
ETUDE DE FAISABILITE

Bâtiment résidentiel en Région wallonne



Projet Construction de deux immeubles de 11 appartements (Bloc B – Droite)
Chemin du Hays à 6840 NEUFCHÂTEAU

Maître d'Ouvrage

Architecte ATELIER DE LA GRANGE sprl– Mr Benoît De Broux
Avenue de Bouillon, 78E à 6800 Libramont

A.E.F. Misko Ingénieurs-conseils SRL – Mr François Doridant
Place du Général Patton, 15
B-6600 Bastogne

Date du rapport le 19 décembre 2023

SOMMAIRE

CHAPITRE 1 INTRODUCTION	3
1.1. PRÉSENTATION DE LA SOCIÉTÉ MISKO INGÉNIEURS - CONSEILS	3
1.2. OBJECTIF DE L'ÉTUDE DE FAISABILITÉ	4
1.3. TECHNOLOGIES ÉTUDIÉES ET DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE	4
CHAPITRE 2 EVALUATION DES BESOINS	5
2.1. DÉPERDITIONS THERMIQUES	5
2.1.1. DÉPERDITIONS PAR TRANSMISSION	5
2.1.2. DÉPERDITIONS PAR VENTILATION	5
2.1.3. DÉPERDITIONS THERMIQUES TOTALES	5
2.2. BESOIN EN ÉNERGIE POUR LE CHAUFFAGE	6
2.3. BESOIN EN ÉNERGIE POUR L'EAU CHAUDE SANITAIRE	7
2.4. ESTIMATION DE LA PUISSANCE UTILE REQUISE	8
CHAPITRE 3 ETUDES DE RENTABILITÉ	8
3.1. SYSTÈME DE RÉFÉRENCE POUR LA PRODUCTION D'ÉNERGIE	9
3.1.1. PRODUCTION	9
3.1.2. DISTRIBUTION	9
3.1.3. PRIX	9
3.2. TECHNOLOGIES NON INTÉGRABLES	10
3.3. INSTALLATION D'UNE CHAUDIÈRE BIOMASSE POUR LA PRODUCTION DE CHAUFFAGE	10
3.3.1. DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME	10
3.3.2. CALCUL DE RENTABILITÉ	12
3.4. INSTALLATION D'UNE POMPE À CHALEUR POUR LA PRODUCTION DE CHAUFFAGE	13
3.4.1. DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME	13
3.4.2. CALCUL DE RENTABILITÉ	14
3.5. INSTALLATION DE PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ	14
3.5.1. DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME	14
3.5.2. AUTOCONSOMMATION	15
3.5.3. CALCUL DE RENTABILITÉ	15
3.6. PAC + PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES	16
3.6.1. DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME	16
3.6.2. CALCUL DE RENTABILITÉ	17
CHAPITRE 4 CONCLUSION	18

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 en s'associant à un ingénieur expérimenté.

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 immeuble de 13 appartements et de caves, locaux techniques et locaux compteurs situés dans les communs du bâtiment.

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

La superficie utile (totale), du bâtiment s'élève à 1.020 m², en tenant compte des appartements et des communs.

Les surfaces totales de déperditions des appartements s'élèvent à 1.224 m² (sans les communs).

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.

- Niveau d'isolation globale K = 21
- Flux total de déperdition par transmission des logements : 384 W/K
- Volume protégé total : 2876 m³ ;

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 n₅₀. Nous considérons ce dernier comme étant égal à 2,0 h⁻¹.

Le rendement du récupérateur de chaleur, s'il existe, intervient uniquement pour la ventilation volontaire.

Dans notre cas, nous supposons un système de ventilation simple-flux, sans 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 h⁻¹
- Rendement récupérateur : 0 %
(ventilation de type simple-flux C+, sans récupérateur de chaleur)
- Flux total de déperdition par ventilation des appartements : 540 W/K

2.1.3. Déperditions thermiques totales

Le flux total de déperdition thermique s'élève donc à H_T + H_V = 924 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 :

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

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.

Les consignes de température sont les suivantes (par journée type) pour les appartements :

		T [°C]	durée [h/j]	jour /semaine
Week end	T confort	20	16	2
	T réduite	18	8	
Semaine	T confort	20	8	5
	T réduite	18	16	

Les années de référence vont de 2008 à 2018 inclus et le relevé de température provient de la station de Luxembourg.

La saison de chauffe se déroule approximativement du 1er janvier à mi-mai et de mi-septembre au 31 décembre.

Le tableau qui suit présente les résultats et plus particulièrement le besoin brut annuel en énergie pour le chauffage, pour l'ensemble des appartements :

Déperditions par transmission	384	[W/K]
Déperditions par ventilation	540	[W/K]
Station météo	Luxembourg (U2)	
Période de chauffe	252	[jours/an]
DHC	74 624	[K.h/an]
Déperditions totales	68 905	[kWh/an]
Gains internes	17 287	[kWh/an]
Gains solaires	8 064	[kWh/an]
Besoin net annuel en énergie	43 554	[kWh/an]
Rendement du système d'émission	90%	
Besoin brut annuel en énergie	48 393	[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.

Les moyennes considérées sont les suivantes :

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

Nous considérons que 35 personnes vivent dans l'ensembles des logements de l'immeuble, suivant le calcul ci-dessous :

	nbr appart	nbr pers/appart	
1ch		0	0
2ch		9	27
3ch		2	8

35 personnes en tout dans l'immeuble

11 appartements

En cas de chaudière commune le rendement de la boucle d'eau chaude sanitaire devra être pris en compte (80%). Pour la situation de référence l'eau chaude sanitaire sera produite en direct.

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

Le besoin brut annuel pour les occupants 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	5	5	[m]
Rendement point de puisage	90%	90%	
Rendement boucle sanitaire	80%		
Besoin brut en ECS par personne	823	235.2	[kWh/an]
Besoin brut en ECS pour l'immeuble	37 048		[kWh/an]

2.4. Estimation de la puissance utile requise

Pour une chaudière individuelle, par appartement, la puissance de la chaudière sera la plus grande des valeurs entre : Les besoins en ECS et les déperditions.

La puissance pour la production instantanée de l'ECS nécessaire pour une douche (ou un bain) est de 12 l/min. d'eau à 40 °C c'est-à-dire :

$$12 \frac{l}{min} * 60 \frac{min.}{h} * \frac{1m^3}{1000 l} * 4186 \frac{J}{Kg.K} * 1000 \frac{Kg}{m^3} * \frac{1h}{3600 sec.} * (40-10) K = 25.116 W$$

Les déperditions totales (transmission et ventilation) sont de l'ordre de +/- 60 W/m² c'est-à-dire, pour un appartement de 100 m², un besoin total de 6 kW.

La puissance des chaudières individuelles sera de 25 kW.

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.

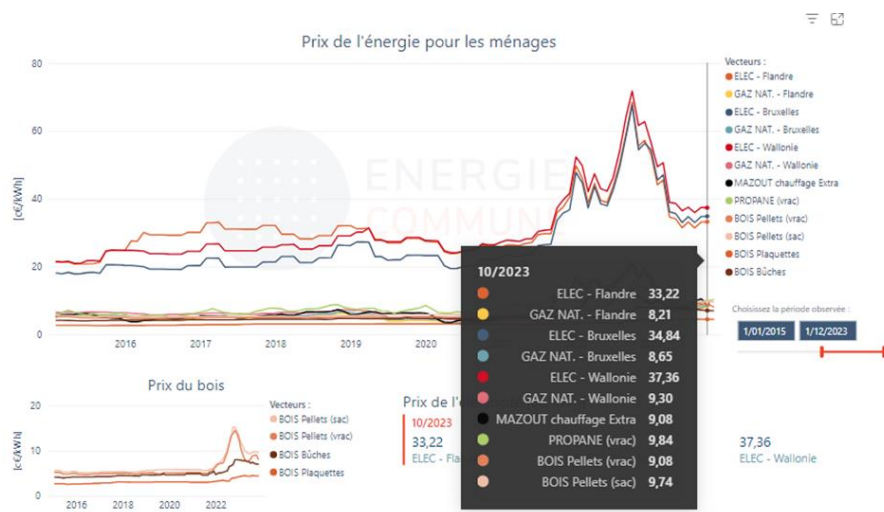
Pour chaque technologie, les impacts économique et écologique sont évalués.

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 CO₂ dans l'atmosphère.

Nous prenons en compte les hypothèses suivantes :

- Vecteurs énergétiques (basé notamment sur les hypothèses de l'APERE) ;



	Prix HTVA	Prix TVAC	gCO2/kWh	Inflation
Gaz naturel	0.077	0.093	0.251	3%
Propane	0.081	0.098	0.266	3%
Mazout	0.075	0.091	0.306	3%
Pellets	0.075	0.091	0.046	3%
Electricité	0.309	0.374	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 une entreprise :
 - o Nous tenons compte de l'imposition ;
 - o 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 par chaudières individuelles au gaz naturel.

3.1.2. Distribution

Ce sont des radiateurs qui assurent l'émission, ceux-ci seront de taille à fonctionner en basse température. En cas de pompe à chaleur il sera considéré du chauffage par le sol.

Le cout moyen d'un chauffage sol est de 35 €/m². Soit 560 € pour un local de 16 m² ;

Le cout moyen d'un radiateur est de 0.20 €/W. Pour une surface de 16 m² et 60W/m² 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.

3.1.3. Prix

Le prix (HTVA) total du système de référence est décomposé comme suit :

- Chaudière (type ThermoMaster T25/30 GN – BULEX) : 1.050 € (prix pour 11 chaudières)
- Raccordement gaz de ville : 450 €

Total : 1.815 € TVAC par appartement.

3.2. Technologies non intégrables

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

- Réseau de chaleur : aucun réseau disponible dans la région ;
- Cogénération : les besoins en chaleur ne sont pas suffisamment constants tout au long de l'année pour ce type d'immeuble principalement résidentiel, où la consommation dépend fortement des activités et profils des occupants.
- Les difficultés techniques quant à la mise en place de capteurs thermiques en toitures, par rapport à l'emplacement de la chaudière, nous écartent de cette solution (longueur de tuyauterie = pertes + surconsommation du circulateur + surcout).

Nous proposons donc l'étude de trois scénarios :

- Pompe à chaleur air/eau ;
- Chaudière biomasse ;
- Une installation photovoltaïque.

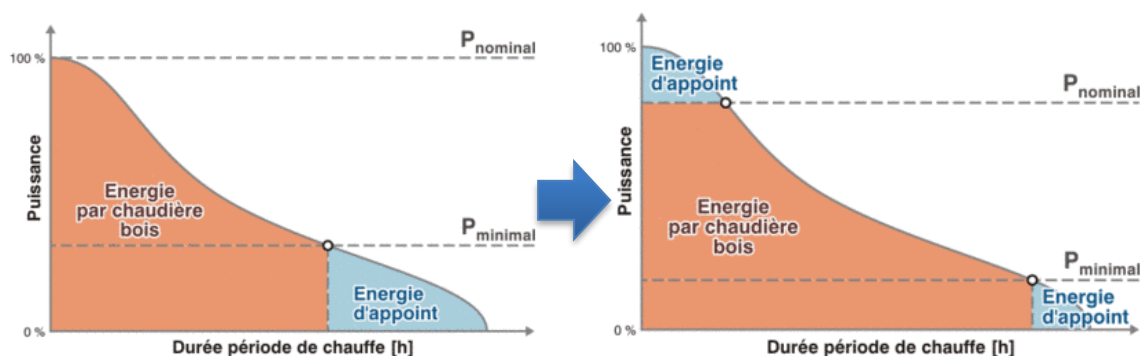
3.3. Installation d'une chaudière biomasse pour la production de chauffage

3.3.1. 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>).



L'étude sur base des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire du bâtiment, nous fournir la puissance nécessaire suivante :

Température intérieure de confort	20	[°C]
Température extérieure critique	-11	[°C]
Taux de renouvellement d'air équ.	0.69	[vol/h]
Facteur de multiplication pour relance	110%	
Puissance requise pour le chauffage	31	[kW]
Température du ballon requise	60	[°C]
Température de la chaufferie	10	[°C]
Volume d'eau chaude du ballon	2 100	[litres]
Période de chauffe du ballon	8	[h]
Puissance requise pour l'ECS	15	[kW]
Puissance totale	47	[kW]

Nous considérons une chaudière de 70 kW, pour garder une marge lors de grandes périodes de froids et assurer les relances.

Stockage pellets :

Pour un remplissage 4X/an et sur base d'une capacité calorifique de 4.7 kWh/kg et d'une masse volumique de 700 kg/m³ le volume du silo ou du local de stockage, qui couvrira l'ensemble des besoins, doit permettre de stocker 10 m³ de pellets. Un local compartimenté, à proximité de la route et de la chaudière doit être créé ou aménagé. Pour cette étude nous considérons que ce local sera créé au niveau sous-sol, proche d'une cage d'escalier ou d'une gaine technique plus centrale.

Réseau d'eau chaude et station d'appartement :

Il faut prévoir une station d'appartement par appartement.

Il faut également prévoir la boucle d'eau chaude sanitaire, qui reliera la chaudière commune aux sous-stations d'appartement, via 4 gaines techniques verticales secondaires menant aux étages : une pour les appartements 1-5-9 ; une pour les appartements 2-6-10 ; une pour les appartements 3-7 ; une pour les appartements 4-8. La boucle d'ECS principale horizontale, au plafond du RDC fera environs 60 m de long. Les 4 boucles verticales feront chacune 8m de long a/r, soit 32m au total.

Budget fourniture et pose :

- Une chaudière de 70 kW et accessoires (ballon tampon, pompe) : **28.500 €**
- Systèmes d'aspiration des pellets (vis, flexible, aspirateur, raccorde de remplissage ...) : **3.000 €**
- Réseau d'eau chaude : 60 m * 75 €/m + 32 m * 50 €/m = **6.100 €**
- Station d'appartement : 13 * 600 € = **7.800 €**
- Silo maçonné : **2.500 €** (le local est à créer)
- Circulateurs principaux : des circulateurs devront fournir le débit nécessaire à la boucle. Leur prix est estimé à 550 €/pièce. On considérera 2 pièces afin d'assurer la redondance (entretien, panne).

Le cout total pour l'installation de pellets est de : **49.000 €** (HTVA)

Auquel on déduit le cout des 11 chaudières gaz communes et de l'installation gaz.

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

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

- 80 % chauffage ;
- 64 % ECS.

3.3.2. Calcul de rentabilité

		Chaudière biomasse	Chaudière trad.
Vecteur énergétique		Pellets	Gaz naturel
Besoin en chauffage	[kWh]	48 393	
Rendement chauffage		80%	95%
Besoin en ECS	[kWh]	37 048	
Rendement ECS		64%	90%
Consommation totale	[kWh]	118 378	92 104
Coût de fonctionnement	[€]	10 749 €	8 566 €
Economie annuelle en énergie primaire : -26274 kWh			
Coef. émission CO2	[kg/kWh]	0.046	0.251
Rejets CO2 atmosphère	[kg CO2]	5 398	23 118
Economie annuelle en rejets de CO2 : 17720 kg			
Chaudière biomasse 50-70 kW + Accessoires et réseau/circulateurs	49 000.00 €	Economie en énergie	-2 183.06 €
Chaudières gaz	-19 965.00 €		
Investissement net	29 035.00 €	Résultat annuel	-2 183.06 €
Temps de retour sur investissement : >20 ans			

Suivant les prix actuels de l'énergie, l'investissement n'est pas rentable en tenant compte du surinvestissement que nécessite la chaudière aux pellets. En effet, le coût de fonctionnement de la chaudière pellet est supérieur au cout de fonctionnement du cas de référence. Au vu des fluctuations des prix de l'énergie actuelles, Il faudra vérifier l'évolution future du prix du gaz et du pellet avant d'orienter les choix.

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

3.4.1. 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.

Nous optons une PAC air/eau par unité appartements, dont les caractéristiques principales sont les suivantes (Genia Air 5/2 de Bulex) :

- Puissance : 5 kW ;
- COP test : 3,5 ;
- Ballon ECS – 200 litres ;

L'émission de chaleur se fera par un chauffage sol.

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.

La PAC assumera l'ensemble des besoins et les chaudières au gaz traditionnelles ne seront donc plus nécessaires.

Le prix est celui donné par le fabricant *BULEX* pour l'année 2020 :

- Unité extérieure : 6.000 €
- Module hydraulique complet : 1.000 €
- Accessoires : 500 €

Total pour les 11 PAC : 82.500 € (HTVA)

3.4.2. Calcul de rentabilité

		PAC	Chaudière trad.
Vecteur énergétique		Electricité	Gaz naturel
Besoin en chauffage	[kWh]	48 393	
Rendement chauffage		350%	95%
Besoin en ECS	[kWh]	37 048	
Rendement ECS		280%	90%
Consommation totale	[kWh]	27 058	92 104
Coût de fonctionnement	[€]	10 109 €	8 566 €
Economie annuelle en énergie primaire : 24459 kWh			
Vecteur énergétique		Electricité	Gaz naturel
Coef. émission CO2	[kg/kWh]	0.456	0.251
Rejets CO2 atmosphère	[kg CO2]	12 338	23 118
Economie annuelle en rejets de CO2 : 10780 kg			
Pompes à chaleur	82 500.00 €	Economie en énergie	-1 543.14 €
Chaudières gaz	-23 595.00 €		
Investissement net	58 905.00 €	Résultat annuel	-1 543.14 €
Temps de retour sur investissement : >20 ans			

Suivant les prix actuels de l'énergie, l'investissement de pompes à chaleur n'est pas rentable.

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

3.5.1. Dimensionnement du système

Les toitures inclinées représentent une surface utile, pour la pose des panneaux P.V., de +/- 160 m², après avoir décompté :

- Les vélux ;
- Les bords de toitures.

Production = Puissance crête * 0,90 (facteur d'ensoleillement) * facteur de correction.

Le facteur de correction sera de 99% car inclinaison de 30° et orientation sud.

		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 est le suivant : « Trina Solar Honey M 370W Half-Cut Black Frame » d'une puissance crête de 370 Wc et d'une superficie nette de 1,83 m². Son encombrement est de +/- 2 m² par panneaux sur toiture inclinée.

Caractéristiques d'un panneaux	puissance crête	370 Wc
	dégagement	2.00 m2
Caractéristiques de l'installation	superficie	160 m2
	nombre de panneaux	80
	puissance crête totale	29.6 kWc
Production électrique	facteur de correction	99%
	production électrique	27 106.2 kWh/an
	auto-consommation	100%

Soit une production d'environ 27.1 MWh/an, au maximum. Ce qui représente une production d'environ 2.1 MWh/an /appartement.

Budget fourniture et pose : 1.50 €/Wc (HTVA), onduleurs compris pour chaque installation.

3.5.2. Autoconsommation

Nous supposons que 100 % de la production est autoconsommée. Nous ne savons cependant pas en déterminer la part exacte, celle-ci 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.

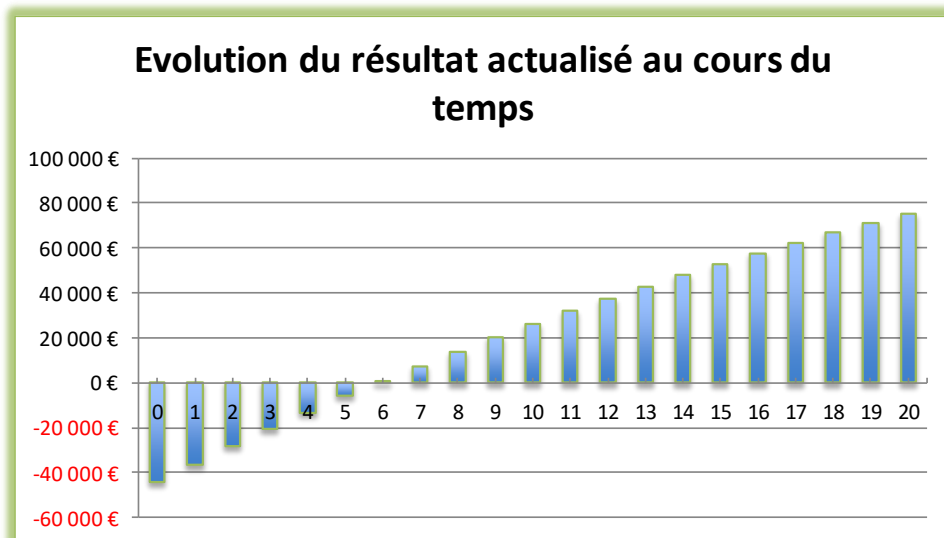
3.5.3. Calcul de rentabilité

Nous considérons que le prix du WC s'élève donc à 1.50 €/Wc HTVA pour l'ensemble de l'installation. Nous avons supposé une perte de rendement annuelle équivalente à 0,6% par an.

Plus aucune prime n'est octroyée. Une nouvelle taxe sur l'utilisation réseau est d'application depuis octobre 2020. Elle représente, pour le projet étudié ici de 90,63 €/KW de la puissance de l'onduleur, soit +/- 3.000 €/an, en considérant 11 onduleurs d'une puissance individuelle de 3 kW.

Tarif prosumer capacitaire TVAC				
exprimé en €/kWe	2020	2021	2022	2023
AIEG	66,87	67,43	67,27	65,50
AIESH	85,29	86,34	86,50	86,91
ORES NAMUR	87,41	88,16	88,50	88,21
ORES HAINAUT	85,78	85,47	85,95	84,86
ORES EST	98,63	99,39	99,26	98,53
ORES Luxembourg	89,54	90,29	90,63	91,63
ORES VERVIERS	98,84	98,79	99,07	97,08
ORES BRABANT WALLON	78,62	79,24	79,51	79,52
ORES MOUSCRON	78,81	79,67	80,31	82,26
RESA	76,04	77,06	76,87	77,19
REW	89,46	90,75	92,10	88,67

		Panneaux PV	Centrale TGV	
Vecteur énergétique		solaire	Gaz naturel	
Production électrique	[kWh]	27 106	27 106	
Rendement			55%	
Consommation thermique	[kWh]	0	49 284	
Economie annuelle en énergie primaire : 67766 kWh				
Coef. émission CO2	[kg/kWh]	0.000	0.251	
Rejets CO2 atmosphère	[kg CO2]	0	12 370	
Economie annuelle en rejets de CO2 : 12370 kg				
Devis : €/Wc	1.50 €	44 400.00 €	Economie en électricité	10 126.88 €
Onduleurs compris			Taxe	-2 990.79 €
Investissement net		44 400.00 €	Résultat annuel	7 136.09 €
Temps de retour sur investissement : 5.9 ans				



3.6. PAC + panneaux solaires photovoltaïques

3.6.1. Dimensionnement du système

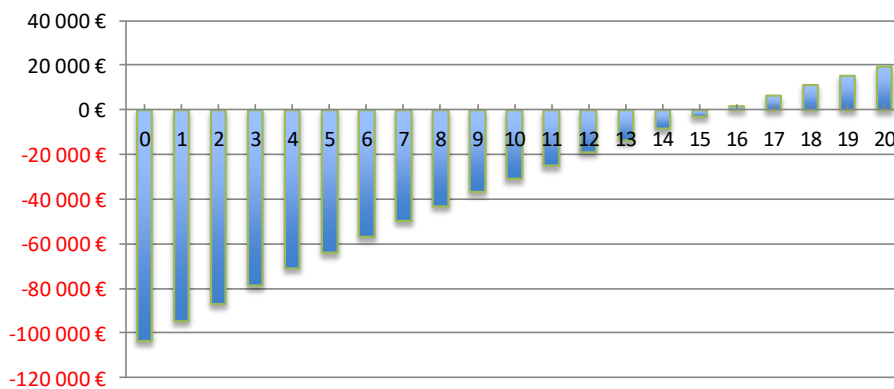
Les caractéristiques de l'installation sont les mêmes que les études ci-dessus, pour la PAC et pour l'installation photovoltaïque. La puissance et la taille des deux systèmes sont donc inchangées.

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

3.6.2. Calcul de rentabilité

		Panneaux PV	Centrale TGV
Vecteur énergétique		solaire	Gaz naturel
Production électrique	[kWh]	27 106	27 106
Rendement			55%
Consommation thermique	[kWh]	0	49 284
Economie annuelle en énergie primaire : 67766 kWh			
Coef. émission CO2	[kg/kWh]	0.000	0.251
Rejets CO2 atmosphère	[kg CO2]	0	12 370
CV obtenus annuellement [1 CV/456 kg CO2 écon.]		65.1	
Economie annuelle en rejets de CO2 : 12370 kg			
Devis : €/Wc	1.50 €	44 400.00 €	Economie en électricité
			Taxe
surcoût PAC		58 905.00 €	
			Economie en chauffage
Investissement net	103 305.00 €	Résultat annuel	5 592.94 €
Temps de retour sur investissement : 15.7 ans			

Evolution du résultat actualisé au cours du temps



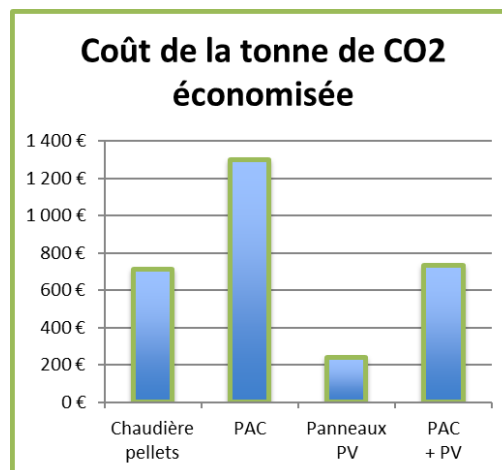
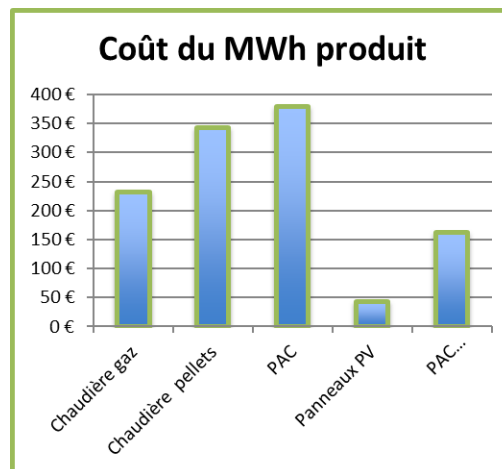
Chapitre 4 Conclusion

TABLEAU RECAPITULATIF	Chaudière gaz	Chaudière pellets	PAC	Panneaux PV	PAC + PV
Investissement net	0 €	29 035 €	58 905 €	44 400 €	103 305 €
VAN après 20 ans	/	-48 554 €	-55 572 €	75 155 €	19 583 €
Production thermique annuelle (kWh)	37 048	37 048	37 048	0	37 048
Production électrique annuelle (kWh)	0	0	0	27 106	27 106
Kg de CO2 économisées annuellement	/	17 720.1	10 779.7	12 370.3	23 150.0
Energie primaire économisée annuellement	/	-26 274.1	24 459.4	67 765.5	92 224.9
TRI élaboré (ans)	/	> 20	> 20	5.9	15.7
Coût de fonctionnement annuel	8 566 €	10 749 €	10 109 €	0 €	10 109 €
Coût de la tonne de CO2 économisée annuel	/	716 €	1 302 €	239 €	734 €
Coût du MWh produit (équ. énergie primaire)	231 €	342 €	379 €	44 €	162 €

* 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



Nos conclusions économiques :

- Suivant les coûts de l'énergie actuels, la chaudière collective à pellets, a un cout de fonctionnement supérieur à celui du système traditionnel. L'investissement net est de 29.035 € HTVA. La rentabilité ne sera pas atteinte. Ce résultat est à confirmer en fonction de l'évolution du coût de l'énergie des prochain(e)s mois/années ;
- Les pompes à chaleur individuelles seules, ont un investissement net de 68.220 € HTVA et coûtent légèrement plus cher annuellement en cout de fonctionnement. La rentabilité ne sera pas atteinte, même sur le long terme ;
- L'installation de panneaux photovoltaïques représente un cout maximal de 44.400 € HVAC. Plus aucune prime n'est octroyée mais les bénéfices apportés permettent un TRI de 6 ans, en incluant la taxe qui est à présent appliquée pour l'utilisation du réseau. Cette taxe est évaluée à 3.000 €/an pour l'ensemble des installations P.V. de l'immeuble.
- L'association des panneaux PV avec la PAC constitue la solution le plus intéressante qui combine des économies financières, à court terme, tout en préservant la planète. Le TRI est de 15 ans, en incluant la taxe sur les panneaux P.V.

Nos conclusions techniques :

- La chaudière collective à pellets représente un système désormais fiable mais encombrant (silo à pellets, boucles, local technique, stations d'appartement). De plus il faut prévoir la gestion des entretiens et du ravitaillement, tandis que dans le système de référence chaque locataire/propriétaire a la responsabilité de son installation.
- Le système de pompes à chaleur nécessite une place non-négligeable pour l'installation des unités extérieures, qui devront être placées au niveau de la toiture (ouverture à prévoir) et des balcons. Par contre, si une climatisation est demandée, alors la PAC serait la solution la moins chère à l'achat.



Ing. François Doridant