

# Rapport Etude de faisabilité

Equipe Bâtiments Durables – Wallonie (BE)



# ARCADIS

Infrastructure · Eau · Environnement · Bâtiment

## Aérogare de Charleroi Rapport Etude de faisabilité

Projet **BE0115-000383**  
Version 1 | Juillet 2015

### CLIENT

**BAG scrl**

M Jean-Yves EISCHEN

### Rue

**Parc industriel des Hauts-Sarts**

**Première Avenue, n°165**

### Commune

**4040 Herstal**

### BUREAU D'ETUDES

**ARCADIS Belgium sa**

### Rue

**Rue des Guillemins, 26**

### Commune

**4000 LIEGE**

### Personne de contact

**Marie Descamps**

**+32 4 349 56 30**

**0492 73 65 51**


**+32 4 349 56 10**


**m.descamps@arcadisbelgium.be**

**www.arcadisbelgium.be**

La construction durable est une question d'harmonie.  
Chez **ARCADIS**, l'essentiel est de trouver le juste équilibre...

Révision				
Version	Date	Remarque		

Rédaction				
Divi- sion/discipline	Fonction	Nom	Coordonnées	Date et signature
Bâtiment / Construction durable	Chef de pro- jet	Yannick LÉONARD	<a href="mailto:y.leonard@arcadisbelgium.be">y.leonard@arcadisbelgium.be</a> T. + 32 4 349 56 36	08/07/2015 

Vérification				
Divi- sion/discipline	Fonction	Nom	Coordonnées	Date et signature
Bâtiment / Construction durable	Responsable	Marie DESCAMPS	<a href="mailto:m.descamps@arcadisbelgium.be">m.descamps@arcadisbelgium.be</a> T. + 32 4 349 56 30	08/07/2015 

Approuvé par le client				
Division	Fonction	Nom	Signature	Date

## Tables des matières

<b>Résumé .....</b>	<b>5</b>
<b>Intervenants et signatures.....</b>	<b>6</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Présentation du projet et hypothèses de départ.....</b>	<b>7</b>
2.1 Programme du projet .....	7
2.2 Hypothèses de départ .....	8
2.2.1 Hypothèses économiques et énergétiques .....	8
2.2.2 Profil d'occupation du bâtiment .....	8
2.2.3 Apports internes.....	9
2.2.4 Froid .....	9
2.2.5 Éclairage .....	9
<b>3 Besoins énergétiques.....</b>	<b>9</b>
3.1 Conditions de fonctionnement et inertie.....	9
3.2 Pertes par les parois .....	10
3.3 Pertes par ventilation mécanique .....	10
3.4 Pertes par infiltration et ventilation naturelle .....	10
3.5 Besoins en chaud.....	11
3.6 Besoins en froid.....	12
3.7 Besoins en ECS.....	12
3.8 Besoins en électricité.....	13
<b>4 Analyse de la disponibilité des variantes .....</b>	<b>14</b>
<b>5 Consommations du cas de base – Chaudière mazout à condensation .....</b>	<b>16</b>
5.1 Hypothèses de calcul (valables pour tous les scénarii) .....	16
5.2 Rendement d'exploitation pour le chauffage .....	16
5.3 Rendement d'exploitation pour l'ECS .....	17
5.4 Rendement d'exploitation pour l'électricité .....	17
5.5 Consommations globales du cas de base .....	18
<b>6 Consommations du scénario 1 – Chaudière gaz à condensation .....</b>	<b>19</b>
6.1 Rendement d'exploitation pour le chauffage .....	19
6.2 Consommations globales .....	19
<b>7 Consommations du scénario 2 – Pompe à chaleur air/air .....</b>	<b>21</b>
7.1 Système PAC air/air .....	21
7.2 Dimensionnement de l'installation .....	21
7.3 Résultats .....	21
<b>8 Consommations du scénario 3 – Cogénération .....</b>	<b>23</b>
8.1 Système de cogénération à moteur gaz .....	23

<b>9</b>	<b>Consommations du scénario 4 – Chaudière biomasse .....</b>	<b>23</b>
9.1	Scénario .....	23
9.2	Résultats .....	23
<b>10</b>	<b>Consommations du scénario 5 – Panneaux photovoltaïques .....</b>	<b>25</b>
10.1	Installation de panneaux solaires photovoltaïques.....	25
10.2	Dimensionnement de l'installation .....	25
10.3	Résultats .....	26
<b>11</b>	<b>Consommations du scénario 6 – Capteurs solaires thermiques.....</b>	<b>27</b>
11.1	Installation de capteurs solaires thermiques .....	27
11.2	Dimensionnement de l'installation .....	27
11.3	Résultats .....	28
<b>12</b>	<b>Conclusions .....</b>	<b>29</b>
<b>13</b>	<b>Annexe A – Calcul du niveau K .....</b>	<b>31</b>
<b>14</b>	<b>Annexe B – Réglementation relative à l'étude de faisabilité PEB .....</b>	<b>32</b>
14.1	Contexte législatif.....	32
14.2	Références légales .....	32
14.3	Auteur d'étude de faisabilité.....	33
14.4	Contenu de l'étude de faisabilité .....	33

## Résumé

Le projet concerne la construction de 2 gares aéroportuaires.

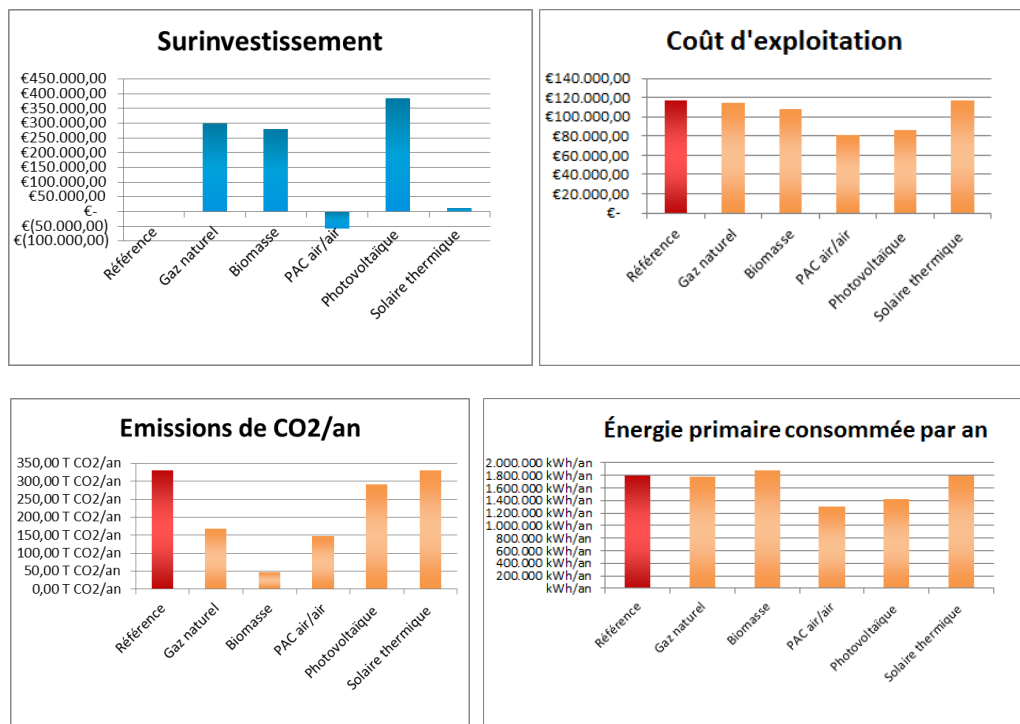
En base du projet, on prévoit que la production pour le chauffage soit assurée par une chaudière mazout à condensation, et l'eau chaude sanitaire par un boiler électrique séparé.

Les systèmes analysés dans le présent rapport sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Chaudière mazout condensation		Cas de base		
<b>CAS DE BASE</b> : La réglementation demande que le cas de base utilisé soit un système « classique », le plus simple et sans énergie renouvelable. La chaudière mazout à condensation est choisie en référence. (Le client prévoit en avant-projet des PAC air/air).				
Chaudière gaz condensation	Etudié ?		Retenu ?	
<b>Justification</b> : TRS trop élevé, coût de raccordement trop élevé.				
Cogénération haut rendement	Etudié ?		Retenu ?	
<b>Justification</b> : Consommations de chauffage et d'ECS insuffisantes pour garantir une rentabilité.				
Chaudière biomasse	Etudié ?		Retenu ?	
<b>Justification</b> : TRS trop élevé.				
Pompe à chaleur Chauffage	Etudié ?		Retenu ?	
<b>Installation de pompes à chaleur air/air en toiture réparties dans les 4 roof-top de l'installation.</b> <b>Justification</b> : SCÉNARIO le moins cher à l'installation et le moins coûteux en fonctionnement.				
Pompe à chaleur ECS	Etudié ?		Retenu ?	
<b>Justification</b> : Consommations d'ECS insuffisantes pour garantir une rentabilité.				
Panneaux solaires photovoltaïques	Etudié ?		Retenu ?	
Installation de <b>1137 m² de panneaux solaires photovoltaïques</b> en toiture orientés vers le Sud. <b>Justification</b> : SCÉNARIO rentable après 13 ans, mais non retenu pour des raisons budgétaires.				
Capteurs solaires thermiques ECS	Etudié ?		Retenu ?	
Installation de <b>8 m² de capteurs solaires thermiques</b> en toiture orientés vers le Sud. <b>Justification</b> : SCÉNARIO rentable après 20 ans, mais non retenu car les besoins sont très faibles.				

Pour chaque scénario étudié, les consommations en énergie pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'électricité ont été comparées à celles de la technologie de référence du point de vue économique (surinvestissement et coûts d'exploitation) et du point de vue environnemental (énergie primaire et émissions annuelles de CO<sub>2</sub>).

Voici les graphes résumant les éléments d'analyse.



L'optimum économique est la solution PAC air/air, tandis que la solution biomasse présente le moins d'émissions de CO<sub>2</sub>.

## Intervenants et signatures

La présente étude de faisabilité est jointe au formulaire de déclaration PEB initiale portant référence du dossier PEB **RWPEB-049674**.

Les différents intervenants sont :

<p><b>Déclarant PEB</b></p> <p><b>Brussels South Charleroi Airport s.a.</b></p> <p>M. Patrick LAMBRECHTS</p> <p>Rue des Frères Wright n°8</p> <p>6041 GOSSELIES</p> <p>071/25.12.01</p> <p><a href="mailto:p.lambrechts@charleroi-airport.com">p.lambrechts@charleroi-airport.com</a></p>	<p><b>Auteur d'étude de faisabilité PEB - AEF-00239</b></p> <p><b>ARCADIS Belgium</b></p> <p>P.O. M. Yannick LÉONARD</p> <p>Rue des Guillemains n°26</p> <p>4000 LIÈGE</p> <p>+ 32 4 349 56 36</p> <p><a href="mailto:y.leonard@arcadisbelgium.be">y.leonard@arcadisbelgium.be</a></p>
<p>Date :</p> <p>Signature :</p>	<p>Date : 08/07/2015</p> <p>Signature : </p>
<p><b>Architecte</b></p> <p>AERTEC solutions – M. Alejandro Martin Cardinaal</p> <p>C/ Marie Curie, Parque Tecnológico de Andalucía n°10</p> <p>29590 Málaga – ESPAGNE - (+34) 951 01 02 00</p> <p><a href="mailto:amcardinaal@aertecsolutions.com">amcardinaal@aertecsolutions.com</a> / <a href="mailto:lcaio@aertecsolutions.com">lcaio@aertecsolutions.com</a></p>	



## 1 Introduction

Le projet concerne la construction de deux halls d'aéroport d'une superficie utile totale de **5.666 m<sup>2</sup>**, pour lesquels une étude de faisabilité au sens de la réglementation PEB doit être réalisée (cf. **annexe**).

**L'étude de faisabilité doit être jointe au dossier de demande de permis d'urbanisme, comprenant le formulaire officiel de déclaration PEB initiale issu du logiciel PEB, ainsi que le présent rapport.**

L'étude s'articule en plusieurs points. Elle débute par la présentation du projet, les hypothèses de travail fixées au départ et l'estimation des besoins en chauffage, froid, ECS et électricité. Ensuite, différents scénarii d'approvisionnement énergétique sont envisagés et étudiés en profondeur pour déterminer leur pertinence dans le cadre du projet. Une étude technico-économique permet de fournir au maître d'ouvrage les informations nécessaires à la prise de décision pour le choix de la technique la plus appropriée. Finalement, une conclusion reprend les observations principales relevées lors de cette étude.

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

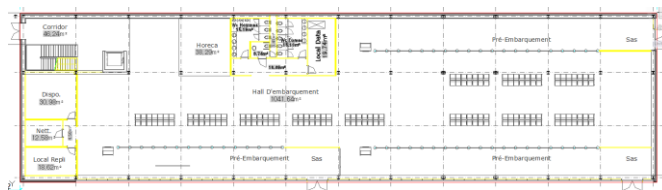
- Biomasse ;
- Panneaux solaires thermiques ;
- Panneaux solaires photovoltaïques ;
- Pompe à chaleur air/air ;
- Raccordement au gaz naturel.

## 2 Présentation du projet et hypothèses de départ

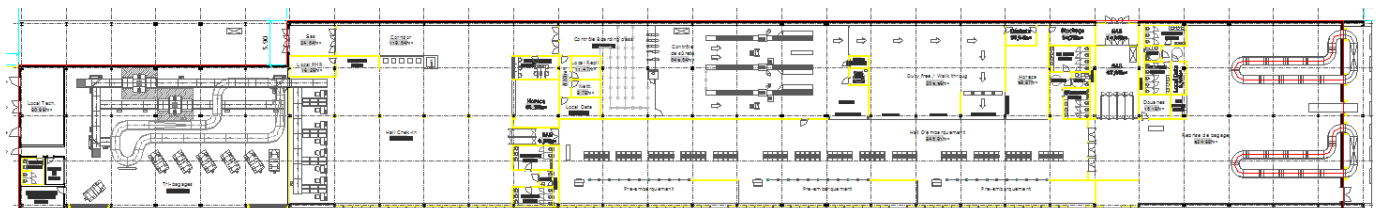
### 2.1 Programme du projet

Le programme de l'aérogare comporte les éléments suivants :

- Un hall d'aéroport « non Schengen » de 1.339 m<sup>2</sup> :



- Un hall d'aéroport « Schengen » de 4.327 m<sup>2</sup> :



## 2.2 Hypothèses de départ

La conception du projet étant au stade « avant-projet », tous les choix techniques ne sont pas encore définitifs. Certaines hypothèses de départ sont donc fixées afin de pouvoir dimensionner les installations en première approche dans le cadre de cette étude de faisabilité.

**Attention**, il ne s'agit pas d'un dimensionnement final car une série d'hypothèses de départ et de calcul ont été prises. Il faut donc garder à l'esprit que ces hypothèses sont certes réalistes, mais à affiner lors de l'étude ultérieure de dimensionnement.

### 2.2.1 Hypothèses économiques et énergétiques

Le tableau ci-dessus liste les différentes hypothèses et données générales utilisées dans l'étude concernant les différents vecteurs énergétiques.

Certaines données sont très variables en fonction des sources utilisées, notamment les émissions de CO<sub>2</sub> dues aux consommations d'électricité. Nous avons donc repris celles calculées par l'ADEME suite à l'analyse d'un cycle de vie complet.

Type d'énergie	Coût unitaire €/ kWh	Equivalent CO <sub>2</sub> g CO <sub>2</sub> / kWhpci	Ratio kWhp/kWh
bois - bûches	0,050	22,4	1,00
bois - pellets	0,052	46,7	1,00
charbon	0,051	371	1,00
électricité - HT	0,150	267	2,50
électricité - BT	0,210	267	2,50
gaz naturel	0,055	231	1,00
gaz propane	0,120	275	1,00
mazout	0,070	301	1,00
récupération sur process	0,000	0	0,00
électricité via cogen du process	0,000	0	0,00

### 2.2.2 Profil d'occupation du bâtiment

Il est très important de noter ici que l'utilisation du bâtiment est **discontinue**. Celui-ci est utilisé en appoint des halls existants en **périodes de pointe**. Cette hypothèse est primordiale pour les estimations qui suivent.

Au vu du planning, on peut considérer que les halls seront occupés quotidiennement dans les périodes suivantes :

Occupation journalière	Début	Fin
Heure Periode 1	4	10
Heure Periode 2	15	18
Heure période 3	22	23

On en déduit une durée d'**occupation du bâtiment de 10 heures/jour, 7 jours sur 7**.



### 2.2.3 Apports internes

Le maître d'ouvrage estime le transit journalier dans les deux halls à **2.400 personnes par jour**. En moyenne, cela revient à **975 personnes/h**. L'activité des personnes est limitée (personne debout et marchant) et le dégagement de chaleur sensible est limité à 125 W/pers.

Les apports internes électriques, en dehors de l'éclairage, sont limités pour des halls. La valeur moyenne de 7 W/m<sup>2</sup> est une valeur réaliste basée sur des halls existants (source 'Energie+'). Une fraction de ces apports reste présente en période d'inoccupation à cause de la mise en veille des appareils et de leur non coupure totale. Celle-ci est estimée à 5 %.

### 2.2.4 Froid

L'ensemble des locaux seront refroidis car ce sont des locaux à forte occupation, d'autant plus que les halls sont fortement vitrés côté sud.

Cependant, l'utilisation discontinue est favorable par rapport à la surchauffe. De plus, les baies vitrées ont un facteur solaire très bas ( $g = 0.23$ ).

### 2.2.5 Éclairage

Les halls ne servent qu'au transit, le niveau d'éclairement moyen de 350 lux est retenu. Le rendement de l'éclairage est estimé en fonction de la hauteur des appareils par rapport au plan de mesure et du type d'éclairage classique pour ce type de bâtiment.

Nous avons pris dans ce cas-ci, 2 W/m<sup>2</sup>/100 lux, on obtient une **puissance installée de 7 W/m<sup>2</sup> en moyenne**. Cependant, cette puissance totale ne serait nécessaire qu'en période d'occupation. En dehors de celle-ci, une fraction de 10% est conservée (éclairage de vente,...).

La régulation de l'éclairage est de type centralisée. Il n'y a donc pas de réduction des consommations d'éclairage, ni en fonction de la présence ou l'absence, ni en fonction des apports de lumière naturelle.

## 3 Besoins énergétiques

Sur base de ces hypothèses de départ, tous les besoins du bâtiment (besoins en chaud, en froid, en ECS et besoins en électricité) sont déterminés afin d'en déduire les consommations.

L'estimation se fait sur base d'une année type mesurée à Bruxelles (Uccle). Les données climatiques sont fournies par le fichier « Brussels International Weather for Energy Calculations » (IWECC).

### 3.1 Conditions de fonctionnement et inertie

Pour quantifier les besoins en chaud, il faut déterminer la température intérieure. Celle-ci est :

- Soit la température intérieure de consigne demandée, fixée de manière standard. Les consignes de température prises en compte sont :

T° moyenne occupation chauffage	20	°C
T° moyenne inoccupation chauffage	16	°C
T° moyenne vacance chauffage	5	°C

T° moyenne occupation froid	25	°C
T° moyenne inoccupation froid	35	°C
T° moyenne vacance froid	35	°C

- Soit une température intermédiaire fonction de l'inertie du bâtiment et de la balance énergétique du bâtiment.

La capacité thermique surfacique du bâtiment est estimée à **60 Wh/m²K**. Cette valeur est une valeur standard pour un bâtiment léger (à l'exception du sol, toutes les parois sont légères) tirée du logiciel PHPP, habituellement utilisé pour caractériser les bâtiments passifs.

Cette valeur permet alors de calculer la variation de température du bâtiment et donc d'obtenir une température intérieure résultante en fonction de la balance énergétique.

### 3.2 Pertes par les parois

Les compositions des parois sont détaillées **dans le rapport PEB joint au formulaire de déclaration PEB initiale**. Leurs valeurs de transmission thermique U qui ont été utilisées sont les suivantes :

- Murs extérieurs :  $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenêtres extérieures :  $U_w = 1,75 \text{ W/m}^2\text{K}$   
Double vitrage  $U_g = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$  et  $g=23\%$
- Dalle sur sol :  $U_{eq} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Toitures bacs acier :  $U = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$

Les ponts thermiques ont été pris en compte suivant un ordre de grandeur courant. Ils sont obtenus par une augmentation de 3 points du niveau K et représentent 13 % des déperditions totales par transmission.

Le détail du niveau K est repris **en annexe**. L'enveloppe isolante est performante ( $U_{moy}=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) et moyennement compacte ( $V/A_T=1.97$ ), cela permettant d'obtenir un niveau d'isolation global performant ( $K=23$ ).

### 3.3 Pertes par ventilation mécanique

Les débits réalisés pour la ventilation hygiénique du bâtiment sont obtenus dans la fiche technique des roof-top envisagés. Celle-ci détaille 18.000 m³/h par unité pour un total de **72.000 m³/h**, ce qui permet de respecter la norme NBN EN 13779 relative à la ventilation des bâtiments non résidentiels. L'installation ne prévoit pas une ventilation mécanique double flux avec récupérateur de chaleur sur l'air extrait.

Il est prévu de placer des sondes CO₂ afin de moduler les débits d'air neuf en fonction du taux d'occupation des halls.

Au vu de la ventilation naturelle possible par ouverture des portes et des volets estimée dans le paragraphe suivant, 20 % du débit nominal est déjà obtenu par infiltration, avec une occupation moyenne de 70 %, cela donne un facteur de réduction de **50 %**. En dehors des périodes d'occupation, l'air frais est coupé (l'infiltration suffit).

### 3.4 Pertes par infiltration et ventilation naturelle

Toute construction doit être la plus étanche à l'air possible. Il reste cependant des imperfections dans l'enveloppe, donnant lieu à des renouvellements d'air non contrôlés. Ces infiltrations doivent être prises en compte dans les déperditions globales. Le degré

d'étanchéité fixé ici est un **n<sub>50</sub> de 5 vol/h** à une pression de 50 Pa, ce qui correspond à un niveau d'étanchéité moyen avec des ouvertures continues (volet pour bagage et porte extérieure).

Le calcul du renouvellement moyen donne alors **0,5 vol/h à une pression de 5 Pa**, en considérant une classe d'exposition au vent correspondant à un site modérément abrité, un espace chauffé avec plus d'une ouverture exposée et un facteur correctif de hauteur inférieure à 10 m.

### 3.5

#### Besoins en chaud

Le calcul des besoins en chaud prend en compte les gains, les pertes, les consignes de température, l'occupation et l'inertie, comme explicité ci-dessus.

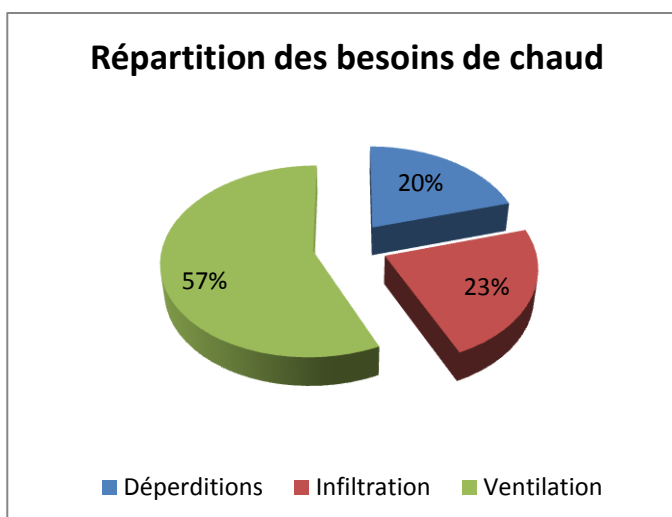
Selon la situation géographique, on a les hypothèses de calcul suivantes pour l'estimation de la puissance nécessaire :

Température hiver -9 °C

Selon ces hypothèses, les besoins en chauffage des halls (hors ECS) équivalent à **564.921 kWh/an**.

CHAUD		
Besoins		
Dépénitions	24 kWh/m².an	<b>116.020 kWh/an</b>
Infiltration	26 kWh/m².an	<b>127.728 kWh/an</b>
Ventilation	66 kWh/m².an	<b>321.173 kWh/an</b>
<b>TOTAL</b>	<b>117 kWh/m².an</b>	<b>564.921 kWh/an</b>

Les besoins en chaud sont conséquents, de l'ordre de **117 kWh/m².an**, et ce à cause de la ventilation. Les pertes par infiltration sont importantes également, mais inhérentes à ce type de bâtiment, avec des ouvertures constantes des portes et volets extérieurs.



Une évaluation d'une centralisation des rejets et apports d'air neuf avec un récupérateur de chaleur à roue ou à plaques devrait être étudiée. Cela permettrait de diviser par minimum 2 les besoins en ventilation et donc une **économie minimale de 160.586 kWh/an (28 %)**. Ce groupe centralisé devra permettre un by-pass de l'échangeur pour ne pas augmenter les besoins en froid (free-cooling) (voir le point suivant).

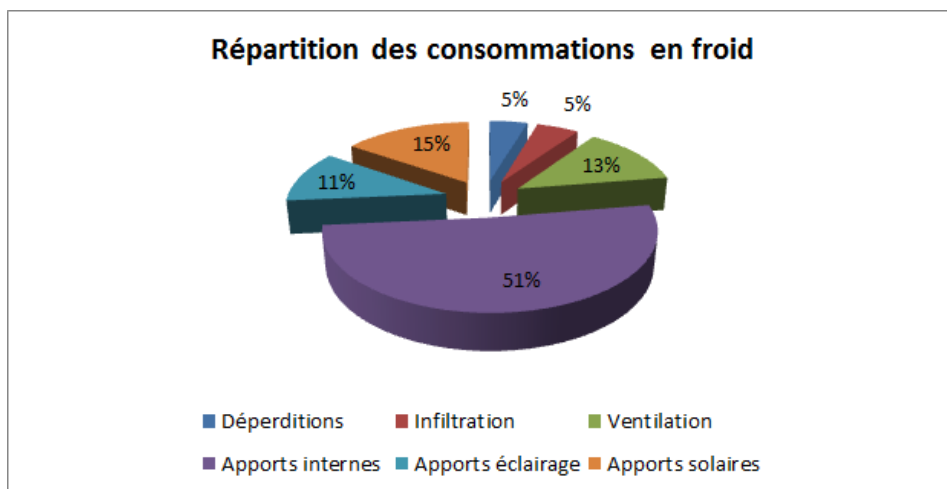
### 3.6 Besoins en froid

Le calcul des besoins en froid est obtenu de la même manière que celui des besoins en chaud. Les résultats sont les suivants :

FROID		
Besoins		
Déperditions	0,4 kWh/m <sup>2</sup> .an	2.106 kWh/an
Infiltration	0,5 kWh/m <sup>2</sup> .an	2.318 kWh/an
Ventilation	1,2 kWh/m <sup>2</sup> .an	5.846 kWh/an
Apports internes	4,8 kWh/m <sup>2</sup> .an	23.420 kWh/an
Apports éclairage	1,1 kWh/m <sup>2</sup> .an	5.087 kWh/an
Apports solaires	1,5 kWh/m <sup>2</sup> .an	7.030 kWh/an
Pertes distribution	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>9 kWh/m<sup>2</sup>.an</b>	<b>45807 kWh/an</b>

Les besoins en froid sont maîtrisés. Cela est principalement dû à la ventilation mécanique et naturelle. Les débits injectés sont à température extérieure, ce qui permet de refroidir constamment le bâtiment (free-cooling), à l'exception de 15 jours par an.

C'est bien entendu les apports internes qui sont prédominants au vu du nombre de personnes présentes.



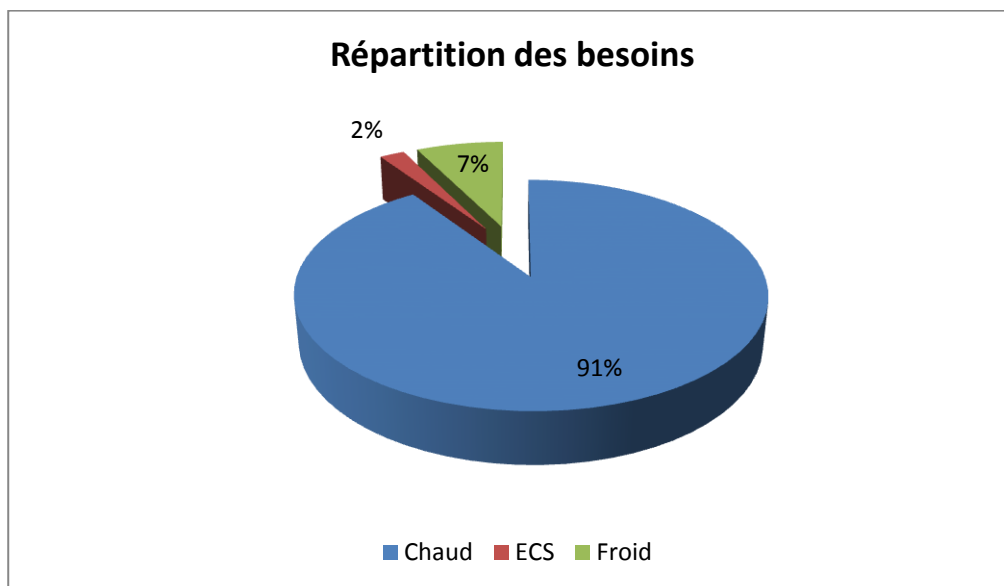
### 3.7 Besoins en ECS

La demande en eau chaude sanitaire est uniquement due aux sanitaires. Au vu du profil d'occupation du bâtiment établi dans les hypothèses de départ, on peut considérer que **30 % des personnes** iront aux sanitaires et se laveront les mains, ce qui donne **2 l/jour/personne en moyenne**.

La température d'ECS considérée est de 60°C, ce qui donne les besoins suivants :

Nombre de personnes	293	
Volume eau chaude journalier	2	l/jour/pers.
Rendement de production ECS	95%	
Volume eau chaude annuel	214	m <sup>3</sup> /an
Température ECS	60	°C
Nombre de jours	365	jour

La part des besoins en ECS dans les besoins totaux est faible. Comme le montre le graphe ci-dessous, **les besoins en ECS représentent seulement 2 % des besoins de chaleur.**



CHAUD		
Besoins		
Déperditions	24 kWh/m <sup>2</sup> .an	116.020 kWh/an
Infiltration	26 kWh/m <sup>2</sup> .an	127.728 kWh/an
Ventilation	66 kWh/m <sup>2</sup> .an	321.173 kWh/an
<b>TOTAL</b>	<b>117 kWh/m<sup>2</sup>.an</b>	<b>564.921 kWh/an</b>
ECS	3 kWh/m <sup>2</sup> .an	13.081 kWh/an
<b>TOTAL + ECS</b>	<b>120 kWh/m<sup>2</sup>.an</b>	<b>578.002 kWh/an</b>

### 3.8

#### Besoins en électricité

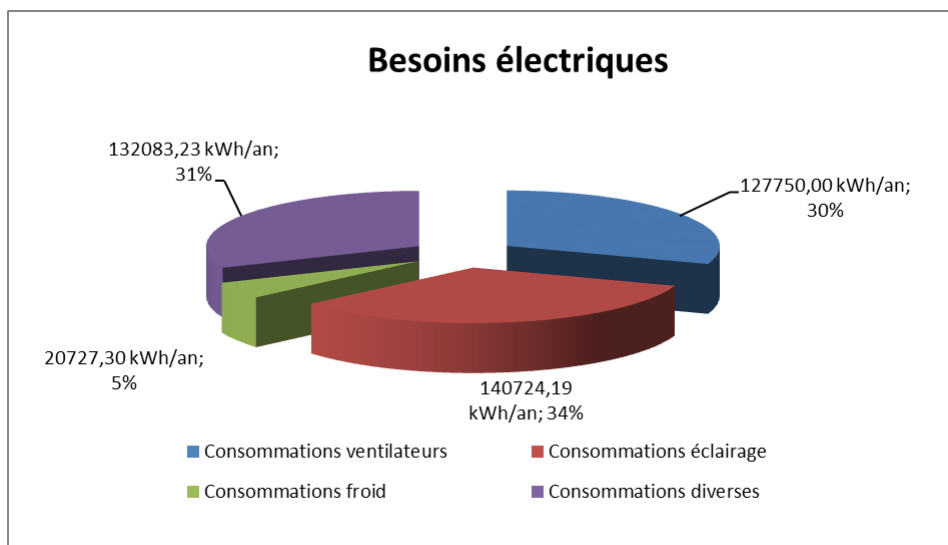
Les besoins en électricité du bâtiment sont issus de plusieurs consommateurs :

- **Ventilateurs** : On estime la puissance spécifique par ventilateur à 1.750 W.s/m<sup>3</sup> (suivant la fiche technique : 2 ventilateurs, 1 pour la pulsion et 1 pour l'extraction).  
Au vu du profil d'occupation, on considère un débit moyen sur 8.760 h.
- **Éclairage** : Le bâtiment a été étudié avec des luminaires standard offrant une puissance installée de 7 W/m<sup>2</sup>. L'éclairage est constant durant l'occupation.
- **Climatisation** : les besoins sont estimés précédemment, des pertes de distribution sont comptabilisées à hauteur de 15 %, et le ESEER d'une machine frigorifique classique est de 2.6.
- **Consommateurs divers** : Ces consommateurs sont utilisés pour l'exploitation du bâtiment (matériels informatiques, équipements d'une kitchenette,...), et comptabilisés comme les apports internes.

Toutes les consommations électriques représentent un total de 87 kWh/m<sup>2</sup>.an, selon les différents postes suivants :

Consommations ventilateurs (air hygiénique)	
Débit maximum	72000,00 m <sup>3</sup> /h
Débit moyen	15000,00 m <sup>3</sup> /h
Puissance spécifique par ventilateur (au nombre de 2)	1750,00 W*s/m <sup>3</sup>
Heures d'utilisation	8760 h
Consommations	127750,00 kWh/an
Consommations surfaciques	26,44 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommations éclairage	
Consommations	140724,19 kWh/an
Consommations surfaciques	29,13 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommations climatisation	
Consommations	20727,30 kWh/an
Consommations surfaciques	4,29 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommations diverses	
	132083,23 kWh/an
	27,34 kWh/m <sup>2</sup> .an
<b>TOTAL</b>	<b>421284,72 kWh/an</b> <b>87,20 kWh/m<sup>2</sup>.an</b>

Le graphique ci-dessous reprend la répartition des besoins électriques du bâtiment :



Les besoins en éclairage sont les plus importants, de l'ordre de 34 % des besoins totaux.

Les besoins en électricité pour les ventilateurs sont eux aussi très importants, de l'ordre de 30 % des besoins totaux. Cela peut faire partie d'une amélioration assez facile. Pour diminuer ces besoins, il faudrait choisir des ventilateurs plus performants disposant d'une meilleure puissance spécifique, ou augmenter la taille de roof-top.

#### 4

### Analyse de la disponibilité des variantes

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. Certaines technologies, comme la pompe à chaleur, peuvent être choisies pour plusieurs usages. Des combinaisons de variantes sont également possibles : par exemple, les panneaux solaires photovoltaïques sont compatibles avec toutes les solutions.

Chauffage	Chaudière mazout condensation	Cas de base	
	Chaudière gaz condensation	Etudié ?	✓
	Cogénération haut rendement	Etudié ?	✗
	<b>Justification</b> : Consommations de chauffage et d'ECS insuffisantes pour garantir une rentabilité.		
	Réseaux de chaleur	Etudié ?	✗
	<b>Justification</b> : Non disponible.		
	Chaudière biomasse	Etudié ?	✓
Chauffage / Refroidissement	Pompe à chaleur eau/eau réversible	Etudié ?	✗
	<b>Justification</b> : Le bâtiment est chauffé et refroidi par des roof-top. Des PAC air/air décentralisées sont donc plus adaptées.		
	Pompe à chaleur air/eau réversible	Etudié ?	✗
	<b>Justification</b> : Le bâtiment est chauffé et refroidi par des roof-top. Des PAC air/air décentralisées sont donc plus adaptées.		
	Pompe à chaleur air/air réversible	Etudié ?	✓
Refroidissement	Refroidissement passif	Etudié ?	✗
	<b>Justification</b> : Pas d'échangeur sur la ventilation en base (pas d'étude de by-pass), peu de masse accessible pour le stockage de la chaleur (structure acier), utilisation non continue et déphasée par rapport aux apports solaires.		
ECS	Pompe à chaleur ECS	Etudié ?	✗
	<b>Justification</b> : Consommations d'ECS insuffisantes pour garantir une rentabilité.		
	Capteurs solaires thermiques ECS	Etudié ?	✓
Électricité	Panneaux solaires photovoltaïques	Etudié ?	✓

## 5 Consommations du cas de base – Chaudière mazout à condensation

### 5.1 Hypothèses de calcul (valables pour tous les scénarii)

Afin de pouvoir calculer le temps de retour simple sur investissement ainsi que les valeurs indicées par l'augmentation du coût des énergies, **celle-ci a été établie à 2 %, au vu de l'incertitude actuelle et des fluctuations importantes des coûts des énergies.**

**Pour les primes, la Région Wallonne a gelé les demandes depuis début 2015, elles n'ont pas été prises en compte dans l'évaluation des temps de retour.**

Pour déterminer les consommations sur base des besoins déterminés ci-avant, il y a lieu de déterminer le rendement d'exploitation du système choisi.

En base du projet, le système choisi est une **chaudière mazout à condensation** pour la production de chauffage et une production via boiler électrique sous évier pour l'eau chaude sanitaire (via stockage). La puissance de la chaudière est donc établie en fonction des puissances chauffage nécessaires.

**La puissance pour le chauffage est évaluée à 1.223 kW**, selon le calcul suivant :

$$P = (D_{thermique} + D_{infiltration} + D_{ventilation}) \cdot \Delta T + P_{relance}$$

$$P = \left( 4409 \frac{W}{K} + 4854 \frac{W}{K} + 24480 \frac{W}{K} \right) \cdot [20 - (-9)] \cdot 1,25 = 1223 \text{ kW}$$

### 5.2 Rendement d'exploitation pour le chauffage

Les hautes performances d'une chaudière à condensation sont obtenues grâce à une très bonne récupération de la chaleur de combustion et la récupération de la chaleur latente de l'eau produite lors de la combustion. C'est ainsi que l'on obtient un rendement de production de chaleur supérieur à **104 % par rapport au PCI** (Pouvoir Calorifique Inférieur). En tenant compte des pertes à la production (chaudière dans le volume chauffé, régime basse température, rendement du combustible, sonde extérieure), on obtient un **rendement réel de production de 94 %**.

Pour obtenir une température de fumée la plus basse possible et ainsi condenser l'eau présente dans les fumées (< 40 °C), il faut un retour de l'eau de chauffage qui soit relativement bas. **En base, le système d'émission est à haute température : aérothermes. Le régime est 60°C/40°C.** Un **rendement d'émission de 89 %** reflète la présence d'une sonde extérieure (température variable en fonction du climat extérieur), d'un thermostat régulant la température par local et d'émetteurs non positionnés devant un vitrage.

Vu que toutes les conduites ne sont pas dans le volume protégé (1 chaudière pour deux bâtiments), on considère que le **rendement de distribution est de 95 %**. Aucun stockage n'est nécessaire pour le chauffage, le **rendement de stockage est donc considéré égal à 100%**.

Le rendement global du système de chauffage est alors le produit de tous ces rendements, ce qui donne un **rendement d'exploitation de 80 %**. Les caractéristiques de la chaudière envisagée sont donc les suivantes :

CHAUFF $\eta$ global	$\eta$ production	$\eta$ distribution	$\eta$ émission	$\eta$ stockage
<b>80%</b>	94%	95%	89%	100%

### 5.3 Rendement d'exploitation pour l'ECS

**Il est envisagé de produire l'eau chaude sanitaire des boilers électriques sous évier avec stockage.**

Ce qui donne un **rendement de production pour l'ECS de 95 %**.

### 5.4 Rendement d'exploitation pour l'électricité

L'électricité est prélevée directement sur le réseau, le rendement est donc de 100 %.

On considère que l'installation présente est alimentée par le même point de connexion que le site actuel. Il bénéficiera donc d'une facturation haute tension de l'électricité.

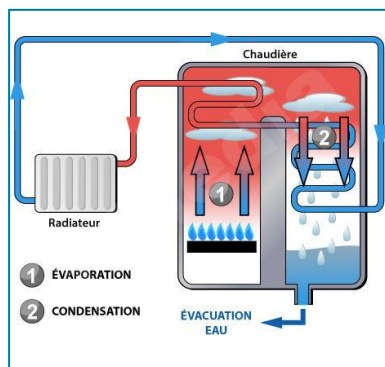
## 5.5 Consommations globales du cas de base

PROJET	REFERENCE
surface bâtiment chaud	4831 m <sup>2</sup>
<b>CHAUFFAGE</b>	P_chauff = 1223 kW
Vecteur énergétique	mazout
<b>Rendement d'exploitation (production+émission+distr.+stock.)</b>	<b>80%</b>
<b>Chauffage-Production</b>	
Rendement chaudière à condensation [%]	104%
Rendement production [%]	94%
<b>Chauffage-Emission</b>	
Type	Radiateurs
Rendement émission [%]	89%
<b>Chauffage-Distribution</b>	
Rendement distribution [%]	95%
<b>Chauffage-Stockage</b>	
Rendement stockage [%]	100%
<b>ECS</b>	
Vecteur énergétique	électricité - HT
Rendement [%]	95%
<b>Froid</b>	
Vecteur énergétique	électricité - HT
EER	2,6
<b>RESULTATS</b>	
<b>Besoins énergétiques</b>	<b>1.024.367 kWh/an</b>
Besoins énergétiques en chauffage	564.921 kWh/an
Besoins énergétiques d'ECS	13.081 kWh/an
Besoins énergétiques en froid	45.807 kWh/an
Besoins électriques	400.557 kWh/an
<b>Consommations totales en énergie finale</b>	<b>1.145.207 kWh/an</b>
Chauffage	710.153 kWh/an
ECS	13.769 kWh/an
Froid	20.727 kWh/an
Autre (électricité)	400.557 kWh/an
<b>Energie primaire</b>	
<b>consommations totales en énergie primaire</b>	<b>1.797.788 kWh/an</b>
consommation/m <sup>2</sup> chaud	147 kWh/m <sup>2</sup> .an
consommation/m <sup>2</sup> ECS	7 kWh/m <sup>2</sup> .an
consommation/m <sup>2</sup> froid	11 kWh/m <sup>2</sup> .an
consommation/m <sup>2</sup> élec	207 kWh/m <sup>2</sup> .an
<b>Emission CO<sub>2</sub></b>	
Emission de CO <sub>2</sub>	329,92 T CO <sub>2</sub> /an
<b>Cout annuel</b>	
chauffage	49 711 €/an
ECS	2 065 €/an
Froid	3 109 €/an
Autre (électricité)	60 084 €/an
<b>consommations en €</b>	
Consommation en €	114 969 €/an
Surcoût entretien	2 435 €/an
Frais annuel en €	<b>117 404 €/an</b>

Ces résultats seront comparés aux résultats obtenus pour d'autres systèmes favorisant les énergies renouvelables, faisant chacun l'objet d'un scénario détaillé ci-après.

## 6 Consommations du scénario 1 – Chaudière gaz à condensation

Le système choisi est une **chaudière gaz à condensation** pour la production de chauffage. Cela permet d'augmenter le rendement d'exploitation, mais surtout de diminuer le coût unitaire de l'énergie utilisée.



La chaudière gaz condensation est le système de production de chaleur le plus courant à l'heure actuelle. Lorsque le gaz est disponible, c'est en effet un système de production de chaleur très simple, demandant un investissement initial relativement raisonnable (en comparaison à une pompe à chaleur par exemple). Peu d'espace, peu d'entretien et un personnel pour la maintenance moyennement qualifié.

**La puissance pour le chauffage est identique à la puissance de la chaudière mazout.**

### 6.1 Rendement d'exploitation pour le chauffage

Le rendement global du système de chauffage est déterminé de la même manière, ce qui donne un **rendement d'exploitation de 82 %**. Les caractéristiques de la chaudière envisagée sont donc les suivantes :

CHAUFF $\eta$ global	$\eta$ production	$\eta$ distribution	$\eta$ émission	$\eta$ stockage
<b>82%</b>	97%	95%	89%	100%

### 6.2 Consommations globales

Le budget à prévoir pour la réalisation d'une colonne de gaz jusqu'au bâtiment, y compris détection, gaz, aménagement hydraulique et liaison vers les aérothermes en toiture, est estimé à 247.750 €.

PROJET	Gaz naturel
Surface bâtiment <b>chaud</b>	4831 m <sup>2</sup>
<b>CHAUFFAGE</b>	
Vecteur énergétique	gaz naturel
<b>Rendement d'exploitation (production + émission + distr + stock)</b>	82%
<b>Chauffage – Production</b>	
Rendement chaudière [%]	107%
Rendement production [%]	97%
<b>Chauffage – Emission</b>	
Type	Radiateurs
Rendement émission [%]	89%
<b>Chauffage – Distribution</b>	
Rendement distribution [%]	95%
<b>Chauffage – Stockage</b>	
Rendement stockage [%]	100%
<b>ECS</b>	
Vecteur énergétique	électricité - HT
Rendement [%]	95%
<b>Electricité</b>	
Type de facturation	électricité - HT
<b>RESULTATS</b>	
<b>Besoins énergétiques</b>	
Besoins énergétiques en chauffage	564.921 kWh/an
Besoins énergétiques d'ECS	13.081 kWh/an
Besoins énergétiques en froid	45.807 kWh/an
Besoins électriques	400.557 kWh/an
<b>Consommations</b>	
Chauffage	688.815 kWh/an
ECS	13.769 kWh/an
Froid	20.727 kWh/an
Autre (électricité)	400.557 kWh/an
<b>Energie primaire</b>	
<b>Consommation totale</b>	<b>1.776.450 kWh/an</b>
Consommation/m <sup>2</sup> chaud	143 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommation/m <sup>2</sup> ECS	7 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommation/m <sup>2</sup> froid	11 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommation/m <sup>2</sup> élec	207 kWh/m <sup>2</sup> .an
<b>Delta en énergie primaire par rapport au cas de base</b>	<b>-21.338 kWh/m<sup>2</sup>.an</b>
<b>Emission CO2</b>	
Emission de CO <sub>2</sub>	168,33 T CO <sub>2</sub> /an
Delta en émission CO <sub>2</sub> par rapport au cas de base	- 161,59 T CO <sub>2</sub> /an
<b>Consommations en €</b>	
Consommation en €	103 143 €/an
Surcoût entretien	1 487 €/an
Frais annuels par rapport à la référence	-12 774 €/an
<b>MONTANTS PRODUCTION CHAUD</b>	
Prix installation réseaux gaz	<b>245.750 €</b>



Prix total système HTVA	245.750 €
TVA	51.608 €
<b>SOIT TOTAL TVA incl</b>	<b>297.358 €</b>
Durée de vie investissement	<b>20 ans</b>
Inflation	<b>2%</b>
Réductions, déductions, primes...*	
Primes	€
Déduction fiscale	€
<b>Cette solution est-elle rentable ?</b>	<b>non</b>
<b>TRI - Temps de retour sur investissement</b>	<b>23</b>
Un TRI négatif signifie un investissement infructueux.	

## 7 Consommations du scénario 2 – Pompe à chaleur air/air

### 7.1 Système PAC air/air

Une pompe à chaleur [PAC] air/air est un dispositif thermodynamique permettant de prendre les calories présentes dans l'air extérieur afin de chauffer l'air intérieur. Elle a besoin d'électricité pour fonctionner, mais le cycle thermodynamique lui permet de produire plus d'énergie qu'elle n'en consomme. Cette différence est quantifiée par le coefficient de performance [COP]. Plus il est élevé, plus la PAC est performante. Ici, le **COPA = 2,22**.



Celle-ci est réversible, et permet de produire du froid en période estivale. Le rendement obtenu est de ESEER = 2,63.

**C'est ce système qui est choisi en avant-projet par le maître d'ouvrage. Les PAC sont réparties dans les 4 roof-top de l'installation.**

### 7.2 Dimensionnement de l'installation

La puissance totale des pompes à chaleur atteint celle de la chaudière en base.

### 7.3 Résultats

**L'investissement pour ce scénario PAC air/air est moins élevé que le scénario de base, le coût annuel également. Cette solution doit donc être préconisée.**

PROJET	Pompe à chaleur
	Surface totale
Surface bâtiment chaud	4831 m <sup>2</sup>
<b>Chauffage – Production</b>	
Type	Pompe à chaleur air/air
Vecteur énergétique	Électricité - HT
COPA Chauffage	<b>2,22</b>
Puissance de la pompe à chaleur (chauffage uniquement)	<b>1223 kW</b>
Part chauffage couvert par pompe à chaleur	<b>100%</b>
ESEER Froid	<b>2,63</b>

Part froid couvert par pompe à chaleur	<b>100%</b>
<b>ECS</b>	
Type	Boiler électrique
Vecteur énergétique	Électricité - HT
Rendement	<b>100%</b>
<b>RESULTATS</b>	
<b>Consommations</b>	<b>522.617 kWh/an</b>
Chauffage PAC	91.562 kWh/an
ECS produite par boiler électrique	13.081 kWh/an
Froid (PAC)	17.417 kWh/an
Autre (électricité)	400.557 kWh/an
<b>Energie primaire</b>	
<b>Consommation totale</b>	<b>1.306.543 kWh/an</b>
<b>Delta en énergie primaire par rapport au cas de base</b>	<b>-491.245 kWh/an</b>
Consommation chauffage/m²	47 kWh/m².an
Consommation ECS/m²	7 kWh/m².an
Consommation Froid/m²	9 kWh/m².an
Consommation autre élec/m²	207 kWh/m².an
<b>Emission CO2</b>	
Emission de CO <sub>2</sub>	139,54 T CO <sub>2</sub> /an
<b>Delta en émission CO<sub>2</sub> par rapport au cas de base</b>	<b>- 190,38 T CO<sub>2</sub>/an</b>
<b>Consommations en €</b>	
Consommations en €	78 393 €/an
Surcoût entretien	2 141 €/an
<b>Frais annuels du scénario</b>	<b>80 533 €/an</b>
<b>Delta des frais annuels par rapport au cas de base</b>	<b>-36 871 €/an</b>
<b>MONTANTS PRODUCTION CHAUD</b>	
Prix pompe à chaleur unités intérieure et extérieure HTVA	<b>428.107 €</b>
Adaptation système de chauffage	€
<b>Prix total système HTVA</b>	<b>428.107 €</b>
<b>Prix total système du cas de base (chaudière gaz)</b>	<b>487.055 €</b>
<b>Prix pour ajout d'une cabine électrique à haute tension</b>	€
<b>Investissement supplémentaire par rapport au cas de base</b>	<b>-58.947 €</b>
Soit € par m²	- 12 €/m²
TVA	89.902 €
<b>SOIT TOTAL TVA incl</b>	<b>30.955 €</b>
<b>Durée de vie investissement</b>	
Inflation	<b>20 ans</b>
<b>Réductions, déductions, primes...*</b>	<b>2%</b>
Déduction fiscale	Primes suspendues
<b>Cette solution est-elle rentable ?</b>	<b>oui</b>
TRS	<b>1 an</b>

## 8 Consommations du scénario 3 – Cogénération

### 8.1 Système de cogénération à moteur gaz

Un système de cogénération est un système permettant la production simultanée d'électricité et de chaleur : après production d'électricité, la chaleur encore contenue dans les fumées est utilisée pour produire de l'eau chaude. Ce procédé permet d'économiser de l'ordre de 20 % en énergie primaire par rapport à une production séparée de chaleur et d'électricité.



Différentes technologies existent : des moteurs à gaz ou diesel, des turbines à gaz ou à vapeur ou par pile à combustible par exemple.

Une cogénération, pour s'avérer rentable, nécessite un besoin en chaleur relativement constant tout au long de l'année, ce qui n'est pas le cas ici. Le bâtiment n'est occupé que 3.650 h par an, et les besoins en chauffage sont insuffisants, cette solution n'est donc pas étudiée en détail.

## 9 Consommations du scénario 4 – Chaudière biomasse

### 9.1 Scénario

Dans ce scénario, le remplacement de la chaudière mazout à condensation par une chaudière alimentée en pellets est étudié.

Ce type de chaudière jouit d'un moins bon rendement car on a opté pour un modèle standard, c'est-à-dire sans condensation. En effet, les chaudières à pellets à condensation ne sont pas encore très répandues sur le marché.

Ce type d'installation nécessite un surinvestissement comparé au cas de base. Premièrement, la chaudière est plus chère, et secondement il faut aussi intégrer dans les coûts la mise en place d'un silo à pellets et d'autres organes externes tels qu'une vis d'alimentation.



### 9.2 Résultats

Dans l'optique du chauffage biomasse, le placement de 6 chaudières à biomasse d'une puissance unitaire de 200 kW est proposé, dotées chacune d'un silo à pellets de 22 m<sup>2</sup> et d'une hauteur de 2,5 m afin d'assurer l'approvisionnement de la chaudière. Les réservoirs doivent être réapprovisionnés 3 fois par an.

Le stockage évalué est 1,5 fois plus important pour contenir 1 volume utile de bois.

Cette variante coûte environ 9.600 € de moins à l'année. En effet, le kWh de pellets coûte 0,018 € de moins que celui du mazout. Ainsi, même si la chaudière à pellets a un rendement moins élevé que celle au gaz, au final, elle est quand même plus économique.

Notons toutefois que cette solution engendre un surinvestissement de 437.108 € HT.

Le temps de retour sur investissement est évalué à 30 ans pour la solution de la biomasse. Cette solution n'est donc pas rentable. Notons que cette variante est la plus écologique puisqu'elle rejette 283 T de CO<sub>2</sub> en moins par an.

PROJET	Biomasse
Surface bâtiment <b>chaud</b>	4831 m <sup>2</sup>
<b>CHAUFFAGE</b>	
Vecteur énergétique	Bois - pellets
<b>Rendement d'exploitation (production + émission + distr + stock)</b>	71%
<b>Chauffage – Production</b>	
Rendement chaudière [%]	90%
Rendement production [%]	86%
<b>Chauffage – Emission</b>	
Type	Radiateurs
Rendement émission [%]	89%
<b>Chauffage – Distribution</b>	
Rendement distribution [%]	95%
<b>Chauffage – Stockage</b>	
Rendement stockage [%]	97%
<b>ECS</b>	
Vecteur énergétique	Électricité - HT
Rendement [%]	95%
<b>ELECTRICITE</b>	
Type de facturation	Électricité - HT
<b>RESULTATS</b>	
<b>Besoins énergétiques</b>	
Besoins énergétiques en chauffage	564.921 kWh/an
Besoins énergétiques d'ECS	13.081 kWh/an
Besoins énergétiques en froid	45.807 kWh/an
Besoins électriques	400.557 kWh/an
<b>Consommations</b>	
Chauffage	797.240 kWh/an
ECS	13.769 kWh/an
Froid	20.727 kWh/an
Autre (électricité)	400.557 kWh/an
<b>Energie primaire</b>	
<b>Consommation totale</b>	<b>1.884.875 kWh/an</b>
Consommation/m <sup>2</sup> chaud	165 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommation/m <sup>2</sup> ECS	7 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommation/m <sup>2</sup> froid	11 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommation/m <sup>2</sup> élec	207 kWh/m <sup>2</sup> .an
<b>Delta en énergie primaire par rapport au cas de base</b>	<b>87.086 kWh/m<sup>2</sup>.an</b>
<b>Emission CO<sub>2</sub></b>	
Emission de CO <sub>2</sub>	46,44 T CO <sub>2</sub> /an
Delta en émission CO <sub>2</sub> par rapport au cas de base	- 283,47 T CO <sub>2</sub> /an
<b>Consommations en €</b>	
Consommation en €	106 715 €/an
Surcoût entretien	1 392 €/an
Frais annuels par rapport à la référence	-9 298 €/an

MONTANTS PRODUCTION CHAUD	
Prix installation chaudière pellet et stockage	<b>437.108 €</b>
Déduction des investissements de base	-207.055 €
Prix total système HTVA	230.054 €
Tva	48.311 €
<b>SOIT TOTAL TVA incl</b>	<b>278.365 €</b>
Durée de vie investissement	<b>20 ans</b>
Inflation	<b>2%</b>
Réductions, déductions, primes...*	
Primes	€
Déduction fiscale	€
<b>Cette solution est-elle rentable ?</b>	<b>Non</b>
<b>TRI - Temps de retour sur investissement</b>	<b>30</b>
Un TRI négatif signifie un investissement infructueux.	

## 10 Consommations du scénario 5 – Panneaux photovoltaïques

### 10.1 Installation de panneaux solaires photovoltaïques

Les panneaux solaires photovoltaïques (PV) permettent de transformer l'énergie émise par le soleil en électricité. De multiples technologies plus ou moins novatrices et aux rendements divers existent.

On a choisi une technologie éprouvée offrant un bon rapport investissement / rendement : les panneaux monocristallins en silicium.



### 10.2 Dimensionnement de l'installation

Le dimensionnement de cette installation tient compte de la surface de toiture disponible et valorisable dans ce projet : 20% de la surface des toitures (ratio tenant compte de l'espace laissé libre autour des panneaux). En première approche, on a donc opté pour une **installation de 1.137 m<sup>2</sup> dont la puissance nominale sera de 176,3 kWc**.

**Attention**, si cette variante est retenue, il faudra faire un dimensionnement plus fin. En effet, la puissance électrique doit pouvoir être absorbée par les consommateurs finaux. Dans ce cas, nous avons pris par hypothèse un raccordement aux réseaux internes du site existant. La puissance crête possible dépend alors de l'ensemble du site. Mais ce dimensionnement ne fait pas partie de cette étude.

### 10.3

### Résultats

Les résultats sont présentés en chiffres détaillés dans le tableau ci-après.

**L'ajout de panneaux solaires photovoltaïques permet une économie de 36 % sur les consommations électriques, grâce à la revente de l'électricité non autoconsommée.**

L'évaluation financière des certificats verts est basée sur la nouvelle réglementation d'application depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2015, dont les différents coefficients sont assurés jusqu'au 30 juin 2015 (lien : <http://www.cwape.be/?dir=3.10>).

Si l'on considère le prix de la fourniture et pose des panneaux PV ainsi que l'armoire de découplage à 1,80 euros HTVA par Wc, **ce scénario 2 est rentable en 10 ans**, en tenant compte de l'inflation du coût des énergies fixée à 2%.

PROJET	Photovoltaïque
	Surface totale
Surface bâtiment chaud	4831 m <sup>2</sup>
<b>Vecteur énergétique chauffage (cas de base)</b>	<b>Mazout</b>
<b>Vecteur énergétique ECS (cas de base)</b>	<b>Électricité - HT</b>
<b>Système photovoltaïque</b>	
Technologie	Monocristallin
Orientation	Sud
Vecteur énergétique	Électricité - HT
Surface de panneaux installés	<b>1137,20 m<sup>2</sup></b>
Puissance installée	176,266 kWc
Facteur de production	<b>850 kWh/kWc/an</b>
Autoconsommation	<b>100%</b>
Prix de revente électricité HT	<b>0,035 €/kWh</b>
Prix du certificat vert	65 €
<b>RESULTATS</b>	
Production électrique	149826 kWh/an
<b>Consommations</b>	
Chauffage gaz	710.153 kWh/an
ECS gaz	13.769 kWh/an
Electricité	271.459 kWh/an
<b>Energie primaire</b>	
Consommation totale	2.467.799 kWh/an
Consommation chauffage/m <sup>2</sup>	147 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommation ECS/m <sup>2</sup>	7 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommation autre élec/m <sup>2</sup>	140,47 kWh/m <sup>2</sup> .an
<b>Emission CO2</b>	
Emission de CO <sub>2</sub>	289,91 T CO <sub>2</sub> /an
Gain émission CO <sub>2</sub>	- 40,00 T CO <sub>2</sub> /an
<b>Economie</b>	
Revente électricité	€
Certificat vert euro	24.347 €
Consommations en €	108 782 €/an
Surcoût entretien	1.920 €
Frais annuels par rapport à la référence	-31.049 €
<b>MONTANTS INVESTISSEMENT</b>	
Prix installation photovoltaïque HTVA /Wc	<b>1,80 €</b>



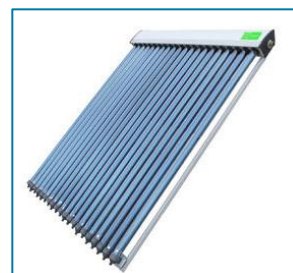
Prix total système HTVA	317.279 €
Investissement	317.279 €
Soit € par m <sup>2</sup>	66 €/m <sup>2</sup>
TVA	66.629 €
<b>Soit TOTAL TVA incl</b>	<b>383.907 €</b>
Durée de vie investissement	<b>25 ans</b>
Inflation	<b>2%</b>
Déduction fiscale	
<b>Cette solution est-elle rentable ?</b>	<b>Oui</b>
TRS	<b>13 ans</b>
Nombre d'année pour rentabiliser hors primes	<b>10 ans</b>
Nombre d'année pour rentabiliser avec primes	<b>10 ans</b>

## 11 Consommations du scénario 6 – Capteurs solaires thermiques

### 11.1 Installation de capteurs solaires thermiques

Afin de valoriser au mieux l'énergie solaire disponible, l'installation de capteurs solaires thermiques pour la **production d'eau chaude sanitaire** peut être envisagée.

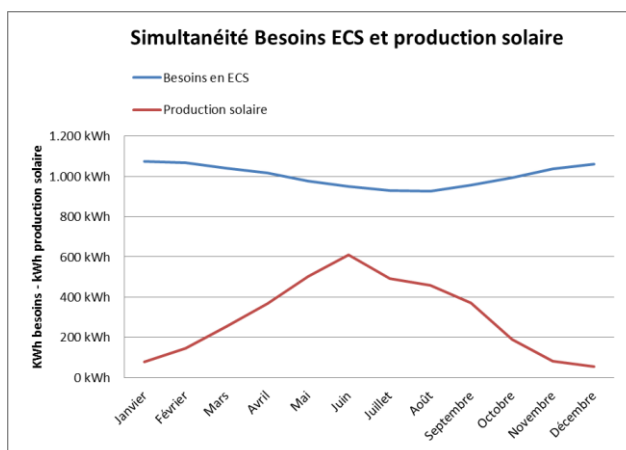
Les besoins en ECS sont faibles pour le bâtiment : ils s'élèvent à 213 m<sup>3</sup>/an, soit 12.022 kWh/an, ce qui représente 29% des besoins totaux (hors électricité).



### 11.2 Dimensionnement de l'installation

On considère que les capteurs solaires thermiques seront installés sur les toitures plates et placés selon l'orientation la plus rentable, à savoir le Sud. Le rendement du système est fixé à 50 %.

Sur base des besoins annuels, la surface de panneaux solaires thermiques a été estimée à **8 m<sup>2</sup> pour un taux de couverture de 30 %**, sachant que l'ensoleillement annuel moyen est estimé à 900 kWh/an en Belgique. Ce taux de couverture permet de ne pas engendrer de surproduction en été, et donc **permet d'éviter les surchauffes éventuelles** de l'installation. Comme le montre le graphique ci-dessous, la production solaire ne dépassera les besoins en ECS à aucun moment de l'année.



### 11.3

### Résultats

L'ajout de capteurs solaires thermiques engendre une économie minimale de 452 €/an.  
**Cela permet de rentabiliser l'installation en 20 ans.**

PROJET	Solaire thermique
	Surface totale
Surface bâtiment chaud	4831 m <sup>2</sup>
<b>Vecteur énergétique chauffage</b>	<b>Mazout</b>
<b>ECS solaire</b>	
M <sup>2</sup> de panneaux installés	8,00
Rendement système	50%
Taux de couverture	30%
<b>ECS complémentaire</b>	
Vecteur énergétique	Électricité - HT
Rendement production	95%
Vecteur énergétique	Électricité - HT
<b>RESULTATS</b>	
Production solaire utile	3.600 kWh/an
<b>Consommations</b>	
Chauffage	710.153 kWh/an
ECS	9.980 kWh/an
Autre (électricité)	421.285 kWh/an
<b>Energie primaire</b>	
Consommation totale	1.788.315 kWh/an
Consommation chauffage/m <sup>2</sup>	147 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommation ECS/m <sup>2</sup>	5 kWh/m <sup>2</sup> .an
Consommation autre élec/m <sup>2</sup>	218 kWh/m <sup>2</sup> .an
<b>Emission CO<sub>2</sub></b>	
Emission CO <sub>2</sub>	328, 9 T CO <sub>2</sub> /an
Economie émission CO <sub>2</sub>	- 1,01T CO <sub>2</sub> /an
<b>Consommations en €</b>	114 400 €/an
<b>Surcoût entretien</b>	116 €/an
<b>Frais annuels par rapport à la référence</b>	- 452 €/an
<b>MONTANTS PRODUCTION CHAUD</b>	
Prix installation solaire HTVA /m <sup>2</sup>	1.200 €
<b>Prix total système HTVA</b>	9.600 €
<b>Différence avec référence</b>	9.600 €
Soit € par m <sup>2</sup>	2 €/m <sup>2</sup>
TVA	2.016 €
<b>Soit TOTAL TVA incl</b>	11.616 €
<b>Durée de vie investissement</b>	30 ans
Inflation	2%
Primes → Pas de primes recensées dans notre cas d'étude	€
<b>Cette solution est-elle rentable ?</b>	Oui
TRS	20

## 12

## Conclusions

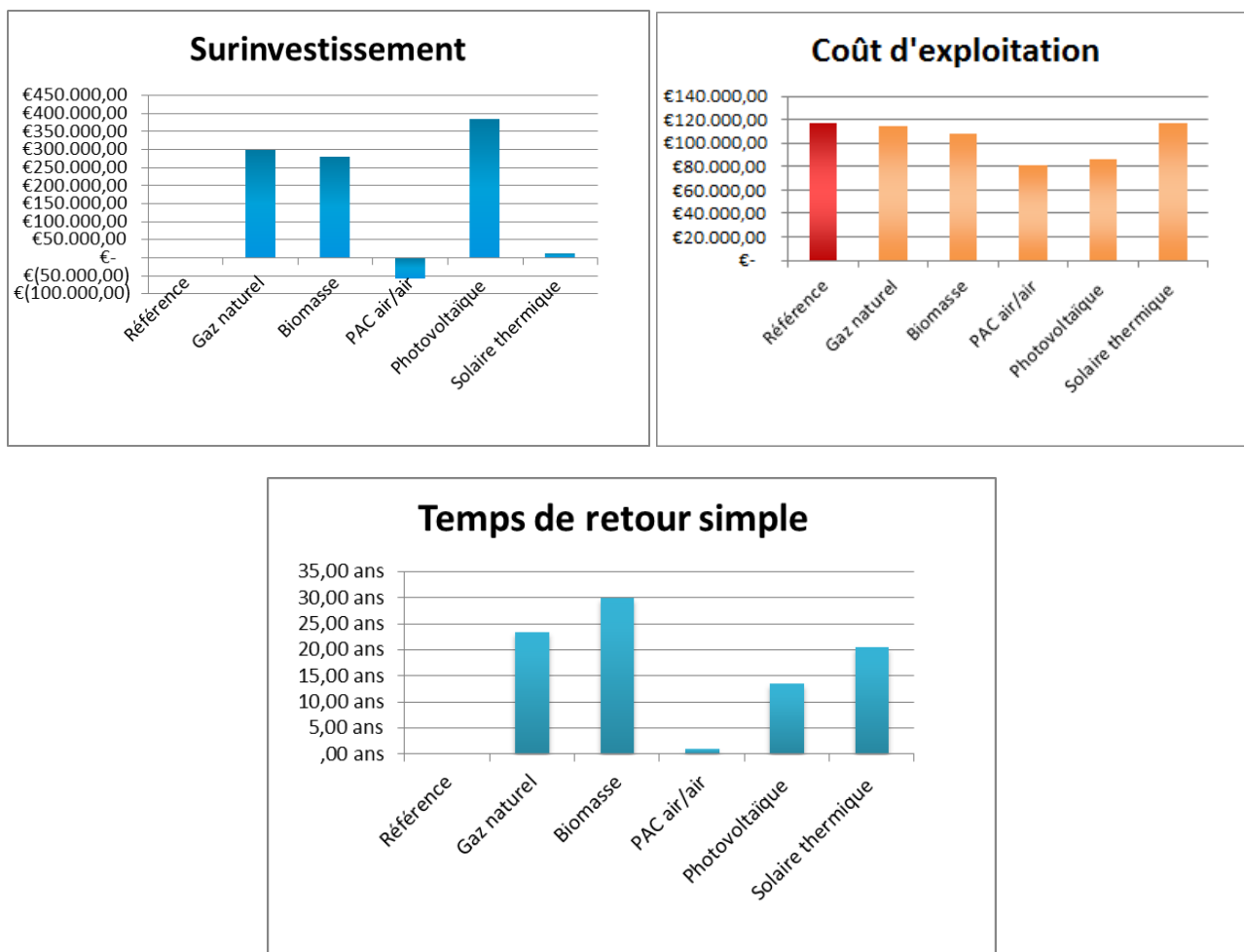
L'installation de base prévue, à savoir des roof-top avec pompe à chaleur air/air réversible, est le système qui permet de rencontrer à la fois l'investissement minimum, et le coût d'exploitation minimum. C'est donc le système à préconiser.

Néanmoins, le système de ventilation n'est pas optimal. Une récupération de la chaleur sur l'air extrait devrait être étudiée. Celle-ci permettrait une économie de plus 145.000 kWh/an électriques (PAC air/air), donc une économie annuelle de près de 22.000 €/an.

Une autre amélioration possible du système de ventilation est la **SFP des ventilateurs**. Un simple respect de la classe SFP 3 (EN 13779 : 2004) avec un maximum à 1.250 W/m³/s entrainerait une économie de presque 100.000 kWh/an électriques, donc une économie annuelle de plus de 7.000 €/an.

Une étude plus détaillée du système de ventilation peut être faite afin d'optimiser à la fois les besoins en chaud et les besoins en froid, mais celle-ci ne fait pas partie de l'étude de faisabilité standard telle que définie par la Région Wallonne.

L'analyse des scénarios étudiés du point de vue économique est sans appel :



Comme dis précédemment, la décentralisation de la production en intégrant des pompes à chaleur réversibles aux roof-top est la solution la plus économique.

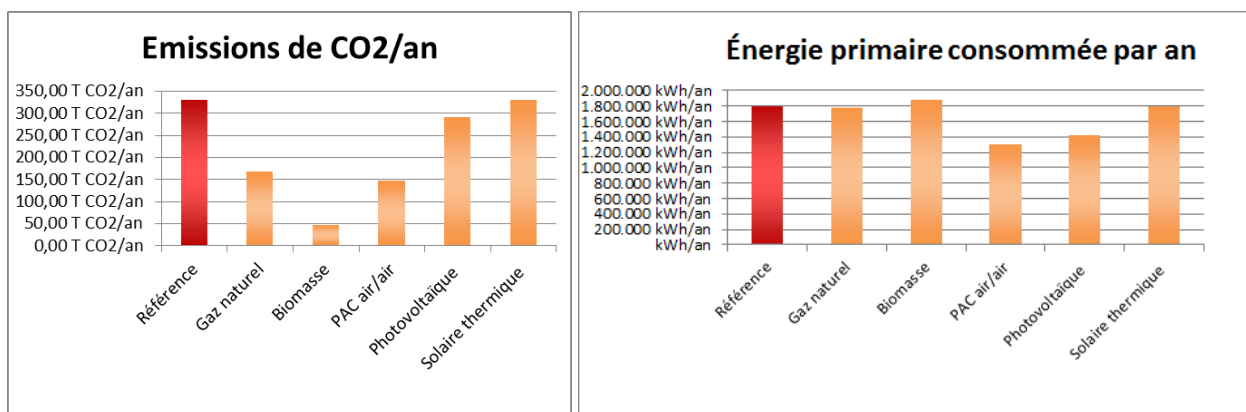
Dans le cas de la biomasse et du raccordement au gaz naturel, le coût d'investissement est trop élevé pour être rentabilisé. Pour le premier, c'est le coût du stockage qui est prohibitif, tandis que pour le second, c'est la distance entre le point de raccordement et la chaufferie qui engendre un surcoût important.

Le solaire photovoltaïque est également rentable à court terme. Un dimensionnement plus précis en fonction des capacités d'absorption de la puissance électrique permettrait un dimensionnement plus fin de l'installation.

Par contre, le solaire thermique a peu d'intérêt. Les consommations estimées sont faibles et le gain obtenu l'est également.

D'un point de vue environnemental, c'est bien sûr le scénario biomasse qui émet le moins de CO<sub>2</sub>. Le scénario PAC air/air est le 2<sup>ème</sup> meilleur scénario à ce point de vue, ce qui conforte le choix de ce système de production.

L'économie d'énergie obtenue par le photovoltaïque pourrait être cumulée avec le scénario choisi.



## 13 Annexe A – Calcul du niveau K

Ci-dessous, le calcul du niveau K utilisé dans la présente étude de faisabilité.

	Parois de la superficie de déperdition thermique	Uj [W/(m².K)]	Aj [m²]	Uj . Aj [W/K]	S Uj . Aj [W/K]	aj	S aj . Uj . Aj [W/K]
1.	Fenêtres, tabatières, coupoles et autres parois translucides (Umax 3,5 en RW, 2,5 en RBC)	1,75	447,00	782,3	782,3	1	782,3
		0,00	0,00	0,0			
		0,00	0,00	0,0			
2.	Portes extérieures (Umax 3,5 en RW, 2,5 en RBC)	2,00	31,00	62,0	82,6	1	82,6
		2,00	10,30	20,6			
3.	Murs extérieurs, façades (Umax 0,6)	0,19	2619,00	495,3	495,3	1	495,3
		0,00	0,00	0,0			
		0,00	0,00	0,0			
		0,00	0,00	0,0			
4.	Toitures (plates, inclinées, ...) ou plafonds supérieurs en-dessous des espaces non-protégés (Umax 0,4)	0,24	5686,00	1354,9	1354,9	1	1354,9
		0,00	0,00	0,0			
		0,00	0,00	0,0			
5.	Planchers au-dessus de l'ambiance extérieure (Umax 0,6)	0,00	0,00	0,0	0,0	1	0,0
		0,00	0,00	0,0			
6.	Planchers au-dessus d'espaces voisins non à l'abri du gel (vide sanitaire) (Umax 0,6)	0,00	0,00	0,0	0,0	1	0,0
		0,00	0,00	0,0			
7.	Planchers au-dessus d'espaces voisins à l'abri du gel (caves) (Umax 0,9)	0,00	0,00	0,0	0,0	0,67	0,0
		0,00	0,00	0,0			
8.	Planchers sur le sol (Umax 1,2)	0,20	5684,00	1136,8	1136,8	1,00	1136,8
		0,00	0,00	0,0			
9.	Murs extérieurs en contact avec le sol (murs enterrés) (Umax 0,9)	0,00	0,00	0,0	0,0	0,67	0,0
		0,00	0,00	0,0			
10.	Parois intérieures en contact avec des espaces voisins non à l'abri du gel (Umax 0,6)	0,00	0,00	0,0	0,0	1	0,0
		0,00	0,00	0,0			
11.	Parois intérieures en contact avec des espaces voisins à l'abri du gel (Umax 0,9)	0,00	0,00	0,0	0,0	0,67	0,0
		0,00	0,00	0,0			
		0,00	0,00	0,0			
		0,00	0,00	0,0			
12.	TOTAUX (superficie de déperdition)	At = S Aj =	14477,3			S aj . Uj . Aj =	3851,9

	PONTS THERMIQUES	klj [W/(m.K)]	lj [m]	klj . lj [W/K]	S klj . lj [W/K]
13.	Suivant les définitions de la NBN 62-002			0,0	556,9
				0,0	
				0,0	
				0,0	

14.	DEPERDITION THERMIQUE DE LA SUPERFICIE DE DEPERDITION	S aj . Uj . Aj + S klj . lj =		4408,8	W/K
15.	COEFFICIENT MOYEN DE TRANSMISSION THERMIQUE	Us =		0,30	W/m².K
16.	VOLUME PROTEGE DU BATIMENT	V =		28.551	m³
17.	COMPACTITE VOLUMIQUE DU BATIMENT	V/At =		1,97	m
18.	NIVEAU D'ISOLATION THERMIQUE GLOBALE DU BATIMENT	Si V/At < 1 : Us x 100 = K...			
		Si 1 < V/At < 4 : Us x 300/(V/At + 2) = K...		23	
		Si V/At > 4 : Us x 50 = K...			

## 14 Annexe B – Réglementation relative à l'étude de faisabilité PEB

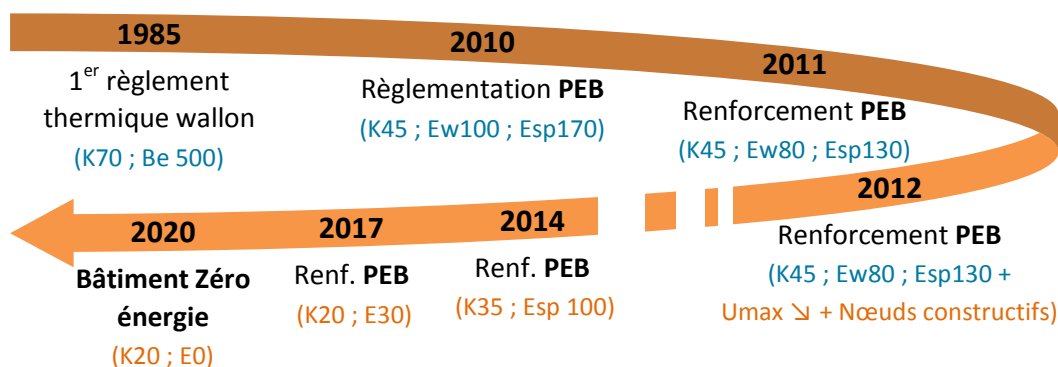
### 14.1 Contexte législatif

Cette étude s'inscrit dans le contexte économique et écologique actuel où la nécessité de réduire les consommations et les gaz à effets de serre se fait de plus en plus pressante. Le but est de sensibiliser le maître d'ouvrage au potentiel économique, environnemental et énergétique des systèmes alternatifs. En d'autres termes, aux économies qu'il peut réaliser tant d'un point de vue financier qu'au niveau de ses émissions de CO<sub>2</sub> ou de sa consommation énergétique.

Cette maîtrise des énergies et l'intégration des aspects renouvelables est devenue obligatoire depuis le 1<sup>er</sup> mai 2010 en Région Wallonne, dans le cadre de la nouvelle réglementation PEB (pour tout bâtiment neuf chauffé dont la surface utile totale est supérieure à 1.000 m<sup>2</sup>). **Et depuis le 1<sup>er</sup> mai 2015, elle est obligatoire pour tout bâtiment neuf ou assimilé à du neuf, peu importe sa superficie.** L'étude de faisabilité technique, environnementale et économique est exigée lors de l'introduction de la demande de permis d'urbanisme. Elle analyse l'opportunité d'intégrer des systèmes alternatifs d'énergie.

Cette législation qui émane des autorités européennes n'est qu'une étape vers le bâtiment à zéro énergie prévu pour 2020, d'après la directive européenne PEB RECAST 2010/31/CE. Il est également prévu, à moyen terme, l'obligation de la mise en application d'impositions basées sur les résultats émanant de l'étude.

Le graphique ci-dessous présente les différents renforcements en matière d'énergie pour la Région wallonne.



### 14.2 Références légales

- Décret-cadre du 19 avril 2007 modifiant le CWATUPE (Code Wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme et du Patrimoine et de l'Energie) en vue de promouvoir la performance énergétique des bâtiments (PEB).
- Arrêté du Gouvernement wallon du 17 avril 2008 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.
- Arrêté du Gouvernement wallon du 18 juin 2009 relatif aux actes et travaux visés à l'article 84, §2, alinéa 2 du CWATUPE, à la composition des demandes de permis



d'urbanisme et à la procédure applicable en matière de Performance Energétique des Bâtiments (PEB).

- Décret-cadre du 19 mai 2010 modifiant le décret-cadre du 19 avril 2007, modifiant les objectifs et exigences européennes en matière de performance énergétique dans les bâtiments.
- Arrêté du Gouvernement wallon du 10 mai 2012 modifiant, en ce qui concerne la performance énergétique des bâtiments, le Code wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, du Patrimoine et de l'Energie.
- Décret du 28 novembre 2013 modifiant le décret-cadre du 19 mai 2010, modifiant les objectifs et exigences européennes en matière de performance énergétique dans les bâtiments.
- Arrêté du Gouvernement wallon du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments.
- Arrêté du Gouvernement wallon du 18 décembre 2014 modifiant l'arrêté du Gouvernement wallon du 15 mai 2014.

### 14.3

#### Auteur d'étude de faisabilité

L'auteur d'étude de faisabilité est une personne physique ou morale, désignée par le déclarant PEB du projet, qui est chargée de l'élaboration de cette étude.

Pour tout bâtiment de moins de 1.000 m<sup>2</sup> de superficie utile totale, le responsable PEB a la possibilité de réaliser l'étude lui-même. Il peut cependant également faire appel à un auteur de faisabilité agréé par exemple dans le cas d'un bâtiment d'une trop grande complexité..

Pour tout bâtiment de plus de 1.000 m<sup>2</sup> de superficie utile totale, cette personne doit être agréée. L'Auteur d'Etude de Faisabilité peut être toute personne physique ou morale qui justifie de titres, de qualifications ou d'une expérience dans le domaine des systèmes alternatifs de production et d'utilisation d'énergie visés ci-dessus.

Par dérogation et comme disposition transitoire, les conditions relatives à la demande et à l'octroi de l'agrément de l'auteur de l'étude de faisabilité sont réputées accomplies, dans le chef de toute personne disposant, au 1<sup>er</sup> mai 2010, d'un agrément valable dans le cadre des programmes AMURE ou UREBA.

Toute personne disposant déjà d'un agrément d'Auteur d'étude de faisabilité en règle au 1<sup>er</sup> mai 2015, basculera automatiquement dans la nouvelle réglementation. Son agrément sera conservé et la validité de celui-ci ne sera plus limitée dans le temps.

### 14.4

#### Contenu de l'étude de faisabilité

Cette étude de faisabilité est destinée à envisager des systèmes alternatifs de production d'énergie (principalement les systèmes d'énergie renouvelable mais également la cogénération) afin de les comparer avec un système classique (dit « de référence »).

Concrètement, conformément à l'article 22 de l'arrêté du Gouvernement wallon du 15 mai 2014, l'étude de faisabilité technique, environnementale et économique envisage au moins la possibilité de recourir aux technologies suivantes :

- 1° les systèmes solaires photovoltaïques ;

- 2° les systèmes solaires thermiques ;
- 3° les pompes à chaleur ;
- 4° les générateurs de chaleur fonctionnant à la biomasse ;
- 5° les réseaux de chaleur.

Pour tout dépôt de permis à partir du 1<sup>er</sup> mai 2015, l'étude de faisabilité technique, environnementale et économique comprend au moins les éléments suivants :

- 1° une présentation du bâtiment étudié, en ce compris sa superficie utile totale, et de ses besoins énergétiques ;
- 2° un tableau synthétique des hypothèses de travail relatives aux technologies envisagées ;
- 3° l'analyse des technologies envisagées, notamment leur description, leur intégration technique dans le bâtiment, leur pertinence, une évaluation des contraintes d'utilisation (notamment en termes de maintenance, de disponibilité et de type de combustible envisagé) et, pour la ou les technologies dont l'intégration est possible et retenue, leurs bilans énergétique (dont le nombre de kWh économisés par rapport à la solution de référence), économique (notamment coût et temps de retour) et environnemental (nombre de kg de Co2 économisés par rapport à la référence) ;
- 4° le choix de la technologie ou des technologies retenues et leur justification ;
- 5° le numéro de dossier PEB ;
- 6° l'identité et les coordonnées du déclarant, de l'architecte et du responsable PEB ;
- 7° les références d'agrément de l'auteur de l'étude de faisabilité ;
- 8° la date ;
- 9° la signature du déclarant et de l'auteur de l'étude de faisabilité.

Elle doit être jointe au dossier de demande de permis.

BUREAUX			www.arcadisbelgium.be		
<b>Antwerpen- Berchem</b>	<b>Hasselt</b>	<b>Gent</b>			
Citylink - Posthofbrug 12	Eurostraat 1 – bus 1	Kortrijksesteenweg 302			
B-2600 Berchem	B-3500 Hasselt	B-9000 Gent			
T +32 3 360 83 00	T +32 11 28 88 00	T +32 9 242 44 44			
F +32 3 360 83 01	F +32 11 28 88 01	F +32 9 242 44 45			
<b>Brussel</b>	<b>Liège</b>	<b>Charleroi</b>			
Rue Royale 80	26, rue des Guillemins, 2ème étage	119, avenue de Philippeville			
B-1000 Bruxelles	B-4000 Liège	B-6001 Charleroi			
T +32 2 505 75 00	T +32 4 349 56 00	T +32 71 298 900			
F +32 2 505 75 01	F +32 4 349 56 10	F +32 71 298 901			
<b>ARCADIS Belgium nv/sa</b>			<b>Siège social</b>		
<b>BTW BE 0426.682.709</b>			<b>Bruxelles</b>		
<b>RPR BRUSSEL</b>			<b>Rue Royale 80</b>		
<b>ING 320-0687053-72</b>			<b>B-1000 Bruxelles</b>		
<b>IBAN BE 38 3200 6870 5372</b>					
<b>SWIFT BIC BBRUBEBB</b>					