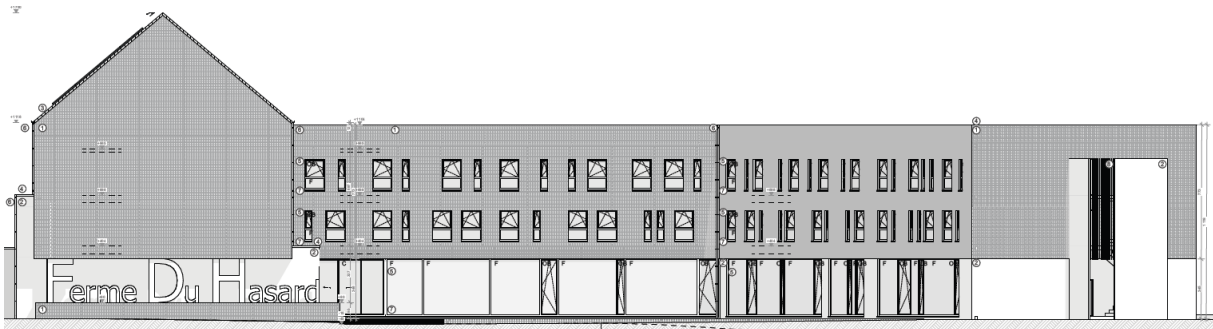


---

## ETUDE DE FAISABILITE

### Bâtiment non-résidentiel en Région wallonne

---



**Projet**

Construction d'un Hotel de 101 Chambres  
Chemin du Hasard à 6940 Durbuy

**Maître d'Ouvrage**

ARE3 SA – Mr Anthony Piette  
Lembergsesteenweg, 29 à 9820 Merelbeke

**Architecte**

atelier 47 – Mme Lies Ponnet  
Neuve Voie, 1 à 6940 Durbuy

**Responsable PEB**

Misko Ingénieurs-Conseils SRL – Mr Francois Doridant  
Place du Général Patton, 15  
B-6600 Bastogne

**Date du rapport**

le 12 avril 2023

## SOMMAIRE

<b>CHAPITRE 1 INTRODUCTION</b>	<b>3</b>
<b>1.1. PRÉSENTATION DE LA SOCIÉTÉ MISKO INGÉNIEURS - CONSEILS</b>	<b>3</b>
<b>1.2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ</b>	<b>4</b>
<b>1.3. TECHNOLOGIES ÉTUDIÉES ET DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE</b>	<b>4</b>
<b>CHAPITRE 2 EVALUATION DES BESOINS</b>	<b>5</b>
<b>2.1. DÉPERDITIONS THERMIQUES</b>	<b>5</b>
2.1.1. DÉPERDITIONS PAR TRANSMISSION	5
2.1.2. DÉPERDITIONS PAR VENTILATION	5
2.1.3. DÉPERDITIONS THERMIQUES TOTALES	5
<b>2.2. BESOIN EN ÉNERGIE POUR LE CHAUFFAGE</b>	<b>6</b>
<b>2.3. BESOIN EN ÉNERGIE POUR L'EAU CHAUDE SANITAIRE</b>	<b>7</b>
<b>2.4. ESTIMATION DE LA PUISSANCE UTILE REQUISE</b>	<b>8</b>
<b>CHAPITRE 3 ETUDES DE RENTABILITÉ</b>	<b>9</b>
<b>3.1. SYSTÈME DE RÉFÉRENCE POUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE</b>	<b>10</b>
3.1.1. PRODUCTION	10
3.1.2. DISTRIBUTION	10
<b>3.2. TECHNOLOGIES NON INTÉGRABLES</b>	<b>11</b>
<b>3.3. INSTALLATION D'UNE CHAUDIÈRE BIOMASSE POUR LA PRODUCTION DE CHAUFFAGE</b>	<b>11</b>
3.3.1. DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME	14
3.3.2. CALCUL DE RENTABILITÉ	16
<b>3.4. INSTALLATION D'UNE POMPE À CHALEUR POUR LA PRODUCTION DE CHAUFFAGE</b>	<b>18</b>
3.4.1. DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME	18
3.4.2. CALCUL DE RENTABILITÉ	18
<b>3.5. INSTALLATION DE PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ</b>	<b>19</b>
3.5.1. DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME	19
3.5.2. AUTOCONSOMMATION	19
3.5.3. CALCUL DE RENTABILITÉ	20
<b>CHAPITRE 4 CONCLUSION</b>	<b>22</b>

## Chapitre 1 Introduction

---

### 1.1. Présentation de la société Misko Ingénieurs - conseils

---

Misko Ingénieurs-conseils est une équipe dynamique composée essentiellement d'ingénieurs en construction qui se complètent à la perfection, alliant rapidité, efficacité et rigueur afin de répondre à vos attentes.

Avec une approche professionnelle orientée sur la qualité, nous apportons une réelle plus-value à nos études et expertises.

Initialement actifs dans le domaine de l'énergie (PEB, audit PAE 2, thermographie, blower door test, etc.), notre bureau s'est également spécialisé dans les techniques spéciales.

Misko Ingénieurs – conseils est actif dans toute la Wallonie et plus particulièrement en Province de Luxembourg, Province de Liège et Province de Namur. Nos bureaux sont établis à Bastogne, Liège et Marche.



## **1.2. Objectif de l'étude de faisabilité**

---

Pour tous les bâtiments neufs soumis à permis d'urbanisme, une étude de faisabilité technique, environnementale et économique est requise.

Cette étude a pour but d'analyser la possibilité de recourir à des systèmes alternatifs de production et d'utilisation d'énergie, en vue d'optimiser la consommation du bâtiment.

Les systèmes concernés sont les suivants :

- Les systèmes décentralisés d'approvisionnement en énergie basés sur des sources d'énergie renouvelable ;
- La cogénération à haut rendement ;
- Les systèmes de chauffage ou de refroidissement urbains ou collectifs, s'ils existent ;
- Les pompes à chaleur.

L'étude de faisabilité doit être jointe au dossier de demande de permis.

## **1.3. Technologies étudiées et déroulement de l'étude**

---

Les technologies envisagées sont les suivantes :

- Cogénération à haut rendement ;
- Chaudière biomasse ;
- Pompe à chaleur ;
- Réseau de chaleur ;
- Panneaux solaires photovoltaïques ;
- Panneaux solaires thermiques.

Cette étude est réalisée en quatre étapes.

Tout d'abord, nous définissons les hypothèses de départ fixant les bases de l'analyse.

Après avoir déterminé les besoins nets en énergie du projet, nous réalisons ensuite une étude de rentabilité pour chaque technologie.

Enfin, nous concluons en comparant les solutions en relevant leurs avantages et inconvénients.

## Chapitre 2 Evaluation des besoins

### 2.1. Déperditions thermiques

Le projet faisant l'objet de l'étude de faisabilité est la construction d'un hôtel de 101 chambres.

La surface utile totale de l'hôtel est supérieure à 1.000 m<sup>2</sup>.

Les données géométriques sont récapitulées ci-dessous (suivant la déclaration PEB initiale établie par le responsable PEB) :

	Hôtel
Surface utile	5969 m <sup>2</sup>
Surface de déperdition	6.967 m <sup>2</sup>
Volume protégé	21.141 m <sup>3</sup>

#### 2.1.1. Déperditions par transmission

Les déperditions par transmission sont calculées par le logiciel PEB de la Région wallonne et sont reprises ci-après. L'évaluation des nœuds constructifs est réalisée suivant la méthode PEB conforme.

#### 2.1.2. Déperditions par ventilation

Le calcul des déperditions par ventilation prend en compte la ventilation volontaire ainsi que l'ex/infiltration (fuites du bâtiment) caractérisée par son  $n_{50}$ . Le rendement du récupérateur de chaleur, s'il existe, intervient uniquement pour la ventilation volontaire.

Dans notre cas, nous supposons un système de ventilation double flux, avec récupération de chaleur.

$$H_V = (n_{50} \times e + (1 - \text{rendement}_{\text{récupération}}) \times \text{Ventil}_{\text{volontaire}} + 0,05) \times 0,34 \times \text{Volume}$$

- Ventilation volontaire : 0,5 volume/h
- Taux de renouvellement d'air par ex/infiltrations :  $n_{50} = 2,0 \text{ h}^{-1}$
- Rendement récupérateur : 75 %

#### 2.1.3. Déperditions thermiques totales

	Hôtel
Flux par transmission $H_T$	2.427 W/K
Flux par ventilation $H_V$	1.811 W/K
Flux total de déperdition	4.238 W/K

## 2.2. Besoin en énergie pour le chauffage

Le besoin en énergie du bâtiment est déterminé suivant la méthode des degrés jours unifiés (DJU) en base 15 :

- Nous considérons que le chauffage est allumé à partir du moment où la température extérieure est inférieure à 15 °C. Etant donné que les gains internes et les apports solaires sont communément évalués à environ 3 °C, cela correspond à une température intérieure de 18 °C ;
- Nous déterminons une période de chauffe, pendant laquelle la température extérieure est, en moyenne mensuellement, inférieure à ces 15 °C. Nous considérons donc que le chauffage ne sera pas rallumé dans le cas où la température serait exceptionnellement tombée sous les 15°C (par exemple en plein mois d'août) ;
- Sur base d'un relevé journalier de température, nous déterminons mensuellement la somme totale cumulée des écarts entre la température extérieure et la température intérieure de référence pour obtenir les DJU exprimés en degré Kelvin ;
- Nous multiplions les DJU par les 24h d'une journée pour obtenir des degrés heures de chauffage (DHC).

Nous faisons donc intervenir les facteurs temps et température pour déterminer la quantité d'énergie totale nécessaire pour maintenir le bâtiment à la température souhaitée :

$$\text{Besoin en énergie annuel (kWh)} = \text{Déperditions} \left( \frac{\text{kW}}{\text{K}} \right) \times \text{DHC (K.h)}$$

De cette valeur, nous décomptons les apports solaires (calculés par le logiciel PEB en fonction de la période de chauffe) et les gains internes (calculés suivant la superficie utile) afin d'obtenir le besoin net en énergie du bâtiment.

Nous considérons que l'hôtel est occupé le week-end ainsi que la semaine – occupation ininterrompue.

Les consignes de température sont les suivantes :

		T [°C]	durée [h/j]	jour /semaine
Week end	T confort	20	24	2
	T réduite	19	0	
Semaine	T confort	20	24	5
	T réduite	19	0	

Les années de référence vont de 2008 à 2017 inclus et le relevé de température provient de la station de Saint-Hubert dans la province du Luxembourg. La saison de chauffe se déroule approximativement de septembre à mai.

Le tableau qui suit présente les résultats et plus particulièrement le besoin brut annuel en énergie pour le chauffage.

Déperditions par transmission	2 427	[W/K]
Déperditions par ventilation	1 811	[W/K]
Station météo	Luxembourg (U1)	
Période de chauffe	252	[jours/an]
DHC	81 409	[K.h/an]
Déperditions totales	345 015	[kWh/an]
Gains internes	106 297	[kWh/an]
Gains solaires	40 766	[kWh/an]
Besoin net annuel en énergie	197 952	[kWh/an]
Rendement du système d'émission	90%	
Besoin brut annuel en énergie	219 946	[kWh/an]

### 2.3. Besoin en énergie pour l'eau chaude sanitaire

Le besoin en ECS (eau chaude sanitaire) est calculé suivant la quantité d'eau chaude sanitaire consommée journalièrement. Pour les 101 chambres, nous considérons 202 personnes au total. La détermination du besoin brut annuel en énergie prendra en compte un taux d'occupation annuel moyen de l'hôtel (50%).

Les moyennes considérées sont les suivantes :

- Douche : 50 litres /personne ;
- Divers (nettoyage, cuisine, ...) : 10 litres /jour.

Pour une production centralisée, le rendement de la boucle d'eau chaude sanitaire devra être pris en compte (70%).

Les pertes dues à la longueur des points de puisages est estimée à 10 %.

Le besoin brut annuel est calculé dans le tableau ci-dessous.

	Bain/douche	Cuisine	
Consommation journalière d'ECS par personne	50	10	[litre/j]
Besoin net en ECS par appartement	1.6	0.5	[kWh/j]
Longueur conduites	2.5	2.5	[m]
Rendement point de puisage	90%	90%	
Rendement boucle sanitaire	70%		
Besoin brut en ECS par personne	941	268.8	[kWh/an]
Besoin brut en ECS pour l'immeuble	122 181		[kWh/an]

## 2.4. Estimation de la puissance utile requise

Nous allons considérer que la chaudière collective doit gérer :

- 30 W/m<sup>2</sup> de déperdition ;
- 100 % des besoins en ECS pour les douches, répartis en 8 heures soit 60 litres \* 2 personnes = 120 litres d'eau en 8 heures par chambre (101 chambres au total) ;

La puissance totale nécessaire est de :

- 30 W/m<sup>2</sup> \* 4.700 m<sup>2</sup> = 141 kW pour les déperditions ;
- Pecs = 0,12 m<sup>3</sup>/h / 8 \* 1.163 \* 30K\*101= 52.8 kW ;

Un calcul plus détaillé sur base des déperditions fournie par l'étude PEB nous fournit :

Température intérieure de confort	20	[°C]
Température extérieure critique	-10	[°C]
Taux de renouvellement d'air équ.	0.32	[vol/h]
Facteur de multiplication pour relance	110%	
Puissance requise pour le chauffage	140	[kW]
Température du ballon requise	60	[°C]
Température de la chaufferie	10	[°C]
Volume d'eau chaude du ballon	6 000	[litres]
Période de chauffe du ballon	8	[h]
Puissance requise pour l'ECS	44	[kW]
Puissance totale	183	[kW]

Soit une puissance totale de 200 kW afin de légèrement surdimensionner l'installation, complétée d'un ballon d'eau chaude sanitaire de 6000 litres.



## Chapitre 3 Etudes de rentabilité

Les études de rentabilité reposent sur des hypothèses qui peuvent s'éloigner de la réalité et constituent donc une première approche indicative quant à la pertinence de la solution étudiée. Si le maître d'ouvrage choisit d'en retenir une ou plusieurs, elles devront alors être affinées pour correspondre au mieux au projet tel que réellement construit.

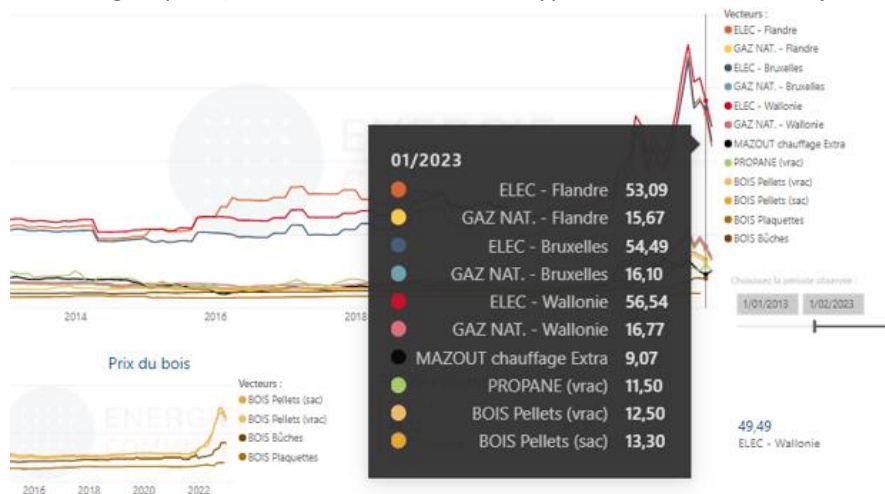
Pour chaque technologie, les impacts économique et écologique sont évalués.

L'investissement net et les gains annuels sont calculés afin d'évaluer le temps de retour sur investissement ainsi que les gains cumulés.

L'aspect environnemental est analysé sur base de l'économie réalisée en énergie primaire et au niveau des rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

Nous prenons en compte les hypothèses suivantes :

- Vecteurs énergétiques (basé notamment sur les hypothèses de l'APERE – janvier 2023) :



	Prix HTVA	Prix TVAC	gCO2/kWh	Inflation
Gaz naturel	0.139	0.168	0.251	3%
Propane	0.095	0.115	0.266	3%
Mazout	0.074	0.090	0.306	3%
Pellets	0.103	0.125	0.046	3%
Electricité	0.467	0.565	0.456	3%

Electricité revenue	0.256	0.310	0.456	3%
---------------------	-------	-------	-------	----

- Le prix de l'électricité est une moyenne jour/nuit ;
- Les prix des pellets est considéré en livraison en vrac ;
- Le taux d'actualisation est de 3% ;
- Le client final est considéré comme une entreprise :
  - o Nous tenons compte de l'imposition ;

L'étude est réalisée sur base des coûts et économies exprimées en **€ HTVA**

### 3.1. Système de référence pour la production d'énergie

---

#### 3.1.1. Production

---

Le système de chauffage consiste en une production de chaleur centralisée par une chaudière au gaz.

#### 3.1.2. Distribution

---

Chauffage :

Ce sont des radiateurs ou du chauffage sol qui assurent l'émission de chaleur.

En cas de pompe à chaleur, nous considérerons des ventilo-convecteurs très basse température.

Le coût du système de distribution + émission est négligé dans l'étude. Nous ne comparons que les systèmes de production.

Le cout moyen d'un chauffage sol est de 35 €/m<sup>2</sup>. Soit 560 € pour un local de 16 m<sup>2</sup> ;

Le cout moyen d'un radiateur est de 0.20 €/W. Pour une surface de 16 m<sup>2</sup> et 60W/m<sup>2</sup> de besoins cela représente 192 €. Afin de travailler en basse température (55/45/20) la taille du radiateur doit être augmenté de 96 % soit un cout total de 376 € auxquels on ajoute la vanne thermostatique (45 €) et des tuyauteries de raccordement (Aller-retour estimé à 2 \* 40 €) soit un cout total de 501 €. Nous négligerons cette différence et partirons du principe que le prix du corps de chauffe est identique dans le cas d'un chauffage sol ou de radiateurs.

Les accessoires en aval de la production tels que vannes 3 voies, vanne d'arrêt, thermostats, ... sont identiques dans les différentes technologies, ils ne seront donc pas comptabilisés également.

ECS :

Une boucle d'eau chaude sanitaire est considérée. Celle-ci sera prévue pour toutes les différentes technologies de l'étude. Le surcoût ne sera donc pas pris en compte, pour comparer une technologie à une autre.

#### 3.1.3. Prix

---

Le prix (HTVA) total du système de référence est décomposé comme suit (2 chaudières en cas de panne de la première) :

- 2 Chaudières 200kW (Prix Vaillant 2023) : 2 x 14.000 €
- Raccordement gaz de ville : 450 €

Total : 28.450 € HTVA

### 3.2. Technologies non intégrables

---

Ces deux technologies ne sont pas intégrables pour les raisons suivantes :

- Réseau de chaleur : aucun réseau disponible dans la région ;
- Le besoin en ECS étant très importants et les difficultés techniques quant à la mise en place de capteurs thermiques en toitures (longueur de tuyauterie = pertes + surconsommation du circulateur + surcout) nous écartent de cette solution.

Nous proposons donc l'étude de quatre scénarios : Cogénération, Pompe à chaleur, chaudière biomasse et installation solaire photovoltaïque.

### 3.3. Installation d'une cogénération au gaz pour la production de chauffage et d'électricité

---

#### 3.3.1. Dimensionnement du système

---

Pour évaluer la rentabilité du système, nous prenons en compte les éléments suivants :

- Fournitures, pose et raccordement de la cogénération

Les investissements relatifs aux systèmes de distribution et d'émission de chaleur ne sont pas comptabilisés étant donné qu'ils sont communs aux autres solutions.

Le dimensionnement de l'unité de cogénération est réalisé à l'aide du logiciel COGENcalc (voir page suivante). Ce programme permet d'estimer la puissance optimale de la cogénération suivant le profil de consommation du projet.

La puissance électrique est déterminante dans le choix de la machine. Nous optons pour :

- Cogénération CogenGreen (Smartblock 15AGc)
- Puissance thermique : 35.6 kW<sub>q</sub>
- Puissance électrique : 15 kW<sub>é</sub>
- Rendement global : 90%

La cogénération tournera, suivant le profil d'utilisation du bâtiment, pendant environ 5667 heures par an.

La durée de vie est annoncée à 70 000 h de fonctionnement, soit environ 15 ans.

Le nombre de certificats verts octroyé a été calculé à l'aide du logiciel de simulation d'octroi de certificat vert de la Région Wallonne.



COGEN calc. xls

Version: 30-03-15

## Calcul approximatif (+/- 30%) de la rentabilité d'une cogénération

Transcription informatique du guide de pertinence "Installer une cogénération dans votre établissement"

- encodez les données relatives à votre situation dans les cases bleues.
- Encodage des variantes au scénario d'évolution des prix, données facultatives
- les résultats sont repris dans les cases blanches; les formules qu'elles contiennent peuvent être modifiées.

Nom de l'établissement :

Construction d'un Hotel de 101 Chambres à Durbuy

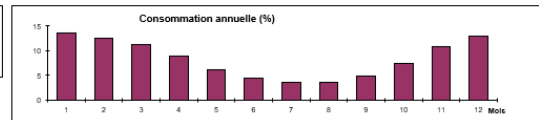
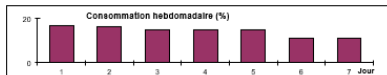
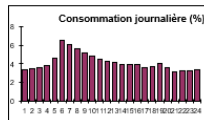
### Dimensionnement de l'unité de cogénération

Besoin Net de Chaleur

$$BNeC = \eta_{chaufferie} \times (Q - Q_{non\ cogen} - URE + DQ) : 306\ 000 \text{ kWh PCI/an}$$

Étape 2 : Sélectionner un "profil type" de consommation de chaleur

Profil de consommation : D - Continue, 7 j sur 7 (soins, horeca hors hôtels bruxellois)



Volume du ballon de stockage de chaleur équivalent 12 heure = 0.8 m³

Nombre d'heure équivalent à la puissance thermique maximale

$$U_Q : 2\ 621 \text{ h/an}$$

Nombre d'heure de fonctionnement à régime nominal de la cogénération

$$U_{cogen} : 5\ 667 \text{ h/an}$$

Part de la puissance thermique maximale assurée par la cogénération

$$Part_{cogen} : 26.5 \%$$

Étape 3 : Déterminer la puissance thermique de l'unité de cogénération

Puissance thermique de l'unité de cogénération

$$P_{Q\ cogen} = (BNeC \times Part_{cogen}) / U_Q : 30.9 \text{ kW}_t$$

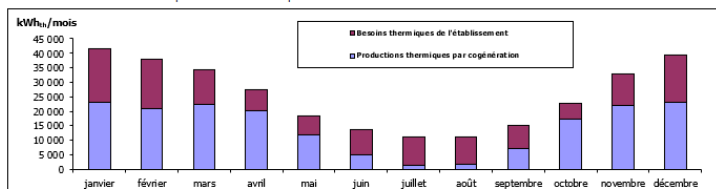
Facteur de réduction de la puissance thermique de la cogénération

$$Réduction\ P_{Q\ cogen} : 0 \%$$

Quantité de chaleur fournie par l'unité de cogénération

$$Q_{cogen} = P_{Q\ cogen} \times U_{cogen} : 175\ 348 \text{ kWh}_t/\text{an}$$

Résultats mensuels des besoins et des productions thermiques



Étape 4 : Choisir une unité de cogénération

Type de technologie de l'unité de cogénération

Moteurs au gaz naturel

Puissance électrique de l'unité de cogénération

$$P_{E\ cogen} : 15.5 \text{ kW}_e$$

Rendement électrique

$$\eta_e : 29.9 \%$$

Rendement thermique

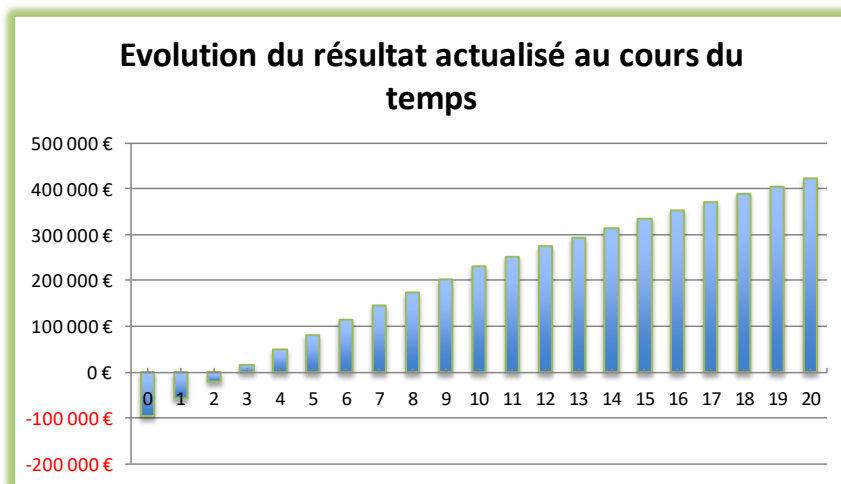
$$\eta_{th} = P_{Q\ cogen} / (P_{E\ cogen} / \eta_e) : 59.9 \%$$

Quantité d'électricité fournie par l'unité de cogénération

$$E_{cogen} = P_{E\ cogen} \times U_{cogen} : 87\ 623 \text{ kWh}_e/\text{an}$$

### 3.3.2. Calcul de rentabilité

		Cogénération	Production équivalente	
			Chaudière	Centrale TGV
Vecteur énergétique		Gaz naturel	Gaz naturel	Gaz naturel
Puissance thermique	[kW]	35.6		
Puissance électrique	[kW]	15.0		
Rendement global		90%	95%	55%
Tps de fonctionnement	[h]	5 667		
Production thermique	[kWh]	201 745	201 745	0
Production électrique	[kWh]	85 005	0	85 005
Consommation	[kWh]	318 611	366 918	
Coût de fonctionnement	[€]	53 527 €	83 705 €	
Economie annuelle en énergie primaire : 48307 kWh				
Coef. émission CO2	[kg/kWh]	0.251	0.251	0.251
Rejets CO2 atmosphère	[kg CO2]	79 971	92 096	
CV obtenus annuellement [2 CV/MWh Produit]			170.0	
Economie annuelle en rejets de CO2 : 12125 kg				
Budget cogénération	95 832.00 €	Economie en énergie		30 178.17 €
		Vente CV (10 ans)		7 294.53 €
		Entretien		-1 210.00 €
Investissement net	95 832.00 €	Résultat annuel		36 262.70 €
Temps de retour sur investissement : 2.6 ans				



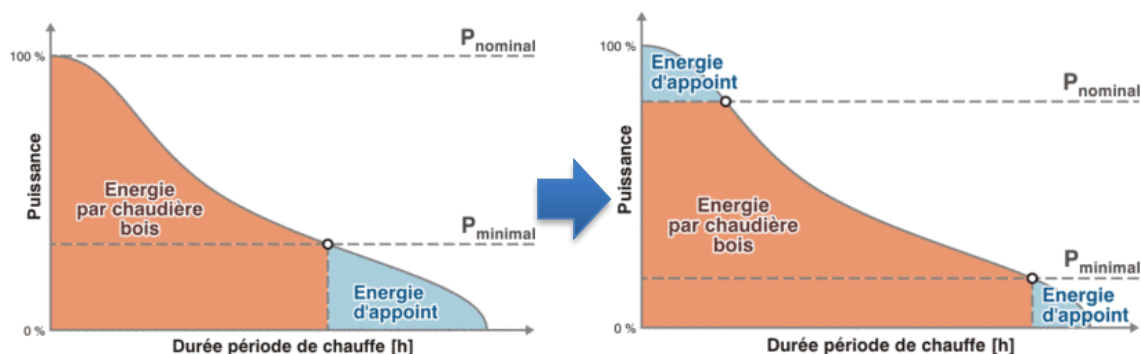
### 3.4. Installation d'une chaudière biomasse pour la production de chauffage

#### 3.4.1. Dimensionnement du système

Les chaudières aux pellets possèdent certaines spécificités par rapport aux chaudières traditionnelles et leur principe de dimensionnement est légèrement différent.

- Besoins de cycles longs de production : elles atteignent leur meilleur rendement lors des longs cycles (sans arrêt). En effet, la qualité de combustion est d'autant plus efficace, ce qui limite également l'émission de gaz et de particules nocives ;
- Plage de modulation plus restreinte : les chaudières aux pellets atteignent leur meilleur rendement près de la puissance nominale. Quand on réduit la puissance, le rendement diminue légèrement. Il existe donc une puissance minimale en-dessous de laquelle les performances de la chaudière sont trop dégradées. Elle correspond à environ 25-30% de la puissance nominale.

Afin de réduire cette plage pendant laquelle la chaudière aux pellets est moins efficace, son installation devra s'accompagner d'un ballon tampon pour allonger les cycles de production et pour absorber les pics et les creux de consommation. L'« énergie d'appoint » renseignée dans les graphiques sera fournie par ce ballon tampon (source graphique: <http://www.energieplus-lesite.be>).



La puissance peut donc être légèrement sous-dimensionnée. Nous considérerons tout de même sur une chaudière de 200 kW afin de garantir un  $T^\circ$  d'eau chaude sanitaire et de confort dans tout le bâtiment, même en période de grand froid.

Stockage pellets :

Pour un remplissage 4X/an et sur base d'une capacité calorifique de 5 kWh/kg et d'une masse volumique de 700 kg/m<sup>3</sup> le volume du silo ou du local doit permettre de stocker 34 m<sup>3</sup>.

Un local compartimenté, à proximité de la route et de la chaudière doit être créé ou aménagé. Cela constitue un premier frein à l'installation de cette technologie. Dans ce cas, nous pouvons le considérer dans le sous-sol proche de l'accès – déchargement.

Réseau d'eau chaude :

Comme pour le système de référence, il faudra prévoir un réseau d'eau chaude pour le chauffage et pour l'ECS. Le surcoût ne sera donc pas pris en compte, pour comparer une technologie à une autre.

Budget fourniture et pose : à retirer si non rentable

- Une chaudière 200 kW et accessoires (ballon tampon, pompe) : **74.900 €**
- Système d'aspiration des pellets (vis, flexible, aspirateur, raccorde de remplissage ...) : **3.000 €**
- Silo maçonné : **2.000 €**.
- Circulateurs principaux : des circulateurs devront fournir le débit nécessaire à la boucle. Leur prix est estimé à 550 €/pièce. On considérera deux pièces afin d'assurer la redondance (entretien, panne).

Le cout total pour l'installation de pellets est de : **81.000 € HTVA**

Auquel on déduit le cout des chaudières et de l'installation gaz.

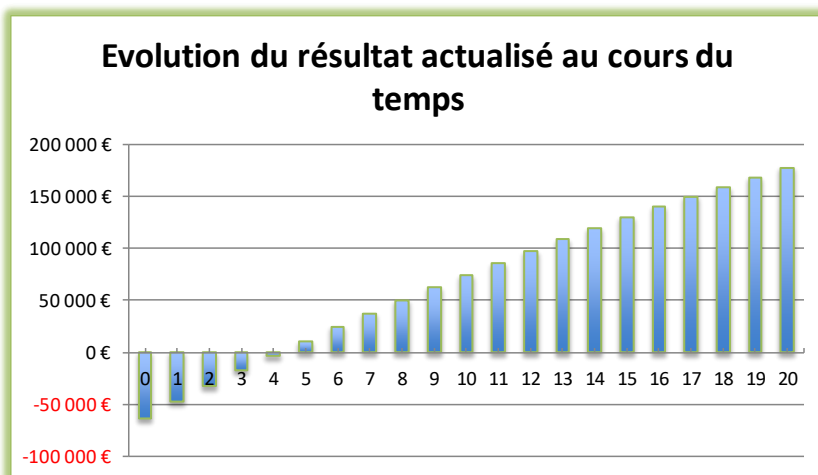
La chaudière biomasse assumera l'ensemble des besoins et la chaudière traditionnelle ne sera donc plus nécessaire.

Les rendements de par la présence d'une boucle de circulation seront de respectivement :

- 90 % chauffage ;
- 70 % ECS.

### 3.4.2. Calcul de rentabilité

		Chaudière biomasse	Chaudière trad.
Vecteur énergétique		Pellets	Gaz naturel
Besoin en chauffage	[kWh]	219 946	
Rendement chauffage		90%	99%
Besoin en ECS	[kWh]	122 181	
Rendement ECS		70%	70%
Consommation totale	[kWh]	418 929	396 712
Coût de fonctionnement	[€]	52 366 €	66 648 €
<b>Economie annuelle en énergie primaire : -22217 kWh</b>			
Coef. émission CO2	[kg/kWh]	0.046	0.251
Rejets CO2 atmosphère	[kg CO2]	19 103	99 575
<b>Economie annuelle en rejets de CO2 : 80472 kg</b>			
Chaudière biomasse 200 kW	96 729.00 €	Economie en énergie	14 281.53 €
Chaudière gaz	-33 430.00 €		
<b>Investissement net</b>	<b>63 299.00 €</b>	<b>Résultat annuel</b>	<b>14 281.53 €</b>
<b>Temps de retour sur investissement : 4.2 ans</b>			

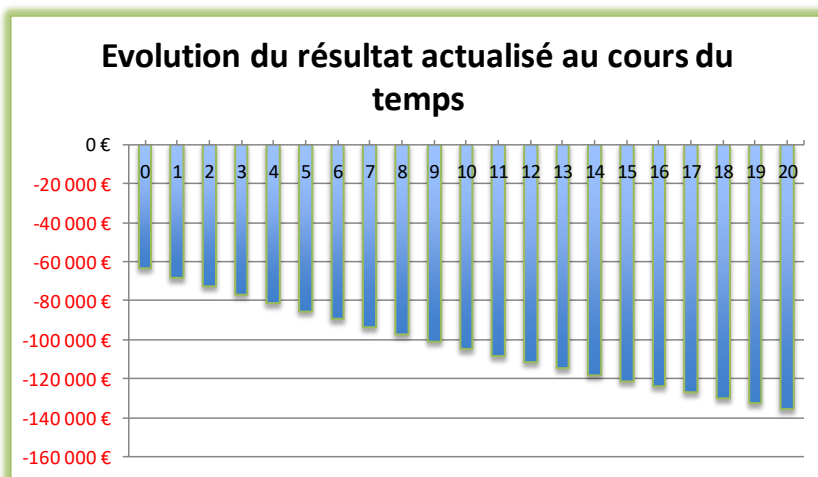


Suivant les prix actuels de l'énergie (janvier 2023), le retour sur investissement sera atteint sur le court terme.



Et voici les résultats en tenant compte du **gaz propane** pour le cas de référence :

		Chaudière biomasse	Chaudière trad.
		Pellets	Propane
Vecteur énergétique			
Besoin en chauffage	[kWh]	219 946	
Rendement chauffage		90%	99%
Besoin en ECS	[kWh]	122 181	
Rendement ECS		70%	70%
Consommation totale	[kWh]	418 929	396 712
Coût de fonctionnement	[€]	52 366 €	45 622 €
<b>Economie annuelle en énergie primaire : -22217 kWh</b>			
Coef. émission CO2	[kg/kWh]	0.046	0.266
Rejets CO2 atmosphère	[kg CO2]	19 103	105 525
<b>Economie annuelle en rejets de CO2 : 86422 kg</b>			
Chaudière biomasse 200 kW	96 729.00 €	Economie en énergie	-6 744.22 €
Chaudière gaz	-33 430.00 €		
<b>Investissement net</b>	<b>63 299.00 €</b>	<b>Résultat annuel</b>	<b>-6 744.22 €</b>
<b>Temps de retour sur investissement : &gt;20 ans</b>			



Suivant les prix actuels de l'énergie (Janvier 2023), le retour sur investissement ne sera jamais atteint (prix de fonctionnement > que le prix de fonctionnement du cas de base).

### 3.5. Installation d'une pompe à chaleur pour la production de chauffage

#### 3.5.1. Dimensionnement du système

Le système étudié consiste en l'installation d'une pompe à chaleur (PAC) électrique de type air/eau. Cette machine thermodynamique a pour objectif de transférer l'énergie d'un milieu froid à un milieu chaud. C'est l'inverse du réfrigérateur.

Le modèle air/eau puise les calories dans l'air extérieur (l'air possède des calories jusqu'au zéro absolu, soit -273 °C) et maintient le bâtiment en température via les émetteurs traditionnels (radiateurs dans notre cas). L'émission est donc identique à celle du système de référence.

Leur performance dépend de plusieurs paramètres :

- De la température de l'air extérieur, et donc des conditions climatiques. Plus l'air est froid, moins il contient de calories et plus il sera difficile d'extraire la quantité nécessaire pour chauffer le bâtiment – le fabricant fournit le COPtest A2/W35 (2°C pour l'air et 35° pour la température de l'eau dans le circuit de distribution) ;
- Du dimensionnement du circuit d'émission de chaleur (départ et retour de l'eau) ;

Le facteur de performance saisonnier, tenant compte de tous ces paramètres, représente leur efficacité sur une année complète.

L'émission de chaleur se fera par des ventilo-convecteurs très basse température.

L'économie réalisable sur la cheminée n'est pas prise en compte car nous considérons qu'elle compensera le coût des tuyauteries entre unités intérieures et extérieures et des supports de fixation en toiture.

#### 3.5.2. Calcul de rentabilité

		<b>PAC</b>	<b>Chaudière trad.</b>
Vecteur énergétique		Electricité	Gaz naturel
Besoin en chauffage	[kWh]	219 946	
Rendement chauffage		350%	99%
Besoin en ECS	[kWh]	122 181	
Rendement ECS		245%	70%
Consommation totale	[kWh]	112 712	374 894
Coût de fonctionnement	[€]	63 682 €	62 982 €
<b>Economie annuelle en énergie primaire : 93115 kWh</b>			
Vecteur énergétique		Electricité	Gaz naturel
Coef. émission CO2	[kg/kWh]	0.456	0.251
Rejets CO2 atmosphère	[kg CO2]	51 396	94 098
<b>Economie annuelle en rejets de CO2 : 42702 kg</b>			

Suivant les prix actuels de l'énergie, l'investissement n'est pas rentable puisque le coût de fonctionnement de la pompe à chaleur est supérieur à celui de la chaudière au gaz.

### 3.6. Installation de panneaux solaires photovoltaïques pour la production d'électricité

#### 3.6.1. Dimensionnement du système

La toiture incline de l'aile gauche dispose d'une superficie utile de 410 m<sup>2</sup> pour la pose des panneaux photovoltaïques.

Ils seront installés sur des structures métalliques orientées sud-est et inclinées à 40°.

Production = Puissance crête \* 0,925 (facteur d'ensoleillement) \* facteur de correction.

Le facteur de correction sera de 94% au vue de l'orientation et de l'inclinaison.

		inclinaison par rapport à l'horizontale (°)						
		0	15	25	35	50	70	90
orientation	est	88%	87%	85%	83%	77%	65%	50%
	sud-est	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	sud	88%	96%	99%	max 100%	98%	87%	68%
	sud-ouest	88%	93%	95%	95%	92%	81%	64%
	ouest	88%	87%	85%	82%	76%	65%	50%

Le panneau considéré a une puissance crête de 400 Wc et d'une superficie nette de 2 m<sup>2</sup>. Son encombrement est de +/- 2,50 m<sup>2</sup> en tenant compte de l'écartement des structures métalliques.

Nous considérons donc 164 panneaux pour une puissance totale de 65.6 kWc.

Caractéristiques d'un panneaux	puissance crête	400 Wc
	dégagement	2.50 m2
Caractéristiques de l'installation	superficie	410 m2
	nombre de panneaux	164
	puissance crête totale	65.6 kWc
Production électrique	facteur de correction	94%
	production électrique annuelle	57 039.2 kWh/an
	auto-consommation	40%

#### 3.6.2. Autoconsommation

Toute l'énergie produite par les panneaux ne sera pas automatiquement consommée au moment de la production. Ceci étant fonction du profil de consommation et des éléments repris ci-dessous :

- les journées en hiver sont plus courtes ce qui réduit la part autoconsommée ;
- la production en été est beaucoup plus importante qu'en hiver : la probabilité d'avoir un surplus de production par rapport à la consommation pendant les mois de juin à septembre est donc fort importante.

En règle générale, La CWaPe estime que cette autoconsommation est en moyenne de 37.76%. Nous estimerons à 40% la part de l'énergie autoconsommée.

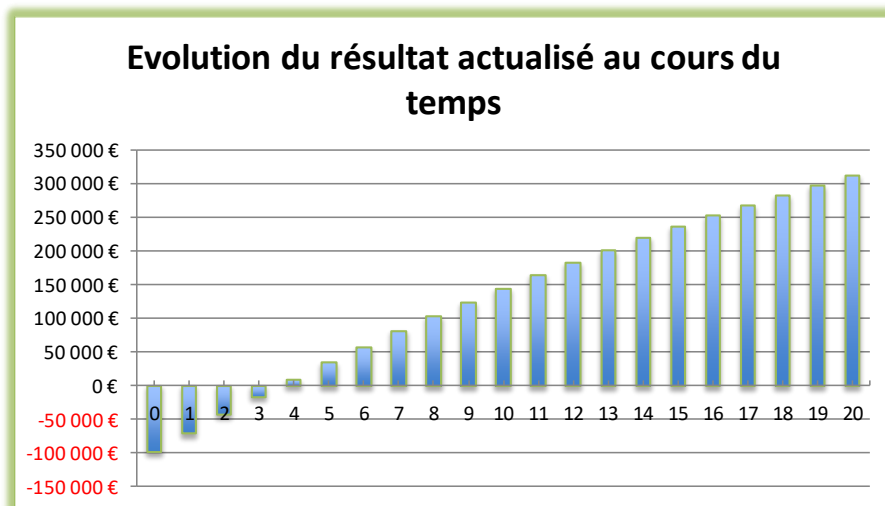
La part d'électricité non autoconsommée, sera revendue à un tarif bien assez peu avantageux.

### 3.6.3. Calcul de rentabilité

Nous considérons que le prix du WC s'élève donc à 1,5 €/Wc TVAC, onduleurs compris. Nous avons supposé une perte de rendement annuelle équivalente à 0,6% par an.

Plus aucune prime n'est octroyée. L'installation étant conséquente, le site sera considéré comme producteur d'électricité. Des taxes spécifiques seront appliquées pour l'utilisation du réseau et l'envoi d'électricité sur celui-ci également. Ces taxes ne sont pas prises en compte dans ce calcul de rentabilité car elles sont spécifiques et difficiles à prévoir.

		Panneaux PV	Centrale TGV
Vecteur énergétique		solaire	Gaz naturel
Production électrique	[kWh]	57 039	57 039
Rendement			55%
Consommation thermique	[kWh]	0	103 708
<b>Economie annuelle en énergie primaire : 142598 kWh</b>			
Coef. émission CO2	[kg/kWh]	0.000	0.251
Rejets CO2 atmosphère	[kg CO2]	0	26 031
<b>Economie annuelle en rejets de CO2 : 26031 kg</b>			
Devis : €/Wc	1.50 €	98 400.00 €	Economie en électricité
Onduleur compris			Revente électricité
<b>Investissement net</b>	<b>98 400.00 €</b>	<b>Résultat annuel</b>	<b>23 500.15 €</b>
<b>Temps de retour sur investissement : 3.6 ans</b>			



### 3.7. PAC + panneaux solaires photovoltaïques

#### 3.7.1. Dimensionnement du système

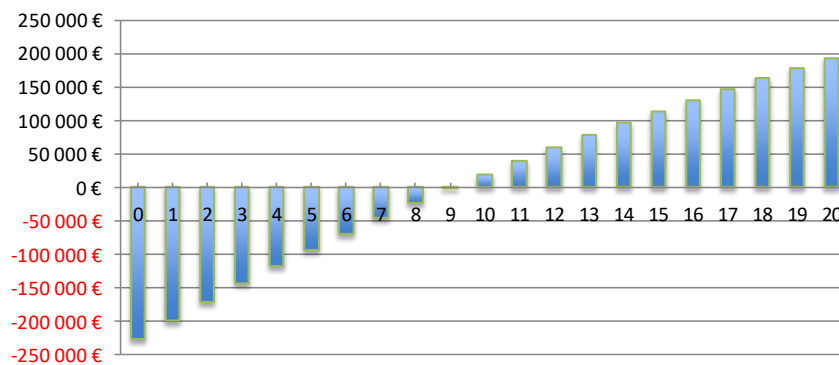
Les caractéristiques de l'installation sont les mêmes que les études ci-dessus, pour la PAC et pour l'installation photovoltaïque. La puissance et la taille des deux systèmes sont donc inchangées.

De cette manière, les panneaux photovoltaïques pourront couvrir 100 % de la consommation des PAC. Cette solution permettrait d'approcher le concept de zéro énergie pour le chauffage.

#### 3.7.2. Calcul de rentabilité

		Panneaux PV	Centrale TGV
Vecteur énergétique		solaire	Gaz naturel
Production électrique	[kWh]	57 039	57 039
Rendement			55%
Consommation thermique	[kWh]	0	103 708
Economie annuelle en énergie primaire : 142598 kWh			
Coef. émission CO2	[kg/kWh]	0.000	0.251
Rejets CO2 atmosphère	[kg CO2]	0	26 031
CV obtenus annuellement [1 CV/456 kg CO2 écon.]		136.9	
Economie annuelle en rejets de CO2 : 26031 kg			
Devis : €/Wc	1.50 €	98 400.00 €	Economie en électricité
			12 890.86 €
			revente
			10 609.29 €
surcoût PAC		128 710.00 €	
			Economie en chauffage
			-699.83 €
Investissement net		227 110.00 €	Résultat annuel
			22 800.33 €
Temps de retour sur investissement : 9 ans			

**Evolution du résultat actualisé au cours du temps**



## Chapitre 4 Conclusion

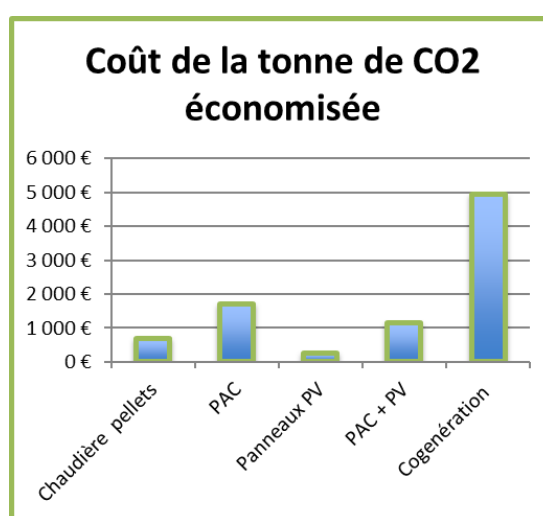
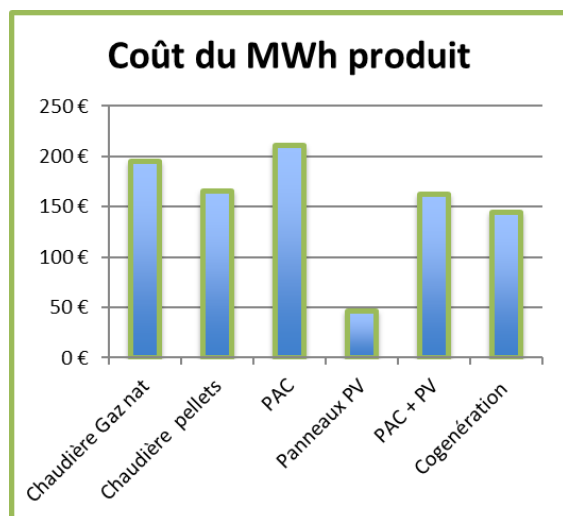
TABLEAU RECAPITULATIF	Chaudière Gaz nat	Chaudière pellets	PAC	Panneaux PV	PAC + PV	Cogénération
Investissement net	0 €	63 299 €	128 710 €	98 400 €	227 110 €	95 832 €
VAN après 20 ans	/	177 426 €	-81 675 €	311 266 €	192 297 €	422 904 €
Production thermique annuelle (kWh)	342 127	342 127	342 127	0	342 127	201 745
Production électrique annuelle (kWh)	0	0	0	57 039	57 039	85 005
Kg de CO2 économisées annuellement	/	80 471.6	42 702.0	26 030.6	68 732.6	12 125.0
Energie primaire économisée annuellement	/	-22 216.8	93 115.2	142 598.0	235 713.2	48 306.6
TRI élaboré (ans)	/	4.2	> 20	3.6	9.0	2.6
Coût de fonctionnement annuel	66 648 €	52 366 €	63 682 €	0 €	63 682 €	53 527 €
Coût de la tonne de CO2 économisée annuel	/	703 €	1 692 €	252 €	1 147 €	4 942 €
Coût du MWh produit (équ. énergie primaire)	195 €	165 €	211 €	46 €	163 €	145 €

\* Investissement net = coût d'installation primes déduites

\* VAN = valeur actualisée nette – le gain économique produit après 15 ans tenant compte de l'inflation

\* TRI = temps de retour sur investissement – période au bout de laquelle l'investissement est rentable

Les deux graphiques qui suivent renseignent les coûts du MWh produit ainsi que de la tonne de co2 économisée sur une période de 15 ans. Les dépenses totales engendrées par chaque technologie pour la production d'énergie sont divisées par le nombre de MWh produit (équivalent énergie primaire) ou par la quantité de rejet de co2 économisée par rapport à la chaudière de référence.



Nos conclusions :

- La cogénération offre un temps de retour sur investissement sur le court terme < 5 ans. L'investissement net est de 95 832€.
- La chaudière à pellets a un cout de fonctionnement actuellement nettement inférieur à celui du système traditionnel, au gaz naturel. L'investissement net est de 63.300 € HTVA. Suivant le cours de l'énergie actuelle, la rentabilité serait atteinte sur le court terme, après env. 5 ans. Si le vecteur énergétique du système de référence est le gaz propane, la rentabilité ne sera jamais atteinte ;
- La pompe à chaleur a un coût de fonctionnement supérieur à celui du système traditionnel. La rentabilité ne sera donc jamais atteinte ;
- L'installation de panneaux photovoltaïques représente un cout de 98.400 € HTVA pour une puissance installée de 65.6 kWc. Plus aucune prime n'est octroyée mais les bénéfices apportés permettent actuellement un TRI de 4 ans, en ne tenant pas compte de la taxe productrice qui

est appliquée pour l'utilisation du réseau.

- L'association des panneaux PV avec la PAC constitue une solution intéressante qui combine des économies financières, à moyen terme, tout en préservant la planète. Suivant le cours de l'énergie actuel, la rentabilité serait atteinte après 9 ans ;



Ing. François Doridant