

## ÉTUDE DE FAISABILITÉ TECHNIQUE, ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE

Etude de faisabilité des systèmes alternatifs de production et d'utilisation d'énergie  
conformément au décret du 28 novembre 2013

Projet : xxxxxxxxxxxx | N° de dossier PEB : xxx-xxx-xxx | Rendeur : xxxxxx



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE, DU LOGEMENT, DU PATRIMOINE ET DE L'ÉNERGIE  
Place de la Rue 1. B-5100 Namur (Jambes) . Tél. : 081 00 00 00 • Fax : 081 00 00 00

## Projet

**Cas d'étude type – Bâtiment simple de moins de 1000 m<sup>2</sup>**

Adresse - 4000 Liège

## Rendeur

écorce Sprl

Rue Sohet 9b

B-4000 Liège

## Architecte

écorce Sprl

Rue Sohet 9b

B-4000 Liège

## Responsable PEB

écorce Sprl

Rue Sohet 9b

B-4000 Liège

## Auteur d'étude de faisabilité

écorce Sprl

Rue Sohet 9b

B-4000 Liège



# TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES.....	3
Avant-propos .....	5
Introduction et méthodologie .....	7
Synthèse des résultats .....	8
Rapport détaillé.....	11
1. Tableau synthétique des hypothèses .....	11
2. Présentation du bâtiment.....	13
3. Besoins énergétiques du bâtiment .....	14
4. Technologie de référence .....	16
4.1. Caractéristiques techniques et intégration .....	16
4.2. Aspects énergétiques et environnementaux .....	17
4.3. Aspect financier .....	18
4.4. Résultats .....	18
5. Technologies alternatives .....	19
5.1. Analyse de la disponibilité des variantes.....	19
5.2. Faisabilité des solutions retenues – Chauffage + ECS .....	21
<b>5.2.1. Biomasse</b> .....	21
Caractéristiques techniques et intégration .....	21
Aspect financier .....	23
Résultats .....	24
<b>5.2.2. Pompe à chaleur Eau glycolée/Eau</b> .....	25
Caractéristiques techniques et intégration .....	25
Aspects énergétiques et environnementaux .....	26
Aspect financier .....	26
Résultats .....	27
<b>5.2.3. Pompe à chaleur Air/Eau</b> .....	28



Caractéristiques techniques et intégration .....	28
Aspects énergétiques et environnementaux .....	28
Aspect financier .....	28
Résultats .....	29
5.3. Faisabilité des solutions retenues – ECS décentralisé .....	30
<b>5.3.1. Panneaux solaires thermiques</b> .....	30
Caractéristiques techniques et intégration .....	30
Aspects énergétiques et environnementaux .....	30
Aspect financier .....	30
Résultats .....	30
5.4. Faisabilité des solutions retenues – Electricité .....	32
<b>5.4.1. Solaire photovoltaïque</b> .....	32
Caractéristiques techniques et intégration .....	32
Aspect financier .....	33
Résultats .....	33
6. Etude comparative .....	34



## AVANT-PROPOS

La législation relative à la Performance Énergétique des Bâtiments (PEB) en Wallonie a été initiée par la Directive européenne 2002/91/CE adoptée le 16 décembre 2002. Cette directive tourne définitivement la page de l'insouciance énergétique dans la construction en visant la réduction de la consommation à travers l'amélioration de l'efficacité énergétique. Elle trace les grandes lignes des mesures à établir par les états membres concernant notamment la méthodologie de calcul des performances, la certification des bâtiments, et les exigences minimales relatives à la performance énergétique. Elle instaure également la mise en place d'une **étude de faisabilité technique, environnementale et économique** visant à étudier les systèmes de production d'énergie renouvelable pour les nouveaux bâtiments de plus de 1000 m<sup>2</sup>. Le Gouvernement wallon a adopté le Décret cadre transposant cette directive le 19 avril 2007, ainsi que l'Arrêté d'application déterminant la méthode de calcul et les exigences, les agréments et les sanctions applicables en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments, le 17 avril 2008.

A la suite de la Directive 2002/91/CE, deux autres Directives européennes concernant la performance énergétiques des bâtiments ont été adoptées. La Directive européenne 2009/28/CE prévoit une obligation pour les états membres d'**intégrer des énergies renouvelables dans les nouveaux bâtiments**. La Directive 2010/31/UE (RECAST) du 19 mai 2010 prévoit quant à elle que toutes les nouvelles constructions réalisées dans les états membres devront bénéficier d'une **étude de faisabilité quelle que soit leur surface** alors que seuls les bâtiments de plus de 1000 m<sup>2</sup> étaient soumis à cette obligation auparavant. La Directive RECAST a été partiellement transposée en Région Wallonne par l'Arrêté du Gouvernement wallon du 10 mai 2012. Le nouveau Décret wallon relatif à la performance énergétique des bâtiments qui devrait entrer en vigueur en 2015, terminera cette transposition.

L'objectif de l'étude de faisabilité est de **promouvoir les systèmes alternatifs de production d'énergie performants ou faisant appel aux énergies renouvelables**. Elle permet entre autres d'inciter les concepteurs de nouveaux bâtiments à diminuer leur empreinte écologique (consommation en énergie primaire, émissions de CO<sub>2</sub>) en faisant appel à ces technologies. Le nouveau Décret wallon permet, via ses Arrêtés, de renforcer les exigences quant au contenu des études de faisabilité. Le Décret prévoit en outre que le responsable PEB puisse réaliser les études de faisabilité pour les bâtiments de moins de 1000 m<sup>2</sup>. Pour faciliter la tâche du responsable PEB, un logiciel sera mis à disposition pour étudier les différentes énergies renouvelables envisageables pour les bâtiments simples, et sélectionner la technologie la plus appropriée. Les études pour les bâtiments de plus de 1000 m<sup>2</sup> seront toujours réalisées par des auteurs de faisabilité agréés.

Ce document présente une structure type d'étude de faisabilité reprenant les différentes sections pour un exemple de bâtiment simple de moins de 1000 m<sup>2</sup>. L'étude est présentée sur base d'un bâtiment fictif, mais n'est pas réalisée à l'aide du logiciel dédié car celui-ci n'était pas encore disponible au moment de la réalisation de ce document. L'étude est assortie de commentaires et de guidelines afin d'aider l'auteur d'étude de faisabilité. L'auteur peut utiliser ou non cet exemple et reste responsable du contenu de l'étude qu'il réalise. En aucun cas, la Région wallonne ou le rédacteur du présent document n'assumeront une quelconque responsabilité quant à l'utilisation erronée ou inappropriée de la méthodologie décrite dans ce document. L'étude de faisabilité au sens de la réglementation PEB garde un caractère qualitatif (étude de pertinence). L'approche n'est en effet pas destinée à remplacer les calculs de dimensionnement d'un bureau d'études spécialisé.

Il n'existe pas de méthode « toute faite » permettant de déterminer la solution qui conviendra toujours au maître de l'ouvrage. Le rôle de l'auteur d'études de faisabilité est, d'une part, de sélectionner des systèmes pertinents, et d'autre part de guider objectivement le maître de l'ouvrage vers un choix adapté, en adéquation avec ses propres attentes, besoins ou considérations. L'auteur doit présenter les résultats de son étude de manière objectivée afin de permettre au maître de l'ouvrage de poser un choix. Deux maîtres de l'ouvrage différents impliquent potentiellement deux choix de systèmes différents.



Le document est articulé de la manière suivante :

Les encadrés bruns présentent le contenu attendu pour chacun des différents chapitres



*Les encadrés gris présentent des commentaires et informations utiles à l'auteur pour la réalisation de son étude.*



## INTRODUCTION ET MÉTHODOLOGIE

En guise d'introduction, l'auteur présente le contexte réglementaire dans lequel s'inscrit l'étude, l'objectif ainsi que les étapes suivies lors de la réalisation de l'étude, de manière claire et concise.

La présente étude est établie conformément aux prescriptions du Décret du 28 novembre 2013 en vue de promouvoir la performance énergétique des bâtiments (PEB) et ses arrêtés d'application.

Lorsqu'une demande de permis d'urbanisme a pour objet la construction d'un bâtiment neuf<sup>1</sup>, l'étude de faisabilité technique, environnementale et économique et la déclaration PEB initiale sont jointes, par le déclarant PEB, au dossier de demande de permis. Cette étude a pour but d'analyser la possibilité de recourir à des systèmes de substitution à haute efficacité énergétique en se basant sur des critères objectifs (techniques, financiers ou environnementaux).

La faisabilité des systèmes de production alternative d'énergie suivants est envisagée :

- Biomasse ;
- Panneaux solaires thermiques ;
- Panneaux solaires photovoltaïques ;
- Pompe à chaleur ;
- Réseau de chaleur

Différents scénarios d'utilisation de ces systèmes sont étudiés de manière à définir les meilleurs moyens de couvrir les besoins pour atteindre un bilan technique, environnemental et économique optimal.

Cette étude présente en première partie un résumé des résultats et conclusions obtenus. La méthodologie, les hypothèses ainsi que le détail des calculs sont présentés dans la seconde partie du rapport.

Pour chaque technologie, les aspects d'intégration au bâtiment sont analysés. Les paramètres influençant la rentabilité tels que le coût et les subsides sont ensuite détaillés.



*L'auteur de l'étude doit au minimum envisager la possibilité de recourir aux technologies citées ci-dessus (générateurs de chaleur fonctionnant à la biomasse, systèmes solaires thermiques, systèmes solaires photovoltaïques, pompes à chaleur, réseaux de chaleur). L'auteur peut également envisager d'autres systèmes de production d'énergie à haute efficacité énergétique comme la cogénération à haut rendement, refroidissement naturel, ...).*

<sup>1</sup> Et pour les constructions assimilées à du neuf.

## SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Cette partie consiste en la partie simplifiée de l'étude. Elle présente en une page les principaux résultats et une brève analyse de ceux-ci. Cette partie doit se « suffire à elle-même » et surtout être accessible à tous.

La synthèse se présente sous la forme de graphiques ou de tableaux présentant, pour chaque solution renouvelable étudiée les trois grands axes d'intérêt : environnemental, énergétique et économique.

Une brève conclusion justifie le choix des technologies étudiées et la raison qui a poussé l'auteur de l'étude à écarter les autres technologies principales.

Le projet étudié est une maison unifamiliale neuve, située en région liégeoise, et constituée d'un rez-de-chaussée avec un étage et une cave.

Les technologies suivantes ont été envisagées :

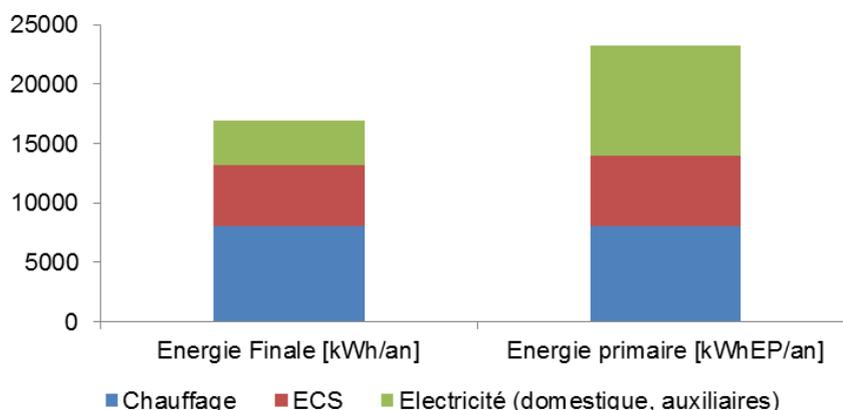
Technologie	Biomasse	Pompe à chaleur	Réseau de chaleur	Solaire thermique	Solaire Photovoltaïque
Justification	T1	T2/T3	Indisponible à proximité	T4	T5/T6

Les technologies suivantes ont été retenues pour analyse :

- **T0** : Technique traditionnelle de base : Chaudière au gaz à condensation pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- **T1** : Biomasse : chaudière aux pellets pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- **T2** : PAC eau glycolée/eau, pompe à chaleur mixte géothermique avec échangeur horizontal pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- **T3** : PAC air/eau pour le chauffage et l'ECS
- **T4** : Chaudière au gaz à condensation avec chauffe-eau solaire (10 m<sup>2</sup>)
- **T5** : Chaudière au gaz à condensation avec panneaux photovoltaïques (3kWc)
- **T6** : PAC eau glycolée/eau, pompe à chaleur mixte géothermique avec échangeur horizontal pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, et panneaux photovoltaïques

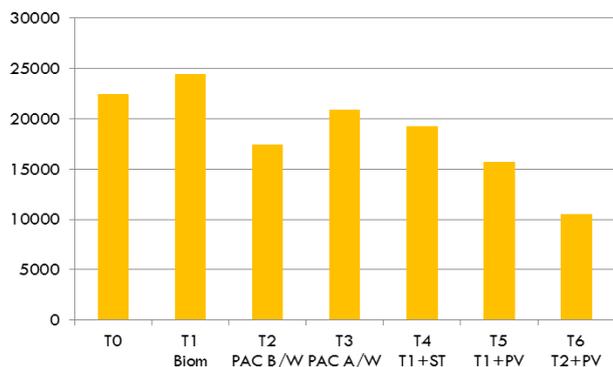
La consommation en énergie finale et en énergie primaire pour le cas de base T0 est illustrée ci-dessous.

### Consommations pour la technologie de référence

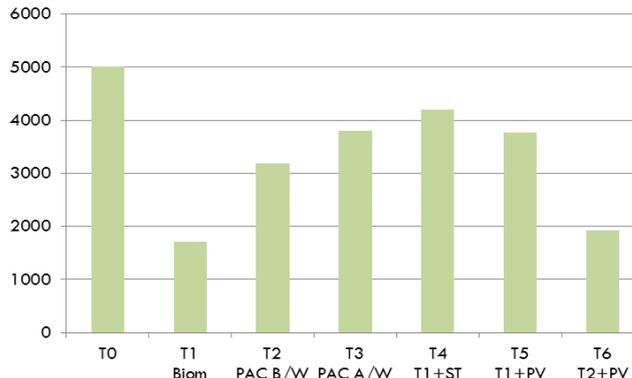


Pour chaque scénario étudié, les consommations en énergie primaire et émissions de CO<sub>2</sub> pour le chauffage, l’eau chaude sanitaire et l’électricité (domestique et auxiliaires pompes et ventilateurs) ont été comparées à celles de la technologie de référence.

#### Consommation annuelle totale en énergie primaire [kWh/an]

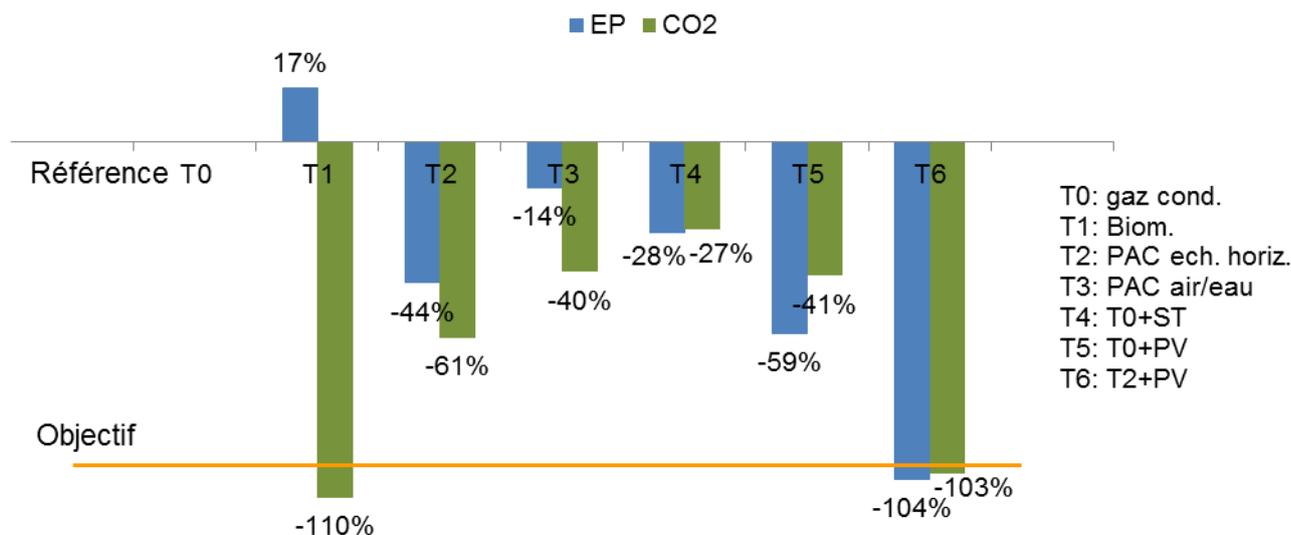


#### Emission de CO<sub>2</sub> [kg/an]



Les **réductions** en consommation d’énergie primaire et en émissions de CO<sub>2</sub> sont chiffrées sur une échelle de valeurs entre la référence inférieure (performance de la Référence T0) et l’objectif d’un bâtiment à haute performance énergétique ( $E_{spec} = 55 \text{ kWh/m}^2\text{an}$ ). Une réduction de 100 % de la consommation en énergie primaire (EP) ou de CO<sub>2</sub> signifie que l’objectif est atteint.



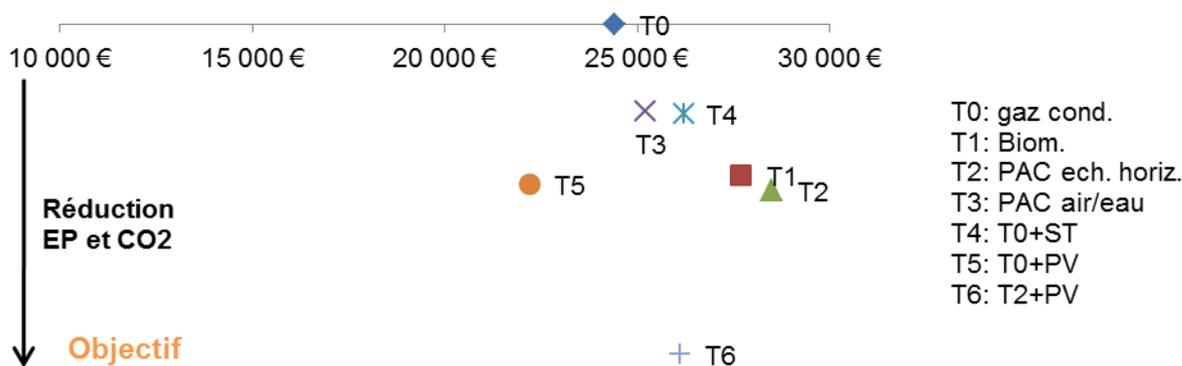


L'analyse de ce graphique est la suivante :

- Dans le cas **T1** (pellets), les émissions de CO<sub>2</sub> sont très réduites car la chaleur est produite via un système alimenté en biomasse mais la consommation en énergie primaire est supérieure au cas de base. Cela est dû à deux choses : le facteur de conversion en énergie primaire est le même pour le gaz et la biomasse dans la réglementation PEB et la chaudière biomasse a un rendement inférieur à celui de la chaudière au gaz à condensation.
- Les technologies **T2** et **T5** sont similaires. La tendance est la même pour les cas **T3** et **T4**.
- Le cas **T6** permet d'atteindre l'objectif en termes de réduction d'émission de CO<sub>2</sub> et de réduction d'énergie primaire.

Si on analyse les coûts de chacune des technologies étudiées sur 10 ans (investissement et coûts opérationnels cumulés), la technologie **T5** combinant une chaudière à condensation à des panneaux PV est la moins coûteuse et peut être rentabilisée en moins de 10 ans en comparaison avec la technologie de référence. Dans le cas où l'on recherche l'impact EP et CO<sub>2</sub> le plus faible, la technologie avec pompe à chaleur géothermique couplée à des panneaux PV se justifie mais elle présente un surcoût.

### Coût de la technologie sur 10 ans [€]



## RAPPORT DÉTAILLÉ

Cette partie présente en détail la méthodologie, les hypothèses et les calculs qui ont amené aux résultats au moment de l'étude.

### 1. Tableau synthétique des hypothèses

Ce tableau liste les différentes hypothèses et données générales utilisées dans l'étude. Ces dernières sont majoritairement issues du portail de la Région Wallonne reprenant les hypothèses à considérer pour la réalisation des études de faisabilité.



*Les données présentes sur la base de donnée de la Région Wallonne sont mises à jour régulièrement. Cependant, il peut s'avérer que certaines de ces données soient inappropriées ou peu réalistes dans le contexte de l'étude. C'est le cas par exemple d'un maître d'ouvrage professionnel ayant négocié un tarif préférentiel pour son énergie. La valeur par défaut s'avère dans ce cas inappropriée, doit être adaptée et justifiée.*

Données économiques			
		Unité	Valeur
Prix des combustibles	Gaz	€ TVAC/kWh PCS	0.055
	Electricité	€ TVAC/kWh	0.18
	Pellets (livraison incluse max 30 km)	€ TVAC/kWh PCS	0.046
	Augmentation du prix de l'énergie	%	3
Paramètres financiers	Taux d'actualisation	%	5
	Période d'évaluation	ans	20
Subsides <sup>2</sup>	Listés au cas par cas en fonction des technologies envisagées		

<sup>2</sup> D'une année à l'autre, les aides financières présentent une grande variabilité et ce qui est d'application aujourd'hui ne le sera peut-être plus demain. Il faut toutefois espérer une continuité logique dans l'octroi des aides financières afin que celles-ci s'adaptent au marché, sans pour autant évoluer au détriment d'une technologie particulière. Il convient donc de rester prudent face aux chiffres avancés et de les mettre à jour si nécessaire.



Les données relatives aux différentes subventions proposées par les communes, régions et par le fédéral dépendent du bénéficiaire (société de promotion, propriétaire d'un logement, société propriétaire d'un commerce ou de bureaux, etc.) et sont soumises à des conditions d'octroi spécifiques qu'il convient de respecter. Etant donné la diversité de cas de figures qui se présente, il est difficile d'analyser l'impact global des subventions et d'évaluer en détail toutes les possibilités offertes. Nous nous baserons dès lors sur la solution qui nous semble la plus probable. D'une année à l'autre, les aides financières présentent une grande variabilité et ce qui est d'application aujourd'hui ne le sera peut-être plus demain. Il faut toutefois espérer une continuité logique dans l'octroi des aides financières afin que celles-ci s'adaptent au marché, sans pour autant évoluer au détriment d'une technologie particulière. Il convient donc de rester prudent face aux chiffres avancés et de les mettre à jour si nécessaire.

Données énergétiques			
		Unité	Valeur
Facteur de conversion EP <sup>3</sup>	Gaz	kWh <sub>EP</sub> /kWh <sub>Efin</sub>	1
	Pellets	kWh <sub>EP</sub> /kWh <sub>Efin</sub>	1
	Electricité	kWh <sub>EP</sub> /kWh <sub>Efin</sub>	2.5
Rendements des systèmes	Listés au cas par cas en fonction des technologies envisagées		
Données environnementales			
		Unité	Valeur
Facteur de conversion CO <sub>2</sub> <sup>3</sup>	Gaz	kgCO <sub>2</sub> /kWh <sub>Efin</sub>	0.251
	Electricité	kgCO <sub>2</sub> /kWh <sub>Efin</sub>	0.456
	Pellets	kgCO <sub>2</sub> /kWh <sub>él</sub>	0



En plus des prix des combustibles envisagés, une évolution raisonnable de ceux-ci dans le temps peut être considérée pour chacun des vecteurs [%/an], en se basant sur l'évolution historique des prix du combustible en question.

Selon la méthode de calcul de rentabilité choisie par l'auteur pour le calcul des indicateurs financiers (rentabilité, temps de retour, ...), les hypothèses utilisées dans la méthode devront être détaillées : durée du prêt, taux d'intérêt, taux d'actualisation, durée d'amortissement, taux d'imposition, ...

Les facteurs de conversion utilisés sont les facteurs réglementaires fixés dans la PEB. Il est important de calculer la consommation d'énergie finale en utilisant les mêmes conventions que dans la PEB, à savoir convertir les rendements via le facteur de multiplication égal au rapport du PCI/PCS (annexe F de l'arrêté).

Les facteurs de conversion permettant de déterminer les économies de CO<sub>2</sub> liées aux solutions étudiées sont basées sur les valeurs réglementaires fixées par la Région.

<sup>3</sup> Les facteurs de conversion utilisés sont les facteurs proposés par la Région wallonne au moment de l'étude.



*En première approximation, les rendements d'émission, de régulation, de distribution et de stockage sont identiques pour les différentes variantes considérées. Cependant, lorsque la technologie induit une modification du rendement du système (par exemple l'installation d'un stockage de chaleur, ou encore la centralisation de la production sur un site entraînant des longueurs de distribution importantes), le rendement global doit être impacté. Celui-ci est donc renseigné par technologie.*

## 2. Présentation du bâtiment

L'auteur de l'étude décrit le bâtiment étudié afin de mieux situer l'objet de l'étude.

Il renseigne toute information jugée pertinente, telle que le nombre d'unités PEB ainsi que leur destination, le type de construction, son orientation, sa surface nette par affectation ou usage, ou toute autre valeur caractéristique (nombre de lits, d'occupants, d'élèves, horaires d'ouverture,...). Les plans utilisés pour réaliser l'étude doivent être référencés.

L'auteur décrit également les éléments techniques influençant les systèmes qui seront étudiés, tels que la présence de raccordements au gaz, la possibilité de valoriser des déchets (bois déchiquetés, biogaz,...), la surface de terrain disponible, etc.

Le projet étudié est une maison unifamiliale neuve située en région liégeoise, dont la surface utile totale est de 192 m<sup>2</sup>, l'aire de plancher chauffé est de 157 m<sup>2</sup>, et le volume brut est de 526 m<sup>3</sup>. Les caractéristiques du bâtiment sont reprises dans le tableau ci-dessous. La maison est constituée d'un rez-de-chaussée avec un étage et une cave. Le raccordement au gaz est disponible sur le site.

Les plans utilisés pour l'étude sont les plans de permis d'urbanisme disponibles en annexe.

Résumé des caractéristiques du bâtiment	
Type de toiture	Toiture plate
A <sub>CH</sub>	157 m <sup>2</sup>
Superficie de toiture	78 m <sup>2</sup>
Nombre d'occupants	5
Raccordement au gaz disponible ?	oui
Ventilation	Double flux avec récupération de chaleur



### 3. Besoins énergétiques du bâtiment

Les besoins nets et les méthodes de calcul utilisées pour les évaluer doivent être rigoureux et renseignés de manière transparente. Ces besoins nets serviront de base commune aux calculs présentés en aval.

Les besoins sont exprimés en kWh/an et en kWh/m<sup>2</sup>an. La surface utilisée est la surface d'utilisation pour les espaces tertiaires et l'ACH pour les logements..

L'auteur présente dans tous les cas ses sources et hypothèses de départ de façon claire.

Les besoins sont déterminés par unité PEB. Dans le cas où de nombreuses unités similaires sont présentes, ceux-ci peuvent être déterminés pour une unité PEB représentative d'un même type en kWh/m<sup>2</sup>an, et les besoins totaux peuvent être extrapolés. Lorsque le bâtiment présente plusieurs affectations, les besoins sont calculés spécifiquement par affectation.

L'étude de faisabilité étant réalisée au moment de la déclaration initiale, les besoins en énergie sont préférentiellement extraits du logiciel PEB, pour les affectations pour lesquelles ceux-ci sont disponibles. Dans le cas d'une affectation pour laquelle les besoins ne sont pas fournis par le logiciel PEB, l'auteur référence la méthode utilisée. Un profil d'utilisation est renseigné pour chaque besoin. Si l'auteur ne peut renseigner un profil précis, un profil qualitatif peut suffire (horaires d'occupation, composants principaux, ...).

Même si les besoins en énergie sont fournis par le logiciel PEB, ceux-ci ne sont pas toujours représentatifs de la réalité. L'auteur de l'étude peut tenter de s'approcher au mieux des besoins réels. Prenons le cas d'un bâtiment permettant l'installation d'une grande surface de panneaux photovoltaïques. La rentabilité du projet sera fonction de l'auto-consommation d'électricité de celui-ci.

En résidentiel, l'auteur de l'étude peut considérer le besoin en électricité réel tenant compte de l'électricité domestique. L'auteur peut également envisager un autre profil d'utilisation de l'eau chaude sanitaire et calculer le besoin de chaleur correspondant, si les équipements sont plus ou moins économes en eau.

En non résidentiel, les luminaires ne sont pas toujours encodés au stade de la déclaration initiale. La consommation en électricité peut donc être très inférieure à la valeur calculée par le logiciel PEB. Par ailleurs, le logiciel PEB ne considère pas les consommations des équipements (bureautique, machinerie, ...).

Dans certains cas, les études d'avant-projet prévoient des simulations thermiques dynamiques. Les besoins en chaleur et en froid peuvent alors être plus précis. L'auteur pourrait utiliser ces valeurs et justifier son choix.

Le projet vise à satisfaire les exigences réglementaires en matière de performance énergétique. Le niveau d'isolation est K35 et la valeur moyenne U de l'enveloppe s'élève à 0,23 W/m<sup>2</sup>K. Les espaces sont ventilés via une ventilation mécanique double-flux de 300 m<sup>3</sup>/h avec récupération de chaleur (rendement EN308 de 75 %). Les valeurs par défaut du logiciel PEB sont conservées pour l'inertie. Néanmoins, le débit de fuite a été calculé de manière plus précise selon la surface déperditive et un niveau d'étanchéité à l'air n<sub>50</sub>=1.5 vol/h.

Le **besoin de chauffage** calculé via le logiciel PEB v5.0.5 s'élève à **6.200 kWh/an**.

Les **besoins nets annuels en eau chaude sanitaire** s'élèvent à **4.460 kWh/an** pour une consommation journalière de 60 litres par personne à 45 °C.

Le **besoin de refroidissement** n'est pas considéré dans cette étude. L'**indice de surchauffe** calculé est de **1170 Kh**, valeur inférieure à 6500 Kh.

La **consommation électrique** est principalement due aux auxiliaires (circulateurs et ventilateurs), à l'éclairage et aux consommations des appareils électroménagers. La consommation d'auxiliaires est reprise du calcul PEB. La consommation due à l'éclairage est égale à 160 kWh/an, en considérant 100% de lampes économiques installées. Enfin, la consommation des appareils électroménagers est estimée selon les hypothèses suivantes :

- 1 lessiveuse à **2 kWh par cycle** ;
- 1 sèche-linge à **6.53 kWh par cycle** ;
- 1 lave-vaisselle à **2.45 kWh par cycle** ;
- La consommation des autres appareils est négligée.

Consommation électrique totale [kWh/an]	
Eclairage	160
Auxiliaires (circulateurs, ventilation)	1.372
Electroménager	2.200
<b>Total</b>	<b>3.732</b>

Les **besoins nets** sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

		Besoins net [kWh/an]	Besoins net [kWh/an.m <sup>2</sup> ]	Source
Unité PEB 1	Chauffage	6.200	39	PEB
	Eau chaude sanitaire	4.460	28	PEB
	Electricité	3.732	24	PEB et calcul personnel

## 4. Technologie de référence

Afin d'évaluer l'intérêt de solutions renouvelables, l'auteur les compare à une technologie pressentie, typiquement une chaudière gaz ou mazout pour le chauffage et l'ECS, sans production d'électricité via du photovoltaïque ou une cogénération. Le choix doit être justifié par la disponibilité des vecteurs énergétiques. Dans le cas où une production de froid mécanique est prévue, une machine frigorifique est considérée.

Afin d'établir un point de comparaison pour les différentes technologies alternatives, nous définissons un cas de base correspondant à une installation traditionnelle et peu coûteuse. Pour ce projet, le raccordement au gaz est disponible sur le site. La technologie choisie est une chaudière au gaz naturel à condensation couplée avec des radiateurs. La chaudière reste une solution très compétitive et une technologie très bien maîtrisée. Le choix d'une chaudière à condensation modulante et d'une régulation performante permet à cette technologie d'être, d'un point de vue énergétique, très efficace pour la production de chaleur. Cette chaudière est également utilisée pour la production instantanée d'eau chaude sanitaire.

Il n'y a pas de production d'électricité dans le cas de base.



*La technologie choisie comme référence doit être réaliste. Par exemple, il ne serait pas réaliste de proposer une chaudière au gaz à condensation s'il n'y a pas de réseau de gaz naturel alimentant le site.*

### 4.1. Caractéristiques techniques et intégration

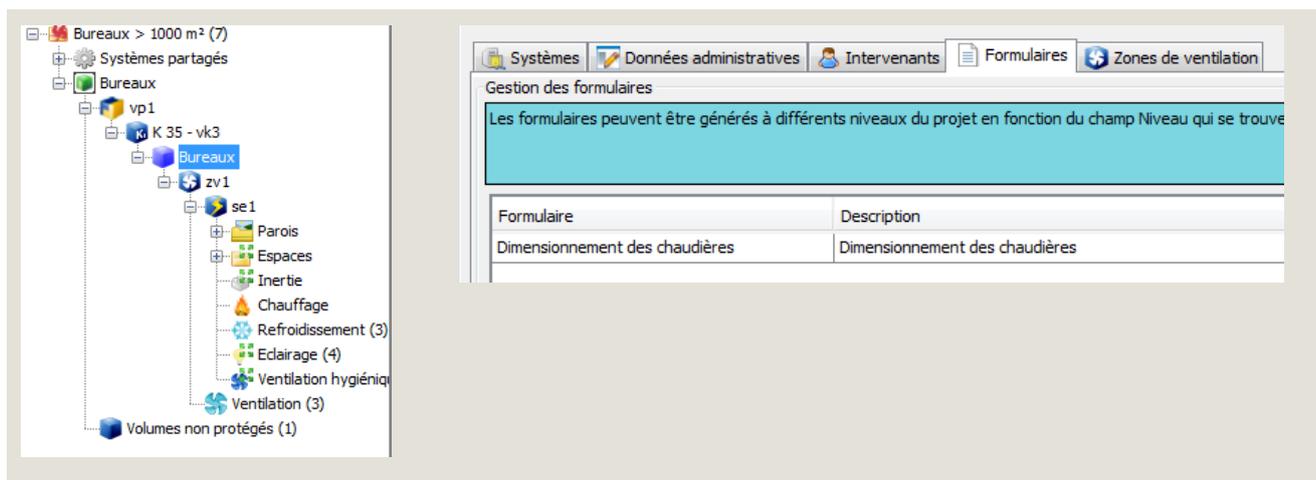
Des valeurs de rendements saisonniers de production par défaut figurent dans la base de données mise à disposition par la Région. L'auteur peut également utiliser les valeurs de la PEB ou d'une autre méthode (PACE par exemple). Cependant, il convient de ne pas utiliser des rendements trop sécuritaires au risque d'exclure une technologie.

L'espace est suffisant dans la cave pour l'installation d'une chaudière.

Puissance		
Chauffage	5 kW	PEB



*La puissance de chauffage fournie par le logiciel PEB n'est pas conforme à un dimensionnement selon la norme NBN B 62-003 (1986) ou NBN EN 12831 (2003). Cependant, la valeur fournie dans le formulaire de dimensionnement des chaudières peut être utilisée en première approximation. Dans le logiciel PEB, la puissance estimée pour la chaudière est fournie dans le formulaire de dimensionnement des chaudières (via les onglets illustrés ci-dessous)*



### 4.2. Aspects énergétiques et environnementaux

Une bonne chaudière correctement régulée permet d’atteindre des rendements élevés et ainsi de limiter la consommation finale. L’impact environnemental dépend du combustible utilisé.

Les différents rendements utilisés dans les processus de conversion énergétique sont des valeurs par défaut. Elles dépendent en effet du matériel utilisé et du système d’émission choisi. Les valeurs utilisées sont majoritairement reprises de la méthode de calcul PEB.

Chauffage et ECS		
<b>Production (saisonnier)</b>		
Chaudière à condensation	Rendement	96%
<b>Distribution et stockage</b>		
Chauffage (sans ballon tampon)	Rendement	90%
ECS (sans boucle sanitaire si accumulation)	Rendement	90%
<b>Emission et régulation</b>		
Chauffage	Rendement	89%



*Des valeurs de rendements saisonniers de production par défaut figurent dans la base de données mise à disposition par la Région. L’auteur peut également utiliser les valeurs de la PEB ou d’une autre méthode (PACE par exemple). Cependant, il convient de ne pas utiliser des rendements trop sécuritaires au risque d’exclure une technologie.*

### 4.3. Aspect financier

Les coûts relatifs à l'investissement sont estimés pour chaque solution et accompagnés d'une description de ce qu'ils comprennent. Il n'est pas nécessaire de considérer l'investissement relatif aux appareils communs avec la technologie de référence (par exemple, des radiateurs). L'auteur est cependant libre de mentionner dans son étude le coût total relatif à chaque technologie.

L'ensemble des travaux réalisés pour toutes les technologies ne sont pas chiffrés car certains investissements sont nécessaires dans tous les cas. Il est, par exemple, indispensable d'installer des émetteurs de chaleur ou une régulation pour tous les systèmes de chauffage considérés. Pour la solution de base, le coût de l'investissement considéré correspond typiquement au coût de la machine.

Nous nous basons ici sur les chiffres suivants considérés TVAC :

Chauffage et Eau chaude sanitaire		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (TVAC)</b>	5.500,00 €	Chaudière au gaz à condensation avec cheminée
<b>Coût annuel de maintenance (TVAC)</b>	110,00 €	Entretien de la chaudière - 2% du coût d'investissement
<b>Subventions :</b> Chaudière gaz à condensation ou générateur d'air chaud	-	-



*L'étude COZEB<sup>4</sup> fournit des chiffres pour les frais de maintenance et d'exploitation pour de nombreux systèmes en % du coût d'investissement.*

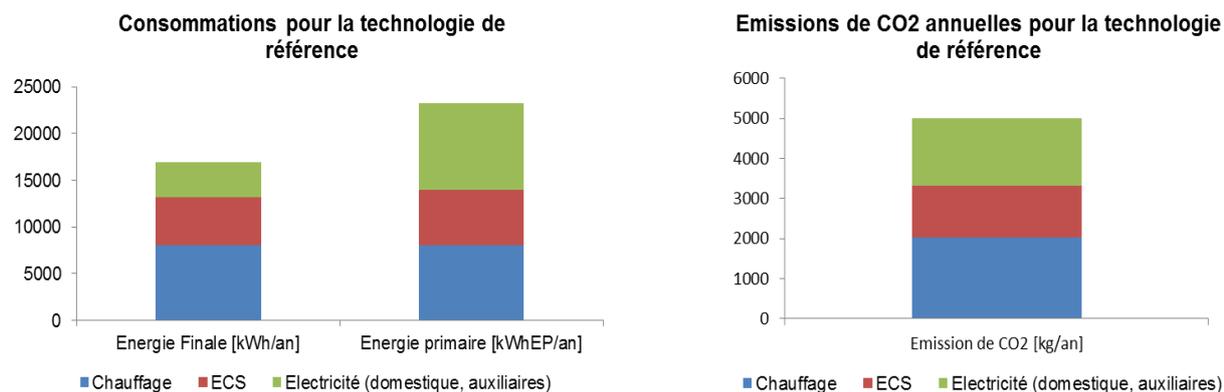
### 4.4. Résultats

Les **consommations d'énergie primaire** peuvent alors être identifiées ainsi que les **émissions totales de CO<sub>2</sub>** associées.

Résultats EP et CO <sub>2</sub>	
EP [kWh/an]	22.000
CO <sub>2</sub> [kg/an]	5.000

La consommation en énergie primaire est répartie selon les proportions illustrées sur le graphique ci-dessous. Les émissions annuelles totales de CO<sub>2</sub> suivent grosso modo la même répartition.

<sup>4</sup> Etude CO-ZEB, « Coût optimum », 2013, Résultat de l'étude portant sur la détermination du niveau de performance énergétique optimal en fonction des coûts conformément à la Directive 2010/31/EU. <http://energie.wallonie.be/fr/etude-co-zeb-cout-optimum.html?IDC=8012>



## 5. Technologies alternatives

### 5.1. Analyse de la disponibilité des variantes

Si une des technologies obligatoires est directement rejetée, elle doit l'être sur base d'arguments techniques clairs et précis (besoins énergétiques ou profils clairement inadaptés, ou impossibilité technique majeure de mise en œuvre). Les *a priori* peu fondés ne sont pas acceptés. Une attention particulière est apportée à l'adéquation des techniques avec le profil des demandes.

Il est au minimum nécessaire d'étudier la pertinence des solutions suivantes (technologies obligatoires) :

- Biomasse ;
- Panneaux solaires thermiques ;
- Panneaux solaires photovoltaïques ;
- Pompe à chaleur ;
- Réseau de chaleur.

L'auteur peut évidemment envisager d'installer des technologies qui ne figurent pas dans la liste minimale imposée par la réglementation PEB.

Les technologies alternatives pour lesquelles une étude chiffrée n'est pas justifiée sont rejetées sur base des arguments techniques présentés dans le tableau ci-dessous.

Les variantes sont analysées indépendamment les unes des autres selon l'usage, à savoir chauffage, ECS, refroidissement et production d'électricité. Nous sélectionnons ensuite les cas les plus pertinents afin d'analyser des combinaisons de variantes.

	Variantes	Technologie pertinente ?	Justification technique
Chauffage	Biomasse	Oui	Possibilité de stockage du combustible, surface de la cave suffisante, filière locale d'approvisionnement en combustible
	Pompe à chaleur	Oui	Les pompes à chaleur air/eau et eau glycolée /eau peuvent être envisagées car leur intégration technique est possible
	Réseau de chaleur	Non	Pas de réseau de chaleur urbain à proximité
ECS	Panneaux solaires thermiques	Oui	Mise en place de panneaux solaires thermiques envisageable pour répondre aux besoins d'ECS.
	Pompe à chaleur	Oui	Besoin en ECS suffisant pour l'utilisation d'une pompe à chaleur. Nous envisageons une pompe à chaleur mixte chauffage/ECS. Une pompe à chaleur haute température aurait un meilleur COP mais le coup d'investissement serait plus important. Ce cas n'est pas étudié.
Refroidissement	Pas de besoin de refroidissement		
Electricité	Panneaux solaires photovoltaïques	Oui	Surface de toiture plate sans ombrage

## 5.2. Faisabilité des solutions retenues – Chauffage + ECS

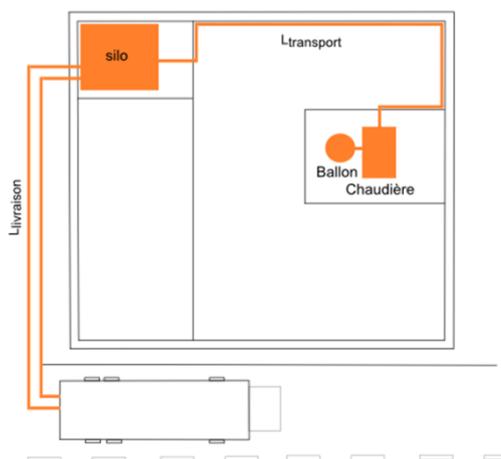
### 5.2.1. Biomasse

#### Caractéristiques techniques et intégration

Analyse de l'intégration cohérente des technologies dans le projet sur le plan technique. Si une incompatibilité majeure est décelée à ce stade et n'a pas été décelée dans l'analyse de pertinence, l'étude de faisabilité de la technologie ne doit pas être poursuivie mais l'exclusion doit être argumentée.

Quels qu'il soit, le **stockage** et l'**acheminement de combustible** consistent en la principale contrainte. Pour le bois, cette contrainte est accrue puisque le volume de stockage nécessaire est trois fois plus important que pour le mazout (à quantité d'énergie équivalente). Dans le cas présent, nous considérons une chaudière alimentée aux pellets étant donné la gamme de puissance considérée.

Il faut dès lors prévoir l'espace nécessaire à proximité de la chaudière ainsi qu'un moyen de remplir le réservoir de stockage (silo ou pièce de réserve) via un camion souffleur (voir schémas ci-dessous). Le raccord de connexion du stockage doit être à moins de 30m de l'emplacement de stationnement du camion d'approvisionnement. D'autre part, il est préférable que le stockage se situe à proximité immédiate d'un mur extérieur car, dans le cas contraire, un tube de remplissage doit être prévu.



Le volume de stockage à prévoir dépend du besoin du bâtiment et de la fréquence de remplissage souhaitée.

La chaudière aux pellets est modulante mais relativement **peu réactive**. Pour remédier à cela, deux solutions peuvent être envisagées : soit un système de production de chaleur plus réactif y est adjoint en parallèle (typiquement une chaudière gaz ou mazout), soit un ballon tampon bien dimensionné est connecté au système.

La chaudière doit également être alimentée en air de combustion ; soit placer celle-ci dans un local ventilé ; soit raccorder la chaudière à un conduit d'alimentation adéquat. Pour de petites puissances, la chaufferie peut être placée dans le volume étanche à l'air. Il est alors nécessaire de prévoir un modèle de chaudière utilisant un conduit d'alimentation en air permettant un fonctionnement indépendant du local où la chaudière se trouve.

**Pour le projet considéré**, si l'entièreté des besoins en chaleur est issue des pellets, le bâtiment consommera environ **4.9 m<sup>3</sup>** de pellets par an. Sur base d'une fréquence de **2 remplissages par an**, un **volume de 2.5 m<sup>3</sup> est à prévoir**.

Dimensionnement du stockage	
Données	
Consommations [kWh/an]	15098
Masse volumique [kg/m <sup>3</sup> ]	650
PCI [kWh/kg]	4.7
PCI [kWh/m <sup>3</sup> ]	3051
Résultats (Volume nécessaire [m <sup>3</sup> ])	
Si 1 remplissage/an	4.9
Si 2 remplissages/an	2.5

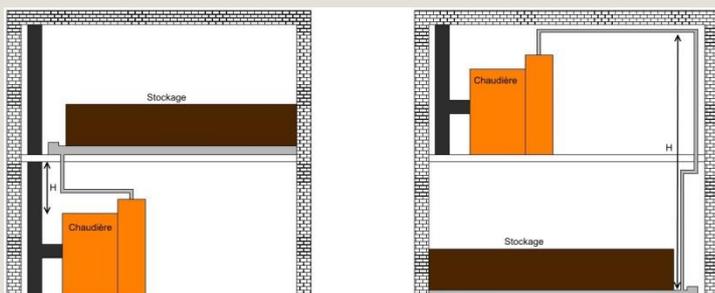
Caractéristiques techniques	
Chaudière pellets	10 kW
Volume tampon	500 litres
Volume de stockage de granulés [m <sup>3</sup> ]	5 m <sup>3</sup> / 1 remplissage

Un local « chaufferie » peut être prévu au sous-sol du bâtiment dans la cave (hsp de 2,4 m). Une surface au sol de 10 m<sup>2</sup> serait suffisante. De plus, le volume devrait permettre l'intégration d'une chaudière et même du stockage éventuel de pellets sous forme de silo ou de pièce de réserve. Il est important également de veiller à ce que l'accès à ce local permette d'amener le matériel et qu'il soit correctement ventilé.



*Le local de stockage peut être situé au-dessus ou en-dessous de la chaudière. Dans ce cas, il faut prévoir un palier (distance horizontale de 1 m) après une hauteur de 3 m. La hauteur totale maximale avec palier est de 5 m.*

*Des solutions existent également pour le stockage à l'extérieur (sous un abri) ou dans le sol.*



**Pour le projet considéré**, seule l'émission de CO<sub>2</sub> est envisagée. Les autres rejets ne sont pas chiffrés (NOx, SOx, etc.). Les rendements suivants sont considérés pour la chaudière et le système de chauffage (y compris distribution et le stockage (ballon tampon), émission et régulation).

Chauffage et ECS		
<b>Production (saisonnier)</b>		
Chaudière aux pellets	Rendement	86%
<b>Distribution (et stockage)</b>		
Chauffage (avec ballon tampon)	Rendement	87%
<b>Emission et régulation</b>		
Chauffage	Rendement	89%

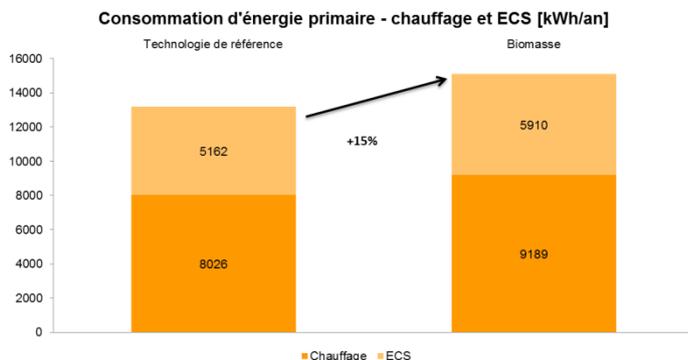
### Aspect financier

Les coûts d'investissement sont définis pour chaque solution et accompagnés d'une description de ce qu'ils comprennent. Il n'est pas nécessaire de considérer l'investissement relatif aux appareils communs avec la technologie de référence (par exemple, des radiateurs). L'auteur est cependant libre de mentionner dans son étude le coût total relatif à chaque technologie.

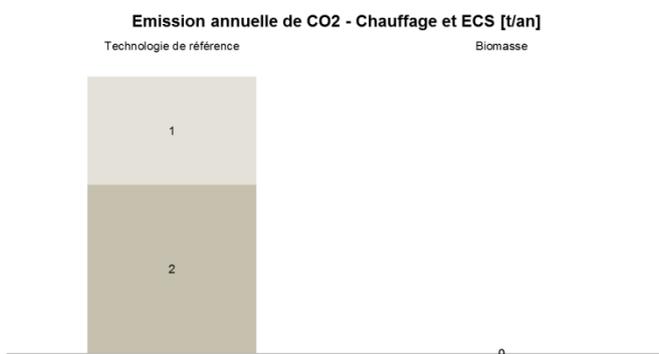
Nous considérons pour cette étude l'investissement suivant. Pour rappel, Seuls les surcoûts liés au matériel supplémentaire inhérent à la technologie sont chiffrés.

Chauffage		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (TVAC)</b>	10.800,00 €	Chaudière aux pellets, volume tampon, silo
<b>Coût annuels de maintenance (TVAC)</b>	270,00 €	Entretien de la chaudière - 2.5 % du coût d'investissement
<b>Subventions :</b> Appareil de chauffage biomasse à alimentation automatique	1.750,00 €	Portail de la Région Wallonne

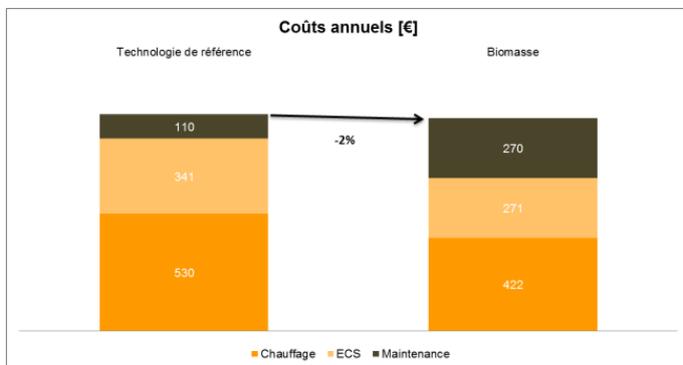
**Résultats**



Le facteur de conversion en énergie primaire pour la biomasse et le gaz est identique dans la réglementation pour les deux vecteurs énergétiques. Le rendement global de l'installation aux pellets étant moins bon, l'installation biomasse consommerait 15% d'énergie primaire supplémentaire pour le chauffage et l'ECS que la chaudière au gaz à condensation.<sup>5</sup>



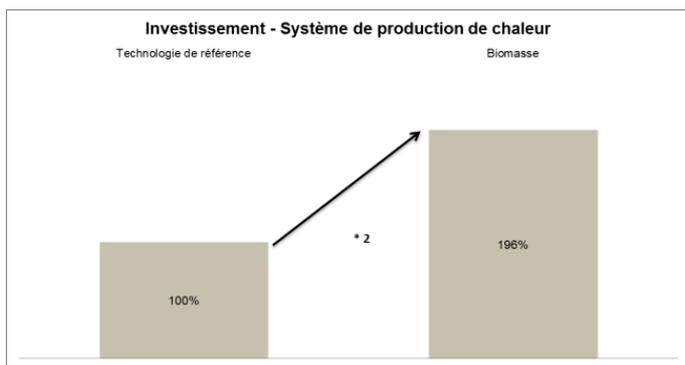
La combustion de biomasse est considérée comme neutre au niveau des émissions de CO<sub>2</sub><sup>6</sup>.



La différence de rendement de l'installation est compensée par un coût de combustible inférieur. Le coût annuel de maintenance est légèrement supérieur.

Globalement, les systèmes sont semblables en termes de coûts d'exploitation.

<sup>5</sup> Il faut garder un regard critique sur les facteurs de conversion, tant au niveau de l'énergie primaire qu'au niveau des émissions de CO<sub>2</sub>. Pour les différents vecteurs, les conventions de calcul de ces facteurs doivent spécifier si l'impact aval dues aux chaînes d'approvisionnement et de transformation énergétique (production, transport, distribution, recyclage éventuel) est considéré et si les émissions d'autres gaz à effet de serre (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O,...) sont prises en compte.



Le surcoût d'un système fonctionnant aux pellets est important. En considérant que le système en aval de la chaufferie est identique (mêmes radiateurs et réseau) au cas de base, le système de production est 2 fois plus cher.

Le surcoût du système n'est jamais rentabilisé.

### 5.2.2. Pompe à chaleur Eau glycolée/Eau

#### Caractéristiques techniques et intégration

Le COP annuel d'une installation ayant recours à l'air comme source froide est inférieur au COP d'une PAC tirant son énergie du sol. Etant donné la possibilité d'envisager une technologie géothermique, nous étudions la pertinence d'installer une pompe à chaleur eau glycolée/eau avec sonde horizontale.

Un échangeur horizontal se situe entre 1,2 et 1,5 m de profondeur. Sur base de l'entièreté des besoins couverts par la PAC et d'une puissance moyenne soutirée de 25 W/m (sol argileux sec), il convient de prévoir une surface au sol de 300 m<sup>2</sup> pour une puissance frigorifique de la pompe à chaleur de 7.5 kW à 0°C.

Pour garantir un bon fonctionnement de la pompe à chaleur, l'emploi d'un réservoir tampon d'eau primaire est vivement conseillé. La capacité du réservoir tampon est déterminée en fonction de la durée de fonctionnement. Le volume de stockage est d'environ 150 litres. Un ballon d'ECS d'environ 200 litres doit être également prévu. Les valeurs ci-dessus sont issues d'un pré-dimensionnement et seront à affiner en phase projet si la technologie est jugée pertinente.

On considère que la pompe à chaleur assure 100% des besoins en chauffage et 95% des besoins en ECS. Une résistance électrique permet la montée en température du ballon ECS.



*La chaleur est soutirée du sol via un capteur horizontal enterré ou des sondes verticales. Elle est cédée par la terre au circuit d'eau glycolée, qui la cède ensuite au fluide de travail dans la pompe à chaleur, le fluide frigorigène. Les puissances qu'il est possible de soutirer du sol dépendent du type de sol. Une cartographie du type de sol est disponible en Région wallonne à l'adresse suivante : <http://cartopro3.wallonie.be/CIGALE/viewer.htm>. Les puissances soutirées correspondantes sont :*

- Sablonneux sec 10 – 15
- Sablonneux humide 15 – 20
- Argileux sec 20 – 25
- Argileux humide 25 – 30
- Présence d'eaux souterraines 30 – 35

*En première approximation, un sol argileux sec peut être considéré.*

*Il en résulte une surface d'emprise au sol pour le capteur géothermique fonction de la puissance frigorifique de la pompe à chaleur.*



### Aspects énergétiques et environnementaux

L'utilisation de fluides frigorigènes, gaz à effets de serre puissants, peut engendrer des fuites. Cet aspect n'est pas chiffré dans cette étude.

Le bilan énergétique est assez difficile à évaluer car il dépend du COP saisonnier, lui-même tributaire d'un certain nombre de facteurs tels que le type de PAC, l'appoint utilisé, le type de sol, le climat, l'utilisation de la chaleur, etc. Seule une étude dynamique permettrait d'évaluer précisément la consommation globale du système, et par la même occasion les gains environnementaux et la rentabilité du projet. A ce stade, il convient donc de faire des hypothèses générales et sécuritaires.

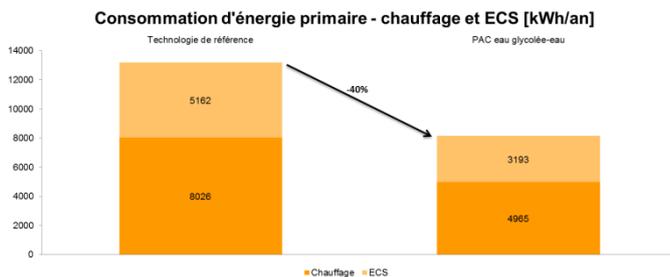
**Pour le projet considéré**, en production de chaleur, nous considérons un facteur de performance saisonnier annuel de 4. Nous considérons également que le système d'émission installé est compatible avec une distribution basse température.

Chauffage et ECS		
<b>Production (saisonnier)</b>		
Pompe à chaleur eau glycolée/eau	SCOP	4
<b>Distribution (et stockage)</b>		
Chauffage (avec ballon tampon)	Rendement	87%
<b>Emission et régulation</b>		
Chauffage	Rendement	89%

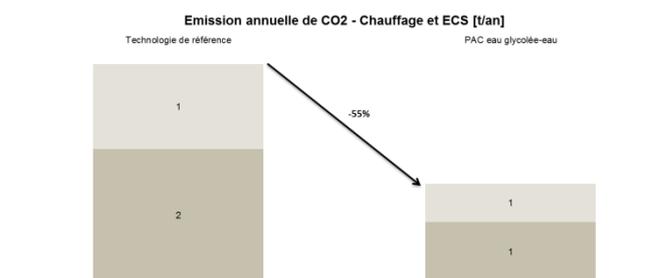
### Aspect financier

Chauffage et Eau chaude sanitaire		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (TVAC)</b>	11.500,00 €	Pompe à chaleur, sondes, ballon tampon
<b>Coût annuel de maintenance chauffage (TVAC)</b>	230,00 €	2% du coût d'investissement
<b>Subventions</b>	-	-

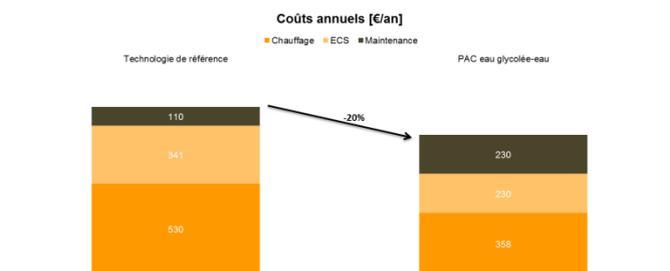
**Résultats**



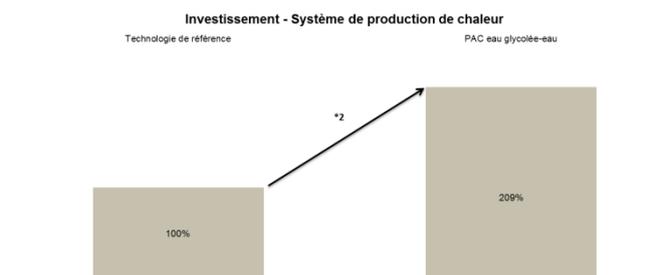
La consommation en énergie primaire est 40% inférieure pour la pompe à chaleur si on considère à la fois les modes chauffage et ECS.



Les émissions de CO<sub>2</sub> sont réduites de moitié.



En considérant les coûts d'énergie et de maintenance du système, les coûts annuels sont 20 % inférieurs.



L'investissement est deux fois plus important que pour le système de référence. Le système ne peut être rentabilisé en 20 ans (période d'évaluation pour le résidentiel).

### 5.2.3. Pompe à chaleur Air/Eau

#### Caractéristiques techniques et intégration

Le COP annuel d'une installation ayant recours à l'air comme source froide est inférieur au COP d'une PAC tirant son énergie du sol. Nous envisageons cependant cette solution car elle est moins coûteuse (pas d'échangeur géothermique) et plus simple à mettre en œuvre.

En considérant des besoins calorifiques de 5 kW à -10°C et un supplément de 0.25 kW/personne pour l'ECS, la puissance nécessaire totale est de 7.5 kW à -10°C. Afin de ne pas surdimensionner la PAC, nous considérons qu'elle est équipée d'une résistance électrique d'appoint permettant d'apporter le complément lors des jours les plus froids (point de bivalence entre 0 et -5°C). La puissance de la PAC est d'environ 4.5 kW à -10°C et la résistance de 3 kW. La PAC couvre ainsi environ 95 % des besoins annuels de chaleur. Pour garantir un bon fonctionnement de la pompe à chaleur, l'emploi d'un réservoir tampon d'eau primaire est vivement conseillé. Son volume est d'environ 100 litres. Un ballon d'ECS d'environ 200 litres doit être également prévu.

Les valeurs ci-dessus sont issues d'un pré-dimensionnement et seront à affiner en phase projet si la technologie est jugée pertinente.

#### Aspects énergétiques et environnementaux

L'utilisation de fluides frigorigènes, gaz à effets de serre puissants, peut engendrer des fuites. Cet aspect n'est pas chiffré dans cette étude.

Le bilan énergétique est assez difficile à évaluer car il dépend du COP saisonnier, lui-même tributaire d'un certain nombre de facteurs tels que le type de PAC, l'appoint utilisé, le climat, l'utilisation de la chaleur, etc. Seule une étude dynamique permettrait d'évaluer précisément la consommation globale du système, et par la même occasion les gains environnementaux et la rentabilité du projet. A ce stade, il convient donc de faire des hypothèses générales et sécuritaires.

**Pour le projet considéré**, en production de chaleur, nous considérons un facteur de performance saisonnier annuel de 3. Nous considérons également que le système d'émission installé est compatible avec une distribution basse température.

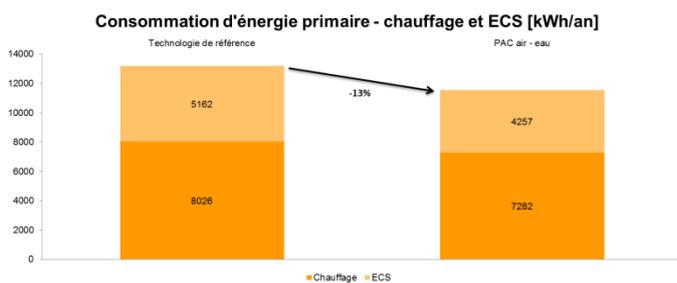
Chauffage		
<b>Production (saisonnier)</b>		
Pompe à chaleur Air/eau	SCOP	3
<b>Distribution (et stockage)</b>		
Chauffage (avec ballon tampon)	Rendement	87%
<b>Emission et régulation</b>		
Chauffage	Rendement	89%

#### Aspect financier

Chauffage et Eau chaude sanitaire		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (TVAC)</b>	6.500,00 €	Pompe à chaleur et ballons
<b>Coût annuel de maintenance (HTVAC)</b>	130,00 €	2% du coût d'investissement
<b>Subventions :</b>	-	-

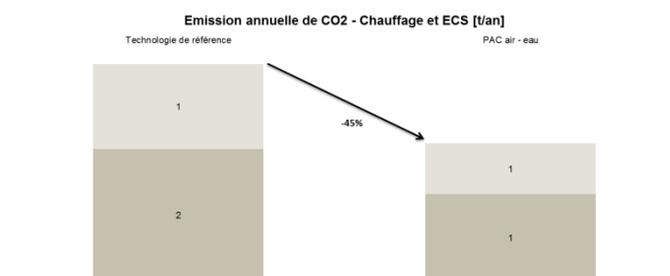


**Résultats**

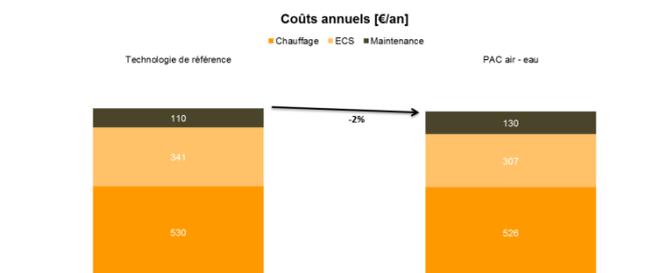


La consommation en énergie primaire est 13% inférieure pour la pompe à chaleur Air/Eau.

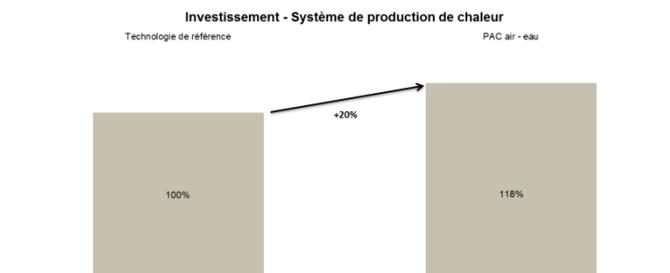
Cette consommation est supérieure au cas Eau glycolée/Eau car la résistance électrique fournit 5 % des besoins annuels et le coefficient de performance saisonnier est inférieur.



Les émissions de CO<sub>2</sub> diminuent environ de moitié.



Les coûts annuels de fonctionnement sont légèrement inférieurs dans le cas de la PAC (-2%). Le gain obtenu grâce au COP est contrebalancé par le coût plus élevé du kWh électrique (3,5 fois plus cher que le kWh de gaz avec une chaudière à condensation).



Le système ne coûte pas beaucoup plus cher mais la différence de coût annuel n'est pas suffisante pour que le système soit rentable en moins de 20 ans.

### 5.3. Faisabilité des solutions retenues – ECS décentralisé

#### 5.3.1. Panneaux solaires thermiques

##### Caractéristiques techniques et intégration

La surface de toiture plate, non ombragée, est largement suffisante pour accueillir des capteurs solaires thermiques. Une installation de 10 m<sup>2</sup> de capteurs plans inclinés à 35 ° sur une structure indépendante est prévue afin de couvrir plus de 60 % des besoins bruts d'eau chaude sanitaire afin d'être dans les conditions pour obtenir la prime. Les capteurs solaires sont combinés à un ballon de 300 litres situé dans la cave. La chaudière gaz réalise l'appoint en hiver et en mi-saison.

##### Aspects énergétiques et environnementaux

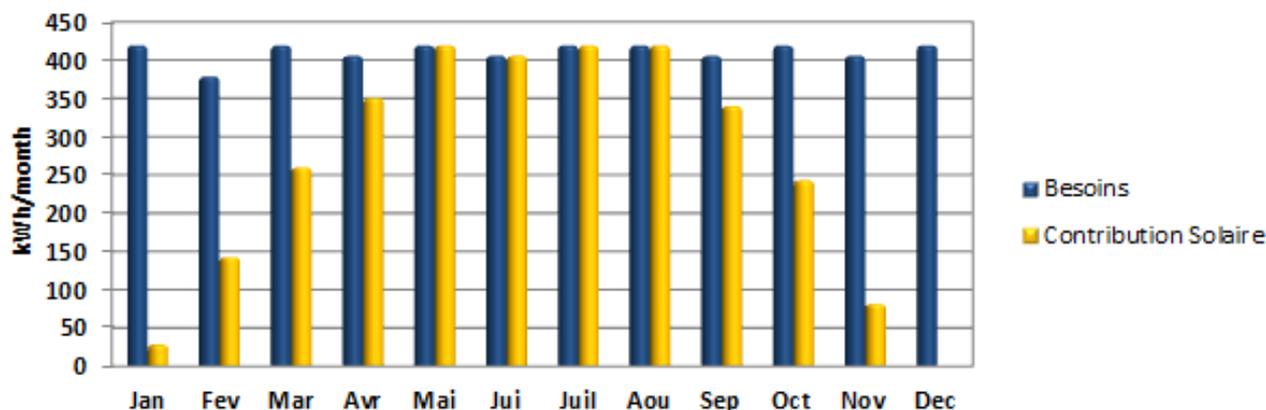
##### Aspect financier

Panneaux solaires thermiques		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (HTVA)</b>	5.700,00 €	Panneaux solaires thermiques et ballon
<b>Coût annuel de maintenance (HTVA)</b>	25 €	Contrôle tous les 3 ans de l'installation
<b>Subventions :</b>		
Soltherm	1.100,00 €	Portail de la Région wallonne
Prime de la ville de Liège	650,00 €	Site web de la ville de Liège

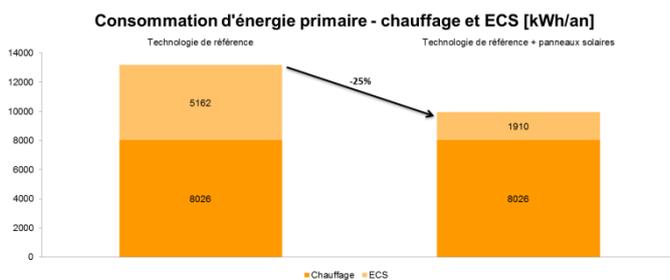
##### Résultats

Ce système permet une contribution solaire pour le système d'ECS de 2.810 kWh/an soit une réduction de 63% des besoins d'ECS, selon l'outil COMBI-EN basé sur la norme EN15316-4-3. La couverture solaire durant l'été est de 100 % comme le montre la figure ci-dessous.

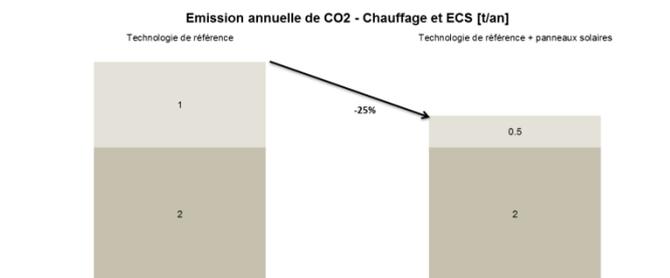
**Load and solar contribution**  
SOLAR SYSTEM - monthly overview



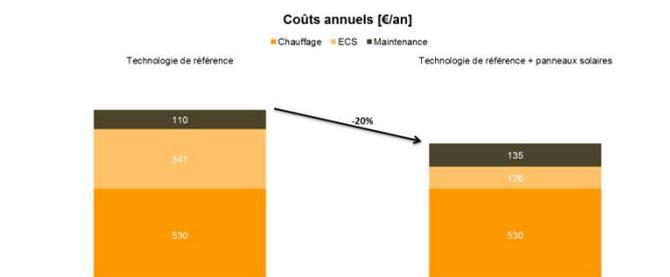
Cas	Economie énergie primaire kWh/an	Emissions de CO2 évitées kg/an	Temps de retour dynamique [an]	VAN 25 ans [€]	TRI [%]
1	3.250	817	26	-822	3



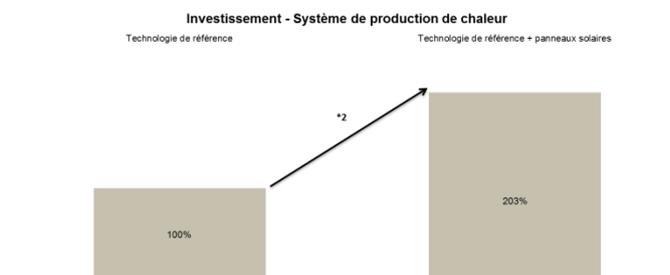
La consommation en énergie primaire est 25 % inférieure pour la production de chaleur car le besoin brut d'ECS est couvert à 60%.



Les émissions de CO<sub>2</sub> diminuent également de 25 %.



Le coût annuel diminue de 20 %.



L'investissement est élevé et le temps de retour est élevé (26 ans) malgré les primes. L'investissement est de 2.9 €/kWh<sub>EP</sub> économisé et de 11.6 €/kg CO<sub>2</sub> évité.

## 5.4. Faisabilité des solutions retenues – Electricité

### 5.4.1. Solaire photovoltaïque

#### Caractéristiques techniques et intégration

Un certain nombre de technologies sont actuellement disponibles sur le marché des panneaux photovoltaïques : mono- ou poly- cristallins, amorphes et à « couches minces ».

Pour ce projet, nous considérons l'installation de panneaux monocristallins.

#### Surfaces de toitures disponibles

Cas	Situation/orientation	Surface Non ombragée	Type de toiture	Remarques
1	Toiture / sud-sud Est	70 m <sup>2</sup>	plate	



*Le compteur d'énergie est une obligation afin de pouvoir profiter du régime de subsides.*

*Le principe de compensation n'est disponible que si la puissance de l'installation photovoltaïque est inférieure à 10 kVA (limite des grandes installations).*

*Si la puissance est supérieure, il convient d'installer un compteur à double sens, permettant éventuellement de revendre le surplus de production à un coût cependant bien inférieur au prix d'achat (+/- 1/3 du prix d'achat). C'est pourquoi il est important d'auto-consommer au maximum l'électricité produite.*

*La prime Quali watt prévoit l'octroi d'une prime aux ménages (et assimilés) faisant le choix d'une installation photovoltaïque (puissance ≤ 10 kWc). Cette prime est versée par le gestionnaire de réseau de distribution (GRD) auquel l'installation est raccordée pendant les cinq premières années et offre, pour une installation de 3 kWc, un temps de retour sur investissement de 8 ans.*

Sur la toiture plate, il est possible de choisir l'inclinaison et l'orientation des capteurs. Afin de maximiser la production spécifique, les panneaux sont inclinés de 35°.

La surface de panneaux solaires peut-être déterminée afin :

- de répondre aux besoins totaux d'électricité, la puissance nécessaire étant alors de 4.1 kWc ;
- ou d'installer le maximum de panneaux sur la toiture, correspondant à environ 7 kWc ;
- ou encore de se limiter à la puissance couverte par la prime Quali watt, soit 3 kWc.

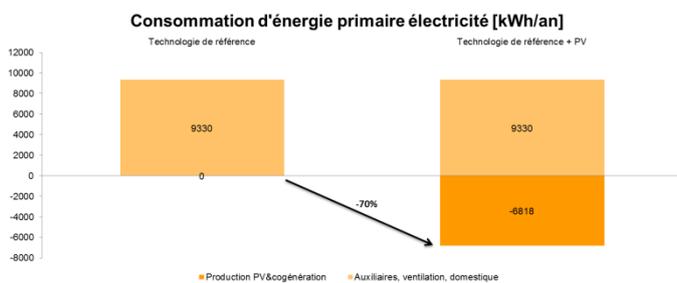
C'est cette dernière qui est choisie ici.

**Aspect financier**

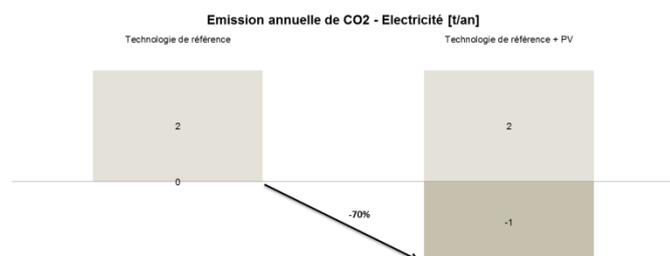
Solaire photovoltaïque		
	Montant	Concerne
Investissement (TVAC)	2,40 € / Wc	-
Coût annuel de maintenance (TVAC) Panneaux solaires photovoltaïques Onduleurs	110,00 € 1.500,00 €	1,5 % des coûts d'investissements Remplacement après 15 ans
Subventions : Qualiwatt	999,00 €/an pendant 5 ans	CWAPE

**Résultats**

Cas	Economie énergie primaire kWh/an	Emissions de CO <sub>2</sub> évitées kg/an	Temps de retour dynamique [an]	VAN 20 ans [€]	TRI [%] 20 ans
1	6.820	820	8	2870	11

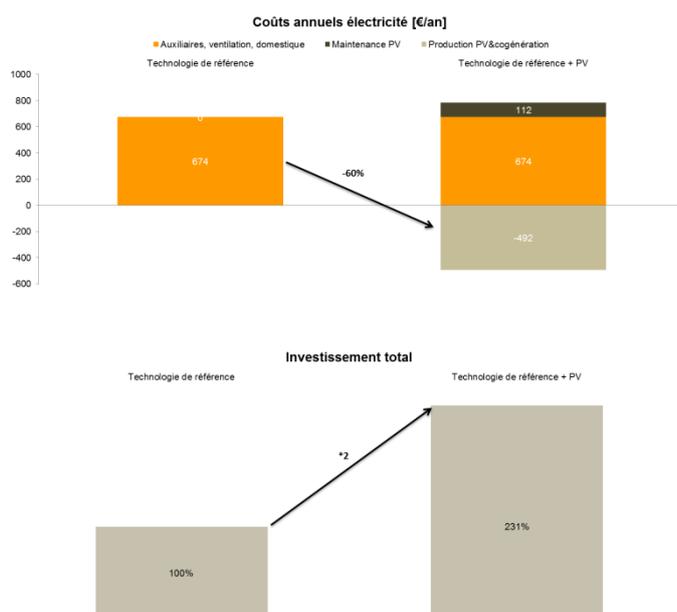


La consommation en énergie primaire pour l'électricité est 70 % inférieure due à la production d'électricité photovoltaïque



Les émissions de CO<sub>2</sub> diminuent de 70 %.





Le coût annuel pour l'électricité diminue de 60%. **La prime Qualiwatt n'est pas prise en compte dans le graphique** ci-contre mais elle intervient dans le calcul de rentabilité.

Afin d'illustrer le surcoût de l'installation avec une installation photovoltaïque, nous considérons l'investissement total y compris le système de production de chaleur.

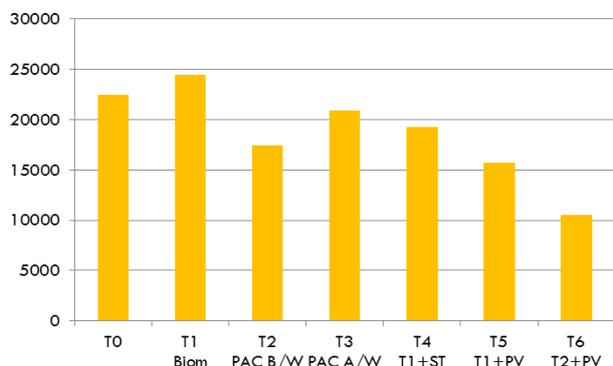
## 6. Etude comparative

Ce chapitre a pour objectif de comparer de manière succincte les différentes combinaisons proposées ci-dessus. D'autres combinaisons sont également possibles mais ne sont pas présentées dans ce rapport :

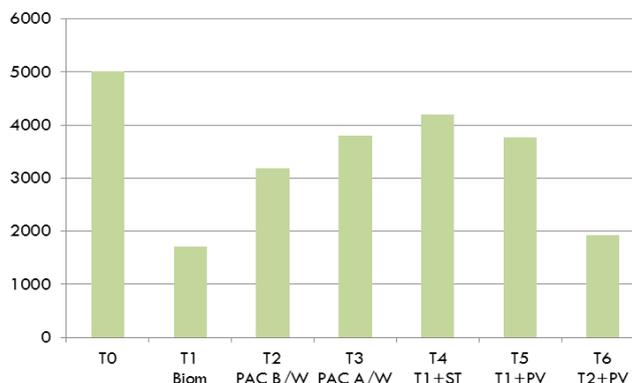
- **T0 - Technologie de référence** : chaudière au gaz à condensation pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- **T1 - Biomasse** : chaudière aux pellets pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- **T2 - PAC eau glycolée/eau** : pompe à chaleur mixte géothermique avec échangeur horizontal pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- **T3 - PAC air/eau pour le chauffage et l'ECS avec une résistance électrique d'appoint.**
- **T4 - Chaudière au gaz à condensation avec chauffe-eau solaire**
- **T5 - Chaudière au gaz à condensation avec panneaux photovoltaïques**
- **T6 - PAC eau glycolée/eau** : pompe à chaleur mixte géothermique avec échangeur horizontal pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire avec capteurs photovoltaïques

La comparaison est d'abord effectuée sur base non financière afin de chiffrer la « qualité » de la technologie. Pour chaque scénario étudié, les consommations en énergie primaire et émissions de CO<sub>2</sub> pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité (domestique et auxiliaires pompes et ventilateurs) ont été comparées à celles de la technologie de référence.

**Consommation annuelle totale en énergie primaire [kWh/an]**

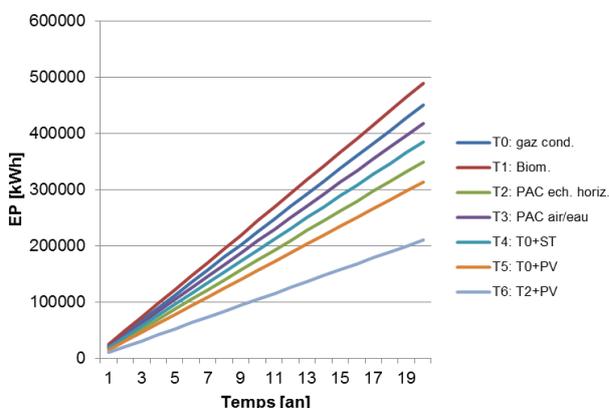


**Emission de CO<sub>2</sub> [kg/an]**

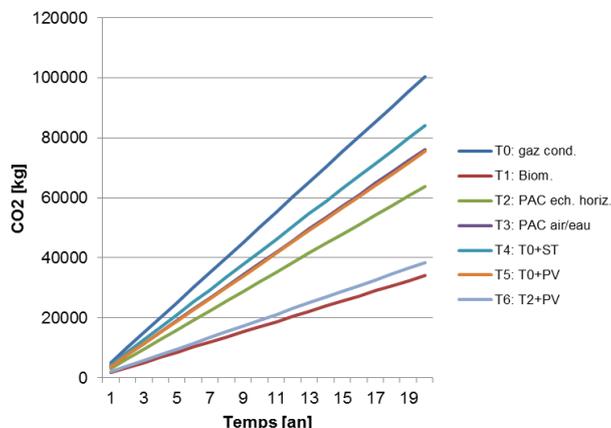


Les consommations en énergie primaire et émissions de CO<sub>2</sub> pourraient être illustrées de manière cumulée sur la durée de vie des systèmes. Cela permettrait d'illustrer la perte de rendement de certains systèmes au cours du temps (par exemple, la diminution de rendement des systèmes photovoltaïques)

**Consommation d'énergie primaire cumulée sur 20 ans**



**Evolution de la production de CO<sub>2</sub> sur 20 ans**



Afin de combiner ultérieurement les critères et poser un choix, une échelle de valeur a été définie pour ces critères :

- La référence inférieure (ou neutre) est la valeur correspondant à la technologie de référence **T0** définissant la performance minimale à atteindre, soit la consommation d'énergie primaire et les émissions de CO<sub>2</sub> dans le cas où l'on n'installe pas de système renouvelable.
- L'**objectif** (référence supérieure) correspond pour les deux critères à des valeurs définies pour un bâtiment à haute performance énergétique, soit une consommation en énergie primaire de 55



kWh/m<sup>2</sup>an<sup>6</sup> et des émissions de CO<sub>2</sub> de 10 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>an. La référence supérieure représente la valeur qu'il serait « idéal » d'atteindre.



Il peut être pertinent d'introduire **des indicateurs supplémentaires** tels que la durée de vie des systèmes, ou encore un indicateur permettant d'évaluer d'autres risques environnementaux liés aux technologies. Nous pensons par exemple à l'impact environnemental de la combustion du bois en ville (émissions de particules, de COV,...) ou encore au rejet potentiel d'autres gaz à effets de serre tels que les fluides frigorigènes.

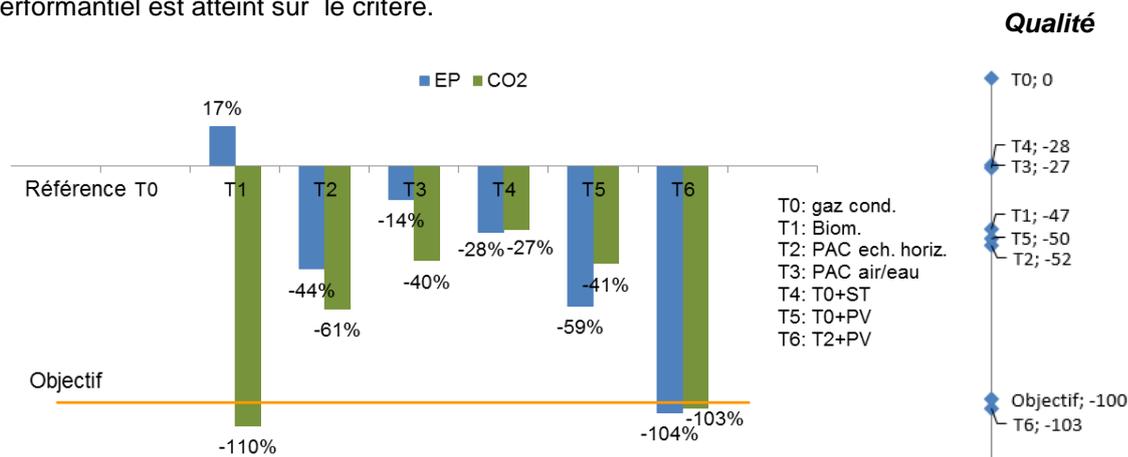
Un profil est réalisé pour chacun des cas sur base de ces indicateurs en considérant les références.

- **E<sub>prim,base</sub> : 143 kWh/m<sup>2</sup>an**  
**E<sub>prim,obj</sub>** : Valeur proposée pour un bâtiment à haute performance énergétique de 55 kWh/m<sup>2</sup>an, à laquelle on ajoute les consommations électriques non considérées par cet indicateur (autres que les auxiliaires), à savoir 15 kWh/m<sup>2</sup>an. La référence supérieure EP pour ce projet est donc de **70 kWh/m<sup>2</sup>an**, soit une réduction de 50% environ.
- **CO<sub>2inf</sub> : 32 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an**  
**CO<sub>2obj</sub>** : Valeur proposée pour un bâtiment à haute performance énergétique de 10 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an, à laquelle on ajoute les émissions dues aux consommations électriques de l'électroménager, à savoir 3 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an. La référence supérieure de l'indicateur CO<sub>2</sub> pour ce projet est donc de **13 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an**, soit une réduction de 60%.

La référence supérieure est la valeur idéale à atteindre.

Selon la méthodologie décrite ci-dessus, les profils des technologies proposées basés sur les indicateurs en énergie primaire et en CO<sub>2</sub> sont présentés ci-dessous.

Les **réductions** en énergie primaire et en émissions de CO<sub>2</sub> sont chiffrées sur l'échelle de valeurs entre les références inférieure (neutre) et supérieure (objectif). Cela permettra de juger si une technologie permet d'atteindre une « bonne » performance. Si la valeur obtenue est de 100, cela signifie que l'objectif performantiel est atteint sur le critère.



<sup>6</sup> Calculées pour le chauffage, refroidissement, électricité auxiliaire et production d'énergie, valeur tirée du projet COZEB, <http://energie.wallonie.be/fr/etude-co-zeb-cout-optimum.html?IDC=8012>



**En considérant qu'une diminution de la consommation en énergie primaire a la même importance que la diminution d'émissions de CO<sub>2</sub>**, on peut évaluer « la qualité » de chacun des scénarios envisagés en réalisant une somme pondérée des valeurs des indicateurs ci-dessus (figure de droite).



*Le résultat de qualité est obtenu en réalisant la moyenne arithmétique des deux pourcentages de réductions obtenus pour l'énergie primaire et le CO<sub>2</sub>. On pourrait envisager que l'un des critères ait plus d'importance par rapport à l'autre et modifier les facteurs de pondération des critères dans la somme.*

La technologie biomasse présente un profil différent des autres. Cela est dû aux facteurs de conversion utilisés pour l'énergie primaire et le CO<sub>2</sub>. En effet, les émissions de CO<sub>2</sub> sont très réduites car la chaleur est produite via un système alimenté en biomasse mais la consommation en énergie primaire est supérieure au cas de base. Cela est dû à deux choses : le facteur de conversion en énergie primaire est le même pour le gaz et la biomasse dans la réglementation PEB et la chaudière biomasse a un rendement inférieur à celui de la chaudière au gaz à condensation.

Les technologies T2 et T5 sont similaires. La tendance est la même pour les cas T3 et T4.

Le cas T6 permet d'atteindre l'objectif en termes de réduction d'émission de CO<sub>2</sub> et de réduction d'énergie primaire.

Le tableau suivant reprend les coûts pour chacune des technologies, cumulés sur 10 ans. Les valeurs du tableau ne sont pas des valeurs actualisées nettes.

	Coûts annuels énergie cumulés sur 10 ans (y compris indexation) [€]	Coûts annuels maintenance cumulés sur 10 ans (y compris inflation) [€]	Investissement [€]	Gains CV ou QualiWatt [€]	Total [€]
<b>T0</b>	17 700 €	1 204 €	5 500 €		24 400 €
<b>T1</b>	15 666 €	2 956 €	9 050 €		27 700 €
<b>T2</b>	14 472 €	2 517 €	11 495 €		28 500 €
<b>T3</b>	17 270 €	1 423 €	6 500 €		25 200 €
<b>T4</b>	15 239 €	1 478 €	9 437 €		26 200 €
<b>T5</b>	12 058 €	2 426 €	12 700 €	-4 995 €	22 200 €
<b>T6</b>	8 698 €	3 739 €	18 700 €	-4 995 €	26 100 €

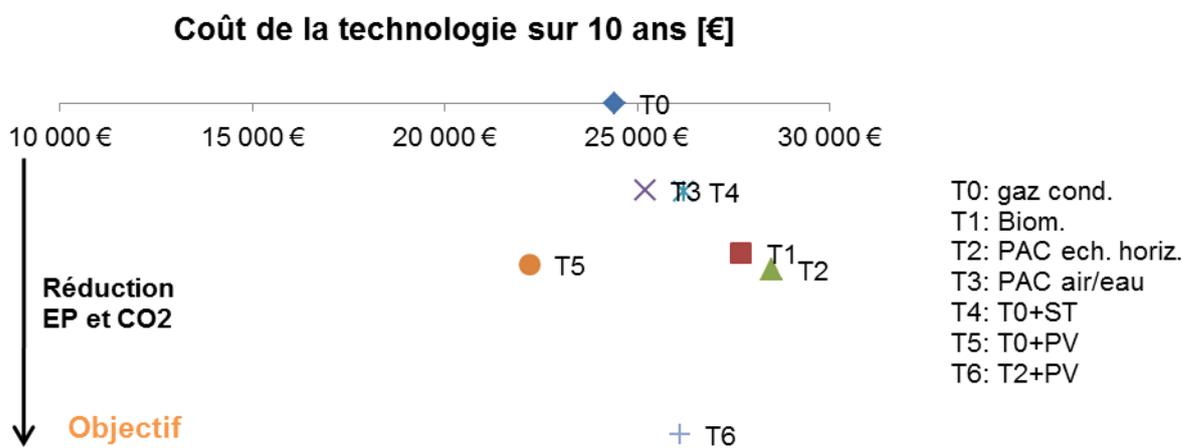
Les différents scénarios sont comparés sur base de la qualité du scénario proposé (proche de la référence supérieure) et du coût cumulé sur 10 ans.

On remarque que le scénario **T6** combinant une pompe à chaleur géothermique aux capteurs photovoltaïques présente une qualité supérieure. Ce cas permet d'atteindre la référence supérieure.

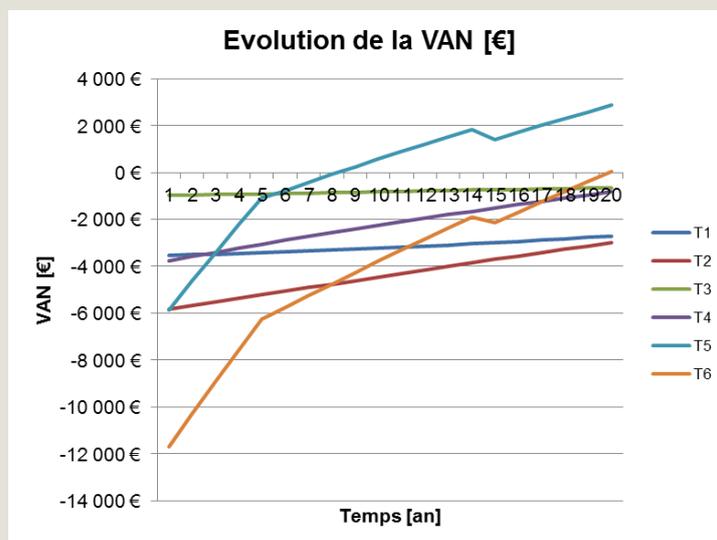
Les technologies **T3** et **T4** sont équivalentes, tant du point de vue des coûts que de la qualité. D'autres indicateurs devraient être introduits afin de « départager » ces technologies.

Le scénario **T1** est aussi coûteux que le scénario **T2** et présente une qualité équivalente.

Si on ne tient pas compte du coût d'investissement, la technologie **T5** est très intéressante. L'installation de modules PV permet de diminuer l'impact environnemental de 20 points, tout en coûtant moins cher que l'installation de référence sur 10 ans.



Les différents cas peuvent être comparés sur base de valeurs actualisées nettes calculées sur une période de 20 ans.

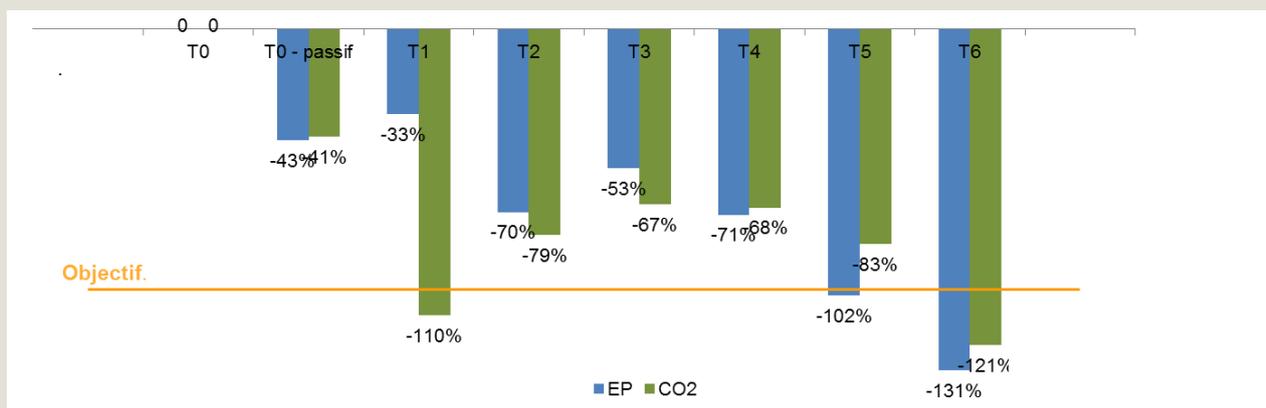




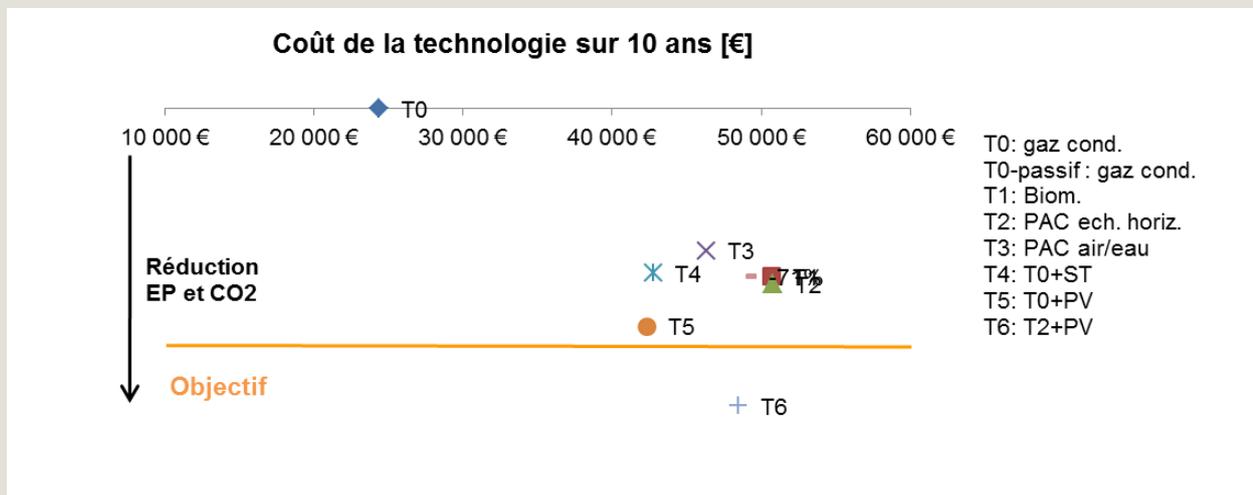
Et si...

Prenons le cas où l'enveloppe était passive. Nous conservons les références inférieure et supérieure (cas de base T0 avec un besoin de chauffage égal à 40 kWh/m<sup>2</sup>an).

Pour les autres cas (de T0 - passif à T6), nous considérons un besoin de chauffage de 15 kWh/m<sup>2</sup>an (cas passif). Le cas T6 permet d'atteindre une performance 25 % supérieure au bâtiment de référence à haute performance.



Si on considère un surcoût de 10% pour l'amélioration de l'enveloppe (coût du bâtiment initial en T01 de 1300 €/m<sup>2</sup>), on obtient les données suivantes sur 10 ans :



On voit que le cas T5 (Chaudière au gaz à condensation avec panneaux photovoltaïques) permet d'atteindre une qualité quasi équivalente à la référence supérieure en matière environnementale. Le surcoût provient de l'investissement initial lié à l'amélioration de l'enveloppe passive. Le cas T6 reste le plus intéressant du point de vue de la qualité environnementale mais coûte plus cher sur 10 ans.

