les pompes.</p> |

| | |
|---|---|
| Action corrective Option 4 | <p>Supprimer totalement le système de chauffage à eau.</p> <p>Installer un système de pompe à chaleur air/air de type DRV dans tout le bâtiment.</p> <p>Attention, cette solution peut amener à multiplier les groupes extérieurs afin de limiter la quantité de fluide frigorigène dans une installation. Elle peut aussi nécessiter des dispositions de sécurité supplémentaires en fonction du fluide utilisé.</p> |
|---|---|

IV.3.2 Radiateurs

| | |
|--|--|
| Etat des lieux | La chaufferie et les sous-stations alimentent des réseaux en acier qui parcourent le bâtiment en faux plafond du RDC et desservent les différents radiateurs du bâtiment. |
| Désordres et dysfonctionnements | <p>Il n'y a aucun organe d'équilibrage des branches des réseaux. Les seuls éléments d'équilibrage sont les T de réglage des radiateurs.</p> <p>Les radiateurs ne sont pas équipés d'élément de régulation terminaux permettant de moduler leur puissance en fonction de la température intérieure des locaux.</p> <p>Les réseaux intérieurs ne sont pas isolés.</p> |
| Action corrective | <p>Installer des robinets thermostatiques auto-équilibrant sur chaque radiateur.</p> <p>A minima, prévoir des robinets thermostatiques standards et des vannes de régulation et de maintien dynamique de la pression différentielle des réseaux sur les branches principales de celui-ci.</p> <p>Réaliser un désembouage des réseaux, un remplissage avec du produit anti-corrosion. Réaliser un équilibrage des réseaux avec une mesure des débits.</p> |

IV.4 Climatisation

Etat des lieux

La majorité des bureaux ainsi que certaines salles de classe sont équipés de climatiseurs.

Certains datent de la construction du bâtiment.

D'autres sont un peu plus récents.

| Bâtiment | Pièce | Marque / type | Référence (UE/UI) | Type fluide | Date de fabrication |
|----------|--------------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------|---------------------|
| Licences | Baie de brassage Licences | Monosplit Daikin | R35DB7V11 / FT35GV1B | R22 | 1996 |
| | Bureau directeur | Trisplit Daikin | MA900J7V1 / FT353DB7V1 | R22 | 1999 |
| | Salle des professeurs | | | | |
| | Bureau (I101) | | | | |
| | Bureau chef de département | Trisplit Mitsubishi | MSZ-GC22VA (UI) | R410A | 2008 |
| | Bureau secretariat | | | | |
| | Bureau secretariat | | | | |
| | Salle informatique | Bisplit Mitsubishi | MXZ-4A71VA / MSZ-GE25VA | R410A | 2008 |
| IUT | Salle des prof IUT | Bisplit Daikin | 3MKS50BVM (UE) | R410A | 2003 |
| | Repos tisanerie | | | | |
| | Bureau secretariat | Bisplit Mitsubishi | MXZ-4A71VA / MSZ-GE25VA | R410A | 2008 |
| | Bureau chef de département | | | | |
| | Bureau Atelier | Monosplit Daikin | RXF35E5V1B (UE) | R32 | 2022 |
| | Atelier | Monosplit Fuji | AOYG07LLCC (UE) | R410A | 2014 |
| | Local technique baie de brassage IUT | Monosplit Mitsubishi | MUZ-6GE25VA (UE) | R410A | 2011 |
| | Salle B1 | Monosplit Mitsubishi | MUZ-KA71VA6 (UE) | R410A | 2012 |
| | Salle B6 | Monosplit Daikin | R125B7W1 (UE) | R22 | 2001 |
| - | Bibliothèque | Mini DRV Hitachi | RAS-10HNCE (UE) | R410A | 2019 |

Désordres et dysfonctionnements

Les équipements les plus anciens sont peu performants.

Il n'y a pas de gestion centralisée des climatiseurs, ce qui peut induire des surconsommations si certains équipements restent allumés en dehors des plages d'occupation.

Action corrective

Remplacer les climatiseurs existants par des installations centralisées de type micro-DRV.

Installer une gestion centralisée qui pilote l'ensemble des équipements.

IV.5 Eclairage

| | |
|--|---|
| Etat des lieux | Les luminaires sont de type Fluorescents 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. |

IV.6 ECS

| | |
|--|--|
| Etat des lieux | <p>L'établissement est équipé d'un ballon d'ECS de 200 litres dans la sanitaires licences de droit.</p> <p>Celui-ci sert au local ménage.</p> <p>Un ballon d'ECS est installé sous l'amphithéâtre pour les sanitaires.</p> |
| Désordres et dysfonctionnements | - |
| Action corrective | Supprimer le ballon sous-l'amphithéâtre. |

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 | <p>Il est possible d'installer des champs de capteurs photovoltaïques en toiture afin de produire localement de l'électricité.</p> <p>Le système peut être prévu en même temps que la réfection de l'étanchéité de la toiture en installant des plots soudables à l'étanchéité.</p> <p>Il sera nécessaire de faire réaliser une étude de structure afin de vérifier que les charges supplémentaires puissent être acceptées par la charpente actuelle.</p> <p>La surface disponible est importante (1000 m²) et permet d'envisager l'installation d'un champ PV de l'ordre de 200 kWc selon le type de panneaux installés.</p> <p>Une étude complémentaire de production, de calepinage, et de structure devra être réalisée.</p> |



Possibilités d'implantation de capteurs photovoltaïques

IV.8 Suivi des consommations

| | |
|--|--|
| Etat des lieux | Le site ne dispose pas de sous-comptages. |
| Désordres et dysfonctionnements | Il n'est pas possible de faire un suivi précis des consommations des bâtiments. |
| Action corrective | <p>Installer des sous-compteurs électriques dans les armoires afin de distinguer les différents usages (éclairage, PC, ventilation, ECS, autres). Installer des compteurs d'énergie en chaufferie.</p> <p>Ces comptages devront être réalisés pour chaque zone fonctionnelle du bâtiment.</p> <p>Raccorder ces compteurs à un centralisateur équipé d'un superviseur ou une GTB.</p> |

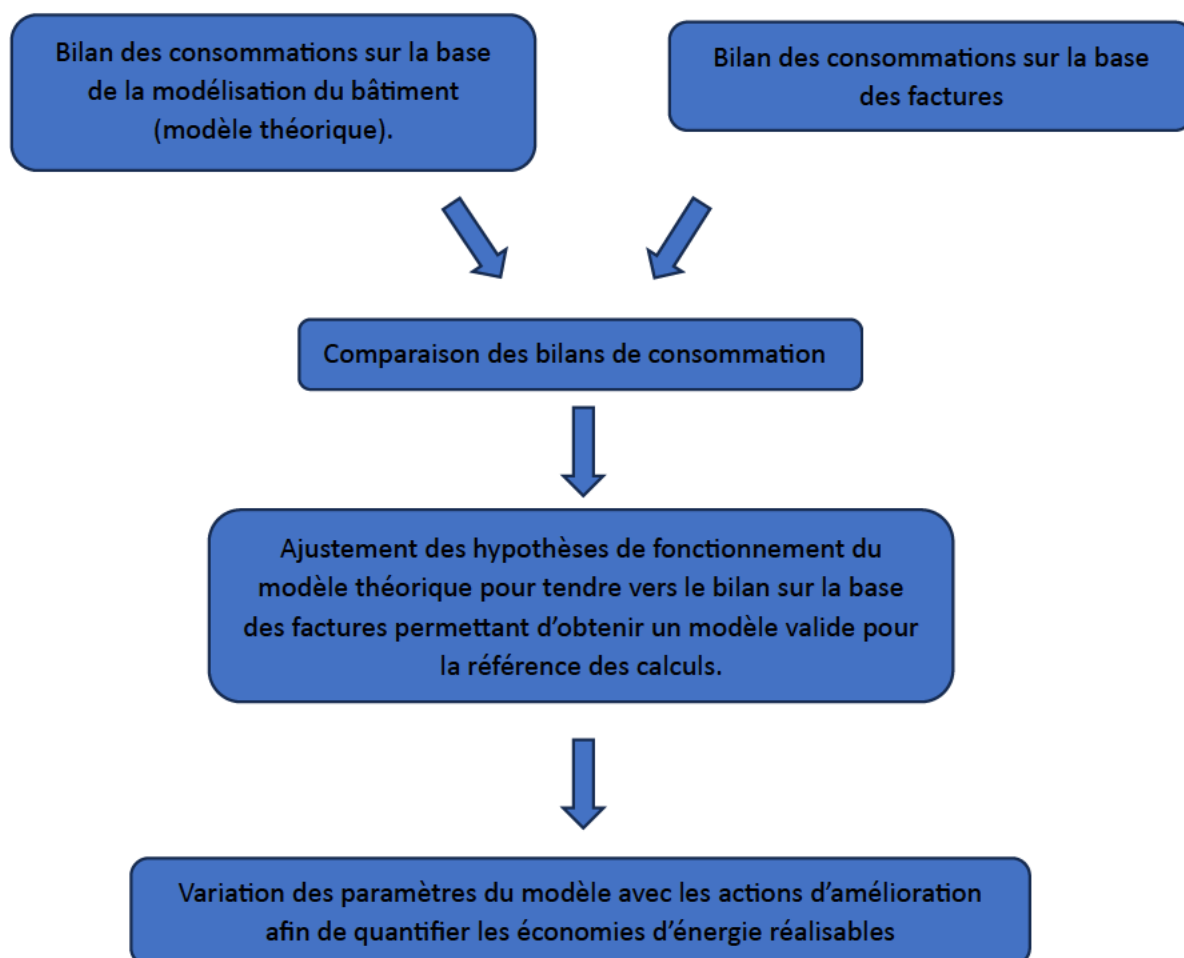
V BILAN ENERGETIQUE DU BATIMENT

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

Les consommations sont basées sur l'analyse des factures et/ou des synthèses fournies par le maître d'ouvrage.

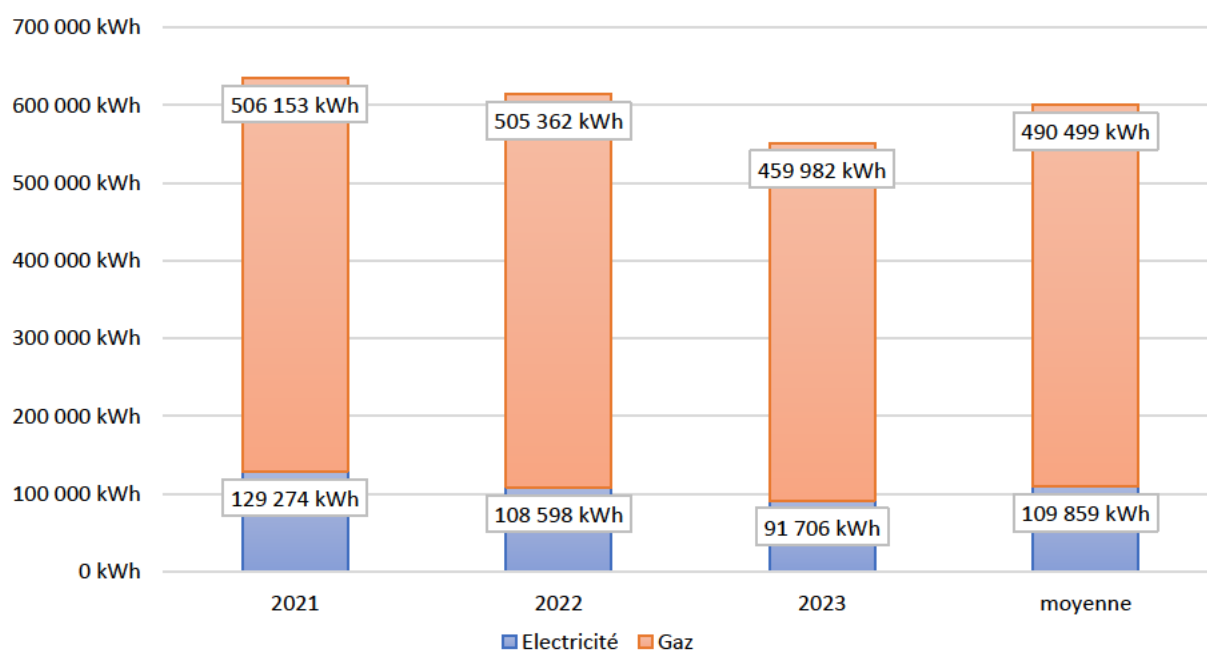
Elles sont basées sur les relevés de compteurs effectués par les fournisseurs d'énergie permettant ainsi de connaître les dates exactes des consommations. Elles reflètent donc les consommations réelles sur les périodes données. Les charges annuelles correspondantes ne correspondent pas à la somme des factures des années de références, car celles-ci sont en partie basées sur des estimations de consommations effectuées par les fournisseurs.

Dans le cas présent, le bilan des consommations est basé sur les factures des années 2021, 2022, et 2023.

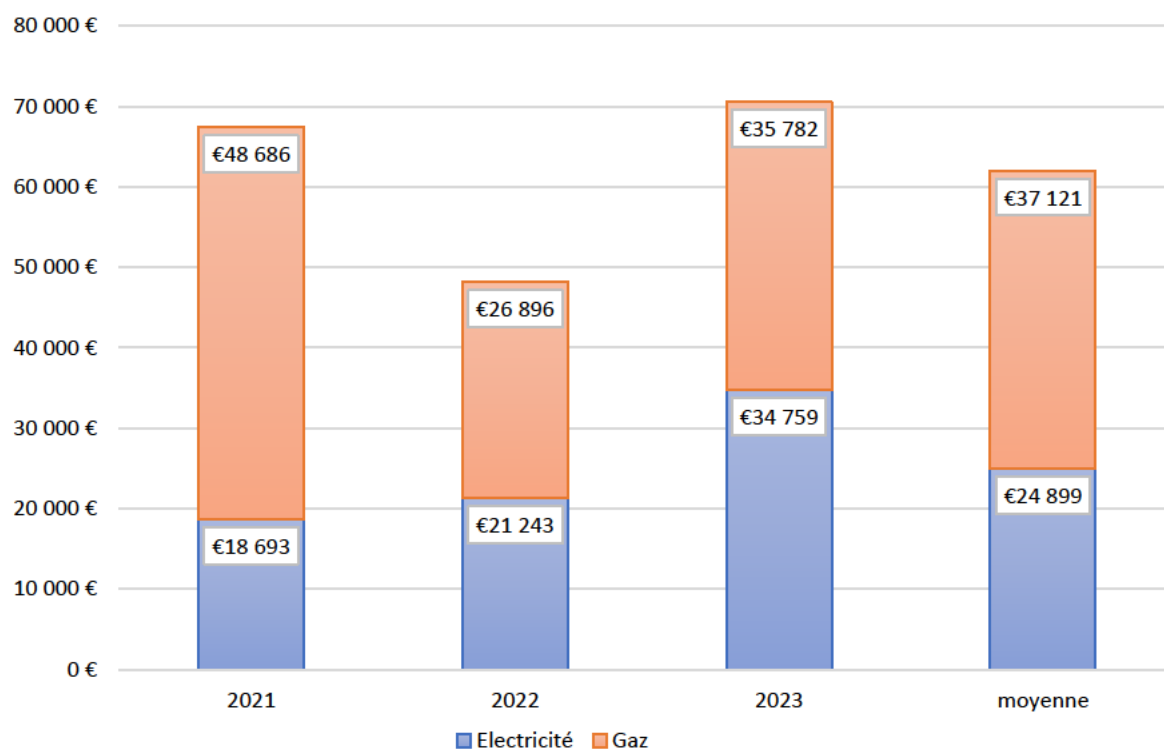
La consommation de référence du bâtiment qui sera considérée dans l'étude correspond à la moyenne des années dont les données disponibles sont représentatives d'un fonctionnement normal du bâtiment.

| Année | Energie | Consommations | Consommations totales | Coûts | Coûts totaux |
|-----------------------------|-------------|---------------|-----------------------|----------|--------------|
| 2021 | Electricité | 129 274 kWh | 635 427 kWh | 18 693 € | 67 379 € |
| | Gaz | 506 153 kWh | | 48 686 € | |
| 2022 | Electricité | 108 598 kWh | 613 960 kWh | 21 243 € | 48 139 € |
| | Gaz | 505 362 kWh | | 26 896 € | |
| 2023 | Electricité | 91 706 kWh | 551 688 kWh | 34 759 € | 70 541 € |
| | Gaz | 459 982 kWh | | 35 782 € | |
| MOYENNE (2021,2022,2023) | Electricité | 109 859 kWh | 600 358 kWh | 24 899 € | 62 020 € |
| | Gaz | 490 499 kWh | | 37 121 € | |

Consommations d'énergie du bâtiment



Charges financières dues aux consommations d'énergie



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.

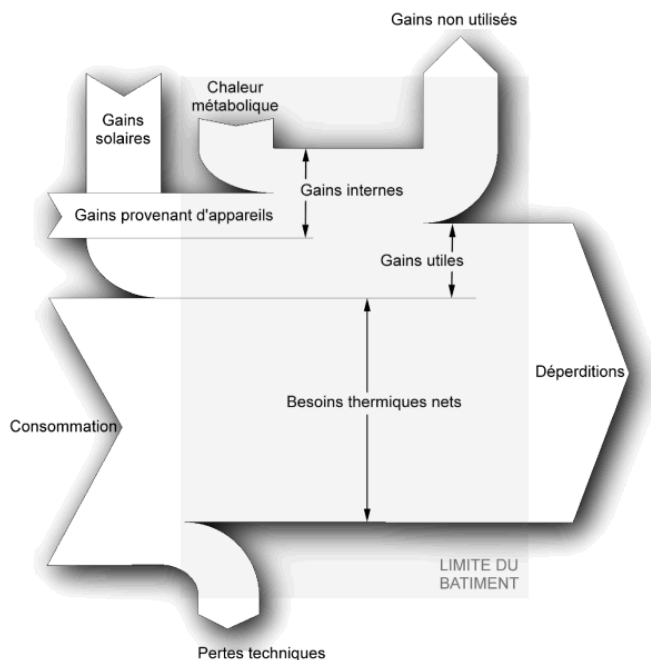
De plus, toutes les hypothèses de calcul sont maîtrisées ce que ne permettent pas les logiciels de calculs réglementaires. Par exemple, c'est l'utilisateur du logiciel qui définit quand, et à quelle température les locaux sont chauffés. Les données utilisées pour la météo sont aussi maîtrisées.

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.

Enfin, il permet de connaître l'évolution des températures 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 :

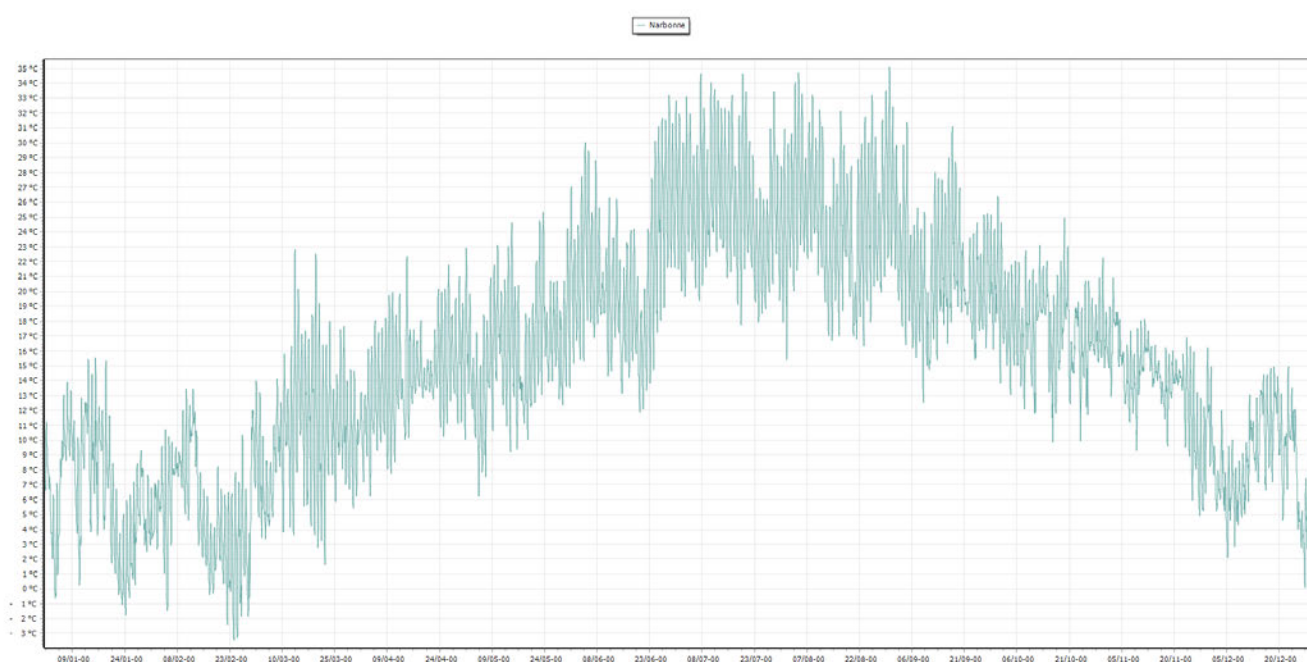
- les plans architecte du bâtiment (phase PRO).
- les plans de structure du bâtiment (phase PRO).
- les plans de chauffage et de ventilation du projet du bâtiment (phase PRO).
- les CCTP de tous les corps d'état du projet du bâtiment (phase PRO).
- les heures d'occupations mensuelles de chaque salle.
- les plannings d'occupation des salles par les différents groupes d'élèves.
- les effectifs de chaque groupe d'élèves.

V.2.4 Climatologie

Le site météo pris en compte pour les différentes simulations dynamiques est celui de **Narbonne**. Les données de bases utilisées sont celles de PV-GIS (Système d'Information Géographique Photovoltaïque) 2005-2020.

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)



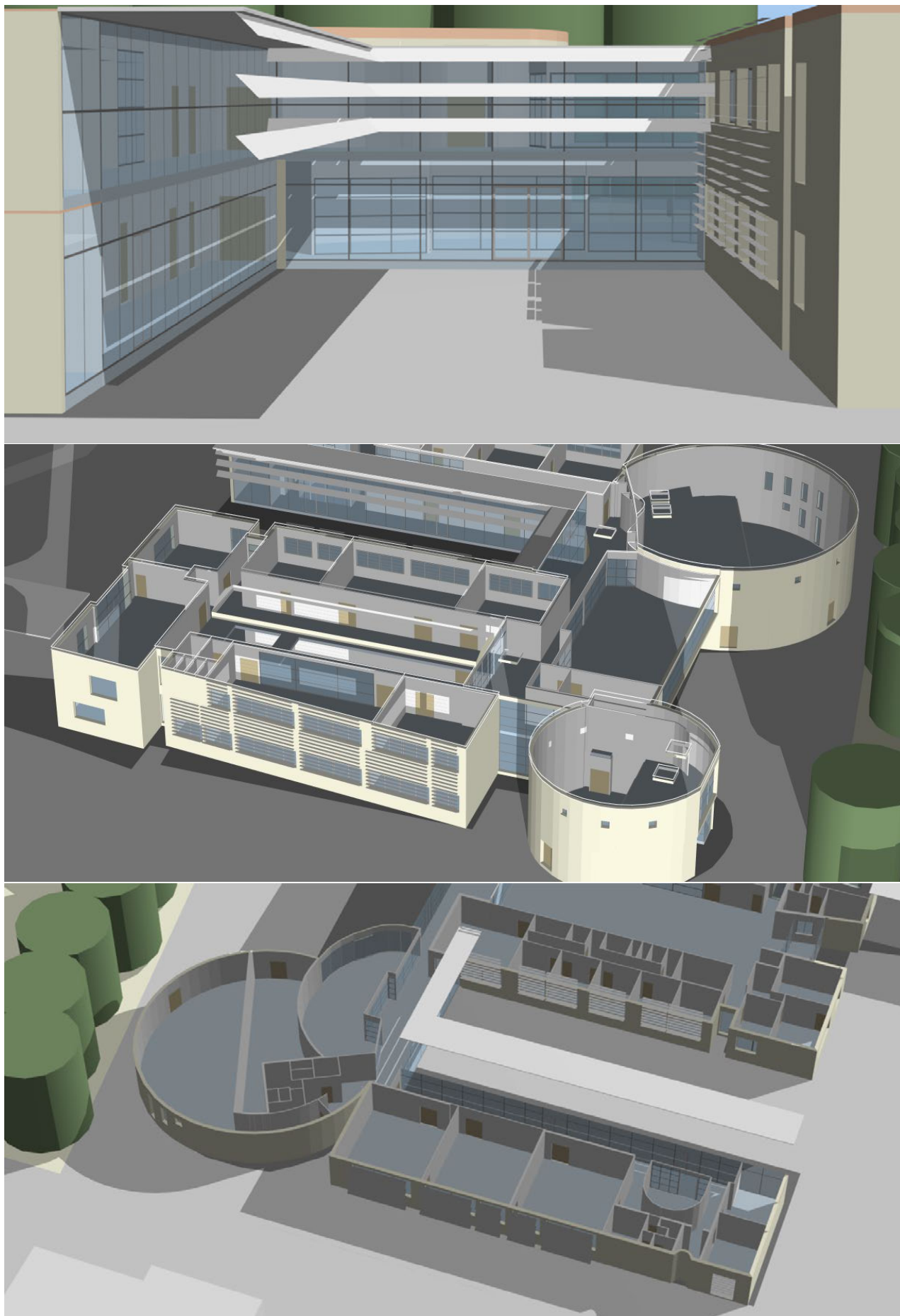
Ce graphique représente l'évolution des températures avec un pas horaire constitué grâce aux données météorologiques des dernières années.

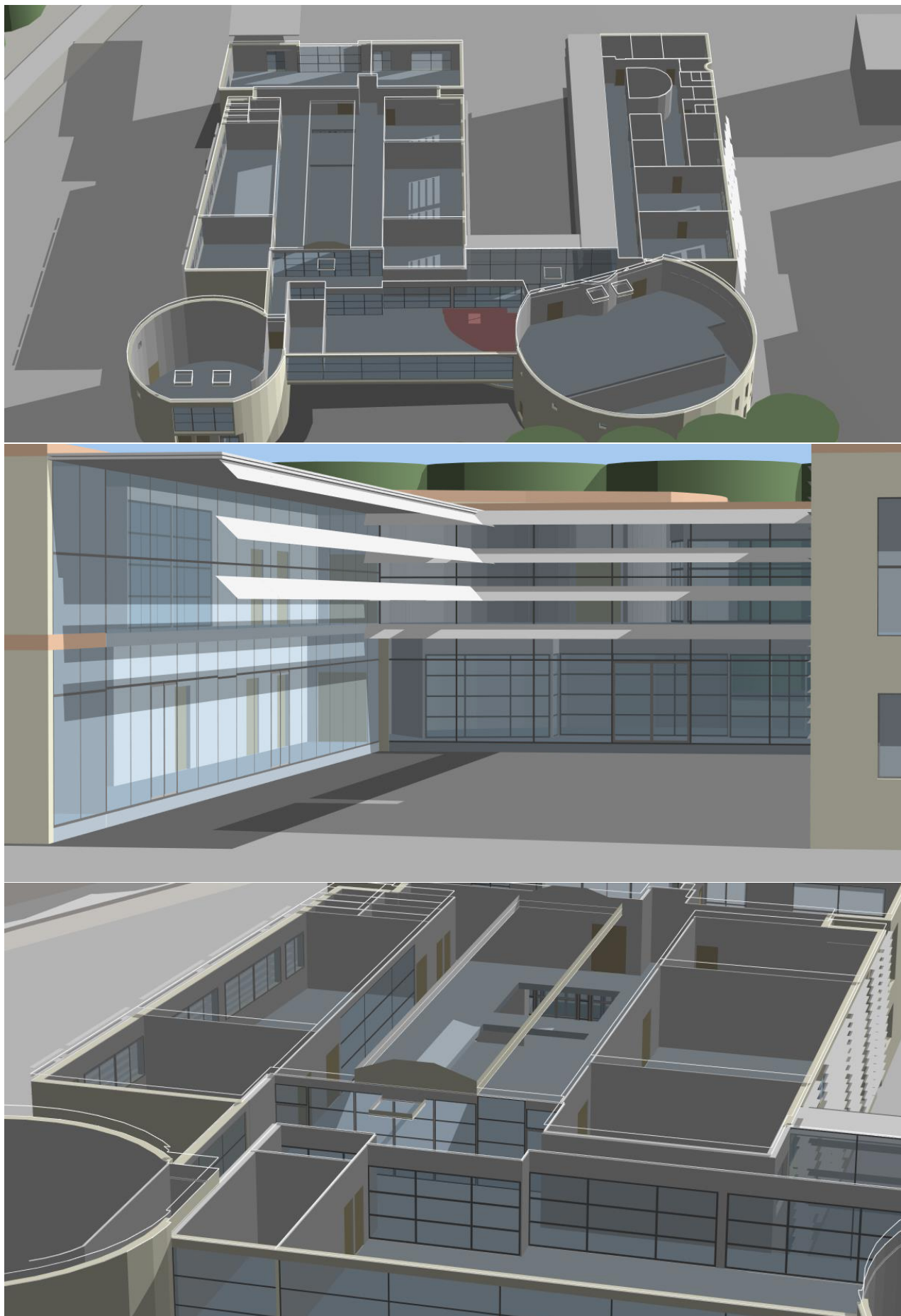
V.2.5 Modélisation graphique

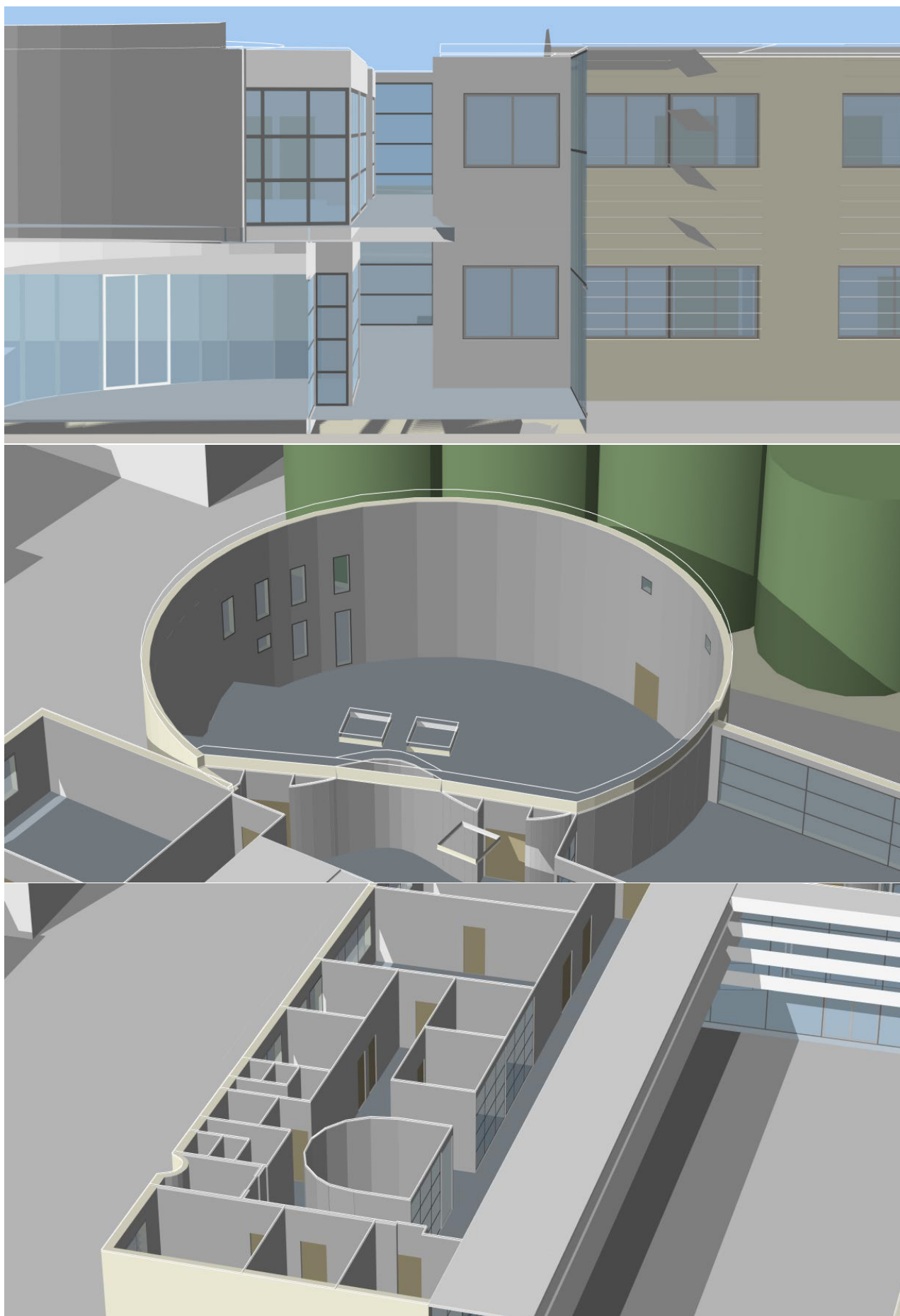
Les bâtiments sont modélisés en trois dimensions grâce à l'éditeur graphique du logiciel.

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.







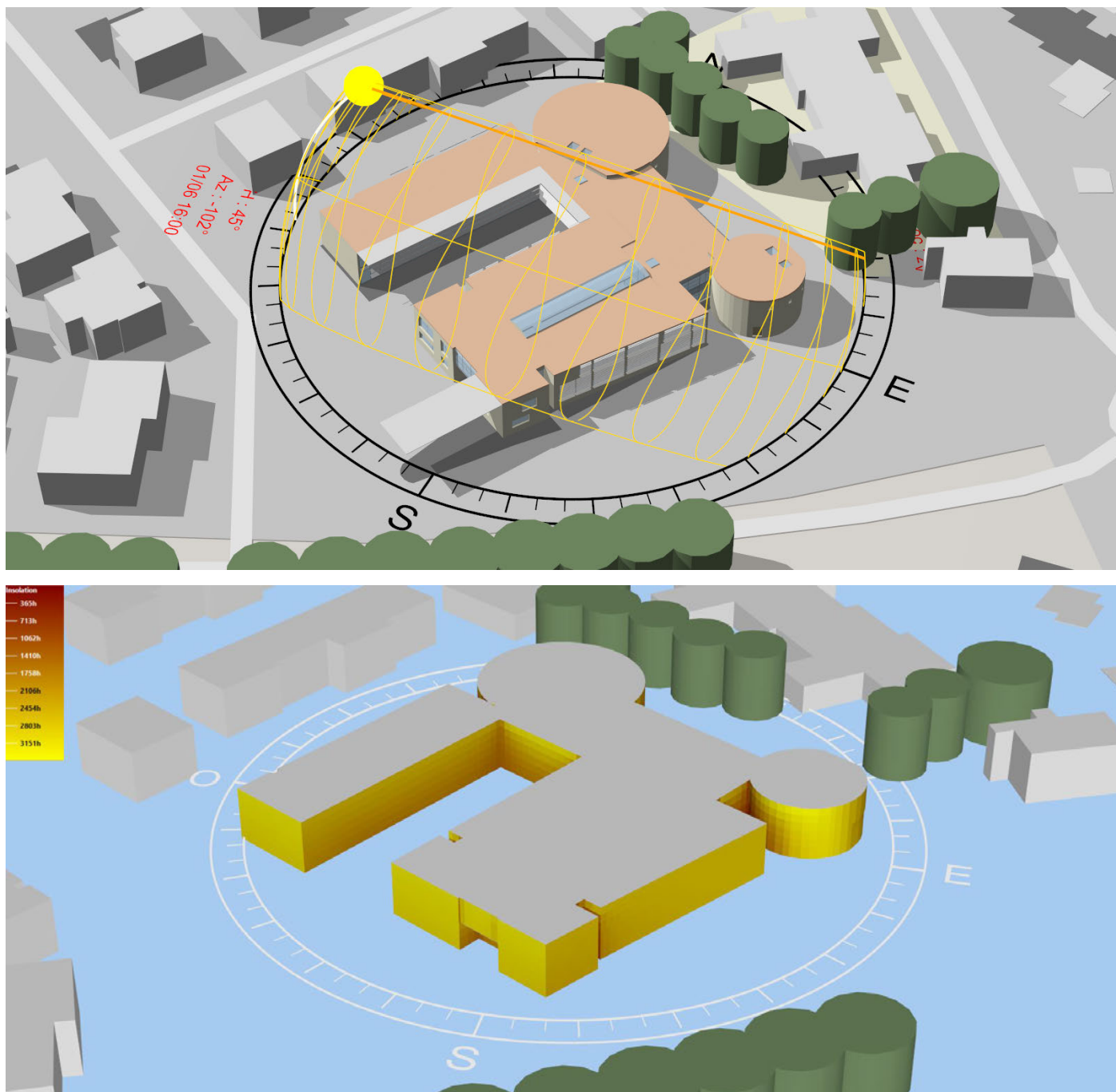


V.2.6 Analyse d'ensoleillement

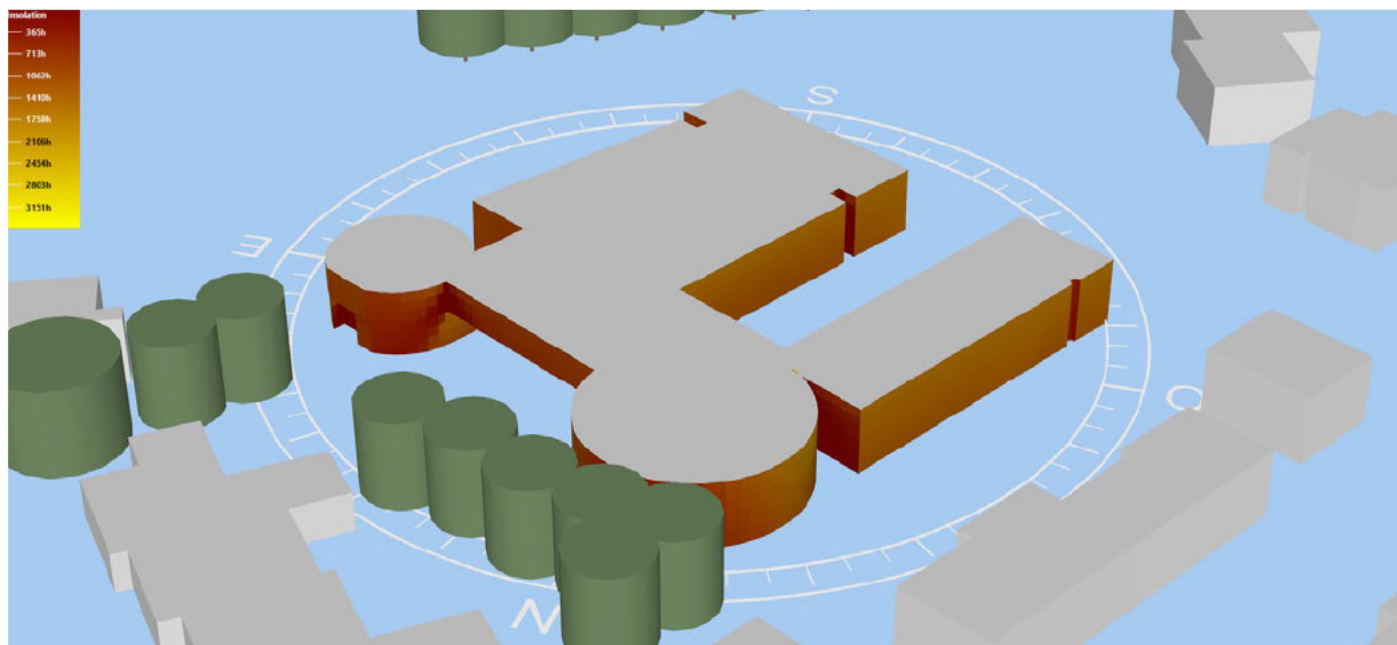
Les bâtiments sont vus en situation d'éclairement à différents moments stratégiques de l'année.

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 mobiles intégrées aux menuiseries (volets) sont ouvertes. Dans le calcul thermique, les protections solaires mobiles seront utilisées.



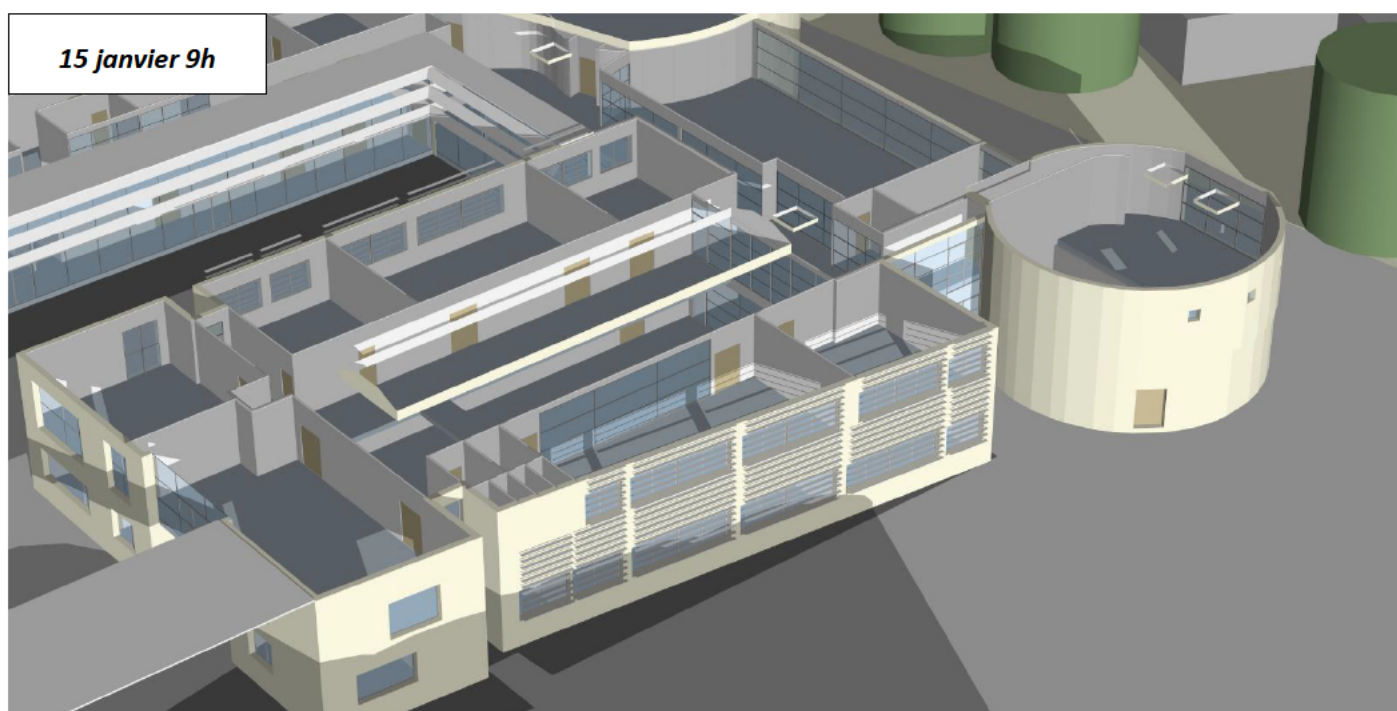
Ensoleillement des façades Sud-Est et Sud-Ouest



Ensoleillement des façades Nord-Est et Nord-Ouest

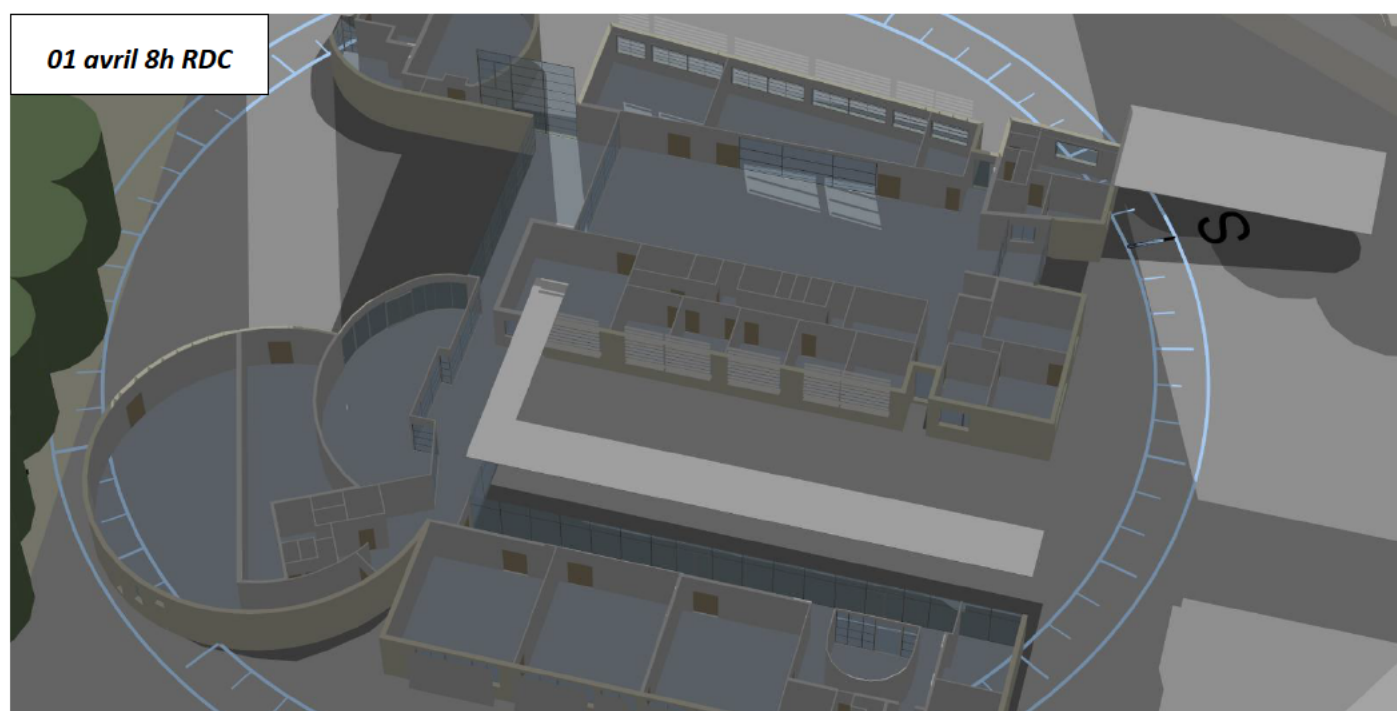
Les façades Sud-Est et Sud-Ouest ne sont presque pas masquées par les bâtiments et la végétation aux alentours contrairement aux façades Nord-Est et Nord-Ouest. Compte tenu de la disposition de ces masques, le côté Sud du bâtiment est beaucoup plus ensoleillé que le côté Nord en plus du différentiel normal inhérent à l'orientation.

Ensoleillement le matin



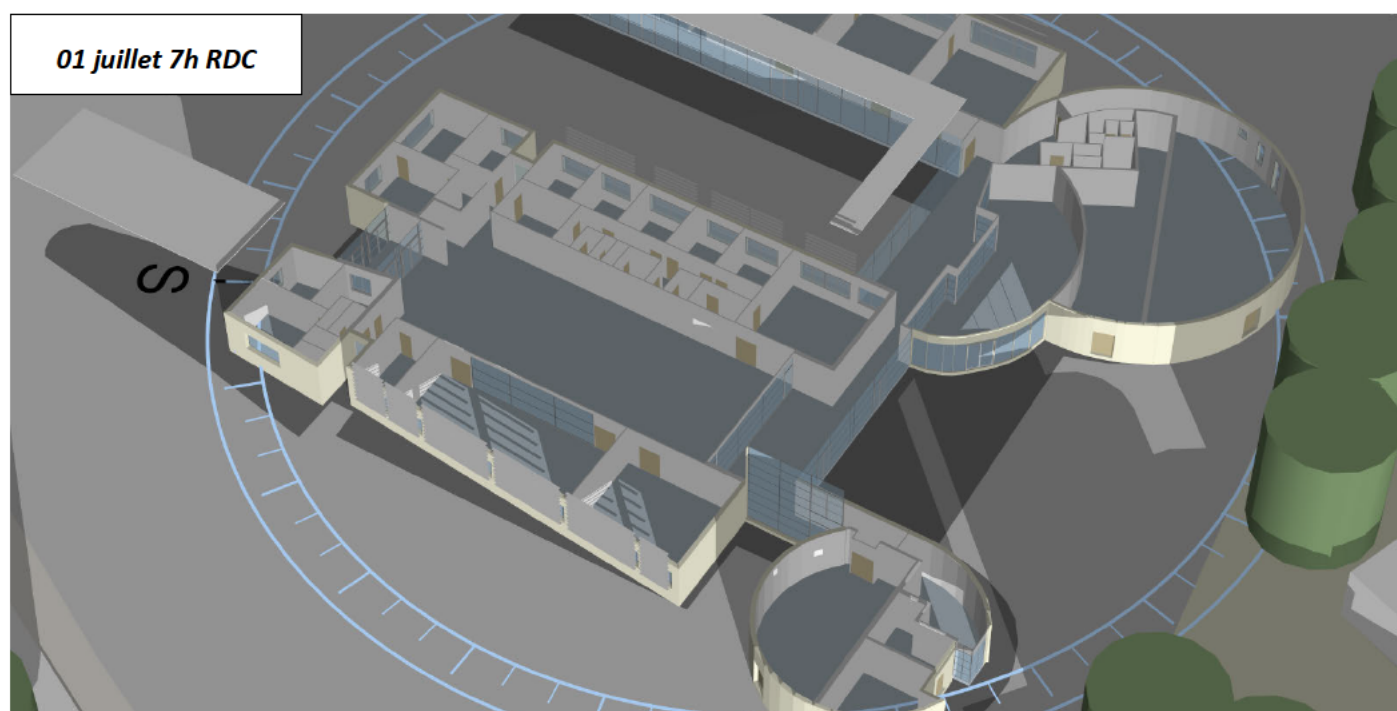
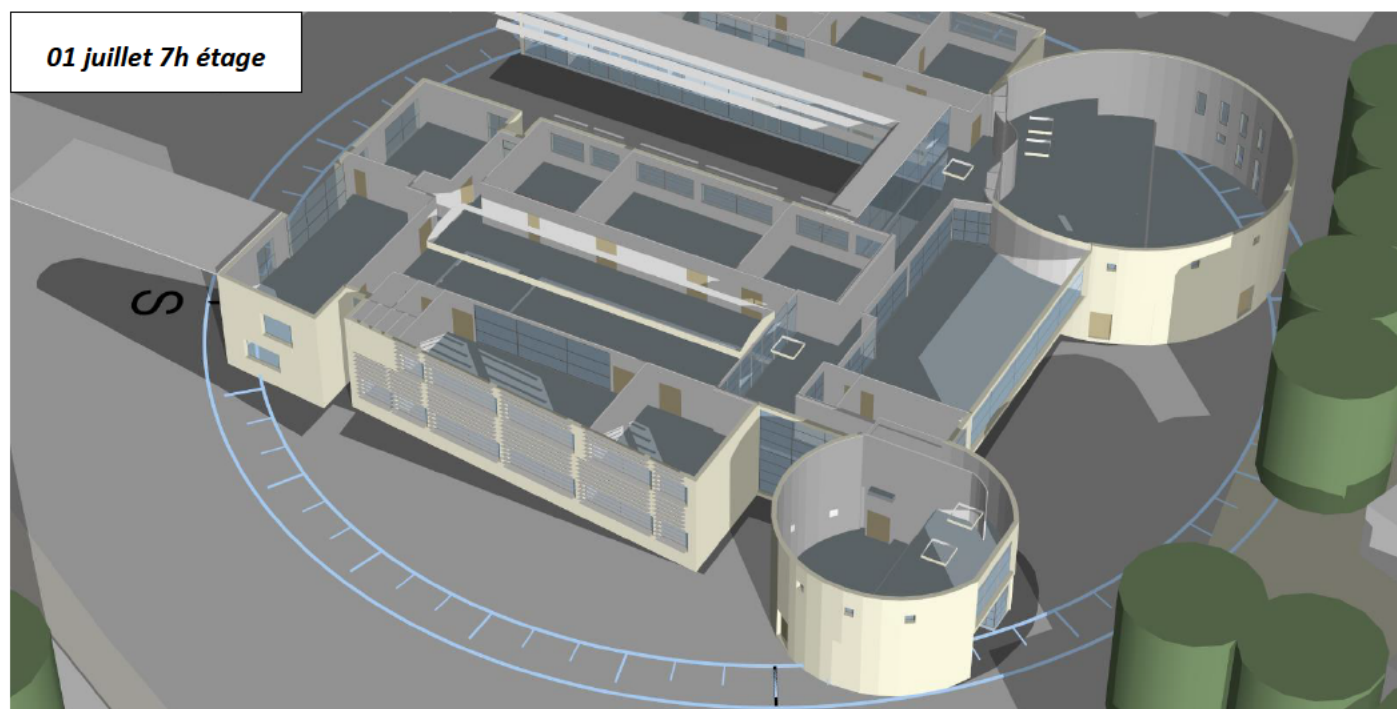
Hivers / matin : le soleil pénètre dans le bâtiment par la façade Sud-Est au niveau de l'IUT.

La faible hauteur du soleil lui permet de passer entre les brise-soleils. Cependant, la grande façade vitrée des licences de droit reçoit peu d'apports car elle est masquée par l'IUT. Aucuns apports par la toiture vitrée.



Mi-saison / matin : le soleil pénètre dans le bâtiment par la façade Sud-Est au niveau de l'IUT et des licences de droit.

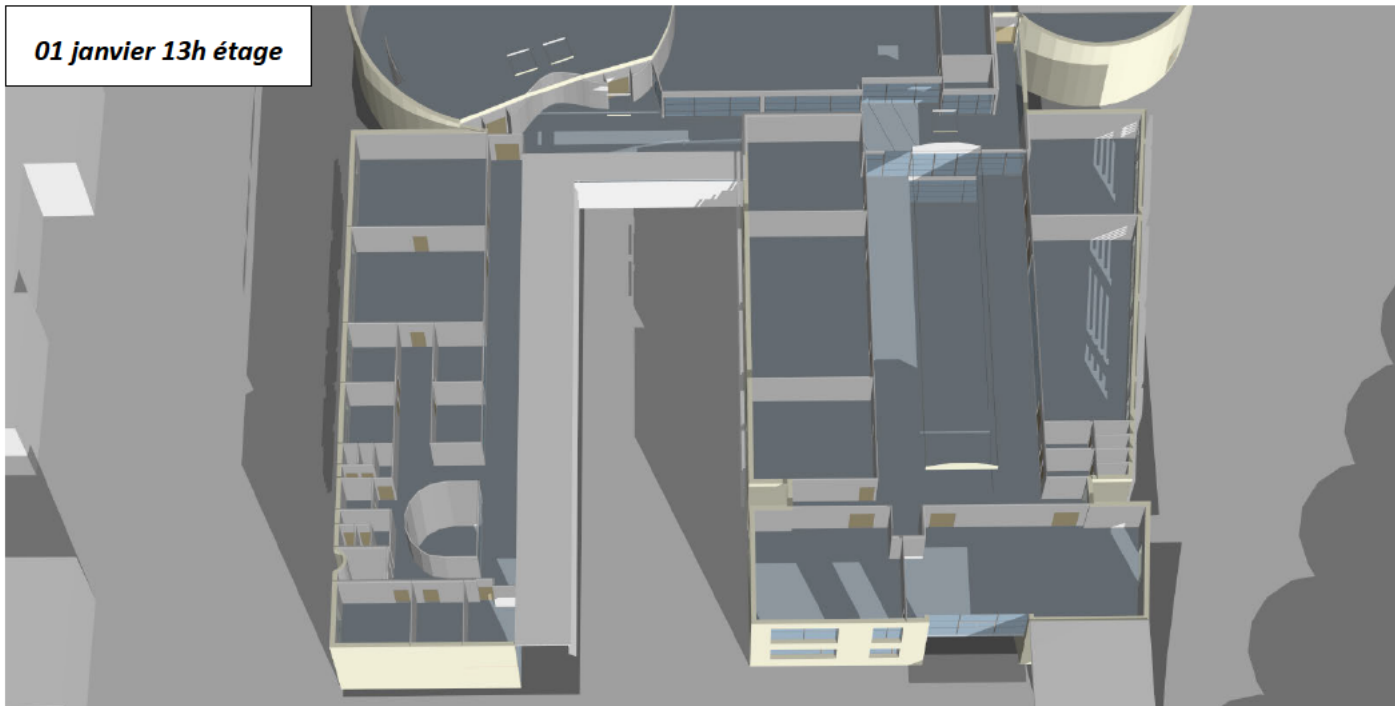
La faible hauteur du soleil lui permet de passer entre les brise-soleils. La grande façade vitrée des licences de droit reçoit des apports car le soleil est maintenant assez haut pour ne plus être masqué par l'IUT mais reste suffisamment bas pour passer en dessous de la casquette. Aucuns apports par la toiture vitrée.



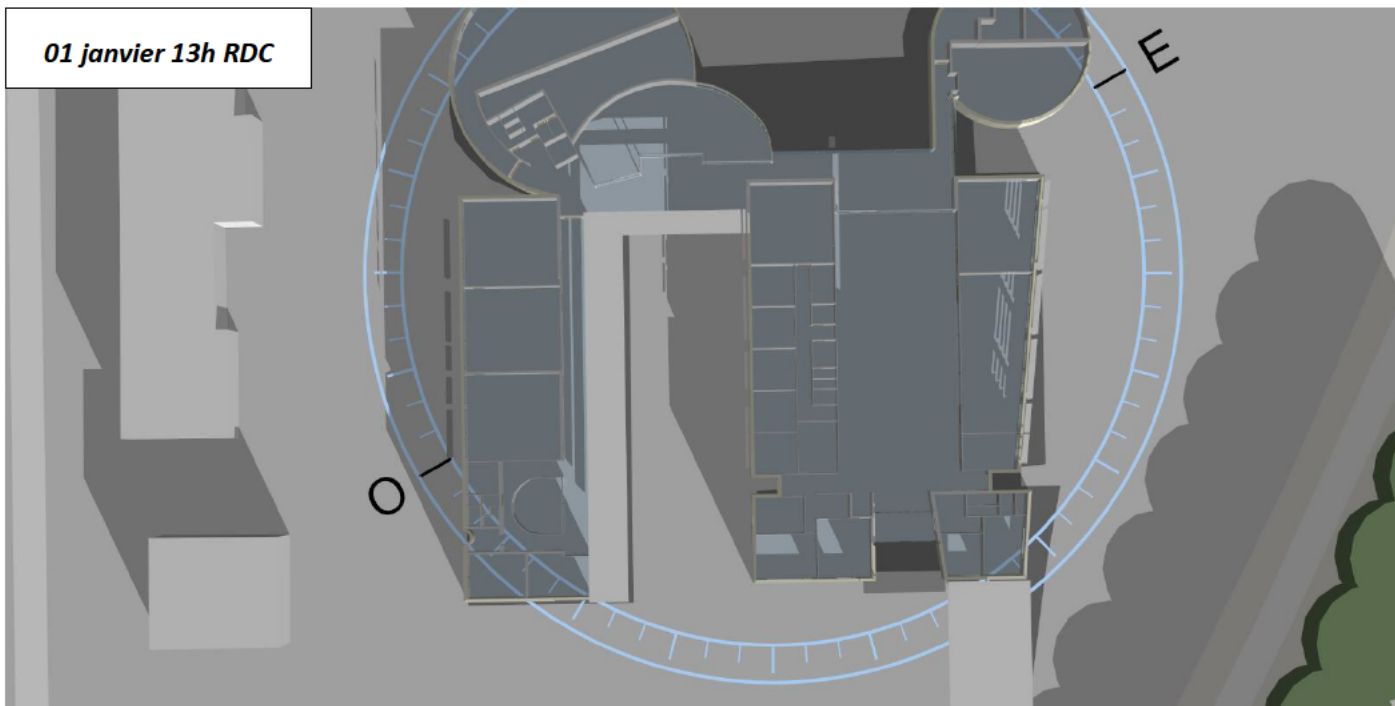
*Eté / matin : le soleil pénètre dans le bâtiment par la façade Sud-Est au niveau de l'IUT et des licences de droit au RDC.
Il pénètre également par la façade Nord-Est et par la toiture vitrée.*

Ensoleillement à la mi-journée

01 janvier 13h étage

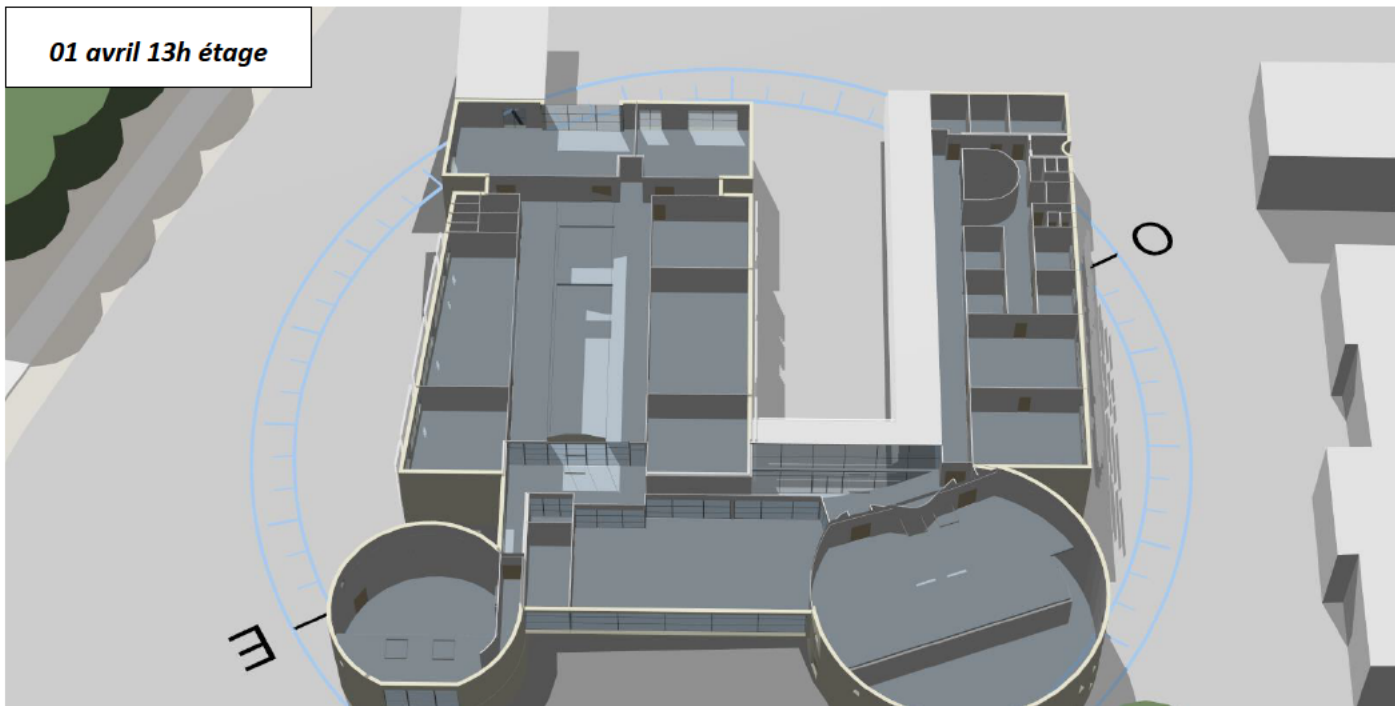


01 janvier 13h RDC

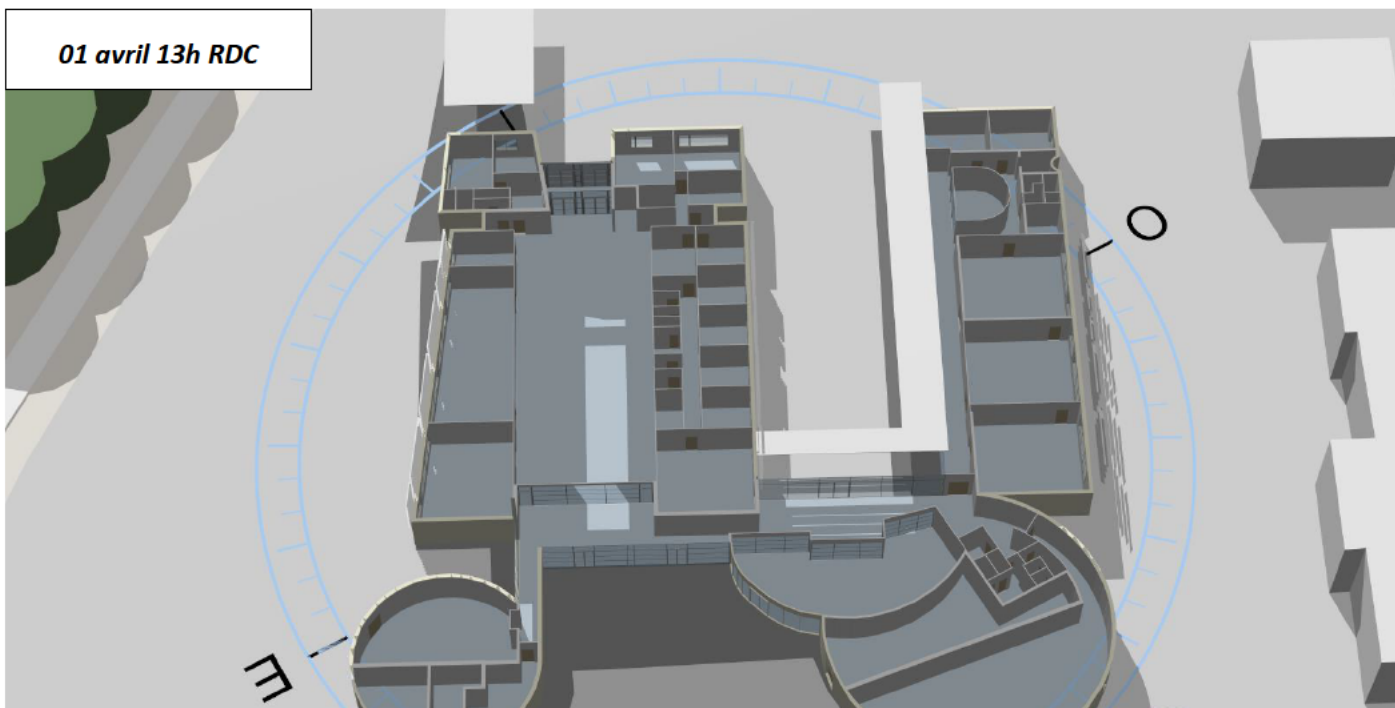


Hivers / mi-journée : le soleil pénètre bien dans le bâtiment par les façades Sud-Ouest, peu par les façades Sud-Est et un peu par la toiture vitrée.

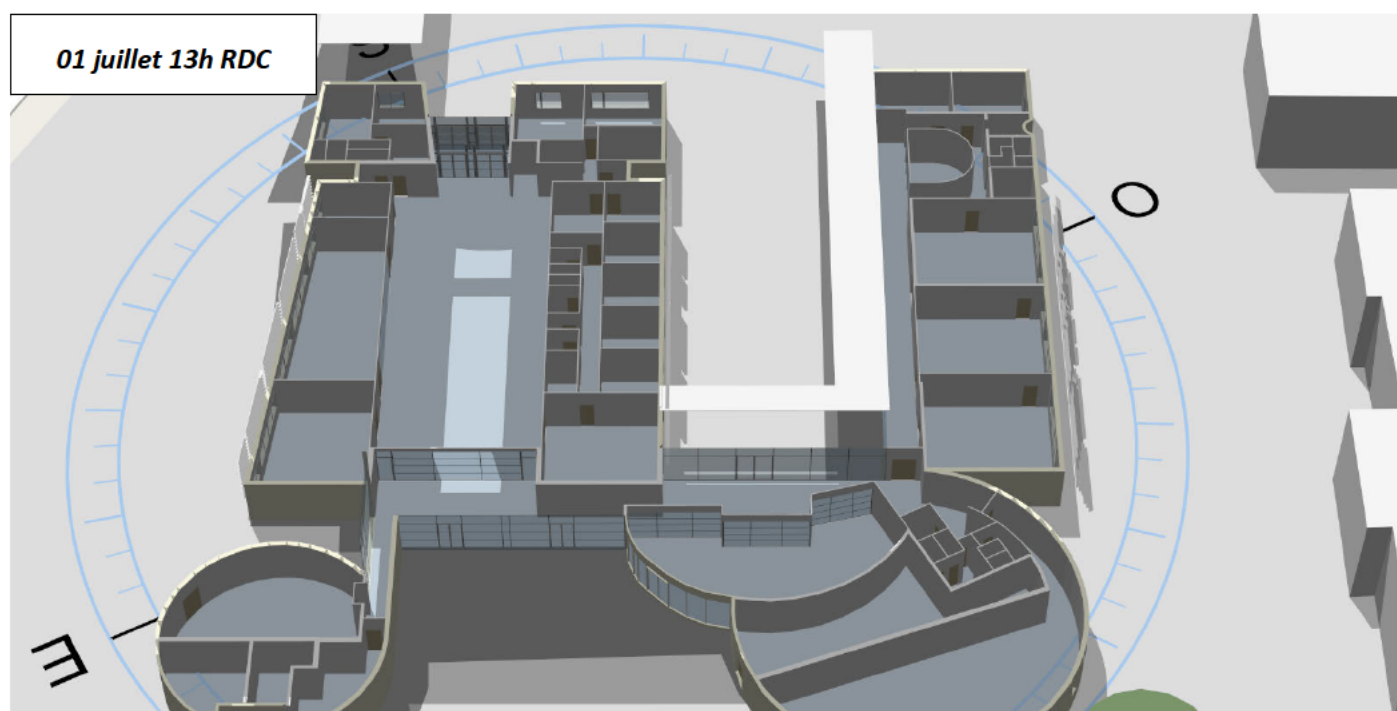
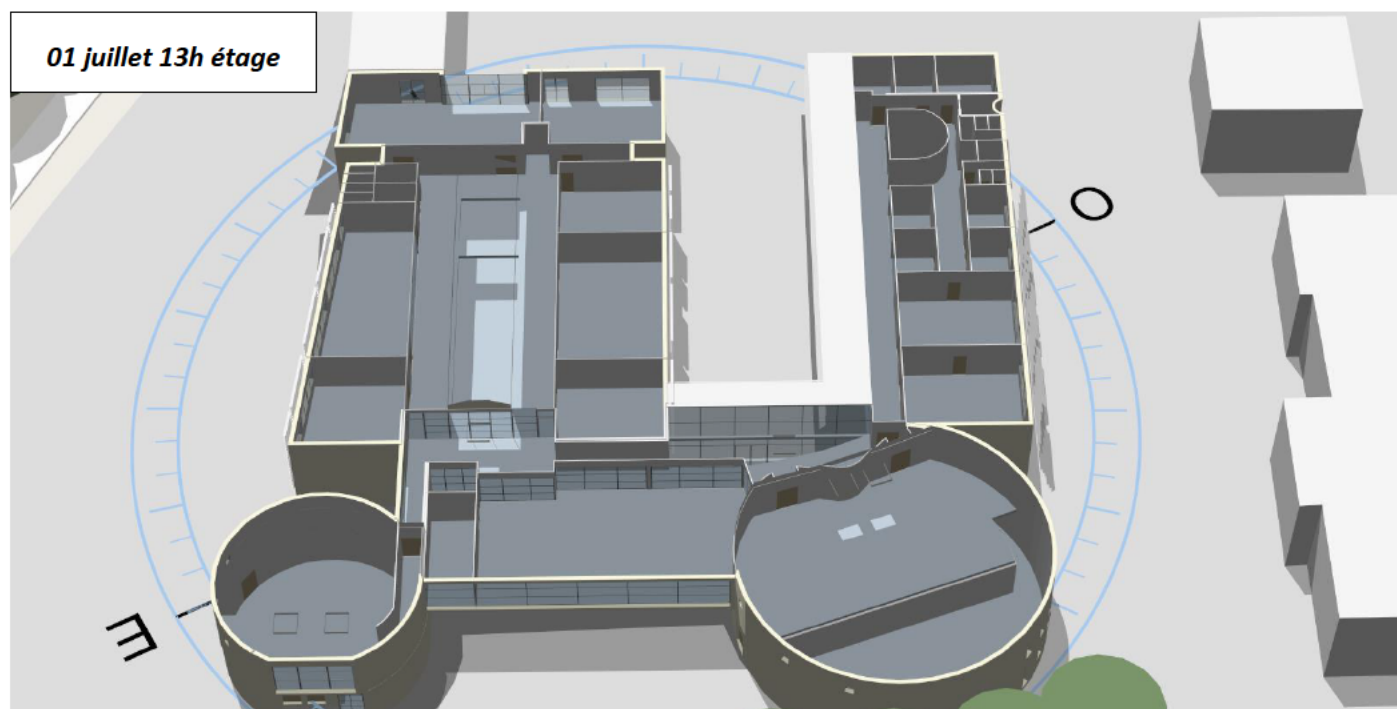
01 avril 13h étage



01 avril 13h RDC



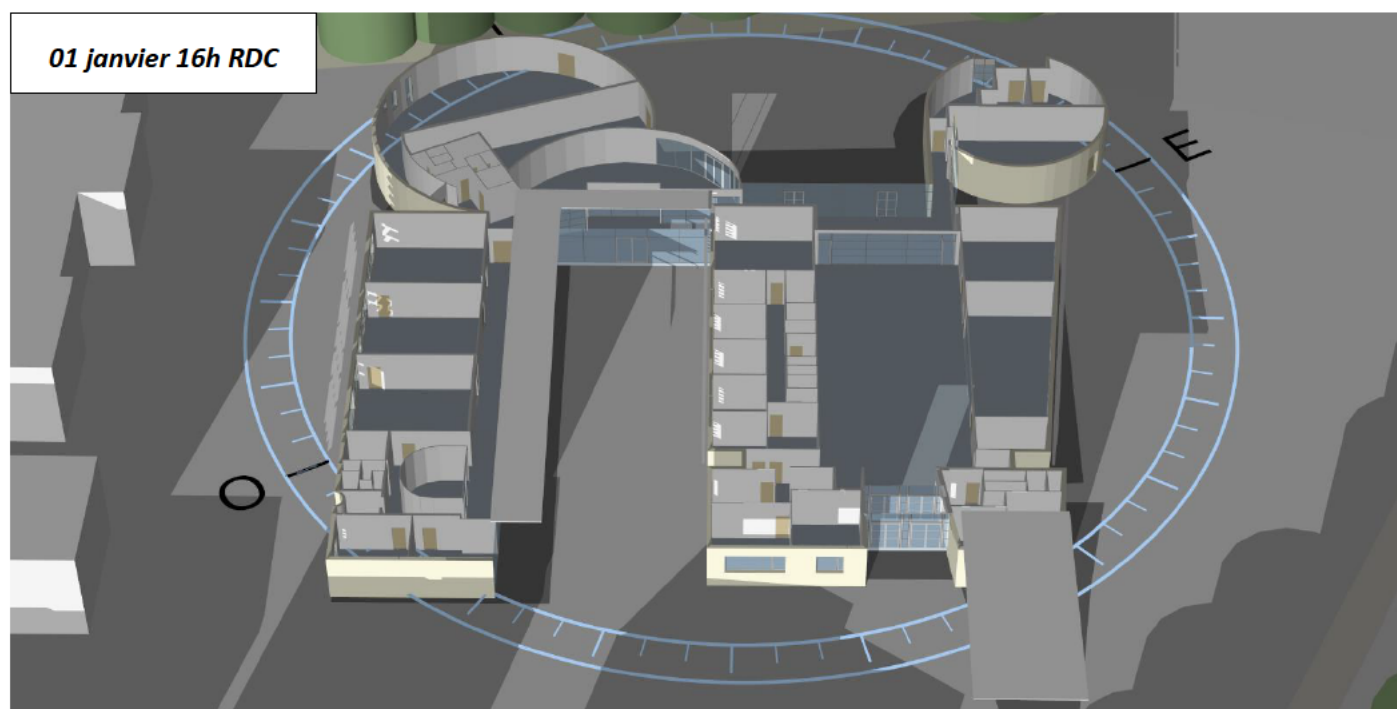
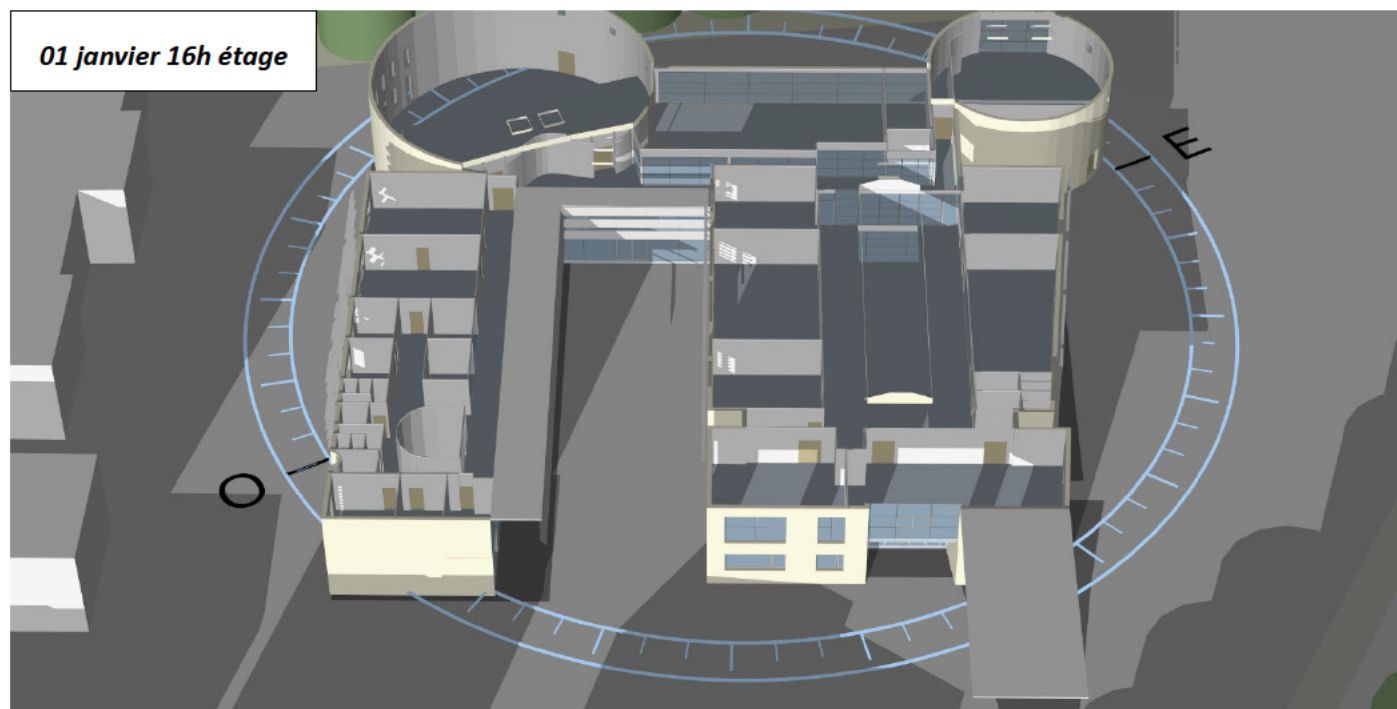
Mi-saison / mi-journée : le soleil pénètre dans le bâtiment par les façades Sud-Ouest de l'IUT. Les façades Sud-Ouest des licences et l'accès central sont protégés par les brise-soleils et les casquettes. Les apports par la toiture vitrée sont importants.



Eté / mi-journée : Il y a un peu d'apports par les menuiseries façade Sud-Ouest de l'IUT. Les apports par la toiture vitrée sont importants.

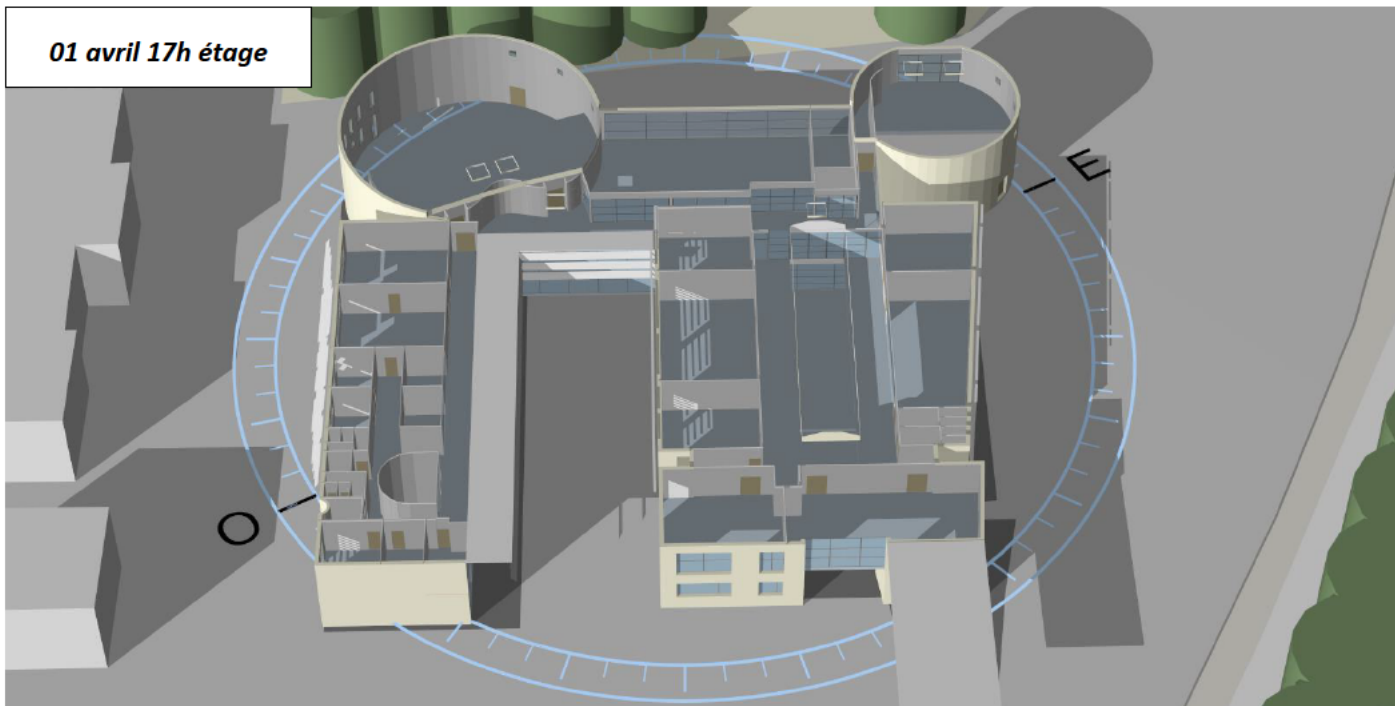
Toutes les autres menuiseries sont bien protégées par les avancées de toiture et par les brise-soleils.

Ensoleillement en fin de journée

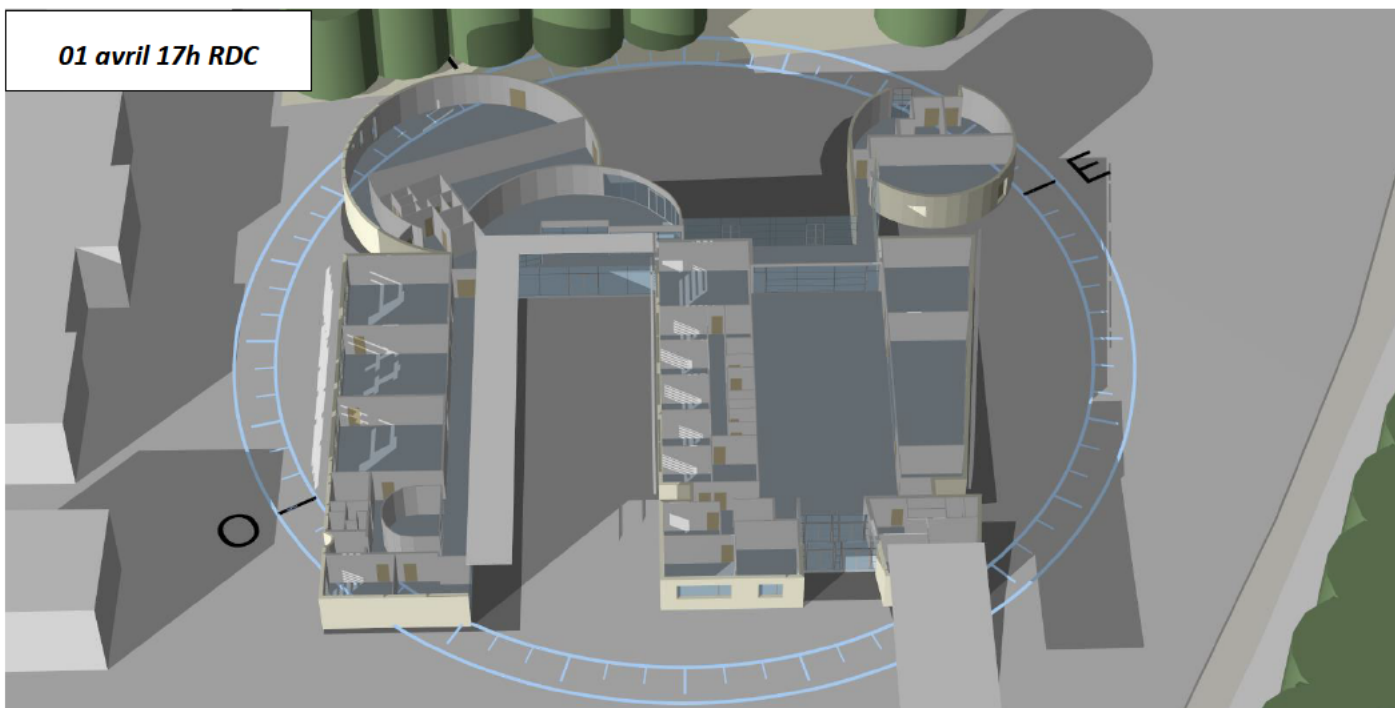


Hivers / fin de journée : le soleil pénètre dans le bâtiment par la façade Sud-Ouest. Pas d'apport par la toiture

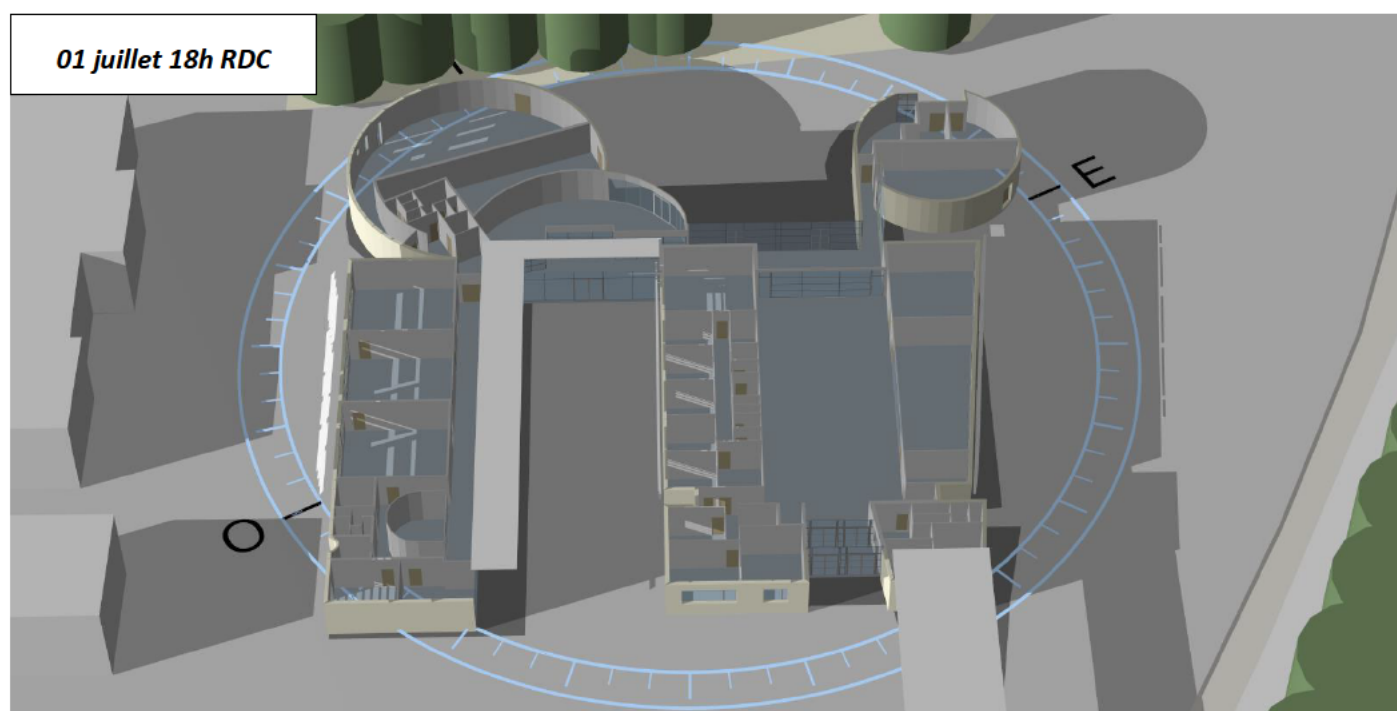
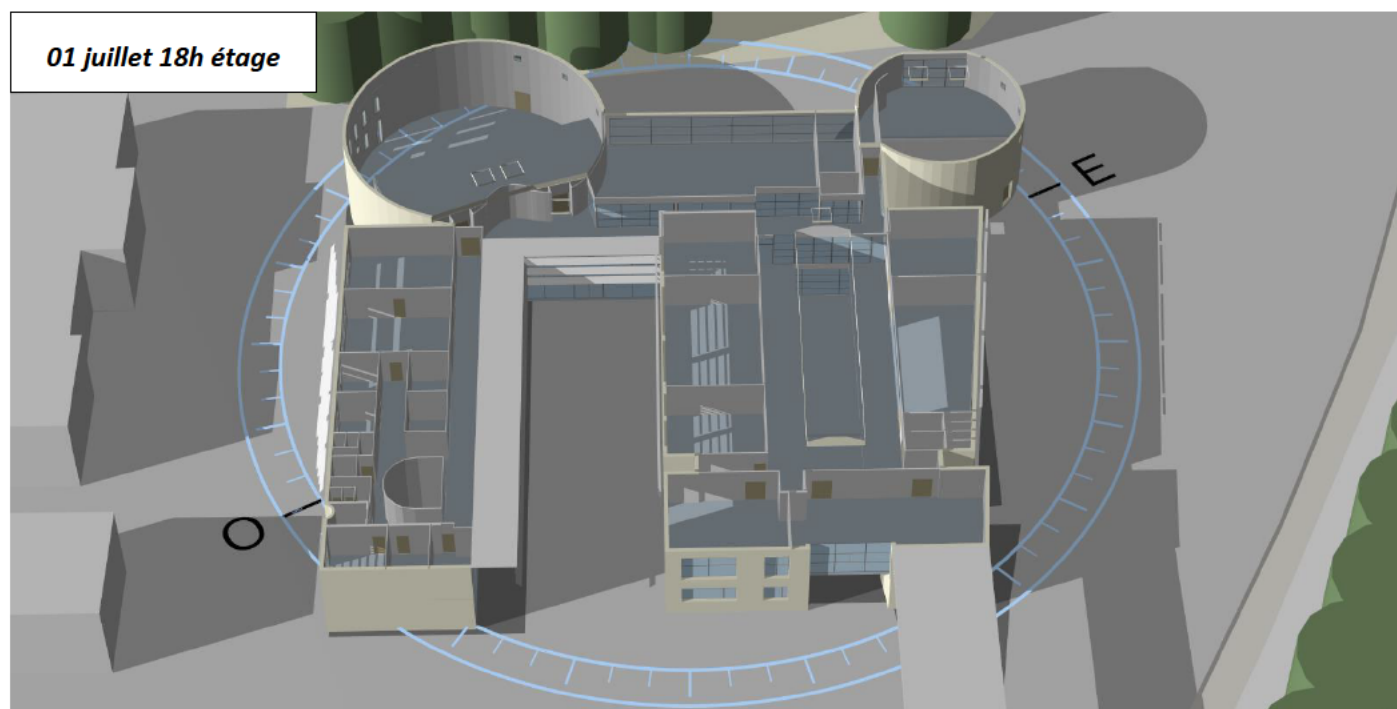
01 avril 17h étage



01 avril 17h RDC



Mi-saison / fin de journée : le soleil pénètre dans le bâtiment par la façade Nord-Ouest de l'IUT. Un peu d'apport par la toiture



Eté / fin de journée : le soleil pénètre dans le bâtiment par la façade Nord-Ouest de l'IUT à l'étage. Un peu d'apport par la toiture

Globalement les casquettes et brise-soleils des murs rideaux de la partie centrale (façade sud) ainsi que des licences (Sud-Est) sont bien dimensionnés et permettent malgré la surface vitrée importante de bien masquer les apports solaires en été. Malheureusement, du fait de leur position dans un renfoncement, elles ne reçoivent que peu d'apports gratuits en hivers.

La façade Sud-Est de l'IUT qui est équipée de brise-soleils bénéficie d'apport en hivers et est bien protégée en été hormis tôt le matin.

La façade Nord-Ouest des licences est bien protégée même le soir en été du fait de l'inclinaison des lames du brise-soleil. Ce n'est pas le cas des lames horizontales pour cette orientation notamment la façade Nord-Ouest de l'IUT.



Le soleil est toujours bas quand il atteint une façade orientée Nord-Ouest. Avec des lames horizontales, le rayonnement peut passer entre les lames.

La façade Sud de l'IUT bénéficie d'apports importants été comme hivers du fait de l'absence de brise-soleil.

La façade Nord-Est (bibliothèque) reçoit des apports presque uniquement en été le matin.

Globalement, l'absence de protection sur la façade Sud de l'IUT est problématique, il faudrait installer des brises soleils à lames horizontales sur cette façade.

Il en va de même pour les fenêtres sur la façade Sud-Est de l'IUT et pour le mur rideau au Sud-Est entre le petit amphi et l'IUT.

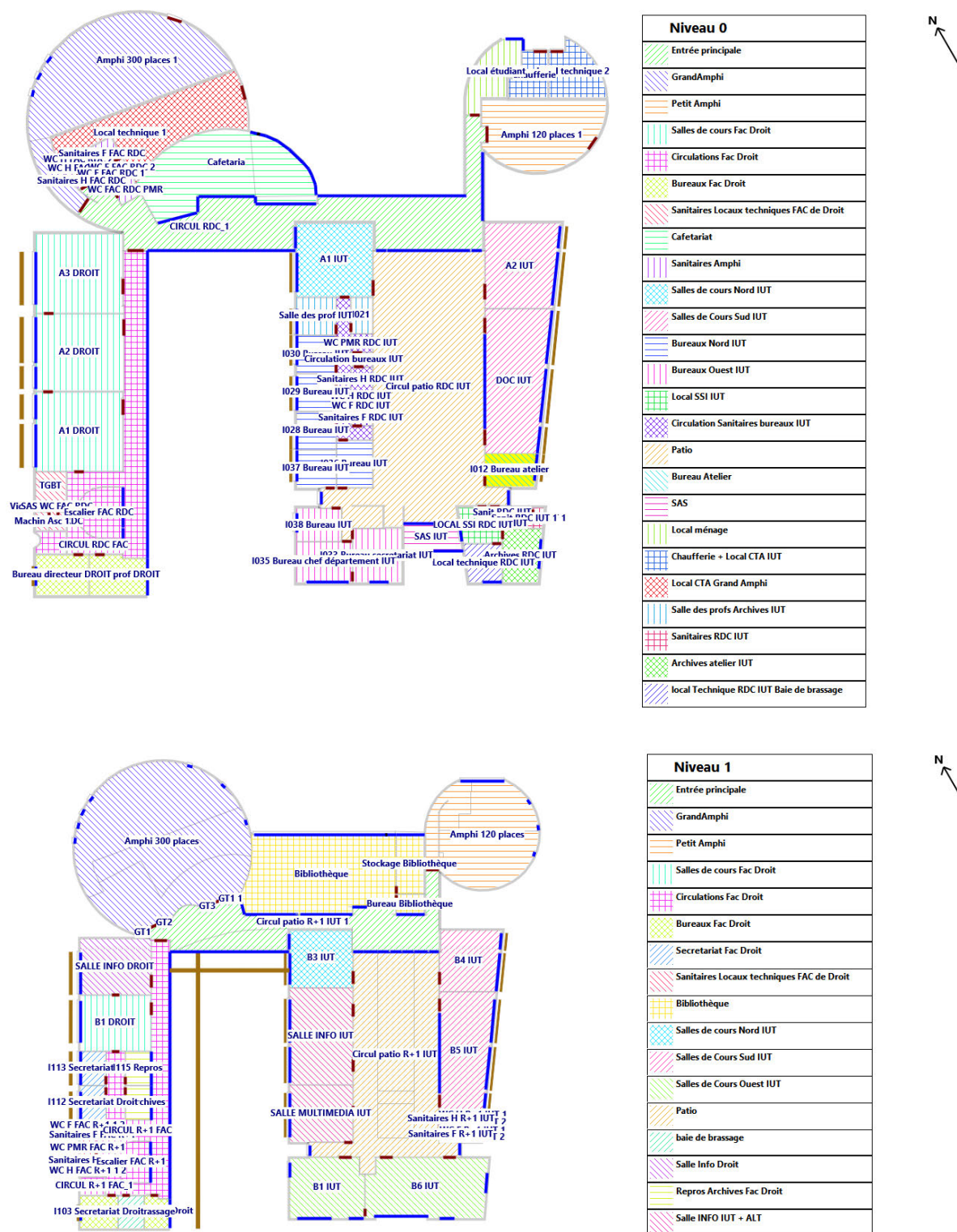
La façade Nord-Est (bibliothèque et petit amphi) pourrait également recevoir des brise-soleils, soit avec une forte inclinaison, soit verticaux.

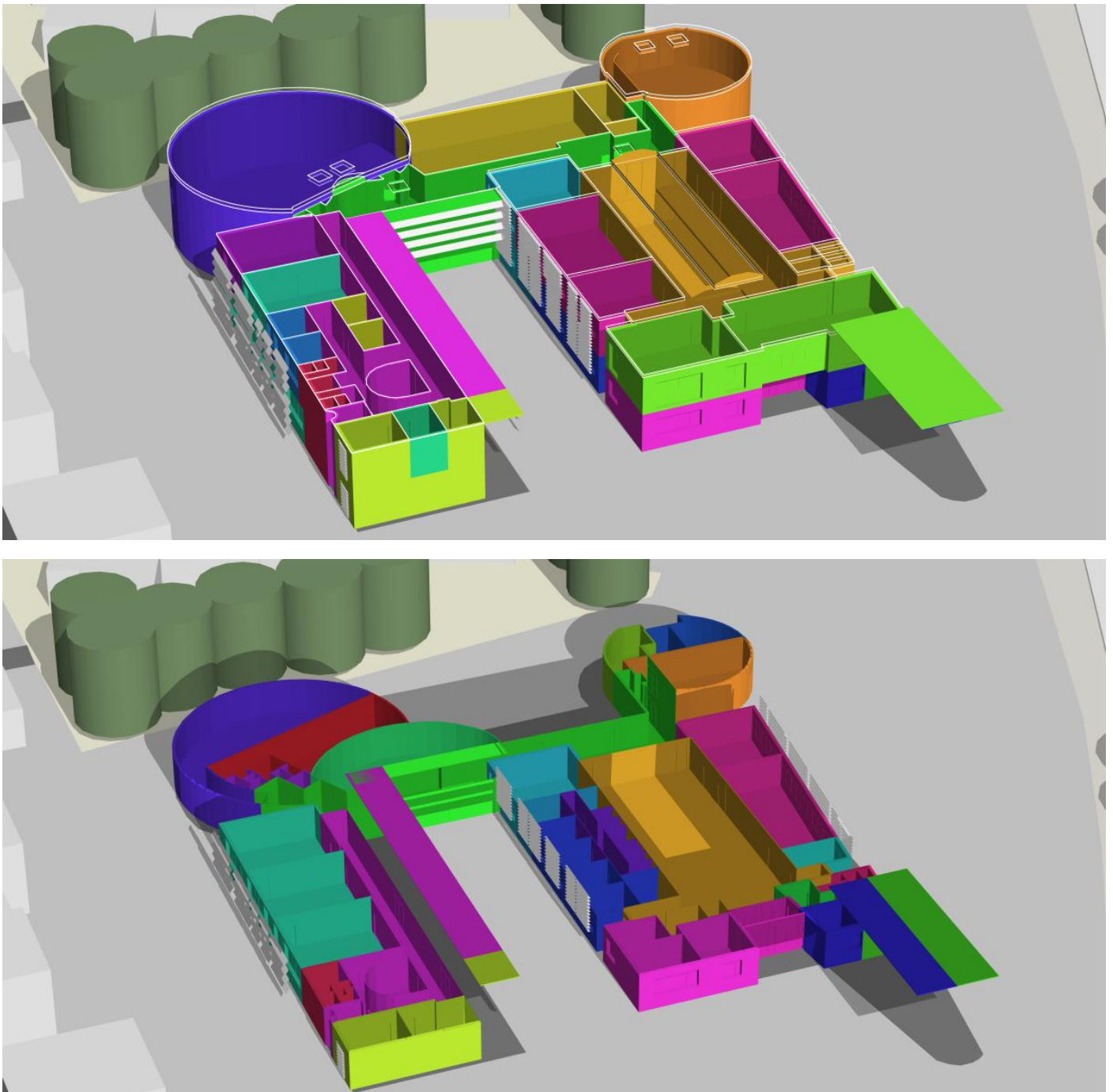
La présence de volets roulants sur quasiment toutes les fenêtres est très utile et permet de compléter les protections solaires fixes dans les moments de la journée où celle-ci ne sont pas efficaces.

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.





Vue 3D du zonage thermique

V.2.8 Scénarios d'utilisation du bâtiment

Les scénarios d'utilisation du bâtiment ont été créés sur la base des informations fournies par la maîtrise d'ouvrage.

Les scénarios portent sur :

- L'occupation
- Les consignes de température
- Les puissances dissipées par les équipements présents
- Les ventilations
- Les éclairages

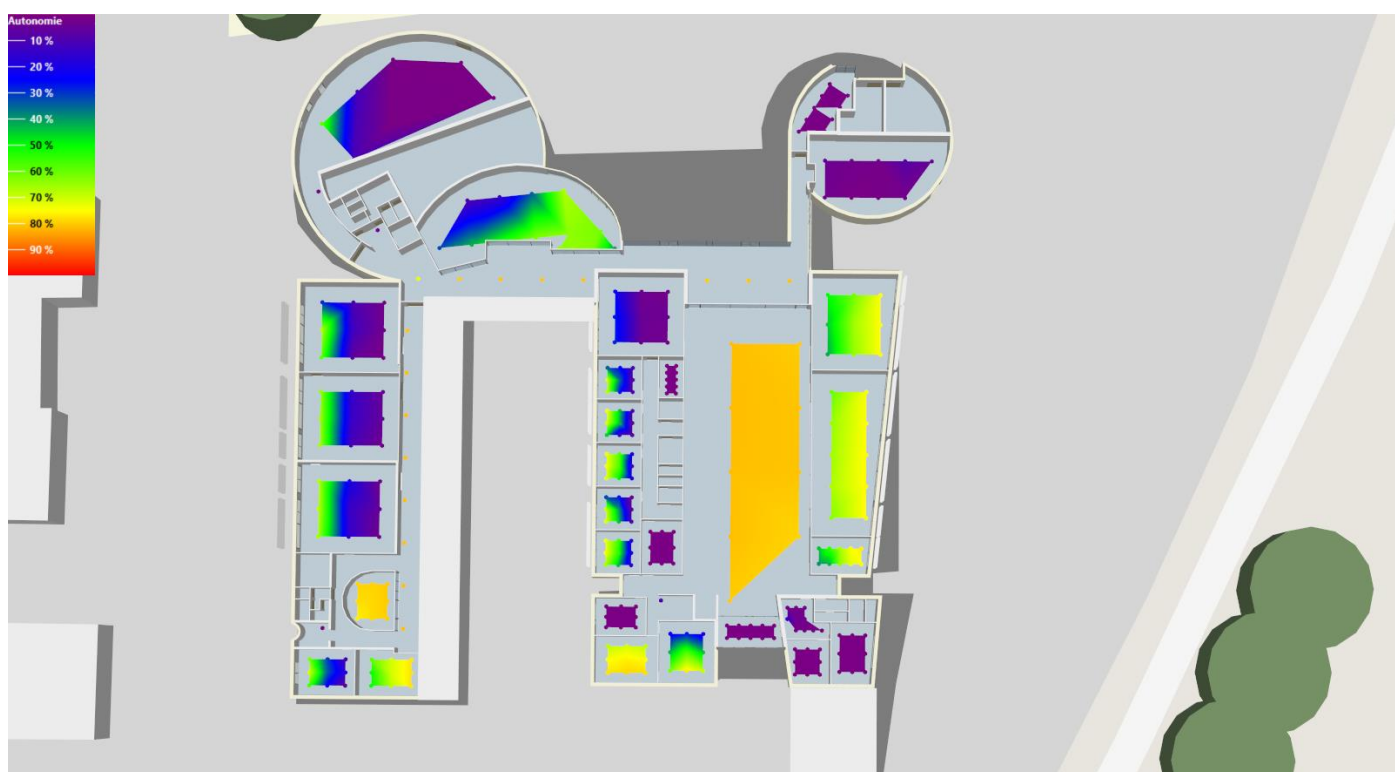
V.2.9 Eclairage

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 et salles de classe en moyenne (sur toute la surface) et de 100 lux dans les circulations. Dans les locaux annexes (stockage, locaux techniques, etc.) qui ne seront presque jamais utilisés, l'éclairage est négligé.

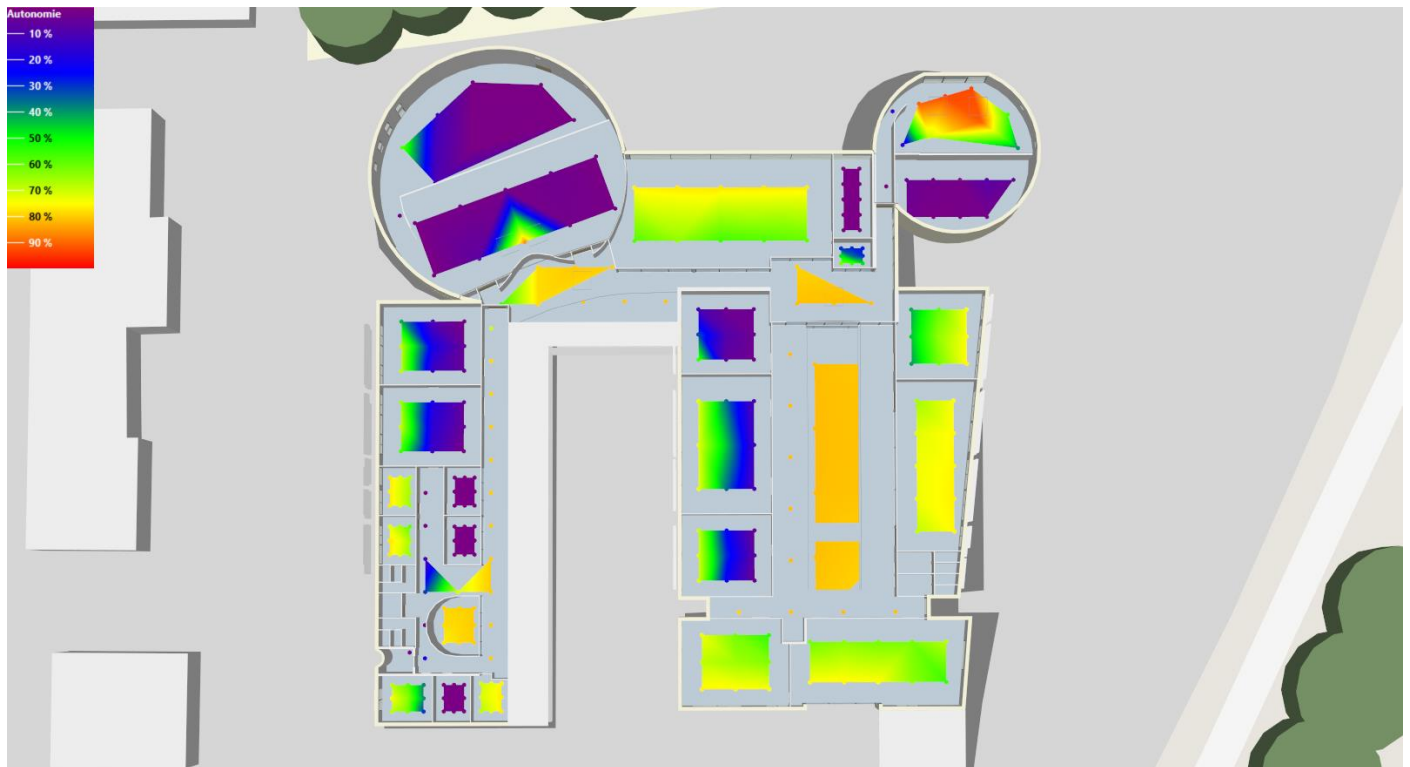
En inoccupation, le besoin d'éclairage est considéré nul.

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 au RDC



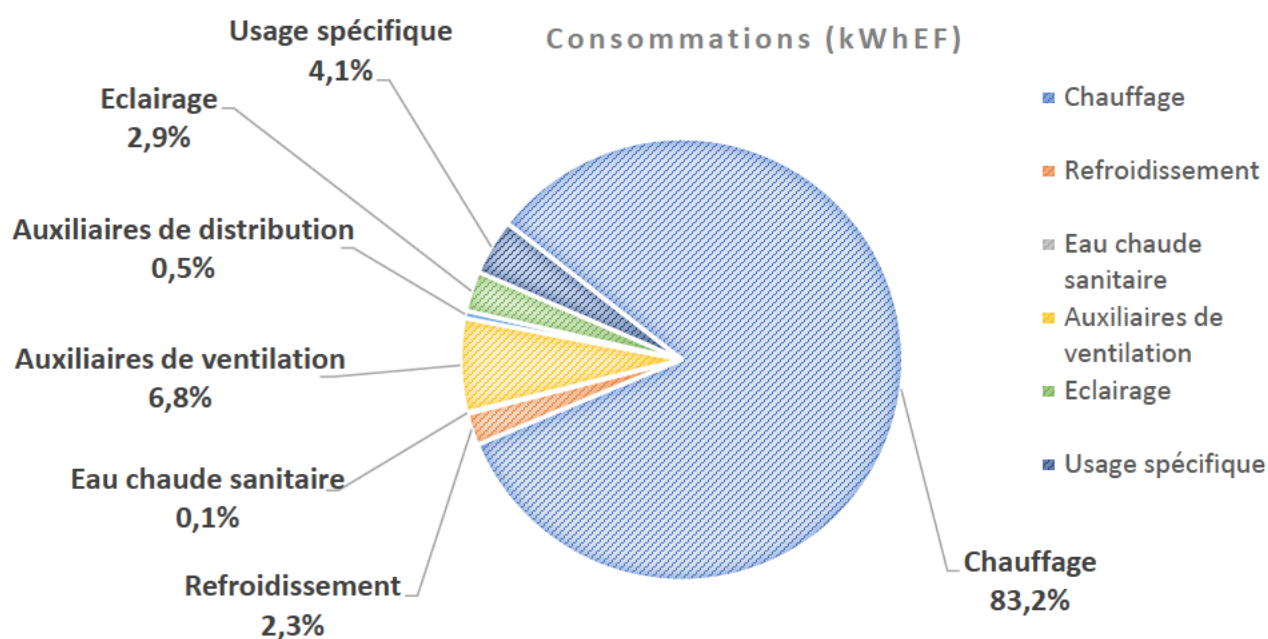
Autonomie d'éclairage étage

L'autonomie du bâtiment est bonne dans les circulations et les salles orientées Sud-Est et Sud-Ouest.

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.

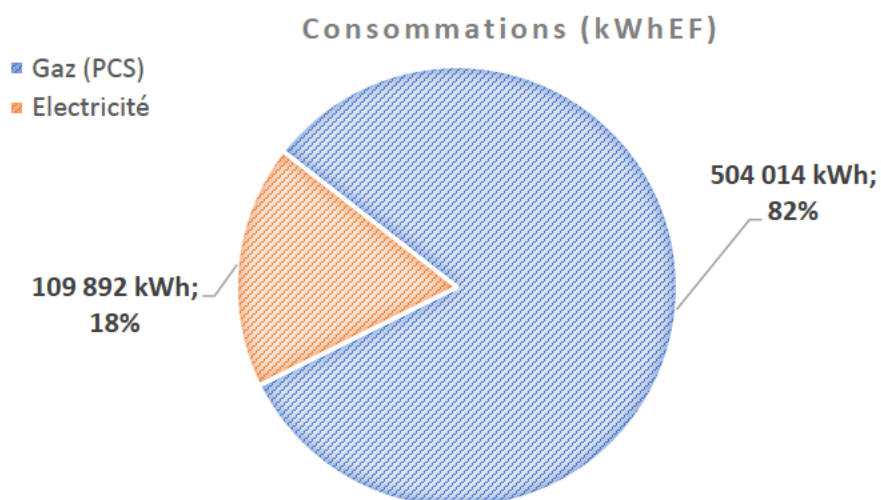
| | Gaz (PCS) | Electricité (Energie finale ¹) | TOTAL |
|-------------------------------|--------------------|--|--------------------|
| Chauffage | 504 014 kWh | 6 526 kWh | 510 540 kWh |
| Refroidissement | 0 kWh | 14 356 kWh | 14 356 kWh |
| Eau chaude sanitaire | 0 kWh | 669 kWh | 669 kWh |
| Auxiliaires de ventilation | 0 kWh | 42 019 kWh | 42 019 kWh |
| Auxiliaires de distribution | 0 kWh | 3 358 kWh | 3 358 kWh |
| Eclairage | 0 kWh | 17 957 kWh | 17 957 kWh |
| Usage spécifique ² | 0 kWh | 25 006 kWh | 25 006 kWh |
| Prod. Photovoltaïque | 0 kWh | 0 kWh | 0 kWh |
| TOTAL | 504 014 kWh | 109 892 kWh | 613 905 kWh |
| Coût | 51 292 € | 86 861 € | 138 153 € |
| CO2 | | | 113,70 tonnes |



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

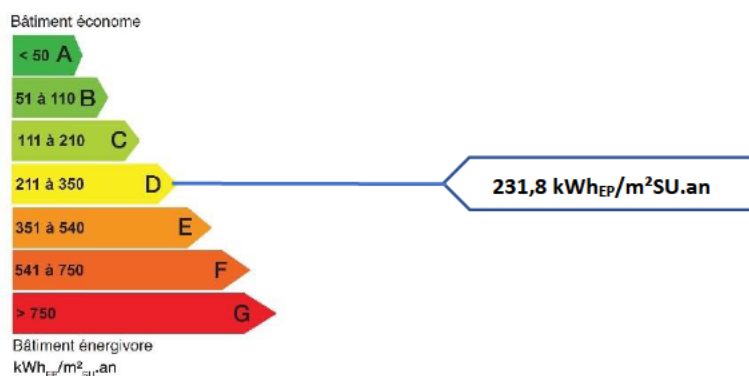
² Usage spécifique :

- Cuisson
- Lave-vaisselle
- Froid de process
- Informatique
- Eclairage extérieur
- Outillage
- etc...



V.4 Performance énergétique

| Surface chauffée | 3 119 m ² | |
|--|--|--|
| | Consommations (kWh _{EF} /m ² .an) ¹ | Consommations (kWh _{EP} /m ² .an) ² |
| Chauffage | 163,7 | 167,0 |
| Refroidissement | 4,6 | 11,9 |
| Eau chaude sanitaire | 0,2 | 0,6 |
| Auxiliaires de ventilation | 13,5 | 34,8 |
| Auxiliaires de distribution | 1,1 | 2,8 |
| Eclairage | 5,8 | 14,9 |
| Usage spécifique | 8,0 | 20,7 |
| Prod. Photovoltaïque | 0,0 | 0,0 |
| TOTAL | 196,8 | 252,5 |
| TOTAL hors électricité spécifique | 188,8 | 231,8 |



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

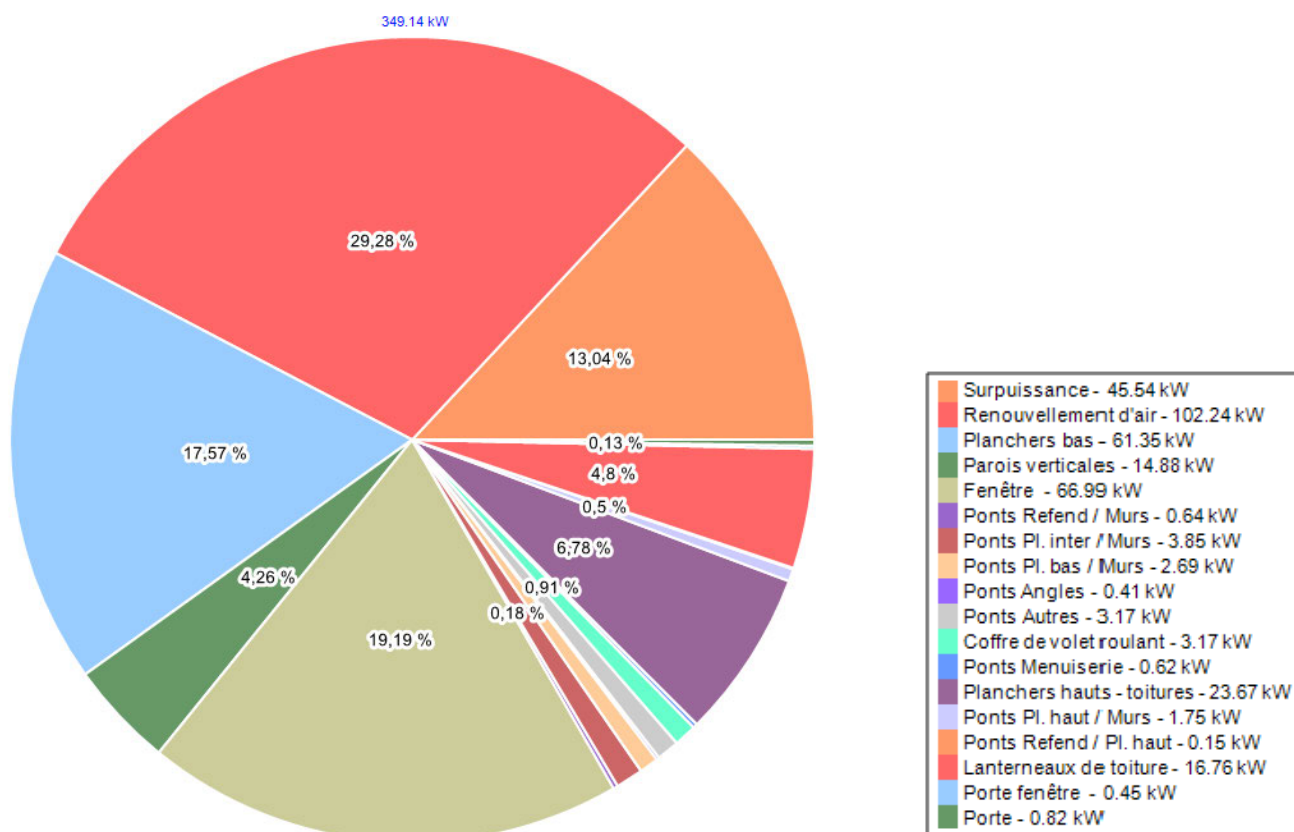
² kWh_{EP}/m².an : Energie primaire annuelle consommée rapportée au m² de surface chauffée.

La classe énergie est indicative et ne vaut pas DPE qui doit être calculé via une méthode de calcul spécifique et pas sur les consommations réelles du bâtiment.

V.5 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 **350 kW**.



VI ECONOMIES D'ENERGIE POTENTIELLES

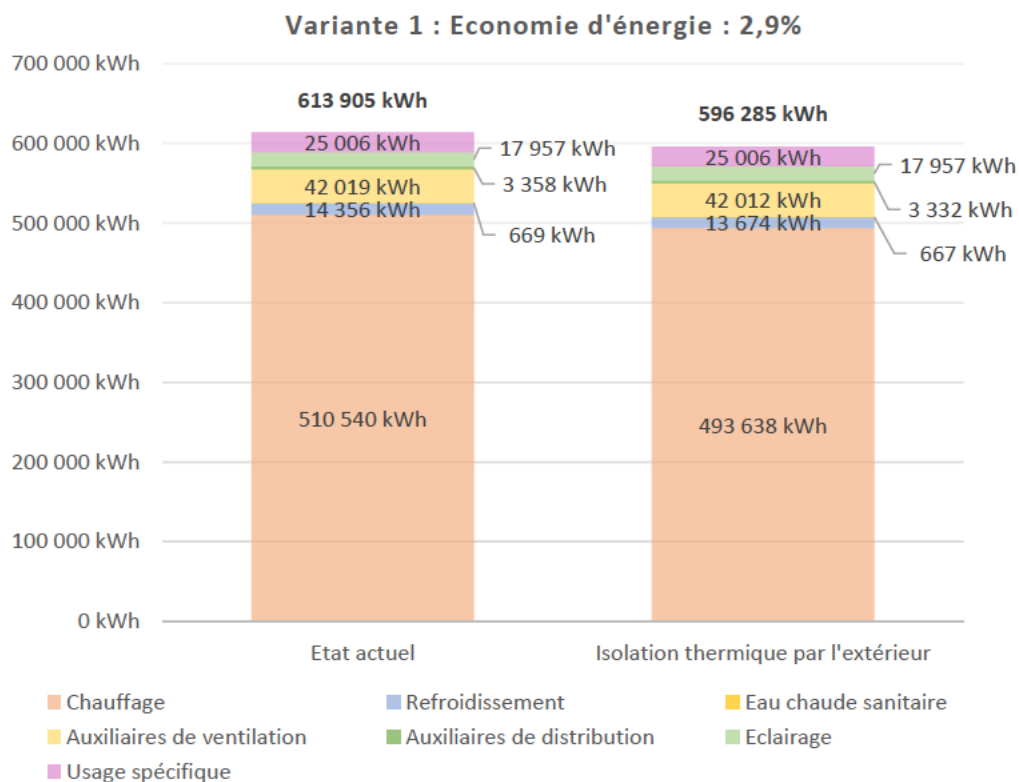
VI.1 Variantes simulées

| Domaine d'intervention | n° Variante | Descriptif | Paragraphe de référence des préconisations |
|------------------------|-------------|---|--|
| | 0 | Etat actuel | |
| Isolation | 1 | Isolation thermique par l'extérieur | IV.1.1-Murs extérieurs |
| | 2 | Remplacement de l'isolation des toitures + reprise de l'étanchéité Remplacement des skydômes | IV.1.2-Plancher haut IUT IV.1.3-Plancher haut, licence de droit IV.1.4-Plancher haut des amphithéâtres |
| | 3 | Isolation en sous face des planchers bas donnant sur l'extérieur. | IV.1.5-Planchers bas de l'IUT IV.1.6-Planchers bas de la licence de droit |
| Menuiseries | 4 | Remplacement des menuiseries (contrôle solaire en partie basse des murs rideaux) | IV.1.8-Menuiseries |
| | 5 | Remplacement de la toiture vitrée par un édicule. | IV.1.9-Toiture vitrée patio et sky domes |
| | 6 | Remplacement de la toiture vitrée par un polycarbonate et une protection solaire plus performants. | IV.1.9-Toiture vitrée patio et sky domes |
| | 7 | Installation de brise-soleils sur les menuiseries non équipées. | IV.1.10-Protections solaires des parois vitrées |
| Etanchéité à l'air | 8 | Installation de coffres de volets roulant dans les pièces non équipées. Correction des défauts d'étanchéité à l'air des menuiseries. | IV.1.11-Etanchéité à l'air des parois |
| Ventilation | 9 | Remplacement des CTA des Amphithéâtres Installation de VMC double flux dans l'ensemble de locaux. | IV.2-Ventilation |

| Domaine d'intervention | n° Variante | Descriptif | Paragraphe de référence des préconisations |
|---------------------------|-------------|---|--|
| Chauffage | 10 | Réfection de la GTB. | IV.3.1-Chauffage |
| | 11 | Installation de chaudières à condensation. Remplacement des anciennes pompes. Sur-Isolation du réseau primaire de l'IUT. Compléments d'isolation en chaufferie. Installation d'une nouvelle GTB | IV.3.1-Chauffage |
| | 12 | Installation de PAC air/eau. Remplacement des anciennes pompes. Sur-Isolation du réseau primaire de l'IUT. Compléments d'isolation en chaufferie. Installation d'une nouvelle GTB | IV.3.1-Chauffage |
| Chauffage / climatisation | 13 | Suppression des radiateurs et installation de systèmes de PAC air/air de type DRV dans tout le bâtiment. La chaufferie est conservée pour le chauffage des amphithéâtres. | IV.3.1-Chauffage |
| Chauffage | 14 | Installation de robinets thermostatiques + équilibrage. | IV.3.2-Radiateurs |
| Climatisation | 15 | Remplacement des climatiseurs individuels actuels par des mini-DRV | IV.4-Climatisation |
| Eclairage | 16 | Remplacement des éclairages par des luminaires LED + détection de présence. | IV.5-Eclairage |
| Production d'énergie | 17 | Photovoltaïque | IV.7-Production locale d'électricité |

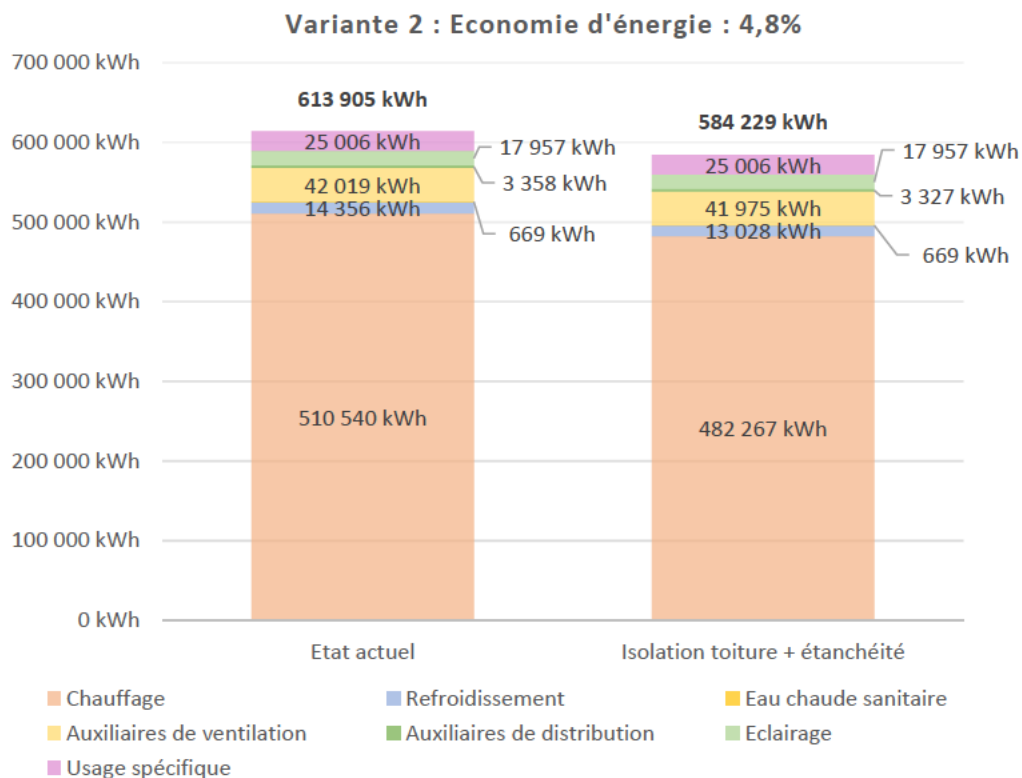
VI.2 Résultats des calculs

VI.2.1 Variante 1 : Isolation thermique par l'extérieur

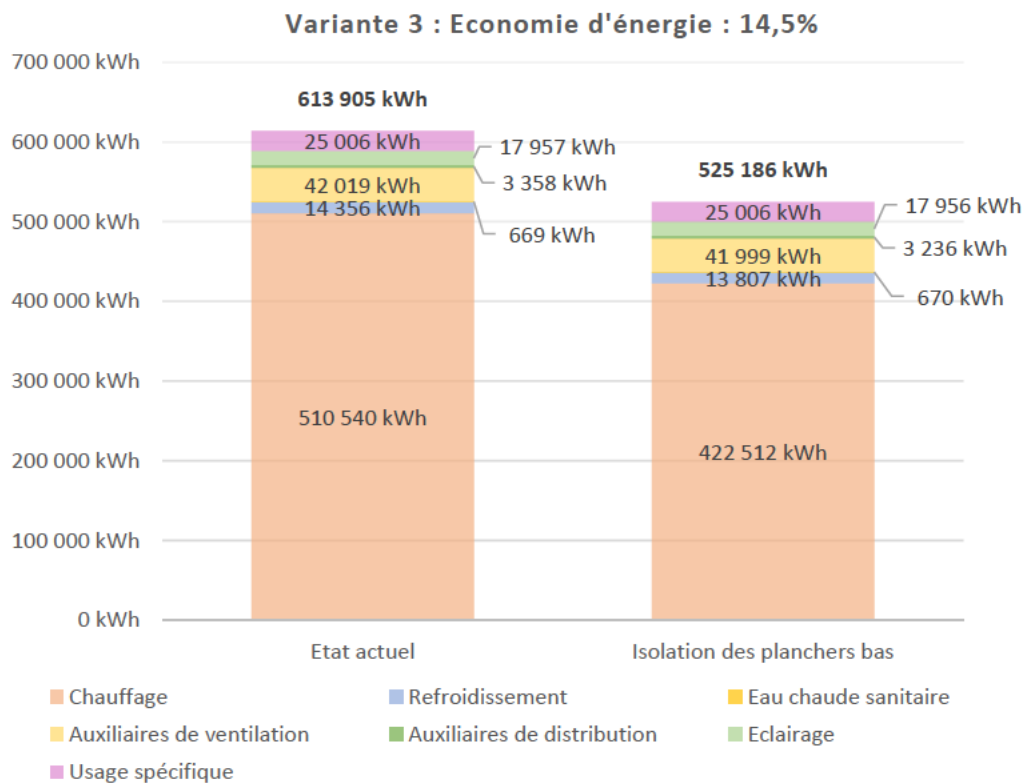


Compte tenu que les murs extérieurs représentent seulement 4,2 % des déperditions de chaleur et qu'ils sont déjà isolés, cette variante présente des économies limitées.

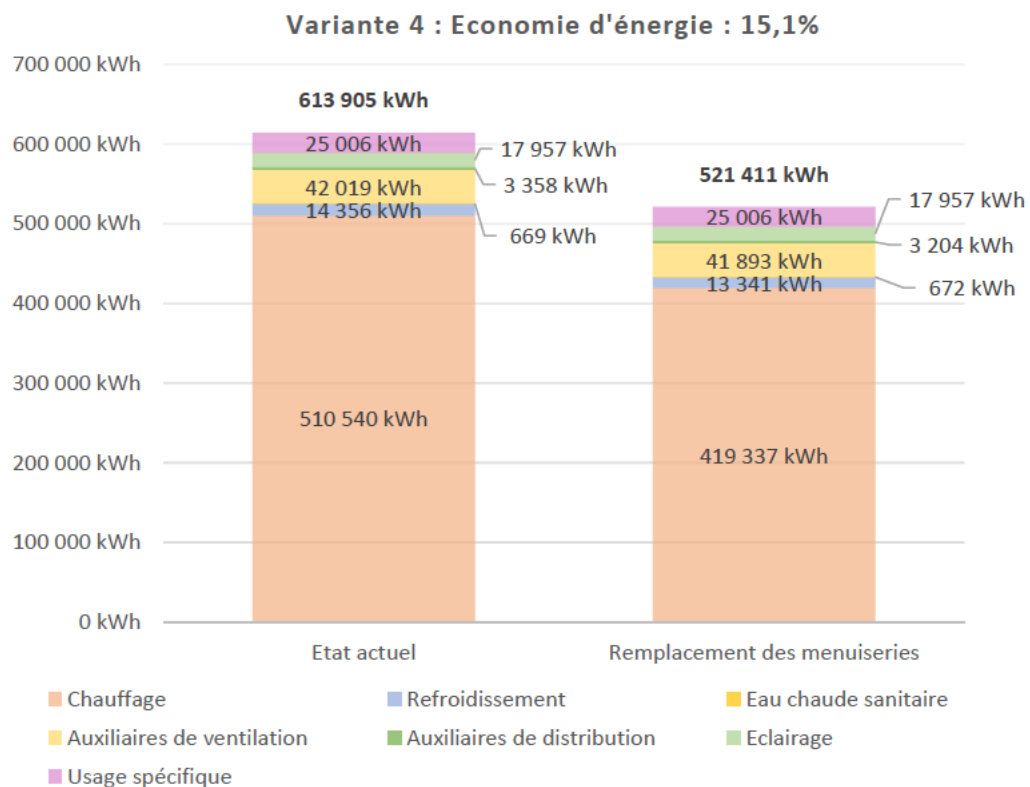
VI.2.2 Variante 2 : Reprise de l'isolation des toitures



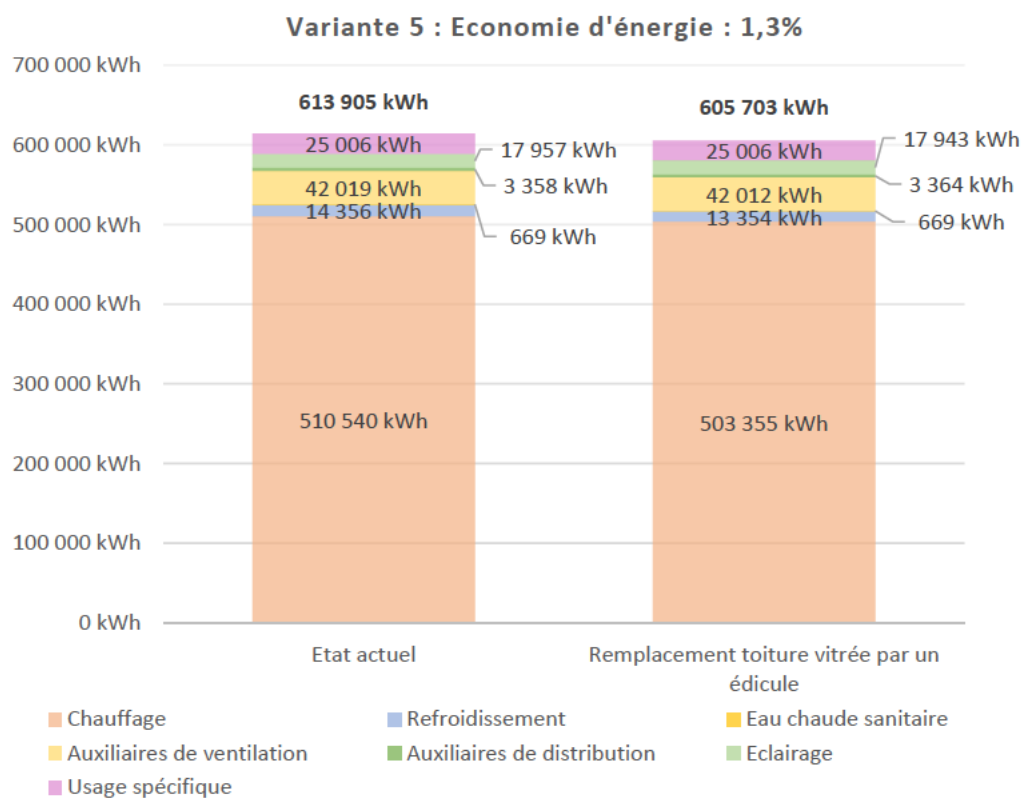
VI.2.3 Variante 3 : Isolation des planchers bas



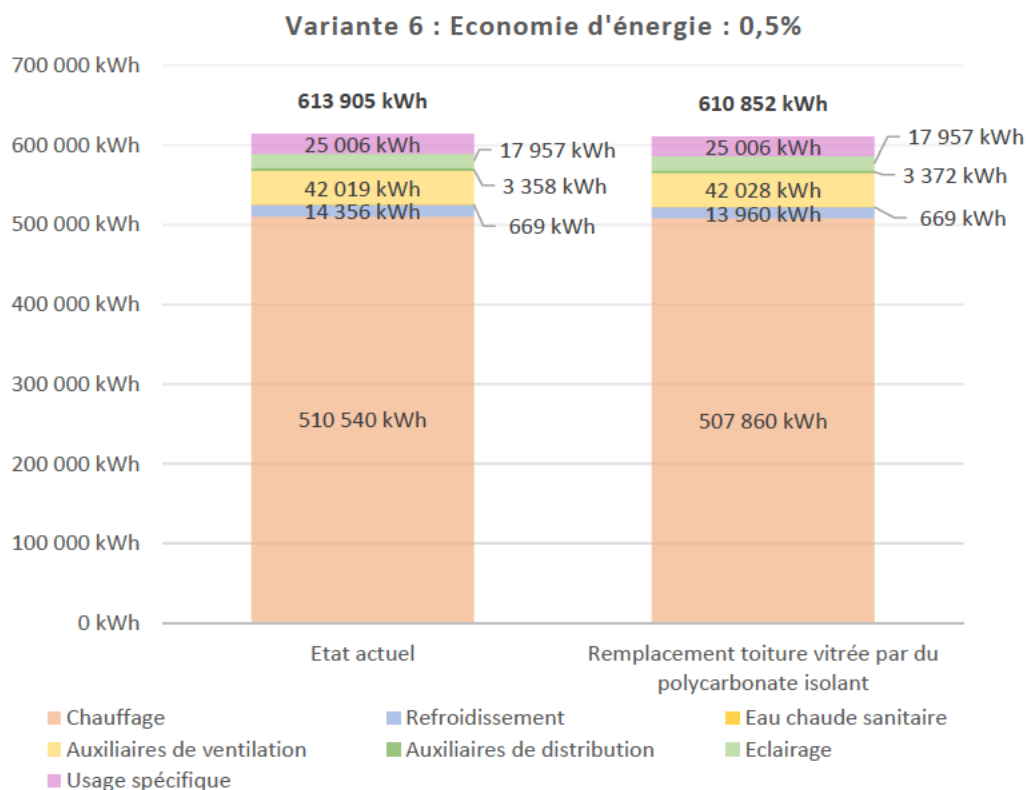
VI.2.4 Variante 4 : Remplacement des menuiseries



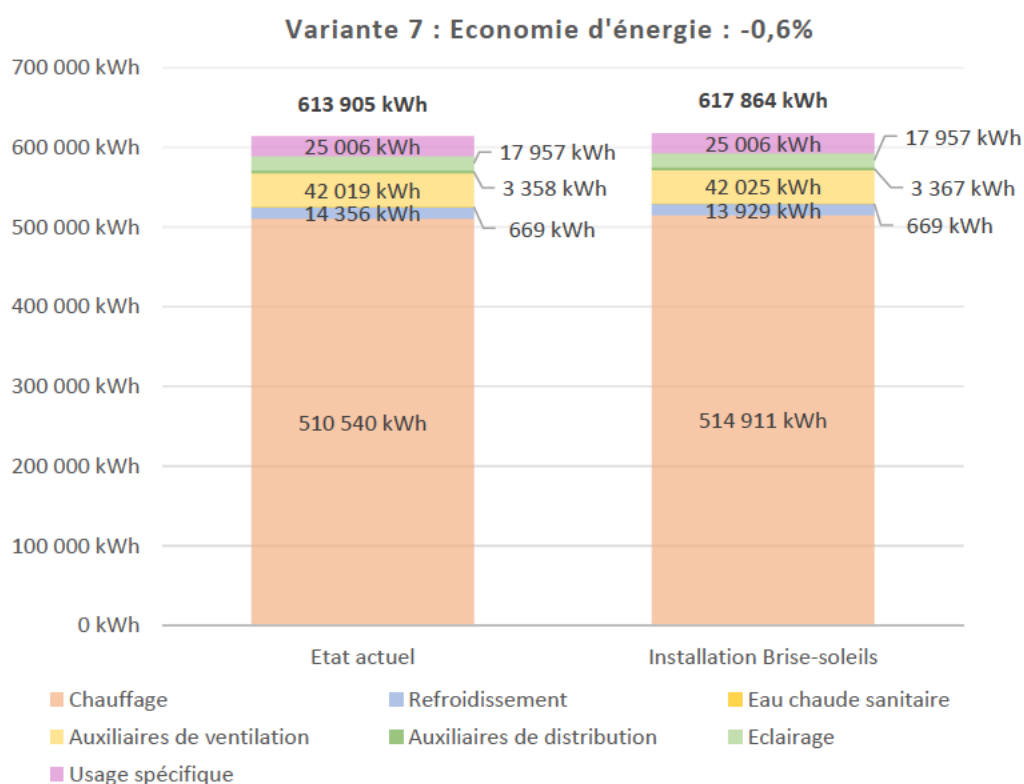
VI.2.5 Variante 5 : Remplacement du toit vitré du patio par un édicule



VI.2.6 Remplacement du polycarbonate en toiture + remplacement de la protection solaire



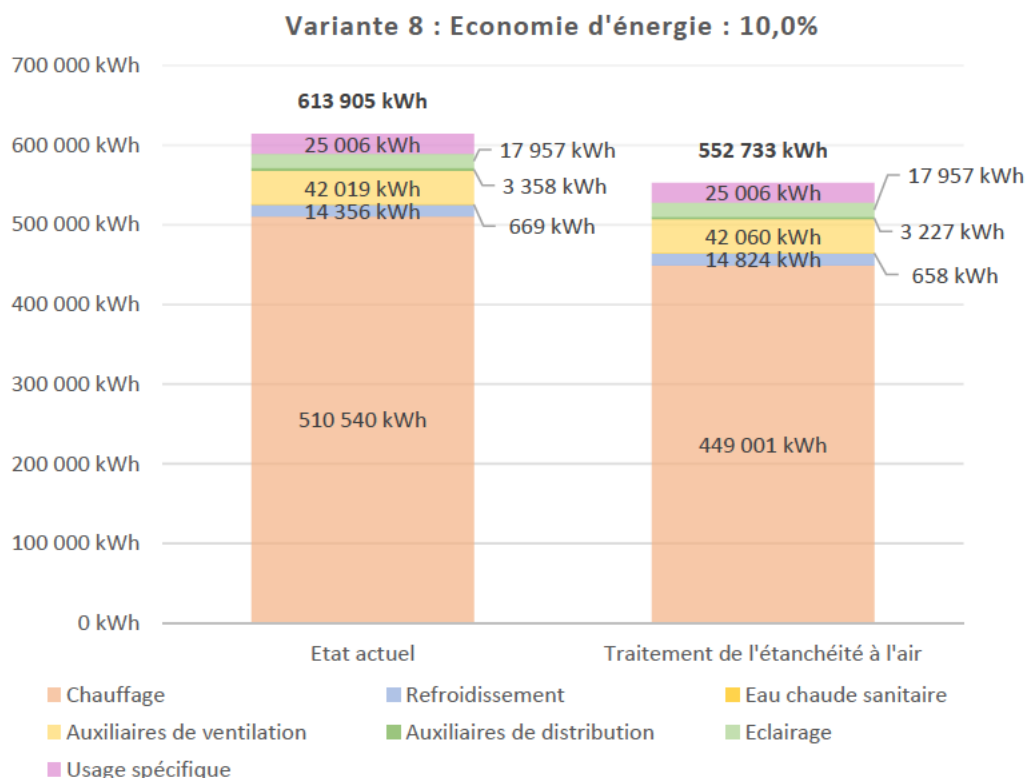
VI.2.7 Variante 7 : installation de brise-soleils sur les menuiseries non équipées



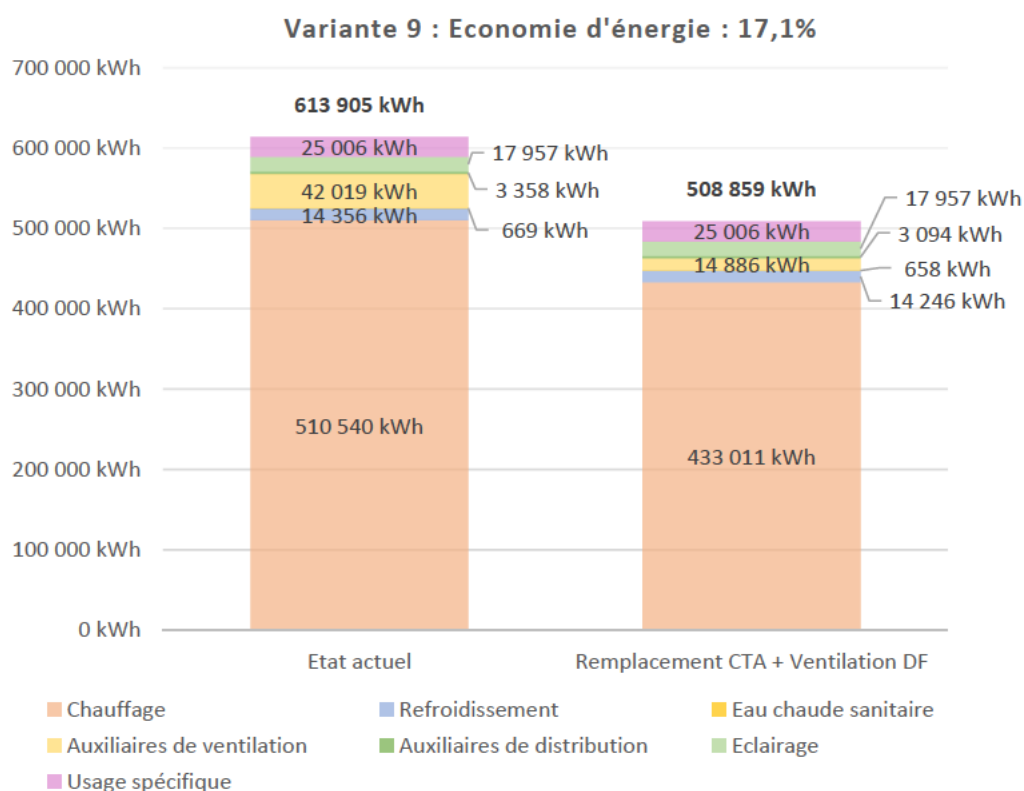
L'installation de protections solaires fixes permet de limiter les apports en été et donc améliore le confort ou réduit les besoins de climatisation, mais diminue également les apports gratuits en hivers, ce qui a pour conséquence d'augmenter les besoins de chauffage.

Les zones concernées par l'opération sont quasiment toutes climatisées.

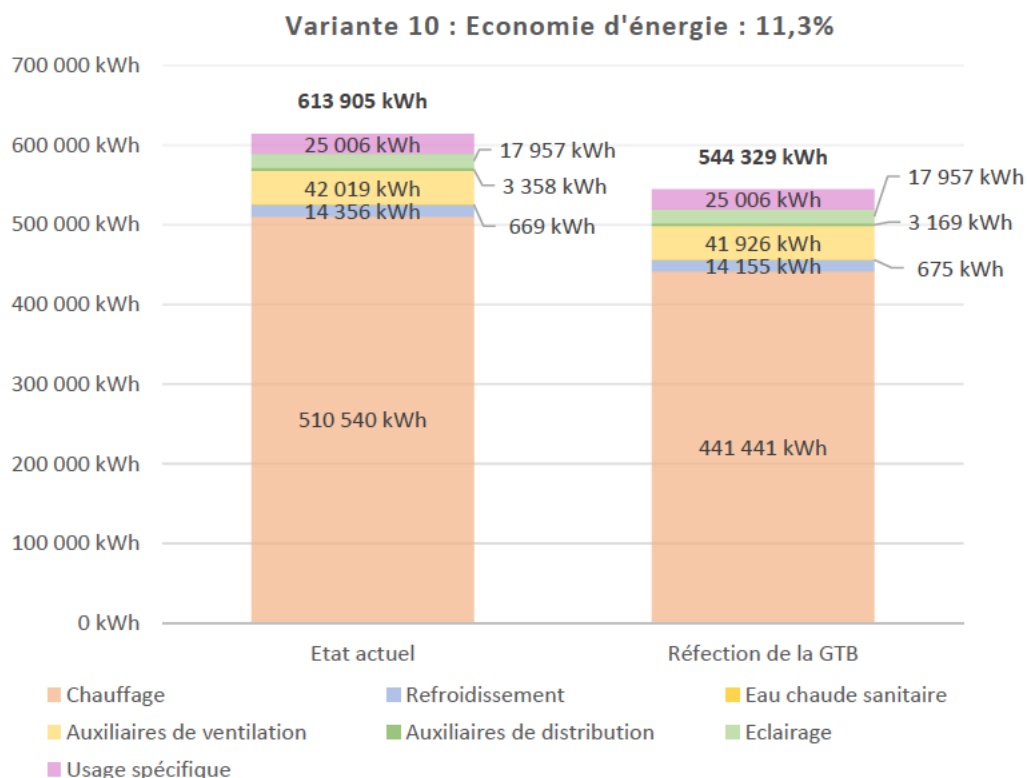
VI.2.8 Variante 8 : correction des défauts d'étanchéité à l'air (hors parties courantes menuiseries)



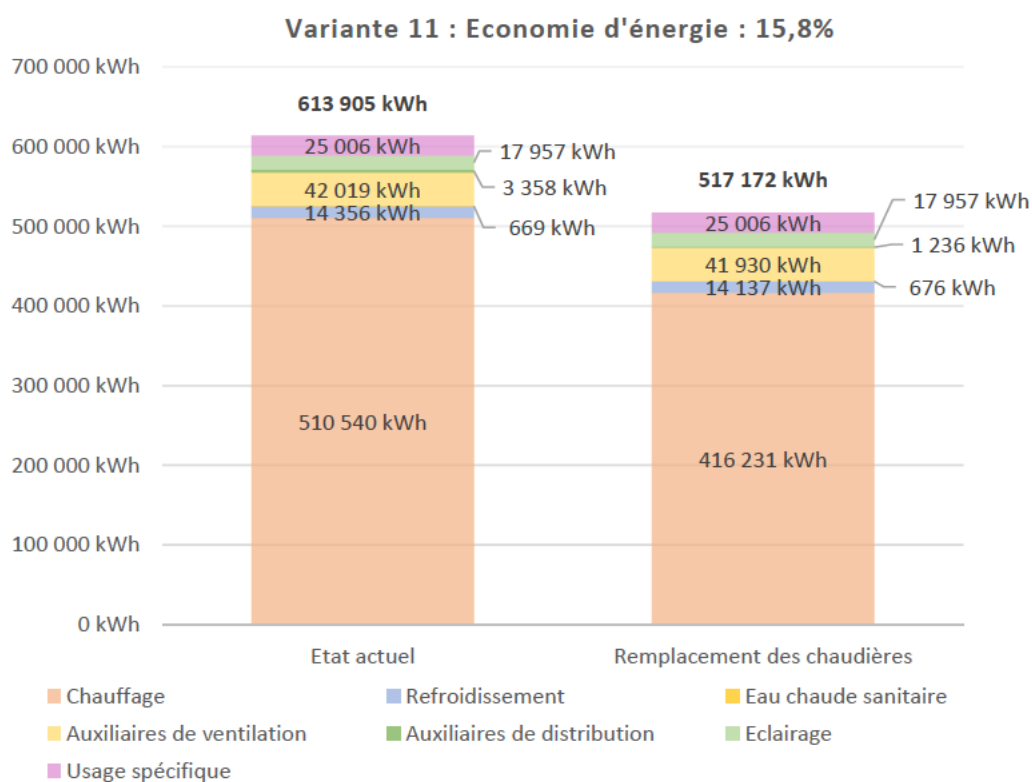
VI.2.9 Variante 9 : Remplacement des CTA des amphithéâtres + passage en double-flux dans tout le bâtiment



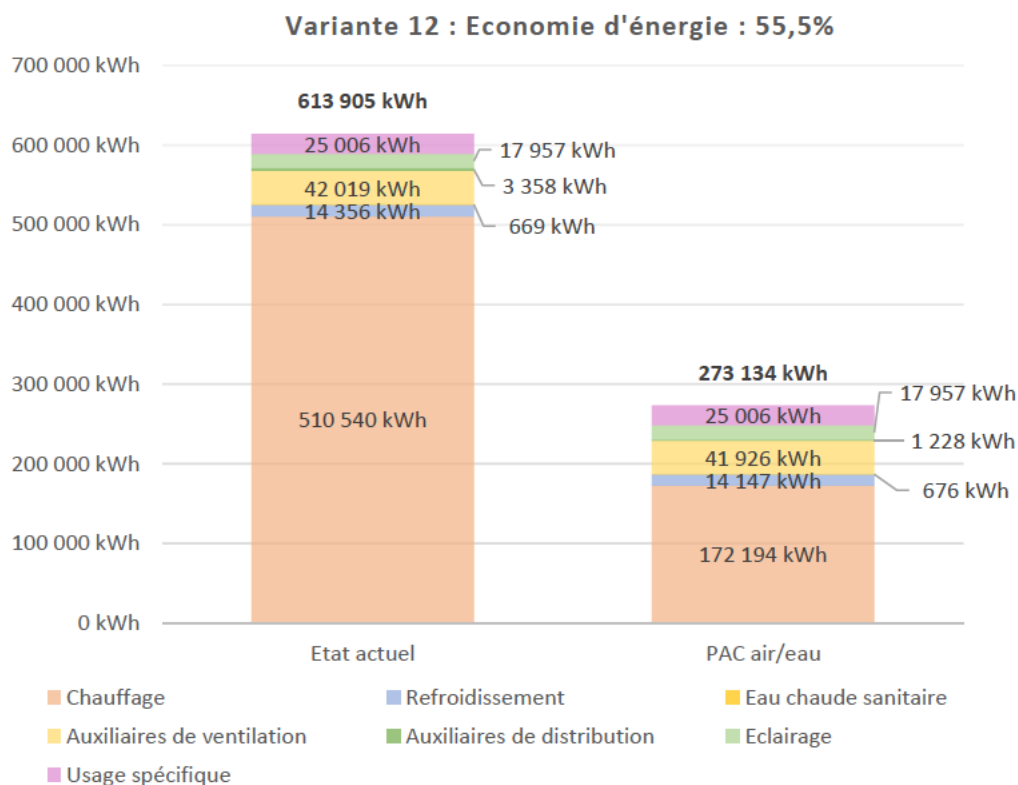
VI.2.10 Variante 10 : réfection de la GTB



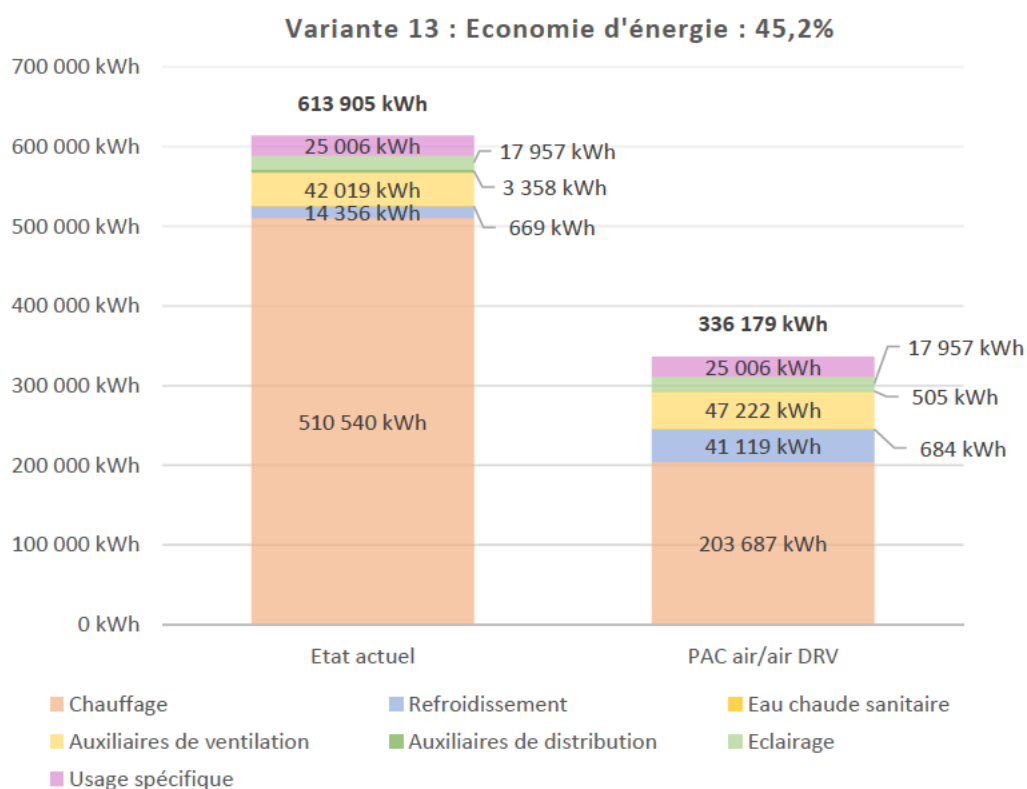
VI.2.11 Variante 11 : Remplacement des chaudières, réfection de la chaufferie et de la GTB



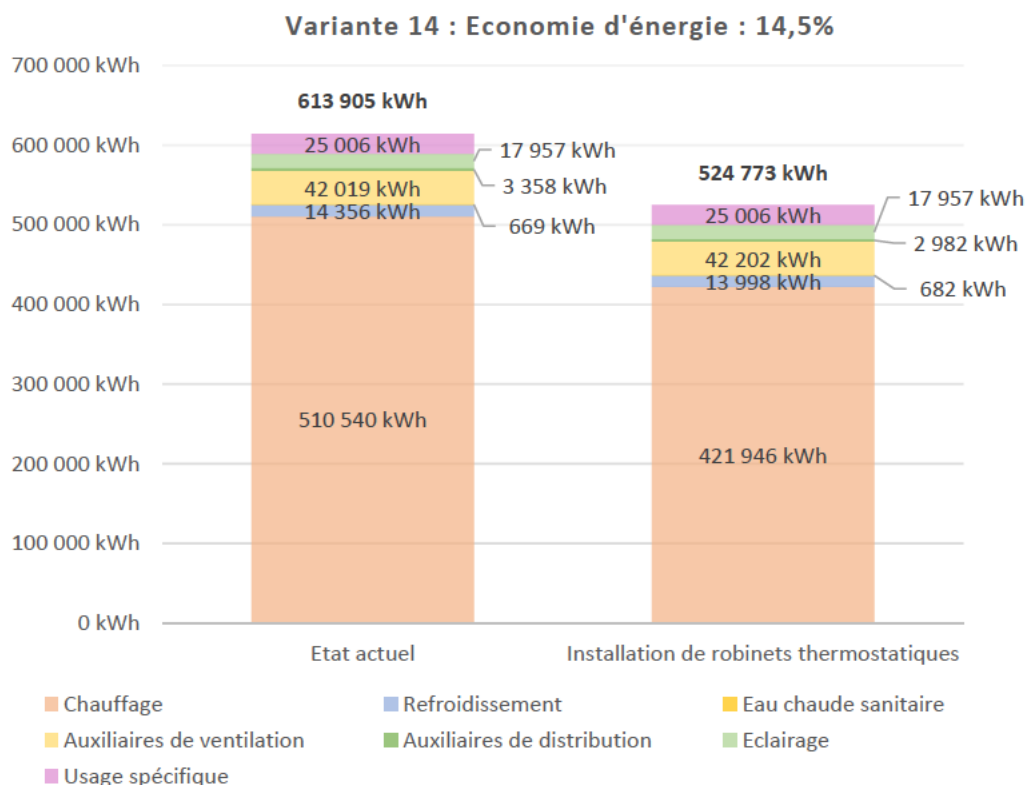
VI.2.12 Variante 12 : Remplacement des chaudières par des PAC air/eau, réfection de la chaufferie et de la GTB



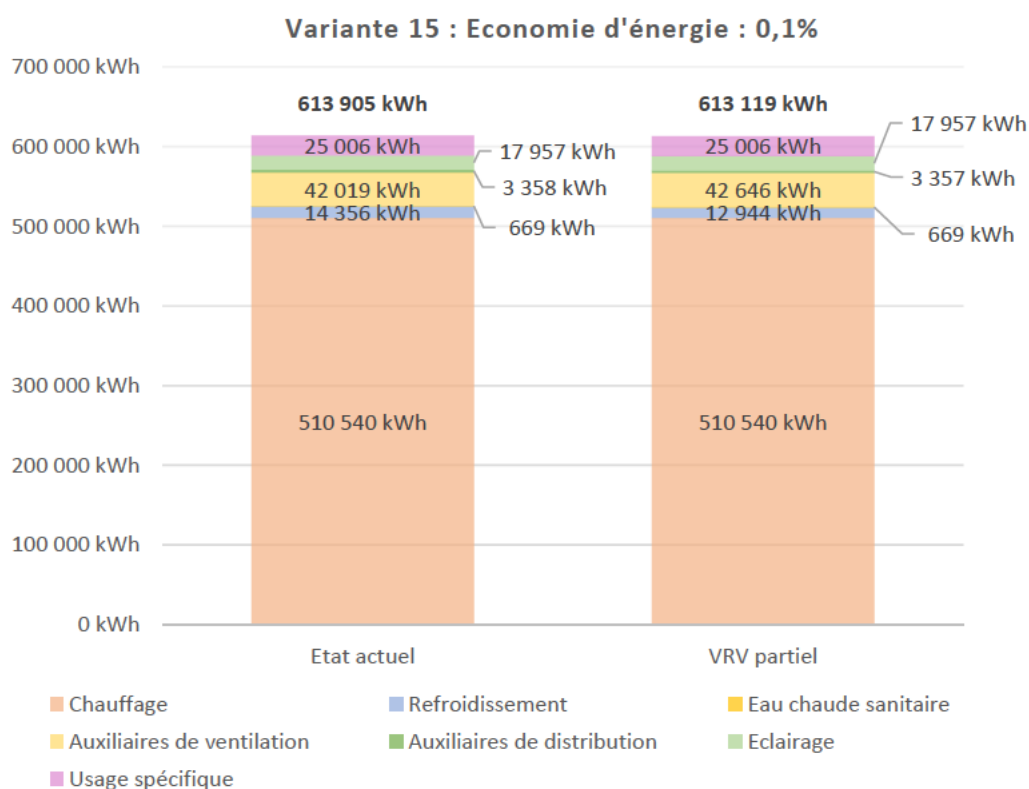
VI.2.13 Variante 13 : suppression des radiateurs et installation de PAC air/air dans tout le bâtiment



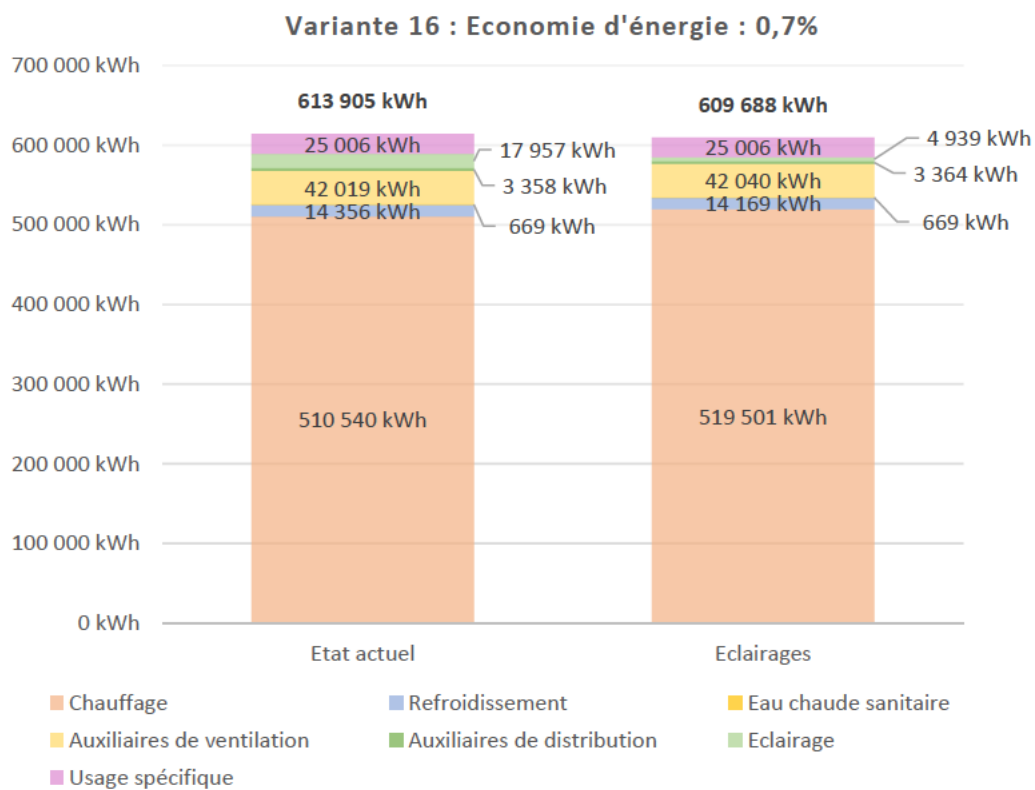
VI.2.14 Variante 14 : installation de robinets thermostatique sur tous les radiateurs



VI.2.15 Variante 15 : remplacement des climatiseurs actuels par des VRV

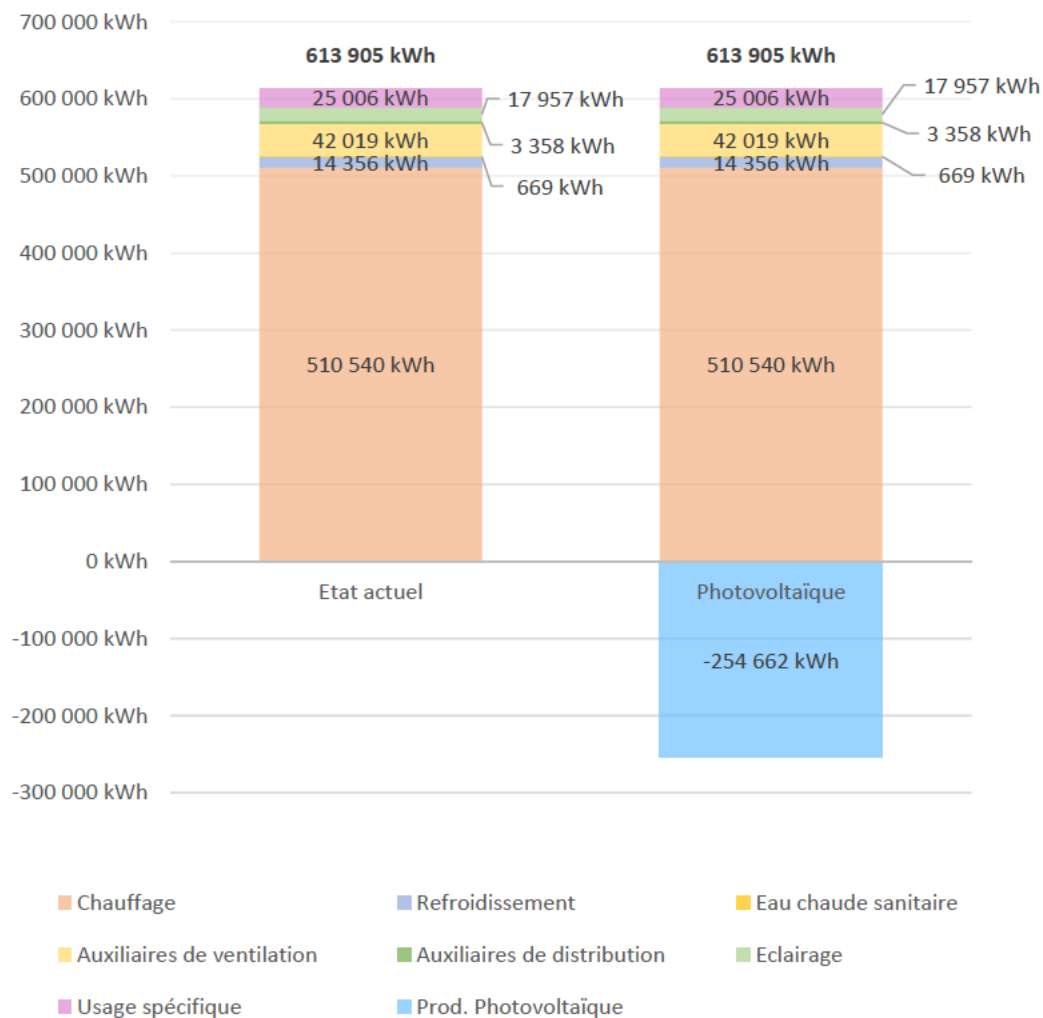


VI.2.16 Variante 16 : Remplacement des éclairages fluorescents par des LED

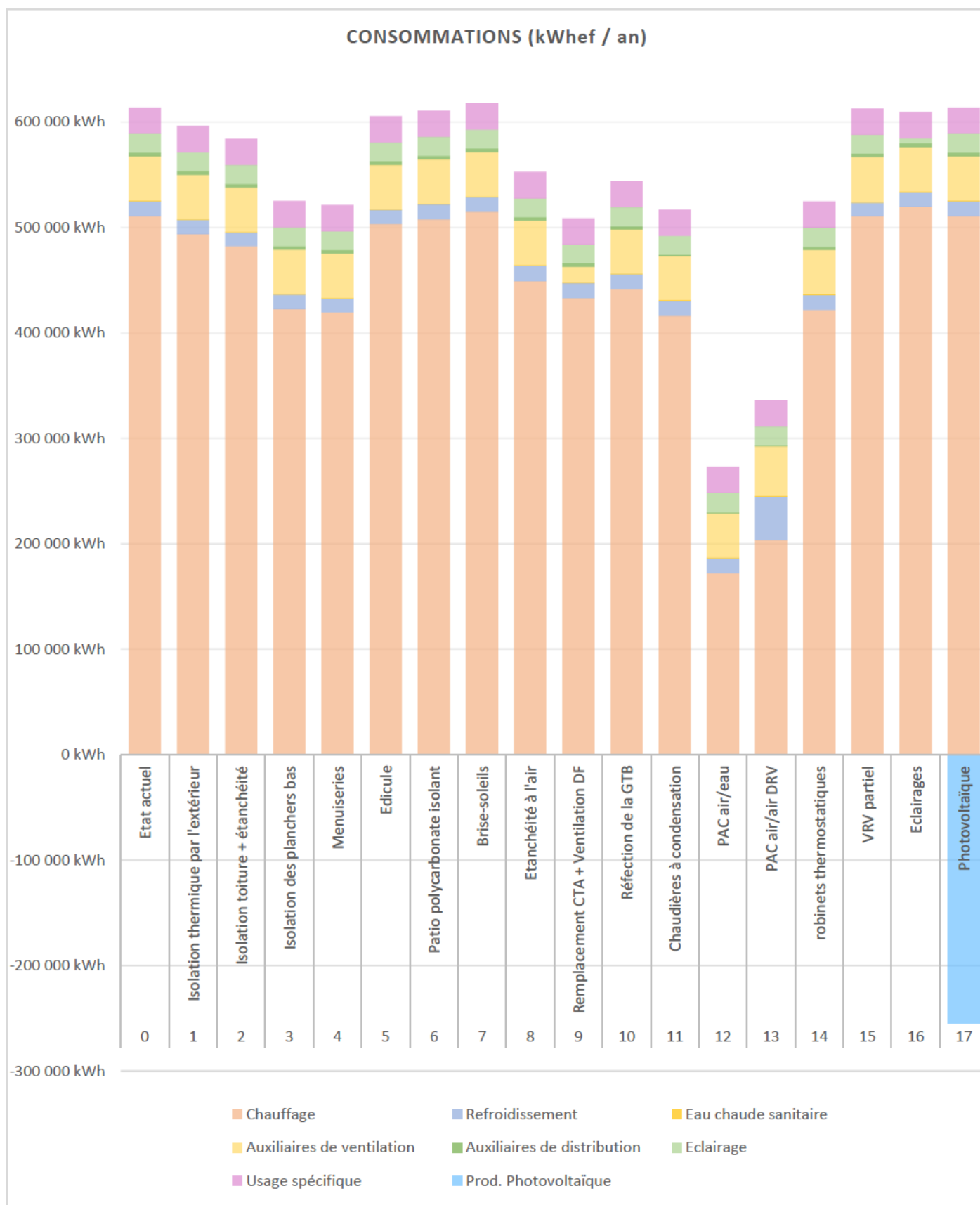


VI.2.17 Variante 17 : Installations de panneaux photovoltaïques

Variante 17 : Economie d'énergie : 41,5%



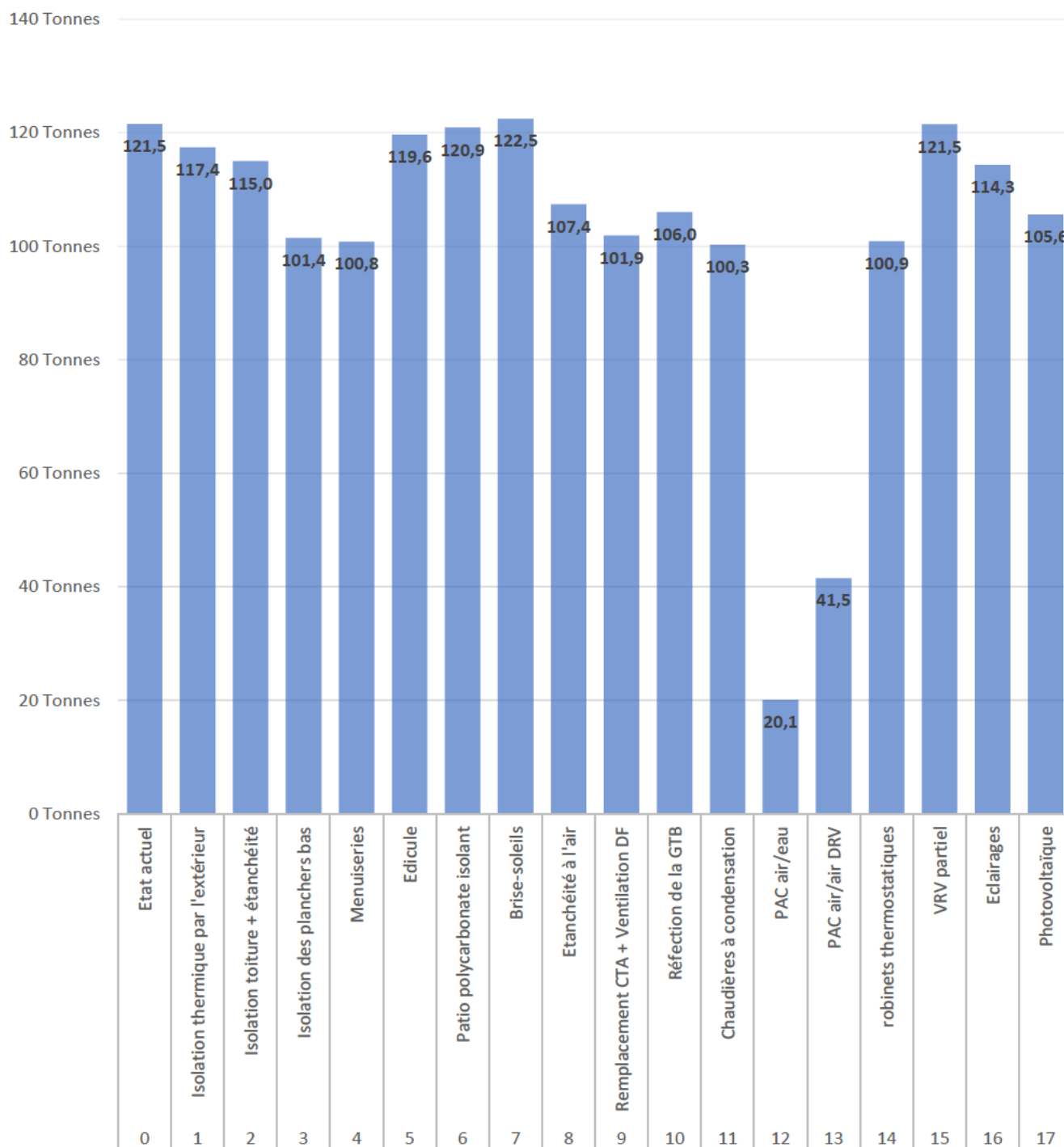
VI.3 Comparatif des consommations



VI.4 Comparatif des émissions de CO₂

Les facteurs d'émissions considérés sont ceux de l'annexe 3 du cahier des charges de l'audit énergétique de l'ADEME du 18/12/2020.

Emissions de CO₂ (tonnes / an)



VII PROGRAMMES DE RENOVATION

VII.1 P1 : Programme de rénovation minimal.

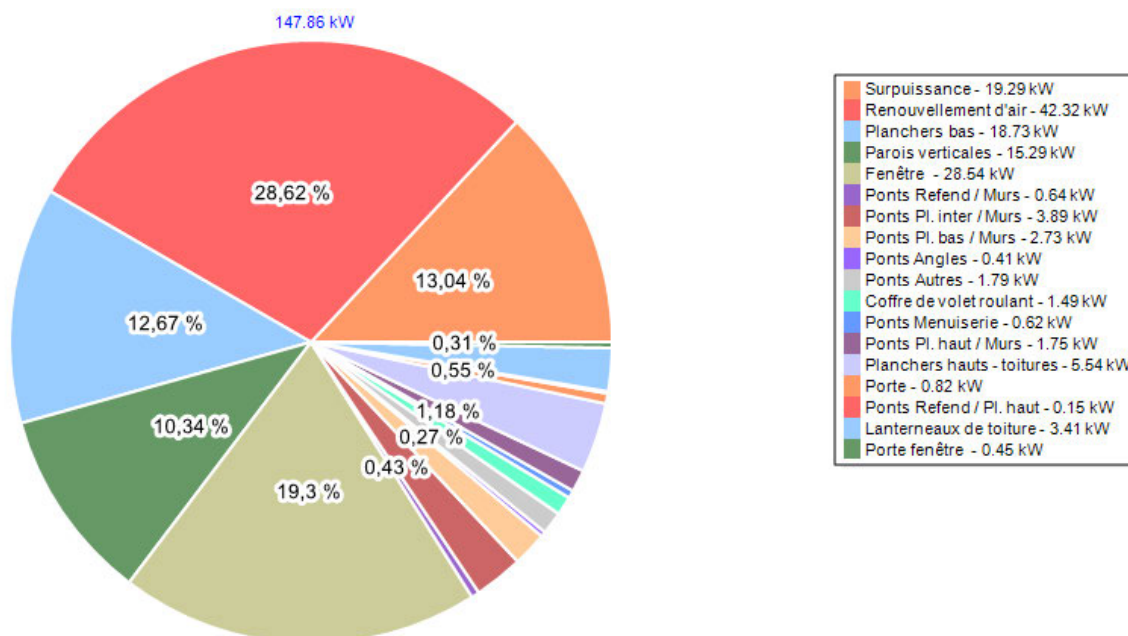
C'est le scénario de rénovation pour un budget d'investissement limité.

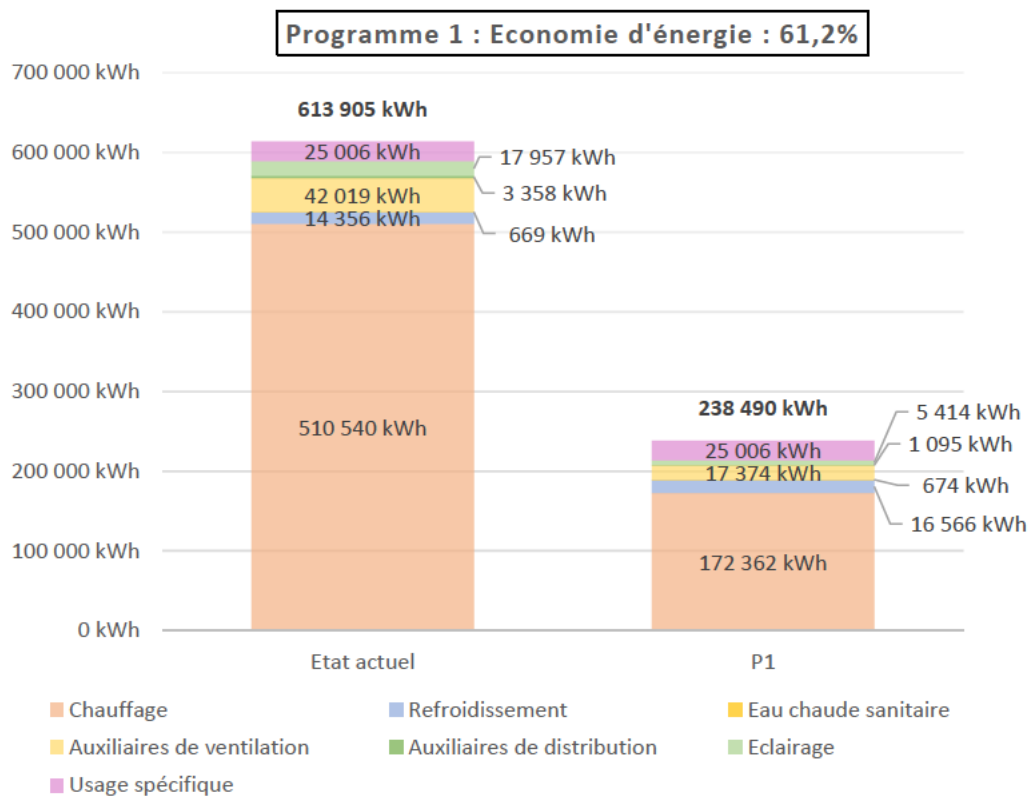
Il combine uniquement les améliorations les moins coûteuses et les plus rentables économiquement ainsi que celles nécessaires au respect de la réglementation.

Les travaux envisagés sont les suivants :

- Isolation en sous-face des planchers bas + réfection des flocages ;
- Correction des défauts d'étanchéité à l'air + test d'infiltrométrie de contrôle ;
- Remplacement CTA Amphithéâtres par des CTA double-flux à récupération de chaleur ;
- Installation de VMC double-flux dans tous les autres locaux ;
- Remplacement des chaudières gaz par des chaudières à condensation + réfection chaufferie + nouvelle GTB ;
- Installation de robinets thermostatiques auto-équilibrant sur tous les radiateurs ;
- Remplacement des clim existantes par des VRV ;
- Remplacement des éclairages fluo par des luminaires à LED et installation de détecteurs de présence ;
- Installation de sous-comptages calorifiques et électriques pour comptabiliser pour tous les usages ;

Calcul de déperditions du programme P1 :





VII.2 P2 : Programme de rénovation optimal avec PAC Air/eau

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.

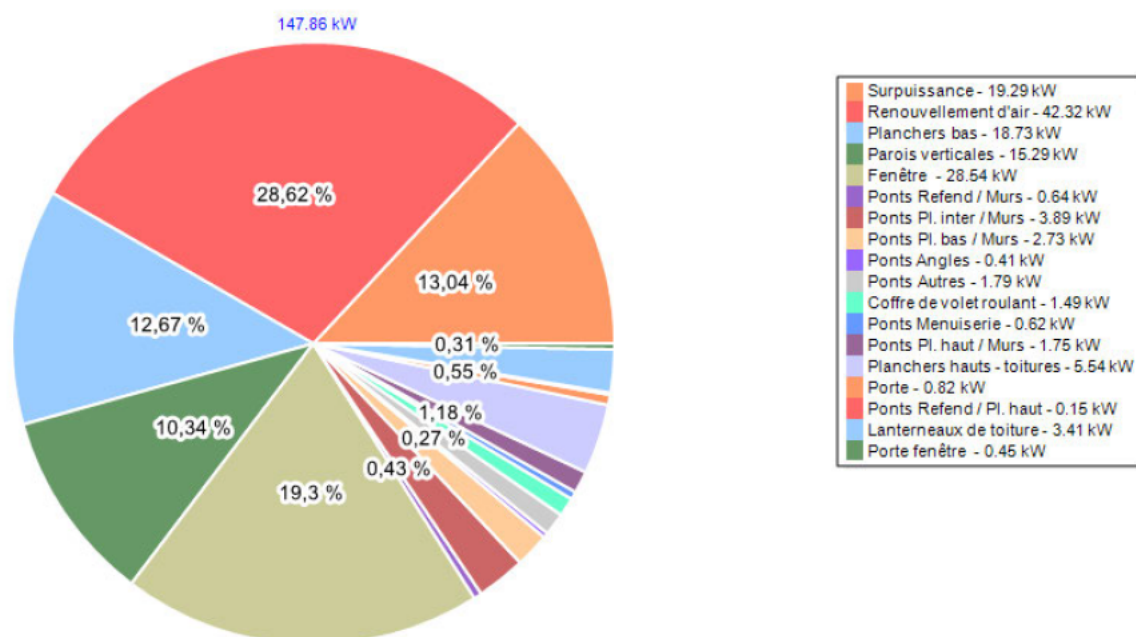
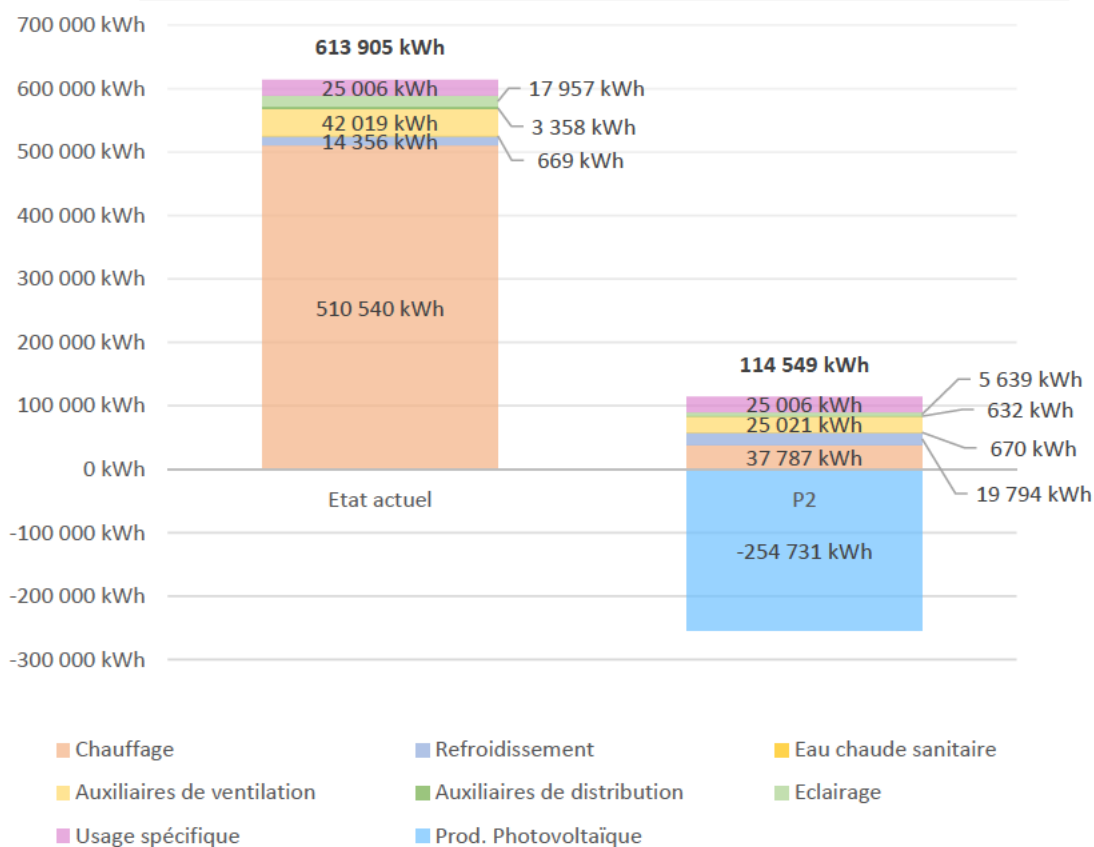
Dans ce programme, la production de chaleur est réalisée par des pompes à chaleurs air/eau.

Ces mêmes pompes à chaleur sont réversibles et permettent la climatisation des amphithéâtres ainsi qu'un rafraîchissement de l'air neuf dans les locaux non climatisés via une production d'eau glacée.

Les climatiseurs individuels sont remplacés par des systèmes collectifs de type VRV.

Les travaux envisagés sont les suivants :

- Reprise de l'isolation des toits terrasse et de l'étanchéité en toiture ; remplacement des Skydômes ;
- Isolation en sous-face des planchers bas accessibles + réfection des flocages ;
- Remplacement de l'ensemble menuiseries ;
- Remplacement du toit vitré par du polycarbonate alvéolaire isolant + protection solaire ;
- Correction des défauts d'étanchéité à l'air et réalisation d'un test d'infiltrométrie de contrôle ;
- Remplacement CTA des amphithéâtres par des CTA double-flux à récupération de chaleur avec batterie à eau chaude + froide ;
- Installation de VMC double-flux avec batteries réversibles (chaud + froid) dans tous les autres locaux ;
- Suppression des chaudières gaz + installation de Pompes à chaleur réversibles ; réfection de la chaufferie ; installation d'une nouvelle GTB ;
- Installation de robinets thermostatiques auto-équilibrants sur tous les radiateurs ;
- Remplacement des clim existantes par des VRV ;
- Remplacement des éclairages fluo par des luminaires à LED et installation de détecteurs de présence ;
- Installation de sous-comptages calorifiques et électriques pour comptabiliser pour tous les usages ;
- Installation de 200 kWc de panneaux photovoltaïque en toiture sur plots solidaires de l'étanchéité.

Calcul de déperditions du programme P2 :**Programme 2 : Economie d'énergie : 81,3% hors PV; 122,8% avec PV**

VII.3 P3 : Programme de rénovation optimal avec PAC Air/Air

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, la production de chaleur et de froid est réalisée par des pompes à chaleurs air/air collectives de type VRV.

La climatisation et le chauffage des amphithéâtres sont réalisé par des CTA thermodynamiques de manière autonome.

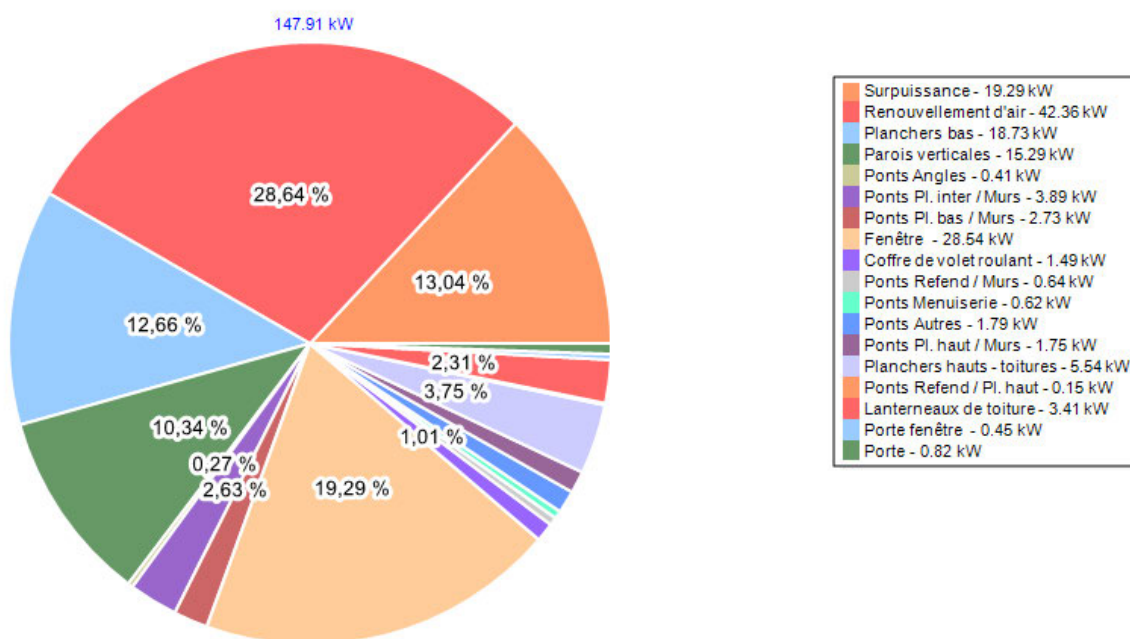
Les autres vmc double flux du bâtiment sont également thermodynamiques afin de réaliser le pré-traitement de l'air neuf.

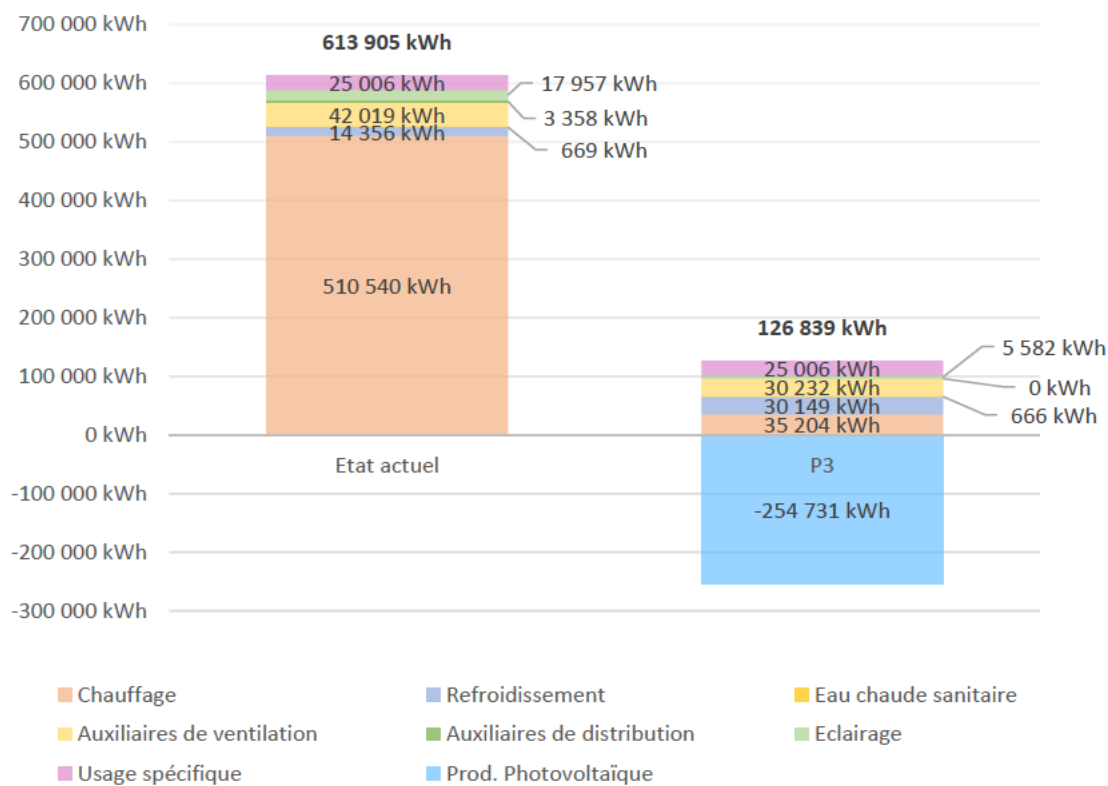
Dans ce scénario, tout le système à eau chaude centralisée actuel a été supprimé et tout le bâtiment est climatisé.

Les travaux envisagés sont les suivants :

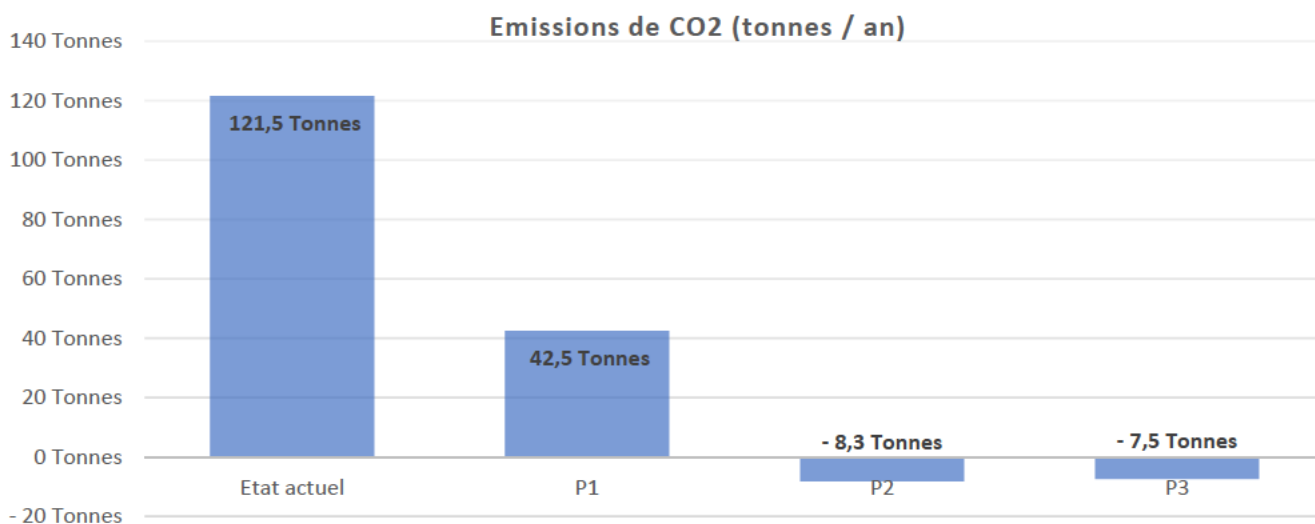
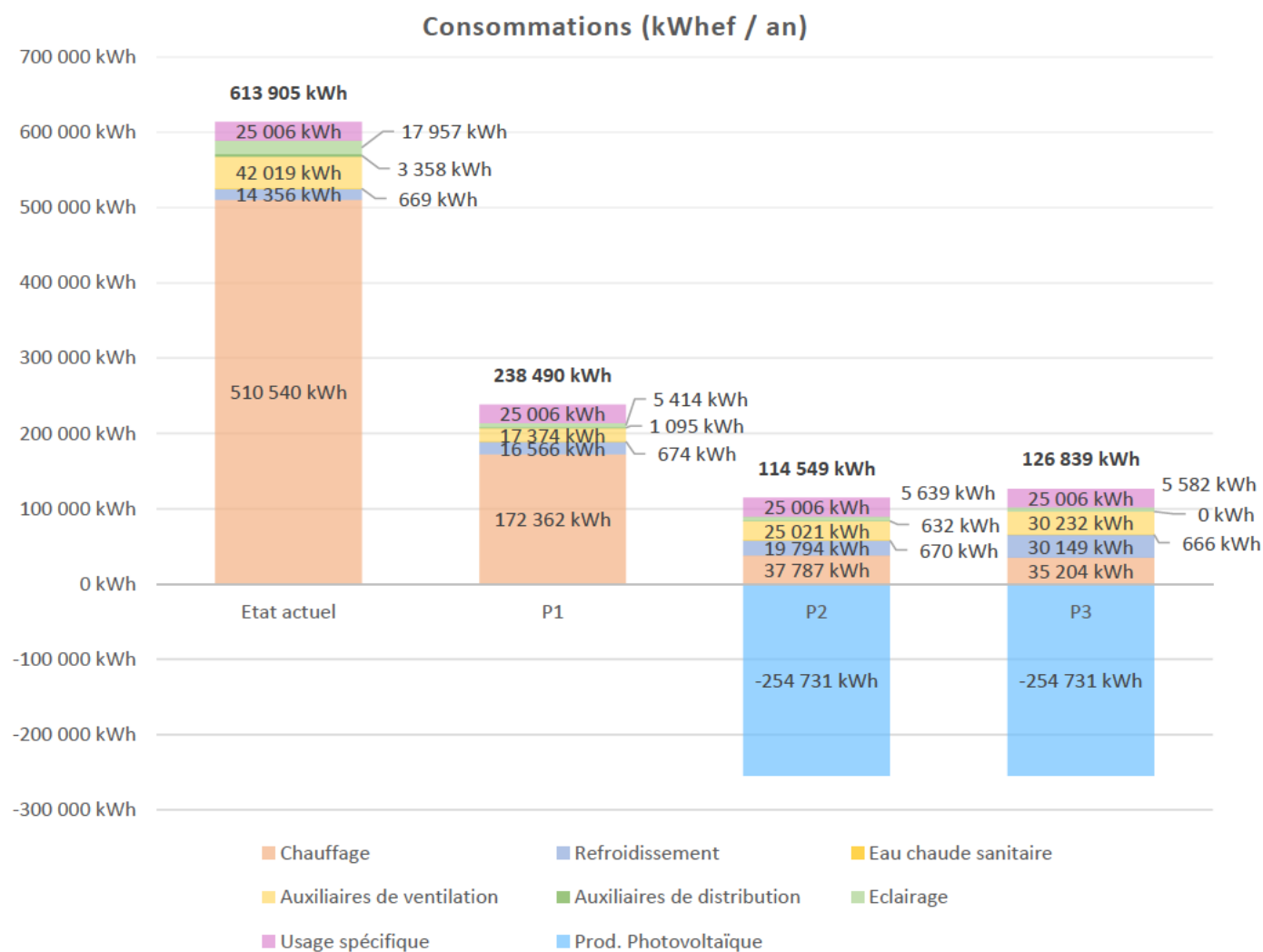
- Reprise de l'isolation des toits terrasse et de l'étanchéité en toiture ; remplacement des Skydômes
- Isolation en sous-face des planchers bas accessibles + réfection des flocages ;
- Remplacement de l'ensemble menuiseries ;
- Remplacement du toit vitré par du polycarbonate alvéolaire isolant + protection solaire ;
- Correction des défauts d'étanchéité à l'air et réalisation d'un test d'infiltrométrie de contrôle ;
- Remplacement CTA des amphithéâtres par des CTA double flux à récupération de chaleur thermodynamiques ;
- Installation de VMC double flux thermodynamiques dans tous les autres locaux ;
- Suppression de tous les systèmes actuels de chauffage et de climatisation ;
- Installation de pompes à chaleur air/air collectives de type VRV dans tout le bâtiment ;
- Remplacement des éclairages fluo par des luminaires à LED et installation de détecteurs de présence ;
- Installation de sous-comptages calorifiques et électriques pour comptabiliser pour tous les usages ;
- Installation de 200 kWc de panneaux photovoltaïque en toiture sur plots solidaires de l'étanchéité.

Calcul de déperditions du programme P3 :



Programme 3 : Economie d'énergie : 79,3% hors PV; 120,8% avec PV


VII.4 Comparatif des programmes de rénovation



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 du bâtiment actuel présentant les taux d'inconforts les plus élevés que sont :

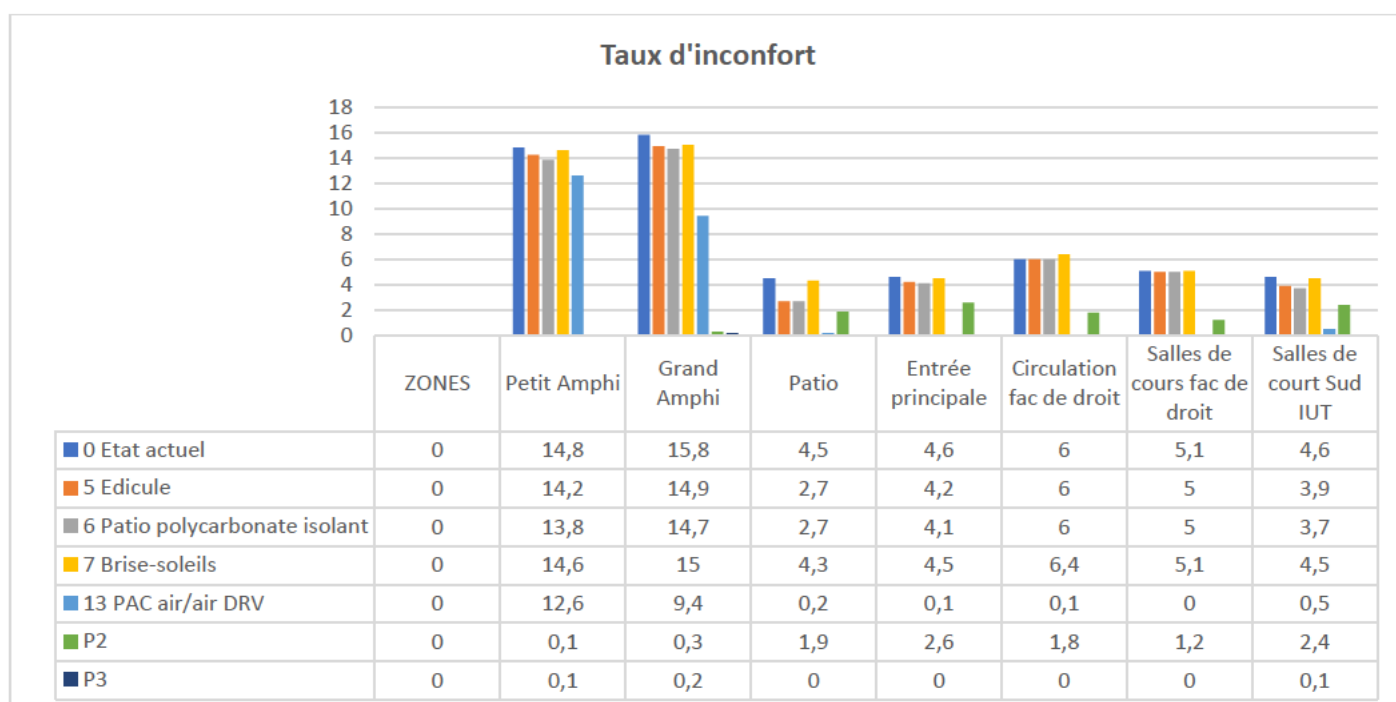
- Les amphithéâtres
- Le patio
- Les salles de classes ouest de la FAC
- Les salles de classes sud de l'IUT
- Les circulations des licences et l'entrée principale

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 de la fraîcheur ou de la climatisation.

Les variantes ayant un impact sur le confort thermique sont :

- Variante 5 : Le remplacement de la toiture en polycarbonate du patio par un édicule.
- Variante 6 : Le remplacement de la toiture en polycarbonate du patio par un polycarbonate isolant complété par l'installation d'une nouvelle protection solaire.
- Variante 7 : L'installation brise soleil sur les façades non équipées.
- Variante 13 : remplacement des radiateurs par des climatisations réversibles VRV.
- Programme de rénovation 1 : rénovation complète + installation de PAC air/eau réversibles permettant la climatisation des Amphithéâtres et le pré-rafraîchissement de l'air neuf dans tout le bâtiment.
- Programme de rénovation 2 : rénovation complète ; remplacement des radiateurs par des climatisation réversibles VRV et climatisation des Amphithéâtres par des CTA thermodynamiques.

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.



Globalement, les taux d'inconfort sont modérés, car malgré des surfaces vitrées importantes, le bâtiment dispose déjà de protections solaires efficaces à presque tous les endroits stratégiques. De plus, le bâtiment est peu occupé en juillet et est fermé en août.

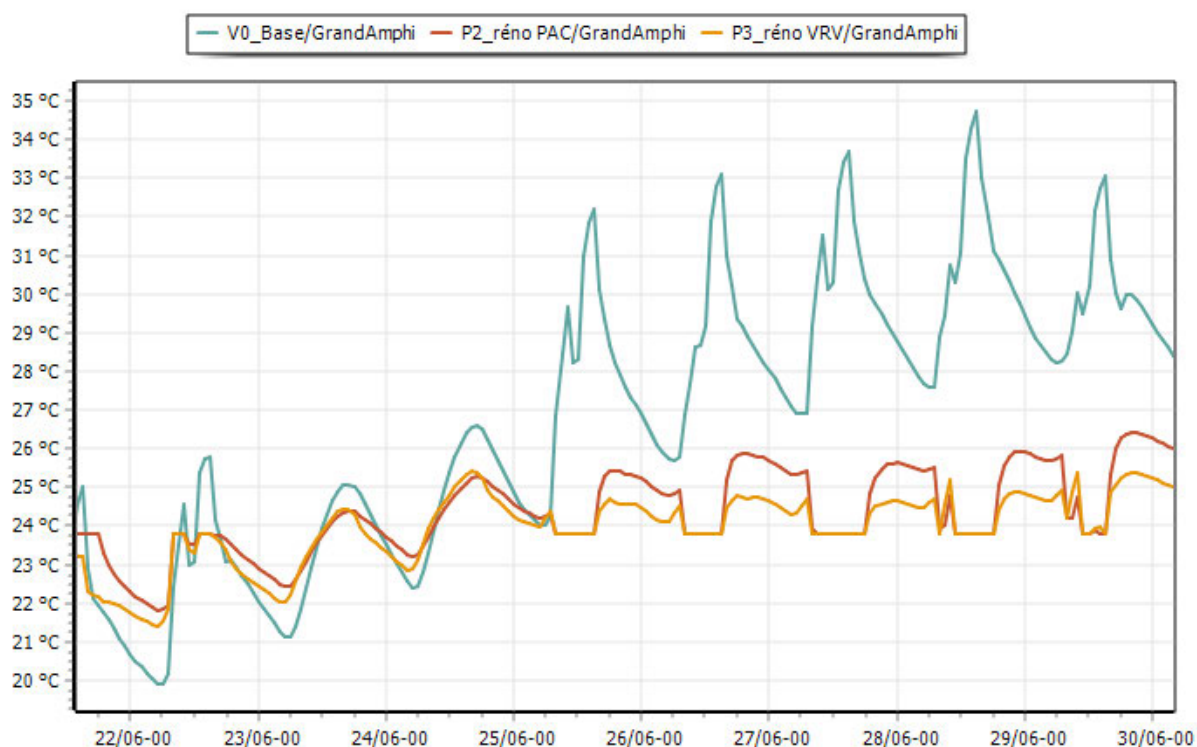
Les amphithéâtres sont les zones avec l'inconfort le plus élevé. Dans ces pièces où la surchauffe est due principalement aux apports internes des occupants, une climatisation active permet de supprimer l'inconfort.

Dans le patio, l'amélioration des apports solaire par une nouvelle protection plus efficace et une meilleure isolation permet de réduire la température en été.

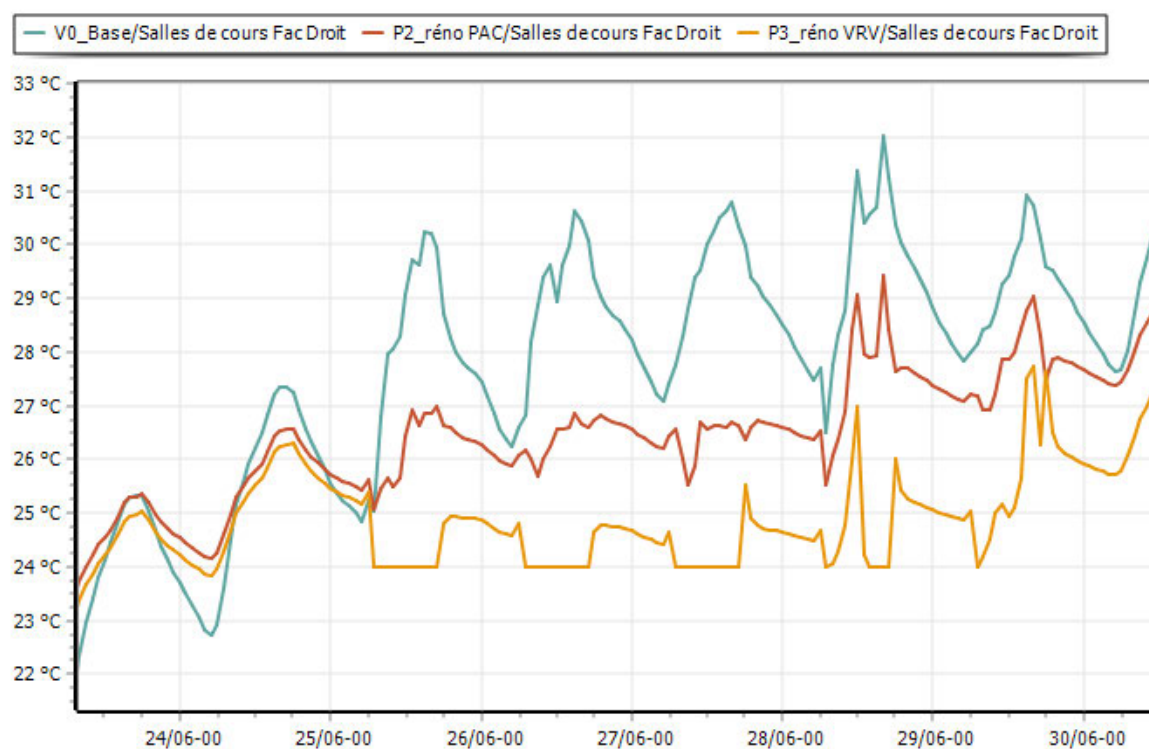
L'installation de brise-soleils supplémentaires n'améliore pas le confort, car les zones concernées sont déjà climatisées et ne présentent donc pas d'inconfort.

Le prétraitement en froid de l'air neuf permet de significativement baisser l'inconfort sans avoir besoin d'installer des systèmes de climatisations dans tout le bâtiment.

Enfin, les variantes avec les locaux climatisés présentent bien évidemment un inconfort quasi nul.



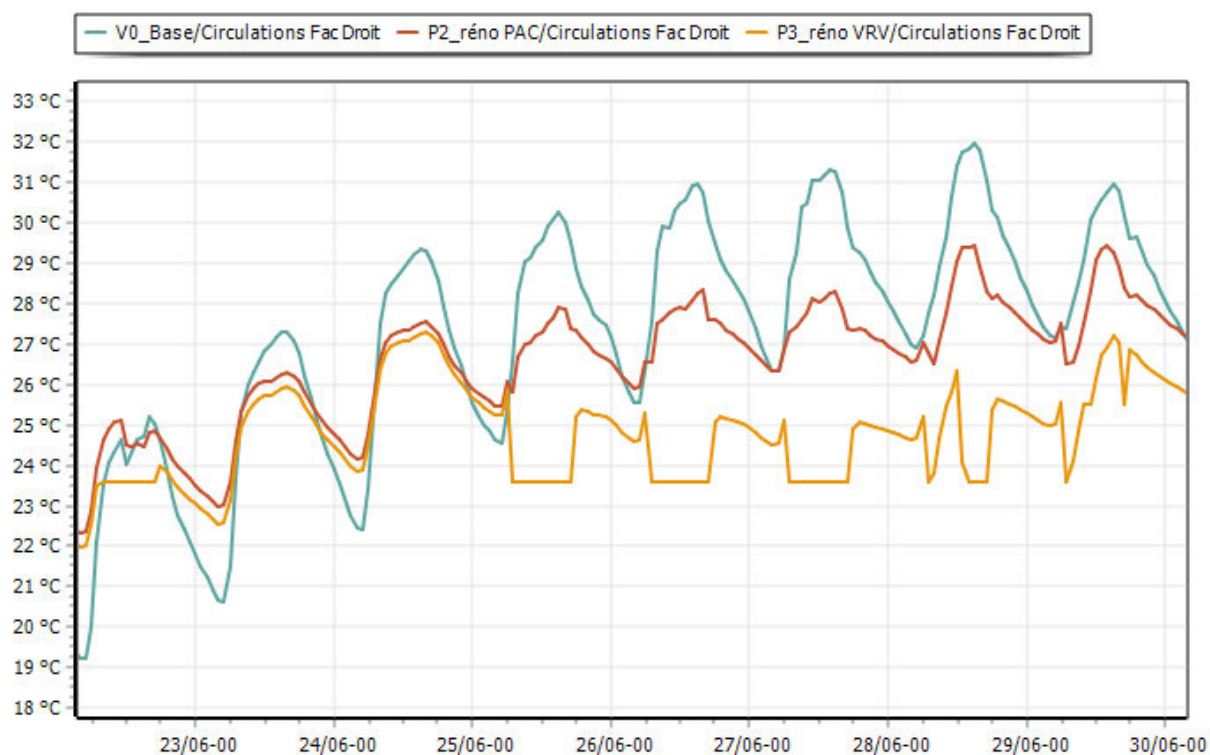
Température fin juin dans le grand amphithéâtre : la climatisation permet de supprimer les pics de chaleur en période estivale



Température fin juin dans les salles de cours ci-dessus et dans la circulation de la fac de droit ci-dessous :

la climatisation (P3) permet de supprimer les pics de chaleurs en période estivale

le prétraitement de l'air neuf (P2) et les vitrages à contrôle solaire en partie basse des murs rideaux permettent de les limiter.

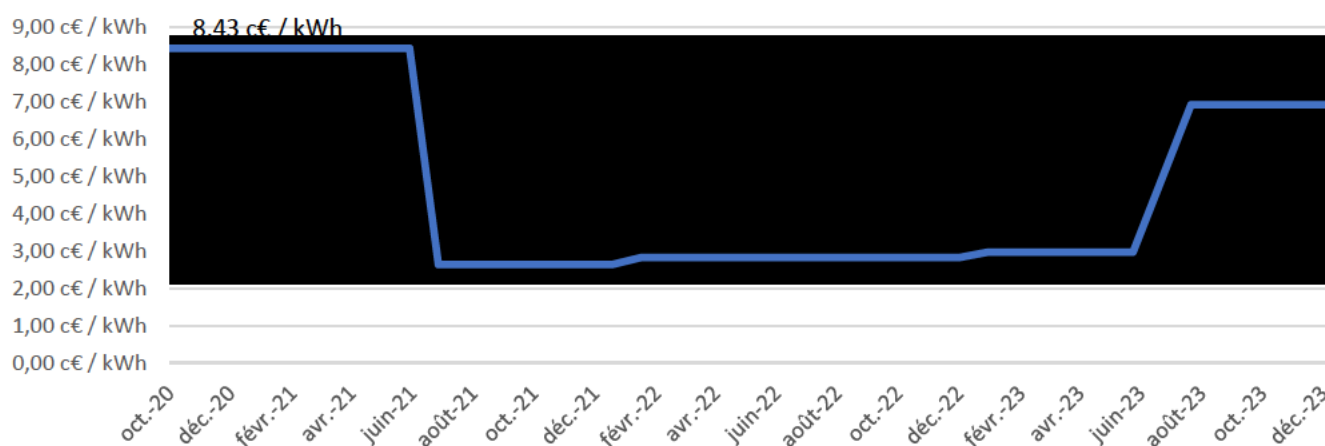


IX ANALYSE FINANCIERE

IX.1 Prix de l'énergie

IX.1.1 Gaz naturel

Evolution du prix HT du kWh du gaz



IX.1.2 Electricité

Le bâtiment dispose d'un approvisionnement en électricité sur la tranche tarifaire des clients raccordés BT supérieur à 36 kVA.

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

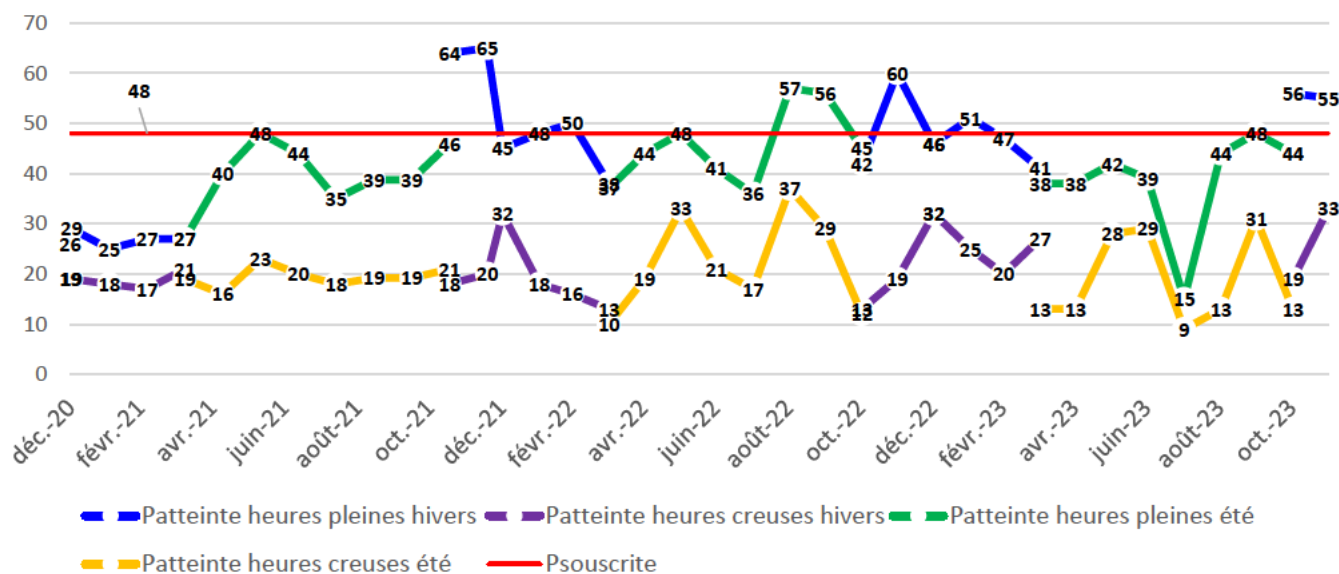
| Puissance souscrite | |
|---------------------|--------|
| HPH | 48 kVA |
| HCH | 48 kVA |
| HPE | 48 kVA |
| HCE | 48 kVA |

La puissance souscrite est de 48 kVA pour toutes les plages horaires.

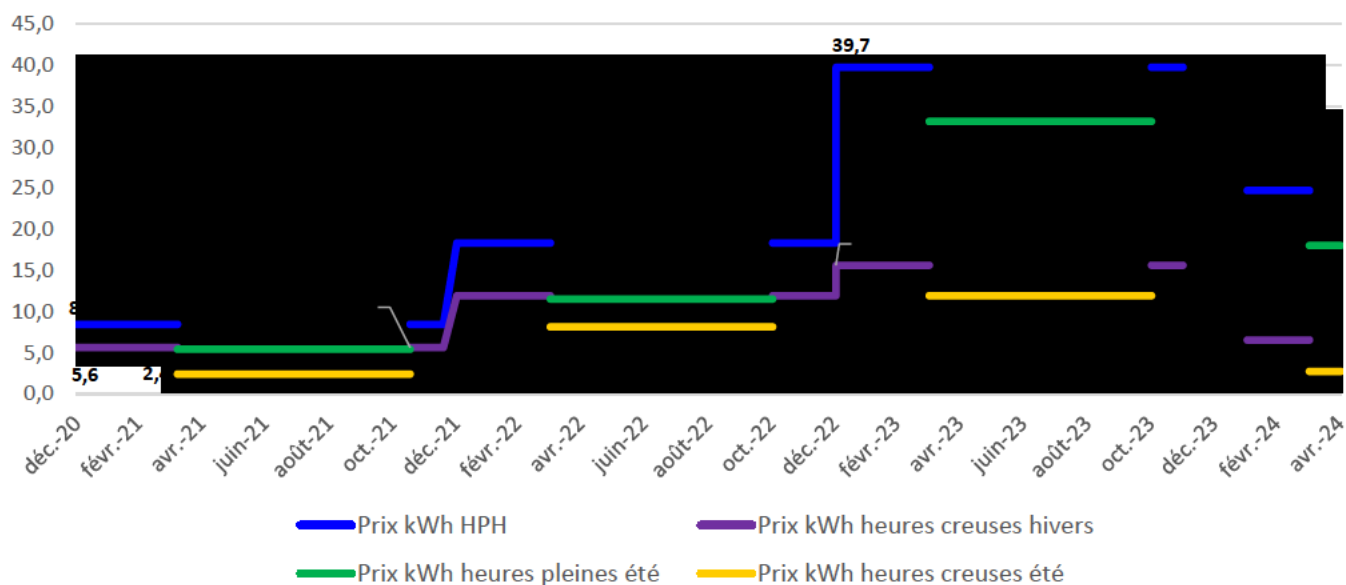
Celle-ci est régulièrement dépassée pour les plages en heures pleines. Cependant, les dépassements ne sont que ponctuels et engendrent peu de surfacturations.

En l'absence de changement principal d'énergie, il serait envisageable de souscrire à une puissance réduite pour les plages en heures creuses à 35 kVA. Cela générerait une économie annuelle de 200 € TTC.

Puissance maximale appelée (kVA)



Evolution du prix HT du kWh électrique



Les prix de l'électricité et du gaz présentent une variabilité au fil des mois assez importante.

Le bilan sur les 3 dernières années ne montre pas une tendance globale à la hausse des prix de l'énergie.

Cependant, 3 années consécutives ne sont pas assez représentatives pour juger de la variabilité des prix sur le moyen et le long terme ; et il est important de garder à l'esprit que les prix des énergies de façon générale sont amenés à augmenter. Le bilan financier du bâtiment dans son état actuel serait donc aussi amené à augmenter.

IX.1.3 Hypothèses de prix considérés dans les calculs

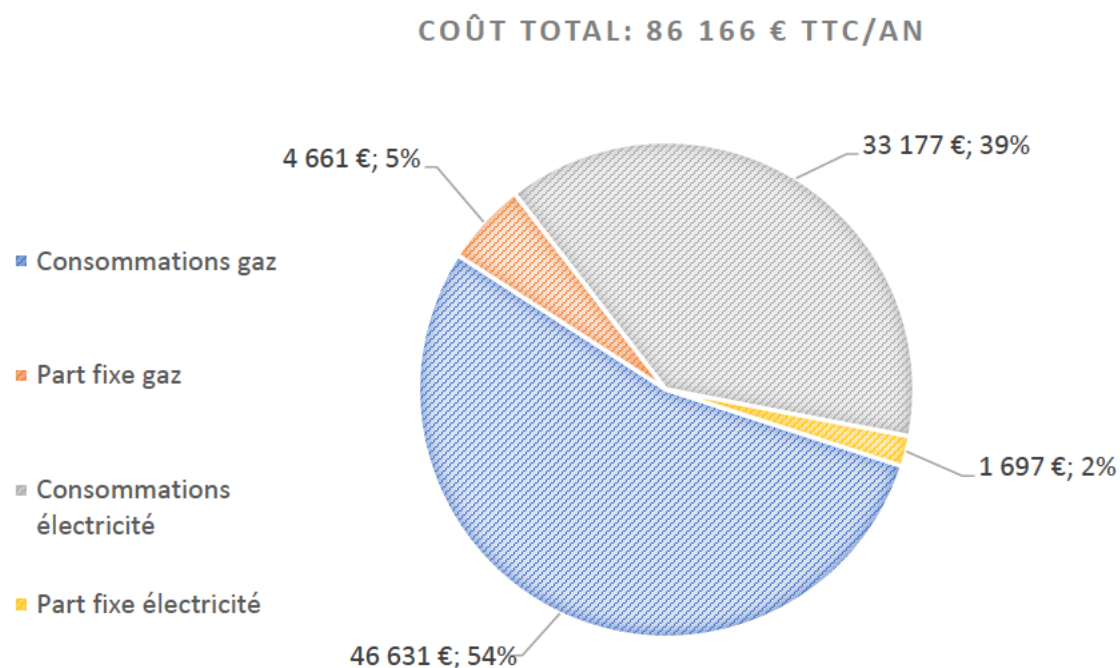
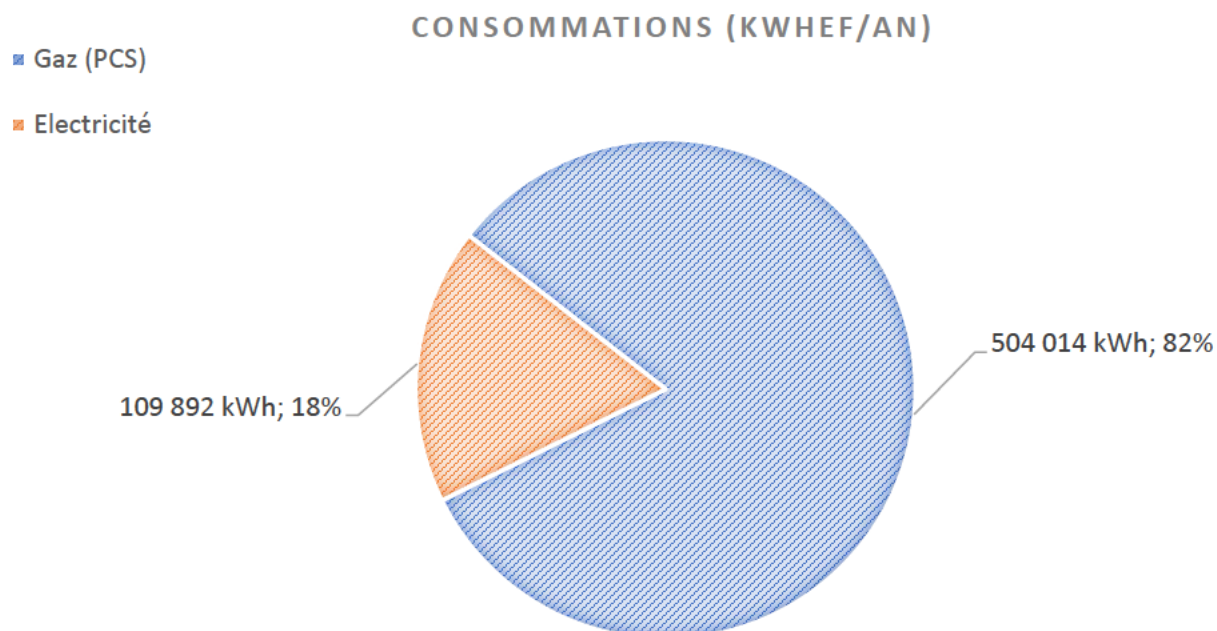
L'ensemble des calculs d'économies réalisés dans l'Audit sont calculées sur la base des prix constatés sur les dernières factures disponibles.

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 | 4 418,28 € | | | |
| CTA transport | | | | |
| CTA distribution | | | | TVA |
| Services | | | | |
| TOTAL part fixe | 4 418,28 € | | 4 661,29 € | 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 mai 2024) | | | | | | |
|---|-------------------|-------------|-----------------------|------------|-------------------|--------|
| | HT | | PS HPH | 48 | TTC | |
| Abonnement | | | PS HCH | 48 | | |
| CG | 199,80 € | | PS HPE | 48 | | |
| CC | 255,84 € | | PS HCE | 48 | | |
| CS Fixe | 704,16 € | | | | | |
| CTA | 254,34 € | | | | | |
| TOTAL part fixe | 1 414,14 € | | | | 1 696,97 € | |
| Part variable | | | | | | TVA |
| | HT | CS variable | Mécanisme de capacité | Avec Taxes | TTC | 20,00% |
| HPH | 24,651 c€ | 5,630 c€ | 0,330 c€ | 33,273 c€ | 39,928 c€ | |
| HCH | 6,444 c€ | 4,110 c€ | 0,023 c€ | 13,239 c€ | 15,887 c€ | |
| HPE | 18,002 c€ | 2,370 c€ | 0,036 c€ | 23,070 c€ | 27,684 c€ | |
| HCE | 2,690 c€ | 1,720 c€ | 0,036 c€ | 7,108 c€ | 8,530 c€ | |
| CEE | 0,612 c€ | | | | | |
| CSPE | 2,050 c€ | | | | | |

IX.2 Répartition des charges énergétiques actuelles



IX.3 Estimation des investissements

Non communiqué

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

Non communiqué

IX.4 Rentabilité des variantes et scénarios

Non communiqué

Non communiqué

Non communiqué

Non communiqué

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.

Non communiqué

¹ taux d'inflation annuel moyen de 1,85%

IX.5 Aspect réglementaire

IX.5.1 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 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 »)
- Arrêté du 28 novembre 2023 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 III »)
- Arrêté du 20 février 2024 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 IV »)
- Arrêté du 5 juillet 2024 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 V »)

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 suivantes :

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.

Le **programme de rénovation 1** permet de diminuer la consommation actuelle de **61 %**.

Le **programme de rénovation 2** permet de diminuer la consommation actuelle de **81 %** hors production photovoltaïque.

Le **programme de rénovation 3** permet de diminuer la consommation actuelle de **79 %** hors production photovoltaïque.

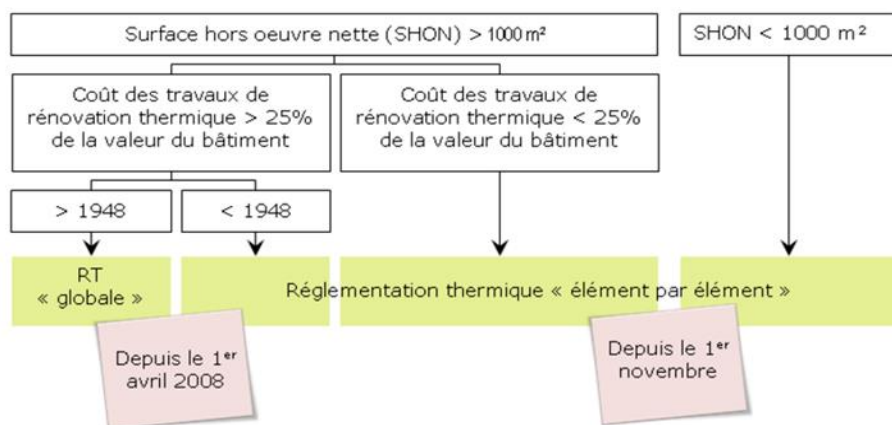
L'ensemble des 3 programmes de rénovation proposés permettent de répondre aux exigences de l'échéance 2050 du décret tertiaire.

IX.5.2 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 ».



La Surface Hors Œuvre Nette SHON de chaque bâtiment est supérieure à 1000 m².

La valeur du bâtiment actualisée selon les règles de calcul de la RT existant est de **4 517 000 € HT**.

Le bâtiment est donc soumis à la RT globale à partir d'une enveloppe de travaux de 1 129 000 € HT.

Le calcul en RT globale a été réalisé pour les 3 programmes de rénovation bien que le programme P1 ne soit soumis qu'à la RT existant par éléments puisque le montant des travaux est situé sous les 25 % de la valeur du bâtiment.

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 | W/(m².K) | W/(m².K) | W/(m².K) | W/(m².K) |
| UPVD Narbonne | 97.8 | 66.1 | 82.0 | | 68.4 | 0.684 | 0.975 | 1.026 | 1.334 |

| Températures Intérieures de Confort pour les groupes CE1 | | |
|--|---------|---------|
| Groupe | Tic | Tic ref |
| Groupe non climatisé | 31.14°C | 31.43°C |
| Groupe climatisé | 30.98°C | 31.78°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 |
| UPVD Narbonne | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Programme de rénovation 2 :

Bâtiment correspondant au Label 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 | W/(m².K) | W/(m².K) | W/(m².K) | W/(m².K) |
| UPVD Narbonne | 97.8 | -142.9 | 86.2 | | 68.4 | 0.790 | 0.583 | 1.185 | 1.334 |

| Températures Intérieures de Confort pour les groupes CE1 | | |
|--|---------|---------|
| Groupe | Tic | Tic ref |
| Groupe non climatisé | 33.11°C | 34.41°C |
| Groupe climatisé | 32.82°C | 36.19°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 |
| UPVD Narbonne | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Programme de rénovation 3 :

Bâtiment correspondant au Label 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 | W/(m².K) | W/(m².K) | W/(m².K) | W/(m².K) |
| UPVD Narbonne | 97.8 | -139.6 | 80.9 | | 68.4 | 0.685 | 0.502 | 1.028 | 1.334 |

| Températures Intérieures de Confort pour les groupes CE1 | | |
|--|---------|---------|
| Groupe | Tic | Tic ref |
| Groupe climatisé 1 | 33.22°C | 35.43°C |

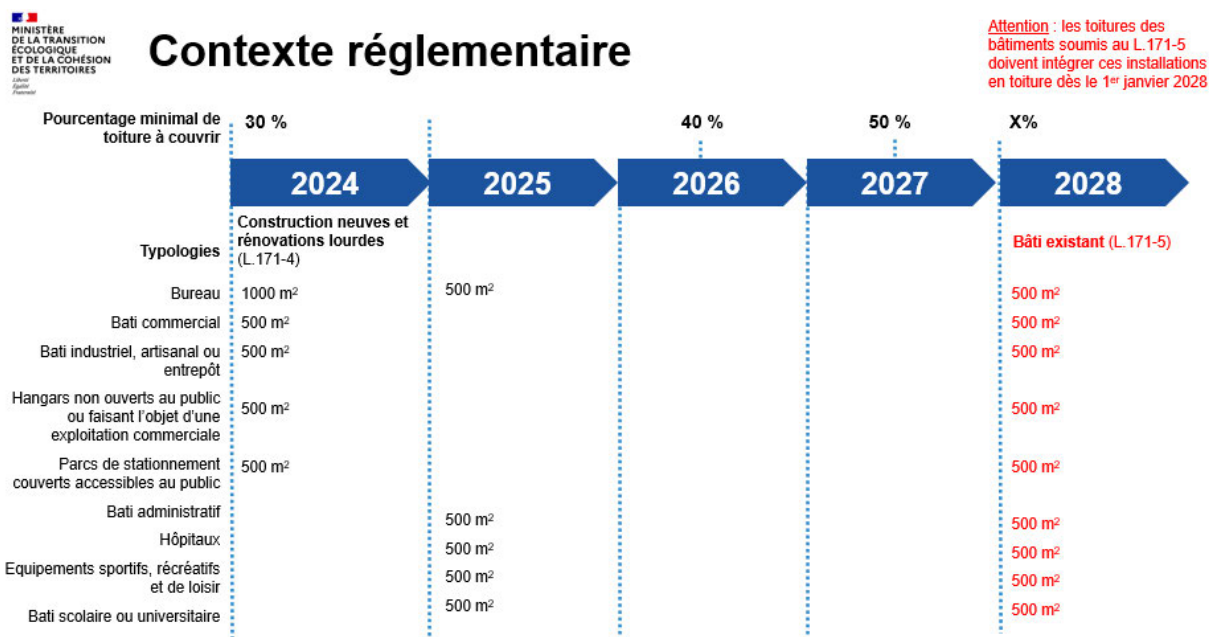
| Exigences minimales | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Bâtiment | Art 43 | Art 45 | Art 46 | Art 47 | Art 48-56 | Art 57-63 | Art 64-67 | Art 68-73 | Art 74-78 | Art 79-84 |
| UPVD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

IX.5.3 Installation d'ENR ou végétalisation des toitures

Les construction neuves font l'objet d'une obligation d'installer des toitures photovoltaïques 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 bâtiment universitaires, l'obligation démarre à partir de 2025. L'université de Narbonne est donc concernée par ce dispositif. Il est donc obligatoire de mettre en place une installation photovoltaïque en toiture.

Le calendrier prévu est le suivant :

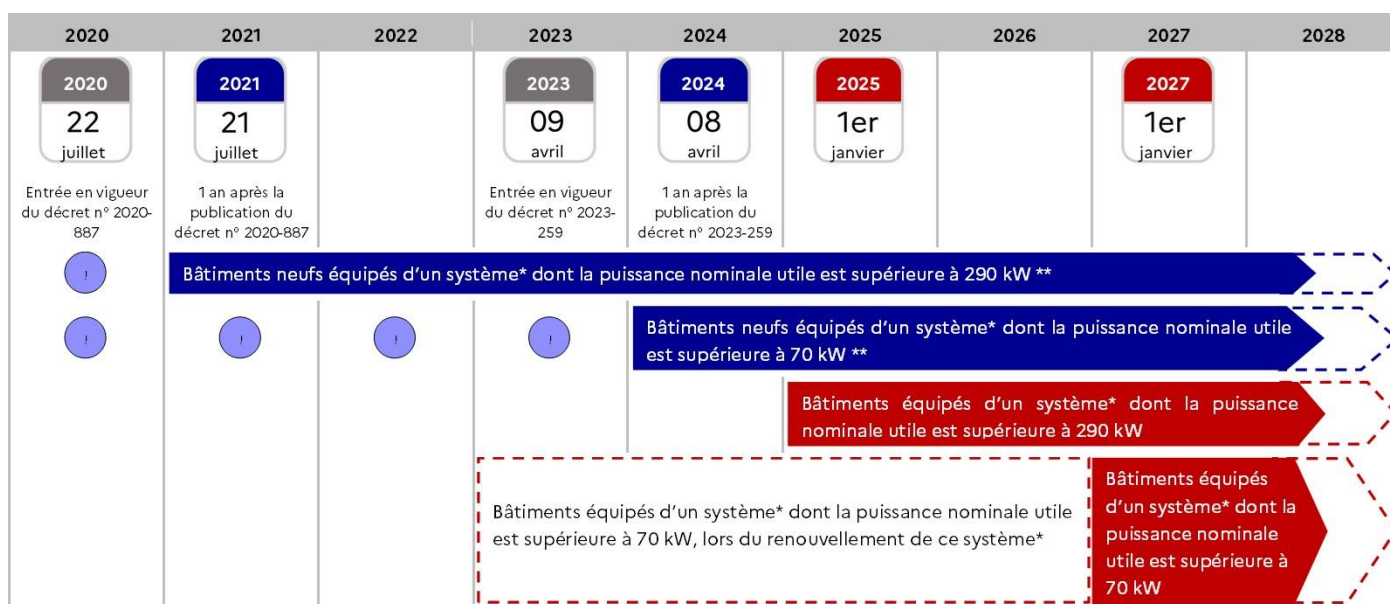


IX.5.4 Décret BACS

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 de l'université de Narbonne 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
- - éclairage
- - Production d'électricité

La réfection ou la mise en place d'une nouvelle GTB et d'une gestion centralisée pour la climatisation est nécessaire respecter le décret BACS.

X CONCLUSION

Le bâtiment de l'université et de l'IUT de droit de Narbonne présente des consommations importantes.

Le poste principal de dépenses est le chauffage car le bâtiment présente de nombreuses imperfections :

- Les toitures et les planchers sont mal isolés.
- Les menuiseries sont moyennement performantes.
- La régulation ne fonctionne pas correctement.
- Les CTA des amphithéâtres fonctionnent en tout air neuf ce qui est énergivore.
- Le bâtiment présente des défauts d'étanchéité à l'air importants.

C'est pourquoi les économies d'énergie potentielles sont importantes.

Le potentiel d'économies envisageables (hors production photovoltaïque) sur les scénarios calculés s'élève à :

- **61,2 % pour le programme de rénovation globale 1**
- **81,3 % pour le programme de rénovation globale 2**
- **79,3 % pour le programme de rénovation globale 3**

La production photovoltaïque possible étant importante rapportée aux consommations des bâtiments, elle permet une **économie supplémentaire d'environ 40 %**.

En combinant un programme de rénovation ambitieux et une installation photovoltaïque, il est possible d'envisager un bâtiment à énergie positive qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme, n'émet pas de CO₂ sur son fonctionnement direct, permettant à l'UPVD de faire un pas de plus vers la neutralité carbone.