

## 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 de moins de 1000 m<sup>2</sup> présentant des affectations diverses**

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.....	10
1. Tableau synthétique des hypothèses .....	10
2. Présentation du bâtiment.....	12
3. Besoins énergétiques du bâtiment .....	13
4. Technologie de référence .....	18
4.1. Caractéristiques techniques et intégration .....	19
4.2. Aspects énergétiques et environnementaux .....	20
4.3. Aspect financier .....	20
4.4. Résultats .....	21
5. Technologies alternatives .....	21
5.1. Analyse de la disponibilité des variantes.....	21
5.2. Faisabilité des solutions retenues – Chauffage + ECS .....	23
<b>5.2.1. Biomasse</b> .....	23
Caractéristiques techniques et intégration .....	23
Aspect financier .....	25
Résultats .....	26
<b>5.2.2. Pompe à chaleur Eau glycolée/Eau</b> .....	27
Caractéristiques techniques et intégration .....	27
Aspects énergétiques et environnementaux .....	27
Aspect financier .....	28
Résultats .....	28
5.3. Faisabilité des solutions retenues – ECS décentralisée .....	29



<b>5.3.1. Panneaux solaires thermiques</b> .....	29
Caractéristiques techniques et intégration .....	29
Aspects énergétiques et environnementaux .....	29
Aspect financier .....	29
Résultats .....	30
<b>5.4. Faisabilité des solutions retenues – Electricité</b> .....	31
<b>5.4.1. Solaire photovoltaïque</b> .....	31
Caractéristiques techniques et intégration .....	31
Aspect financier .....	32
Résultats .....	32
<b>5.4.2. Cogénération</b> .....	34
Caractéristiques techniques et intégration .....	34
Aspect financier .....	34
Résultats .....	34
<b>6. Etude comparative</b> .....	35



# AVANT-PROPOS

La législation relative à la Performance Energétique 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'une étude de faisabilité reprenant les différentes sections pour un exemple de bâtiment de moins de 1000 m<sup>2</sup> présentant des affectations diverses. L'étude est présentée sur base d'un bâtiment fictif, mais n'est pas réalisée à l'aide du logiciel dédié aux études de faisabilité car celui-ci est dédié aux cas simples de moins de 1000 m<sup>2</sup> (une affectation). 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 ;
- Cogénération.

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-après (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 un immeuble de deux étages sur rez-de-chaussée neuf localisé en région liégeoise. Celui-ci comprend une crèche au rez-de-chaussée et 8 logements destinés à la location répartis sur les deux étages.

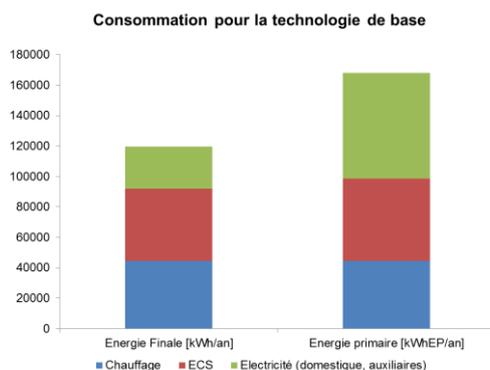
Les technologies suivantes ont été envisagées :

Technologie	Biomasse	Pompe à chaleur	Réseau de chaleur	Solaire thermique	Cogénération à haut rendement	Solaire Photovoltaïque
Justification	T1	T2	Indisponible à proximité	T3	T4	T5

Les technologies suivantes ont été retenues pour analyse :

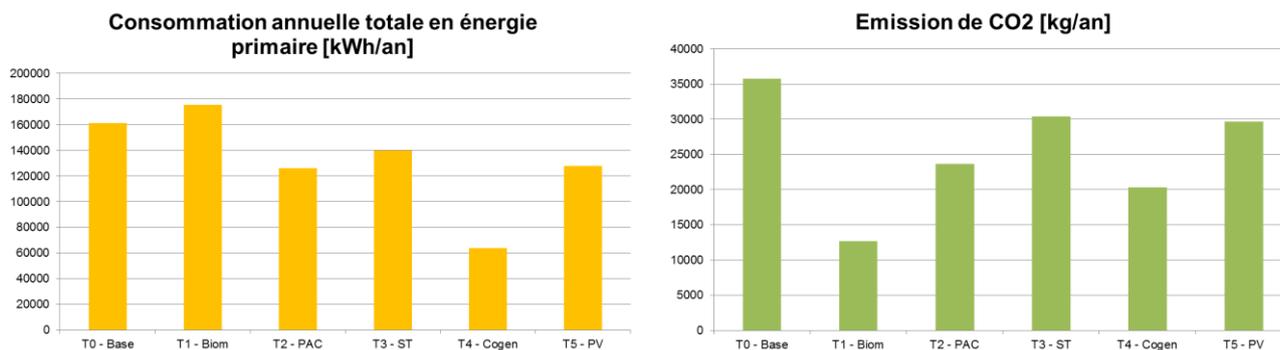
- **T0 – Technique traditionnelle de base** : chaudière au gaz à condensation pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- **T1 - Biomasse** : chaudière aux pellets pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire
- **T2 - PAC eau glycolée/eau** : pompe à chaleur mixte géothermique avec échangeur vertical pour le chauffage, accompagnée d'une résistance électrique pour l'eau chaude sanitaire.
- **T3 - Chaudière au gaz à condensation avec panneaux solaires thermiques**
- **T4 - Cogénération avec chaudière gaz à condensation en appoint**
- **T5 - Chaudière au gaz à condensation avec panneaux solaires photovoltaïques**

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

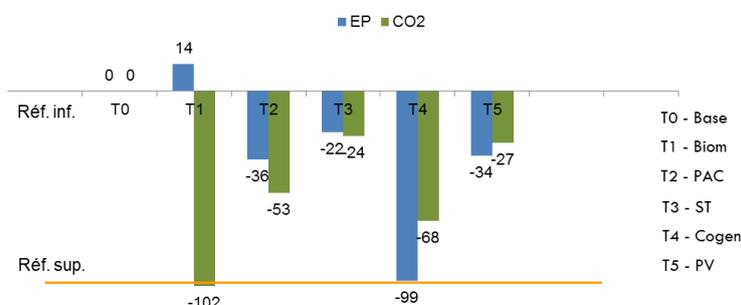


Pour chaque scénario étudié, les consommations en énergie primaire et émissions de CO<sub>2</sub> pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité (domestique et auxiliaires pompes et ventilateurs) ont été comparées à celles de la technologie traditionnelle.





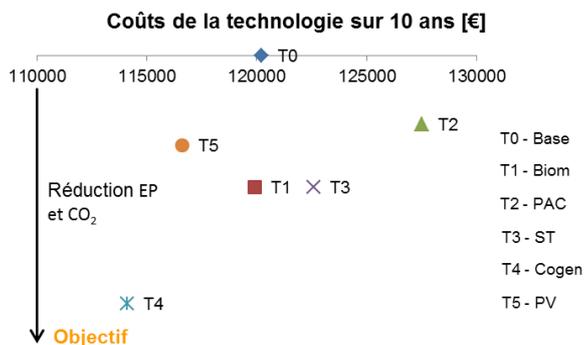
Les **réductions** en consommation d'énergie primaire et en émissions de CO<sub>2</sub> sont chiffrées sur une échelle de valeurs entre la référence inférieure (performance du cas de base T0) et l'objectif d'un bâtiment à haute performance énergétique (E<sub>spec</sub> = 55 kWh/m<sup>2</sup>an). Une 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 **T3** et **T5** donnent des résultats similaires.
- Le cas **T4** permet d'atteindre l'objectif en termes de réduction d'énergie primaire.

Si on n'analyse que les coûts sur 10 ans (investissement et coûts opérationnels), la cogénération est la technologie la moins coûteuse et présente l'impact environnemental le plus faible. Au même coût que la technologie de référence, la biomasse présente un impact environnemental moindre.



## 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, certaines de ces données se révèlent parfois 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 et doit être adaptée.*

Données économiques			
		Unité	Valeur
Prix des combustibles	Gaz	€ TVAC/kWh PCS	0.055
	Electricité	€ TVAC/kWh	0.17
	Pellets (livraison incluse max 30 km)	€ TVAC/kWh PCS	0.046
	Augmentation du prix de l'énergie	%	3
Paramètres financiers	Taux d'actualisation	%	6.5
	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.

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>Efin</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 doivent 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.*



*En première approximation, les rendements d'émission, de régulation, de distribution et 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.*

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

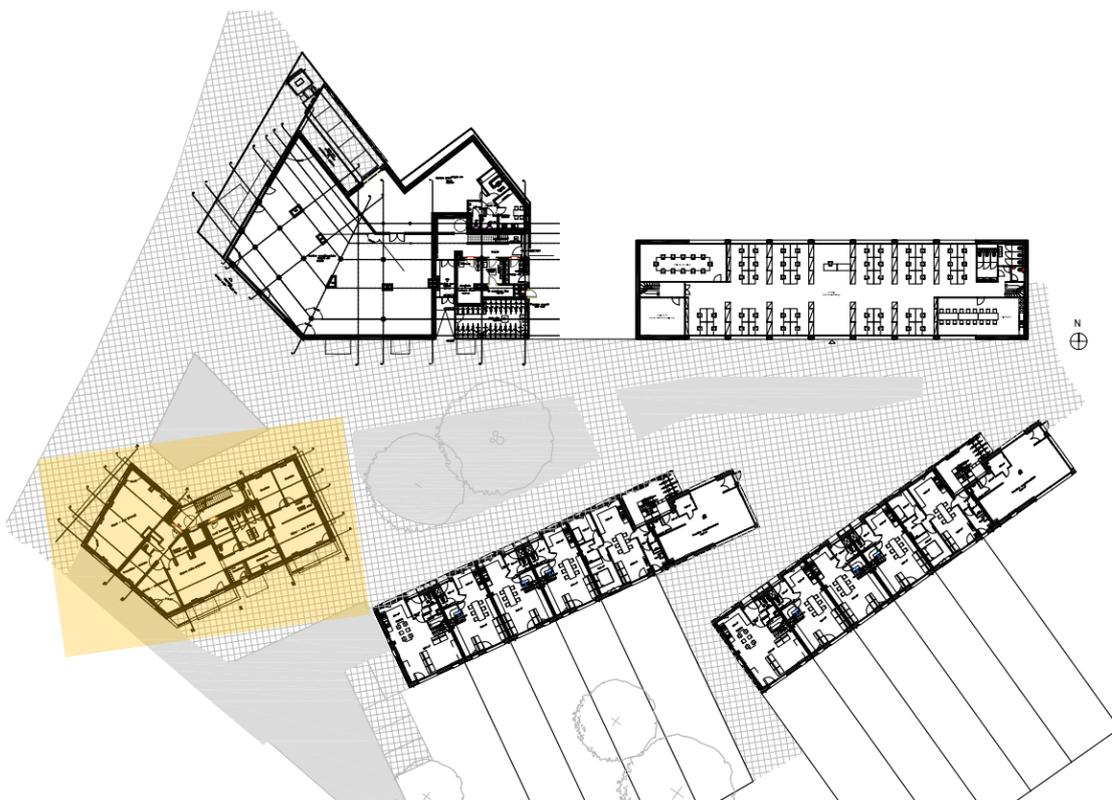
## 2. Présentation du bâtiment

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 un immeuble de deux étages sur rez-de-chaussée neuf localisé en région liégeoise. Celui-ci comprend **1 crèche** au rez-de-chaussée et **8 logements** destinés à la location répartis sur les deux étages. La surface utile totale est de 822 m<sup>2</sup> et le volume brut est de 3171 m<sup>3</sup>. Les plans utilisés pour l'étude sont les plans de permis d'urbanisme disponibles en annexe.



Un local technique est prévu dans chaque logement, d'une surface moyenne de 3m<sup>2</sup> et d'une hauteur sous plafond de 3m. Un local technique est également disponible au rez-de-chaussée, d'une surface moyenne de 7m<sup>2</sup> et d'une hauteur sous plafond de 3.7m. Enfin, le bâtiment dispose d'un sous-sol avec des caves pour les logements et un emplacement potentiel pour un local technique.

<b>Caractéristiques du bâtiment</b>	
Type de toiture	Toiture plate
Superficie de toiture	336 m <sup>2</sup>
Raccordement au gaz disponible ?	oui
Superficie de terrain non bâti	400
<b>Caractéristiques des logements</b>	
Nombre de logements	8
Nombre d'occupants	22
Superficie des logements 1 et 5 A <sub>CH</sub>	87 m <sup>2</sup>
Superficie des logements 2 et 6 A <sub>CH</sub>	61 m <sup>2</sup>
Superficie des logements 3 et 7 A <sub>CH</sub>	94 m <sup>2</sup>
Superficie des logements 4 et 8 A <sub>CH</sub>	90 m <sup>2</sup>
Ventilation	Double flux avec récupération de chaleur
<b>Caractéristiques de la crèche</b>	
Surface d'utilisation [m <sup>2</sup> ]	241 m <sup>2</sup>
Nombre d'enfants	15
Horaire d'occupation	7h – 18h Lun-Ven
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'A<sub>CH</sub> 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 bâtiment est composé de 9 unités PEB (8 unités de type « logement », et la 9<sup>ème</sup> unité de type « crèche »). Le niveau d'isolation est K35 et la valeur moyenne U de l'enveloppe s'élève à 0,38 W/m<sup>2</sup>K. Les espaces sont ventilés via un groupe de ventilation double-flux 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 n50=1.5 vol/h.

Le **besoin net de chauffage** est calculé via le logiciel PEB v5.0.5 et s'élève en moyenne à **2.500 kWh/an/logement**. Celui-ci est calculé via le logiciel PHPP v8.5 pour la crèche. Les apports internes utilisés dans le calcul PHPP pour la crèche ont été calculés en fonction de l'occupation journalière des locaux et sont de 3.3 W/m<sup>2</sup>. Le tableau suivant fournit les besoins net de chauffage pour chaque unité.

Unités	Besoin Net (kWh)
	Chauffage
1	2.122
2	1.610
3	1.508
4	2.589
5	3.481
6	2.496
7	2.998
8	3.339
crèche	13.030
<b>Total</b>	<b>33.173</b>

Les **besoins nets annuels en eau chaude sanitaire** sont calculés pour une consommation journalière de 60 litres par personne à 45 °C pour les logements et 30 l/enfant/jour à 60 °C pour la crèche.



Le **besoin de refroidissement** n'est pas considéré dans cette étude. Pour la crèche, la fréquence de surchauffe est de 2.5 % d'heures au-delà de 25°C selon le logiciel PHPP, en considérant des apports internes défavorables (6.5 W/m<sup>2</sup>, correspondant aux apports des personnes et de l'équipement).

La **consommation électrique** est principalement due aux auxiliaires (pompes et ventilation), à l'éclairage et aux consommations des appareils électroménagers. La consommation d'auxiliaires est reprise des calculs PEB et PHPP. La consommation due à l'éclairage est égale à 46.11 kWh/an/pers, en considérant 90% 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 [kWh/an]	Unité 1	Unité 2	Unité 3	Unité 4	Unité 5	Unité 6	Unité 7	Unité 8
Eclairage	139	93	139	139	139	93	139	139
Auxiliaires (pompes et ventilation)	762	541	841	806	762	541	841	806
Electroménager	1.750	1.100	1.750	1.750	1.750	1.100	1.750	1.750
<b>Total/unité</b>	<b>2.651</b>	<b>1.734</b>	<b>2.730</b>	<b>2.695</b>	<b>2.651</b>	<b>1.734</b>	<b>2.730</b>	<b>2.695</b>
<b>Total</b>	<b>19.620</b>							

Dans le cas de la crèche, toutes les consommations électriques sont reprises du calcul PHPP :

Consommation électrique [kWh/an]	Crèche
Eclairage	4.631
Auxiliaires (pompes et ventilation)	1.501
Electroménager	981
<b>Total</b>	<b>7.113</b>

La consommation de l'ascenseur est estimée à 500 kWh/an et celle pour l'éclairage des communs est de 540 kWh/an, pour garantir un éclairage de 100 lux.

Consommation électrique [kWh/an] totale	
Logements	19.620
Crèche	7.113
Communs	1.040
<b>Total</b>	<b>27.773</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	2.122	24	PEB
	Eau chaude sanitaire	2.674	31	Calcul personnel
	Electricité	2.651	30	PEB et calcul personnel

		Besoins net [kWh/an]	Besoins net [kWh/an.m <sup>2</sup> ]	Source
Unité PEB 2	Chauffage	1.610	26	PEB
	Eau chaude sanitaire	1.783	29	Calcul personnel
	Electricité	1.734	28	PEB et calcul personnel

		Besoins net [kWh/an]	Besoins net [kWh/an.m <sup>2</sup> ]	Source
Unité PEB 3	Chauffage	1.508	16	PEB
	Eau chaude sanitaire	2.674	28	Calcul personnel
	Electricité	2.730	29	PEB et calcul personnel

		Besoins net [kWh/an]	Besoins net [kWh/an.m <sup>2</sup> ]	Source
Unité PEB 4	Chauffage	2.589	29	PEB
	Eau chaude sanitaire	2.674	30	Calcul personnel
	Electricité	2.695	30	PEB et calcul personnel

		Besoins net [kWh/an]	Besoins net [kWh/an.m <sup>2</sup> ]	Source
Unité PEB 5	Chauffage	3.481	40	PEB
	Eau chaude sanitaire	2.674	31	Calcul personnel
	Electricité	2.651	30	PEB et calcul personnel

		Besoins net [kWh/an]	Besoins net [kWh/an.m <sup>2</sup> ]	Source
Unité PEB 6	Chauffage	2.496	41	PEB
	Eau chaude sanitaire	1.783	29	Calcul personnel
	Electricité	1.734	28	PEB et calcul personnel

		Besoins net [kWh/an]	Besoins net [kWh/an.m <sup>2</sup> ]	Source
Unité PEB 7	Chauffage	2.998	32	PEB
	Eau chaude sanitaire	2.674	28	Calcul personnel
	Electricité	2.730	29	PEB et calcul personnel

		Besoins net [kWh/an]	Besoins net [kWh/an.m <sup>2</sup> ]	Source
Unité PEB 8	Chauffage	3.339	37	PEB
	Eau chaude sanitaire	2.674	30	Calcul personnel
	Electricité	2.695	30	PEB et calcul personnel

		Besoins net [kWh/an]	Besoins net [kWh/an.m <sup>2</sup> ]	Source
Unité PEB 9 (Crèche)	Chauffage	13.030	54	PHPP
	Eau chaude sanitaire	9.552	40	Calcul personnel
	Electricité	7.113	30	PHPP

Le besoin en électricité des communs est de 1040 kWh/an



*Pour certaines affectations, il n'est pas possible de calculer les besoins en énergie dans le logiciel PEB (par exemple, une crèche, un commerce, une maison de repos, un hall sportif, etc.). L'auteur doit donc utiliser une méthode permettant le calcul des besoins de chauffage et de l'énergie auxiliaires (par exemple le logiciel PHPP).*

#### 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 centralisée 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 d'eau chaude sanitaire. Celle-ci est distribuée via une boucle sanitaire dans les différentes unités.

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.*

*Dans le cas présent, il est également possible d'étudier la centralisation/décentralisation de la production de chauffage. Les logements étant destinés à la location, le maître d'ouvrage ne désire pas décentraliser les techniques pour une question de maintenance.*

*L'étude de certaines technologies renouvelables (biomasse, cogénération, solaire thermique, etc.) nécessite généralement une production centralisée.*

### 4.1. Caractéristiques techniques et intégration

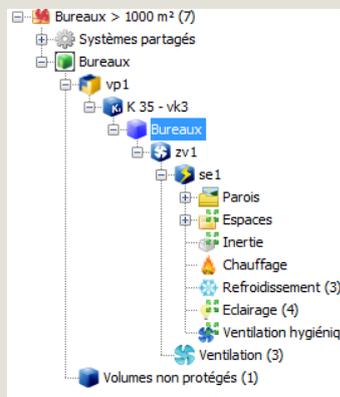
Des valeurs de rendements saisonniers de production par défaut figurent dans la base de données mise à disposition par la Région. L'auteur peut également utiliser les valeurs de la PEB ou d'une autre méthode (PACE par exemple). Cependant, il convient de ne pas utiliser des rendements trop sécuritaires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

L'espace est suffisant dans la cave pour l'installation d'une chaudière centralisée avec un ballon d'eau chaude (500 litres).

Puissance		
<b>Chauffage</b>	50 kW	PEB + calcul personnel



*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)*



Formulaire	Description
Dimensionnement des chaudières	Dimensionnement des chaudières



## 4.2. Aspects énergétiques et environnementaux

Des valeurs de rendements saisonniers de production par défaut figurent dans la base de données mise à disposition par la Région.

Une bonne chaudière correctement réglée permet d'atteindre des rendements élevés et ainsi de limiter la consommation finale. La boucle sanitaire a par contre un moins bon rendement car elle fonctionne continuellement, et a donc un impact défavorable.

Les différents rendements utilisés dans les processus de conversion énergétique correspondent à des valeurs par défaut reprises de la méthode PEB, excepté pour la boucle sanitaire où la déperdition moyenne par mètre de tuyauterie a été évaluée pour déterminer le rendement.

Chauffage et ECS		
<b>Production (saisonnier)</b>		
Chaudière à condensation	Rendement (PCS)	88%
<b>Distribution et stockage</b>		
Chauffage (sans ballon tampon)	Rendement	95%
ECS (avec boucle sanitaire et ballon)	Rendement	70%
<b>Emission et régulation</b>		
Chauffage	Rendement	89%

## 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 (HTVA)</b>	7.300,00 €	Chaudière au gaz à condensation avec cheminée et ballon d'ECS
<b>Coût annuel de maintenance (HTVA)</b>	109,50 €	Entretien de la chaudière – 1.5% du coût d'investissement
<b>Subventions</b>	-	-



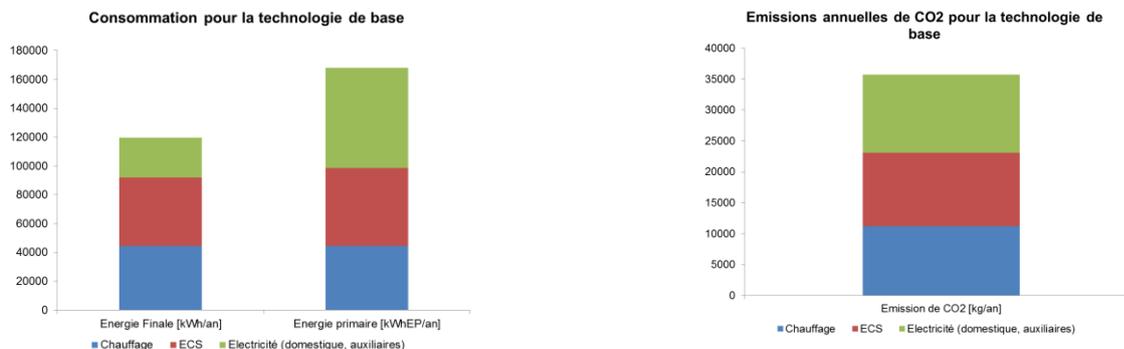
L'étude COZEB<sup>4</sup> fournit des chiffres pour les frais de maintenance et d'exploitation pour de nombreux systèmes en % du coût d'investissement.

#### 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]	161.356
CO <sub>2</sub> [kg/an]	35.740

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.



### 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 :

- Biomasse ;

<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>



- 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 minimum 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	La pompe à chaleur air/eau n'est pas envisagée car il n'est pas possible d'intégrer des unités extérieures en toiture ou sur le terrain. La pompe à chaleur eau glycolée /eau peut être envisagée car l'installation d'un capteur géothermique est possible.
	Réseau de chaleur	Non	Pas de réseau de chaleur urbain à proximité
	Cogénération	Oui	Technologie envisageable pour répondre aux besoins d'ECS.
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.

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

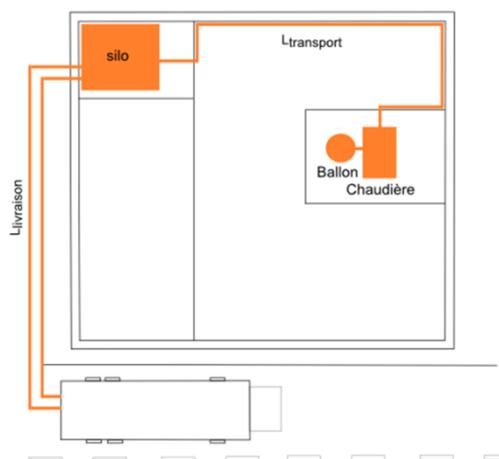
### 5.2.1. Biomasse

#### 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).

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 adjoind 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. Il est donc nécessaire de placer celle-ci dans un **local ventilé**. 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 **35 m<sup>3</sup>** de pellets par an. Sur base d'une fréquence de **2 remplissages par an**, un **volume de 17 m<sup>3</sup>** est à prévoir.

Dimensionnement du stockage	
Données	
Consommations [kWh/an]	106148
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	34.8
Si 2 remplissages/an	17.4
Si 3 remplissages/an	11.6

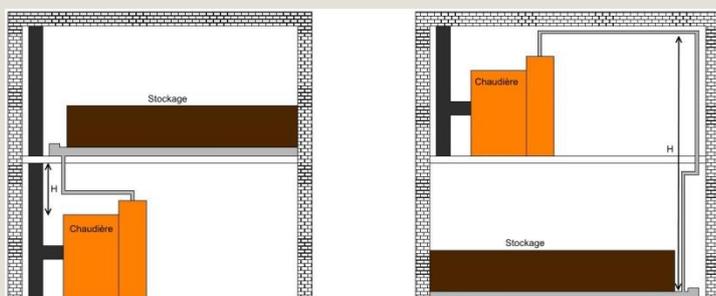
Caractéristiques techniques	
Chaudière pellets	50 kW
Volume tampon	1250 litres
Volume de stockage de granulés [m <sup>3</sup> ]	17.4 m <sup>3</sup> / 2 remplissages

La cave de 262 m<sup>2</sup> et de 2.4m de hauteur sous plafond permet l'intégration d'une chaudière et même du stockage éventuel de pellets sous forme de silo ou de pièce de réserve. Il est également important de vérifier que l'accès à ce local permet d'amener le matériel et qu'il est 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. Les rendements suivants sont considérés pour la chaudière et le système de chauffage (y compris distribution et stockage (ballon tampon), émission et régulation).

Chauffage et ECS		
<b>Production (saisonnier)</b>		
Chaudière aux pellets	Rendement sur PCS	77%
<b>Distribution (et stockage)</b>		
Chauffage (avec ballon tampon)	Rendement	92%
<b>Emission et régulation</b>		
Chauffage	Rendement	89%

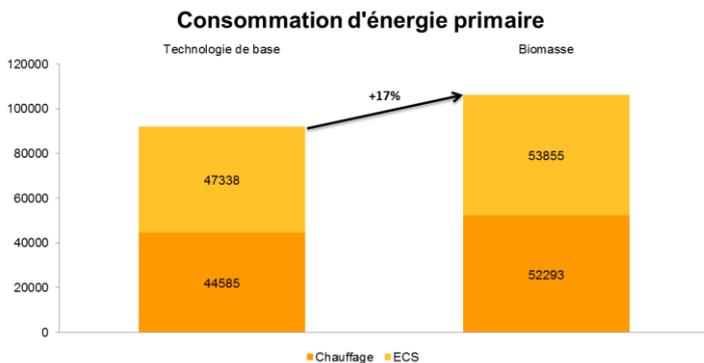
### Aspect financier

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.

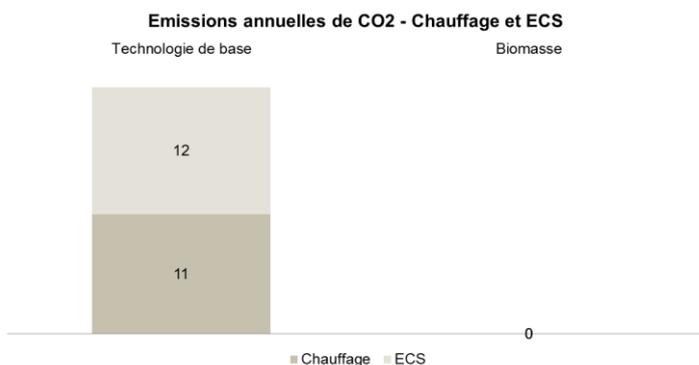
Nous considérons pour cette étude l'investissement suivant. Pour rappel, seuls les surcoûts liés au matériel supplémentaire inhérent à la technologie sont chiffrés.

Chauffage		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (HTVA)</b>	17.500,00 €	Chaudière aux pellets, volume tampon, silo
<b>Coût annuel de maintenance (HTVA)</b>	350,00 €	Entretien de la chaudière – 2 % du coût d'investissement
<b>Subventions :</b> Appareil de chauffage biomasse à alimentation automatique	1.750,00 €	Source : portail de la Région Wallonne

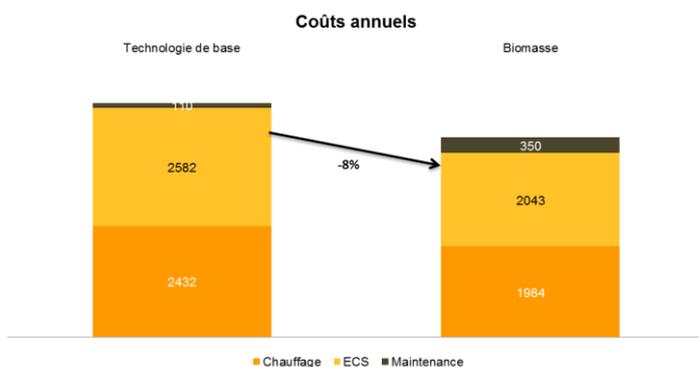
**Résultats**



Le facteur de conversion étant identique pour les deux vecteurs énergétiques et le rendement global de l'installation aux pellets étant moins bon, l'installation biomasse consomme 17% d'énergie primaire supplémentaire pour le chauffage et l'ECS que la chaudière au gaz à condensation

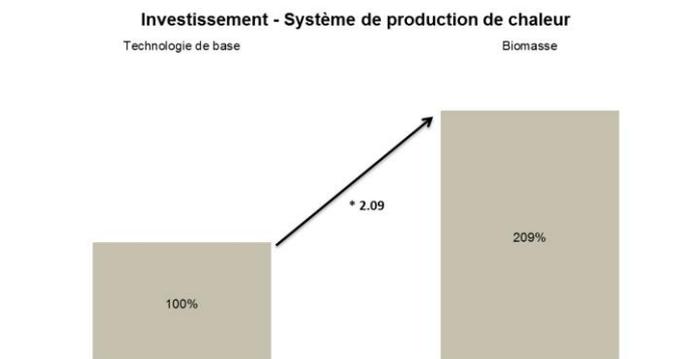


La biomasse est considérée comme étant neutre au niveau des émissions de CO<sub>2</sub>. On considère en effet une biomasse locale et gérée durablement. Les autres rejets nocifs ne sont pas chiffrés.



Le coût de maintenance de l'installation aux pellets est supérieur mais le coût du combustible est inférieur.

L'installation fonctionnant aux pellets a un rendement inférieur mais le coût du combustible étant également inférieur, le coût annuel de fonctionnement pour la biomasse reste inférieur.



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

Un échangeur vertical descend de 50 à 150 m de profondeur. Les avantages d'une sonde verticale sont une température plus stable (COP annuel plus élevé) et des puissances soutirées importantes, de l'ordre de 50 W/m dans des conditions hydrogéologiques normales, et jusqu'à 70 W/m dans des conditions très favorables. L'installation demande un forage (étudié et réalisé par des professionnels) et l'obtention d'un permis. Dans notre cas, sur base d'une puissance couverte entièrement par la PAC, d'une puissance moyenne soutirée au sol de 50 W/m et d'un temps de fonctionnement de 2000 h, il convient d'installer 8 sondes d'une longueur de 100 m.

Pour garantir un bon fonctionnement de la pompe à chaleur, l'emploi d'un réservoir tampon d'eau primaire est vivement conseillé. Sa capacité est déterminée en fonction de la durée de fonctionnement. Le volume de stockage est ici d'environ 1250 litres.

On considère que la pompe à chaleur assure 100% des besoins en chauffage et 95% des besoins en ECS. Une résistance électrique est dès lors prévue pour l'appoint en eau chaude sanitaire.



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

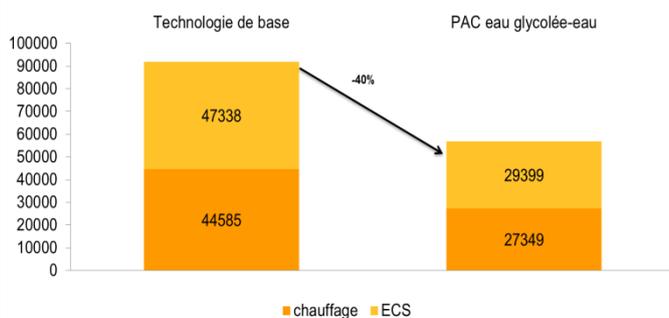
Chauffage et ECS		
<b>Production (saisonnier)</b>		
Pompe à chaleur eau glycolée/eau	SCOP	4
<b>Distribution (et stockage)</b>		
Chauffage (avec ballon tampon)	Rendement	92%
<b>Emission et régulation</b>		
Chauffage	Rendement	89%

### Aspect financier

Chauffage et Eau chaude sanitaire		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (HTVA)</b>	40.000,00 €	Pompe à chaleur, sondes, ballon tampon
<b>Coût annuel de maintenance chauffage (HTVA)</b>	800,00 €	2% du coût d'investissement
<b>Subventions</b>	-	-

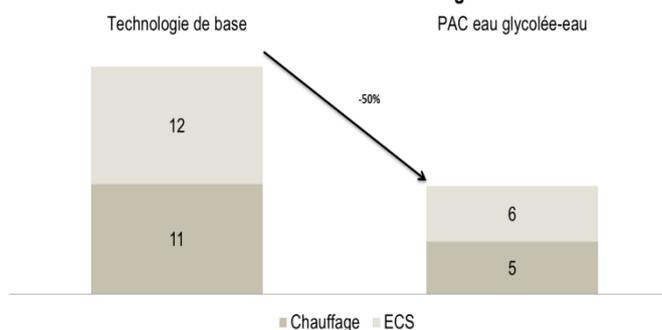
### Résultats

Consommation d'énergie primaire - chauffage et ECS



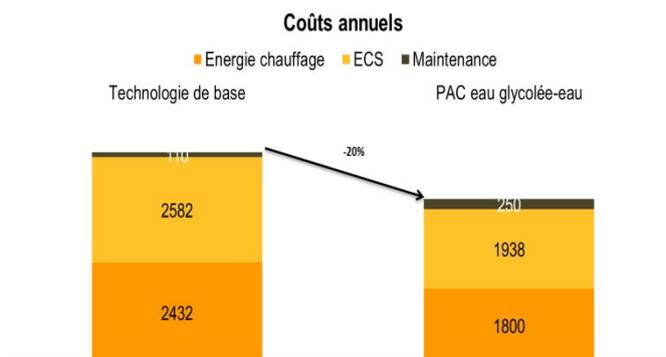
La consommation en énergie primaire est 40% inférieure pour la pompe à chaleur si on considère à la fois les modes chauffage et ECS.

Emission annuelle de CO<sub>2</sub> - chauffage et ECS

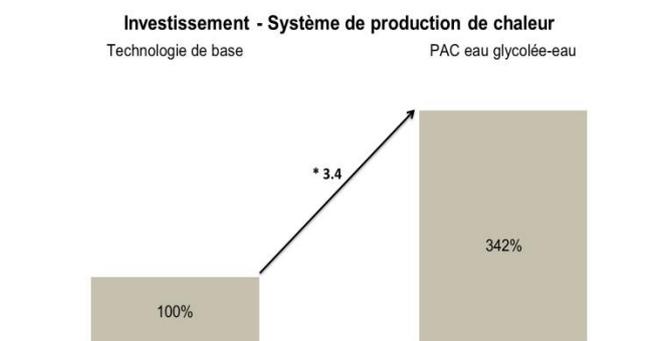


Les émissions de CO<sub>2</sub> sont réduites de 50%.





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



L'investissement est plus de 3 fois plus important que pour le système de base. Le système ne peut être rentabilisé en 20 ans (période d'évaluation pour le résidentiel). Le temps de retour est supérieur à 35 ans.

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

#### 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 70 m<sup>2</sup> de capteurs plans inclinés à 35 ° sur une structure indépendante est prévue afin de couvrir plus de 45 % des besoins bruts d'eau chaude sanitaire. Les capteurs solaires sont combinés à un ballon de 900 litres situé dans la cave. La chaudière gaz réalise l'appoint.

##### Aspects énergétiques et environnementaux

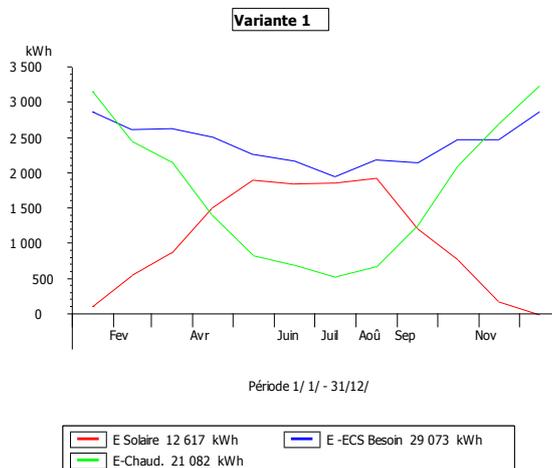
##### Aspect financier

Panneaux solaires thermiques		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (HTVA)</b>	31.000,00 €	Panneaux solaires thermiques et ballon
<b>Coût annuel de maintenance (HTVA)</b>	- €	Pas d'entretien spécifique
<b>Subventions :</b>		
Soltherm	14.700,00 €	Portail de la Région wallonne
Prime de la ville de Liège	650,00 €	Site web de la ville de Liège



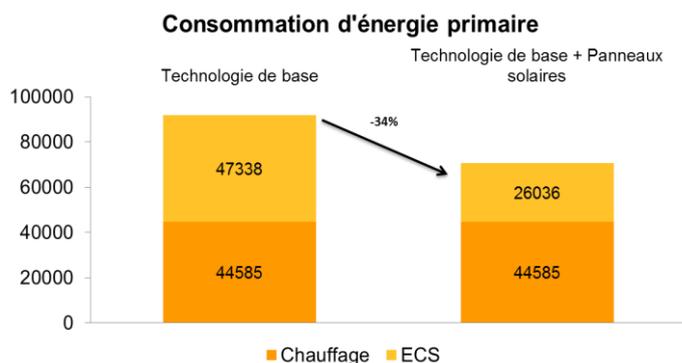
**Résultats**

Avec une couverture de 45% des besoins d'ECS définis selon l'outil TSol, ce système permet une contribution solaire de 13.122 kWh/an.



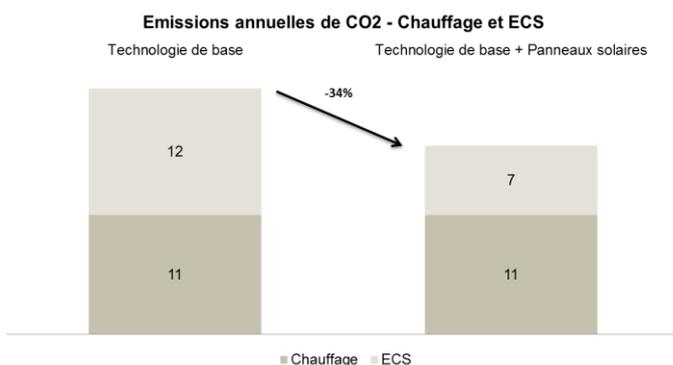
Cas	Economie énergie primaire kWh/an	Emissions de CO2 évitées kg/an	Temps de retour dynamique [an]	VAN 25 ans [€]
1	21.302	5.347	23	511

Le temps de retour est élevé malgré les primes. L'investissement est de 2.02 €/kWh économisé, et de 8.05 €/kg CO<sub>2</sub> évité.

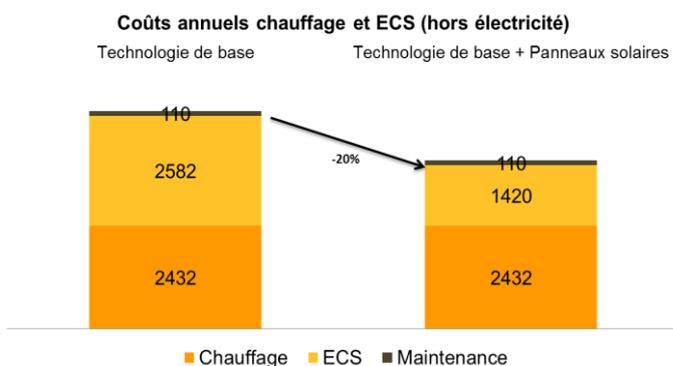


La consommation en énergie primaire est 34 % inférieure pour la production de chaleur car le besoin brut d'ECS est couvert à 45%.

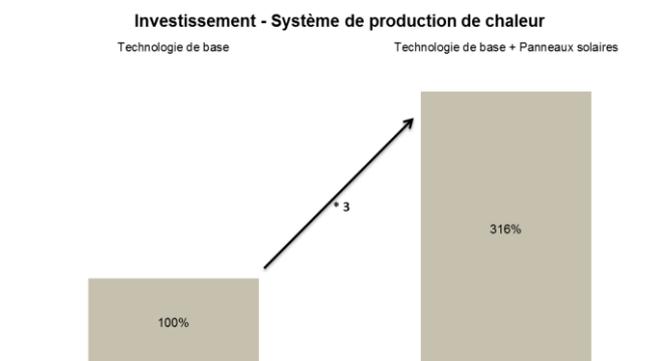




Les émissions de CO<sub>2</sub> diminuent également de 34 %.



Le coût annuel diminue de 20 %.



L'investissement est élevé et le temps de retour est élevé (23 ans) malgré les primes. L'investissement est de 1.1 €/kWh<sub>EP</sub> économisé et de 4.3 €/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	290 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 est déterminée de manière à installer un maximum de panneaux sur la toiture, en tenant compte de l'ombrage créé par les panneaux entre eux. Ainsi, la surface de panneaux solaires est répartie sur des compteurs pour chaque unité qui appliqueront le principe de compensation.

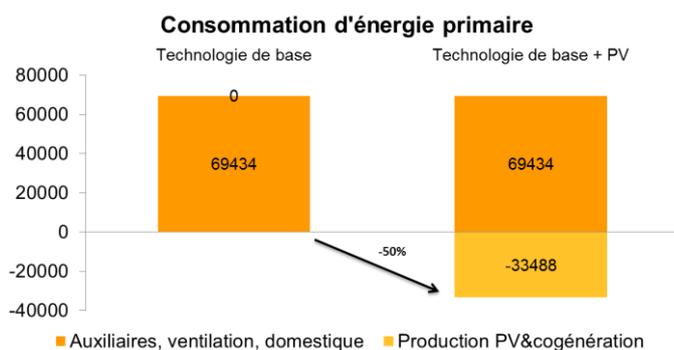
Un total de 70 panneaux solaires est installé, dont 38 destinés à répondre à la totalité des besoins d'électricité de la crèche, et 4 panneaux par logement pour répondre à une partie des besoins de ceux-ci. Au final, la puissance de l'installation s'élève à 14.56 kWc, décomposée en plusieurs installations de moins de 10kWc.

Aspect financier

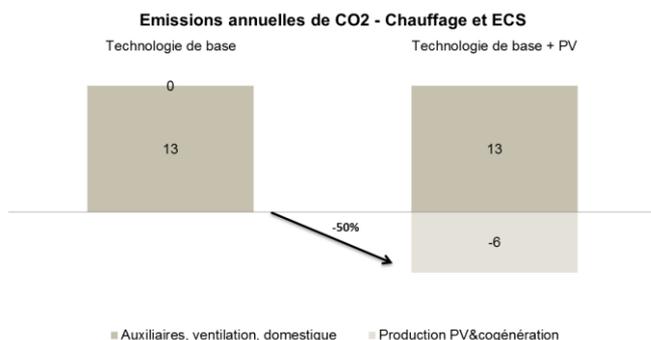
Panneaux solaires photovoltaïques		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (HTVA)</b>	2,28 € / Wc	-
<b>Coût de maintenance (HTVA)</b> Panneaux solaires photovoltaïques Onduleurs	500,00 € 1.500,00 €	1,5 % des coûts d'investissements Remplacement après 15 ans
<b>Subventions :</b> Quali watt	3.217 €/an	Pendant 5 ans

Résultats

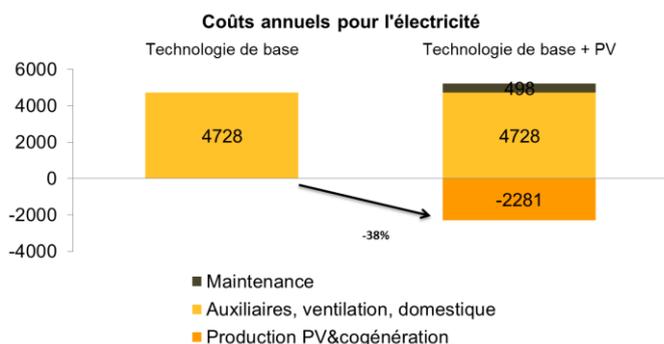
Cas	Economie énergie primaire kWh/an	Emissions de CO <sub>2</sub> évitées kg/an	Temps de retour dynamique [an]	VAN 20 ans [€]
1	33.488	6.110	19	645



La consommation en énergie primaire pour l'électricité est 50 % inférieure due à la production d'électricité photovoltaïque.



Les émissions de CO<sub>2</sub> diminuent de 50 %.



Le coût annuel pour l'électricité diminue de 40 %. Les subsides annuels ne sont pas pris en compte dans le graphique ci-contre mais ils interviennent dans le calcul de rentabilité.



5.4.2. Cogénération

**Caractéristiques techniques et intégration**

Le besoin en chaud et le profil d'utilisation permettent de considérer une micro-cogénération sur base d'un moteur à combustion interne (le plus petit possible).

L'utilisation en parallèle d'une chaudière est souhaitable, étant donné la puissance réduite de ce type de machine et le rapport coût/puissance défavorable. Afin de donner un peu de souplesse à l'utilisation, il est également important d'utiliser un ballon de stockage bien dimensionné (~ 3000 litres).

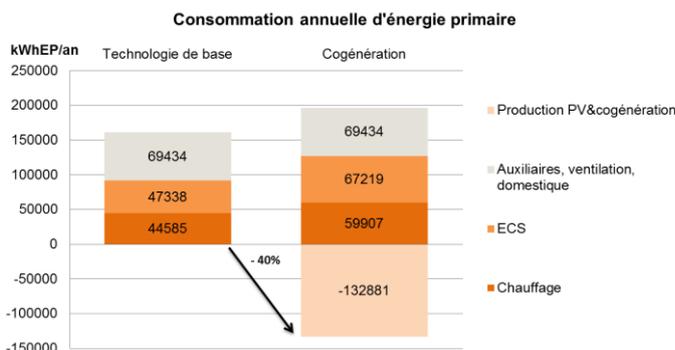
Il existe également sur le marché des micro-cogénérations sur base d'un moteur Stirling, qui s'adaptent mieux à des besoins limités et à des profils variables.

**Aspect financier**

Cogénération		
	Montant	Concerne
Investissement (HTVA)	35.000 €	- Prix cogénération
Coût de maintenance (HTVA)	2.625 €	7,5 % des coûts d'investissements
Subventions : Prime Certificat Vert	7.000€ 22CV 65 € pendant 15 ans	20 % de l'investissement

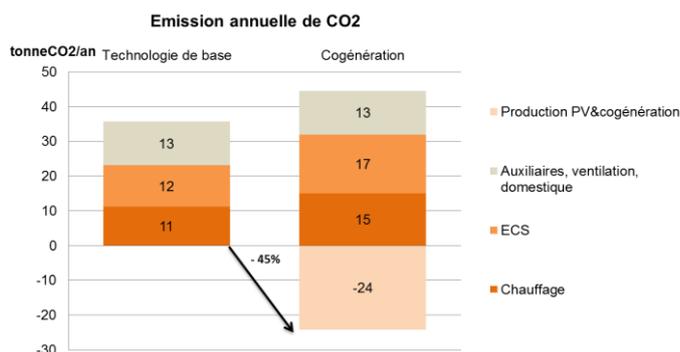
**Résultats**

Cas	Economie énergie primaire kWh/an	Emissions de CO <sub>2</sub> évitées kg/an	Temps de retour dynamique [an]	VAN 20 ans [€]
1	97.677	15.400	13	5367

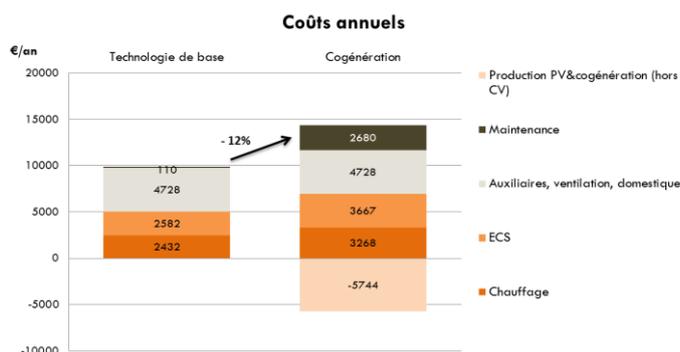


La consommation en énergie primaire pour le chauffage, l'ECS et l'électricité est 40 % inférieure





Les émissions de CO<sub>2</sub> diminuent de 45 %.



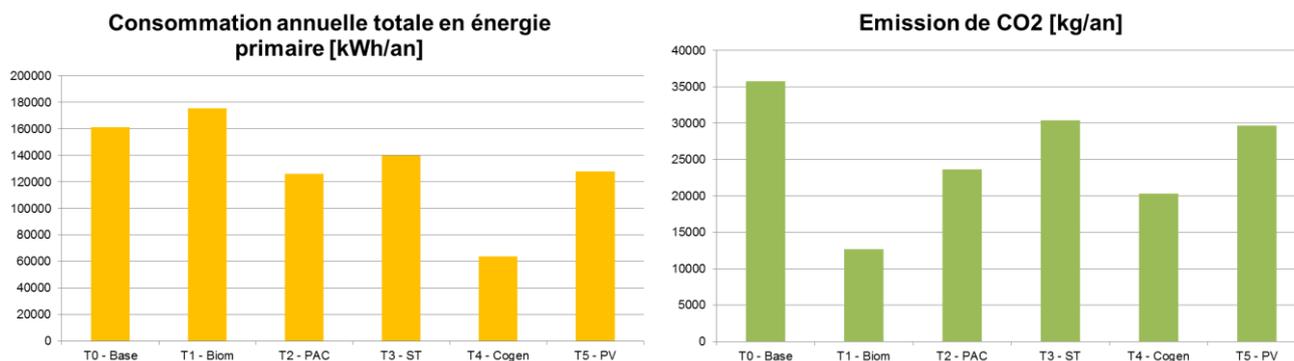
Le coût annuel pour l'électricité diminue de 12 %. Les subsides annuels (certificats verts) ne sont pas pris en compte dans le graphique ci-contre mais ils interviennent dans le calcul de rentabilité.

## 6. Etude comparative

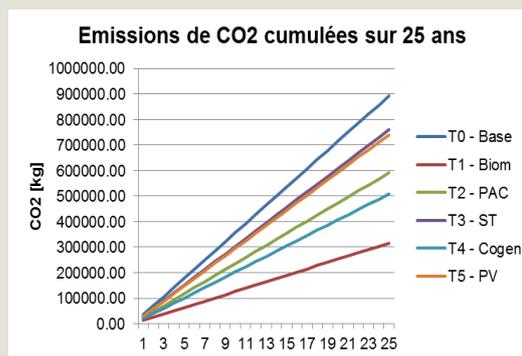
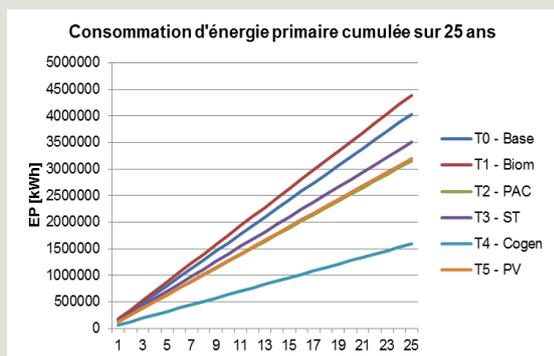
Ce chapitre a pour objectif de comparer de manière succincte les différentes combinaisons proposées ci-dessous :

- **T0 - Technologie 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 vertical pour le chauffage, et accompagné d'une résistance électrique pour l'eau chaude sanitaire.
- **T3 - Chaudière au gaz à condensation avec panneaux solaires thermiques**
- **T4 - Cogénération avec chaudière gaz à condensation en appoint**
- **T5 - Chaudière au gaz à condensation avec panneaux solaires photovoltaïques**

La comparaison est d'abord effectuée sur base non financière afin de chiffrer la « qualité » de la mesure. 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.



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)



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>5</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.

<sup>5</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>





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 :

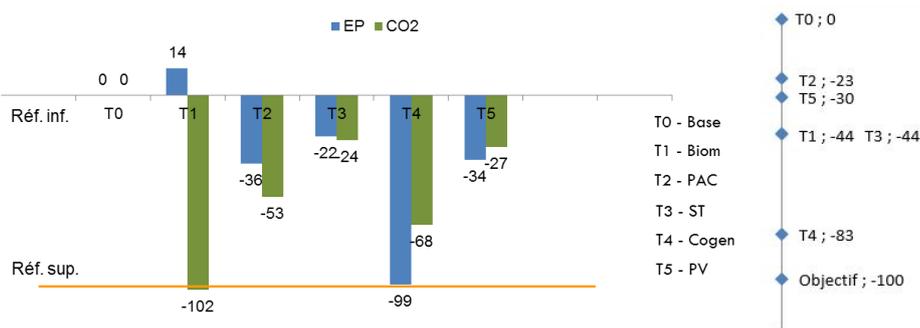
- **E<sub>prim,inf</sub> : 178 kWh/m<sup>2</sup>an → valeur de l'énergie primaire totale divisée par la surface**
- **E<sub>prim,obj</sub> : 55 kWh/m<sup>2</sup>an**, à laquelle on ajoute les consommations électriques de l'électroménager, de l'éclairage, des communs et de l'eau chaude sanitaire de la crèche à savoir 24 kWh/m<sup>2</sup>an. La référence supérieure EP pour ce projet est donc de **79 kWh/m<sup>2</sup>an**, soit une réduction de 60% environ.
- **CO<sub>2base</sub> : 39 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an**
- **CO<sub>2obj</sub> : 10 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an**, à laquelle on ajoute les émissions dues à l'électroménager, à l'éclairage, aux communs et à l'eau chaude sanitaire de la crèche à savoir 4.4 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 **14.4 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an**, soit une réduction de 64%.

La référence de l'objectif (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.

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).



La technologie biomasse présente un profil antagoniste aux autres. Cela est dû aux facteurs de conversion utilisés pour l'énergie primaire et le CO<sub>2</sub>.



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.



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.

	Coût annuels énergie cumulés 10 ans (y compris inflation) [€]	Coût annuels maintenance cumulés 10 ans (y compris inflation) [€]	Investissement [€]	Gains CV ou qualiwatt [€]	Total [€]
T1	111.685	1.199	7.300		120.200
T2	100.366	3.832	15.750		119.900
T3	93.881	8.760	40.000		142.600
T4	98.365	1.199	23.047		122.600
T5	67.855	29.343	32.650	-14.300	115.500
T6	85.542	6.651	40.496,8	-16.085	116.600

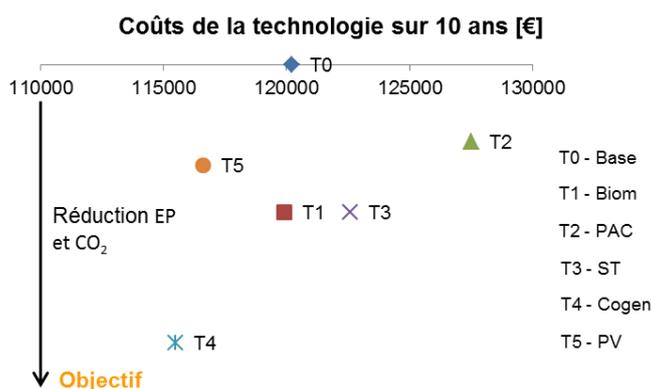
Les différents scénarios sont comparés sur base de la qualité du scénario proposé (proche de la référence supérieure) et du coût cumulé sur 10 ans.

L'installation d'une cogénération (T5) permet de diminuer l'impact environnemental de plus de 80 points, tout en étant moins coûteuse que l'installation de référence sur 10 ans.

On remarque que le scénario T3 utilisant une pompe à chaleur eau glycolée/eau est le plus cher mais vient en seconde position selon le critère de qualité.

L'installation de panneaux solaires thermiques (T4) permet d'obtenir une qualité plus élevée que la référence mais est légèrement plus coûteuse sur 10 ans. L'installation de panneaux photovoltaïques (T6) permet au contraire d'atteindre une meilleure qualité que la référence tout en étant légèrement moins coûteuse sur 10 ans.

Le scénario T2 utilisant la biomasse est aussi coûteux que le scénario de référence mais présente une qualité de 40 points supérieure.





Les différents cas peuvent être comparés sur base de valeurs actualisées nettes calculées sur une période de 20 ans. Les valeurs dans le tableau précédent n'étant pas actualisées, les conclusions pourront être différentes. Le graphique ci-dessous présente la valeur actualisée de chaque investissement sur une période de 20 ans (en considérant un taux d'actualisation de 6,5 %).

On constate que le temps de retour « dynamique » est plus long.

