



# Étude de Faisabilité technique, environnementale et économique

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

## Bâtiments simples (<1000 m<sup>2</sup>)

*Rapport Étude de Faisabilité « Habitation 2 »*

*Scénario 1*

*27-10-2022*

*établi par le logiciel EF V 2.0 mis à disposition gratuite par le Service public de Wallonie, Département de l'énergie et du bâtiment durable (\*)*

*(\*) Les auteurs d'étude de faisabilité et les responsables PEB utilisent le logiciel sous leur propre responsabilité ; malgré le soin apporté à sa conception, le SPW ne peut garantir que son usage assure l'acceptation de l'étude de faisabilité par les autorités chargées de son contrôle.*

### **Données administratives du projet**

Nom du projet: Habitation 2

Adresse: , Rue de la Chaussée

Localité: 7971 Thumaide

Numéro de dossier RWPEB: RWPEB-144062

## Table des matières

<b>Table des matières</b> . . . . .	<b>2</b>
<b>Etude de faisabilité</b> . . . . .	<b>4</b>
<b>1. Description du projet</b> . . . . .	<b>4</b>
<b>2. Présentation du bâtiment</b> . . . . .	<b>4</b>
<b>3. Besoins énergétiques du bâtiment</b> . . . . .	<b>6</b>
<b>4. Hypothèses</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>5. Description des technologies</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>6. Analyse de pertinence</b> . . . . .	<b>8</b>
<b>7. Caractéristiques techniques des systèmes étudiés</b> . . . . .	<b>10</b>
<b>8. Résultats</b> . . . . .	<b>17</b>
<b>8.1 Analyse énergétique</b> . . . . .	<b>17</b>
<b>8.2 Analyse environnementale</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>8.3 Analyse économique</b> . . . . .	<b>20</b>
<b>9. Conclusions de l'auteur de l'étude quant au choix des technologies qu'il propose de retenir</b> . . . . .	<b>21</b>
<b>10. Annexes</b> . . . . .	<b>22</b>

**Identité, coordonnées et références d'agrément (numéro AEF) (numéro RPEB)**

EnergyTech Engineering sprl

M Delcampe Maxime

Rue de la terre à briques, 29C

7522 Marquain

**Identité et coordonnées du déclarant PEB :**

CRT Construction sprl

M Sobota M

Chemin d'Éole, 14A

7900 Leuze-en-Hainaut

**Identité et coordonnées de l'architecte :**

Bureau d'architecture Oraes sprl

Mme Ghislain / M Opsomer

Résidence des Groseilliers, 7

7321 Blaton

**Identité et coordonnées du responsable PEB :**

EnergyTech Engineering sprl

M Delcampe Maxime

Rue de la terre à briques, 29C

7522 Marquain

## Etude de faisabilité

La présente étude est établie conformément aux prescriptions du Décret cadre 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, 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;
- pompes à chaleur;
- réseau de chaleur;
- cogénération.
- combinaison solaire thermique et photovoltaïque.
- combinaison solaire thermique et pompes à chaleur.
- combinaison solaire thermique et biomasse.
- combinaison photovoltaïque et pompes à chaleur.
- combinaison photovoltaïque et biomasse.

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 les résultats et conclusions obtenus.

### **1. Description du projet**

Construction de 6 habitations La présente étude de faisabilité concerne les 3 maisons avec un pignon libre côté gauche (valeurs de la maison 2). Les maisons étant presque similaires, les résultats peuvent être généralisés aux 3 maisons. Chauffage par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur air / eau associé à un chauffage par le sol pour l'ensemble du bâtiment. Production d'eau chaude sanitaire par l'intermédiaire de la pompe à chaleur air / eau. Ventilation double flux avec récupération de chaleur à haut rendement

### **2. Présentation du bâtiment**

Le bâtiment est un bâtiment neuf ou assimilé à du neuf, présentant 1 unité(s) dont la destination est Résidentielle (et une ou plusieurs unités « Communs » éventuelles).

#### Caractéristiques du bâtiment

Type de toiture	toiture inclinée
Surface brute de toiture (m <sup>2</sup> )	40
Ach* (m <sup>2</sup> )	143
Nombre d'occupants*	4
Volume protégé total* (m <sup>3</sup> )	443
Surface totale de déperditions* (m <sup>2</sup> )	290

#### Indicateurs PEB

Niveau Ew**	45
Niveau E spec** (kWh/m <sup>2</sup> .an)	78
Niveau K	29

\* dans le cas d'un immeuble présentant plusieurs unités, les valeurs renseignées sont les valeurs globales pour le bâtiment.

\*\* dans le cas d'un immeuble présentant plusieurs unités, les valeurs du tableau indiquées pour les indicateurs PEB sont des moyennes pondérées (sur la surface chauffée), calculées par le logiciel. Elles ne sont pas donc pas directement extraites des données .xml PEB.

		Entrée utilisateur	Unité
<b>Paramètres financiers</b>	Taux de TVA appliqué à l'investissement dans le système de production d'énergie	21	%
	Subsides solaire thermique	0	€
	Subsides photovoltaïque	0	€
	Subsides pompe à chaleur	0	€
	Subsides biomasse	0	€
<b>Consommation d'électricité</b>	Consommation d'électricité extraite des données PEB + estimation de la consommation des électroménagers des bâtiments résidentiels	4000	kWh
<b>Bâtiment</b>	Affectation du bâtiment	Résidentielle	-
	Toiture	toiture inclinée	-
	Surface maximale brute de toiture	40	m <sup>2</sup>
	Estimation de l'ombrage sur la toiture	10	%
	Surface du local technique	8	m <sup>2</sup>
	Y a-t-il un besoin d'ECS durant les mois de mai à septembre ?	oui	-

	Nombre de douches dans le bâtiment	1	-
	Nombre de salles de bain dans le bâtiment	1	-
	Méthode d'estimation de la consommation d'ECS	nombre d'occupants (7j/7)	-
	Nombre d'occupants du bâtiment	4	pers
	Niveau de consommation individuel	40	l/pers.j
<b>Terrain environnant</b>	Surface de terrain disponible	420.0	m <sup>2</sup>
	Type de sol	Sablonneux sec	-
	Emplacement pour unité extérieure (PAC)	Disponible	-
	Avez-vous connaissance de l'existence d'un réseau de chaleur localisé à moins de 500 m (à vol d'oiseau) du bâtiment projeté?	oui	-
	Volume disponible pour le stockage de combustible	8	m <sup>3</sup>
	Distance de transport entre le stockage de granulés et la chaudière	2	m
	Distance entre le stockage et la zone de livraison	5	m
	Différence de hauteur entre le stockage de granulés et la chaudière	0	m

### 3. Besoins énergétiques du bâtiment

Les besoins énergétiques du bâtiment proviennent soit de la PEB, soit d'une évaluation du logiciel EF sur base des données entrées par l'utilisateur.

#### Besoins nets de chaleur (kWh/an)

Chauffage	5521	PEB
ECS	2377	Calcul EF
<b>TOTAL CHAUD</b>	<b>7898</b>	

#### Besoins nets de refroidissement (kWh/an)

Refroidissement	321	PEB
<b>TOTAL FROID</b>	<b>321</b>	

#### Consommation électrique totale (kWh/an)

Eclairage	221	calcul EF
Electroménager	2400	calcul EF
Auxiliaires	1379	PEB

Froid	143	PEB
<b><u>TOTAL ELECTRICITE pour 1 unité</u></b>	<b>4143</b>	

La consommation due à l'éclairage et à l'électroménager équivaut à 2621 kWh/an, en considérant que 90% des lampes installées sont munies d'ampoules économiques. La consommation des électroménagers est estimée selon les hypothèses suivantes:

- lessiveuse: 2.03 kWh par cycle;
- sèche-linge: 6.53 kWh par cycle;
- lave-vaisselle: 2.45 kWh par cycle;
- 275 kWh pour l'ensemble des équipements de cuisine (four, cuisinière, frigo, congélateur) et des appareils en veille dans les pièces de vie;
- La consommation des autres appareils électriques est négligée.

Dans le logiciel EF, la consommation électrique liée à l'éclairage et à l'électroménager est augmentée de 20% pour tenir compte de la présence d'équipements audiovisuels et informatiques,... Ce facteur est déjà inclus dans la valeur affichée dans le tableau ci-dessus.

#### **4. Hypothèses**

Les différentes hypothèses concernant les paramètres financiers, énergétiques, environnementaux, et techniques sont présentés en annexe.

#### **5. Description des technologies**

##### **Chaudière à pellets**

La chaudière à pellets fonctionne globalement comme une chaudière traditionnelle avec une alimentation en combustible automatisée. Les granulés de bois brûlés, appelés également pellets, sont principalement issus du compactage de résidus de scierie. La chaleur produite par la combustion est transmise au fluide caloporteur du circuit de chauffage (souvent de l'eau) et éventuellement à un ballon d'eau chaude sanitaire.

La combustion du bois produit des cendres. La plupart des systèmes sur le marché proposent le nettoyage automatique et l'évacuation des cendres vers un bac qui doit être vidé deux à trois fois par an. Les granulés de bois doivent être certifiés selon une norme du type DIN plus et stockés dans une réserve propre et sèche (silo de stockage).

##### **Pompe à chaleur**

Le principe d'une pompe à chaleur est de transférer, via un cycle frigorifique fonctionnant grâce à un appoint mécanique (moteur électrique le plus souvent), l'énergie contenue dans une « source froide » gratuite (soit le milieu où l'énergie est captée) vers un autre milieu (source chaude). Le COP (ou coefficient de performance) d'une pompe à chaleur représente le rapport entre la quantité d'énergie thermique produite à la sortie du système et la quantité d'énergie électrique fournie à la pompe. Un COP de 3 signifie donc que pour 1 kWh (électrique) fourni à la pompe à chaleur, il y a 3 kWh (thermique) disponibles en sortie. D'un point de vue énergétique, cette technologie est donc très intéressante si elle n'avait le désavantage de fonctionner en général à l'électricité du réseau qui est produite et transportée avec un rendement généralement faible (de l'ordre de 30 % à 40 %).

Il existe différentes technologies fonction de la source où l'énergie est captée (air/sol/eau) et du mode de restitution de la chaleur à l'intérieur d'un bâtiment (chauffage par l'air ou l'eau).

**La pompe à chaleur sol-eau** utilise le sol comme source froide. L'échangeur de chaleur horizontal consiste en un ou plusieurs circuits d'eau glycolée enterrés à une profondeur entre 1,2 et 1,5 m. La surface du capteur dépend des besoins de chaleur à couvrir et du type de sol.

Le système transmet la chaleur à l'eau du circuit de chauffage constitué d'émetteurs basse température (plancher chauffant, ventilo-convecteur).

**Dans le cas de la pompe à chaleur air-eau**, l'énergie est captée dans l'air extérieur. Le système transmet la chaleur à l'eau du circuit de chauffage constitué d'émetteurs basse température (plancher chauffant, ventilo-convecteur).

### **Réseau de chaleur**

Un réseau de chaleur fonctionne comme un circuit de chauffage central mais à l'échelle du quartier. Chaque bâtiment est raccordé au réseau via une sous-station équipée d'un échangeur de chaleur qui transfère la chaleur aux installations de chauffage et d'ECS du bâtiment.

### **Cogénération**

La cogénération est la production simultanée de chaleur et d'électricité.

L'installation est dimensionnée sur la base de la demande en chaleur. On parle de « cogénération de qualité » si une économie de 10 % de CO<sub>2</sub> est réalisée par rapport aux émissions de CO<sub>2</sub> d'une chaudière et d'une centrale électrique qui produiraient les mêmes quantités de chaleur et d'électricité.

### **Panneaux solaires thermiques**

Un ou plusieurs capteurs solaires thermiques sont utilisés pour capter l'énergie lumineuse du rayonnement solaire et la transmettre à un fluide caloporteur. Il existe différents types de capteurs (absorbeur, capteurs plans vitrés et capteurs à tubes sous vide).

### **Solaire photovoltaïque**

Les panneaux photovoltaïques sont constitués de cellules photovoltaïques qui produisent du courant continu à partir du rayonnement solaire. Ce courant est ensuite transformé en courant alternatif conforme au réseau par un onduleur.

Plusieurs technologies sont disponibles: monocristallins, polycristallins, amorphes ou en « couches minces ».

## **6. Analyse de pertinence**

Le système de production d'énergie « traditionnel » utilisé comme référence dans la comparaison comporte un(e) Pompe à chaleur pour le chauffage des locaux et un(e) Pompe à chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire.

La production de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire est effectuée de manière combinée.

Les technologies de production d'énergie renouvelable pour lesquelles un pré-dimensionnement chiffré ne se justifie pas sont rejetées sur base des arguments techniques résumés ci-dessous.

Les variantes sont analysées indépendamment l'une de l'autre et selon l'usage, à savoir chauffage, ECS, refroidissement et production d'électricité. Certaines technologies, comme la pompe à chaleur, peuvent avoir plusieurs finalités.

- technologies pertinentes, faisant l'objet d'un pré-dimensionnement indicatif, ainsi que d'une analyse économique, environnementale et énergétique.
- technologies potentiellement intéressantes mais devant faire l'objet d'une analyse complémentaire afin de vérifier leur pertinence.
- technologies non pertinentes pour le scénario considéré.

### Solaire thermique

- La toiture semble être de taille suffisante et inclinée de manière optimale (dans le cas d'une toiture inclinée) pour accueillir des panneaux solaires thermiques et assurer une couverture solaire de 60% des besoins en ECS. Ces derniers sont suffisamment importants et constants pour justifier l'installation d'un système solaire thermique. La taille du local technique semble également être suffisamment grande.

### Photovoltaïque:

- La toiture semble être de taille suffisante et inclinée de manière optimale (dans le cas d'une toiture inclinée) pour accueillir des panneaux solaires photovoltaïques

### Pompes à chaleur:

- Le type d'émetteurs considérés permet l'utilisation d'une **pompe à chaleur classique** (basse température). Un stockage d'eau chaude et un ballon d'eau morte sont/doivent être installés pour assurer un fonctionnement optimal. La taille du local technique semble appropriée pour accueillir les différents composants de la pompe à chaleur.
  - **Pompe à chaleur sol (eau glycolée) - eau** : la surface de terrain disponible semble suffisante pour extraire assez de puissance pour alimenter la pompe à chaleur.
  - **Pompe à chaleur air - eau**: Un emplacement extérieur est disponible pour permettre l'installation de l'unité extérieure de la pompe à chaleur.
- **Pompe à chaleur air - air**:
  - Une pompe à chaleur air-air ne peut pas servir à la production combinée de chauffage et d'ECS.

### Chaudière à pellets:

- Le local prévu pour le stockage des pellets semble approprié, tant en termes de taille que de distance par rapport à la chaudière, de facilité d'accès pour la livraison ou de différence de hauteur entre la chaudière et le stockage. La surface du local technique semble suffisante pour accueillir une chaudière à pellets et son ballon de stockage ou d'eau morte.

### Poêle à pellets:

- L'utilisation d'un poêle à pellets nécessite des besoins en chaleur du bâtiment suffisamment faibles (<10W/m<sup>2</sup>) pour garantir le confort dans toutes les pièces de vie.

### Réseau de chaleur:

- Un réseau de chaleur distant de moins de 500 m a été identifié. La connexion à ce réseau peut s'avérer intéressante, en particulier si le bâtiment s'inscrit dans un développement plus important (quartier, site, lotissement,...). **A noter** : La puissance disponible sur le

- réseau est un paramètre déterminant, de même que le type de combustible utilisé pour produire la chaleur, qui détermine le caractère durable du réseau.

#### **Cogénération:**

- Le besoin en chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire) est à priori insuffisant pour justifier l'installation d'une cogénération dans le cadre du projet encodé dans l'outil. A titre indicatif, la cogénération est généralement intéressante à partir d'un besoin en chaleur supérieur à 20 000 kWh/an.

### **7. Caractéristiques techniques des systèmes étudiés**

Les dimensionnements de la solution de référence ainsi que des différentes technologies renouvelables étudiées sont reprises au tableau ci-dessous.

<b>Technologie de base</b>	
Générateur de chaleur (chauffage)	Chaudière à condensation
Vecteur	Mazout
Puissance	4 kW
Rendement (sur PCS)	284
Rendement de distribution, émission et stockage	85
Production de chaleur pour le chauffage et l'ECS	Combinée
Générateur de chaleur (ECS)	Même chaudière que pour le chauffage
Rendement de production, distribution et stockage	59
<b>Chauffe-eau solaire</b>	
Surface optique de capteurs (m <sup>2</sup> )	3.3
Estimation du nombre de capteurs solaires thermiques correspondant (-)	2
Volume de stockage solaire (litres)	200
Inclinaison des capteurs (°)	35
Orientation des capteurs	est
Fraction solaire utile (-)	0.60
% de surface utile de la toiture couverte par les capteurs solaires thermiques	9
<b>Panneaux photovoltaïques</b>	
Puissance du système (kWc)	5.0
Surface estimée des panneaux (m <sup>2</sup> )	32.3
% de surface utile de la toiture couverte par les panneaux PV	81
Inclinaison des capteurs (°)	35
Orientation des capteurs	est
<b>Pompe à chaleur sol (eau glycolée) - eau</b>	
COP <sub>test</sub> dans les conditions B0/W35	4.3
Puissance de la pompe à chaleur sol (eau glycolée) - eau (kW)	4.3 (dans les conditions B0/W35)

Coefficient de performance saisonnier - SPF (sans la résistance électrique éventuelle)	3.58
Pourcentage de couverture (besoins) de la résistance électrique	20
Volume tampon (litres)	80
Surface de capteur géothermique (m <sup>2</sup> )	416
<b>Pompe à chaleur air - eau</b>	
COP <sub>test</sub> dans les conditions A2/W35	3.1
Puissance de la pompe à chaleur air - eau (kW)	4 (dans les conditions A2/W35)
Coefficient de performance saisonnier - SPF (sans la résistance électrique éventuelle)	3.11
Pourcentage de couverture (besoins) de la résistance électrique	20
Volume tampon (litres)	80
<b>Chaudière biomasse</b>	
Puissance de la chaudière à pellets (kW)	4
Rendement (sur PCS, en %)	92
Volume tampon (litres)	184
Stockage de combustible (m <sup>3</sup> )	3.4 (pour 1 remplissage annuel)
<b>Surface de capteurs solaires thermiques</b>	
Surface optique de capteurs ST (m <sup>2</sup> )	3.3
Estimation du nombre de capteurs solaires thermiques correspondant (-)	2
Volume de stockage solaire (litres)	200
Inclinaison des capteurs ST (°)	35
Orientation des capteurs ST	est
Fraction solaire utile (-)	0.60
% de surface utile de la toiture couverte par les capteurs solaires thermiques	9
Puissance du système (kWc)	5.0
Surface estimée des panneaux PV (m <sup>2</sup> )	32.3
% de surface utile de la toiture couverte par les panneaux PV	81
Inclinaison des capteurs PV (°)	35
Orientation des capteurs PV	est
<b>Pompe à chaleur sol (eau glycolée) - eau + ST</b>	
COP <sub>test</sub> dans les conditions B0/W35	4.3
Puissance de la pompe à chaleur sol (eau glycolée) - eau (kW)	4 (dans les conditions B0/W35)
Coefficient de performance saisonnier - SPF (sans l'impact de la résistance électrique éventuelle)	3.58
Pourcentage de couverture (besoins) de la résistance électrique	20

Volume tampon (litres)	80
Surface de capteur géothermique (m <sup>2</sup> )	416
Surface optique de capteurs ST (m <sup>2</sup> )	3.3
Estimation du nombre de capteurs solaires thermiques correspondant (-)	2
Volume de stockage solaire (litres)	200
Inclinaison des capteurs (°)	35
Orientation des capteurs	est
Fraction solaire utile (-)	0.60
% de surface utile de la toiture couverte par les capteurs solaires thermiques	9
<b>Pompe à chaleur air - eau + ST</b>	
COP <sub>test</sub> dans les conditions A2/W35	3.1
Puissance de la pompe à chaleur air - eau (kW)	4 (dans les conditions A2/W35)
Coefficient de performance saisonnier - SPF (sans l'impact de la résistance électrique éventuelle)	3.11
Pourcentage de couverture (besoins) de la résistance électrique	20
Volume tampon (litres)	80
Surface optique de capteurs ST (m <sup>2</sup> )	3.3
Estimation du nombre de capteurs solaires thermiques correspondant (-)	2
Volume de stockage solaire (litres)	200
Inclinaison des capteurs (°)	35
Orientation des capteurs	est
Fraction solaire utile (-)	0.60
% de surface utile de la toiture couverte par les capteurs solaires thermiques	9
<b>Chaudière biomasse + ST</b>	
Puissance de la chaudière à pellets (kW)	4
Rendement (sur PCS, en %)	92
Volume tampon (litres)	184
Stockage de combustible (m <sup>3</sup> )	3.4 (pour 1 remplissage annuel)
Surface optique de capteurs ST (m <sup>2</sup> )	3.3
Estimation du nombre de capteurs solaires thermiques correspondant (-)	2
Volume de stockage solaire (litres)	200
Inclinaison des capteurs (°)	35
Orientation des capteurs	est
Fraction solaire utile (-)	0.60
% de surface utile de la toiture couverte par les capteurs solaires thermiques	9
<b>Pompe à chaleur sol (eau glycolée) - eau + PV</b>	

COP <sub>test</sub> dans les conditions B0/W35	4.3
Puissance de la pompe à chaleur sol (eau glycolée) - eau (kW)	4.3 (dans les conditions B0/W35)
Coefficient de performance saisonnier - SPF (sans l'impact de la résistance électrique éventuelle)	3.58
Pourcentage de couverture (besoins) de la résistance électrique	20
Volume tampon (litres)	80
Surface de capteur géothermique (m <sup>2</sup> )	416
Puissance du système PV (kWc)	5.0
Surface estimée des panneaux (m <sup>2</sup> )	32.3
% de surface utile de la toiture couverte par les panneaux PV	81
Inclinaison des capteurs (°)	35
Orientation des capteurs	est
<b>Pompe à chaleur air - eau + PV</b>	
COP <sub>test</sub> dans les conditions A2/W35	3.1
Puissance de la pompe à chaleur air - eau (kW)	Puissance 4 (dans les conditions A2/W35)
Coefficient de performance saisonnier (sans l'impact de la résistance électrique éventuelle) - SPF	3.11
Pourcentage de couverture (besoins) de la résistance électrique	20
Volume tampon (litres)	80
Puissance du système PV (kWc)	5.0
Surface estimée des panneaux (m <sup>2</sup> )	32.3
% de surface utile de la toiture couverte par les panneaux PV	81
Inclinaison des capteurs (°)	35
Orientation des capteurs	est
<b>Chaudière Biomasse + PV</b>	
Puissance de la chaudière à pellets (kW)	4
Rendement (sur PCS, en %)	92
Volume tampon (litres)	184
Stockage de combustible (m <sup>3</sup> )	3.4 (pour 1 remplissage annuel)
Puissance du système PV (kWc)	5.0
Surface estimée des panneaux (m <sup>2</sup> )	32.3
% de surface utile de la toiture couverte par les panneaux PV	81
Inclinaison des capteurs (°)	35
Orientation des capteurs	est

Solaire thermique		Photovoltaïque		PAC sol-eau		PAC air-eau		Chaudière à pellets	
<b>Bilan énergétique</b>		<b>Bilan énergétique</b>		<b>Bilan énergétique</b>		<b>Bilan énergétique</b>		<b>Bilan énergétique</b>	
Production solaire annuelle nette (kWh/an)	1426.0	Production d'électricité verte (kWh/an)	4166.0	Energie primaire économisée par rapport à la référence (kWh/an)	782.0	Energie primaire économisée par rapport à la référence (kWh/an)	-186.0	Energie primaire économisée par rapport à la référence (kWh/an)	-749.0
Production spécifique (kWh/m².an)	446.0	Production spécifique (kWh/kWc)	794.0						
Economie de mazout (l/an)	1686.0	Energie primaire économisée par rapport à la référence (kWh/an)	10416.0						
Energie primaire économisée par rapport à la référence (kWh/an)	1686.0								
<b>Bilan économique</b>		<b>Bilan économique</b>		<b>Bilan économique</b>		<b>Bilan économique</b>		<b>Bilan économique</b>	
Investissement (€, hors TVA, hors subsides)	4935	Investissement (€, hors TVA, hors subsides)	7365.0	Investissement (€, hors TVA, hors subsides)	10373	Investissement (€, hors TVA, hors subsides)	8287	Investissement (€, hors TVA, hors subsides)	9746
Taux de rentabilité interne (%)	0.0	Coût d'investissement spécifique (€/kWc, hors TVA, hors subsides)	1461.0	Taux de rentabilité interne (%)	0	Taux de rentabilité interne (%)	0	Taux de rentabilité interne (%)	0.0
Temps de retour simple (années)	supérieur à 20 ans	Taux de rentabilité interne (%)	12.2	Temps de retour simple (années)	supérieur à 20 ans	Temps de retour simple (années)	supérieur à 20 ans	Temps de retour simple (années)	supérieur à 20 ans
Valeur actualisée nette (€)	-4563	Temps de retour simple (années)	7.9	Valeur actualisée nette (€)	-9590	Valeur actualisée nette (€)	-9247	Valeur actualisée nette (€)	-3469
La période de calcul pour la valeur actualisée nette (années)	20	Valeur actualisée nette (€)	6906.0	La période de calcul pour la valeur actualisée nette (années)	20	La période de calcul pour la valeur actualisée nette (années)	20	La période de calcul pour la valeur actualisée nette (années)	20
		La période de calcul pour la valeur actualisée nette (années)	20.0						
<b>Bilan environnemental</b>		<b>Bilan environnemental</b>		<b>Bilan environnemental</b>		<b>Bilan environnemental</b>		<b>Bilan environnemental</b>	
CO2 économisé par rapport à la référence (kg/an)	425.0	CO2 économisé par rapport à la référence (kg/an)	1154.0	CO2 économisé par rapport à la référence (kg/an)	1538.0	CO2 économisé par rapport à la référence (kg/an)	1431.0	CO2 économisé par rapport à la référence (kg/an)	2471.0

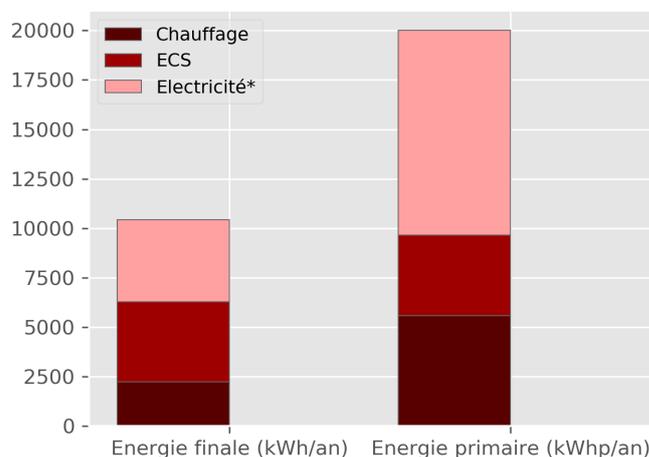
ST + PV		ST + PAC sol-eau		ST + PAC air-eau		ST + chaudière à pellets		PV + PAC sol-eau		PV + PAC air-eau		PV + chaudière à pellets	
Bilan énergétique		Bilan énergétique		Bilan énergétique		Bilan énergétique		Bilan énergétique		Bilan énergétique		Bilan énergétique	
Production solaire annuelle nette (kWh/an)	1426.0	Production solaire annuelle nette (kWh/an)	1426.0	Production solaire annuelle nette (kWh/an)	1426.0	Production solaire annuelle nette (kWh/an)	1426.0	Production d'électricité verte (kWh/an)	4563.0	Production d'électricité verte (kWh/an)	4563.0	Production d'électricité verte (kWh/an)	4166.0
Production spécifique (kWh/m².an)	446.0	Production spécifique (kWh/m².an)	446.0	Production spécifique (kWh/m².an)	446.0	Production spécifique (kWh/m².an)	446.0	Production spécifique (kWh/kWc)	794.0	Production spécifique (kWh/kWc)	794.0	Production spécifique (kWh/kWc)	794.0
Economie de mazout (l/an)	1686.0	Energie primaire économisée (ST+PAC) par rapport à la référence (kWh/an)	2468.0	Energie primaire économisée (ST+PAC) par rapport à la référence (kWh/an)	1500.0	Energie primaire économisée (ST+biomasse) par rapport à la référence (kWh/an)	936.0	Energie primaire économisée (PV+PAC) par rapport à la référence (kWh/an)	1219.0	Energie primaire économisée (PV+PAC) par rapport à la référence (kWh/an)	1122.0	Energie primaire économisée (PV+biomasse) par rapport à la référence (kWh/an)	9666.0
Production d'électricité verte (kWh/an)	4166.0												
Production spécifique (kWh/kWc)	794.0												
Energie primaire économisée (ST+PV) par rapport à la référence (kWh/an)	1211.0												
Bilan économique		Bilan économique		Bilan économique		Bilan économique		Bilan économique		Bilan économique		Bilan économique	
Investissement brut (ST+PV) (€, hors subsides)	12299.0	Investissement brut (ST+PAC) (€, hors subsides)	15308	Investissement brut (ST+PAC) (€, hors subsides)	13222	Investissement brut (ST+biomasse) (€, hors subsides)	14681	Investissement brut (PV+PAC) (€, hors subsides)	18637.0	Investissement brut (PV+PAC) (€, hors subsides)	16551.0	Investissement brut (PV+biomasse) (€, hors subsides)	17111.0
Taux de rentabilité interne (%)	6.6	Taux de rentabilité interne (%)	0	Taux de rentabilité interne (%)	0	Taux de rentabilité interne (%)	0.0	Taux de rentabilité interne (%)	3.3	Taux de rentabilité interne (%)	3.3	Taux de rentabilité interne (%)	7.6

Temps de retour simple (années)	11.6	Temps de retour simple (années)	supérieur à 20 ans	Temps de retour simple (années)	supérieur à 20 ans	Temps de retour simple (années)	supérieur à 20 ans	Temps de retour simple (années)	15.0	Temps de retour simple (années)	15.0	Temps de retour simple (années)	10.8
Valeur actualisée nette (€)	2343.0	Valeur actualisée nette (€)	-14153	Valeur actualisée nette (€)	-13810	Valeur actualisée nette (€)	-8032	Valeur actualisée nette (€)	-2292.0	Valeur actualisée nette (€)	-1949.0	Valeur actualisée nette (€)	3438.0
La période de calcul pour la valeur actualisée nette (années)	20.0	La période de calcul pour la valeur actualisée nette (années)	20	La période de calcul pour la valeur actualisée nette (années)	20	La période de calcul pour la valeur actualisée nette (années)	20	La période de calcul pour la valeur actualisée nette (années)	20.0	La période de calcul pour la valeur actualisée nette (années)	20.0	La période de calcul pour la valeur actualisée nette (années)	20.0
<b>Bilan environnemental</b>		<b>Bilan environnemental</b>		<b>Bilan environnemental</b>		<b>Bilan environnemental</b>		<b>Bilan environnemental</b>		<b>Bilan environnemental</b>		<b>Bilan environnemental</b>	
CO2 économisé (ST+PV) par rapport à la référence (kg/an)	1579.0	CO2 économisé (ST+PAC) par rapport à la référence (kg/an)	1963.0	CO2 économisé (ST+PAC) par rapport à la référence (kg/an)	1856.0	CO2 économisé (ST+biomasse) par rapport à la référence (kg/an)	2896.0	CO2 économisé (PV+PAC) par rapport à la référence (kg/an)	2802.0	CO2 économisé (PV+PAC) par rapport à la référence (kg/an)	2695.0	CO2 économisé (PV+biomasse) par rapport à la référence (kg/an)	3626.0

## 8. Résultats

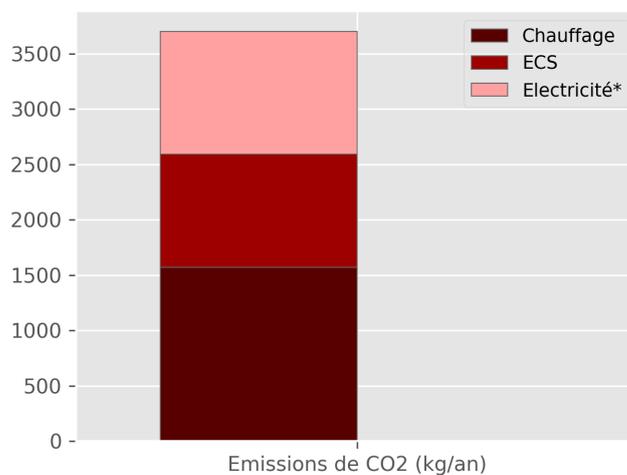
Les **consommations d'énergie primaire** nécessaires peuvent être estimées ainsi que les **émissions globales de CO<sub>2</sub>** associées.

### Consommation pour la technologie de référence



\*éclairage, électroménager, auxiliaires, froid éventuel

### Emissions de CO<sub>2</sub> annuelles pour la technologie de référence



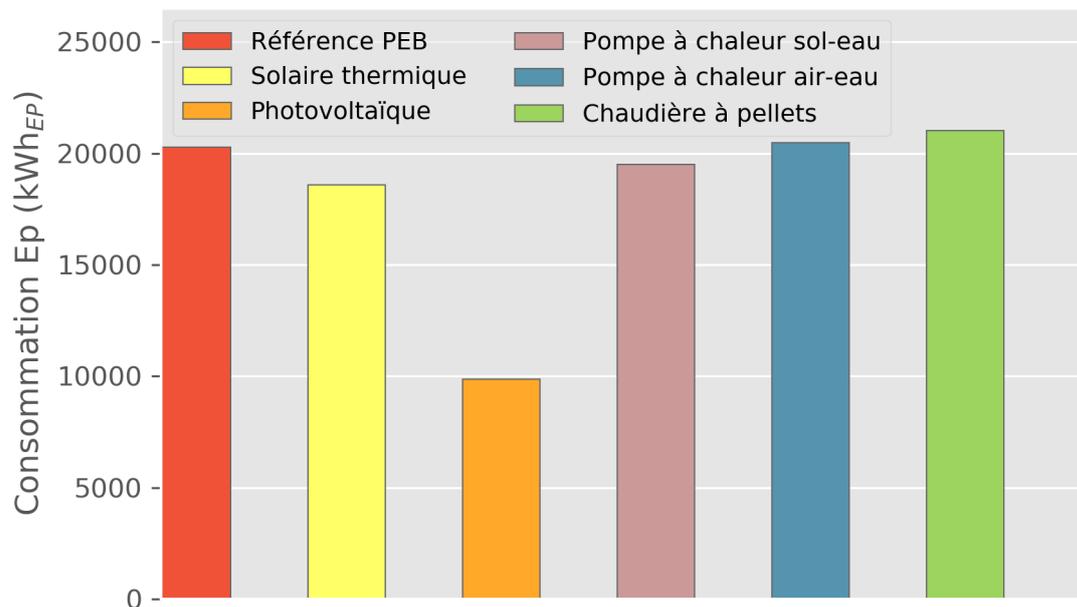
\*éclairage, électroménager, auxiliaires, froid éventuel

Le tableau ci-dessous reprend les résultats de bilans environnementaux, économiques et énergétiques de la solution de référence et des différentes technologies renouvelables étudiées

### 8.1 Analyse énergétique

#### Technologies seules

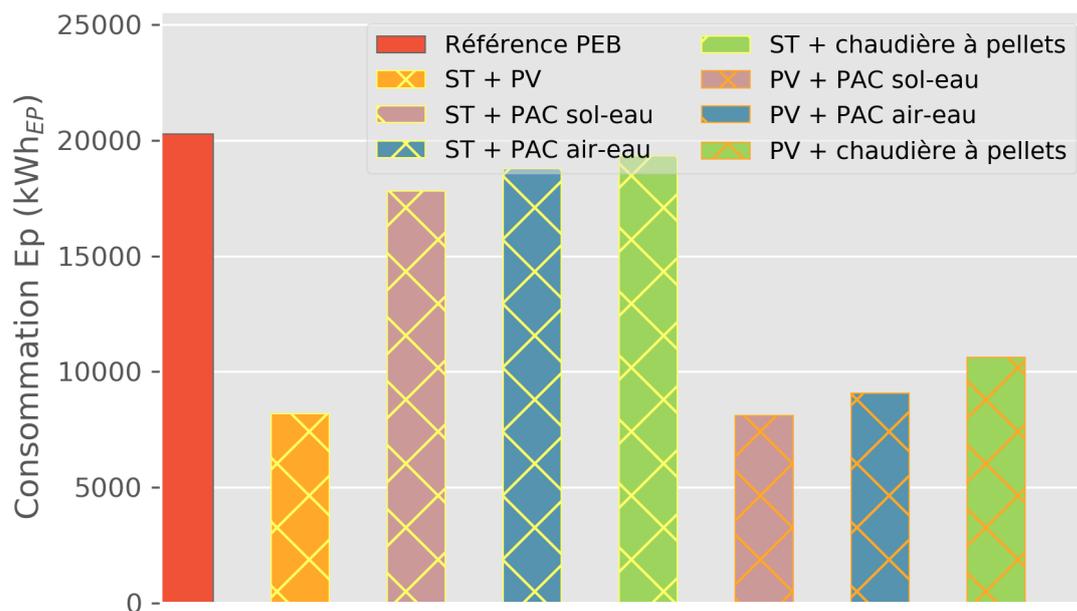
La consommation globale en énergie primaire (chauffage, ECS, refroidissement, auxiliaires, éclairage et électroménager) est illustrée pour chacune des technologies sur le graphique suivant.



Plus la valeur obtenue pour la situation avec énergie renouvelable est inférieure à la valeur de référence, plus la consommation en énergie primaire économisée est importante.

### Technologies combinées

La consommation globale en énergie primaire (chauffage, ECS, refroidissement, auxiliaires, éclairage et électroménager) est illustrée pour chaque combinaison de technologies choisie sur le graphique suivant.

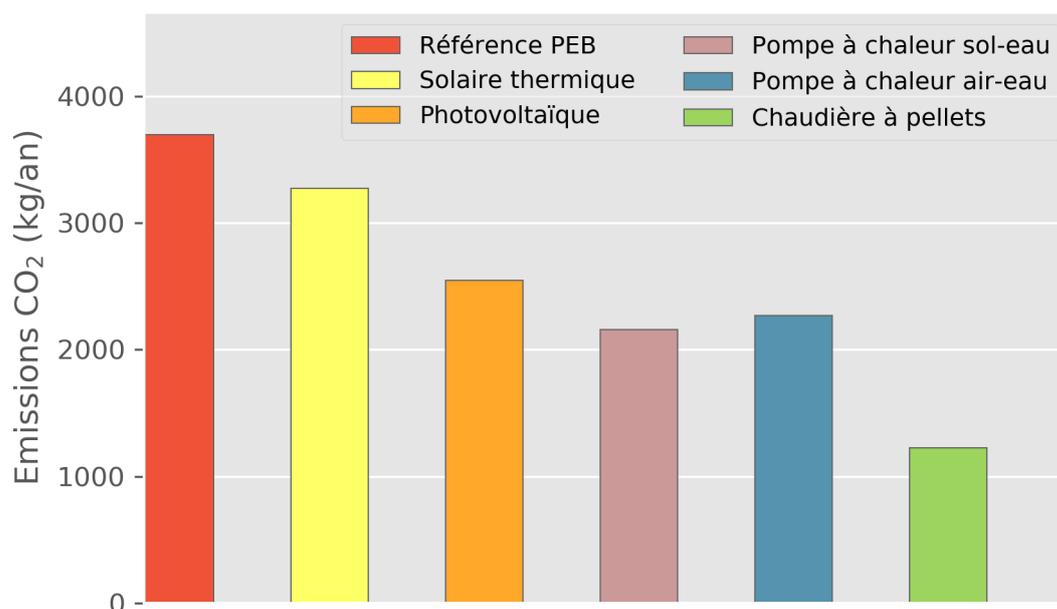


Plus la valeur obtenue pour la situation avec énergie renouvelable est inférieure à la valeur de référence, plus la consommation en énergie primaire économisée est importante.

## 8.2 Analyse environnementale

### Technologies seules

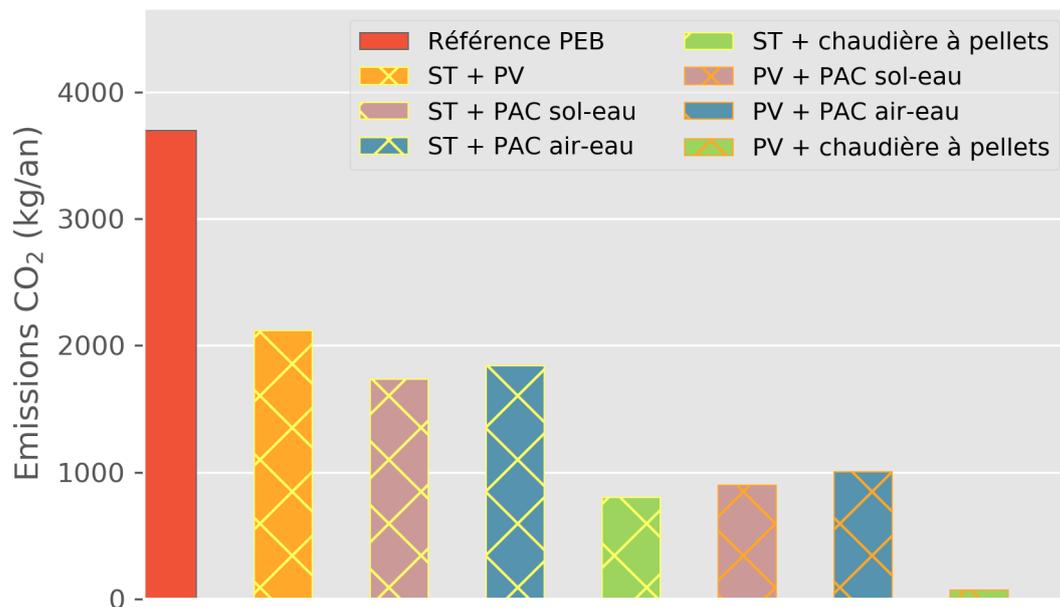
Les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> pour le chauffage, l'ECS, le refroidissement, les auxiliaires, l'éclairage et l'électroménager sont illustrées pour chacune des technologies sur le graphique suivant.



Plus l'écart entre la référence et le scénario avec énergie renouvelable est important, plus les émissions de CO<sub>2</sub> évitées sont importantes

### Technologies combinées

Les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> pour le chauffage, l'ECS, le refroidissement, les auxiliaires, l'éclairage et l'électroménager sont illustrées pour chacune des combinaisons de technologies choisies sur le graphique suivant.



Plus l'écart entre la référence et le scénario avec énergie renouvelable est important, plus les émissions de CO<sub>2</sub> évitées sont importantes

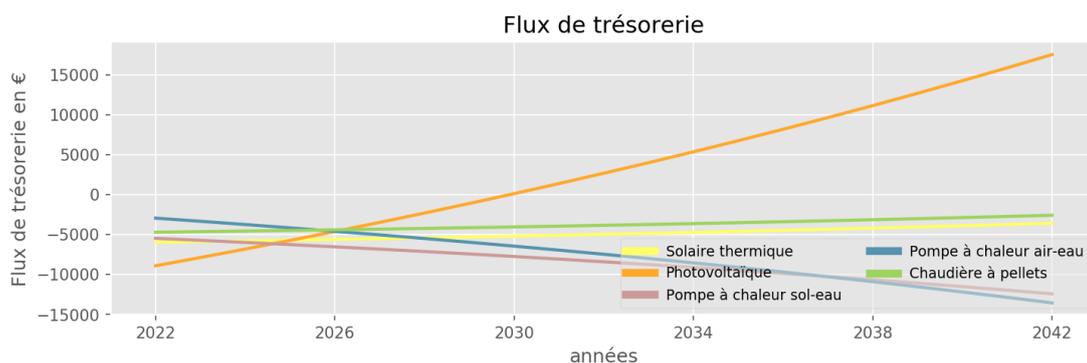
### 8.3 Analyse économique

#### Technologies seules

	Investissement (€ TVAC, subsides déduits)	Frais opérationnels (€ TVAC)	TRS (ans)	VAN (€) sur 20 ans	TRI (%)
Référence	7078	106	-	-	-
Solaire thermique	5971	30	supérieur à 20 ans	-4563	0.0
Solaire photovoltaïque	8911	67	7.9	6906	12.2
Pompe à chaleur sol-eau	12551	63	supérieur à 20 ans	-9590	0
Pompe à chaleur air-eau	10028	100	supérieur à 20 ans	-9247	0
Chaudière à pellets	11793	177	supérieur à 20 ans	-3469	0.0

Le logiciel présente des **graphiques financiers relatifs**. Cela signifie que:

- lorsque le producteur de chaleur est remplacé (pompes à chaleur et biomasse), le coût d'investissement correspond à un surcoût: le coût de la technologie étudiée, moins celui de la technologie de référence
- lorsque le producteur de chaleur est conservé (solaire thermique et photovoltaïque), le coût d'investissement correspond uniquement à celui de la technologie étudiée



### Technologies combinées

	Investissement (€ TVAC, subsides déduits)	Frais opérationnels (€ TVAC)	TRS (ans)	VAN (€) sur 20 ans	TRI (%)
Référence	7078	106	-	-	-
ST + PV	14882	-97	11.6	2343	6.6
Pompe à chaleur sol-eau + ST	18522	-93	supérieur à 20 ans	-14153	0
Pompe à chaleur air-eau + ST	15998	-130	supérieur à 20 ans	-13810	0
Chaudière à pellets + ST	17764	-207	supérieur à 20 ans	-8032	0.0
Pompe à chaleur sol-eau + PV	22551	-138	15.0	-2292	3.3
Pompe à chaleur air-eau + PV	20027	-175	15.0	-1949	3.3
Chaudière à pellets + PV	20704	-244	10.8	3438	7.6

## **9. Conclusions de l'auteur de l'étude quant au choix des technologies qu'il propose de retenir**

Sur base des différentes technologies étudiées, les conclusions de l'auteur de l'étude de faisabilité sont les suivantes:

La solution de la pompe à chaleur est retenue afin d'assurer le chauffage, ainsi que la production d'eau chaude sanitaire, du bâtiment. En ce qui concerne le photovoltaïque, cette solution n'est pas retenue à ce stade mais permettrait de diminuer la facture énergétique du bâtiment. Le solaire thermique ainsi que la chaudière à biomasse sont des alternatives qui ne sont pas retenues.

Signature de l'auteur de l'Etude de Faisabilité

Signature du déclarant PEB



## 10. Annexes

Hypothèses propres au bâtiment	Valeurs de la base de données	Valeurs utilisateur	Justification
Besoin net en chauffage (kWh)	5521		
Rendement d'émission du système de chauffage individuel	0.89		
Rendement d'émission du système de chauffage collectif	0.85		
Estimation du coût du système d'émission (hydraulique) (€)	0.00		
Estimation du coût du système de distribution hydraulique (€)	0.00		
Rendement de distribution du système de chauffage (dans le volume protégé)	1.00		
Rendement de distribution du système de chauffage (hors volume protégé)	0.95		
Rendement de stockage du chauffage (dans le volume protégé)	1.00		
Rendement de stockage du chauffage (hors volume protégé)	0.97		
<b>Paramètres financiers généraux</b>			
Période d'évaluation pour le résidentiel (années)	20		
Période d'évaluation pour le non-résidentiel (années)	20		

Taux d'actualisation pour le résidentiel (-)	5.0		
Taux d'actualisation pour le non-résidentiel (-)	6.5		
Taux d'inflation applicable à tous les coûts hors énergie (-)	2.0		
Evolution du prix de l'électricité (-)	3.0		
Evolution du prix de l'électricité injectée sur le réseau (-)	3.0		
Evolution du prix du gaz (-)	3.0		
Evolution du prix du propane (-)	3.0		
Evolution du prix du pellet (-)	3.0		
Evolution du prix du mazout (-)	3.0		
<b>Prix de l'énergie</b>			
Prix de l'électricité (€ HTVA/kWh)	0.2181		
Prix de l'électricité injectée sur le réseau (€ HTVA/kWh)	0.0450		
Prix du gaz (€ HTVA/kWh)	0.0537		
Prix du propane (€ HTVA/kWh)	0.0570		
Prix du pellet (€ HTVA/kWh)	0.0421		
Prix du mazout (€ HTVA/l)	0.6109		
<b>Facteurs de conversion en kWh</b>			
Facteur de conversion en kWh pour le mazout (kWh/l)	10.78		
<b>Coefficients d'émission de CO<sub>2</sub></b>			
Emissions de CO <sub>2</sub> liée à la production d'électricité (kg CO <sub>2</sub> /kWh <sub>p</sub> )	0.111		
Emissions de CO <sub>2</sub> liée à la combustion du gaz naturel (kg CO <sub>2</sub> /kWh <sub>p</sub> )	0.182		

Emissions de CO <sub>2</sub> liée à la combustion du propane (kg CO <sub>2</sub> /kWh <sub>p</sub> )	0.221		
Emissions de CO <sub>2</sub> liées à la combustion du mazout (kg CO <sub>2</sub> /kWh <sub>p</sub> )	0.252		
Emissions de CO <sub>2</sub> liées à la combustion de pellets (kg CO <sub>2</sub> /kWh <sub>p</sub> )	0.011		
<b>Facteurs de conversion en énergie primaire</b>			
Facteur de conversion en énergie primaire pour l'électricité (-)	2.5		
Facteur de conversion en énergie primaire pour le gaz naturel (-)	1.0		
Facteur de conversion en énergie primaire pour le propane (-)	1.0		
Facteur de conversion en énergie primaire pour le mazout (-)	1.0		
Facteur de conversion en énergie primaire pour la biomasse (pellets) (-)	1.0		
<b>Solaire thermique</b>			
Surface brute de capteur (m <sup>2</sup> )	2.5		
Rendement de production du capteur solaire thermique plan vitré (-)	0.5		
Hauteur angulaire du soleil pour éviter l'ombrage entre deux rangées de capteurs (°)	20		
Coût de maintenance (% du coût d'investissement)	0.5		
Durée de vie du système solaire thermique dans le résidentiel (ans)	20		
Durée de vie du système solaire thermique dans le tertiaire (ans)			
<b>Photovoltaïque</b>			
Irradiation solaire moyenne sur une surface orientée sud et inclinée à 35° (kWh/m <sup>2</sup> .an)	1166		

Seuil de puissance en-dessous duquel le principe de compensation s'applique (kWc)	10.0		
Taille d'un module PV standard (m <sup>2</sup> )	1.60		
Ratio de performance du système PV (-)	82.0		
Hauteur angulaire du soleil pour éviter l'ombrage entre deux rangées de panneaux (°)	17.0		
Inclinaison par défaut considérée pour un toit plat (°)	15.0		
Coût de maintenance (% du coût d'investissement)	0.8		
Durée de vie du système solaire photovoltaïque dans le résidentiel (ans)	20		
Durée de vie du système solaire photovoltaïque dans le tertiaire (ans)	25		
<b>Pompe à chaleur sol-eau</b>			
Coût de maintenance d'une PAC sol (eau glycolée)-eau dans le résidentiel (% du coût d'investissement)	0.5		
Coût de maintenance d'une PAC sol (eau glycolée)-eau dans le tertiaire (% du coût d'investissement)	0.5		
Durée de vie d'une PAC sol (eau glycolée)-eau dans le résidentiel (ans)	20		
Durée de vie d'une PAC sol (eau glycolée)-eau dans le tertiaire (ans)	20		
COP <sub>test</sub> dans les conditions B0/W35	4.30		
COP dans les conditions B0/W45	3.50		
COP dans les conditions B0/W55	2.80		

<b>Pompe à chaleur air-eau</b>			
Coût de maintenance d'une PAC air-eau dans le résidentiel (% du coût d'investissement)	1.0		
Coût de maintenance d'une PAC air-eau dans le tertiaire (% du coût d'investissement)	1.0		
Durée de vie d'une PAC air-eau dans le résidentiel (ans)	20		
Durée de vie d'une PAC air-eau dans le tertiaire (ans)	20		
COP <sub>test</sub> dans les conditions A2/W35	3.10		
COP dans les conditions A2/W45	2.60		
COP dans les conditions A2/W55	1.68		
<b>Pompe à chaleur air-air</b>			
Coût de maintenance d'une PAC air-air dans le résidentiel (% du coût d'investissement)	1.0		
Coût de maintenance d'une PAC air-air dans le tertiaire (% du coût d'investissement)	1.0		
Durée de vie d'une PAC air-air dans le résidentiel (ans)	20		
Durée de vie d'une PAC air-air dans le tertiaire (ans)	20		
COP dans les conditions A2/A20	3.20		
<b>Biomasse</b>			
Coût de maintenance (% du coût d'investissement)	1.5		
Durée de vie d'une chaudière à pellets dans le résidentiel (ans)	20		
Durée de vie d'un poêle à pellets dans le résidentiel (ans)	20		

Durée de vie d'une chaudière à pellets dans le tertiaire (ans)	25		
Durée de vie d'un poêle à pellets dans le tertiaire (ans)	25		
Rendement de production (PCS) de la chaudière à pellets pour le chauffage (-)	0.92		
Rendement de production (PCS) du poêle à pellets pour le chauffage (-)	0.70		