

## 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 plus 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 .....	15
4. Technologie de référence .....	17
4.1. Caractéristiques techniques et intégration .....	18
4.2. Aspects énergétiques et environnementaux .....	19
4.3. Aspect financier .....	19
4.4. Résultats .....	21
5. Technologies alternatives .....	22
5.1. Analyse de la disponibilité des variantes.....	22
5.2. Faisabilité des solutions retenues - Chauffage.....	24
5.2.1. Biomasse .....	24
Caractéristiques techniques et intégration .....	24
Aspects financiers.....	26
Résultats .....	27
5.2.2. Pompe à chaleur.....	28
Caractéristiques techniques et intégration .....	28
Aspects énergétiques et environnementaux .....	29
Aspect financier .....	29
Résultats .....	30
5.3. Faisabilité des solutions retenues – Refroidissement .....	30
5.3.1. Rafraîchissement passif.....	30
Caractéristiques techniques et intégration .....	30



Aspect financier .....	31
Résultats .....	31
5.3.2. Pompe à chaleur .....	32
Caractéristiques techniques et intégration .....	32
Aspects énergétiques et environnementaux .....	32
Aspect financier .....	32
Résultats .....	32
5.4. Faisabilité des solutions retenues – Electricité .....	33
5.4.1. Solaire photovoltaïque .....	33
Caractéristiques techniques et intégration .....	33
Aspect financier .....	35
Résultats .....	36
6. Etude comparative .....	36



## 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 adopte 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 plus de 1000 m<sup>2</sup>. L'étude est réalisée pour un bâtiment fictif. 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 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 bâtiment de bureaux, situé en région liégeoise, et constitué d'un rez-de-chaussée avec un étage et une cave.

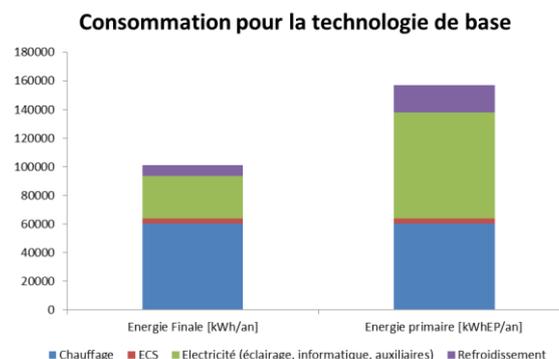
Les technologies suivantes ont été envisagées :

Technologie	Biomasse	Pompe à chaleur	Réseau de chaleur	Solaire thermique	Cogénération à haut rendement	Solaire Photovoltaïque	Autres
Justification	T1	T2 et T3	Indisponible à proximité	Pas de besoin en ECS	Besoin de chaleur trop faible	T5 et T6	T4 : Rafraîchissement passif

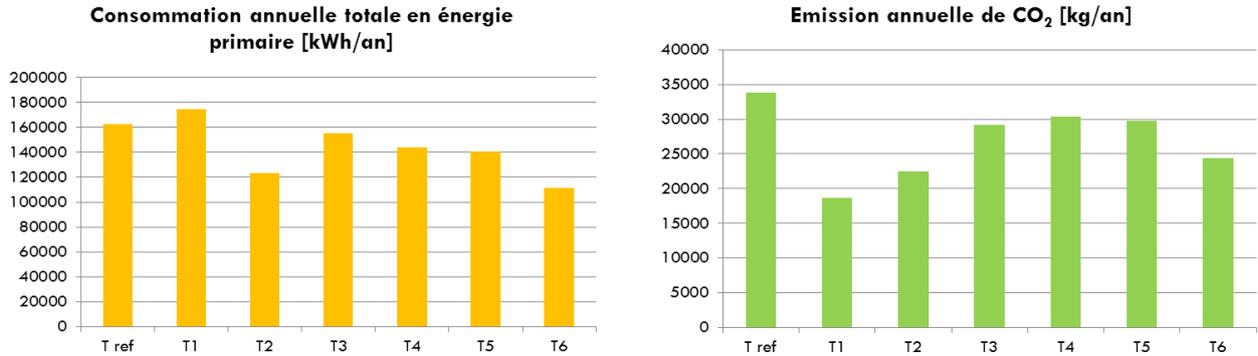
Les technologies suivantes ont été retenues pour analyse :

- **T0 - Technologie traditionnelle de base** : chaudière au gaz à condensation et groupe de froid air/eau
- **T1 - Biomasse** : chaudière aux pellets et groupe de froid air/eau
- **T2 - PAC eau glycolée/eau** : pompe à chaleur géothermique avec échangeur vertical et rafraîchissement via geocooling
- **T3 - PAC air/eau réversible**
- **T4 - Gaz + rafraîchissement passif** : chaudière au gaz à condensation et gestion des surchauffes via une ventilation intensive nocturne et protections solaires
- **T5 - Technologie de référence + PV (cas 1)** : chaudière au gaz à condensation et groupe de froid air/eau + 10 kWc de panneaux photovoltaïques
- **T6 - Technologie de référence + PV (cas 2)** : chaudière au gaz à condensation et groupe de froid air/eau + 24.2 kWc de panneaux photovoltaïques

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



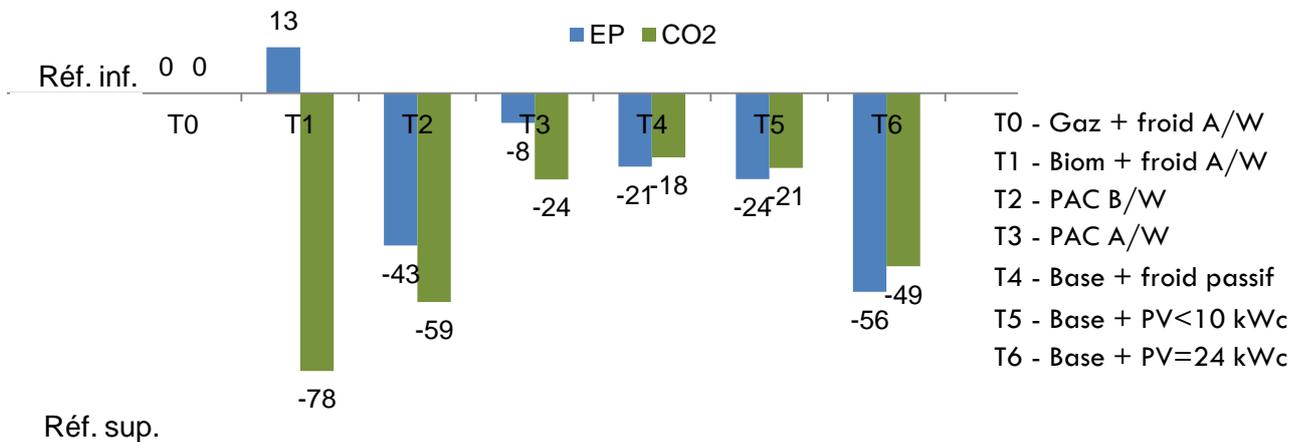
Pour chaque scénario étudié, les consommations en énergie primaire et émissions de CO<sub>2</sub> pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité (domestique et auxiliaires pompes et ventilateurs) ont été comparées à celles de la technologie traditionnelle.



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 (Espec = 45 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.

La référence inférieure (ou neutre) est la valeur correspondant à la technologie traditionnelle 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.

La référence supérieure correspond pour les deux critères à des valeurs définies pour un bâtiment à haute performance énergétique. Les **réductions** en énergie primaire et en émissions de CO<sub>2</sub> ont ainsi été chiffrées sur cette échelle de valeurs et sont présentées sur le graphique ci-dessous.



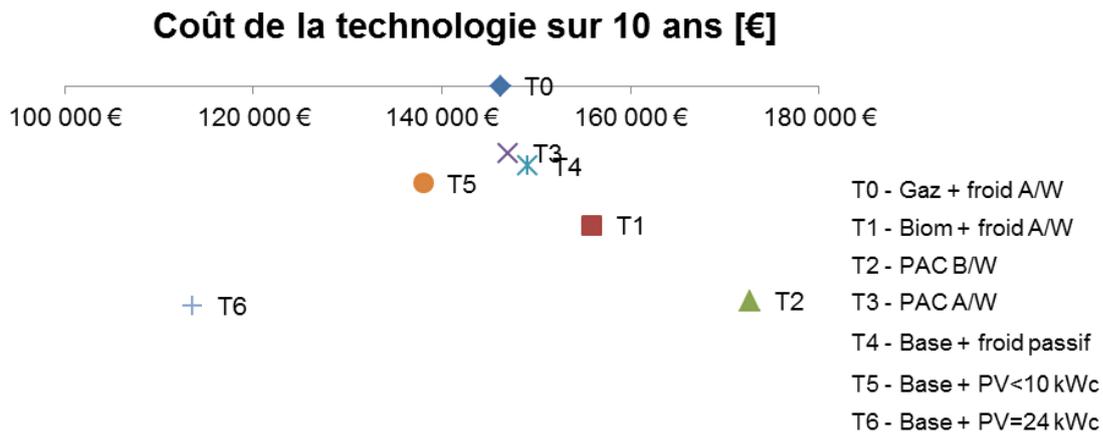
L'analyse de ce graphique est la suivante :

- 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 T6 donnent des résultats similaires. La tendance est la même pour les technologies T4, T5 et T6.

Si on analyse les coûts de chacune des technologies cumulés sur 10 ans (investissement et coûts opérationnels), la chaudière à condensation combinée à un groupe de froid et l'installation de capteurs PV est la technologie la moins chère et a un impact environnemental moindre que la technologie de référence. Cette technologie est également celle où l'impact en terme de consommation d'énergie primaire et d'émissions de CO<sub>2</sub> est le moins important.



### Objectif

## RAPPORT DÉTAILLÉ

Cette partie présente en détail la méthodologie, les hypothèses et les calculs qui ont amené aux résultats 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 (redevance incluse)	€ HTVA/kWh PCS	0.055
	Electricité (redevance incluse)	€ HTVA/kWh	0.17
	Electricité (vente sans compensation)	€ HTVA/kWh	0.04
	Pellets (livraison incluse max 30 km)	€ HTVA/kWh PCS	0.046
	Augmentation du prix de l'énergie	%	3
Paramètres financiers	Taux d'actualisation	%	6.5
	Taux d'imposition	%	33.99
	Période d'amortissement	ans	10
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
	Pellets	kgCO <sub>2</sub> /kWh <sub>Efin</sub>	0
	Electricité	kgCO <sub>2</sub> /kWh <sub>Efin</sub>	0.456



*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.*



*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.*

<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 **bureaux** neuf localisé en région liégeoise destiné au siège social d'une entreprise, dont la surface utile totale est de 1012 m<sup>2</sup> et le volume brut de 3390 m<sup>3</sup>.



La toiture du bâtiment est plate et présente une superficie de 560 m<sup>2</sup>.

Le bâtiment se développe sur deux niveaux et comprend une cave située en dehors du volume protégé. Il dispose d'un terrain non bâti de +/- 600 m<sup>2</sup>. Le raccordement au gaz est disponible sur le site.

Un local technique d'une superficie de 44 m<sup>2</sup> et d'une hauteur sous plafond de 2.5 m est disponible dans la cave. Un local technique dédié a priori à la ventilation, d'une superficie de 24 m<sup>2</sup> et d'une hauteur sous-plafond de 3 m est disponible au R+1.

En termes d'occupation, 80 personnes travaillent sur le site et le personnel est en général présent de 7h30 à 17h30 du lundi au vendredi toute l'année.

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

<b>Résumé des caractéristiques du bâtiment</b>	
Type de toiture	Toiture plate
Surface d'utilisation	922 m <sup>2</sup>
Superficie de toiture	560 m <sup>2</sup>
Nombre d'occupants	80
Raccordement au gaz disponible ?	oui
Surface de terrain non bâti	600 m <sup>2</sup>
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 0,42 W/m<sup>2</sup>K. Les espaces sont ventilés via un groupe de ventilation double-flux de 2000 m<sup>3</sup>/h avec récupération de chaleur (rendement EN308 de 75 %). Le débit de fuite à 50 Pa par unité de surface est de 3 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>s et les valeurs par défaut du logiciel PEB pour l'inertie sont conservées. Le **besoin de chauffage** ainsi calculé via le logiciel PEB v5.0.5 s'élève à **49.460 kWh/an**.

Le besoin en eau chaude sanitaire est faible, étant donné l'affectation des locaux. Le bâtiment dispose d'une douche à destination des employés, toutefois peu utilisée. En l'absence de besoin particulier (douche, restaurant), on peut estimer le besoin en eau chaude à 60°C à environ 2 l/pers/jour, selon le site d'energie-plus<sup>4</sup>. Les **besoins nets annuels en eau chaude sanitaire** s'élèvent dès lors à **3400 kWh/an**.

Le **besoin de refroidissement** est calculé via le logiciel PEB v5.0.5 et s'élève à **31.300 kWh/an**.

<sup>4</sup> <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11314>

Enfin, la **consommation électrique** est principalement due à l'éclairage, aux auxiliaires et aux consommations des appareils bureautiques. Les consommations d'éclairage et d'auxiliaires sont reprises du calcul PEB. La consommation des appareils bureautiques est estimée selon les données Energy Star<sup>5</sup> avec les hypothèses suivantes :

- 1 pc/personne ;
- 41 W/pc en fonctionnement, 2.3 W/pc en mode veille et 1.4 W/pc en mode arrêt ;
- 20 W/écran en fonctionnement, 0.4 W en mode veille et 0.3 W en mode arrêt ;
- 8h/jour en fonctionnement, 2h/jour en mode veille et 14h/jour en fonctionnement ;
- 250 kWh/serveur ;
- 4 imprimantes laser couleur à 115 kWh/an/imprimante.

L'éclairage extérieur est négligé. L'ascenseur fonctionne à faible vitesse (1 m/s) avec une classe énergétique A.

Consommation électrique totale [kWh/an]	
Eclairage	10.000
Auxiliaires	8.000
Bureautique	11.100
Ascenseur	500
<b>Total</b>	<b>29.600</b>

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

		Besoins net [kWh/an]	Besoins net par unité de surface [kWh/an.m <sup>2</sup> ]	Source
Unité PEB 1	Chauffage	49.460	50	PEB
	Eau chaude sanitaire	3.400	1	Energie-plus
	Refroidissement	31.300	34	PEB
	Electricité	29.600	32	PEB et calcul personnel

<sup>5</sup> [http://www.eu-energystar.org/fr/fr\\_008.shtml](http://www.eu-energystar.org/fr/fr_008.shtml)



Les données ci-dessus ont été déterminées en encodant, pour l'éclairage, des luminaires « standards » (type TL sans système de régulation). Si l'éclairage par défaut est conservé dans le calcul PEB, la consommation d'éclairage augmente jusqu' à 43.350 kWh/an, valeur quasiment 5 fois plus élevée que l'estimation personnelle. La consommation par défaut est en effet calculée en considérant une puissance installée de 20 W/m<sup>2</sup> pendant 2350h/an. Le niveau E correspondant s'élève à 96, valeur supérieure à la limite réglementaire.

Il est donc peu probable pour un immeuble de bureaux de satisfaire la réglementation en conservant les valeurs d'éclairage par défaut car la consommation d'énergie primaire impacte le bilan de manière conséquente.

Si toutefois le niveau E réglementaire était atteint en conservant le calcul de la consommation d'éclairage avec les valeurs par défaut, l'auteur doit être conscient de leur caractère défavorable, pouvant conduire à des conclusions erronées.



D'autres mesures peuvent être mises en place pour utiliser l'énergie de manière rationnelle.

Si des efforts sont déjà réalisés pour diminuer au maximum la consommation en chauffage et en refroidissement, il convient alors également de faire un effort particulier pour réduire les **consommations électriques**. Différentes mesures permettent d'aller en ce sens :

- Choix de matériel bureautique performant ;
- Choix d'un éclairage performant combiné à une régulation poussée : une valeur cible de 2 W/(m<sup>2</sup>.100lux), des détecteurs de présence ou d'absence, des temporisateurs, un zonage et/ou un dimmage de l'éclairage en fonction de l'éclairage naturel ;
- Choix d'un matériel de ventilation performant combiné à une régulation poussée : limitation des pertes de charge, variation des débits d'air neuf en fonction de l'occupation (sonde CO<sub>2</sub> ou de présence), ... ;
- ....

## 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. 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 dès lors une chaudière au gaz naturel à condensation couplée à des ventilo-convecteurs qui seront également utilisés pour véhiculer le froid. La chaudière est une solution très compétitive et la technologie est 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. Le bâtiment présente également un besoin de froid, le refroidissement est donc assuré par une machine frigorifique air/eau.





*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.*

*L'auteur peut directement exclure un mode de production s'il a le sentiment que celui-ci n'est pas réaliste. Dans le cas présenté en exemple, l'auteur pose le choix de décentraliser la production d'eau chaude sanitaire et justifie ce choix.*

Pour l'eau chaude sanitaire, étant donné le besoin faible, et pour éviter de détériorer le rendement de production de la chaudière à condensation pendant la période de non chauffage, nous considérons que la production d'eau chaude s'effectue via des petits boilers électriques placés près des points de puisage (sous évier et à côté de la douche). Il n'y a pas de production d'électricité dans le cas de base.

#### 4.1. Caractéristiques techniques et intégration

Pour chaque technologie envisagée, un pré-dimensionnement est réalisé et l'intégration technique est étudiée.

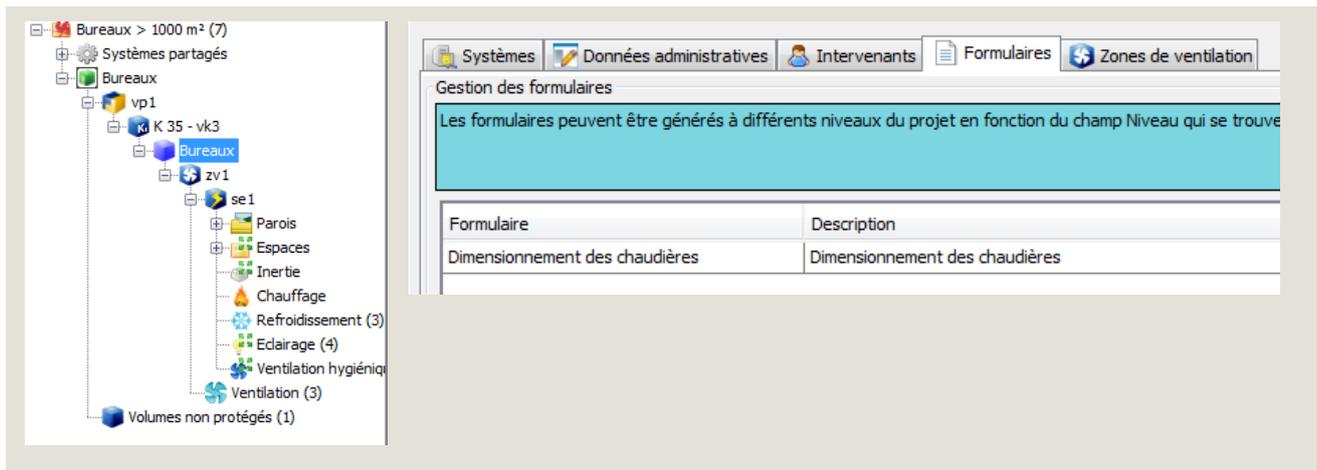
Des valeurs de rendements saisonniers de production par défaut figurent dans la base de données mise à disposition par la Région. L'auteur peut également utiliser les valeurs de la PEB ou d'une autre méthode (PACE par exemple). Cependant, il convient de ne pas utiliser des rendements trop sécuritaires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

L'espace est suffisant en sous-sol pour l'installation de la chaudière et du groupe de froid, combiné à une unité extérieure (située en toiture par exemple).

Puissance		
Chauffage	50 kW	PEB
Refroidissement	30 kW	Simulation dynamique d'une zone dans le logiciel IES VE – Module Apache load pour une journée chaude



*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.*



## 4.2. Aspects énergétiques et environnementaux

Une chaudière correctement réglée permet d'atteindre des rendements élevés et d'ainsi limiter la consommation finale. L'avantage du système air-eau pour la production de froid est sa simplicité d'installation et la possibilité d'utiliser le système en free-chilling.

L'émission est réalisée via des ventilo-convecteurs, système courant pour le chauffage et la climatisation des locaux.

Les différents rendements utilisés dans les processus de conversion énergétique sont soit des valeurs par défaut, soit des valeurs provenant du logiciel PEB, selon le matériel utilisé.

Chauffage et ECS		
<b>Production (saisonnier)</b>		
Chaudière à condensation	Rendement PCS	90%
<b>Distribution et stockage</b>		
Chauffage (sans ballon tampon)	Rendement	95%
ECS (stockage)	Rendement	90%
<b>Emission et régulation</b>		
Chauffage (ventilo-convecteur)	Rendement	89%
Refroidissement		
<b>Production (saisonnier)</b>	SEER	5
<b>Distribution - Emission - Régulation</b>	Rendement	82%

## 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 et de refroidissement considérés. Pour la solution de base, le coût de l'investissement considéré correspond typiquement au coût de la machine.

L'amortissement de l'investissement (diminution de l'impôt) est considéré dans le calcul financier mais n'est pas considéré comme une subvention.

<b>Chauffage</b>		
	<b>Montant</b>	<b>Concerne</b>
<b>Investissement (HTVA)</b>	8.500,00 €	Chaudière au gaz à condensation avec cheminée
<b>Coût de maintenance (HTVA)</b>	170,00 €	2% du coût d'investissement
<b>Subventions :</b> Chaudière gaz à condensation ou générateur d'air chaud	450,00 €	Portail Région Wallonne
<b>Eau chaude sanitaire</b>		
	<b>Montant</b>	<b>Concerne</b>
<b>Investissement (HTVA)</b>	500,00 €	Boilers décentralisés
<b>Coût de maintenance (HTVA)</b>	-	-
<b>Subventions</b>	-	-
<b>Refroidissement</b>		
	<b>Montant</b>	<b>Concerne</b>
<b>Investissement (HTVA)</b>	20.000,00 €	Groupe air/eau avec ballon tampon
<b>Coût de maintenance (HTVA)</b>	800,00 €	4 % du coût d'investissement de l'appareil
<b>Subventions</b>	-	-



*L'étude COZEB<sup>6</sup> fournit des chiffres pour les frais de maintenance et d'exploitation pour de nombreux systèmes en % du coût d'investissement.*

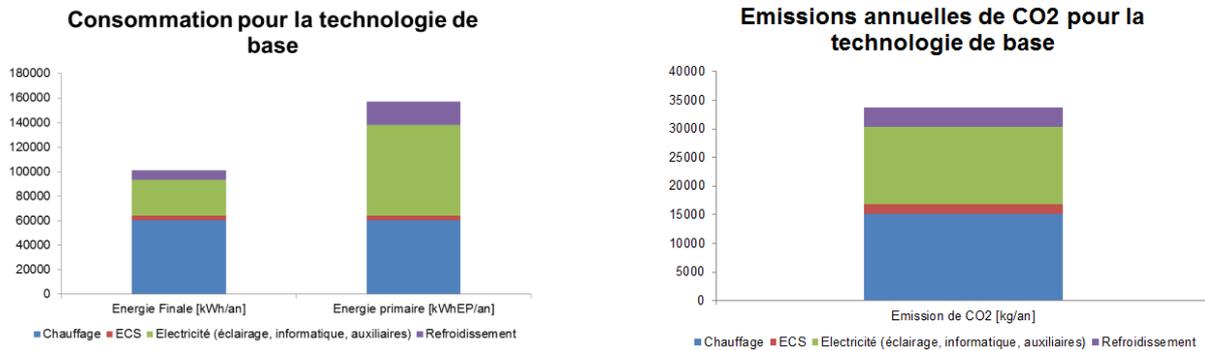
<sup>6</sup> Etude CO-ZEB, « Coût optimum », 2013, Résultat de l'étude portant sur la détermination du niveau de performance énergétique optimal en fonction des coûts conformément à la Directive 2010/31/EU. <http://energie.wallonie.be/fr/etude-co-zeb-cout-optimum.html?IDC=8012>

#### 4.4. Résultats

Les **consommations d'énergie primaire** nécessaire 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]	162.000
CO <sub>2</sub> [kg/an]	33.800

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> sont approximativement réparties de la même manière.



## 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 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. Certaines technologies, comme la pompe à chaleur, peuvent être utilisées pour plusieurs usages.

	Variantes	Technologie pertinente ?	Justification technique
Chauffage	Biomasse	Oui	Possibilité de stockage du combustible, surface du local technique suffisante, filière locale d'approvisionnement en combustible
	Pompe à chaleur Eau glycolée/eau	Oui	Surface de terrain disponible suffisante, combinaison au geocooling ou en mode réversible pour le rafraichissement des locaux
	Pompe à chaleur Air/eau	Oui	Pompe à chaleur en mode réversible, permettant de couvrir les besoins de froid également
	Réseau de chaleur	Non	Pas de réseau de chaleur urbain à proximité
	Cogénération	Non	Surface du local technique suffisante mais besoin en eau chaude sanitaire faible. Cette solution devrait être analysée en considérant un fonctionnement en période de chauffe uniquement, et la rentabilité vérifiée. La technologie avec un moteur Stirling n'est pas envisagée car la chaudière ne fonctionne que pendant la période de chauffe. Le besoin n'est pas suffisamment constant sur l'année.
ECS	Panneaux solaires thermiques	Non	Pas de cafétéria dans le bâtiment (seulement un réfectoire), présence d'une douche mais peu utilisée selon le maître d'ouvrage, donc besoin en ECS faible.
	Pompe à chaleur	Non	Idem
Refroidissement	Rafraichissement passif	Oui	Protections solaires et ouvertures des fenêtres/ou système hybride avec grilles
	Pompe à chaleur Eau glycolée/eau	Oui	Pompe à chaleur utilisée avec un geocooling ou en mode réversible
	Pompe à chaleur Air/air	Oui	Pompe à chaleur utilisée de manière réversible
Electricité	Panneaux solaires photovoltaïques	Oui	Grande surface de toiture plate sans ombrage

## 5.2. Faisabilité des solutions retenues - Chauffage

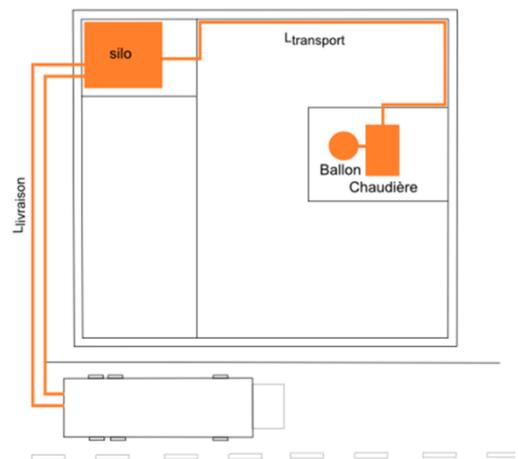
### 5.2.1. Biomasse

#### 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.

Quel que soit le combustible, le **stockage** et l'**acheminement de celui-ci** sont 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 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 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. 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 avec 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 **31 m<sup>3</sup>** de pellets par an. Sur base d'une fréquence de **2 remplissages par an**, un **volume de 15.3 m<sup>3</sup> est à prévoir**.

Dimensionnement du stockage	
Données	
Consommations [kWh/an]	93.300
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	31
Si 2 remplissages/an	15
Si 3 remplissages/an	10

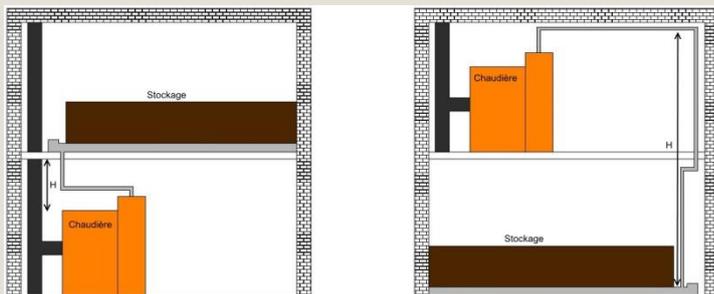
Caractéristiques techniques	
Chaudière pellets	50 kW
Volume tampon	1100 litres
Volume de stockage de granulés [m <sup>3</sup> ]	15.3 m <sup>3</sup> / 2 remplissages

Le local chaufferie (44 m<sup>2</sup> - hsp 2,5 m) prévu au sous-sol du bâtiment permet l'intégration d'une chaudière et même du stockage éventuel de pellets sous forme de silo ou d'une 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**, seules les **émissions de CO<sub>2</sub>** sont prises en considération. Les autres rejets ne sont pas chiffrés. Les rendements suivants sont considérés pour la chaudière et le système de chauffage (y compris la distribution et le stockage (ballon tampon), l'émission et la régulation).

Chauffage et ECS		
Production (saisonnier)		



Chaudière aux pellets (valeur moyenne constructeur)	Rendement PCS	77%
<b>Distribution (et stockage)</b>		
Chauffage (avec ballon tampon) – valeur PEB	Rendement	92%
<b>Emission et régulation</b>		
Chauffage (ventilo-convecteur) - valeur PEB	Rendement	89%

### Aspects financiers

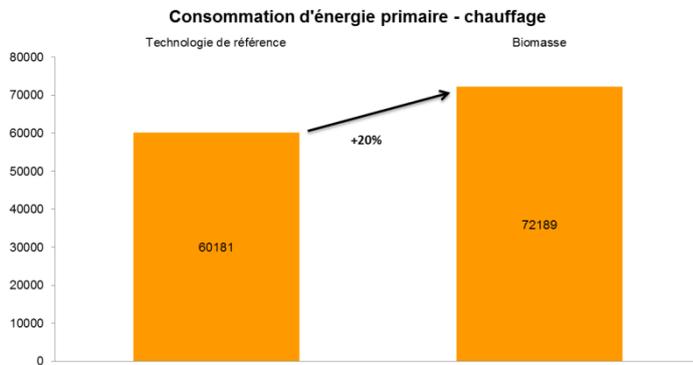
Les coûts d'investissement sont définis pour chaque solution et accompagnés d'une description de ce qu'ils comprennent. Il n'est pas nécessaire de considérer l'investissement relatif aux appareils communs avec la technologie de référence (par exemple, des radiateurs). L'auteur est cependant libre de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

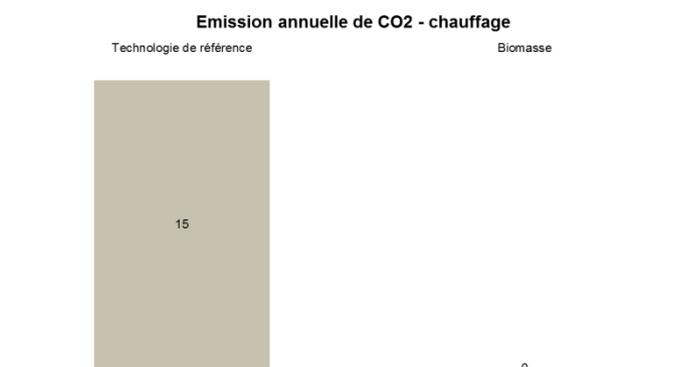
Chauffage		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (HTVA)</b>	19.000,00 €	Chaudière aux pellets, volume tampon, silo
<b>Coût annuel de maintenance (HTVA)</b>	380,00 €	Entretien de la chaudière
<b>Subventions :</b> Appareil de chauffage biomasse à alimentation automatique	17500,00 €	Portail Région Wallonne



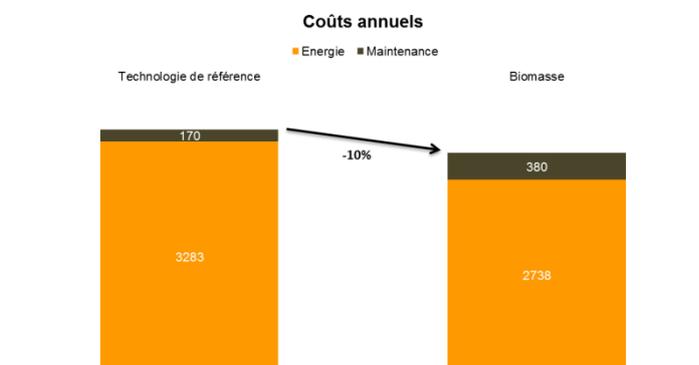
## Résultats



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 20% d'énergie primaire supplémentaire pour le chauffage et l'ECS que la chaudière au gaz à condensation.

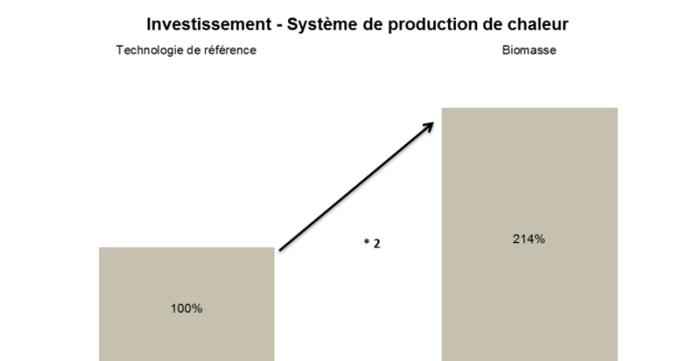


La combustion de biomasse est considérée comme neutre au niveau des émissions de CO<sub>2</sub>.



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.



L'installation coûte environ 2 fois plus cher.

En ne considérant que l'aspect financier, le temps de retour du système est supérieur à 35 ans. La VAN à 25 ans est de -5400€.

### 5.2.2. Pompe à chaleur

#### **Caractéristiques techniques et intégration**

Le COP annuel d'une installation utilisant l'air comme source froide est inférieur au COP d'une PAC tirant son énergie du sol, mais le coût d'investissement est inférieur.

#### **Geothermie**

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 totale couverte par la PAC, une puissance moyenne soutirée de 50 W/m et 2000 h de fonctionnement, il convient d'installer 10 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 d'environ 1250 litres.

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



*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.*

#### **PAC Air-eau**

Nous envisageons également le cas où une pompe à chaleur air/eau réversible est installée, permettant le fonctionnement en mode chauffage et rafraîchissement. Afin d'améliorer le coefficient de performance annuel, la PAC ne fonctionne pas pour une température extérieure inférieure à 0°C, et une chaudière au gaz à condensation est placée sur la boucle de chauffage pour prendre la relève de-deçà de cette température. La pompe à chaleur est dimensionnée pour couvrir 80 % des besoins annuels. Des systèmes de pompes à chaleur hybrides (PAC et chaudière intégré dans la même machine) sont aujourd'hui disponibles sur le marché permettant une optimisation de la relève de la chaudière sur la pompe à chaleur selon les paramètres de fonctionnement (température d'eau désirée, température extérieure) et le coût des vecteurs énergétiques (coût du gaz et de l'électricité).



### Aspects énergétiques et environnementaux

L'utilisation de fluides frigorigènes, gaz à effet 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, qui dépend lui-même 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 du projet, il convient donc de faire des hypothèses générales et représentatives.

**Pour le projet considéré**, en production de chaleur et pour la géothermie, nous considérons un facteur de performance saisonnier annuel de 4. Pour l'aérothermie, le coefficient saisonnier est inférieur mais reste bon étant donné qu'une chaudière vient en relève de la PAC pour des températures extérieures négatives. 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 (sonde verticale)	SCOP	4
Pompe à chaleur air/eau	SCOP	3.5
<b>Distribution (et stockage)</b>		
Chauffage (avec ballon tampon)	Rendement	92%
<b>Emission et régulation</b>		
Chauffage – ventilo-convecteurs	Rendement	89%

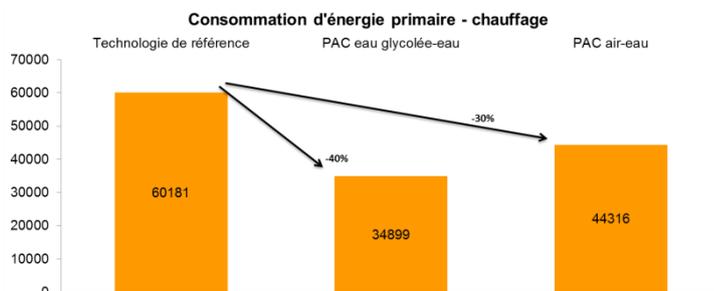
### Aspect financier

Chauffage PAC géothermique		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (HTVA)</b>	70.000,00 €	Pompe à chaleur, sondes, ballon tampon
<b>Coût annuel de maintenance (HTVA)</b>	1400,00 €	2% du coût d'investissement
<b>Subventions :</b> Chaudière gaz à condensation ou générateur d'air chaud	450,00 €	Portail de la Région wallonne
Chauffage PAC air/eau + chaudière à condensation		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (HTVA)</b>	27.900,00 €	Pompe à chaleur, ballon tampon, chaudière à condensation
<b>Coût de maintenance (HTVA)</b>	740,00 €	3% du coût d'investissement pour la PAC et 2% pour la chaudière
<b>Subventions :</b> Chaudière gaz à condensation ou générateur d'air chaud	450,00 €	Portail de la Région wallonne

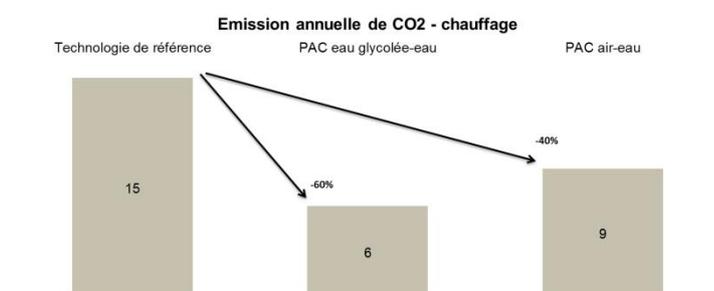


## Résultats

Seuls les résultats en terme d'énergie primaire et de CO<sub>2</sub> sont commentés. Les systèmes fonctionnant également pour la production de froid, l'analyse des coûts sera réalisée dans l'étude comparative des variantes.



La consommation en énergie primaire est environ 40 % inférieure pour la pompe à chaleur eau-glycolée/eau et 30 % pour la pompe à chaleur air/eau si on considère le mode chauffage uniquement.



Les émissions de CO<sub>2</sub> ne diminuent pas dans la même proportion selon le type de PAC envisagé. La pompe à chaleur eau glycolée-eau permet de réduire de plus de 50% les émissions de CO<sub>2</sub>.

## 5.3. Faisabilité des solutions retenues – Refroidissement

### 5.3.1. Rafrachissement passif

#### Caractéristiques techniques et intégration

Afin de favoriser le confort thermique estival, en limitant au maximum les besoins en froid du bâtiment, voire en les supprimant, il convient d'une part de limiter les apports de chaleur et d'autre part de favoriser l'évacuation de celle-ci.

La **surventilation** a pour but de créer un courant d'air permettant le remplacement de l'air chaud intérieur par de l'air frais extérieur. Lorsqu'elle est réalisée la nuit, la ventilation intensive permet également de décharger en énergie la masse du bâtiment. Le bâtiment peut alors absorber en partie les différents apports durant la journée, sans pour autant qu'il y ait surchauffe.

L'efficacité de la ventilation nocturne est influencée par les débits, la température extérieure et la masse thermique du bâtiment. Un bâtiment lourd pourra stocker plus d'énergie. Cette masse thermique doit également être accessible, raison pour laquelle les faux plafonds et faux planchers fermés ne sont pas recommandés. Il existe cependant des systèmes ajourés qui permettent la circulation de l'air au niveau des masses thermiques (dalles).

Pour lui conférer une certaine efficacité, la ventilation naturelle doit être transversale (ouvertures sur des façades opposées et/ou par la toiture) et les ouvertures suffisantes. Le système envisagé doit toutefois empêcher l'intrusion d'insectes, l'infiltration de pluie et garantir une protection contre les effractions, plus particulièrement dans le cas d'un refroidissement nocturne.

**Pour le projet considéré**, des protections solaires extérieures sont prévues sur la façade sud (protections fixes au sud ou stores extérieurs). Afin de réaliser une ventilation intensive naturelle de nuit, des grilles sont prévues en façade ainsi que des impostes motorisées intérieures permettant la traversée du bâtiment.

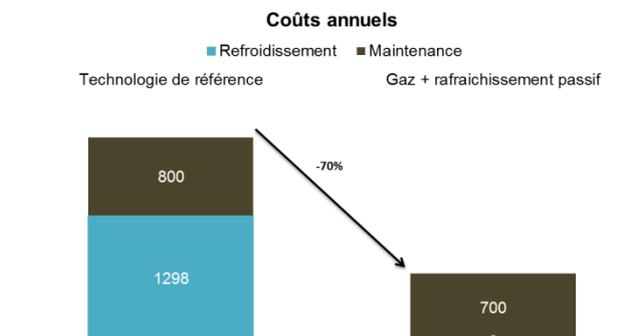
Afin de garantir une bonne gestion du confort thermique d'été, cette solution devra être étudiée au moyen d'une simulation thermique dynamique si elle est retenue dans la suite du projet.

### Aspect financier

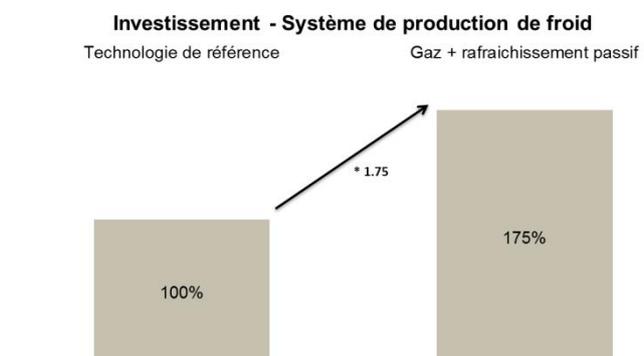
Refroidissement		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (HTVA)</b>	35.000,00 €	Protections solaires extérieures, grilles en façade et impostes motorisées dans le bâtiment
<b>Coût de maintenance (HTVA)</b>	700,00 €	Entretien des motorisations de protections solaires et/ou grilles et impostes – 2% de la valeur de l'investissement
<b>Subventions</b>	-	-

### Résultats

Les graphiques présentant l'énergie primaire consommée pour le refroidissement et les émissions de CO<sub>2</sub> ne sont pas présentés car il n'y a pas de consommation énergétique considérée dans ce cas.



Les coûts annuels de fonctionnement sont de 70% inférieurs dans le cas du rafraîchissement passif car on ne considère plus que la maintenance des systèmes de motorisation.



L'investissement est 75% plus important que pour une machine frigorifique traditionnelle.

Le TRI est de 8.9% et la VAN à 25 ans est de 3260€.

### 5.3.2. Pompe à chaleur

Certaines pompes à chaleur peuvent produire du froid, soit de manière active, soit de manière « passive ». Le **fonctionnement actif** exploite le caractère éventuellement réversible de la pompe qui fonctionne alors comme un groupe frigorifique. Le **fonctionnement passif** (« geocooling » ou « natural cooling ») refroidit le bâtiment sans passer par le groupe frigorifique. La seule consommation est alors celle des circulateurs. Le fluide disponible pour refroidir est approximativement à la température de la source froide (sol ou air extérieur.). La technique est très intéressante si le besoin de froid est limité. Elle a également l'avantage de recharger le sol en énergie pour la saison de chauffe.

#### Caractéristiques techniques et intégration

Ces aspects sont abordés dans la partie « chauffage ».

#### Aspects énergétiques et environnementaux

Refroidissement		
<b>Production (saisonnier)</b>		
Pompe à chaleur eau glycolée/eau (sonde verticale) - geocooling	SEER	20
Pompe à chaleur air/eau – mode refroidissement	SEER	3.5
<b>Distribution, stockage, émission et régulation</b>		
Valeur par défaut	Rendement	82%
<b>Production (saisonnier)</b>		

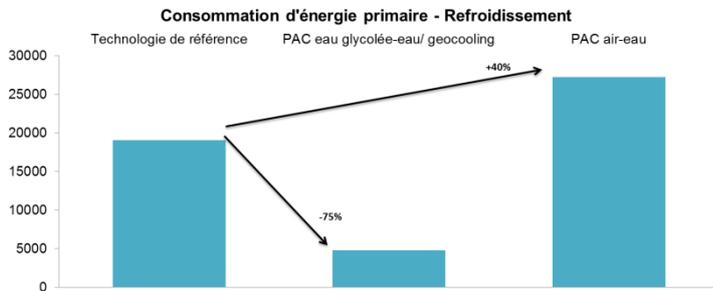
#### Aspect financier

Refroidissement PAC géothermique		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (HTVA)</b>	70.000,00 €	Pompe à chaleur, sondes, ballon tampon L'investissement doit être réparti sur la production de froid et de chaud
<b>Coût annuel de maintenance (HTVA)</b>	1400,00 €	2% du coût d'investissement
<b>Subventions</b>	-	-
Refroidissement air/eau		
	Montant	Concerne
<b>Investissement (HTVA)</b>	19.000,00 €	Pompe à chaleur L'investissement doit être réparti sur la production de froid et de chaud.
<b>Coût annuel de maintenance (HTVA)</b>	570,00 €	3% du coût d'investissement pour la PAC
<b>Subventions</b>	-	-

#### Résultats



Seuls les résultats en terme d'énergie primaire et de CO<sub>2</sub> sont commentés. Les systèmes fonctionnant également pour la production de chaud, l'analyse des coûts sera réalisée dans l'étude comparative des variantes.



On constate une réduction de 75 % de de la consommation en énergie primaire pour le fonctionnement en géocooling.

Le CO<sub>2</sub> varie dans les mêmes proportions que l'énergie primaire. Les trois technologies fonctionnant à l'électricité. Le graphique pour le CO<sub>2</sub> ayant le même profil, celui-ci n'est pas présenté.

La consommation en énergie primaire pour la PAC air-eau est plus importante que dans le cas de base car les performances de la pompe à chaleur ne sont pas « optimisées » pour la production de froid.

## 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 polycristallins. Ceux-ci ont un rendement inférieur (150 Wc/m<sup>2</sup>) aux panneaux monocristallins (200 Wc/m<sup>2</sup>) mais sont moins coûteux.

#### Surfaces de toitures disponibles

N°	Situation/orientation	Surface	Type de toiture	Remarques
1	Toiture principale / sud	500 m <sup>2</sup>	plate	Surface disponible sans ombrage



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

*Le principe de compensation n'est disponible que si la puissance de l'installation photovoltaïque est limitée à 10 kVA (limite de la grande installation).*

*Si la puissance est supérieure, il convient d'installer un compteur à double sens qui permettrait 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.*

Sur la toiture plate, il est possible de choisir l'inclinaison et l'orientation des capteurs. L'optimal pour maximiser la production spécifique est le sud avec une pente de 30 à 35°. Cependant, afin de limiter l'impact visuel des panneaux, il a été choisi d'incliner les panneaux à 15°.

Nous envisageons 2 cas de figures :

- Limitation de l'installation à 10 kVA
- Dimensionnement sur base de la surface maximale de toiture disponible

Cas 1- 10 kVA

La **production totale** pour l'année, estimée au moyen de l'outil *PVGis*, est de **8920 kWh**. Les hypothèses de calcul considérées ainsi que les résultats sont présentés ci-dessous. La production spécifique annuelle est d'environ 890 kWh/kWc.an. La surface de panneaux est d'environ 64 m<sup>2</sup>, soit 40 panneaux. La surface disponible sur la toiture est largement suffisante pour l'implantation de ces panneaux.

**PV estimation**    Radiation mensuelle    Radiation journalière    PV hors-réseau

**Performance du système PV connecté au réseau**

Base de données de radiation: Climate-SAF PVGIS [Qu'est-ce que c'est?]

Technologie PV: Silicium cristallin

Puissance PV crête installée 10 kWp

Pertes estimées du système [0;100] 14 %

**Options montage fixé:**

Position de montage: Position libre

Inclin. [0;90] 15 deg.  Optimiser l'inclinaison

Azimut [-180;180] 0 deg.  Optimiser aussi l'azimut

(Angle d'azimut de -180 à 180. Est=-90, sud=0)

**Options du système de poursuite:**

Axe vertical    Inclin. [0;90] 0 deg.  Optimiser

Axe incliné    Inclin. [0;90] 0 deg.  Optimiser

Suiveur solaire à 2 axes

Fichier de l'horizon: Choisissez un fichier    Aucun fichier choisi

**Formats de sortie**

Montrer graphiques     Montrer l'horizon

Site web     Fichier texte     PDF

**Calculer**    [aide]

re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalc.php

**Performance du système PV connecté au réseau**

REMARQUE: avant d'employer ces calculs pour sérieux but, vous devriez lire [ce]

**PVGIS estimation de la production d'électricité solaire**

Site: 50°37'57" Nord, 5°34'46" Est,Élévation: 69 m.s.n.m.

Base de données de radiation solaire employée: PVGIS-CMSAF

Puissance nominale du système PV: 10.0 kW (silicium cristallin)

Pertes estimées à cause de la température et des niveaux faibles de rayonnement: 7.4% (employons température ambiante locale)

Pertes estimées à cause des effets de la réflectance angulaire: 3.5%

D'autres pertes (câble, onduleur, etc.): 14.0%

Pertes conjuguées du système PV: 23.2%

**Système fixe: inclinaison=15°, orientation=0°**

Mois	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	8.05	249	0.99	30.6
Fev	13.00	363	1.59	44.6
Mar	23.30	723	2.91	90.2
Avr	36.00	1080	4.62	139
Mai	38.60	1200	5.09	158
Juin	41.80	1250	5.60	168
Jui	38.00	1180	5.14	159
Aug	33.50	1040	4.49	139
Sep	27.10	812	3.53	107
Oct	17.80	551	2.27	70.3
Nov	9.45	284	1.18	35.4
Dec	6.32	196	0.78	24.3
<b>Moyenne annuelle</b>	<b>24.5</b>	<b>744</b>	<b>3.19</b>	<b>97.1</b>
<b>Total pour l'année</b>		<b>8920</b>		<b>1160</b>

$E_d$ : Production d'électricité journalière moyenne par le système défini (kWh)

$E_m$ : Production d'électricité mensuelle moyenne par le système défini (kWh)

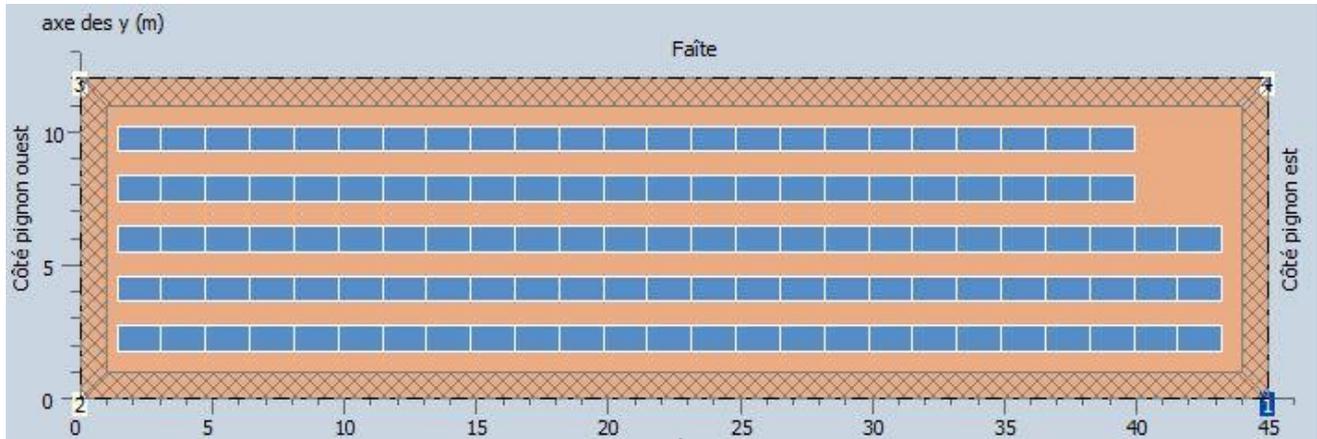
$H_d$ : Moyenne journalière de la somme de l'irradiation globale par mètre carré reçue par les modules du système défini (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$ : Somme moyenne de l'irradiation globale par mètre carré reçue par les modules du système défini (kWh/m<sup>2</sup>)



### Cas 2- Surface maximale

Une seconde simulation a été réalisée en considérant la surface maximale de capteurs sans ombrage sur la toiture. La puissance correspondante est de 24 kWc pour une surface de capteurs de 200 m<sup>2</sup>, soit environ 120 capteurs répartis comme le montre la figure ci-dessous.



Le calcul a été réalisé dans le logiciel *PV-Sol Expert 5.0*. Les résultats sont présentés ci-dessous. L'énergie annuelle produite est de 20.650 kWhél. Dans le cas de base, il est également nécessaire de considérer l'électricité consommée par la production de froid. Par ailleurs, afin de bénéficier des certificats verts, il est nécessaire d'auto-consommer 60 % au moins de l'électricité produite.

Caractéristiques énergétiques PV-Sol [kWh]	
Énergie PV produite	20 643
Énergie revendue	7 563
Utilisation directe de l'énergie PV	13 080
Énergie achetée pour compenser le besoin	27 927

### Aspect financier

Solaire photovoltaïque		
	Montant	Concerne
Investissement (HTVA)	2,28 € / Wc	-
Coût annuel de maintenance (HTVA) Cas 2	500,00 €	Contrôle par un organisme agréé pour les grandes installations
Subventions Qualiwatt Certificats verts	999,00 €/an 3 CV-MWh	Plafond annuel pendant 5 ans Nous considérons des panneaux assemblés

65,00 € pendant 15 ans | dans l'espace économiques européen.

## Résultats

Dans le **cas 1**, la production d'électricité permet d'économiser 22.300 kWh/an d'énergie primaire, soit presque 14 % de la consommation annuelle totale d'énergie primaire du bâtiment. Cela permet également d'éviter l'émission de 4t<sub>CO<sub>2</sub></sub>, soit environ 12 % de l'émission totale de CO<sub>2</sub> induite par le fonctionnement du bâtiment.

L'économie est proportionnelle à la quantité de panneaux installés. Dans le **cas 2**, l'économie d'énergie primaire par rapport au cas de base est de 34 % et l'économie de CO<sub>2</sub> est de 30 %.

Cas	Economie énergie primaire kWh/an	Emissions de CO <sub>2</sub> évitées kg/an	Temps de retour dynamique [an]	VAN 25 ans [€]	TRI [%]
1	22.300	4.100	21	1.700	8
2	51.600	9.400	17	5.240	7

Le temps de retour pour le **cas 1** est de 21 ans car le plafond de la prime qualiwatt est calculé pour une installation de 3kWc. La prime n'est pas suffisante pour garantir un temps de retour inférieur à 10 ans pour une installation de cette taille. Dans le second cas, l'auto-consommation est d'environ 60%. Le prix de revente de l'électricité étant 4 fois inférieur au prix d'achat en cas de réinjection sur le réseau, il est plus difficile de rentabiliser l'investissement en moins de 10 ans. Le temps de retour serait de 12 ans si l'entièreté était auto-consommée.

## 6. Etude comparative

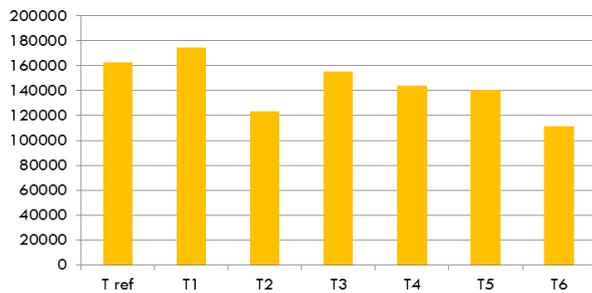
Ce chapitre a pour mission de comparer de manière succincte les différentes combinaisons proposées ci-dessous :

- **T0 - Technologie traditionnelle de base** : chaudière au gaz à condensation et groupe de froid air/eau ;
- **T1 - Biomasse** : chaudière aux pellets et groupe de froid air/eau ;
- **T2 - PAC eau glycolée/eau** : pompe à chaleur géothermique avec échangeur vertical et rafraichissement via geocooling ;
- **T3 - PAC air/eau réversible** ;
- **T4 - Gaz + rafraichissement passif** : chaudière au gaz à condensation et gestion des surchauffes via une ventilation intensive nocturne et protections solaires ;
- **T5 - Technologie de référence + PV ( cas 1 )** : chaudière au gaz à condensation et groupe de froid air/eau + 10 kWc de panneaux photovoltaïques ;
- **T6 - Technologie de référence + PV ( cas 2 )** : chaudière au gaz à condensation et groupe de froid air/eau + 24.2 kWc de panneaux photovoltaïques ;

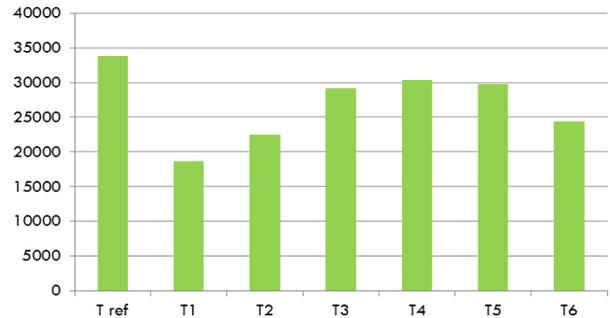
La comparaison est d'abord effectuée sur base non financière afin de chiffrer la « qualité » de la mesure. Pour chaque scénario étudié, les consommations en énergie primaire et émissions de CO<sub>2</sub> pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité (domestique et auxiliaires pompes et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



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

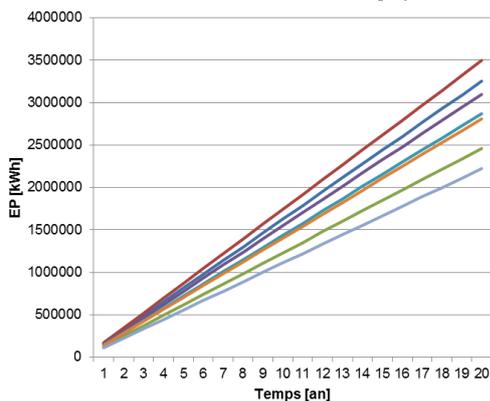


**Emission annuelle de CO<sub>2</sub> [kg/an]**

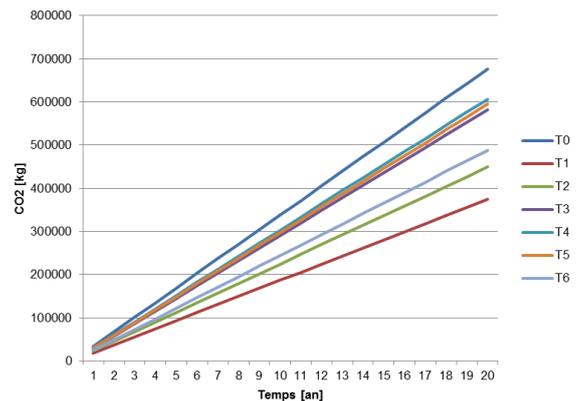


Les consommations en énergie primaire et émissions de CO<sub>2</sub> pourraient être illustrées de manière cumulée sur la durée de vie des systèmes. Cela permettrait d'illustrer la perte de rendement de certains systèmes au cours du temps (par exemple, la diminution de rendement des systèmes photovoltaïques)

**Evolution de la consommation d'énergie primaire**



**Evolution de la production de CO<sub>2</sub>**



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 45 kWh/m<sup>2</sup>an<sup>7</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.

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

<sup>7</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>

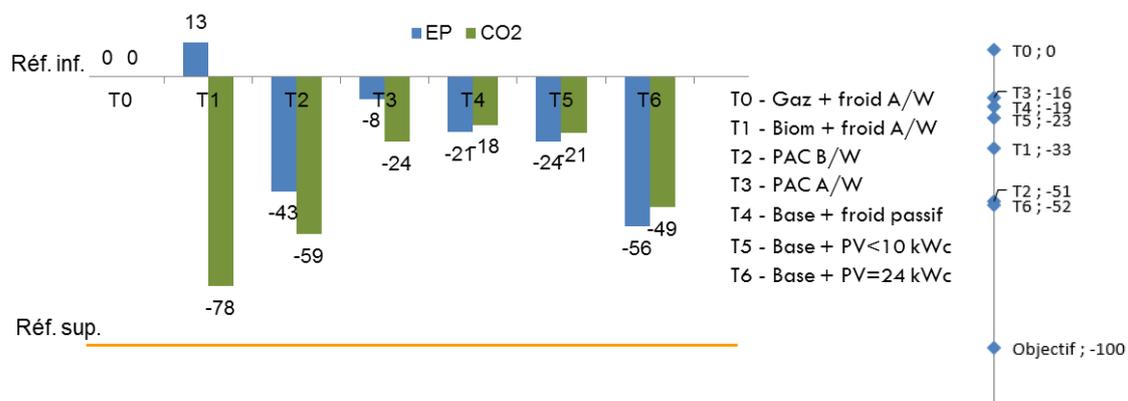
- **E<sub>prim,inf</sub> : 176 kWh/m<sup>2</sup>an** correspondant à l'énergie primaire totale consommée pour la technologie T0 (technologie de base, traditionnelle) ;  
**E<sub>prim,obj</sub> : 76 kWh/m<sup>2</sup>an**, soit une réduction de 57% par rapport à la référence inférieure. Cette valeur est obtenue en sommant la valeur de consommation d'énergie primaire pour le chauffage, le refroidissement, l'éclairage et l'électricité auxiliaire des pompes et ventilateurs (moins une éventuelle production d'électricité) pour un bâtiment tertiaire très performant, soit 45 kWh/m<sup>2</sup>an, aux consommations électriques non considérées par cet indicateur (autres que l'éclairage et les auxiliaires), à savoir 31 kWh/m<sup>2</sup>an.
- **CO<sub>2,inf</sub> : 37 kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an** correspondant aux émissions de CO<sub>2</sub> pour la technologie T1 ;  
**CO<sub>2,sup</sub> : 15.6 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an**. Cette valeur est obtenue en sommant la valeur de consommation d'émission de CO<sub>2</sub> pour un bâtiment tertiaire très performant, soit 10 kg/m<sup>2</sup>an, aux émissions non considérées par cet indicateur (équipement bureautique, ECS, etc), soit 5.6 kgCO<sub>2</sub>/an/m<sup>2</sup>.



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.

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.



L'analyse de ces résultats est la suivante :

- La technologie biomasse (T1) présente un profil différent dû aux facteurs de conversion utilisés pour l'énergie primaire et le CO<sub>2</sub>. 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 au fait que la chaudière biomasse a un rendement inférieur à celui de la chaudière au gaz à condensation, la consommation en énergie finale est donc supérieure pour la biomasse. Considérant que le facteur de conversion en énergie primaire est le même pour le gaz et la biomasse dans la réglementation PEB, la consommation en énergie primaire pour la biomasse est supérieure.
- Les technologies T2 et T6 donnent des résultats similaires. La tendance est la même pour les technologies T3, T4 et T5.

On peut évaluer « la qualité » de chacun des scénarios envisagés en réalisant une somme pondérée des valeurs des indicateurs ci-dessus. Le poids de ces indicateurs est le même (0.5) 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>.



*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 et considérant l'investissement initial et les primes éventuelles.

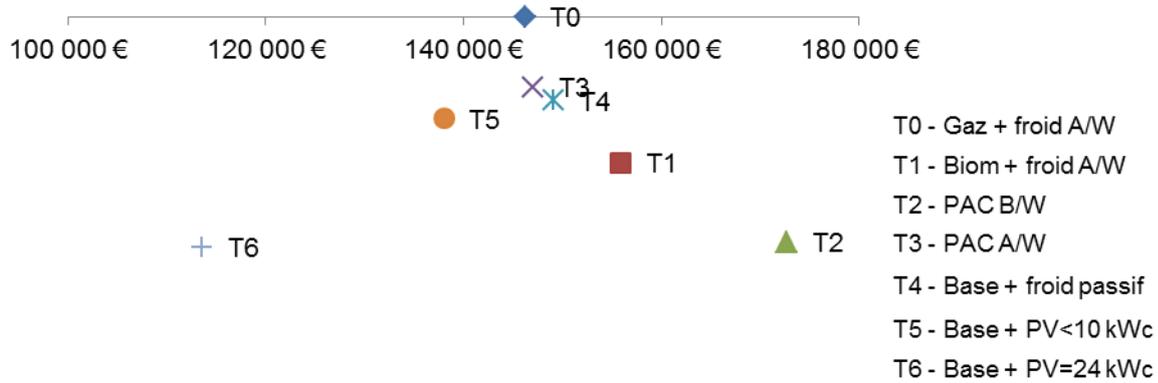
	Coûts annuels énergie cumulés sur 10 ans (y compris indexation énergie) [€]	Coûts annuels maintenance cumulés sur 10 ans (y compris inflation) [€]	Investissement [€]	Gains (Certificats verts, Quali watt et amortissement de l'investissement) [€]	Total [€]
<b>T0</b>	117 659 €	10 621 €	28 550 €	-10 675 €	146 200 €
<b>T1</b>	111 420 €	16 425 €	37 750 €	-9 704 €	155 900 €
<b>T2</b>	96 109 €	15 330 €	70 000 €	-8 734 €	172 700 €
<b>T3</b>	119 075 €	8 103 €	27 550 €	-7 763 €	147 000 €
<b>T4</b>	102 775 €	9 526 €	43 550 €	-6 793 €	149 100 €
<b>T5</b>	100 250 €	10 621 €	51 350 €	-24 194 €	138 000 €
<b>T6</b>	89 690 €	16 096 €	83 300 €	-75 439 €	113 600 €

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. On remarque que les cas **T2** et **T6** ont une qualité similaire mais le scénario T2 est 50 % plus coûteux que la référence.

Les technologies **T3** et **T4** coûtent environ le même prix que la technologie de référence et sont de qualité similaire. Il faudrait introduire d'autres indicateurs que ceux utilisés afin de « départager » ces technologies.

Si on ne tient pas compte du coût d'investissement, la technologie **T6** (technologie de référence avec production importante photovoltaïque) est la plus intéressante, car moins coûteuse sur 10 ans, et plus qualitative, car c'est celle qui se rapproche le plus de l'objectif visé, à savoir une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et de consommation en énergie primaire.

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



### Objectif



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.

