

COMMUNAUTÉ FRANÇAISE - FÉDÉRATION WALLONIE-BRUXELLES
BOULEVARD LÉOPOLD II, 44, 1080 BRUXELLES



WÉPION

CENTRE CULTUREL MARCEL HICTER « LA MARLAGNE »
DÉSIGNATION D'UN AUTEUR DE PROJET EN VUE DE L'ÉTUDE ET DU
SUIVI DE L'EXÉCUTION DE TRAVAUX DE RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

Référence : DICHA_3131-2022-00635

AVIS DE MARCHÉ - ANNEXE 5
AUDIT ENERGETIQUE

Préambule

Le présent audit a été réalisé par le bureau d'étude Energ-IR sous-traitant de l'A.M. Label architecture - Arscéno, groupement d'opérateurs économiques en charge de la rénovation d'une partie de l'aile 2 et de la toiture de l'aile 1 (voir Annexe 4 : plan d'ensemble et identification des ailes du bâtiment). Certains documents du marché actuellement en cours sont disponibles ici : <https://cellule.archi/marches/la-marlagne-centre-culturel-marcel-hicter>

En complément de l'étude, sont précisés les points suivants :

- **Concernant les prix annoncés dans l'audit :**
Pour élaborer l'estimation de la présente mission, l'adjudicateur a révisé les prix annoncés dans l'audit (daté de mai 2021) pour les mettre à jour sur base des prix de novembre 2022 et intégrer les travaux connexes aux travaux d'isolation. Par ailleurs, l'estimation inclut également la mise en conformité du réseau ECS et, en option, la mise en conformité du réseau électrique.
- **Concernant la Ventilation :**
L'audit se focalise sur la ventilation du théâtre et des foyers adjacents, incluse dans la mission actuellement en cours. En complément, il est important de signaler que certaines parties du bâtiment ne sont actuellement pas du tout ventilée (logements, conciergerie, etc.) et que l'aile 1 dispose déjà de deux autres groupes (Séminaire = 5.400 M³/H ; Restaurant = 34.560 M³/H) qui pourraient être modernisés, voire remplacés. L'étude de ces systèmes est comprise dans la présente mission et l'estimation des travaux.

Projet de rénovation de la Marlagne Audit énergétique – rapport complet

TABLE DES MATIERES

0. Introduction	2
1. Relevé de la situation existante.....	2
2. Simulation thermique statique.....	4
3. Optimisation de l'enveloppe	6
Aspects énergétiques.....	6
Aspects financiers	8
Analyse de rentabilité	9
Conclusion théorique.....	10
Choix des parois à isoler	11
Les toitures.....	11
Les châssis	11
Les façades	12
Résultats énergétiques	13
Conclusion pratique	14
4. Réductions des déperditions aérauliques	15
Étanchéité à l'air	15
Performance des équipements de ventilation.....	15
Situation existante.....	15
Situation projetée.....	16
Conclusion.....	17
5. Amélioration des équipements de production de chaleur	18
Étude de la chaufferie principale	18
Chaufferie existante – T0.....	18
Installation de chaudières gaz – T1	18
Installation de pompes à chaleur air/eau -T2.....	18
Installation de pompes à chaleur géothermiques -T3	18
Autres options techniques.....	19
Résultats environnementaux.....	19
Résultats financiers	20
Optimisation du chauffage de la conciergerie	20
Optimisation de la production d'ECS destinée aux logements et loges.....	22
Conclusion.....	23
Utilisation de l'eau de pluie.....	24
Annexes.....	25
Dénomination des toitures	25

0. INTRODUCTION

Cet audit énergétique est réalisé en amont des travaux de rénovation du théâtre. L'objectif étant, au départ de l'analyse du comportement du bâtiment existant, la mise en évidence des améliorations qui peuvent être apportées et les économies énergétique, financière et environnementale qui en découlent ; ceci en vue d'évaluer la pertinence d'un investissement à réaliser et mettre en place un plan d'action global cohérent.

L'étude complète est divisée en 6 phases :

1. Relevé de la situation existante (divers équipements techniques et modes de fonctionnement / régulation)
2. Simulation thermique statique (à l'aide de l'outil PHPP) de la situation existante ; à mettre en perspective avec les consommations effectives
3. Analyse de la pertinence d'amélioration de l'enveloppe
4. Analyse de la pertinence d'amélioration des équipements de ventilation (équipements et régulation) avec mise en perspective par rapport aux normes en vigueur (PEB, A.R. bien-être au travail, etc.)
5. Analyse de divers types de production de chaleur en ce compris recours aux énergies renouvelables (au même titre qu'une étude de faisabilité technique, économique et environnementale telle qu'elle serait menée pour un bâtiment neuf)
6. Etude spécifique éclairage (choix de 5 locaux représentatifs qui seront étudiés en détail, à l'aide du logiciel Dialux couplé à notre propre méthode de calcul des consommations)

La phase 6 n'a pas été réalisée car les luminaires ont déjà été remplacés par la cellule énergie du maître d'ouvrage. Par contre, deux éléments sont ajoutés à la partie 5 : l'utilisation de l'eau de pluie et le recours aux énergies renouvelables pour la production d'électricité.

1. RELEVÉ DE LA SITUATION EXISTANTE

Les parois types qui constituent l'enveloppe du bâtiment sont reprises dans le tableau ci-dessous ; de même que leur composition, le total de leurs surfaces et leur coefficient de transmission thermique U exprimé en W/m^2K . Plus cette valeur est basse, mieux la paroi est isolée. À titre de référence, la PEB impose aujourd'hui un U maximal de $0,24 W/m^2K$ sur toutes les parois neuves ou rénovées opaques.

Les compositions des parois non isolées sont estimées sur base des plans disponibles. Les épaisseurs des différents matériaux structuraux sont approximatives mais leur impact sur les résultats est négligeable. À l'inverse, les épaisseurs d'isolants proviennent des informations fournies par le maître d'ouvrage.

Paroi	Composition	Surface totale [m ²]	Valeur U [W/m ² K]
Dalles de sol	Chape 10cm Béton 20cm	6.363	2,36
Murs en briques	Brique 30cm	5.094	2,22
Murs en brique contre terre	Brique 30cm	1.096	2,22
Toitures plates ⁽¹⁾			
Local danse	Béton 30cm Foamglas 5cm PIR 8cm	268	0,21
Terrasse	Béton 30cm	716	2,88
SAS d'entrée	Béton 30cm	25	2,88
Zone hangar	Béton 30cm	246	2,88
Conciergerie	Béton 30cm	391	2,88
Loges/chambres	Béton 30cm	1.291	2,88
Théâtre	Béton 30cm Foamglas 5cm PIR 8cm	1.666	0,21
Toiture inclinée réfectoire	Laine minérale 6cm	3.470	1,72 ⁽²⁾
Simple vitrage		1.037	5,38 ⁽³⁾
Double vitrage		219	1,54

Panneaux polycarbonate ⁽⁴⁾		261	5,38
Portes non isolées		43	3,77
Portes isolées		4	2,19

(1) voir plan de dénomination des toitures en annexe.

(2) l'isolant n'est considéré que sur 1/3 de ses performances car il a été dégradé par de nombreuses infiltrations.

(3) les valeurs U des châssis sont issues des valeurs moyennes indiquées par le logiciel PHPP.

(4) il s'agit des « vitres » insérées dans la toiture du réfectoire.

2. SIMULATION THERMIQUE STATIQUE

Sur base des informations fournies par le maître d'ouvrage, la consommation annuelle moyenne pour le chauffage s'élève à 2.010.410 kWh.

À partir des compositions de parois définies ci-dessus, le logiciel PHPP permet d'évaluer la consommation totale du bâtiment ainsi que la répartition de cette consommation entre les différentes parois.

La consommation totale calculée s'élève à 3.731.249 kWh. Elle est supérieure à la consommation réelle car le logiciel considère que le bâtiment est utilisé à sa pleine capacité tout au long de l'année ce qui n'est pas le cas en pratique. Un ratio d'utilisation peut donc être calculé, il est de 54% et sera utilisé dans l'analyse économique pour que les bénéfices soient évalués au prorata l'utilisation réelle du centre.

Le graphe qui suit reprend, pour chacune des parois définies au paragraphe précédent, la proportion que cette paroi représente par rapport à la surface totale de l'enveloppe (en bleu) et par rapport aux déperditions totales (en rouge).

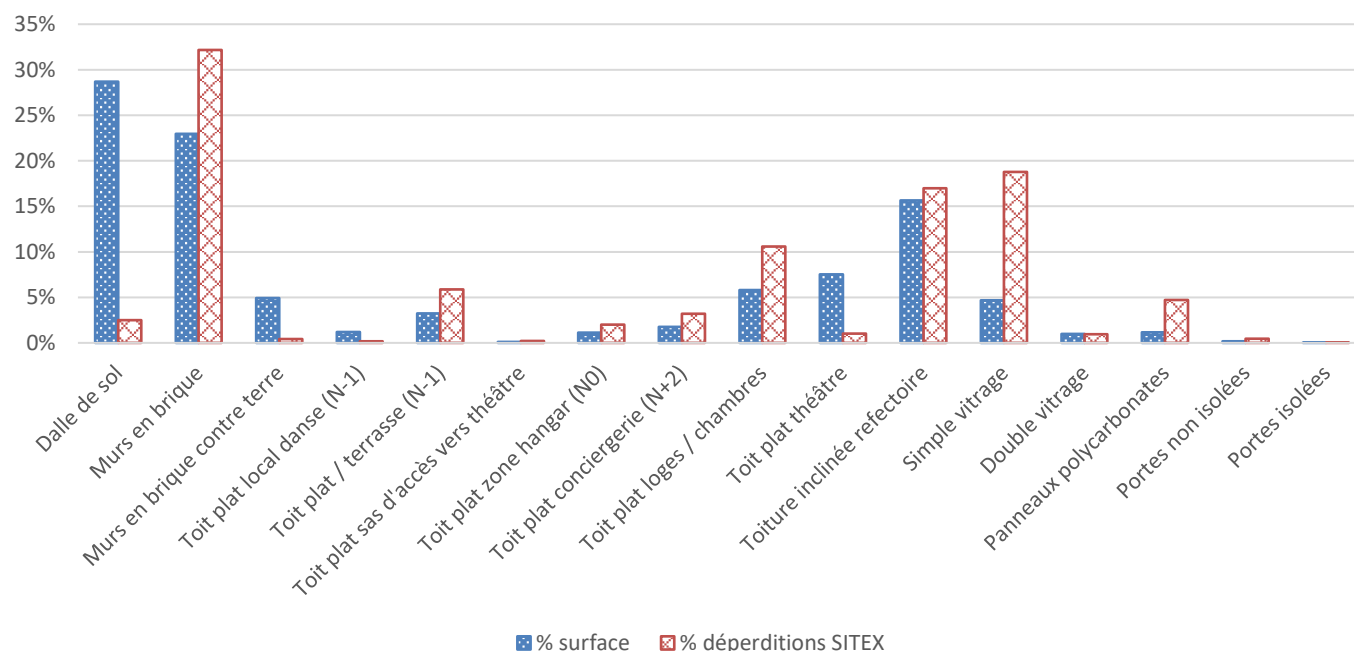
La comparaison de ces deux ratios permet de repérer les parois défavorables, dont les déperditions sont élevées pour une surface faible.

Signalons notamment la faiblesse des déperditions causées par les parois en contact avec la terre (dalle de sol & murs en brique contre terre). Malgré leur surface élevée, ces parois ne créent que peu de pertes thermiques (proportionnellement aux autres parois en contact avec l'ambiance extérieure).

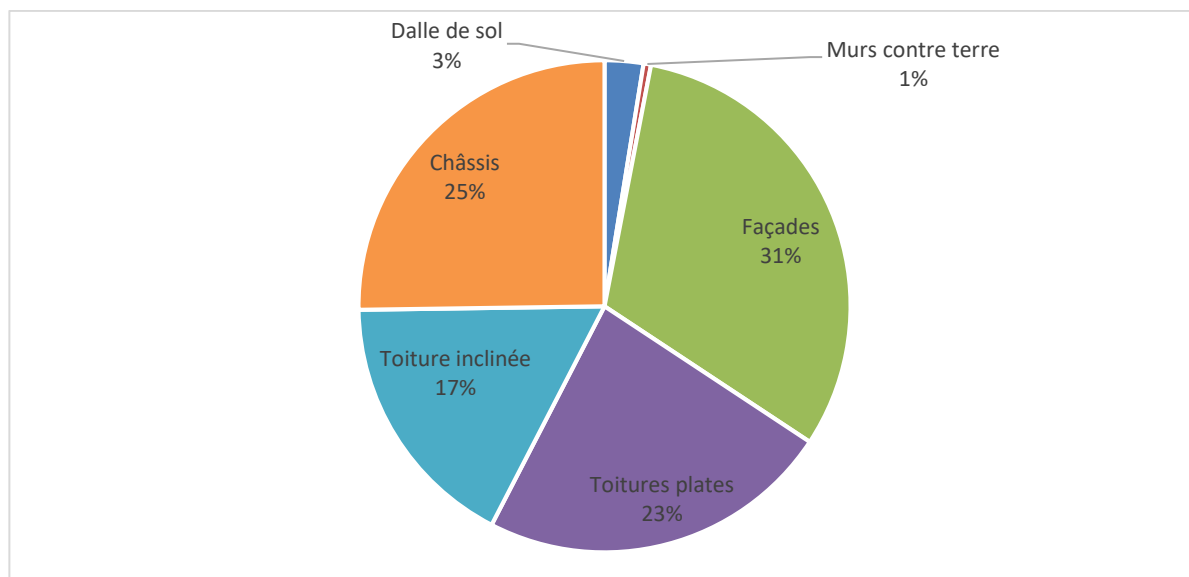
À l'inverse, le simple vitrage représente 5% des surfaces mais 19 % des déperditions. D'un point de vue thermique, le remplacement du simple vitrage est donc prioritaire. Dans une mesure légèrement moindre, il en est de même pour les toitures.

Ces considérations purement techniques seront confrontées aux aspects économiques dans le paragraphe suivant.

Tableau de comparaison des déperditions et des surfaces



Sous une présentation différente et en regroupant les parois du même type, le graphe suivant présente la participation des différents groupes de parois aux déperditions totales du bâtiment.



3. OPTIMISATION DE L'ENVELOPPE

ASPECTS ÉNERGÉTIQUES

Afin de réduire la consommation énergétique importante du bâtiment, différentes améliorations des parois peuvent être proposées.

Dans le cadre d'une première approche générale, nous proposons d'isoler toutes les parois afin d'atteindre les performances demandées par la PEB, soit un U de 0,24 W/m²K pour les parois opaques (0,30 pour la dalle) et un Uw de 1,5 W/m²K pour les châssis. Dans un second temps, les solutions techniques précises déterminées par l'équipe de conception pourront être évaluées.

Le tableau qui suit reprend les compositions proposées pour les différentes parois et la valeur U atteinte.

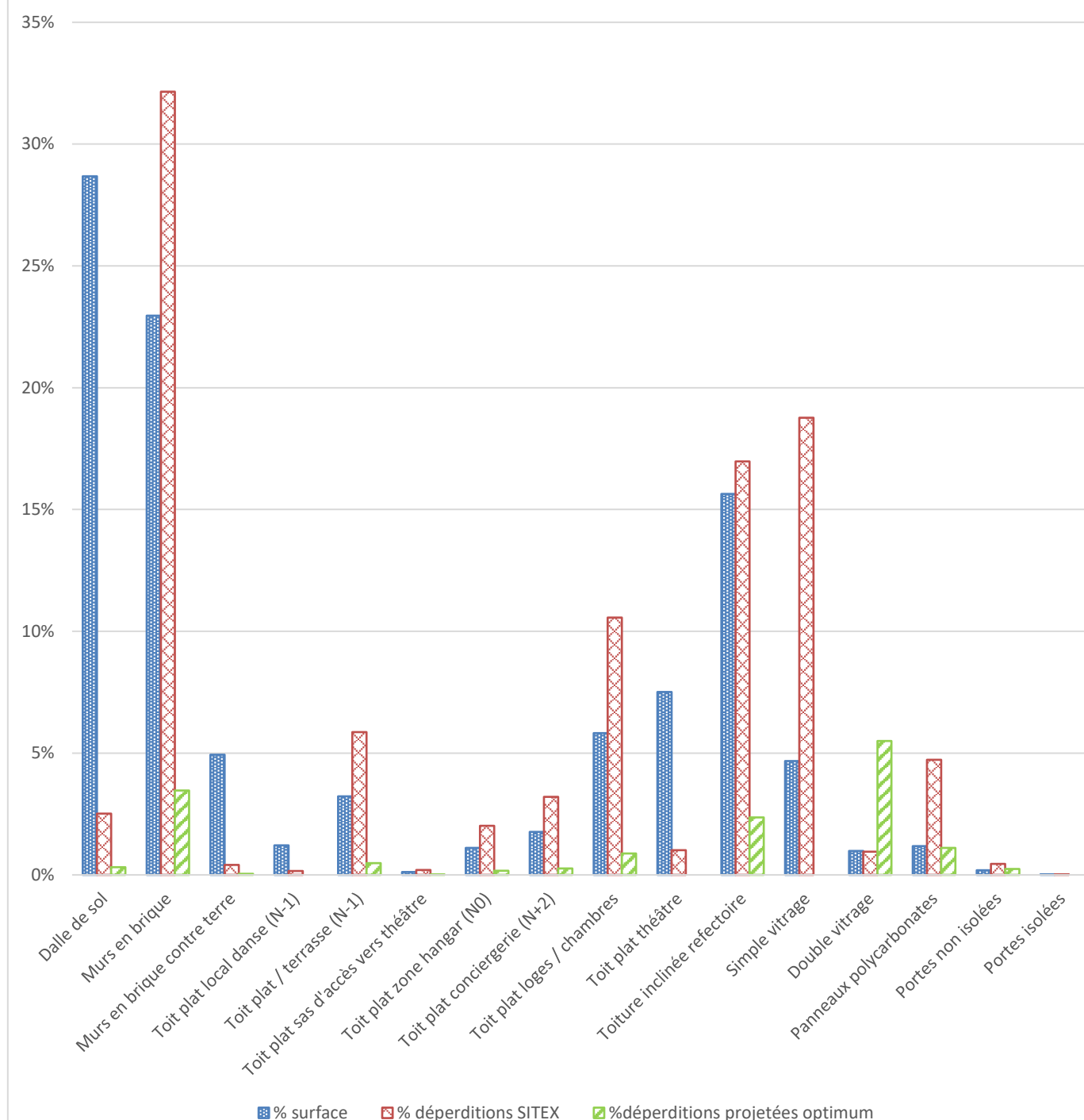
Nous ne proposons pas de modifier l'isolation des parois déjà isolées sauf dans le cas de la toiture inclinée du réfectoire puisque cet isolant a été dégradé et ne remplit plus pleinement son rôle.

Paroi	Isolation	Valeur U
		[W/m ² K]
Dalles de sol	PUR projeté 6cm	0,30
Murs en briques	Laine minérale 15cm (par l'intérieur)	0,24
Murs en brique contre terre	Laine minérale 15cm (par l'intérieur)	0,24
Toitures plates		
Local danse		0,21
Terrasse	PUR 10cm	0,24
SAS d'entrée	PUR 10cm	0,24
Zone hangar	PUR 10cm	0,24
Conciergerie	PUR 10cm	0,24
Loges/chambres	PUR 10cm	0,24
Théâtre		0,21
Toiture inclinée réfectoire	Laine minérale 18cm (par l'intérieur)	0,24
Simple vitrage	Remplacement par double vitrage	1,50
Double vitrage		1,54
Panneaux polycarbonates	Remplacement par double vitrage	1,50
Portes non isolées	Remplacement par portes isolées	2,0
Portes isolées		2,19

Le scénario que nous présentons ci-dessous inclut la totalité des travaux proposés et permet de visualiser les résultats théoriques qui pourraient être atteints dans cette configuration fictive optimale.

Ce scénario est ajouté dans le graphe présenté plus haut afin de montrer les réductions de déperditions induites par les travaux proposés.

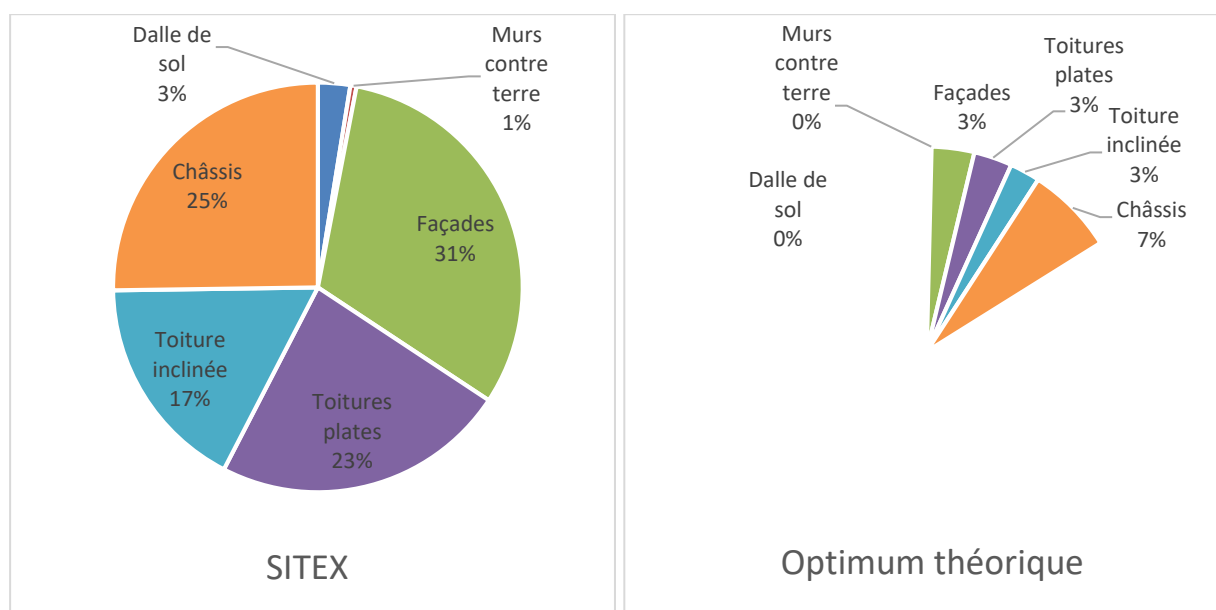
Tableau de comparaison des déperditions et des surfaces



Sur l'ensemble des déperditions, le scénario d'un bâtiment intégralement réisolé permet une réduction des déperditions calorifiques de 84%.

Dans le cas particulier des vitrages, les déperditions du simple vitrage sont nulles et celles du double vitrage augmentent puisque le simple vitrage est complètement remplacé par du double.

Comme pour la situation existante (SITEX), il est possible de représenter la participation de chacune des parois au total des déperditions via le graphe suivant.



ASPECTS FINANCIERS

Afin de permettre une prise de décision quant aux travaux à effectuer, les bénéfices énergétiques ci-dessus doivent être comparés au budget nécessaire à la réalisation des travaux d'isolation.

En fonction des cas, l'isolation des parois implique généralement des travaux annexes tels que le démontage des éléments actuels, la réalisation d'une nouvelle finition intérieure et/ou extérieure, etc. Dans la mesure du possible, le coût de ces travaux annexes est intégré de façon détaillée dans le budget travaux.

Mais ces interventions supplémentaires vont parfois bien plus loin, notamment lorsqu'il s'agit d'une isolation par l'intérieure qui peut demander des adaptations des circuits de chauffage, des appareils électriques, du mobilier mural le cas échéant, etc.

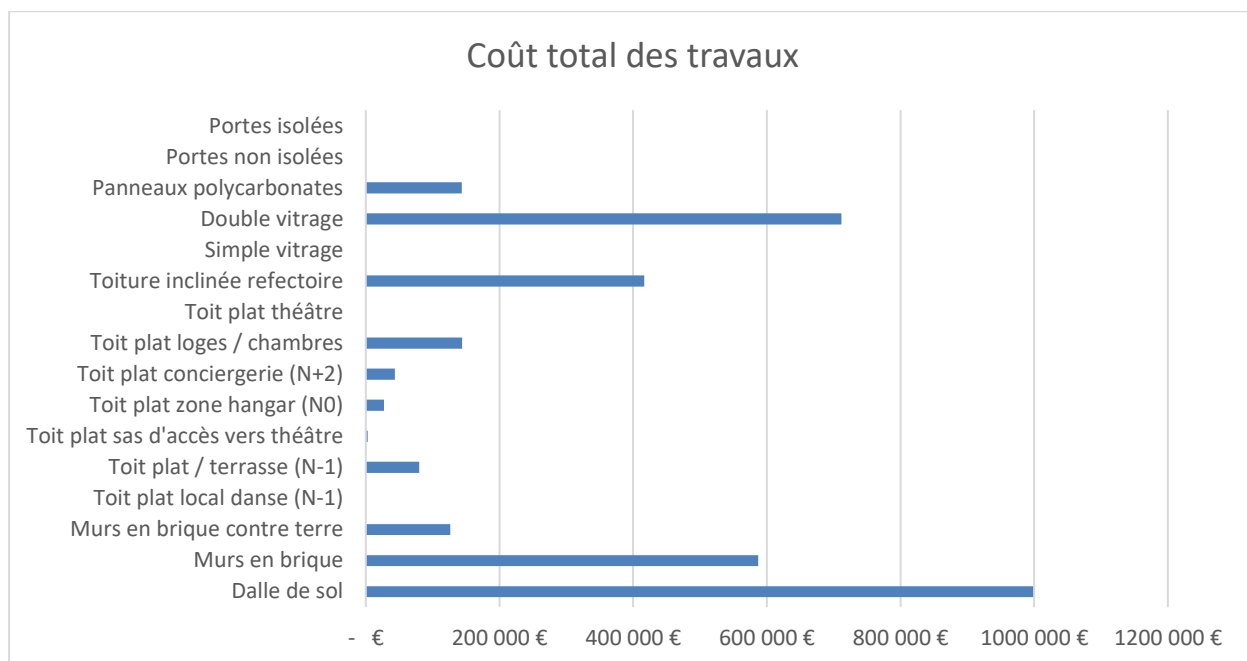
Le coût de tels travaux ne peut pas être évalué ici mais ces aspects de faisabilité doivent être considérés lors de la prise de décision.

Pour chaque type de paroi, le tableau suivant reprend les travaux considérés et le coût estimatif total. Ce montant inclut également les démolitions nécessaires.

Paroi	Travaux compris	Coût [€/m²]
Dalles de sol	PUR projeté 6cm Chape de ciment 12cm Pose des carrelages	157
Murs en briques	Cloison Métal Stud 15cm Laine minérale Finition gyproc + peinture	94
Toitures plates	Panneaux PUR 10cm Pare-vapeur Étanchéité (type derbigum)	112
Toiture inclinée réfectoire	Laine minérale 18cm Pare-vapeur Finition gyproc	196 ⁽¹⁾
Simple vitrage	Remplacement par double vitrage	686
Panneaux polycarbonates	Remplacement par double vitrage	550
Portes non isolées	Remplacement par portes isolées	963

(1) comprend 130 €/m² de bardage ajouré ; pourrait être remplacé par 60 €/m² avec une finition gyproc.

Le graphe suivant reprend le coût total estimé des travaux.

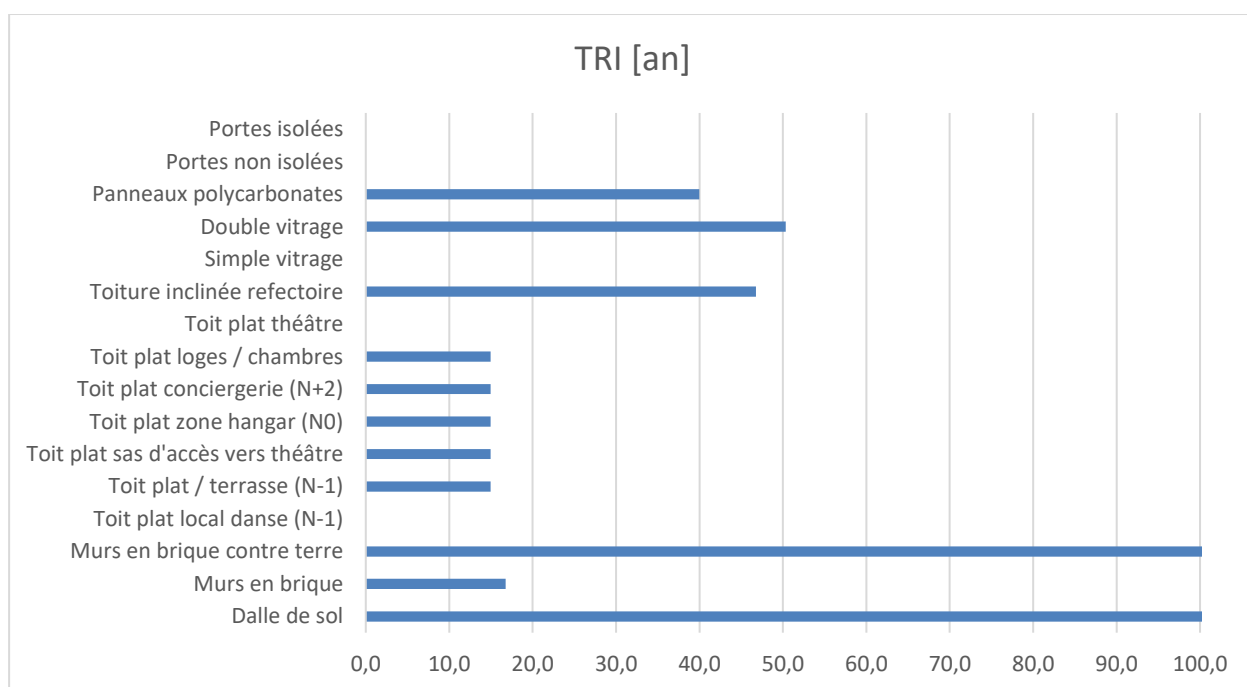


ANALYSE DE RENTABILITÉ

Les économies énergétiques présentées plus tôt peuvent être converties en économies financière.

Ce calcul tient compte d'un prix du mazout de 6.3 c€/ kWh.

Cela permet de calculer le temps de retour sur investissement des solutions proposées.

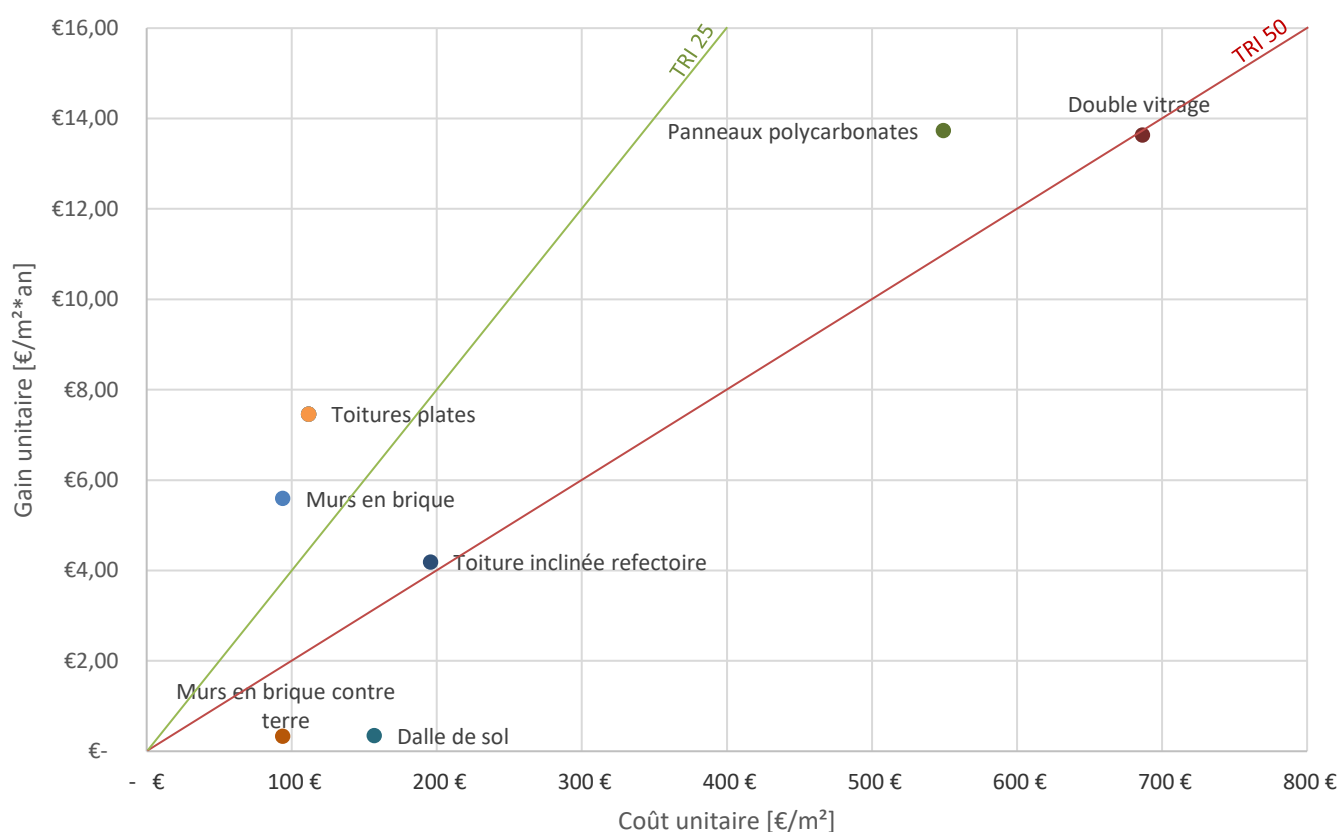


Pour améliorer la lisibilité des résultats, l'axe des abscisses est limité à 100 ans bien que le TRI des parois en contact avec le sol soit supérieur.

Pour aller plus loin, il nous semble intéressant de rendre ces résultats indépendants des surfaces de travaux à réaliser afin de pouvoir prendre la décision de n'exécuter qu'une partie des travaux qui constituent un poste ; par exemple, ne remplacer que certains châssis ou n'isoler qu'une partie des toitures.

Le graphique qui suit présente le gain financier et le coût par mètre carré de travaux. Pour faire le lien avec les temps de retour sur investissement, deux droites correspondant à des TRI de 25 et 50 ans sont tracées.

Comparaison des coûts et des économies réalisées par m² de travaux



CONCLUSION THÉORIQUE

Cette analyse des possibilités d'amélioration de l'enveloppe rappelle la pertinence de l'isolation des toitures plates. En effet, ces travaux affichent un temps de retour sur investissement très intéressant de moins de 15 ans.

La seconde intervention qui se démarque favorablement concerne la toiture du réfectoire et le remplacement des panneaux polycarbonate par de nouveaux châssis. Ces deux actions sont liées et devrait logiquement être réalisées simultanément.

Ensuite, bien que l'isolation des murs par l'intérieur affiche une rentabilité intéressante, il est important de rappeler les nombreuses difficultés qui peuvent en découler ; notamment l'apparition de ponts thermiques et les travaux de réaménagement intérieur et d'adaptations des installations de chauffage et d'électricité.

S'ils sont sélectionnés, ces travaux devraient donc être intégrés dans des travaux de rénovation globaux et vraisemblablement réalisés par phases successives.

À l'inverse, malgré son coût important, le remplacement du simple vitrage peut constituer une option intéressante car il s'agit d'interventions moins impactantes et qui peuvent être réalisées indépendamment d'autres travaux.

Enfin, les différents résultats montrent bien que l'isolation des parois en contact avec le sol apporte peu de bénéfices énergétiques et financiers et ne constitue donc pas une solution prioritaire. De plus, l'isolation de la dalle s'avèrerait particulièrement difficile à réaliser entraînant de nombreuses contraintes et travaux complémentaires (baies de portes, pieds de châssis, etc.).

Pour terminer, il est important de rappeler qu'il s'agit ici d'une étude d'orientation qui devra être complétée au cas par cas pour considérer les aspects techniques, structurels ou urbanistiques des interventions retenues.

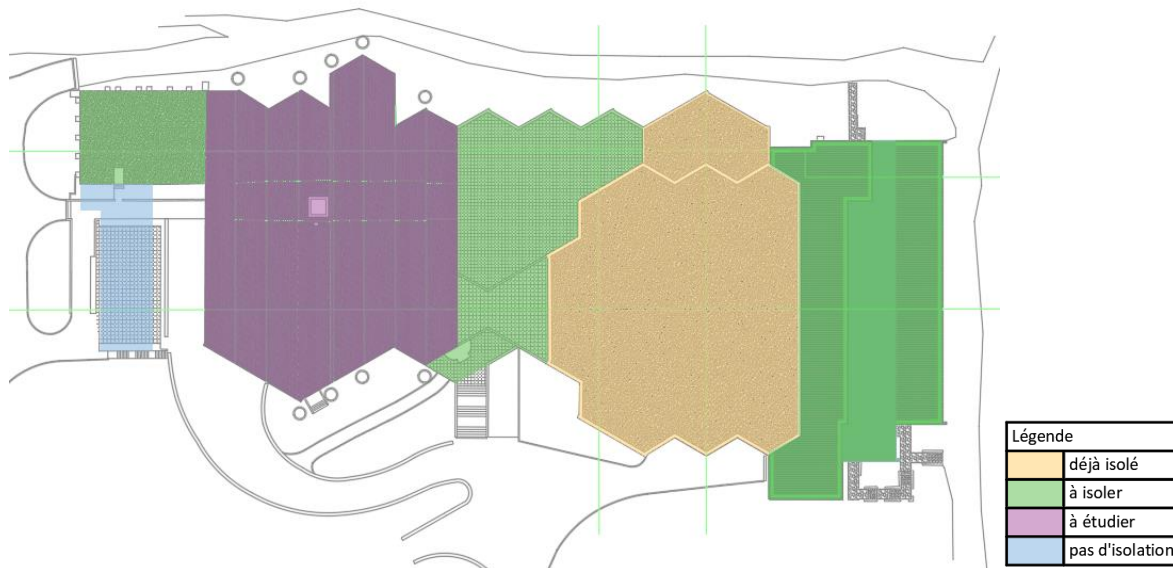
CHOIX DES PAROIS À ISOLER

Compte tenu des résultats ci-dessus et des contraintes propres au bâtiment, l'équipe de conception propose de donner la priorité à l'isolation des toitures et au remplacement des châssis. Viennent ensuite les façades qui peuvent être isolées par l'extérieur et finalement celles qui doivent l'être par l'intérieur.

LES TOITURES

Le plan ci-dessous reprend les différentes toitures qui constituent le projet. Elles sont classées dans 4 groupes suivant que :

- Elles soient déjà isolées par des travaux antérieurs
- On recommande vivement de les isoler
- L'isolation proposée implique des contraintes fortes qui doivent être étudiées en détail
- L'isolation n'est pas nécessaire ou pas prioritaire



Nous proposons d'isoler toutes les toitures plates qui ne le sont pas encore hormis celle qui couvre la zone technique (cabine HT, cuves à mazout, TGBT...) puisqu'il ne s'agit pas d'une zone chauffée.

La toiture inclinée du réfectoire est classée dans une catégorie à part puisque son isolation demande une étude supplémentaire poussée pour s'assurer de la stabilité de la charpente existante.

Au vu des problèmes d'étanchéité rencontrés et des fortes déperditions issues de cette toiture (15% du total), il est important d'étudier cette première solution.

S'il s'avérait impossible d'isoler la charpente existante, d'autres options telle une réduction du volume chauffé devraient être analysées.

Dans la suite du rapport, nous considérerons que la toiture a pu être isolée.

LES CHÂSSIS

Tous les châssis simple vitrage doivent être remplacés par du double vitrage performant.

Afin de ne pas entrer dans la cadre contraignant d'une demande de permis d'urbanisme, nous conseillons de remplacer ces châssis « à l'identique ».

Avant la réalisation de l'audit, le maître d'ouvrage avait déjà conclu un marché pour le remplacement de tous les châssis de la façade Est. Ceci concerne les chambres, les loges et le local ventilation du dernier étage pour un total d'environ 300m².

LES FAÇADES

Pour rappel, l'isolation par l'intérieur présente de nombreux inconvénients :

- Crée de nombreux ponts thermiques vu le fort cloisonnement intérieur et la complexité de certains détails constructifs.
- Très intrusif ce qui augmente la durée de la période durant laquelle le bâtiment ne pourra pas être occupé.
- Implique la modification des finitions intérieures et le démontage/remontage des équipements techniques muraux (chauffage, électricité, sanitaires...)

C'est pourquoi l'équipe de conception propose d'isoler un maximum de façades par l'extérieur.

L'ensemble des façades sont représentées sur le plan ci-dessous suivant le même code couleur que précédemment.

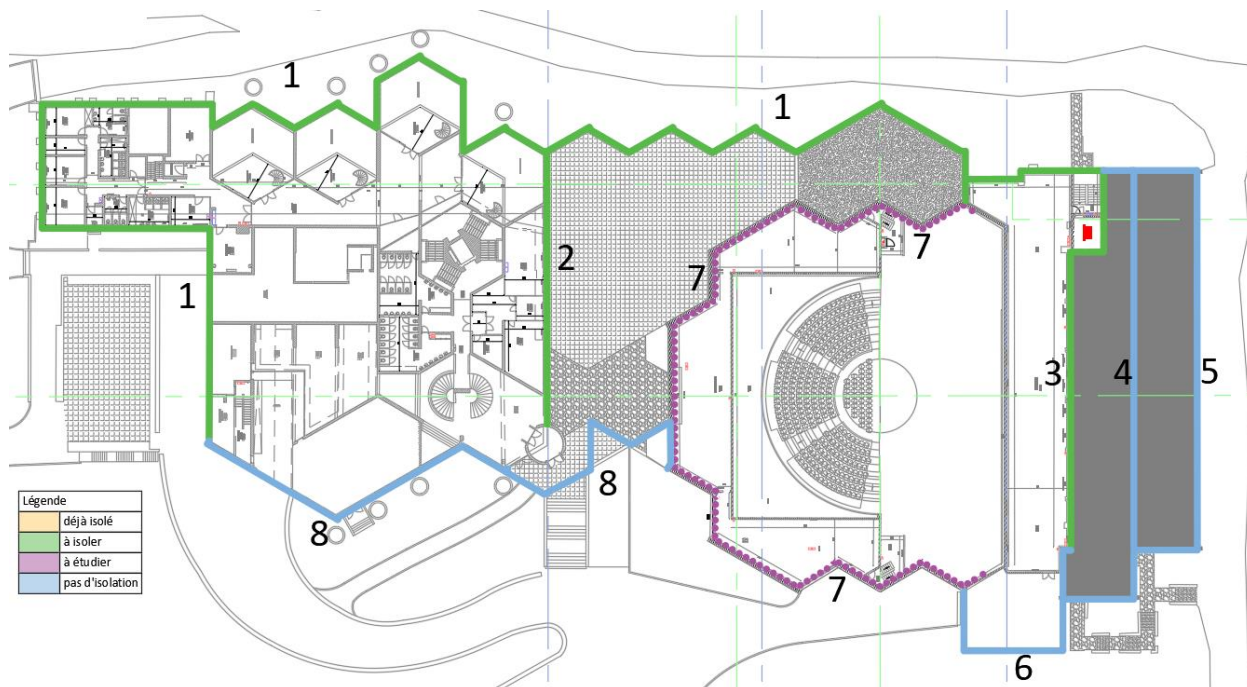
Premièrement, nous proposons d'isoler toutes les façades les moins visibles [1] par l'extérieur. C'est le cas de la façade Ouest, de la conciergerie et de toute la façade arrière. Ces murs ont une finition en brique dont l'intérêt architectural est moindre. De plus, il s'agit principalement de grandes surfaces aveugles dont l'isolation est relativement simple.

Dans la continuité de ceci, la façade Est du volume bureau/réfectoire [2] est isolée de la même manière.

Tout à l'Est, la façade [3] des loges et des logements des niveaux 500 et 300 peut être isolée par l'extérieur également.

Par contre, nous proposons de ne pas intervenir sur les deux niveaux les plus bas [4 & 5] car les surfaces de façades sont réduites ; les châssis sont nombreux et les toitures couvrent une partie des façades. Puisque les châssis sont remplacés dans un marché indépendant, il sera très compliqué de faire une jonction propre entre ces châssis et le futur isolant. L'isolation par l'intérieur n'est certainement pas à considérer ici puisque les locaux sont fortement cloisonnés par des murs intérieurs en maçonnerie qui interrompraient systématiquement l'isolant ; créant autant de ponts thermiques.

Il n'est pas prioritaire d'isoler la façade du local décors [6] puisqu'il s'agit d'un volume non chauffé.



Concernant les façades du foyer [7], nous ne souhaitons pas proposer une isolation par l'extérieur puisque ces murs sont recouverts d'un parement en pierre qui participe grandement à l'identité visuelle de la Marlagne. De plus, ces locaux se prêtent assez bien à une isolation par l'intérieur puisque ce sont de grands espaces peu cloisonnés (peu de ponts thermiques), dont les murs portent assez peu d'équipements techniques et où des travaux intérieurs sont déjà prévus dans le cadre de la rénovation du théâtre.

Cette option doit être étudiée plus en profondeur et débattue avec le maître d'ouvrage. Toutefois, elle sera considérée dans la suite du rapport.

Enfin, pour plusieurs raisons, nous jugeons qu'il n'est pas nécessaire d'isoler la façade avant du volume bureau/réfectoire [8]. Ces parois sont fortement vitrées ce qui réduit la surface de murs ; les détails techniques à gérer sont nombreux, tant par l'extérieur que par l'intérieur ; l'aspect esthétique de cette façade est important et les locaux intérieurs sont principalement des espaces de circulation où la température est généralement inférieure.

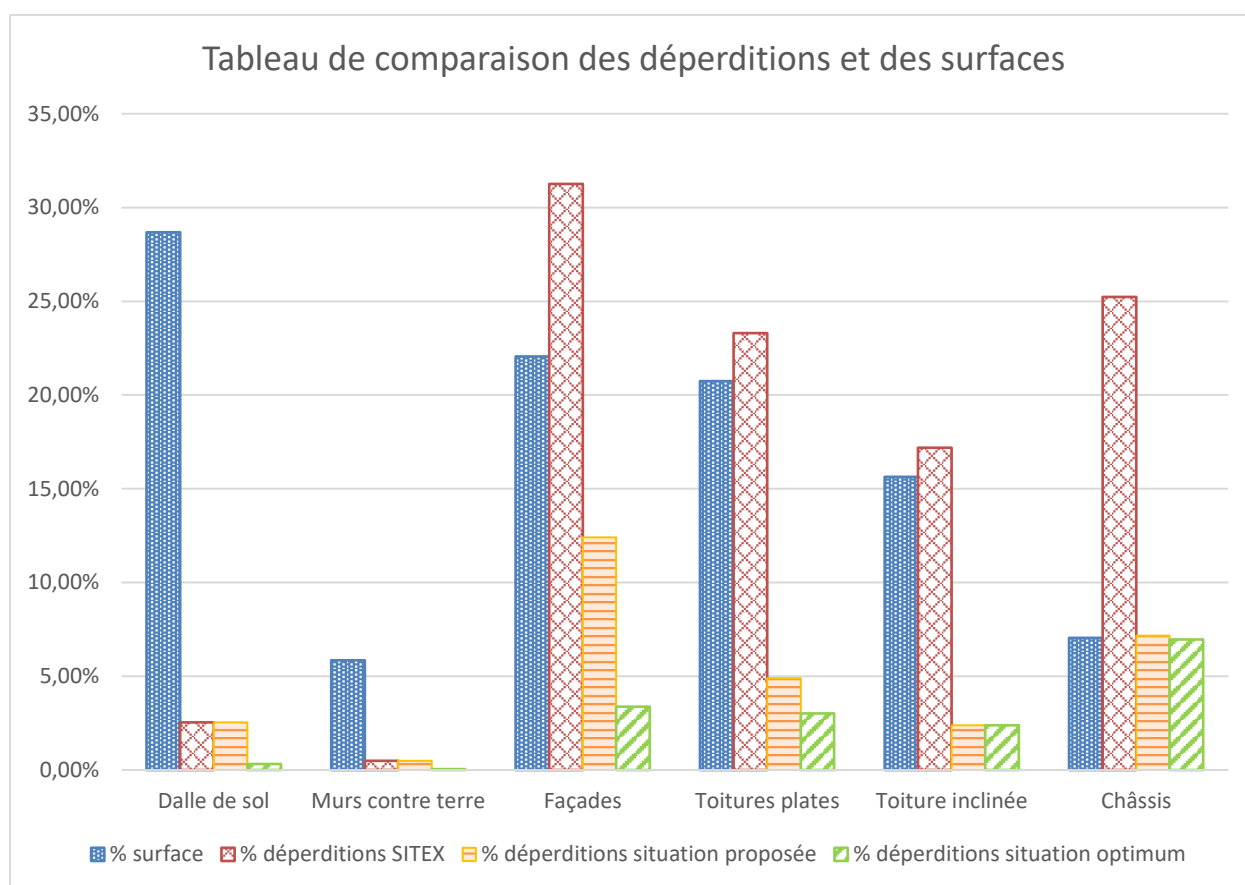
RÉSULTATS ÉNERGÉTIQUES

Comme précisé ci-dessus, l'isolation de deux parois majeures (la toiture inclinée du réfectoire et les façades du foyer) doit être étudiée plus en détail et est donc incertaine à ce stade. En base, les résultats qui suivent sont donnés en considérant que ces parois seront isolées. Lorsque ce n'est pas le cas, ce sera clairement mentionné.

Au total, les parois à isoler reprises dans le paragraphe précédent représentent 48% de la surface totale du bâtiment.

Toutefois, puisque les parois les plus déperditives ont été ciblées, cette isolation permet une **réduction des besoins en chauffage de 70%**.

Le graphe qui suit présente les résultats pour chaque type de parois sur le même schéma que précédemment avec une série de données supplémentaire (en orange) qui reprend les valeurs pour la situation proposée par l'équipe de conception.



Comme indiqué, les parois en contact avec le sol n'ont pas été isolées. Le pourcentage de déperditions qui les caractérise est donc égal à celui affiché en situation existante.

Par contre, les façades ont été améliorées ce qui réduit les déperditions associées de près de 20%. Toutefois, on voit que ce poste pourrait encore être amélioré puisqu'il reste une marge de 9% avant d'atteindre la situation « optimum » où toutes les façades seraient isolées.

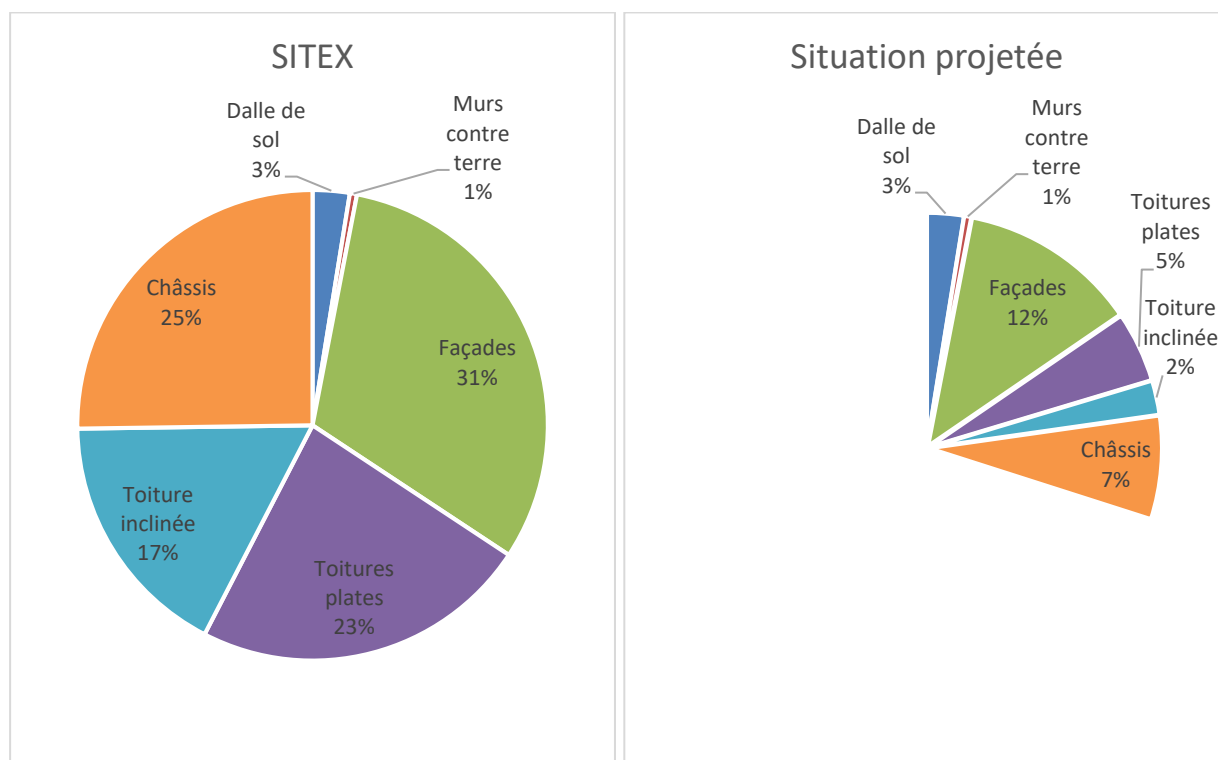
Précisons aussi que les façades isolées par l'intérieur représentent 6% de déperditions. Leur impact est donc important.

L'isolation des toitures plates permet une réduction des besoins en chauffage de 18%.

De même, si elle est maintenue, l'isolation de la toiture inclinée permettrait un gain de 15%.

Enfin, le remplacement de tout le simple vitrage et des panneaux polycarbonates permet une économie équivalente à 18% des déperditions totales.

Les graphes suivants présentent la participation de chaque type de paroi au total des déperditions dans la situation initiale puis dans la configuration proposée par l'équipe de conception.



CONCLUSION PRATIQUE

Pour conclure ce chapitre sur l'optimisation de l'enveloppe, nous rappelons que l'isolation proposée tient compte de la faisabilité technique propre à chaque zone du bâtiment mais que les détails d'exécution précis devront être étudiés dans une mission d'architecture complète.

Ce travail permettra également de chiffrer précisément le coût des travaux proposés. Dans ce domaine, la mission d'audit se limite à l'analyse de rentabilité présentée plus tôt.

Concernant les aspects thermiques, l'isolation proposée permet de **réduire les besoins en chauffage du projet de 70%**. Si lors de l'étude approfondie, il apparaît que la toiture du réfectoire et les façades du foyer ne peuvent pas être isolées, ce besoin en chauffage augmentera de respectivement 15 et 6%.

Les prochains chapitres concerneront l'amélioration des systèmes de ventilation et de chauffage.

4. RÉDUCTIONS DES DÉPERDITIONS AÉRAULIQUES

Les déperditions aérauliques proviennent principalement des équipements de ventilations mais également, dans une moindre mesure, de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe.

ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

Cette étanchéité dépend de la composition des parois en elles-mêmes mais surtout du soin accordé aux raccords entre les parois et entre les parois et les châssis.

Elle est caractérisée par un coefficient, le taux de renouvellement d'air par heure η_{50} . Il s'agit du ratio entre le débit de fuite (volume d'air qui s'échappe par les défauts d'étanchéité en une heure) et le volume intérieur du bâtiment. Pour ordre de grandeur, la certification « bâtiment passif » demande un taux de renouvellement inférieur à 0.6 vol/h.

Puisqu'aucune mesure d'étanchéité n'a été réalisée pour le bâtiment de la Marlagne, ces valeurs doivent être estimées sur base de valeurs standards pour les bâtiments existants. Ainsi, on considère qu'en situation initiale, le taux de renouvellement est de **6 vol/h**.

Ensuite, les travaux d'isolation présentés au chapitre précédent tels que le remplacement des châssis (avec pose de membranes d'étanchéité) et l'isolation par l'intérieur (avec pare-vapeur) viennent améliorer cette valeur. On considère que ces travaux permettent au moins de descendre à **4.5 vol/h**.

Le besoin en chauffe annuel est ainsi réduit de 85.615 kWh.

PERFORMANCE DES ÉQUIPEMENTS DE VENTILATION

SITUATION EXISTANTE

Afin de garantir une qualité d'air suffisante, le bâtiment est équipé d'une série des centrales de traitements d'air (CTA) qui amènent de l'air frais et extraient l'air vicié.

En situation initiale, le théâtre est équipé de cinq CTA dont la régulation comprend trois modes qui définissent à quel pourcentage de leur vitesse maximale les ventilateurs doivent fonctionner. Le tableau ci-dessous reprend pour ces cinq CTA, la zone ventilée, le débit max et le taux de fonctionnement dans les trois modes.

CTA		Débit max m³/h	Taux de fonctionnement dans les 3 modes			Utilisation moyenne de la CTA
n°	Zone		Répétition	Montage	Spectacle	
1	Salle + Scène	16.000	25%	100%	25%	43,75%
2	Salle + Scène	18.900	25%	100%	25%	43,75%
3	Foyer inf.	18.000	25%	25%	25%	25%
4	Foyer sup.	18.000	25%	25%	25%	25%
5	Régie	6.900	25%	100%	25%	43,75%
Débit total		77.800	19.450	50.800	19.450	
Répartition			25%	25%	50%	

De plus, on connaît la répartition moyenne entre ces trois modes ce qui permet de calculer le débit moyen dans chacun des modes. C'est lors du montage que le débit le plus important est mis en œuvre (50.800 m³/h). In fine, on calcule le débit moyen total. Il est de **27.287,5 m³/h**.

Ce débit est élevé car les CTA sont surdimensionnées par rapport à la surface et à l'occupation des espaces à ventiler mais aussi parce que la régulation ne dispose pas d'un mode « nuit » ou « absence » ce qui signifie que lorsque le bâtiment n'est pas occupé, il est tout de même ventilé et refroidi.

L'autre gros inconvénient de la situation actuelle est l'**absence de récupérateur de chaleur**. L'air chaud et vicié provenant des locaux est directement évacué vers l'extérieur sans pouvoir transmettre ses calories à l'air soufflé vers les locaux. En plein hiver, l'air prélevé à -10°C à l'extérieur doit donc intégralement être chauffé jusqu'à 20°C par la chaudière avant d'être pulsé.

Ce fonctionnement couplé au débit élevé crée des déperditions très importantes : 1.004.075 kWh/an soit 20% des déperditions totales du bâtiment.

SITUATION PROJETEE

Le projet de rénovation du théâtre inclut le remplacement et le redimensionnement de ces équipements de ventilation.

Actuellement, le code du bien-être au travail demande un débit de 40 m³/h par personne occupant un poste de travail. Bien que le code ne s'applique pas aux visiteurs externes, le maître d'ouvrage souhaite également appliquer ce débit de 40 m³/h afin de maximiser le débit global et favoriser l'évacuation du surplus de chaleur sans devoir recourir à un système de climatisation.

Les travaux impliquent aussi une réorganisation de la distribution de la ventilation. D'une part, la régie est ouverte sur la salle et ne dispose plus d'une CTA indépendante. Et d'autre part, on souhaite augmenter le confort dans les loges et dans l'accueil auxquels on ajoute donc de la ventilation. Enfin, la scène et la salle disposent de groupes distincts afin de pouvoir dissocier leur utilisation.

De plus, la nouvelle régulation dispose d'un mode « absence » où le débit de l'ensemble des CTA est réduit à 15%.

Compte tenu de ces adaptations, le tableau des débits évolue ainsi :

CTA		Débit max m ³ /h	Répartition entre les 4 modes				Utilisation moyenne de la CTA
n°	Zone		Répétition	Montage	Spectacle	Absence	
1	Scène	7.300	25%	100%	100%	15%	48,13%
2	Salle	13.000	25%	100%	100%	15%	48,13%
3	Foyer inf.	9.000	25%	25%	25%	15%	20%
4	Foyer sup.	6.800	25%	25%	25%	15%	20%
5	Loges	600	25%	25%	25%	15%	38,75%
6	Accueil	5.375	25%	25%	25%	15%	20%
Débit total		42.075	10.519	25.744	26.194	6.311	
Répartition			12,50%	12,50%	25%	50%	

Comme précédemment, on calcule le débit moyen de l'ensemble de l'installation, il est de **14.237 m³/h**. On voit qu'en ventilant davantage de locaux, on parvient à réduire le débit global et donc les déperditions liées à la ventilation.

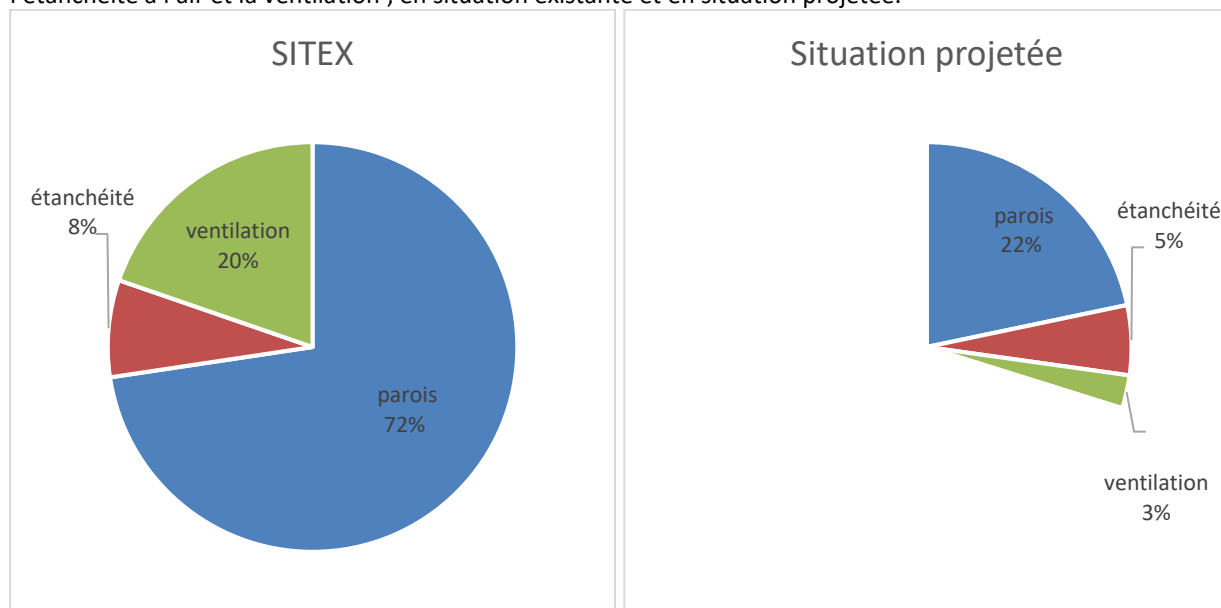
Mais l'apport principal de ce changement vient de la technologie employée. On place actuellement des CTA double flux avec échangeur de chaleur qui permettent de préchauffer l'air entrant grâce aux calories de l'air extrait. Ces échangeurs ont un rendement de plus de 80% ce qui signifie que l'air prélevé à -10°C à l'extérieur est préchauffé à 14°C par ce simple échange avec l'air extrait. Il ne reste alors que quelques degrés à apporter via la chaudière.

Avec ces modifications, les déperditions liées aux systèmes de ventilation sont réduites à 323.122 kWh/an.

CONCLUSION

Ce chapitre clôt les perspectives de réduction des déperditions. Les prochains viseront à améliorer les équipements de production.

Pour résumer, les deux graphes qui suivent présentent les déperditions issues des trois postes abordés : les parois, l'étanchéité à l'air et la ventilation ; en situation existante et en situation projetée.



Les déperditions totales sont réduites de 70%.

Pour conclure, il reste à soustraire les apports solaires et à diviser le total des déperditions obtenues par la surface du bâtiment pour obtenir le besoin surfacique en chauffage.

Ce besoin était initialement de 169 kWh/m².an et descend à 46 kWh/m².an ce qui classe le théâtre de la Marlagne parmi les bâtiments dont les besoins sont qualifiés de minimes par l'échelle adoptée par la PEB.

Besoins en chaleur du logement				
>250	≤ 250	≤ 120	≤ 90	≤ 60
excessifs	élevés	moyens	faibles	minimes

L'indicateur s'exprime en **kilowattheure par m² de plancher chauffé et par an [kWh/m².an]**.

5. AMÉLIORATION DES ÉQUIPEMENTS DE PRODUCTION DE CHALEUR

ÉTUDE DE LA CHAUFFERIE PRINCIPALE

CHAUFFERIE EXISTANTE – T0

La chaufferie actuelle contient 3 chaudières au mazout en cascade qui alimentent l'ensemble du bâtiment. Les deux chaudières les plus puissantes (800 kW) sont récentes (2012) alors que la troisième (250 kW) est plus ancienne (1981) mais n'est utilisée que lors des périodes de grand froid. Les calculs réalisés montrent que l'installation est surdimensionnée ; environ 1400W suffiraient.

Les nouvelles chaudières sont de marque Ygnis, modèle LR25 avec un brûleur deux allures Weishaupt L5z. L'ancienne chaudière est de marque Socoter, modèle Mat.

L'ensemble est géré par une gestion technique centralisée de marque Siemens.

Dans sa globalité, l'installation de chauffage est de bonne qualité et ne demande pas à être remplacée à court terme.

Toutefois, les chaudières au mazout vont petit à petit disparaître du marché. Leur commercialisation est déjà interdite en Flandre, elle le sera dès 2025 à Bruxelles et la Wallonie suivra au plus tard en 2035.

Nous jugeons donc qu'il est pertinent d'étudier dès aujourd'hui les alternatives au mazout. Trois options se dégagent, le placement de chaudières au gaz, de pompes à chaleur aérauliques ou géothermiques.

INSTALLATION DE CHAUDIERES GAZ – T1

Compte tenu de l'isolation proposée, il n'est nécessaire d'avoir une puissance totale de 1850 kW. À peine 500 kW suffisent.

L'installation que nous proposons est constituée de deux chaudières de 250 kW en cascade alimentées en propane par une citerne aérienne à placer à l'arrière du bâtiment, à un emplacement discret. Les accessoires hydrauliques en chaufferie sont également remplacés pour être adaptés à la puissance plus faible des chaudières. Hors de la chaufferie, le reste de l'installation de chauffage (radiateurs, aérothermes, conduites...) est conservé.

Le coût total de cette nouvelle installation est estimé à 108.000€ et comprend les chaudières, les adaptations hydrauliques en chaufferie, les conduits de fumées, l'intégration dans la régulation existante, la citerne gaz et la détection gaz.

INSTALLATION DE POMPES A CHALEUR AIR/EAU -T2

Afin de se séparer partiellement des combustibles fossiles, nous proposons de réduire la puissance des chaudières gaz en les couplant avec des pompes à chaleur air/eau. Ainsi, sur base du dimensionnement prévu, le chauffage est produit par les PAC durant 70% du temps et les chaudières au gaz n'interviennent que dans les périodes de grand froid, lorsque le rendement des PAC est au plus bas.

L'installation est alors constituée de deux PAC pour une puissance totale de 350 kW et de deux chaudières gaz pour un total de 150 kW.

Pour rappel, les pompes à chaleur air/eau puisent l'énergie dans l'air extérieur, via des unités placées en toiture (ou éventuellement au sol) et la transmettent aux circuits d'eau qui alimentent les radiateurs.

Le coût total de ces travaux est estimé à 162.000€.

Il ne nous semble pas pertinent d'opter pour une solution 100% électrique car les pompes à chaleur ne sont pas adaptées à la production d'eau chaude sanitaire en grande quantité comme cela peut être nécessaire pour la cuisine ou pour les loges et logements lors de leur pleine occupation.

INSTALLATION DE POMPES A CHALEUR GEOTHERMIQUES -T3

L'installation de pompes à chaleur géothermiques demande un investissement plus élevé mais présente deux avantages par rapport aux modèles air/eau : l'absence d'unité extérieure et donc de bruit et un meilleur rendement. Le coût de l'installation est estimé à 455.000€ et est majoritairement constitué du coût des forages.

En effet, les pompes à chaleur géothermiques puisent l'énergie via des forages verticaux. À titre informatif, une trentaine de forages de 120 à 150m de profondeur seraient nécessaires pour chauffer le bâtiment.

Moyennant le placement d'équipements intérieurs adaptés (convecteurs à eau froide, poutres froides...), la PAC géothermique pourrait également être utilisée pour refroidir les locaux en période estivale.

AUTRES OPTIONS TECHNIQUES

Les panneaux photovoltaïques constituent toujours une solution avantageuse, tant d'un point de vue environnemental que d'un point de vue financier. Bien que le site comporte déjà des panneaux sur la toiture du théâtre, d'autres pourraient être ajoutés sur les toitures plates restantes car la production moyenne actuelle est de 77 MWh (2020-2021) alors que la consommation moyenne est de 540 MWh (2016-2018). Le temps de retour sur investissement est systématiquement inférieur à 10 ans.

Des systèmes éoliens de petite taille apparaissent sur le marché et sont principalement destinés aux entreprises et aux bâtiments publics. Toutefois, les quelques réalisations connues affichent des rendements inférieurs aux estimations ainsi que de nombreux problèmes techniques. Dans les cas les plus négatifs, certaines installations ont même été démontées. À ce stade, nous déconseillons donc de recourir à cette technologie.

De plus, ces équipements ont généralement une hauteur d'environ 10m ce qui implique de les placer dans un environnement dégagé, bien exposé au vent. Le site de La Marlagne ne répond pas à cette condition importante.

Enfin, la production de ces équipements est plutôt limitée par rapport aux besoins d'un site comme celui-ci. À titre d'exemple, l'Arbre à vent développé par NewWorldWind affiche une production annuelle théorique de 2 MWh.

La cogénération n'est pas une technologie adaptée à ce type de bâtiment. En effet, une bonne cogénération doit fonctionner à un régime aussi constant que possible. Il faut donc que le bâtiment soit occupé un maximum de temps sur une année et que les besoins en chaleur ne présentent pas de pics.

Or, le site de La Marlagne est généralement fermé de nuit, certains weekends et lors des congés légaux. De plus, les pics de consommation sont très marqués, notamment lorsque de l'ECS est nécessaire pour l'ensemble des logements.

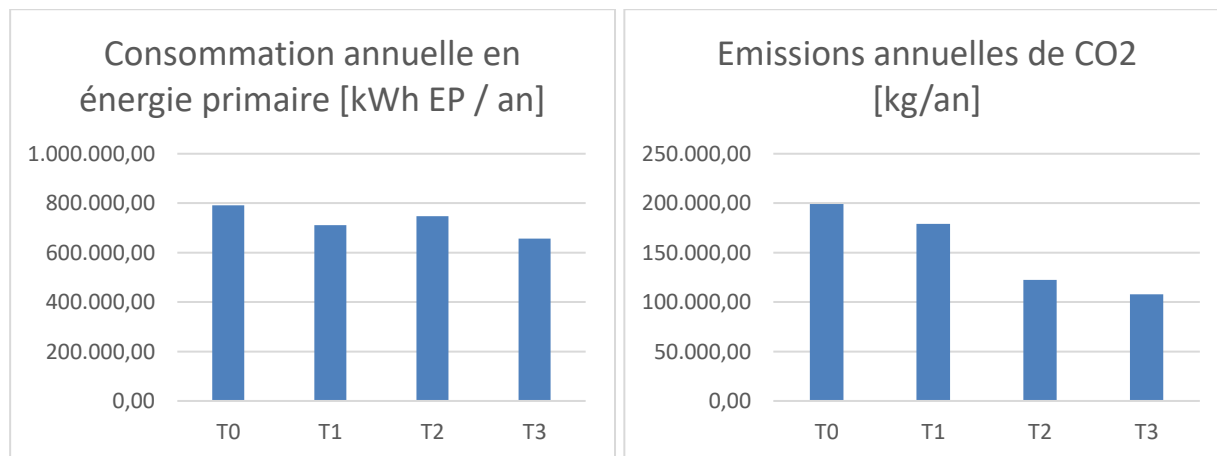
La chaufferie actuelle peut aussi être conservée. Cette option présente deux atouts. Elle permet d'utiliser le plus longtemps possible et donc de rentabiliser les équipements déjà en place et dont les performances sont bonnes. Et elle permet de profiter du prix provisoirement très avantageux du mazout par rapport aux autres combustibles.

Cependant, considérant les travaux d'isolation prévus, la chaufferie a une puissance totale bien supérieure aux besoins du bâtiment. La chaudière la plus ancienne n'est plus nécessaire et nous proposons d'ajouter un ballon tampon afin de réduire le nombre de démarrages des deux premières chaudières, leur durée de vie sera ainsi considérablement accrue.

RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX

L'étude de faisabilité réalisée permet d'évaluer les bénéfices environnementaux des solutions proposées via deux indicateurs : la consommation annuelle en énergie primaire et les émissions annuelles de CO₂.

« L'énergie primaire est la première forme d'énergie directement disponible dans la nature avant toute transformation : bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent, rayonnement solaire, énergie hydraulique, géothermique, etc. Parler en kWh d'énergie primaire permet de mettre les différentes sources d'énergie sur le même pied d'égalité, en prenant en compte toutes les transformations nécessaires avant livraison au consommateur final. On utilisera ainsi un facteur de 1 pour les combustibles fossiles et de 2.5 pour l'électricité »



La solution T1 (chaudières gaz) permet de réduire la consommation en EP et les émissions de CO₂ de 5%. Le bénéfice environnemental est faible puisqu'on reste sur un combustible fossile et on profite uniquement de la légère amélioration de rendement d'une nouvelle chaufferie.

Par contre, les solutions pompe à chaleur T2 et T3 permettent de réduire les émissions de CO₂ de respectivement 30% et 45%.

RESULTATS FINANCIERS

La conjoncture actuelle et la forte augmentation des prix de la majorité des sources d'énergie rendent l'estimation de la rentabilité d'une nouvelle installation très compliquée et incertaine.

Les prix HTVA considérés sont ceux de janvier 2022 :

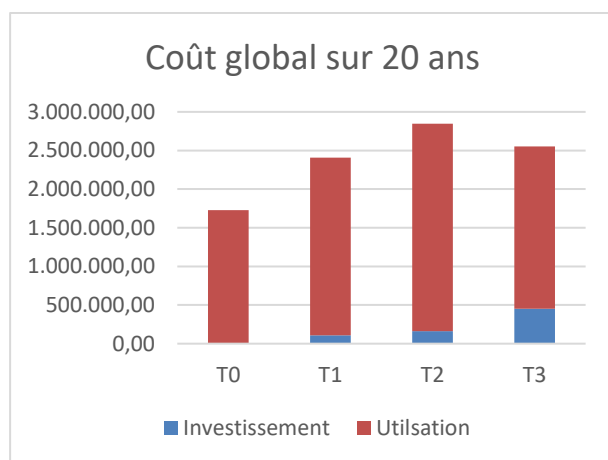
- Gaz : 0.144 €/kWh
- Propane : 0.1128 €/kWh
- Électricité : 0.4603 €/kWh
- Mazout : 0.0762 €/kWh

Durant l'année 2021, ces valeurs ont plus que doublé pour le propane et l'électricité alors que l'augmentation n'est « que » d'environ 30% pour le mazout.

Toutefois, le prix du propane devrait rapidement suivre celui du gaz de ville car historiquement, il ne lui a jamais été inférieur. De même, le prix du mazout devrait augmenter.

Les prix actuels ne vont évidemment pas dans le sens de la suppression d'une chaufferie au mazout. Les trois solutions proposées s'avèrent non rentables lorsqu'on calcule leur coût global (investissement + consommation) sur vingt ans.

Pourtant, bien que la solution T3 (PAC géothermique) demande un investissement plus élevé, l'analyse montre que cette dépense est progressivement compensée par le meilleur rendement de l'installation et donc par les économies d'énergie engendrées.



Cette analyse ne tient pas compte de l'électricité gratuite générée par les panneaux photovoltaïques existants. Si la production dépasse la consommation actuelle, le surplus d'électricité serait valorisé par les pompes à chaleur et améliorerait la rentabilité des solutions T2 et T3.

OPTIMISATION DU CHAUFFAGE DE LA CONCIERGERIE

Comme c'est souvent le cas, la conciergerie constitue une entité à part dans l'ensemble du site de la Marlagne. Alors que le reste du bâtiment connaît des pics d'occupation occasionnels qui demandent de grandes puissances, tant pour le chauffage que pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS). La conciergerie est utilisée en continu, de façon très stable et avec des besoins bien plus faibles.

Grâce aux travaux d'amélioration énergétique proposés, le besoin en chaleur de la conciergerie n'excède plus 8 kW alors que la chaufferie principale peut en fournir 1850.

Cette configuration fait que la première chaudière est utilisée dans des configurations où la conciergerie est la seule zone en demande. Soit en été, lorsque le chauffage est à l'arrêt et que le seul besoin en ECS provient de la salle de bain de la conciergerie. Soit en mi saison, lorsque la conciergerie est la seule zone occupée et donc chauffée pleinement.

De plus, la conciergerie est alimentée en ECS par une boucle qui parcourt l'ensemble du bâtiment et dont les déperditions sont importantes. Lorsque la conciergerie est en demande ECS, c'est toute la boucle qui est actionnée et qui crée des déperditions.

Ensuite, d'un point de vue de la durabilité des équipements, il vaut mieux limiter le nombre de mises en marche / à l'arrêt d'une installation.

Enfin, la conciergerie ne dispose pas de son propre circulateur et ne peut donc pas être équipée d'une régulation indépendante.

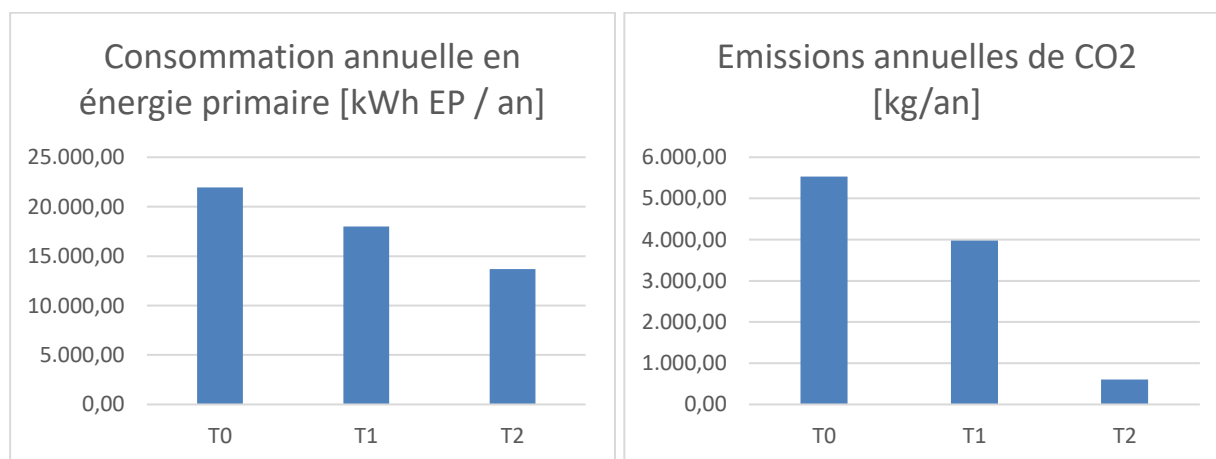
Pour ces différentes raisons, nous proposons de placer une production de chaleur décentralisée propre à la conciergerie. Cela favorisera l'efficacité énergétique globale, le confort de l'occupant et la durée de vie de la chaufferie principale. De plus, c'est potentiellement l'occasion d'opter pour une source d'énergie renouvelable.

En effet, on peut présenter deux solutions. Soit ajouter une chaudière gaz avec une production d'ECS instantanée (T1). Soit une pompe à chaleur air-eau double service (T2).

D'un point de vue technique, l'ajout d'une chaudière au gaz implique de créer une cheminée propre à la conciergerie et d'ajouter une citerne gaz aérienne ou enterrée. Alors que l'ajout d'une PAC demande un emplacement en toiture pour le module extérieur et une arrivée électrique suffisante.

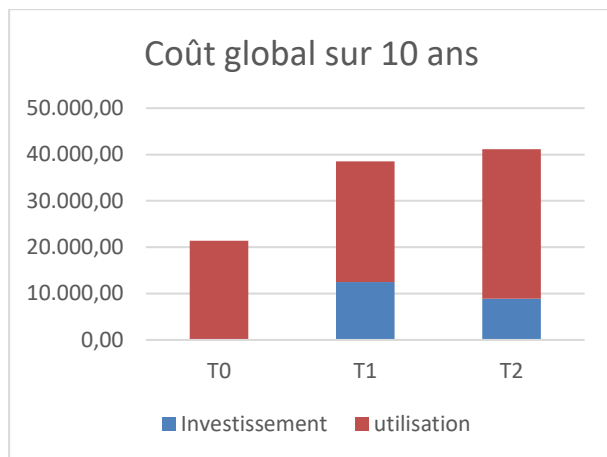
À priori, la PAC est donc plus simple à mettre en œuvre. La conciergerie seule ne justifie pas d'investir dans une citerne de propane mais elle pourrait bénéficier d'une citerne prévue pour la chaufferie principale.

Concernant les aspects environnementaux, la PAC permet de réduire la consommation en énergie primaire de 28% et les émissions de CO₂ de 89%. Ces valeurs ont été calculées via une étude de faisabilité similaire à celle présentée pour la chaufferie principale.



Enfin, comme pour l'étude de la chaufferie principale, le prix actuel du mazout fait que les solutions proposées sont financièrement moins intéressantes que le maintien de l'installation existante.

Notons que l'investissement T1 est élevé à cause du coût de la tuyauterie gaz nécessaire pour relier la citerne extérieure à la chaudière de la conciergerie.



OPTIMISATION DE LA PRODUCTION D'ECS DESTINÉE AUX LOGEMENTS ET LOGES

L'eau chaude sanitaire utilisée dans les douches et lavabos des loges et logements est produite par la chaufferie principale via trois ballons de 1000 litres. La boucle d'eau chaude est constituée de trois bras principaux vers les logements, la cuisine et les douches du personnel. Le tronçon qui rejoint les logements est le plus long et le plus déperditif puisqu'il traverse des locaux non chauffés.

Sur base du relevé réalisé sur place, la longueur totale de ce tronçon est estimée à près de 500 mètres. Sur son premier quart, la boucle se situe au plafond du couloir qui jouxte la chaufferie, puisqu'il s'agit d'une zone « chauffée » la boucle n'est pas isolée. Elle descend ensuite au sous-sol où elle est isolée. Et elle rejoint finalement l'aile des logements où elle disparaît dans les faux-plafond mais où nous pouvons imaginer qu'elle n'est pas isolée puisqu'il s'agit à nouveau d'une zone « chauffée ».

La régulation de l'ensemble de la boucle dispose d'un programme qui permet de ne pas la faire tourner en dehors des heures d'occupation du bâtiment.

Compte tenu de ces données, nous évaluons les déperditions annuelles de ce tronçon de la boucle à 60.000 kWh soit environ 4.500€ en considérant le prix actuel du mazout (solution T0).

Il s'avère que la majorité des pertes de chaleur se font dans les espaces chauffés, où la boucle n'est pas isolée. Bien sûr, on peut considérer que ce ne sont pas de réelles pertes en période hivernale puisque ces déperditions participent au chauffage des locaux. Par contre, en dehors de la période de chauffe, ces pertes augmentent le problème de surchauffe.

Ainsi, en isolant les portions qui ne le sont pas, on réduit les déperditions annuelles à 7.200 kWh soit 550€.

Le coût de ces travaux (solution T1) est estimé à 10.400€ et comprend l'isolation de toutes les conduites non isolées.

Puisque même isolée, cette boucle constitue toujours une dépense non contrôlée, nous proposons de placer une production d'ECS propre aux logements sous forme d'un boiler gaz alimenté par une citerne de propane et placé dans un local proche des douches de façon à ne plus avoir besoin d'une boucle.

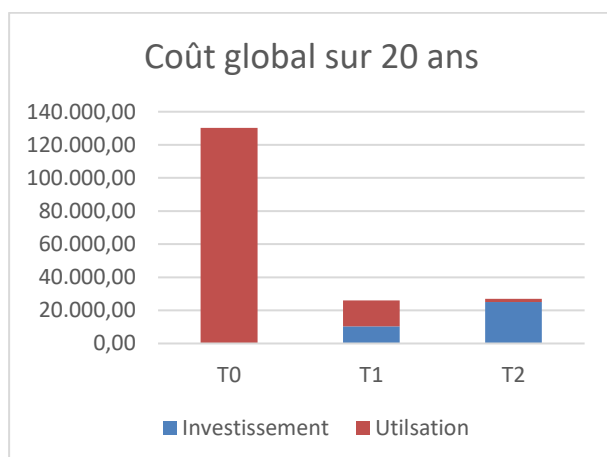
Cette nouvelle installation est dimensionnée sur base des besoins réels afin de fournir suffisamment d'ECS lorsque tous les logements sont utilisés et de ne plus rencontrer de plaintes des utilisateurs.

En parallèle, toujours dans le but de réduire les consommations énergétiques, nous proposons de ne plus fournir d'eau chaude aux lavabos des chambres via la production centralisée. Si le standing de certaines loges requiert de l'ECS, il est plus intéressant de la produire via un chauffe-eau électrique instantané. Ces appareils ne produisent de l'eau chaude que lorsque le point de puisage est utilisé et ne disposent donc pas de stockage et ainsi pas de risque de légionnelle ni de déperditions inutiles.

Le coût de cette nouvelle installation est estimé à 25.100€ et comprend le boiler gaz, le cheminée, la citerne gaz et la conduite associée, un porte coupe-feu nécessaire à la constitution d'un nouveau local chaufferie et une détection gaz.

Avec cette solution (T2), les déperditions annuelles sont réduites à 600 kWh soit environ 70€.

Comme pour les analyses précédentes, le graphe qui suit reprend le coût global sur 20 ans des solutions proposées. Le coût d'utilisation correspond aux déperditions des tuyauteries et pas à la consommation en ECS puisque celle-ci varie en fonction de l'occupation et n'influence pas ou peu le choix parmi les options proposées.



CONCLUSION

En fonction du budget disponible, le remplacement de la chaufferie existante peut être réalisé ou postposé. En cas de remplacement, le choix d'une pompe à chaleur est pertinent et peut être couplé à l'ajout de panneaux photovoltaïques supplémentaires si la production actuelle n'est pas suffisante. Le choix d'une pompe à chaleur aérothermique ou géothermique dépend du budget disponible et de la faisabilité de l'implantation des forages. Une étude de sol complémentaire est dès lors nécessaire.

Concernant la conciergerie, la pompe à chaleur aéraulique constitue l'option la plus pertinente car les travaux sont plus simples à réaliser (absence de cheminée et de citerne gaz) et la rentabilité est similaire à celle d'une chaudière gaz. Bien que cette solution ne soit actuellement pas compétitive par rapport au mazout, elle apporte un gain de confort pour l'occupant et une gestion plus logique et adaptée aux besoins d'un logement.

Enfin, il nous semble intéressant de relocaliser la production d'ECS des logements via un boiler gaz afin de ne plus avoir besoin de cette portion de la boucle sanitaire.

À plus grande échelle, l'ensemble de l'ECS gagnerait à être décentralisée via la suppression des petits points de puisage, l'ajout d'une PAC indépendante pour la conciergerie, d'un boiler gaz similaire pour la cuisine et éventuellement pour les douches du personnel. Ceci afin de supprimer la totalité d'une boucle inadaptée aux prix actuels de l'énergie et à un bâtiment dont les points de puisage sont si éloignés les uns des autres.

À minima, si ces travaux ne peuvent être réalisés, la boucle existante doit être isolée pour réduire les déperditions et la surchauffe en été.

UTILISATION DE L'EAU DE PLUIE

Compte tenu de la forte consommation en eau des équipements sanitaires, principalement lorsque le théâtre est occupé à pleine charge, il est intéressant d'envisager d'utiliser de l'eau de pluie pour alimenter ces équipements.

Il s'avère que les descentes d'eau de pluie (DEP) en façade arrière du réfectoire sont extérieures et pourraient donc facilement être redirigée vers une citerne.

Nous proposons de placer un groupe hydrophore destiné aux sanitaires publics du foyer inférieur puisque ces sanitaires sont utilisés par les spectateurs et sont donc ceux où la consommation en eau est la plus importante.

En fonction du nombre de spectateur considéré et de la durée de leur visite, le système à mettre en place varie fortement. Nous étudions ici deux scénarios différents :

- Une utilisation standard comprenant 100 personnes avec un taux d'utilisation des sanitaires de 80%.
- Une utilisation de pointe comprenant 400 personnes avec un taux d'utilisation des sanitaires de 150%.

Ceci influence non seulement le volume de la citerne à placer mais aussi la surface de toiture et donc le nombre de DEP qui doivent être reliées à la citerne. Le coût de l'installation et l'économie réalisée sur la consommation en eau de ville varient donc également. Le tableau ci-dessous reprend les paramètres et les résultats importants dans les deux configurations étudiées.

	Scénario « standard »	Scénario « de pointe »
Nombre de visiteurs	100	400
Taux d'utilisation des sanitaires	80%	150%
Consommation en eau [litres/j]	432	3.240
Surface de toiture à connecter [m ²]	500	> 960
Volume de la citerne [litres]	7.500	15.000
Économie annuelle [m ³]	134	-
Économie annuelle [€]	678	-
Coût de l'installation [€]	18.000	28.000

Via le système envisagé, la consommation lors du scénario « de pointe » est trop élevée par rapport à la surface de toiture raccordable via les DEP présentes en façade arrière du réfectoire (960 m²). Pour disposer de davantage d'eau, il faudrait raccorder d'autres DEP, ce qui engendrerait des travaux plus complexes.

L'économie annuelle ne peut pas être calculée pour le scénario « de pointe » puisque cette utilisation est exceptionnelle. Pour obtenir une valeur sensée, il faudrait connaître la fréquence de cette occupation intensive ainsi que celle de toutes les utilisations intermédiaires. Ceci dépasse largement le cadre de l'audit.

Au vu du coût de ces installations, l'objectif ne doit pas être purement économique. La réutilisation de l'eau de pluie n'est pas une solution particulièrement rentable. Mais elle est très intéressante afin de réduire l'impact du bâtiment sur l'environnement puisqu'elle permet de prélever moins d'eau et de temporiser les pluies d'orage.

ANNEXES

DÉNOMINATION DES TOITURES

