

Audit énergétique d'un bâtiment



Région Wallonne



Table des matières

--	Table des matières
Partie 0 -	Introduction et périmètre de l'audit
Partie 1 -	Description du bâtiment
Partie 2 -	Analyse des consommations énergétiques
Partie 3 -	Etude de l'enveloppe existante
Partie 4 -	Améliorations proposées – Enveloppe
Partie 5 -	Etude du système de chauffage existant
Partie 6 -	Améliorations proposées – Chauffage
Partie 7 -	Etude du système eau chaude sanitaire existant
Partie 8 -	Améliorations proposées - Eau chaude sanitaire
Partie 9 -	Etude du système de ventilation existant
Partie 10 -	Conclusions

Liste des annexes

Remarque sur la numérotation des annexes :

Certaines remarques s'imposent sur la numérotation des annexes. En effet, cette numérotation est basée sur une méthodologie standard, qui prévoit tous les types de parois possibles et imaginables. Or certains types peuvent ne pas se retrouver dans le bâtiment analysé, ce qui peut conduire à ce que la numérotation des annexes comporte une suite discontinue. Le cas échéant, ces annexes sont mentionnées dans la liste ci-dessous avec la mention « 0 » (non applicable).

Annexe 0	-	Données générales	
Annexe 0bis	-	Données générales - Seconds systèmes de chauffage et/ou d'ECS	
Annexe 1	-	Calcul U - Mur sur extérieur	Murs bât. principal avec chanvre
Annexe 1b	-	Calcul U - Mur sur extérieur (2)	Murs bât. principal non isolés
Annexe 1c	-	Calcul U - Mur sur extérieur (3)	Murs annexe sur extérieur
Annexe 2	-	Calcul U - Mur contre sol	Mur de l'annexe sur sol
Annexe 5	-	Calcul U - plancher sur cave	Sol sur terre plein
Annexe 9	-	Calcul U - Toiture sur extérieur	Toiture annexe
Annexe 10	-	Calcul U - Toiture sur NPG	Plafond 1er bâtiment principal
Annexe 11	-	Calcul U - Fenêtres sur extérieur	Fenêtres en SV bois
Annexe 11b	-	Calcul U - Fenêtre sur extérieur (2)	Porte et fenêtres en DV ancien
Annexe 11c	-	Calcul U - Fenêtre sur extérieur (3)	Porte-fenêtre façade arrière
Annexe 12	-	Calcul U - Portes	Porte d'entrée
Annexe 12b	-	Calcul U - Portes (2)	Porte du pignon gauche
Annexe 13	-	Calcul du K - Situation initiale	
Annexe 14	-	Calcul du K - Avec toutes les améliorations	
Annexe 15	-	Effet système sur situation initiale	
Annexe 16	-	Effet système sur amélioration totale	
Annexe 16c	-	Effet système bis sur situation initiale	
Annexe 16d	-	Effet système bis sur amélioration totale	
Annexe 17	-	Consommation annuelle d'eau chaude sanitaire	
Annexe 18	-	Rendement ECS - Situation initiale	
Annexe 18b	-	Rendement ECS - Améliorations (hors solaire)	
Annexe 18c	-	ECS Solaire - Rentabilité et caractéristiques de l'installation	
Annexe 19	-	Récapitulatif effets - énergie/économie - CONSOMMATION THEORIQUE	
Annexe 19b	-	Récapitulatif effets - énergie/économie - CONSOMMATION REELLE	
Annexe 20	-	Récapitulatif améliorations proposées	
Annexe 21	-	Récapitulatif améliorations proposées - consommation théorique	
Annexe 21b	-	Récapitulatif améliorations proposées - consommation réelle	



Partie 0 – Introduction et périmètre de l'audit

Le but du présent audit est tout d'abord d'analyser le bâtiment objet de l'audit et d'en présenter l'état actuel du point de vue de la performance thermique.

Dans une deuxième étape, les possibilités d'amélioration seront alors étudiées, et le cas échéant des propositions seront formulées, en tâchant d'estimer les gains énergétiques qui en découleront, l'ordre de grandeur des investissements nécessaires et le temps de retour sur investissements de manière à aider le client à choisir l'ordre de priorité des interventions qu'il compte mettre en œuvre.

L'audit visera plus particulièrement les aspects suivants :

- L'enveloppe en tant que telle, et ses possibilités d'amélioration.
- Le système de chauffage dans son ensemble, tant du point de vue de la performance en production de chaleur que du point de vue de la régulation du système, de la distribution et de l'émission.

De plus, un chapitre sera consacré à l'étude du système de production d'eau chaude, et un autre aux possibilités d'amélioration de celui-ci.

Les buts essentiels visés par l'audit seront :

- Diminuer le besoin net en énergie du bâtiment
- Ensuite améliorer la performance de la production de chaleur et des autres systèmes consommant de l'énergie



Partie 1 – Description du bâtiment

L'audit concerne le bâtiment xxxxx situés au n°xx de la Route xxx à 5000 Namur. xxx est aménagé en bureaux et en laboratoire . Tandis que la xxx est aménagée en un xxx et en un lieu de stockage.

Le présent rapport concerne xxxx. Il est pour l'essentiel composé d'une structure rectangulaire d'environ 40 sur 8 mètres avec une annexe d'environ 16 sur 2 mètres à l'arrière. Ce bâtiment est composé d'un rez-de-chaussée et d'un étage.

Il est à noter que la totalité de la surface a été construite à même le sol. La toiture principale est sur 2 pans. Les combles se trouvant sous la toiture ne font pas partie du volume chauffé.

Nous noterons enfin que la construction est ancienne.

Les bâtiments sont chauffés à l'aide d'un chauffage central commun. Ce dernier est composé de deux chaudières mazout en cascade et se situe dans le bâtiment de xxxx

La production d'eau chaude est, quant à elle, assurée par trois boilers électriques de capacité différente. A noter que la xxxx n'est pas alimentée en eau (froide et chaude).

Partie 2 – Analyse des consommations énergétiques

Les consommations énergétiques réelles pour le chauffage des deux bâtiments nous ayant été fournies, tous les calculs économiques et financiers réalisés dans l'étude se baseront sur celles-ci. En effet, il est préférable de prendre en compte les consommations réelles plutôt que des consommations théoriques car ces dernières sont calculées sur base d'hypothèses de chauffe et d'occupation du bâtiment généralement différentes de la réalité.

2.0 Les degrés jours

L'approche des degrés jours permet de quantifier la consommation d'énergie pour le chauffage en la comparant à une base objective de comparaison qui reflète la météorologie de l'année de consommation.

En effet, une fluctuation d'année en année dans les consommations d'énergie de chauffage ne reflète pas nécessairement un mauvais fonctionnement du système mais peut aussi être amplement justifié par le climat plus ou moins rigoureux des années en question.

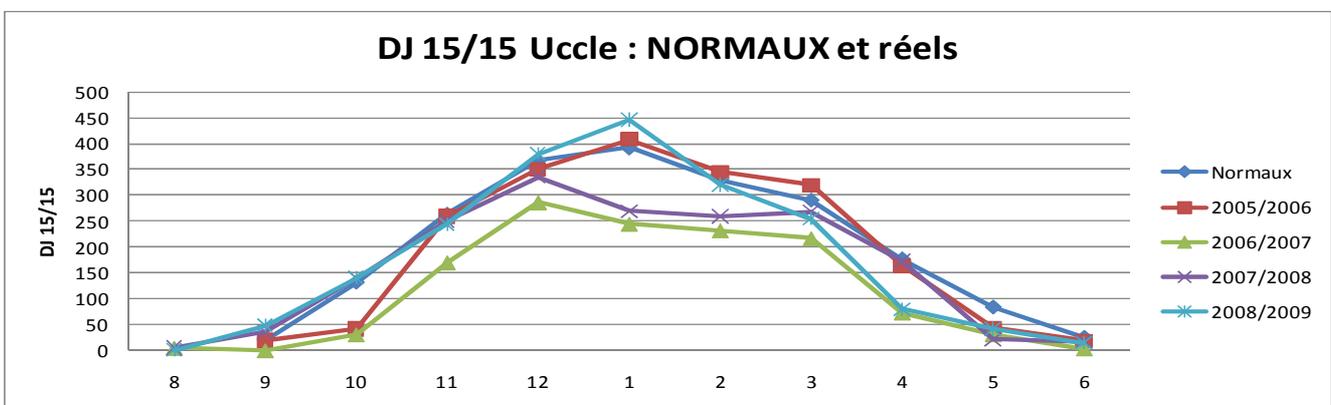
Les degrés jours reflètent ce climat, et représentent le nombre de degrés et de jours où la température n'a pas atteint les 15°C, température à laquelle on considère ne plus avoir besoin de chauffer.

Ainsi par exemple, un jour où la température atteint 10°C comptera pour 5 DJ 15/15 dans le décompte annuel.

De cette manière, il est donc possible de refléter avec une assez grande précision la rigueur du climat de chaque année, et de comparer cette valeur à la consommation réelle.

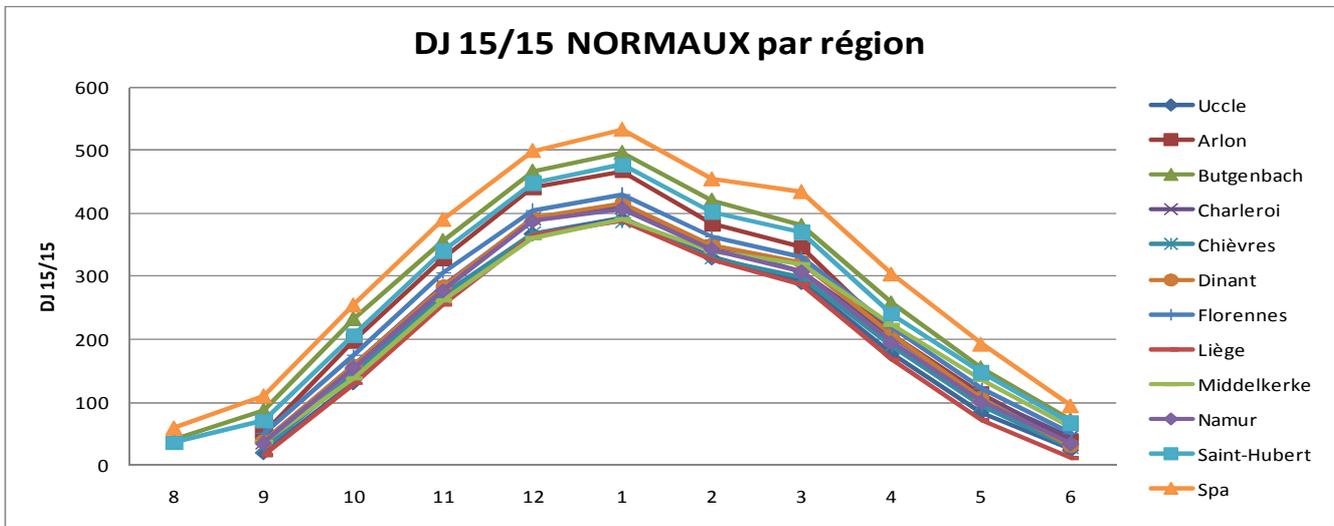
De plus, nous connaissons également le total « normal » des degrés jours 15/15, qui est de 2084 à Uccle.

Ce qui permet également de prédire la consommation de l'avenir, en se basant sur ces DJ normaux. Même si de nos jours le réchauffement climatique conduit à voir de plus en plus d'années avec des totaux de DJ inférieurs à la « normale ». Ceci apparaît d'ailleurs assez clairement sur le graphique suivant :

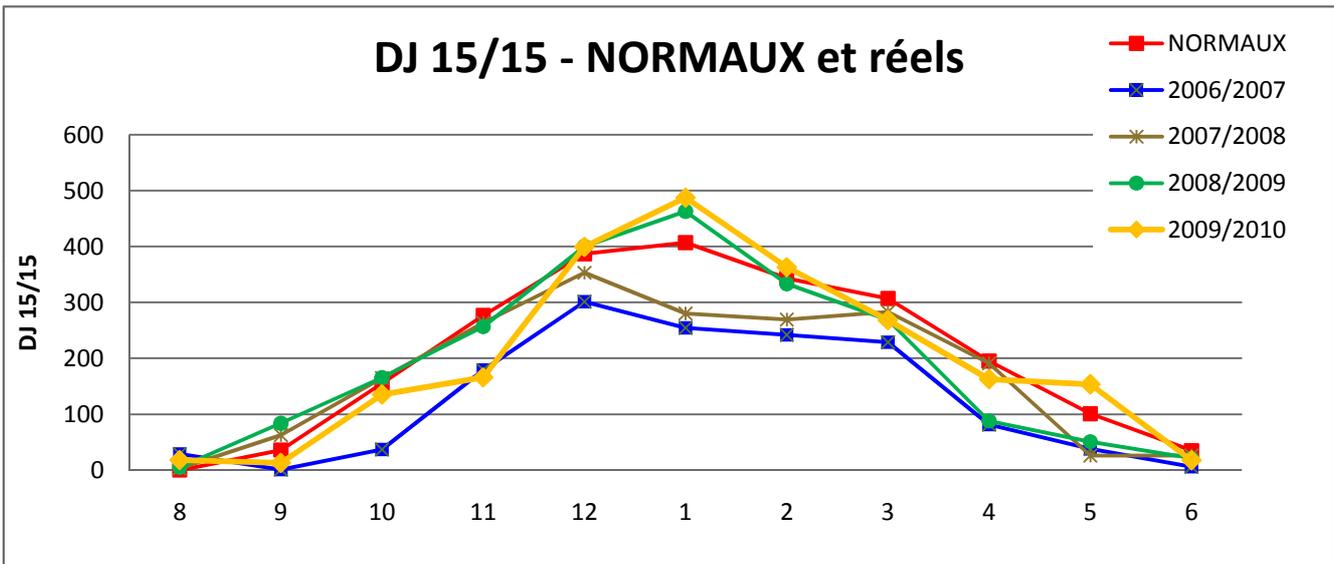


Enfin, nous connaissons aussi ces valeurs « normales » pour 10 villes de Wallonie, et pouvons nous référer en plus à la réalité des DJ relevés dans ces villes lors des 4 dernières années, ce qui permet encore de fiabiliser l'analyse.

Le graphique suivant montre comment cet élément peut aussi avoir une importance certaine dans l'analyse :



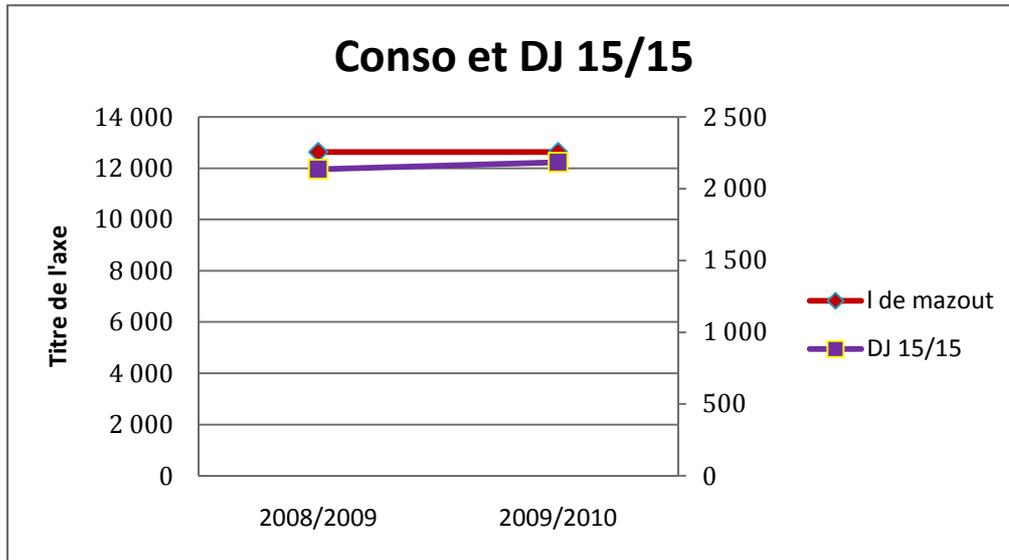
Dans le cas du présent dossier, nous avons donc choisi de nous référer à la station météorologique la plus proche qui est celle de **Namur** dont les degrés jours normaux atteignent **2 243**. Et le graphique des DJ correspondant est le suivant :



Un relevé précis des consommations étant disponible pour l'immeuble analysé, nous pouvons maintenant comparer ces consommations avec les degrés jours 15/15 de la région :

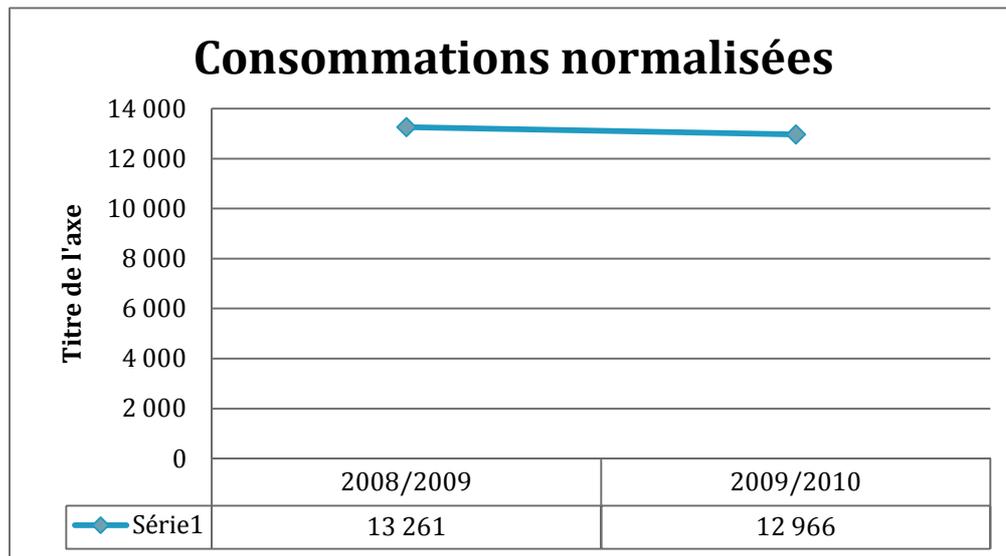
Année de consommation	Consommation	Degrés jours 15/15
2008/2009	12 630 l de mazout	2 136
2009/2010	12 630 l de mazout	2 185
Moyenne	12 630 l de mazout	2 161

Ce qui donne, sous forme de graphique :



Comme le montre le graphique, les consommations sont constantes pour les deux saisons de chauffe étudiées et ce pour des degrés jours forts semblables pour ces deux saisons. A priori, ceci pourrait signifier que le système de chauffage fonctionne correctement, sans anomalies flagrantes et avec une régulation qui prend en compte la situation météorologique réelle. Néanmoins, nous ne pouvons l'affirmer avec certitude car la comptabilité énergétique est uniquement calculée sur base des livraisons de mazout qui ne peuvent pas toujours être associées à la période considérée.

Regardons maintenant l'évolution des consommations normalisées sur l'année climatique s'y rapportant :



Ici, nous remarquons que la consommation normalisée est bien constante. Concrètement, cela signifie que parallèlement aux conditions climatiques correspondantes, les consommations pour le chauffage de l'immeuble ont diminué de façon significative depuis 2007.



Il nous reste donc à déterminer la consommation sur base de laquelle nous ferons nos estimations d'économies pour chaque amélioration proposée. Cette consommation devrait idéalement se calculer en tenant compte d'une année météorologique « normale », en ramenant la consommation réelle aux DJ « normaux ».

Dans ce cas la consommation devrait être de l'ordre de 13112.0 l de mazout

Mais il est aussi possible de simplement considérer comme référence la moyenne des consommations des années considérées. En résumé, nous avons le choix entre deux références possibles :

Référence possible	Consommation
Moyenne passé	12 630 l de mazout
Correction DJ 15/15	13 112 l de mazout

De manière à éviter de « gonfler » exagérément les économies apportées par les propositions d'amélioration, et pour prendre également en compte un réchauffement progressif du climat, nous conviendrons de considérer comme consommation de référence dans la suite de cette analyse la consommation moyenne, de 12630 l de mazout ou encore 126304 kWh/an.

2.1 Base de calcul

Nous nous appliquerons dans la suite à chiffrer les dépenses énergétiques et les économies réalisables de manière à donner au lecteur une vision claire des possibilités et rentabilités d'amélioration. Bien sûr, il serait dans ce contexte aberrant de considérer le prix actuel des énergies, au vu des fluctuations que celles-ci ont connues et connaîtront encore.

De manière à éviter toute interprétation, nous avons donc choisi de calculer les dépenses et économies énergétiques sur base du prix moyen probable des énergies sur les 20 prochaines années, durée moyenne d'amortissement des éventuels travaux d'amélioration. Et pour ce faire, nous nous appuyons sur les estimations de la Commission Européenne en matière d'évolution probable des différents vecteurs énergétiques, en partant du prix actuel des énergies comme point de départ.

Pour la suite de l'étude, nous considérons donc en général les valeurs de référence suivantes :

Sur base de l'approche décidée par la Commission Européenne en projection long terme :

Hausse de prix annuelle	% annuel
Mazout	8%
Electricité	3%
Gaz	5%

De cette manière, nous obtenons les prix suivants pour chaque énergie, en moyenne sur les 20 prochaines années :

Energie	Taux d'inflation	Prix actuel	Prix moyen sur 20 ans
Mazout	8%	0,45 €/l	1,03 €/l
Gaz	5%	0,50 €/m ³	0,85 €/m ³
Electricité Heures pleines	3%	0,1718 €/kWh	0,2378 €/kWh
Electricité Heures creuses	3%	0,1158 €/kWh	0,1603 €/kWh
Electricité tarif jour	3%	0,1507 €/kWh	0,2086 €/kWh
Pellets	5%	0,0532 €/kWh	0,088 €/kWh

Dans la suite de l'analyse, nous nous attacherons également à calculer l'incidence des différentes mesures proposées sur l'indicateur principal PEB, à savoir la consommation théorique du bâtiment en kWh/m².an. Pour ce faire, nous devons toutefois convertir les consommations énergétiques théoriques calculées en énergie primaire. Pour ce faire, nous utiliserons les coefficients suivants :

Combustible	Facteur de conversion
Gaz	1.0
Mazout	1.0
Charbon	1.0
Bois	1.0
Biomasse	1.0
Electricité	2.5
Electricité cogénération	1.8



Enfin, nous calculerons également les émissions de CO2 sur base des coefficients suivants :

Combustible	Sur énergie primaire
Gaz	251 g/kWh
Mazout	306 g/kWh
Charbon	385 g/kWh
Bois	40 g/kWh
Biomasse	0 g/kWh
Electricité	600 g/kWh*
Electricité cogénération	400 g/kWh**

** produite

* consommé

Partie 3 – Etude de l'enveloppe existante

La situation existante décrite dans les paragraphes suivants a été estimée sur base de la visite du bâtiment et des relevés réalisés sur place. Elle peut donc présenter certaines approximations, et prend en compte l'âge de l'immeuble du point de vue de la composition la plus probable des parois (sauf si cette composition était vérifiable sur site). Bien entendu, les surfaces, les compositions de fenêtres et de toiture et des murs ont été mesurées sur site.

Notons que pour faciliter la lecture du rapport, nous avons choisi de présenter, pour chaque paroi, la situation existante et immédiatement après les améliorations possibles de cette paroi et l'effet engendré sur le K et sur d'autres paramètres. Même si en réalité, il est évident qu'il faut tout d'abord déterminer la totalité des parois (surfaces et compositions) pour calculer le K.

De même, les hypothèses prises en termes de rendement du système de chauffage, exposées en détail en partie 5, permettent de calculer le besoin en énergie théorique de chaque bâtiment. Et les économies en énergie et en émission de CO₂ sont calculées sur cette base en prenant pour référence la consommation réelle.

L'annexe 13 montre, sur base de nos relevés, et pour une utilisation continue avec une activité « normale » pour l'affectation du bâtiment, le besoin net en énergie. A remarquer que ce chiffre se base sur le système de chauffage existant (voir partie 5) et sur des paramètres de température détaillés dans l'annexe 0 – données générales.

C'est, comme mentionné dans la partie 2, cette valeur de consommation que nous prendrons comme référence de nos différentes hypothèses d'amélioration.

En résumé, pour le bâtiment existant, les valeurs de départ considérées sont les suivantes :

Paramètre	Valeur
K	97
Consommation théorique	198 074 kWh/an
Consommation réelle	126 304 kWh/an
PEB (kWh/m ² .an)	274 kWh/m ² .an

Notons aussi que nous avons considéré les coûts du tableau ci-après pour estimer la rentabilité des opérations de rénovation. Le tableau reprend ce montant ainsi que les éventuels subsides déduits dans le calcul de rentabilité. L'annexe 18 résume quant à elle ces montants.

Notons que le présent bâtiment étant d'ordre public, nous n'avons pas considéré d'accès à des subventions pour le financement des travaux.

Paroi	Nom	Rénovation	Coût (/m ²)	Crédit d'impôt (/m ²)	Prime	Coût net (/m ²)
M1/EXT	Murs bât. principal avec chanvre	XPS par l'intérieur	75 €	0 €	0%	75 €
M2/EXT	Murs bât. principal non isolés	XPS par l'intérieur	75 €	0 €	0%	75 €
M3/EXT	Murs annexe sur extérieur	XPS par l'intérieur	75 €	0 €	0%	75 €
M1/SOL	Mur de l'annexe sur sol	XPS par l'intérieur	75 €	0 €	0%	75 €
S1/PG	Sol sur terre plein	PU projeté par le-dessus	100 €	0 €	0%	100 €
T1/EXT	Toiture annexe	MW entre les chevrons	45 €	0 €	0%	45 €
T1/NPG	Plafond 1er bâtiment principal	Pas d'amélioration	0 €	0 €	0%	0 €
F1	Fenêtres en SV bois	Rempl. châssis et vitrage par DV 1.1	350 €	0 €	0%	350 €
F2	Porte et fenêtres en DV ancien	Rempl. vitrage par DV 1.1	110 €	0 €	0%	110 €
F3	Porte-fenêtre façade arrière	Remplacement porte	500 €	0 €	0%	500 €
P1	Porte d'entrée	Rempl. châssis et vitrage par DV 1.1	150 €	0 €	0%	150 €
P2	Porte du pignon gauche	Pas d'amélioration	0 €	0 €	0%	0 €

3.1 Les parois verticales

3.1.1 Murs extérieurs

Les parois vers l'extérieur dans ce bâtiment sont les suivantes :

L'essentiel du bâtiment d'origine est composé de la même maçonnerie pierre, d'une épaisseur de 64 cm avec 1 cm de plâtre lourd. Par contre, comme nous pourrions le voir ci-dessous, seule une partie de ces murs présentent une isolation intérieure.

3.1.1.1 Murs bât. principal avec chanvre

Ces murs sont composées, en plus de la composition décrite ci-dessus, d'un vide de 11 cm et de 6 cm d'un mélange chaux-chanvre.

L'annexe 01 en donne les compositions précises, les qualités et les surfaces.

Le tableau suivant donne la surface ainsi que la valeur U initiale (déperdition de la paroi).

Valeur U	Surface
0.65 W/m ² K	283.7 m ²

L'isolation existante n'étant pas optimale pour ce type de paroi (λ considéré de 0,075 W/m.K), nous allons vérifier la rentabilité d'une surisolation de ce mur par l'intérieur.

Technique : Surisolation par l'intérieur avec un panneau de polystyrène extrudé (XPS, $\lambda = 0,034$ W/mK) d'une épaisseur de 8 cm avec finition en plaque de plâtre du côté intérieur. Une fixation par collage est recommandée. Une autre solution consisterait à placer un isolant souple (type laine minérale) entre une ossature en bois ou métallique et à positionner de façon parfaitement continue un pare-vapeur entre la finition en plaque de plâtre et le nouvel isolant.

Le résultat est le suivant (annexe 1) :

	Impact		
	Réel	Théorique	
Nouvelle valeur U	0.25 W/m ² K	0.25 W/m ² K	
Effet sur le K	-37	-37	
Consommation	-516 l de mazout	-809 l de mazout	-4.1%
Coût combustible	-532 €/an	-834 €/an	
CO2	-1.6 T/an	-2.5 T/an	
PEB*	-7.1 kWh/m ² .an	-11.2 kWh/m ² .an	

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Le tableau de l'introduction de la partie 3 donne la valeur considérée pour l'investissement, mais aussi pour les primes et pour le crédit d'impôt.



Sur base des effets considérés ci-dessus, les temps de retour et investissements deviennent donc :

Paramètre	Résumé
Surface isolée	283.7 m ²
Investissement net	21 280 €
Temps de retour (/ conso théorique)	25.5 ans
Temps de retour (/ conso réelle)	40.0 ans

Faisons remarquer ici que nous n'avons considéré aucune forme d'aide à l'investissement, ce qui ne permet pas de diminuer le temps de retour.

Nous constatons que cette surisolation ne serait pas rentable !

3.1.1.2 Murs bât. principal non isolés

Ces murs sont de même composition de base que décrite ci-dessus, soit 64 cm d'une maçonnerie en moellons et 1 cm de plâtre. Ils ne présentent, quant à eux, aucune d'isolation.

L'annexe 1b en donne les compositions précises, les qualités et les surfaces.

Le tableau suivant donne la surface ainsi que la valeur U initiale.

Valeur U	Surface
1.77 W/m ² K	310.9 m ²

Dans la mesure du possible, pour des raisons d'efficacité, on choisira de préférence d'isoler les murs par l'extérieur. Néanmoins, afin de conserver le caractère du bâtiment, nous avons retenu ici une isolation du mur par l'intérieur. A noter qu'avec cette technique, il est généralement impossible d'éviter les ponts thermiques à cause notamment de la structure porteuse du bâtiment, des murs de refend,...

De plus, l'isolation des murs par l'intérieur peut entraîner un risque de condensation à l'interface entre l'isolant et le mur. En effet, si la vapeur d'eau produite dans le bâtiment traverse l'isolant, elle va atteindre le mur froid et condenser. Pour éviter ce risque, il est primordial de placer de façon parfaitement continue un pare-vapeur (certains isolants synthétiques à cellule fermée - par ex. le polystyrène - sont déjà relativement étanches à la vapeur d'eau) du côté chaud de l'isolant avant la finition intérieure. Cette membrane va permettre de limiter au maximum le passage de la vapeur d'eau et donc le risque de condensation.

Ceci dit, dans ce cas, afin de préserver le caractère ancien du bâtiment et pour une raison de cohérence avec la stratégie d'isolation existante (et pour maintenir l'alignement des façades), nous avons choisi ici aussi de proposer une isolation par l'intérieur.

Technique : Isolation par l'intérieur avec un panneau de polystyrène extrudé (XPS, $\lambda = 0,034$ W/mK) d'une épaisseur de 8 cm avec finition en plaque de plâtre du côté intérieur. Une fixation par collage est recommandée. Une autre solution consisterait à placer un isolant souple (type laine minérale) entre une ossature en bois ou métallique et à positionner de façon parfaitement continue un pare-vapeur entre la finition en plaque de plâtre et l'isolant.

Le résultat est le suivant (annexe 1b) :

	Impact		
	Réel	Théorique	
Nouvelle valeur U	0.34 W/m ² K	0.34 W/m ² K	
Effet sur le K	-23	-23	
Consommation	-2 034 l de mazout	-3190 l de mazout	-16.1%
Coût combustible	-2 095 €/an	-3 286 €/an	
CO2	-6.2 T/an	-9.8 T/an	
PEB*	-28.1 kWh/m ² .an	-44.1 kWh/m ² .an	

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Le tableau de l'introduction de la partie 3 donne la valeur considérée pour l'investissement, mais aussi pour les primes et pour le crédit d'impôt.



Sur base des effets considérés ci-dessus, les temps de retour et investissements deviennent donc :

Paramètre	Résumé
Surface isolée	310.9 m ²
Investissement net	23 320 €
Temps de retour (/ conso théorique)	7.1 ans
Temps de retour (/ conso réelle)	11.1 ans

Malgré un investissement élevé, le temps de retour de cette amélioration est relativement court. De plus, on remarque que l'économie d'énergie de chauffage engendrée par cette rénovation est très importante (plus de 16 %).

3.1.1.3 Murs annexe sur extérieur

L'annexe construite à l'arrière du bâtiment comporte également deux murs sur extérieur. Ceux-ci se composent de blocs en béton de 29 cm d'épaisseur avec un crépi sur le côté extérieur du mur.

L'annexe 1c en donne les compositions précises, les qualités et les surfaces.

Le tableau suivant donne la surface ainsi que la valeur U initiale.

Valeur U	Surface
2.65 W/m ² K	10.0 m ²

Dans ce cas-ci, malgré le peu de valeur esthétique des murs en question, par soucis de continuité avec l'isolation optée pour le mur de cette annexe sur sol, nous n'allons pas envisagé d'isolation par l'extérieur. Nous proposons donc d'isoler ces murs de la même manière que ceux du bâtiment principal, c'est-à-dire avec des panneaux de polystyrène extrudé (XPS de lambda considéré de 0,034 W/m.K) de 8 cm d'épaisseur.

Le résultat est le suivant (annexe 1c) :

	Impact		
	Réel	Théorique	
Nouvelle valeur U	0.36 W/m ² K	0.36 W/m ² K	
Effet sur le K	-1	-1	
Consommation	-106 l de mazout	-165 l de mazout	-0.8%
Coût combustible	-109 €/an	-170 €/an	
CO2	-0.3 T/an	-0.5 T/an	
PEB*	-1.5 kWh/m ² .an	-2.3 kWh/m ² .an	

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Le tableau de l'introduction de la partie 3 donne la valeur considérée pour l'investissement, mais aussi pour les primes et pour le crédit d'impôt.

Sur base des effets considérés ci-dessus, les temps de retour et investissements deviennent donc :

Paramètre	Résumé
Surface isolée	10.0 m ²
Investissement net	753 €
Temps de retour (/ conso théorique)	4.4 ans
Temps de retour (/ conso réelle)	6.9 ans

On constate que cette opération est rentabilisée en un temps très court! Cette amélioration fait donc partie des priorités.

3.1.2 Murs sur sol

Le bâtiment présente également des murs contre le sol.

3.1.2.1 Mur de l'annexe sur sol

Ce mur sur sol est composé d'un bloc de béton de 14 cm d'épaisseur.

L'annexe 2 en donne les compositions précises, les qualités et les surfaces.

Le tableau suivant donne la surface ainsi que la valeur U initiale.

Valeur U	Surface
3.34 W/m ² K	57.2 m ²

Ce mur étant en contact avec le sol, nous ne pouvons l'isoler que par l'intérieur. Nous proposons d'isoler ce mur de la même manière que les parois du bâtiment principal, soit avec 8 cm d'XPS de lambda 0,034 W/m.K.

Le résultat est le suivant (annexe 2) :

	Impact		
	Réel	Théorique	
Nouvelle valeur U	0.37 W/m ² K	0.37 W/m ² K	
Effet sur le K	-6	-6	
Consommation	-518 l de mazout	-813 l de mazout	-4.1%
Coût combustible	-534 €/an	-837 €/an	
CO2	-1.6 T/an	-2.5 T/an	
PEB*	-7.2 kWh/m ² .an	-11.2 kWh/m ² .an	

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Le tableau de l'introduction de la partie 3 donne la valeur considérée pour l'investissement, mais aussi pour les primes et pour le crédit d'impôt.

Sur base des effets considérés ci-dessus, les temps de retour et investissements deviennent donc :

Paramètre	Résumé
Surface isolée	57.2 m ²
Investissement net	4 290 €
Temps de retour (/ conso théorique)	5.1 ans
Temps de retour (/ conso réelle)	8.0 ans

On remarque que le temps de retour est assez court et ce, pour une économie de chauffage relativement grande. Cette amélioration fait donc partie des priorités.

3.2 Les parois à déperdition vers le bas (sols, planchers, ...)

3.2.1 Sols sur volumes protégés du gel (PG)

Les sols et planchers sur PG dans ce bâtiment sont les suivants :

3.2.1.1 Sol sur terre plein

Dans ce bâtiment, nous considérerons un seul type de sol. Il est construit sur terre-plein et couvre la totalité de la surface (bâtiment principal et annexe).

L'annexe 5 en donne les compositions précises, les qualités et les surfaces.

Le tableau suivant donne la surface ainsi que la valeur U initiale.

Valeur U	Surface
1.04 W/m ² K	361.4 m ²

La seule solution envisageable dans ce cas-ci est l'isolation par le-dessous. Afin de conserver le rez-de-chaussée à son niveau actuel, nous proposons de démolir le sol existant et d'isoler ce sol par 6 cm de polyuréthane projetés sur une nouvelle chape d'égalisation. Vient ensuite une nouvelle chape de compression sur laquelle on posera une finition type carrelage.

Le résultat est le suivant (annexe 5) :

	Impact		
	Réel	Théorique	
Nouvelle valeur U	0.33 W/m ² K	0.33 W/m ² K	
Effet sur le K	-9	-9	
Consommation	-786 l de mazout	-1233 l de mazout	-6.2%
Coût combustible	-810 €/an	-1 270 €/an	
CO2	-2.4 T/an	-3.8 T/an	
PEB*	-10.9 kWh/m ² .an	-17.1 kWh/m ² .an	

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Le tableau de l'introduction de la partie 3 donne la valeur considérée pour l'investissement, mais aussi pour les primes et pour le crédit d'impôt.

Sur base des effets considérés ci-dessus, les temps de retour et investissements deviennent donc :

Paramètre	Résumé
Surface isolée	361.4 m ²
Investissement net	36 137 €
Temps de retour (/ conso théorique)	28.5 ans
Temps de retour (/ conso réelle)	44.6 ans

Comme on peut le voir ci-dessus, malgré une économie de chauffage assez grande, cette amélioration n'est pas du tout rentable en raison de l'investissement qu'engendre une telle rénovation.

3.3 Les parois à déperdition vers le haut (toitures, ...)

3.3.1 Toitures sur extérieur

Les toitures sur extérieur dans ce bâtiment sont les suivantes :

3.3.1.1 Toiture annexe

La toiture de l'annexe est composée d'un bardage métallique, d'une lame d'air fortement ventilée, d'une plaque de contre-plaqué bois séparé par 18 cm de vide de la finition intérieure en plâtre.

L'annexe 9 en donne les compositions précises, les qualités et les surfaces.

Le tableau suivant donne la surface ainsi que la valeur U initiale.

Valeur U	Surface
2.41 W/m ² K	37.1 m ²

Dans ce cas, nous envisagerons une isolation par le dessous de la toiture.

Technique: Placement de 18 cm de laine minérale (lambda égal à 0,040 W/m.K) entre la structure porteuse de la toiture. Pour ce faire, il faudra retirer la finition plâtre actuelle et en replacer une nouvelle après isolation.

Le résultat est le suivant (annexe 9) :

	Impact		
	Réel	Théorique	
Nouvelle valeur U	0.21 W/m ² K	0.21 W/m ² K	
Effet sur le K	-4	-4	
Consommation	-374 l de mazout	-586 l de mazout	-3.0%
Coût combustible	-385 €/an	-604 €/an	
CO2	-1.1 T/an	-1.8 T/an	
PEB*	-5.2 kWh/m ² .an	-8.1 kWh/m ² .an	

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Le tableau de l'introduction de la partie 3 donne la valeur considérée pour l'investissement, mais aussi pour les primes et pour le crédit d'impôt.

Sur base des effets considérés ci-dessus, les temps de retour et investissements deviennent donc :

Paramètre	Résumé
Surface isolée	37.1 m ²
Investissement net	1 670 €
Temps de retour (/ conso théorique)	2.8 ans
Temps de retour (/ conso réelle)	4.3 ans

Temps de retour très court en raison d'une grande économie de chauffage pour un investissement relativement faible. Cette amélioration fait donc partie des priorités.

3.3.2 Toiture sur volume non protégé du gel (NPG)

Les toitures sur volume NPG dans ce bâtiment sont les suivantes :

3.3.2.1 Plafond 1er bâtiment principal

Cette paroi correspond au plafond du premier étage du bâtiment principal. Celui-ci est en contact avec les combles et est composé de 10 cm de laine de verre, d'un vide de 36 cm et d'un faux plafond composé d'1,5 cm de laine minérale.

L'annexe 10 en donne les compositions précises, les qualités et les surfaces.

Le tableau suivant donne la surface ainsi que la valeur U initiale.

Valeur U	Surface
0.31 W/m ² K	324.3 m ²

Le coefficient de déperdition de la paroi étant assez bon (U proche de 0,3 W/m².K) en raison de l'isolation actuelle, nous n'envisagerons pas d'amélioration pour cette paroi. En effet, comme on a pu le voir pour les murs isolés de chanvre, l'économie de chauffage disponible sur une paroi déjà isolée (par une épaisseur minimale) étant faible, l'investissement d'une sur-isolation de cette paroi n'est jamais rentable.

3.4 Les ouvertures (portes, fenêtres, ...)

3.4.1 Fenêtres

Les fenêtres sur extérieur dans ce bâtiment sont les suivantes :

3.4.1.1 Fenêtres en SV bois

Il s'agit de l'ensemble des fenêtres en simple vitrage du bâtiment original. Elle sont composées d'un châssis bois.

L'annexe 11 en donne les compositions précises, les qualités et les surfaces.

Le tableau suivant donne la surface ainsi que la valeur U initiale.

Valeur U	Surface
4.65 W/m ² K	94.8 m ²

Dans ce cas, il est clair que le simple remplacement des vitrages ne sera pas techniquement réalisable. Nous suggérons donc de remplacer la fenêtre complète par un nouveau châssis bois avec un double vitrage à haut rendement (U de 1,1 W/m².K).

Le résultat est le suivant (annexe 11) :

	Impact		
	Réel	Théorique	
Nouvelle valeur U	1.43 W/m ² K	1.43 W/m ² K	
Effet sur le K	-16	-16	
Consommation	-1 397 l de mazout	-2191 l de mazout	-11.1%
Coût combustible	-1 439 €/an	-2 257 €/an	
CO2	-4.3 T/an	-6.7 T/an	
PEB*	-19.3 kWh/m ² .an	-30.3 kWh/m ² .an	

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Le tableau de l'introduction de la partie 3 donne la valeur considérée pour l'investissement, mais aussi pour les primes et pour le crédit d'impôt.

Sur base des effets considérés ci-dessus, les temps de retour et investissements deviennent donc :

Paramètre	Résumé
Surface isolée	94.8 m ²
Investissement net	33 166 €
Temps de retour (/ conso théorique)	14.7 ans
Temps de retour (/ conso réelle)	23.0 ans



Malgré un investissement très important, on remarque que le temps de retour sur investissement reste stable puisque celui-ci avoisine les 27 ans. On remarque par ailleurs que l'économie engendrée par cette amélioration est relativement très importante. Cette opération pourrait donc faire partie des priorités d'autant que le gain qu'elle apporterait en raison d'une meilleure étanchéité n'a pas été tenue compte dans le calcul de ce temps de retour!

A noter que cette amélioration favorisera nettement le confort des personnes travaillant aux abords de ces fenêtres.

3.4.1.2 Porte et fenêtres en DV ancien

Il s'agit de la porte-fenêtre de la chaufferie et de la fenêtre du réfectoire de l'annexe. Elles sont composées d'un châssis bois et d'un double vitrage ancien.

L'annexe 11b en donne les compositions précises, les qualités et les surfaces.

Le tableau suivant donne la surface ainsi que la valeur U initiale.

Valeur U	Surface
2.80 W/m ² K	9.9 m ²

Dans ce cas, les châssis étant en bon état, nous avons envisagé le remplacement du vitrage uniquement par un double-vitrage HR (coefficient de déperdition du vitrage U 1,1 W/m²K).

Le résultat est le suivant (annexe 11b) :

	Impact		
	Réel	Théorique	
Nouvelle valeur U	1.85 W/m ² K	1.85 W/m ² K	
Effet sur le K	0	0	
Consommation	-43 l de mazout	-67 l de mazout	-0.3%
Coût combustible	-44 €/an	-69 €/an	
CO2	-0.1 T/an	-0.2 T/an	
PEB*	-0.6 kWh/m ² .an	-0.9 kWh/m ² .an	

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Le tableau de l'introduction de la partie 3 donne la valeur considérée pour l'investissement, mais aussi pour les primes et pour le crédit d'impôt.

Sur base des effets considérés ci-dessus, les temps de retour et investissements deviennent donc :

Paramètre	Résumé
Surface isolée	9.9 m ²
Investissement net	1 087 €
Temps de retour (/ conso théorique)	15.7 ans
Temps de retour (/ conso réelle)	24.7 ans

Malgré un faible investissement, le temps de retour est supérieur à 21 ans. En cas de remplacement des châssis simple vitrage vus ci-avant, il peut être intéressant d'effectuer cette amélioration également (du moins pour la partie réfectoire), d'autant que l'investissement pour ces 2 ouvertures bénéficierait probablement d'un meilleur prix.

3.4.1.3 Porte-fenêtre façade arrière

Dans ce cas, nous prenons en considération la porte vitrée de la façade arrière donnant sur la passerelle située au-dessus de l'annexe. Elle est en bois, la partie vitrée est en simple vitrage, et possède un panneau en bois.

L'annexe 11c en donne les compositions précises, les qualités et les surfaces.

Le tableau suivant donne la surface ainsi que la valeur U initiale.

Valeur U	Surface
4.65 W/m ² K	3.2 m ²

A nouveau, le remplacement du vitrage seul est impossible. Nous considérerons donc le remplacement de l'ensemble par un châssis et un panneau en bois nouveau (U considéré de 1,8 W/m².K) et un double vitrage à haut rendement (U de 1,1 W/m².K).

Le résultat est le suivant (annexe 11c) :

	Impact		
	Réel	Théorique	
Nouvelle valeur U	1.43 W/m ² K	1.43 W/m ² K	
Effet sur le K	-1	-1	
Consommation	-46 l de mazout	-73 l de mazout	-0.4%
Coût combustible	-48 €/an	-75 €/an	
CO2	-0.1 T/an	-0.2 T/an	
PEB*	-0.6 kWh/m ² .an	-1.0 kWh/m ² .an	

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Le tableau de l'introduction de la partie 3 donne la valeur considérée pour l'investissement, mais aussi pour les primes et pour le crédit d'impôt.

Sur base des effets considérés ci-dessus, les temps de retour et investissements deviennent donc :

Paramètre	Résumé
Surface isolée	3.2 m ²
Investissement net	1 575 €
Temps de retour (/ conso théorique)	21.0 ans
Temps de retour (/ conso réelle)	32.9 ans

Temps de retour très grand en raison d'un investissement relativement élevé. Cette amélioration se réalisera toutefois en parallèle avec le remplacement des fenêtres en SV bois citées ci-dessus.

3.4.2 Portes

Les portes dans ce bâtiment sont les suivantes :

3.4.2.1 Porte d'entrée

Ici nous visons la porte d'entrée. Elle possède une partie en bois massif sur deux tiers de la surface et une partie vitrée avec du simple vitrage et un châssis bois.

L'annexe 12 en donne les compositions précises, les qualités et les surfaces.

Le tableau suivant donne la surface ainsi que la valeur U initiale.

Valeur U	Surface
3.33 W/m ² K	6.9 m ²

Nous avons considéré ici le remplacement du châssis vitré situé au-dessus de la partie en bois massif avec un nouveau châssis bois et, de nouveau, avec un double vitrage à haut rendement (U de 1,1 W/m².K).

Le résultat est le suivant (annexe 12) :

	Impact		
	Réel	Théorique	
Nouvelle valeur U	2.28 W/m ² K	2.28 W/m ² K	
Effet sur le K	0	0	
Consommation	-33 l de mazout	-52 l de mazout	-0.3%
Coût combustible	-34 €/an	-54 €/an	
CO2	-0.1 T/an	-0.2 T/an	
PEB*	-0.5 kWh/m ² .an	-0.7 kWh/m ² .an	

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Le tableau de l'introduction de la partie 3 donne la valeur considérée pour l'investissement, mais aussi pour les primes et pour le crédit d'impôt.

Sur base des effets considérés ci-dessus, les temps de retour et investissements deviennent donc :

Paramètre	Résumé
Surface isolée	6.9 m ²
Investissement net	1 034 €
Temps de retour (/ conso théorique)	19.3 ans
Temps de retour (/ conso réelle)	30.3 ans

On remarque que le temps de retour de cette amélioration est assez élevé. Ceci dit, de même que précédemment, cette amélioration pourra se faire en parallèle avec le remplacement des fenêtres en SV bois citées ci-dessus. Elle pourra de cette manière bénéficier d'un prix plus avantageux.



3.4.2.2 Porte du pignon gauche

Enfin, nous terminerons par la porte extérieure donnant sur le pignon gauche. Elle est en bois massif.

L'annexe 12b en donne les compositions précises, les qualités et les surfaces.

Le tableau suivant donne la surface ainsi que la valeur U initiale.

Valeur U	Surface
2.76 W/m ² K	2.1 m ²

Nous n'avons pas considéré d'amélioration pour cette porte puisque l'investissement pour une telle porte est rarement rentable (coût très élevé pour une très faible surface).

3.5 Niveau d'isolation thermique global K – Estimation des besoins en chauffage

Sur base de la composition des parois décrites ci-avant, de leurs surfaces respectives et de la compacité du bâtiment, et en utilisant les paramètres spécifiques indiqués dans le tableau ci-dessous pour les températures (en fonction de la zone géographique, de l'affectation du bâtiment, ...) on peut alors calculer le niveau d'isolation thermique global K (Voir annexe 13)

Sur base de ce niveau d'isolation thermique global nous avons alors pu estimer l'énergie théoriquement nécessaire pour chauffer le bâtiment.

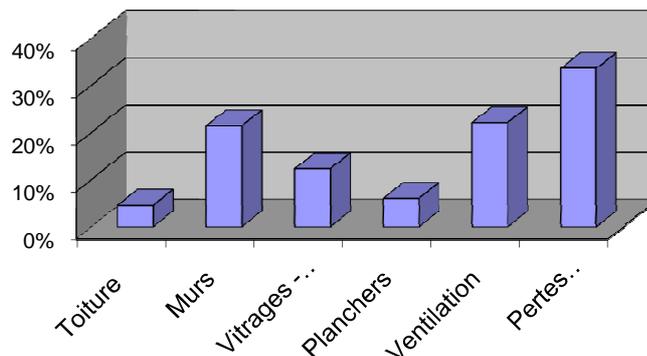
Paramètre	Valeur
Zone géographique	Namur
Température extérieure de base	-9.0 °C
Température extérieure moyenne	6.5 °C
Température intérieure moyenne	21.0 °C
Réduction pour coupure de nuit	3.0 °C
Réduction pour apports gratuits	4.0 °C
Taux de renouvellement d'air	1.0
Durée de saison de chauffe	265 Jours

Sur cette base, le calcul théorique des consommations donne une consommation annuelle de :

Paramètre	Résumé
K	97
Consommation en énergie	198 074 kWh/an
	19 807 l de mazout

Bien entendu, ces valeurs restent une référence théorique, basées sur des températures moyennes générales et des comportements standard.

Bilan énergétique (1ère approximation)

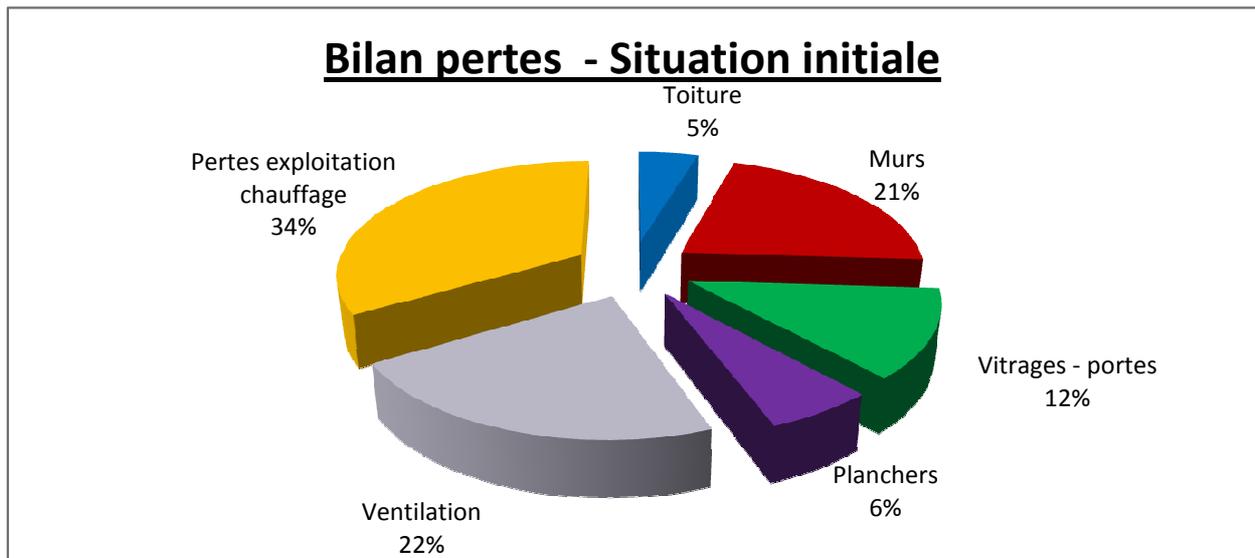


Et en répartissant cette consommation par paroi :

	Toiture	Murs	Ouvertures	Sols	Ventilation	Chauffage *
% du total	5%	21%	12%	6%	22%	34%
l de mazout	906	4 238	2 440	1 200	4 373	6 650

*Il s'agit en réalité des PERTES du système de chauffage, dues à son rendement imparfait

Le graphique suivant indique encore mieux la répartition des pertes :



Dans le cas de ce bâtiment, plus de 30 % de la consommation est due aux pertes d'exploitation de chauffage qui seront traitées ultérieurement dans cette étude. 3/4 des pertes via les parois de déperditions se font via les murs et les ouvertures. Les pertes par ventilation dues à une mauvaise étanchéité du bâtiment représentent quant à elles plus de 20 % de la consommation actuelle.

Partie 4 – Améliorations proposées - Enveloppe

Les améliorations possibles de chaque paroi ont été décrites en détail dans la partie précédente. Nous nous attacherons donc ici simplement à en résumer les effets.

4.1 Potentiel total d'amélioration

Le tableau ci-après montre l'effet sur les différents indicateurs des améliorations proposées (voir annexe 14 pour le calcul du K et du BNE) pour la totalité des améliorations proposées (sur base de la consommation théorique) :

Paroi	K	Combustible %	Combustible €	Investiss. €	ROI ans	
Départ	-	97	100%	20 402	-	
M1/EXT Murs bât. principal avec chanvre	-6	-4.1%	-834	21 280	25.5	
M2/EXT Murs bât. principal non isolés	-23	-16.1%	-3 286	23 320	7.1	
M3/EXT Murs annexe sur extérieur	-1	-0.8%	-170	753	4.4	
M1/SOL Mur de l'annexe sur sol	-6	-4.1%	-837	4 290	5.1	
S1/PG Sol sur terre plein	-9	-6.2%	-1 270	36 137	28.5	
T1/EXT Toiture annexe	-4	-3.0%	-604	1 670	2.8	
T1/NPG Plafond 1er bâtiment principal	-	-	-	-	-	
F1 Fenêtres en SV bois	-16	-11.1%	-2 257	33 166	14.7	
F2 Porte et fenêtres en DV ancien	0	-0.3%	-69	1 087	15.7	
F3 Porte-fenêtre façade arrière	-1	-0.4%	-75	1 575	21.0	
P1 Porte d'entrée	0	-0.3%	-54	1 034	19.3	
P2 Porte du pignon gauche	-	-	-	-	-	
TOTAL	-	-67	-46.3%	-9 456	124 311	11.1
VENTIL.	-	0	-8.3%	-1 695	0	0.0
RENO TOTAL	-	-67	-54.7%	-11 151	124 311	11.1
FINAL	-	30	45.3%	9 251	-	-

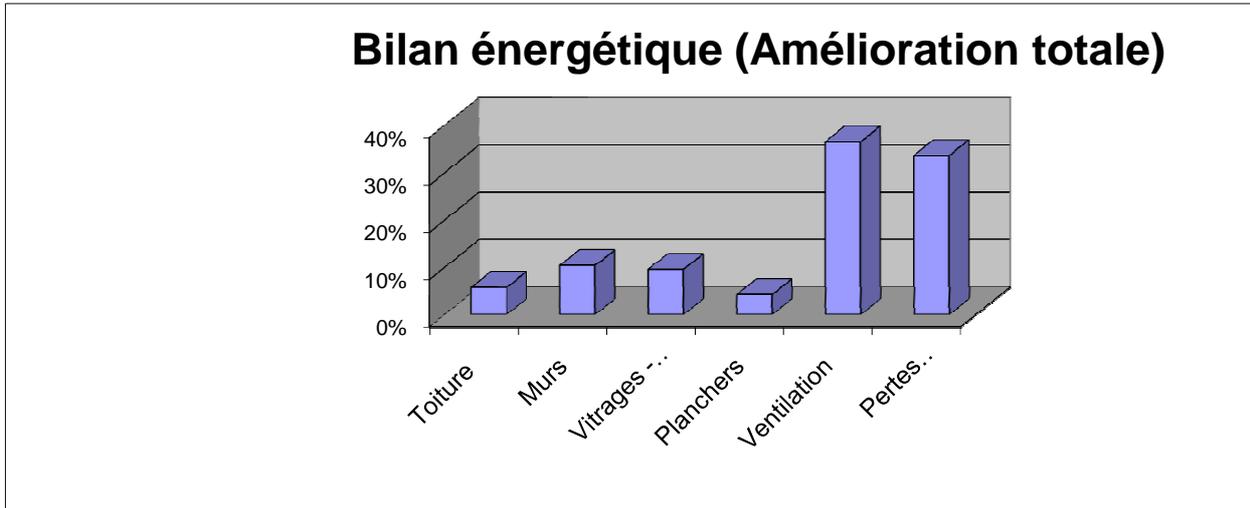
Le même tableau récapitulatif peut également se réaliser en se basant sur la consommation réelle cette fois.

Paroi	K	Combustible %	Combustible €	Investiss. €	ROI ans	
Départ	-	97	100%	13 009	-	
M1/EXT Murs bât. principal avec chanvre	-6	-4.1%	-531.6	21 280	40.0	
M2/EXT Murs bât. principal non isolés	-23	-16.1%	-2 095.1	23 320	11.1	
M3/EXT Murs annexe sur extérieur	-1	-0.8%	-108.7	753	6.9	
M1/SOL Mur de l'annexe sur sol	-6	-4.1%	-534.0	4 290	8.0	
S1/PG Sol sur terre plein	-9	-6.2%	-809.9	36 137	44.6	
T1/EXT Toiture annexe	-4	-3.0%	-385.2	1 670	4.3	
T1/NPG Plafond 1er bâtiment principal	-	-	-	-	-	
F1 Fenêtres en SV bois	-16	-11.1%	-1 439.1	33 166	23.0	
F2 Porte et fenêtres en DV ancien	0	-0.3%	-44.0	1 087	24.7	
F3 Porte-fenêtre façade arrière	-1	-0.4%	-47.8	1 575	32.9	
P1 Porte d'entrée	0	-0.3%	-34.1	1 034	30.3	
P2 Porte du pignon gauche	-	-	-	-	-	
TOTAL	-	-67	-46.3%	-6 029.7	124 311	20.6
VENTIL.	-	0	-8.3%	-1 081.0	0	0.0
RENO TOTAL	-	-67	-54.7%	-7 110.6	124 311	17.5
FINAL	-	30	45.3%	5 898.7		

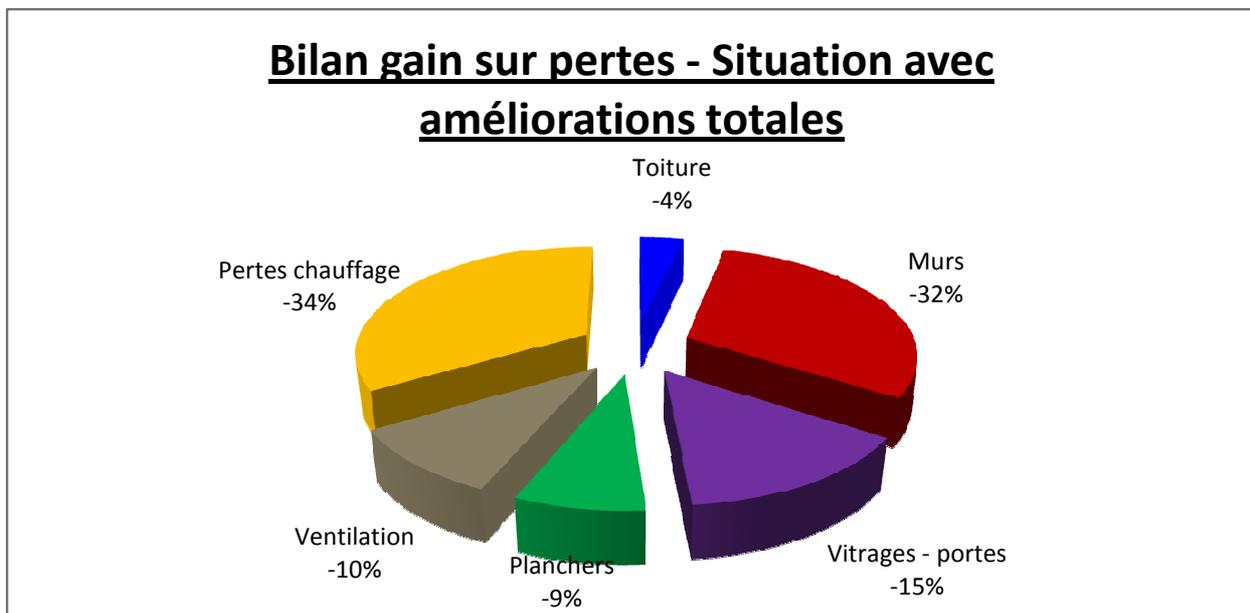
A noter que nous avons considéré une évolution du poste ventilation suite à l'isolation du bâtiment d'un taux de 1.0 à un taux de 0.75

Nous pouvons également exprimer ces résultats sous forme graphique, comme dans les trois graphiques suivants, illustrant l'effet des recommandations proposées sur les différents paramètres :

Tout d'abord en matière de distribution des pertes :

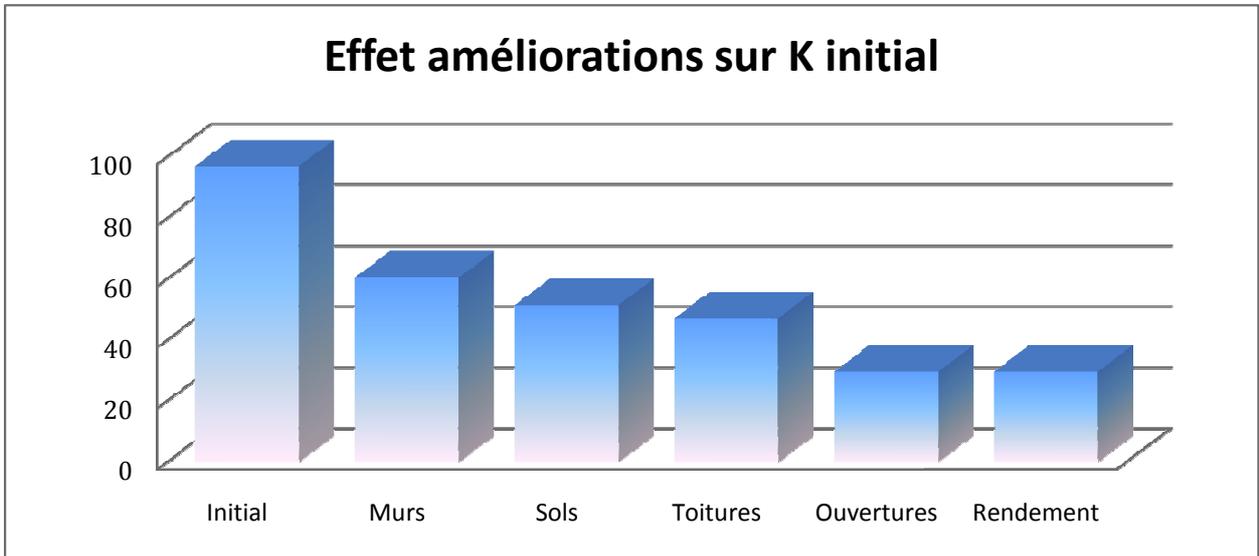


Le graphique suivant illustre lui précisément sur quels postes les gains ont été réalisés.

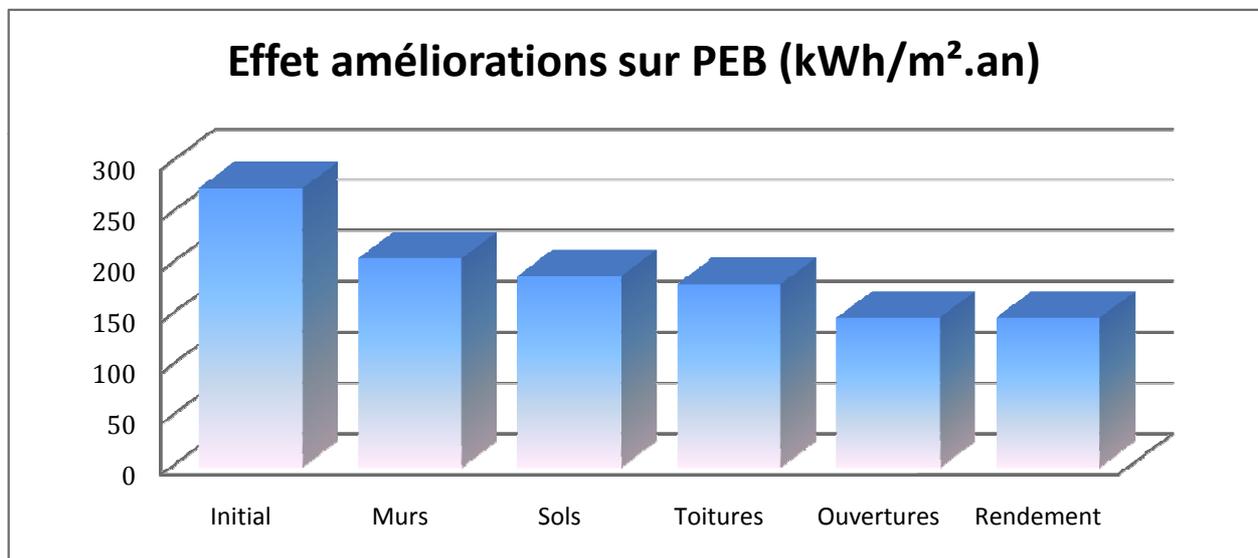


Comme on peut le voir sur ce graphique, les pertes ont été nettement réduites au niveau des parois à déperditions verticales (plus de 30 % de la rénovation totale!). Le système chauffage fonctionnant moins après isolation du bâtiment, les pertes qui y sont liées s'en retrouvent nettement diminuées également. Le remplacement des ouvertures représente près de 15 % de la rénovation totale. L'amélioration de l'étanchéité suite à la rénovation de l'enveloppe représente, quant à elle, environ 10 % de la rénovation totale. Tandis que 9 % de cette dernière sont dus à l'isolation des sols et 4 % à l'isolation des toitures.

Quant au graphe suivant, il illustre le gain sur le K en fonction de l'amélioration des différentes parois.



Enfin, sur la PEB, le graphique suivant montre aussi la progression suite aux améliorations par paroi. Le résultat, passant grâce aux améliorations proposées de kWh/m².an à une valeur nettement plus acceptable : kWh/m².an même si il faut y ajouter la consommation en eau chaude sanitaire.



Partie 5 – Etude du système de chauffage existant

Le système de chauffage est commun aux deux bâtiments (Etat Major et Chapelle; bureaux-laboratoires et musée-lieu de stockage). Celui-ci se trouve dans la chaufferie du bâtiment principal de l'Etat Major au rez-de-chaussée.

Ce système consiste en un ensemble de 2 chaudières mazout en cascade. Ces 2 chaudières sont de même marque, de même puissance et possèdent le même brûleur. En voici les caractéristiques :

Paramètre	Situation actuelle
Combustible	mazout
Chaudières 1 et 2	De Dietrich GT 305/ II
Année chaudière	2004
Puissance chaudière	80- 115kW x2: 160-230 kW
Marque brûleur	Weishaupt WL 20/2-C
Année brûleur	2004
Puissance brûleurs	70 -200kW x2: 140-400 kW
Régulation	1 thermostat d'ambiance par circuit
Circuit	3 circuits (zone NORD, zone SUD et partie xxx avec chacun son circulateur.
Eau chaude sanitaire	Production via un boiler électrique indépendant du système de chauffage

Les chaudières existantes sont de qualité moyenne. Toutefois, comme le montre l'annexe 13, leur puissance est bien suffisante. En effet, la puissance nécessaire pour le chauffage des bâtiments tels qu'ils sont actuellement est de 83 kW pour l'Etat Major et 55 kW pour la chapelle, ce qui nous donne une puissance nécessaire de 138 kW pour une puissance totale des deux chaudières de 230 kW. Nous analyserons dans la suite du texte quelle est la performance du système actuel afin de le comparer à d'autres systèmes plus performants.

Le rendement d'un système de chauffage ne se considère pas simplement au niveau de la production de chaleur, et est encore moins représenté par le rendement au brûleur, mesuré par le chauffagiste.

Pour cette raison, nous considérerons en réalité 4 rendements différents en fonction de la partie de système de chauffage analysée (voir plus loin), et c'est la multiplication de ces 4 rendements qui nous donnera finalement le rendement réel du système de chauffage complet.

5.1 Rendement de production

Au-delà des rendements de combustion de ces chaudières mesuré par le chauffagiste (valeur dont nous n'avons pas connaissance), nous nous devons de toute manière de tenir compte également des pertes à l'arrêt de la chaudière.

Attention, les calculs de puissance utile de chauffage réalisés dans le cadre de cette étude ne sont pas la traduction exacte de la norme NBN B62-003. A ce titre, ils ne peuvent être utilisés que pour se faire une idée de la puissance à installer, idée qui doit être confrontée au dimensionnement exact effectué par l'auteur de projet.

Charge réelle de la chaudière

En comparant la consommation réelle de l'installation et la puissance du système existant, il est possible de se faire une idée de la charge des chaudières. En effet, en comparant ce qu'elles peuvent fournir comme énergie en fonctionnement continu sur une saison de chauffe et ce qu'elles ont réellement consommé, une charge en pourcentage est obtenue. Et l'on considère en général qu'une charge correcte est de l'ordre de minimum 30%.

Le tableau suivant indique les données pour le calcul de cette charge pour la consommation totale des deux bâtiments :

Paramètre	Sans ECS	Avec ECS	
Saison de chauffe	6360 heures	-	-
Energie maximale	1 462 800 kWh	-	-
Energie consommée	210 000 kWh	-	-
Charge	14%	-	-

Considérant par ailleurs que les chaudières fonctionnent à température constante, et qu'elles sont installées dans le volume chauffé, nous choisirons de considérer le rendement de production suivant :

Rendement de production :	80%
---------------------------	-----



5.2 Rendement de distribution

Le rendement de distribution prend en compte les pertes qui peuvent avoir lieu entre l'endroit où la chaleur est produite (la chaudière par exemple) et l'endroit où cette chaleur est transférée à l'ambiance grâce aux émetteurs. Il s'agit donc des pertes le long des tuyauteries de distribution.

Bien sûr, ces pertes seront dépendantes de l'endroit où sont ces tuyauteries (les pertes dans les zones chauffées ne sont en réalité pas des pertes puisqu'elles donnent sur des pièces que l'on considère comme chauffées), de la longueur de tuyauterie et de la qualité (ou de l'absence) de son isolation.

Considérant la situation présente, avec environ 60 mètres de tuyauteries isolées avec 3,5 cm de laine de verre en chaufferie (faisant partie du volume chauffé!) et environ 15 mètres de tuyauteries entre les deux bâtiments dont on n'a pas su vérifier la présence d'isolant, nous considérerons donc le rendement de distribution suivant:

Rendement de distribution :	93%
-----------------------------	-----

5.3 Rendement d'émission

Le rendement d'émission prend en compte la capacité des émetteurs de chaleur (les radiateurs par exemple) à transmettre la totalité de la chaleur reçue à l'ambiance que l'on souhaite chauffer.

Ce rendement dépend en réalité très peu de la qualité des émetteurs, mais plutôt de leur position. Ainsi des radiateurs placés sur des murs extérieurs auront des pertes à travers ces murs, d'autant plus si les murs sont peu ou pas isolés. Alors que les mêmes radiateurs auront des pertes nulles s'ils sont placés sur un mur intérieur (la perte par le mur servant alors à chauffer la pièce contigüe).

Dans le cas présent, la majorité des radiateurs sont placés sur des murs extérieurs, et, comme nous l'avons vu plus haut (et comme nous le verrons dans la partie musée), la majorité des murs ne sont pas isolés. Pour cette raison, nous conviendrons de considérer le rendement d'émission ci-dessous.

Rendement d'émission :	96%
------------------------	-----



5.4 Rendement de régulation

Le rendement de régulation reflète la capacité de l'ensemble de l'installation à correctement transmettre l'énergie au volume à chauffer, au moment souhaité (ni avant ni après) et au niveau souhaité (ni trop, ni trop peu).

Ce rendement est fortement dépendant des équipements existants dans l'installation, en partant du producteur de chaleur (sonde extérieure, chaleur glissante, ...) jusqu'aux émetteurs de chaleur (vannes thermostatiques par exemple). Et bien sûr, il dépend aussi de la présence d'un thermostat programmable qui gère l'installation et permet surtout d'automatiser une réduction de température nocturne.

L'installation du bâtiment analysé ne présente pas de sonde extérieure permettant un fonctionnement en température glissante automatisée. Ceci dit, le système de chauffage est régulé à l'aide de vannes thermostatiques et de trois thermostats d'ambiance pilotant chacun le circulateur du circuit de distribution dont il est lié. Pour ces raisons, nous avons calculé le rendement de régulation suivant :

Rendement de régulation :	93%
---------------------------	-----

5.5 Rendement global

Le rendement global de l'installation de chauffage actuelle s'obtient donc en multipliant les 4 rendements ci-dessus, et est de :

Rendement global :	66.4%
--------------------	-------

Comme on le constate, ce rendement est finalement assez éloigné de celui qu'aurait annoncé un chauffagiste pour des chaudières de ce type. Mais dans le cas présent, nous tenons compte de tous les paramètres, et verrons plus loin comment nous pourrions les améliorer.

5.6 Consommation en énergie

Comme le montre l'annexe 13, la consommation du système de chauffage, avec ce type de rendement et pour les compositions de parois, les surfaces et le volume chauffé décrit ci-dessus, se monte, pour le bâtiment de l'Etat Major, aux valeurs du tableau suivant pour l'ensemble de ce bâtiment en conditions climatiques « normales ».

Paramètre	Résumé
Consommation en énergie	198 074 kWh/an 19 807 l de mazout

Le tableau ci-dessous résume l'impact des pertes dues au système de chauffage sur ce bâtiment :

Paramètre	Conso théorique	Conso réelle
Consommation	19 807 l de mazout	12 630 l de mazout
Pertes chauffage	6 650 l de mazout	4 241 l de mazout

Voyons maintenant ce qu'il en est pour l'ensemble des deux bâtiments (voir également résultats pour le rapport concernant le bâtiment de la Chapelle):

Paramètre	Résumé
Consommation en énergie	329 329 kWh/an 32 933 l de mazout

Le tableau ci-dessous résume l'impact des pertes dues au système de chauffage sur les 2 bâtiments :

Paramètre	Conso théorique	Conso réelle
Consommation	32 933 l de mazout	21 000 l de mazout
Pertes chauffage	11 057 l de mazout	7 051 l de mazout

Partie 6 – Amélioration du système de chauffage

Comme nous l'avons vu plus haut, le système de chauffage actuel est certainement perfectible, sous de nombreuses approches.

Notons toutefois que si le client décidait de procéder à l'ensemble des améliorations proposées au niveau de l'enveloppe, la puissance des chaudières actuelles deviendrait nettement surdimensionnée, comme le montre les annexes 14, qui fixe la puissance nécessaire après rénovation à 38 kW (pour le bâtiment de xxx et 29 kW (pour le bâtiment de droite), soit à 67 kW seulement au total ! Et nous envisagerons dans la suite la possibilité d'améliorer le rendement du système par une action sur certains éléments, mais aussi nous envisagerons la possibilité d'une solution alternative aux chaudières actuelles.

	Actuelle	Après rénovation
Puissance nécessaire (Etat Major)	83 kW	38 kW
Puissance nécessaire (Chapelle)	55 kW	29 kW
Puissance nécessaire (TOTAL)	138 kW	67 kW

Attention, les calculs de puissance utile de chauffage réalisés dans le cadre de cette étude ne sont pas la traduction exacte de la norme NBN B62-003. A ce titre, ils ne peuvent être utilisés que pour se faire une idée de la puissance à installer, idée qui doit être confrontée au dimensionnement exact effectué par l'auteur de projet.

Enfin, remarquons aussi qu'après intervention sur l'enveloppe la consommation chute tellement que les pertes sur le chauffage, même sans intervention sur le système, sont, elles aussi, nettement réduites.

Bâtiment de l'Etat Major :

Pertes chauffage	Conso théorique	Conso réelle
Avant isolation	6 650 l de mazout	4 241 l de mazout
Après isolation	3 015 l de mazout	1 923 l de mazout

Ensemble des deux bâtiments :

Pertes chauffage	Conso théorique	Conso réelle
Avant isolation	11 057 l de mazout	7 051 l de mazout
Après isolation	5 014 l de mazout	3 197 l de mazout

Pour la suite de l'étude, et considérant que le gaz naturel n'est pas accessible sur les lieux, nous choisirons de vérifier la rentabilité de l'installation d'une seule pompe à chaleur, en optant pour une version air/eau, certes un peu moins performante qu'une géothermique, mais certainement largement moins coûteuse à l'installation. Ensuite, nous vérifierons l'intérêt de deux chaudières au mazout à condensation (en cascade). Ces deux solutions étant des systèmes de chauffage central, l'émission sera envisagée via les radiateurs actuellement en place dans les bâtiments (suffisamment dimensionnés pour pouvoir fonctionner à basse température, sous réserve de vérification d'un spécialiste).

De plus, nous vérifierons ce qu'il en est de la rentabilité de telles options tant sur l'enveloppe existante (donc avec des pertes de chauffage assez importantes) que sur une enveloppe rénovée et avec donc des pertes de chauffage sensiblement réduites.

6.1 Pompe à chaleur

6.1.1 Rendement de production

Comme mentionné plus haut, nous envisageons le remplacement des chaudières mazout actuelles par une pompe à chaleur air/eau. Le rendement de cette solution est évidemment spectaculairement plus élevé que celui des solutions traditionnelles, mais sera en partie bien sûr compensé par un coût du kWh plus élevé. Reste que pour une PAC de ce type, le rendement ci-dessous peut être considéré, même en prenant en compte les variations saisonnières et le rendement annuel.

Rendement de production :	300%
----------------------------------	-------------

Le tableau ci-dessous donne le coût estimé pour une installation de ce type. Notons toutefois que nous envisageons un coût différent selon que le remplacement se fait sur l'immeuble dans son état actuel (non rénové) ou après une rénovation totale de l'enveloppe. En effet, la puissance à installer sera différente dans les deux cas et par conséquent le coût peut varier également.

Bâtiment Etat Major	Actuelle	Après rénovation
Coût estimé PAC	16 841 €	11 343 €

A noter que nous avons réparti le coût de cette amélioration sur les deux bâtiments au prorata de leur besoin en énergie de chauffage, soit 28.000 € à répartir pour l'investissement brut (coût machine) en situation actuelle et 20.000 € pour l'investissement brut après rénovation, ce qui fait 16.482 € et 11.518 € respectivement pour l'Etat Major et pour la Chapelle en situation actuelle. Tandis qu'en situation rénovée, ces investissements passent à 11.176 € et 8.824 €.

Soit pour l'ensemble des deux bâtiments

Deux bâtiments	Actuelle	Après rénovation
Coût estimé PAC	28 000 €	20 000 €

6.1.2 Rendement de distribution

Le potentiel d'amélioration sur le rendement de distribution n'est en réalité jamais énorme. Dans le cas présent, nous considérerons toutefois qu'il est possible, moyennant une vérification de l'installation située dans les gaines extérieures d'améliorer légèrement le rendement.

De ce fait, nous considérerons le rendement suivant après rénovation système :

Rendement de distribution :	94.0%
------------------------------------	--------------

6.1.3 Rendement d'émission

L'amélioration du rendement d'émission ne peut passer que par un déplacement des émetteurs de chaleur vers des murs intérieurs, opération fort lourde au regard des gains possibles, ou par l'isolation des murs extérieurs.

Dans le cas présent, ne sachant pas si l'opération d'isolation des murs sera réellement mise en application, nous conviendrons de maintenir le rendement d'émission à sa valeur de :

Rendement d'émission :	96%
------------------------	-----

Notons aussi que, si la PAC s'installe après rénovation de l'enveloppe, les radiateurs seront vraisemblablement de taille suffisante que pour chauffer les bâtiments, même en fonctionnant à un régime de température inférieur compatible avec le meilleur fonctionnement des pompes à chaleur.

6.1.4 Rendement de régulation

L'amélioration du rendement de régulation dépend fortement de la situation de départ et de la technologie de chauffage choisie.

L'utilisation d'une pompe à chaleur laisse ici aussi un bon potentiel d'amélioration, en particulier en installant une sonde de température extérieure permettant un fonctionnement en modulation de puissance sur base du climat extérieur, en maintenant les thermostats d'ambiance qui permettent une réduction nocturne de température automatisée ainsi qu'une régulation par zone d'occupation différente et bien sûr en maintenant des vannes thermostatiques sur les radiateurs pour la gestion locale.

Rendement de régulation :	98%
---------------------------	-----

6.1.5 Rendement global

Le rendement global de l'installation de chauffage rénovée complète s'obtient à nouveau en multipliant les 4 rendements ci-dessus, et est de :

Rendement global :	265.3%
--------------------	--------

Comme on le constate, ce rendement est assez exceptionnel, mais comme mentionné plus haut, il sera en partie atténué par le coût plus élevé de l'énergie électrique.

L'évolution du rendement est importante, et représente :

Une évolution absolue de : 199%

Et une évolution relative de : 299%

6.1.6 Consommation en énergie - bâtiment non rénové

Comme le montre l'annexe 15, la consommation du système de chauffage après une telle modification de l'installation est importante, et représente, sur le bâtiment non rénové :

Consommation théorique	Résumé
Consommation en énergie	-148 483 kWh/an -10 057 €
Emission CO2	-36 T/an
Impact sur PEB*	-103 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	1.7 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

De même, sur la consommation réelle :

Consommation réelle	Résumé
Consommation en énergie	-94 682 kWh/an -6 413 €
Emission CO2	-23 T/an
Impact sur PEB*	-65 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	2.6 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Soit pour l'ensemble des deux bâtiments :

Consommation théorique	Résumé
Consommation en énergie	-248 063 kWh/an -16 802 €
Emission CO2	-60 T/an
Impact sur PEB*	-181 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	1.7 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

De même, sur la consommation réelle :

Consommation réelle	Résumé
Consommation en énergie	-157 423 kWh/an -10 662 €
Emission CO2	-38 T/an
Impact sur PEB*	-114 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	2.6 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Comme ces tableaux le démontrent, le remplacement du système est intéressant sur le bâtiment tel qu'il existe actuellement, avec un temps de retour très intéressant.

6.1.7 Consommation en énergie - après rénovation totale

L'annexe 16 illustre cette fois la même rénovation du système de chauffage, mais après avoir entièrement rénové l'enveloppe. Les résultats sont évidemment sensiblement influencés par la réduction de la consommation due à une meilleure isolation.

Consommation théorique	Résumé
Consommation en énergie	-175 589 kWh/an -15 711 €
Emission CO2	-49 T/an
Impact sur PEB*	-196 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	8.6 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Il est toutefois intéressant de noter que le gain obtenu est à répartir entre un gain grâce à l'isolation du bâtiment, et un gain complémentaire grâce à la nouvelle solution pour le système de chauffage.

Consommation théorique	Effet enveloppe	Effet chauffage
Consommation en énergie	-108 263 kWh/an -11 151 €	-67 325 kWh/an -4 560 €
Emission CO2	-33 T/an	-16 T/an
Impact sur PEB*	-150 kWh/m ² .an	-46 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	11.1 ans	2.5 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Soit pour l'ensemble des deux bâtiments :

Consommation théorique	Résumé
Consommation en énergie	-291 163 kWh/an -25 792 €
Emission CO2	-81 T/an
Impact sur PEB*	-337 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	7.3 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Il est toutefois intéressant de noter que le gain obtenu est à répartir entre un gain grâce à l'isolation du bâtiment, et un gain complémentaire grâce à la nouvelle solution pour le système de chauffage.

Consommation théorique	Effet enveloppe	Effet chauffage
Consommation en énergie	-172 142 kWh/an -17 731 €	-119 020 kWh/an -8 061 €
Emission CO2	-53 T/an	-28 T/an
Impact sur PEB*	-251 kWh/m ² .an	-87 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	9.5 ans	2.5 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Sur base de la consommation théorique, l'option de changer de système de chauffage se justifie donc, même après rénovation totale de l'enveloppe, malgré un allongement du temps de retour.

De même, sur la consommation réelle :

Consommation réelle	Résumé
Consommation en énergie	-111 966 kWh/an -10 018 €
Emission CO2	-31 T/an
Impact sur PEB*	-125 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	13.5 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Il est à nouveau intéressant de noter que le gain obtenu est à répartir entre un gain grâce à l'isolation du bâtiment, et un gain complémentaire grâce à la nouvelle solution pour le système de chauffage.

Consommation théorique	Effet enveloppe	Effet chauffage
Consommation en énergie	-69 035 kWh/an -7 111 €	-42 931 kWh/an -2 908 €
Emission CO2	-21 T/an	-10 T/an
Impact sur PEB*	-96 kWh/m ² .an	-30 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	20.6 ans	3.9 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Soit pour l'ensemble des deux bâtiments :

Consommation réelle	Résumé
Consommation en énergie	-184 783 kWh/an -16 369 €
Emission CO2	-51 T/an
Impact sur PEB*	-214 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	11.5 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Il est à nouveau intéressant de noter que le gain obtenu est à répartir entre un gain grâce à l'isolation du bâtiment, et un gain complémentaire grâce à la nouvelle solution pour le système de chauffage.

Consommation théorique	Effet enveloppe	Effet chauffage
Consommation en énergie	-109 282 kWh/an -11 256 €	-75 501 kWh/an -5 114 €
Emission CO2	-33 T/an	-18 T/an
Impact sur PEB*	-159 kWh/m ² .an	-56 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	15.0 ans	3.9 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

De même, sur base de la consommation réelle, l'option de changer de système de chauffage se justifie toujours, même après rénovation totale de l'enveloppe.

6.2 Chaudière mazout à condensation

6.2.1 Rendement de production

Comme mentionné plus haut, nous envisageons ici le remplacement des chaudières actuelles par de nouvelles chaudières à condensation au mazout. Le rendement de cette solution est évidemment plus élevé que celui actuel de par la technologie avancée des chaudières, mais aussi de par les moyens de régulation qui peuvent être mis en place pour gérer la chauffe du bâtiment au plus près des besoins réels. Le rendement saisonnier du système de production de chaleur (ensemble des deux chaudières en cascade) peut donc être considéré à la valeur de :

<u>Rendement de production :</u>	<u>95%</u>
----------------------------------	------------

Le tableau ci-dessous donne le coût estimé pour une installation de ce type. Notons toutefois que nous envisageons un coût différent selon que le remplacement se fait sur l'immeuble dans son état actuel (non rénové) ou après une rénovation totale de l'enveloppe. En effet, la puissance à installer sera différente dans les deux cas et par conséquent le coût peut varier également.

	Actuelle	Après rénovation
Coût estimé	10 826 €	7 940 €

A noter que nous avons réparti le coût de cette amélioration sur les deux bâtiments au prorata de leur besoin en énergie de chauffage, soit 2*9000 € à répartir pour l'investissement brut en situation actuelle et 2*7000 € pour l'investissement brut après rénovation, ce qui fait 10.596 € et 7.404 € respectivement pour l'Etat Major et pour la Chapelle en situation actuelle. Tandis qu'en situation rénovée, ces investissements passent à 7.824 € et 6.176 €.

Soit pour l'ensemble des deux bâtiments

Deux bâtiments	Actuelle	Après rénovation
Coût estimé	18 000 €	14 000 €

6.2.2 Rendement de distribution

Le potentiel d'amélioration sur le rendement de distribution n'est en réalité jamais énorme. Dans le cas présent, nous considérerons toutefois qu'il est possible, moyennant une vérification de l'installation située dans les gaines extérieures d'améliorer légèrement le rendement.

De ce fait, nous considérerons le rendement suivant après rénovation système :

<u>Rendement de distribution :</u>	<u>94.0%</u>
------------------------------------	--------------



6.2.3 Rendement d'émission

L'amélioration du rendement d'émission ne peut passer que par un déplacement des émetteurs de chaleur vers des murs intérieurs, opération fort lourde au regard des gains possibles, ou par l'isolation des murs extérieurs.

De la même manière que pour les systèmes pompe à chaleur, ne sachant pas si l'opération d'isolation des murs sera réellement mise en application, nous conviendrons de maintenir le rendement d'émission à sa valeur de :

Rendement d'émission :	96%
------------------------	-----

Notons aussi que, la chaudière à condensation fonctionnant à un régime de basse température (pour assurer le meilleur fonctionnement), l'idéal est de fonctionner avec de grandes surfaces d'échanges pour permettre une chauffe en basse température. La dimension des radiateurs devra donc être spécifiquement calculée lors de l'installation. Celle-ci dépendra donc également fortement de l'isolation des parois du bâtiment qui seraient ou non isolées. Les radiateurs existants pourraient donc être maintenus en place si les parois sont isolées et malgré un fonctionnement en basse température. Par ailleurs, en cas de remplacement du système de chauffage dans l'état actuel du bâtiment, les radiateurs étant très probablement surdimensionnés, il se pourrait que leur dimension suffise.

6.2.4 Rendement de régulation

L'amélioration du rendement de régulation dépend fortement de la situation de départ et de la technologie de chauffage choisie.

Comme évoqué plus haut, un système moderne à condensation laisse un bon potentiel d'amélioration, en particulier en installant une sonde de température extérieure permettant un fonctionnement en modulation de puissance sur base du climat extérieur, en maintenant les thermostats d'ambiance permettant une réduction nocturne de température automatisée ainsi qu'une régulation par zone d'occupation différente et bien sûr en maintenant des vannes thermostatiques sur les radiateurs pour la gestion locale.

Rendement de régulation :	98%
---------------------------	-----

6.2.5 Rendement global

Le rendement global de l'installation de chauffage rénovée complète s'obtient à nouveau en multipliant les 4 rendements ci-dessus, et est de :

Rendement global :	84.0%
---------------------------	--------------

Comme on le constate, ce rendement est bien meilleur par rapport à un système traditionnel au mazout, mais de manière moins spectaculaire que pour la pompe à chaleur.

L'évolution du rendement est importante, et représente :

Une évolution absolue de : 18%

Et une évolution relative de : 26%

6.2.6 Consommation en énergie - bâtiment non rénové

Comme le montre l'annexe 15, la consommation du système de chauffage après une telle modification de l'installation est importante, et représente, sur le bâtiment non rénové :

Consommation théorique	Résumé
Consommation en énergie	-148 483 kWh/an -15 294 €
Emission CO2	-45 T/an
Impact sur PEB*	-205 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	0.7 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

De même, sur la consommation réelle :

Consommation réelle	Résumé
Consommation en énergie	-94 682 kWh/an -9 752 €
Emission CO2	-29 T/an
Impact sur PEB*	-131 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	1.1 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Soit pour l'ensemble des deux bâtiments :

Consommation théorique	Résumé
Consommation en énergie	-248 063 kWh/an -25 551 €
Emission CO2	-75 T/an
Impact sur PEB*	-362 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	0.7 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

De même, sur la consommation réelle :

Consommation réelle	Résumé
Consommation en énergie	-157 423 kWh/an -16 214 €
Emission CO2	-48 T/an
Impact sur PEB*	-230 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	1.1 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Comme ces tableaux le démontrent, le remplacement du système est très intéressant sur le bâtiment tel qu'il existe actuellement, avec un temps de retour très court!

6.1.7 Consommation en énergie - après rénovation totale

L'annexe 16 illustre cette fois la même rénovation du système de chauffage, mais après avoir entièrement rénové l'enveloppe. Les résultats sont évidemment sensiblement influencés par la réduction de la consommation due à une meilleure isolation.

Consommation théorique	Résumé
Consommation en énergie	-175 589 kWh/an -18 086 €
Emission CO2	-54 T/an
Impact sur PEB*	-243 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	7.3 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Il est toutefois intéressant de noter que le gain obtenu est à répartir entre un gain grâce à l'isolation du bâtiment, et un gain complémentaire grâce à la nouvelle solution pour le système de chauffage.

Consommation théorique	Effet enveloppe	Effet chauffage
Consommation en énergie	-108 263 kWh/an -11 151 €	-67 325 kWh/an -6 934 €
Emission CO2	-33 T/an	-21 T/an
Impact sur PEB*	-150 kWh/m ² .an	-93 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	11.1 ans	1.1 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Soit pour l'ensemble des deux bâtiments :

Consommation théorique	Résumé
Consommation en énergie	-291 163 kWh/an -29 990 €
Emission CO2	-89 T/an
Impact sur PEB*	-425 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	6.1 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Il est toutefois intéressant de noter que le gain obtenu est à répartir entre un gain grâce à l'isolation du bâtiment, et un gain complémentaire grâce à la nouvelle solution pour le système de chauffage.

Consommation théorique	Effet enveloppe	Effet chauffage
Consommation en énergie	-172 142 kWh/an -17 731 €	-119 020 kWh/an -12 259 €
Emission CO2	-53 T/an	-37 T/an
Impact sur PEB*	-251 kWh/m ² .an	-175 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	9.5 ans	1.1 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Sur base de la consommation théorique, l'option de changer de système de chauffage se justifie donc, même après rénovation totale de l'enveloppe, malgré un allongement du temps de retour.

De même, sur la consommation réelle :

Consommation réelle	Résumé
Consommation en énergie	-111 966 kWh/an -11 532 €
Emission CO2	-34 T/an
Impact sur PEB*	-155 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	11.5 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Il est à nouveau intéressant de noter que le gain obtenu est à répartir entre un gain grâce à l'isolation du bâtiment, et un gain complémentaire grâce à la nouvelle solution pour le système de chauffage.

Consommation réelle	Effet enveloppe	Effet chauffage
Consommation en énergie	-69 035 kWh/an -7 111 €	-42 931 kWh/an -4 422 €
Emission CO2	-21 T/an	-13 T/an
Impact sur PEB*	-96 kWh/m ² .an	-59 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	20.6 ans	1.8 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Soit pour l'ensemble des deux bâtiments :

Consommation réelle	Résumé
Consommation en énergie	-184 783 kWh/an -19 032 €
Emission CO2	-56 T/an
Impact sur PEB*	-270 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	9.6 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

Il est à nouveau intéressant de noter que le gain obtenu est à répartir entre un gain grâce à l'isolation du bâtiment, et un gain complémentaire grâce à la nouvelle solution pour le système de chauffage.

Consommation théorique	Effet enveloppe	Effet chauffage
Consommation en énergie	-109 282 kWh/an -11 256 €	-75 501 kWh/an -7 777 €
Emission CO2	-33 T/an	-23 T/an
Impact sur PEB*	-159 kWh/m ² .an	-110 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	15.0 ans	1.8 ans

*PEB = la valeur officielle "PEB" est basée sur la consommation théorique

De même, sur base de la consommation réelle, l'option de changer de système de chauffage se justifie donc, même après rénovation totale de l'enveloppe, malgré un allongement du temps de retour.

6.3 Améliorations du système de chauffe - synthèse

Afin d'avoir une vision d'ensemble sur les 2 technologies évoquées ici, nous allons reprendre les principaux résultats annoncés, ce qui permettra d'en retirer le système le plus intéressant.

Tout d'abord en situation actuelle sur le bâtiment de l'xxxx :

Consommation réelle	PAC	Mazout
Besoin en énergie	-94 682	-94 682 kWh/an
	-75%	-75%
Consommation	-6 413	-9 752 €
Emission CO2	-23	-29 T/an
Impact sur PEB*	-65	-131 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	2.6	1.1 ans

Soit sur l'ensemble des deux bâtiments :

Consommation réelle	PAC	Mazout
Besoin en énergie	-157 423	-157 423 kWh/an
	-75%	-75%
Consommation	-10 662	-16 214 €
Emission CO2	-38	-48 T/an
Impact sur PEB*	-114	-230 kWh/m ² .an
Temps de retour investissement	2.6	1.1 ans

Ensuite, en situation après amélioration totale de l'enveloppe, nous mettrons en évidence l'effet commun apporté par ces améliorations et le complément d'économies apporté par chacun des systèmes :

Consommation réelle	Enveloppe	PAC	Mazout
Besoin en énergie	-69 035	-42 931	-42 931 kWh/an
Consommation	-7 111	-2 908	-4 422 €
Emission CO2	-21	-10	-13 T/an
Impact sur PEB*	-96	-30	-59 kWh/m ² .an
Temps de retour	20.6	3.9	1.8 ans

Soit sur l'ensemble des deux bâtiments :

Consommation réelle	Enveloppe	PAC	Mazout
Besoin en énergie	-109 282	-75 501	-75 501 kWh/an
Consommation	-11 256	-5 114	-7 777 €
Emission CO2	-33	-18	-23 T/an
Impact sur PEB*	-159	-56	-110 kWh/m ² .an
Temps de retour	15.0	3.9	1.8 ans

En conclusion, le système de chaudières mazout à condensation en cascade est le plus intéressant tant en terme d'économies que de temps de retour et de gain environnemental (émissions de CO2). De plus, l'investissement d'une telle solution est inférieur à celui d'une pompe à chaleur.

Partie 7 – Production d'eau chaude sanitaire

Comme indiqué dans l'introduction, dans ce bâtiment la production d'eau chaude est assurée par plusieurs boilers électriques ; un de 200 litres pour la partie laboratoire, un de 50 litres pour le réfectoire, la douche et les WC du rez-de-chaussée et un de 15 litres pour le réfectoire, la douche et le WC de l'étage. A noter que la Chapelle n'est pas alimentée en eau (froide et chaude). La consommation de ses occupants est donc prise en compte pour la consommation en ECS de l'xxxx

7.1 Besoin en énergie pour l'eau chaude sanitaire

Contrairement à l'approche utilisée pour le chauffage, dans le cas de l'eau chaude sanitaire (ECS), le rendement du système et le besoin en énergie sont tous deux influencés par le nombre d'occupants et la consommation d'eau chaude.

Or, il est évident que dans le cas présent la consommation en ECS est inconnue et assez instable . Ceci dit, nous avons estimé les besoins en eau chaude en tenant compte qu'il y a, en moyenne, 15 personnes consommatrices dans les deux bâtiments (le bâtiment de gauche n'étant pas approvisionné par de l'eau chaude). Pour la partie laboratoire, nous partirons sur l'hypothèse d'une dizaine de lavage des objets (provenant des fouilles archéologiques) par jour. Quant aux douches, celles-ci étant à priori peu (voire pas) utilisées, nous avons considéré l'utilisation d'une douche par jour. Nous nous pencherons ensuite sur la performance de l'installation existante.

Pour ce faire, nous nous baserons sur des besoins moyens en fonction des différentes applications, ainsi que sur une occupation moyenne.

Occupation : Jours de production ECS / an	Vacances	Fermeture hebdom.	Jours / an ECS
Professionnelle	20	2	247
Logement	0	0	365

Et en terme de besoins, nous avons considéré :

Consommation théorique (partie professionnelle)		L à 60°C	Nbre d'unités	Nbre jours	m ³ à 60°/an
Personnel	Par personne et par jour	4	15	247	15
Lavage	Par lavage et par jour	10	15	247	37
Douche	Par douche et par jour	30	1	247	7
Total					59

Sur cette base, nous pouvons calculer un besoin net en énergie annuel de 3 443 kWh/an

7.2 Rendement système de production ECS

Dans le cas de l'eau chaude sanitaire également, le rendement de l'installation dépend de plusieurs rendements combinés.

7.2.1 Rendement de production

Ce rendement est bien sûr intimement lié à l'origine de la chaleur utilisée pour chauffer l'eau, c'est-à-dire, pour les systèmes liés au chauffage central, au rendement de la chaudière. Par contre, pour les systèmes indépendants, le rendement dépend essentiellement de l'énergie utilisée et de la conception de l'appareil de production d'eau chaude.

Dans le cas présent, c'est le fonctionnement électrique qui est évalué. Nous considérerons donc le rendement de production suivant :

Rendement de production : <u>100%</u>
--

7.2.2 Rendement de stockage

Il s'agit ici de l'énergie nécessaire pour compenser les pertes statiques du ballon de stockage, indépendantes de l'usage du chauffe-eau, et uniquement liées à la qualité de l'isolation du ballon et à la surface de déperdition.

Comme nous sommes en présence de trois ballons de stockage d'une capacité de 200, 50 et 15 litres avec une isolation moyenne équivalente à 5 cm de laine de verre, nous pouvons estimer les pertes à :

Rendement de stockage : <u>92.8%</u>

7.2.3 Rendement de distribution

Le dernier élément influençant le rendement du système de production d'eau chaude sanitaire est le rendement de distribution, prenant en compte l'isolation des conduites de distribution. A noter qu'ici il est important que les conduites soient isolées aussi dans le volume chauffé, les pertes estivales ne contribuant aucunement au chauffage des locaux !

Dans le cas présent, les conduites, de longueurs relativement limitées, se trouvant dans le volume chauffé, aucune perte n'est considérée. Le rendement de distribution est donc de :

Rendement de distribution : <u>100.0%</u>
--



7.2.4 Rendement global

En résumé, le rendement global de la production d'eau chaude sanitaire est fonction des trois rendements précédents, à savoir :

Rendement de global :	92.8%
------------------------------	--------------

7.2.5 Consommation théorique brute

Comme nous l'avons vu plus haut, la consommation théorique (avec un système parfait) pour l'eau chaude sanitaire serait de 3 443 kWh/an.

Mais, suite à "l'imperfection" du système existant, la consommation finale réelle peut donc être estimée à 3 712 kWh/an, soit une perte de 269 kWh/an.

En d'autres termes, la consommation inutile pour chauffer l'eau chaude sanitaire est estimée à un niveau de 269 kWh électrique (tarif jour) et un coût de 56 €

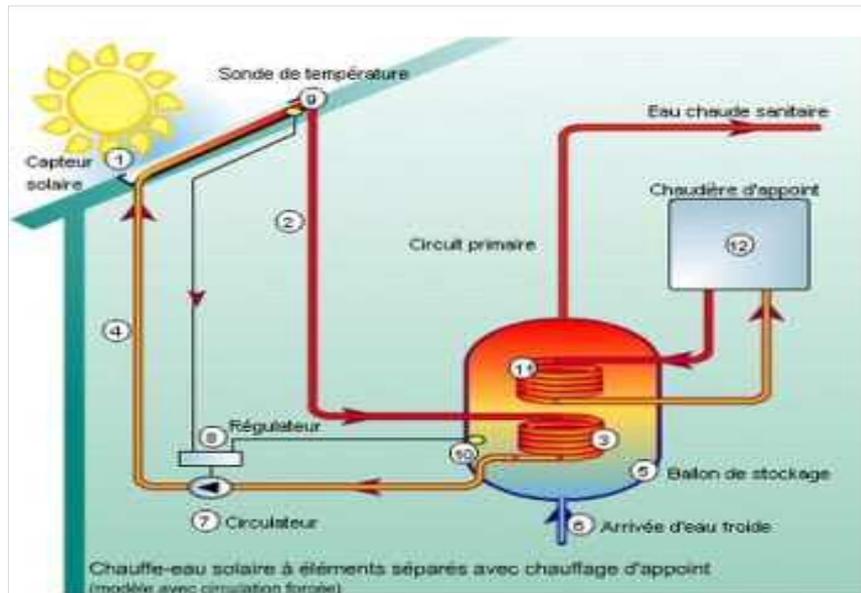
De plus, l'impact PEB de cette consommation ECS est de 13 kWh/m².an

Ce qui constitue un impact non négligeable mais tenant compte de la consommation des occupants des deux bâtiments audités (mais de la surface du bâtiment de l'xxxx uniquement).

A noter que l'indicateur PEB est influencé par la conversion en énergie primaire de l'électricité.

Partie 8 – Améliorations proposées ECS

La consommation en ECS du bâtiment n'étant pas négligeable, nous pouvons proposer une production d'ECS par panneaux solaires thermiques.



Nous proposons de tenter de couvrir de l'ordre de 52% de la consommation annuelle de l'immeuble grâce à une installation solaire de 5 m², qui pourrait coûter de l'ordre de 6500 € (ballon de stockage de 300 litres compris).

Si l'économie réalisée est de 52% de la consommation, elle correspond finalement à une économie annuelle de 420 € sur base de la solution actuelle.

Comme solution d'appoint au ballon de stockage, nous avons envisagé de recourir à l'électricité. En effet, les points de puisage se trouvant loin de la chaufferie, l'appoint via cette dernière ne serait pas intéressant en raison des pertes engendrées dans les tuyauteries. A noter que pour les points de puisage peu consommateur situés loin du ballon solaire, le maintien (ou l'utilisation) de petit boiler électrique reste une bonne solution.

Voyons à présent les différents rendements de la partie "non-solaire" en appoint sur le ballon combiné solaire-électrique.

8.1 Rendement système de production ECS

8.1.1 Rendement de production

Ce rendement est bien sûr à nouveau intimement lié à l'origine de la chaleur utilisée pour chauffer l'eau, mais son impact est atténué puisqu'il ne reste plus qu'une partie de l'eau chaude consommée qui en est dépendante, le reste étant couvert par la production solaire.

De même que ci-dessus, c'est le fonctionnement électrique qui est évalué. Nous considérerons donc le rendement de production suivant :

Rendement de production : <u>100%</u>
--

8.1.2 Rendement de stockage

Le fait de passer à une solution solaire pour couvrir une partie des besoins conduit à augmenter le volume de stockage (et donc les pertes de stockage malgré une meilleure isolation des ballons solaires) mais l'impact de ces pertes reste moindre par rapport à la consommation globale d'ECS.

Comme nous sommes en présence d'une accumulation relativement de 300 litres mais avec une isolation moyenne équivalente à 10 cm de laine minérale, nous pouvons estimer les pertes à :

Rendement de stockage : <u>96.8%</u>

8.1.2 Rendement de distribution

Le dernier élément influençant le rendement du système de production d'eau chaude sanitaire est le rendement de distribution, prenant en compte l'isolation des conduites de distribution. Nous avons bien entendu considéré qu'un effort d'isolation serait ici réalisé.

Dans le cas présent, les conduites, de longueurs relativement limitées, se trouvant dans le volume chauffé, aucune perte n'est considérée. Le rendement de distribution est donc de :

Rendement de distribution : <u>100.0%</u>
--

8.1.4 Rendement global

En résumé, le rendement global de la production d'eau chaude sanitaire est fonction des trois rendements précédents, à savoir :

Rendement de global :	96.8%
------------------------------	--------------

Comme on le voit, le rendement du système de production de l'ECS s'améliore fortement, ce qui est encore accentué par la partie couverte par le soleil. En effet :

	Solaire	Reste	
Couverture	52%	48%	0
Rendement	-	96.8%	0
Besoin en ECS		3 443	kWh
Dont	1 797	1 646	kWh
Consommation	0	1 700	kWh
Rendement global		202.6%	
Gain énergétique	-2 012		kWh
Gain économique	-420		€

Comme le montre ce tableau, le gain est important, et correspond à un amortissement en fonction des investissements réalisés, de :

ECS via des panneaux solaires		
Investissement	6 500	€
Economie	2 012	kWh
Economie	420	€
Temps de retour	15.5	ans

Ce qui constitue un résultat moyennement intéressant un raison d'une consommation relativement faible et d'un investissement assez important puisque ne bénéficiant d'aucun subsides.

Et l'indicateur PEB dans ce cas se chiffre à 6 kWh/m².an

A noter que l'indicateur PEB est influencé par la conversion en énergie primaire de l'électricité.

Partie 9 – Etude du système de ventilation

Le bâtiment ne comprend actuellement aucun système de ventilation (même pas des grilles de ventilation naturelle dans les châssis) ce qui s'explique assez aisément par l'âge du bâtiment et son manque évident d'étanchéité.

Il est donc clair et explicable que le bâtiment ne connaisse aujourd'hui aucun souci particulier de ventilation, d'humidité ou de problème de condensation.

Par contre, en cas de rénovation lourde de l'enveloppe, l'étanchéité se trouvera nécessairement fortement renforcée, et certains problèmes en particulier de condensation pourraient survenir.

Dans ce cas de figure, nous préconisons l'installation d'un système de ventilation de type C (amenée d'air naturelle par des grilles de ventilation à ajouter dans certains châssis ou murs et évacuation d'air par extracteurs depuis les pièces humides que sont les salles de bain, WC, cuisines et buanderies).

En ménageant également des passages suffisants sous les portes intérieures (1 cm), une circulation d'air pourra ainsi être correctement assurée pour peu que les grilles et débits d'extractions soient correctement dimensionnés.

Partie 10 – Bilan et conclusions

Nous pouvons maintenant résumer les différents effets obtenus par nos recommandations pour visualiser un résultat global pour le bâtiment.

Notons toutefois que, dans le cas de l'approche basée sur la consommation théorique, les chiffres sont bien sûr moins fiables que ceux basés sur la consommation réelle.

10.1 Potentiel total d'amélioration - rénovation totale

Le tableau suivant résume les effets de l'intervention sur l'enveloppe complétés par ceux sur les systèmes, dans le cas d'une rénovation totale, en se basant sur la consommation théorique:

Aspect	K	Combustible %	Combustible €	CO2 T	Investiss. €	ROI ans
Actuel	97	100%	20 402	60.6	-	-
Enveloppe	-67	-54.7%	-11 151	-30.1	124 311	11.1
PAC	0	-22.4%	-4 560	-16.2	11 343	2.5
RENO TOTAL	-67	-77.0%	-15 711	-46.3	135 654	8.6
FINAL	30	23.0%	4 691	14.3	-	-

Et maintenant en se basant sur la consommation réelle:

Aspect	K	Combustible %	Combustible €	CO2 T	Investiss. €	ROI ans
Actuel	97	100%	13 009	38.6	-	-
Enveloppe	-67	-54.7%	-7 111	-21.1	124 311	17.5
PAC	0	-22.4%	-2 908	-10.4	11 343	3.9
RENO TOTAL	-67	-77.0%	-10 018	-31.5	135 654	13.5
FINAL	30	23.0%	2 991	7.2	-	-

Comme on peut le voir sur les tableaux ci-dessus, le potentiel d'amélioration du bâtiment analysé est très important, et les opérations sont rentabilisées en un temps relativement court, du moins en considérant la consommation théorique.

Ceci dit, en se basant sur la consommation réelle, celle-ci étant plus faible en raison d'une occupation des lieux réduites (bureaux, laboratoires, etc.), les temps de retour augmentent nettement et deviennent dès lors moins intéressants.

Au niveau de l'enveloppe, ce temps de retour avoisine les 17 ans. Il n'est donc pas intéressant d'effectuer l'entièreté des améliorations citées dans ce rapport. Ceci dit, comme nous l'avons vu dans les parties 3 et 4, certaines améliorations sont rentabilisées à court ou moyen terme. Il serait donc préférable d'effectuer celles-ci prioritairement.

Remarques: En pratique, certaines opérations ne peuvent être réalisées seules au risque de faire apparaître des ponts thermiques et donc des risques de condensation.

En ce qui concerne l'investissement de la pompe à chaleur par contre, il est amorti en un temps bien plus court. De plus, comme on peut le voir dans les tableaux de la partie 6.3, les investissements pour le remplacement des chaudières actuelles par une pompe à chaleur, que l'on soit en situation actuelle ou rénovée, ne sont pas les plus rentables. En effet, sur base de la consommation réelle, le remplacement de ce système par des chaudières à condensation mazout serait, quant à lui, rentabilisé en à peine 2 ans en situation actuelle et 3 ans en situation rénovée!

10.3 Potentiel PEB

Enfin, le tableau ci-dessous résume l'évolution de l'indicateur PEB, en tenant compte pour l'ECS de la solution la plus rapidement amortie :

	Initial	Rénovation totale
Part PEB chauffage	274 kWh/m ² .an	78 kWh/m ² .an
Part PEB eau chaude sanitaire	13 kWh/m ² .an	6 kWh/m ² .an
TOTAL	287 kWh/m².an	84 kWh/m².an

Soit une très belle évolution, qui permettrait de se trouver nettement en-dessous de la limite de 170 kWh/m².an pour les logements neufs.

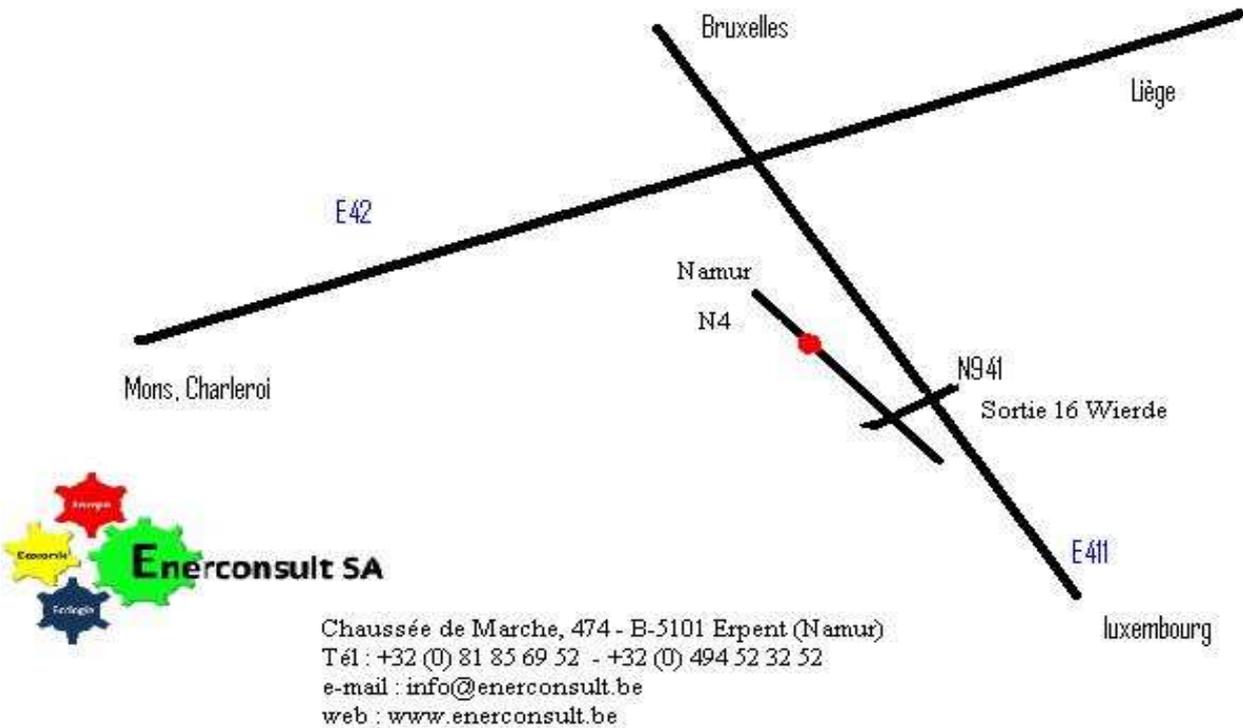


Ce rapport a été réalisé par **EnerConsult**, *Société de Conseils en Economies d'Energie*

EnerConsult SA :

Agrément AMURE-UREBA :

RW/09232356



EnerConsult SA

Chaussée de Marche, 474 B- 5101 Erpent (NAMUR)

Tel +32(0) 81 85 69 52 info@enerconsult.be www.enerconsult.be

TVA BE0 898 980 657 Dexia: 068-2499839-79