

ETUDE DE FAISABILITÉ TECHNIQUE, ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE

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

Projet : Transformation d'un immeuble existant en un immeuble à appartements
I Responsable PEB : BE DTS I Déclarant PEB : **Immobilière Namuroise**

DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE
DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE, DU LOGEMENT, DU PATRIMOINE ET DE L'ÉNERGIE
Place de la Rue 1, B-5100 Namur (Jambes) . Tél. : 081 00 00 00 • Fax : 081 00 00 00

Projet

- Bâtiment de plus de 1000 m²
- 10, Avenue de la Métrologie
- 1030 Schaerbeek

Rendeur

- Immobilière Namuroise
- 451 Route de Lennik
- 1070 Anderlecht

Architecte

- ARTER
- Rue du Marché Aux Herbes
- 1000 Bruxelles

Responsable PEB

- BE DTS sprl
- 8, Avenue des Dauphins
- 1495 Sart Dames Avelines

Auteur d'étude de faisabilité

- BE DTS sprl
- 8, Avenue des Dauphins
- 1495 Sart Dames Avelines

TABLE DESMATIERES

TABLE DESMATIERES.....	1
Introduction et méthodologie	4
En guise d'introduction, l'auteur présente le contexte réglementaire dans lequel s'inscrit l'étude, l'objectif ainsi que les étapes suivies lors de la réalisation de l'étude, de manière claire et concise	4
Synthèse des résultats	5
Rapport détaillé.....	8
Tableau synthétique des hypothèses	8
Présentation du bâtiment.....	10
Besoins énergétiques du bâtiment	12
Technologie de référence	13
Technologie de référence	Erreur ! Signet non défini.
Caractéristiques techniques et intégration	Erreur ! Signet non défini.
Aspects énergétiques et environnementaux	19
Aspect financier	Erreur ! Signet non défini.
Résultats	15
Technologies alternatives	17
Analyse de la disponibilité des variantes	17
Faisabilité des solutions retenues – Chauffage.....	19
Technologie de base avec des panneaux photovoltaïques	19
Pompe à chaleur.....	23
Pompe à chaleur avec des panneaux solaires	26
Biomasse	
Faisabilité des solutions retenues – Refroidissement	31
Faisabilité des solutions retenues – Électricité	31
Etude comparative.....	31
Conclusion	Erreur ! Signet non défini.

INTRODUCTION ET MÉTHODOLOGIE

En guise d'introduction, l'auteur présente le contexte réglementaire dans lequel s'inscrit l'étude, l'objectif ainsi que les étapes suivies lors de la réalisation de l'étude, de manière claire et concise.

La présente étude est établie conformément aux prescriptions du Décret du 28 novembre 2013 en vue de promouvoir la performance énergétique des bâtiments (PEB) et ses arrêtés d'application.

Lorsqu'une demande de permis d'urbanisme a pour objet la construction d'un bâtiment neuf¹, l'étude de faisabilité technique, environnementale et économique et la déclaration PEB initiale sont jointes, par le déclarant PEB, au dossier de demande de permis. Cette étude a pour but d'analyser la possibilité de recourir à des systèmes de substitution à haute efficacité énergétique en se basant sur des critères objectifs (techniques, financiers ou environnementaux).

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

- Panneaux solaires thermiques ;
- Panneaux solaires photovoltaïques ;
- Pompe à chaleur ;
- Réseau de chaleur

Différents scénarios d'utilisation de ces systèmes sont étudiés de manière à définir les meilleurs moyens de couvrir les besoins pour atteindre un bilan technique, environnemental et économiquement optimal.

Cette étude présente en première partie un résumé des résultats et conclusions obtenus. La méthodologie, les hypothèses ainsi que le détail des calculs sont présentées dans la seconde partie du rapport.

Pour chaque technologie, les aspects d'intégration au bâtiment sont analysés. Les paramètres influençant la rentabilité tels que le coût et les subsides sont ensuite détaillés.

L'auteur de l'étude doit au minimum envisager la possibilité de recourir aux technologies citées ci-dessus (générateurs de chaleur fonctionnant à la biomasse, systèmes solaires thermiques, systèmes solaires photovoltaïques, pompes à chaleur, réseaux de chaleur). L'auteur peut également envisager d'autres systèmes de production d'énergie à haute efficacité énergétique comme la cogénération à haut rendement, refroidissement naturel, ...).

¹ Et pour les constructions assimilées à du neuf.

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Cette partie consiste en la partie simplifiée de l'étude. Elle présente en une page les principaux résultats et une brève analyse de ceux-ci. Cette partie doit se « suffire à elle-même » et être accessible à tous.

La synthèse se présente sous la forme de graphiques ou de tableaux présentant, pour chaque solution renouvelable étudiée les trois grands axes d'intérêt : environnemental, énergétique et économique.

Une brève conclusion justifie le choix des technologies étudiées et la raison qui a poussé l'auteur de l'étude à écarter les autres technologies principales.

Le projet étudié est une construction d'un immeuble à appartements (7) + 1 partie non résidentielle

Les technologies suivantes ont été envisagées :

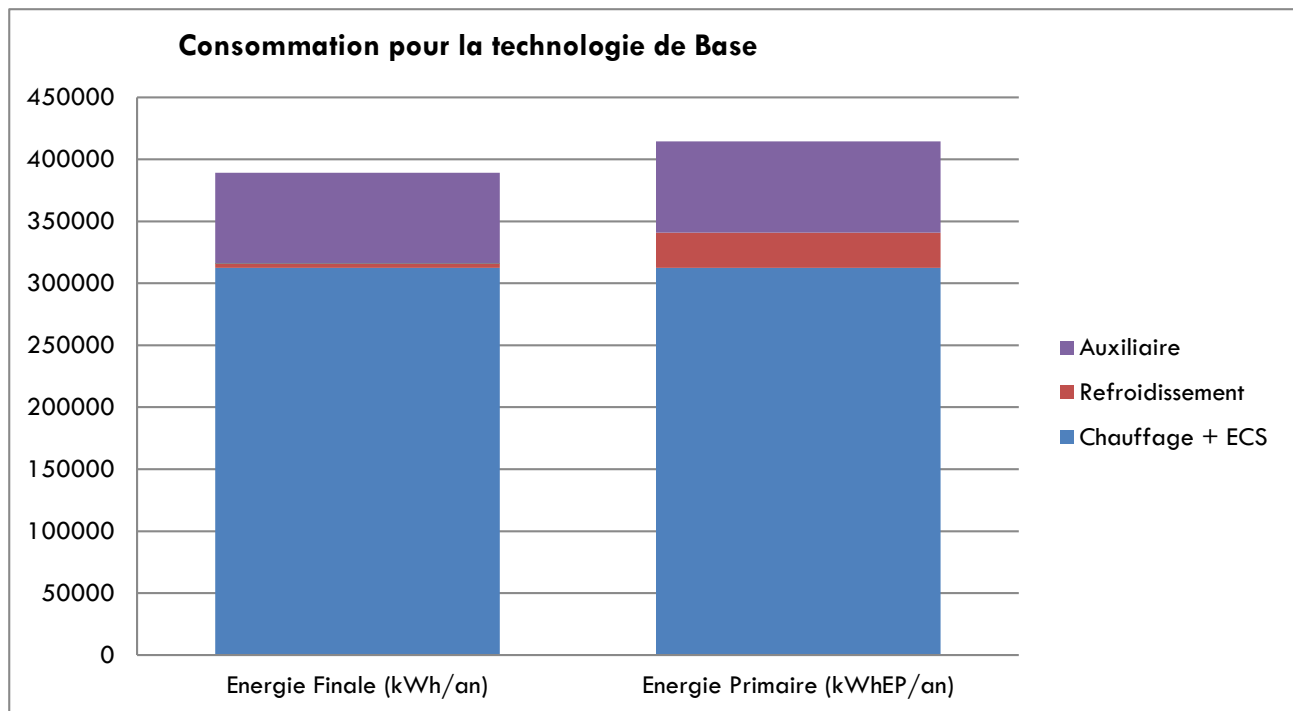
Technologie	Solaire Photovoltaïque 1	Pompe à chaleur	Réseau de chaleur	PAC + Solaire Photovoltaïque	Biomasse
Justification	T1	T2	Indisponible à proximité	T3	T4

Les technologies suivantes ont été retenues pour l'analyse :

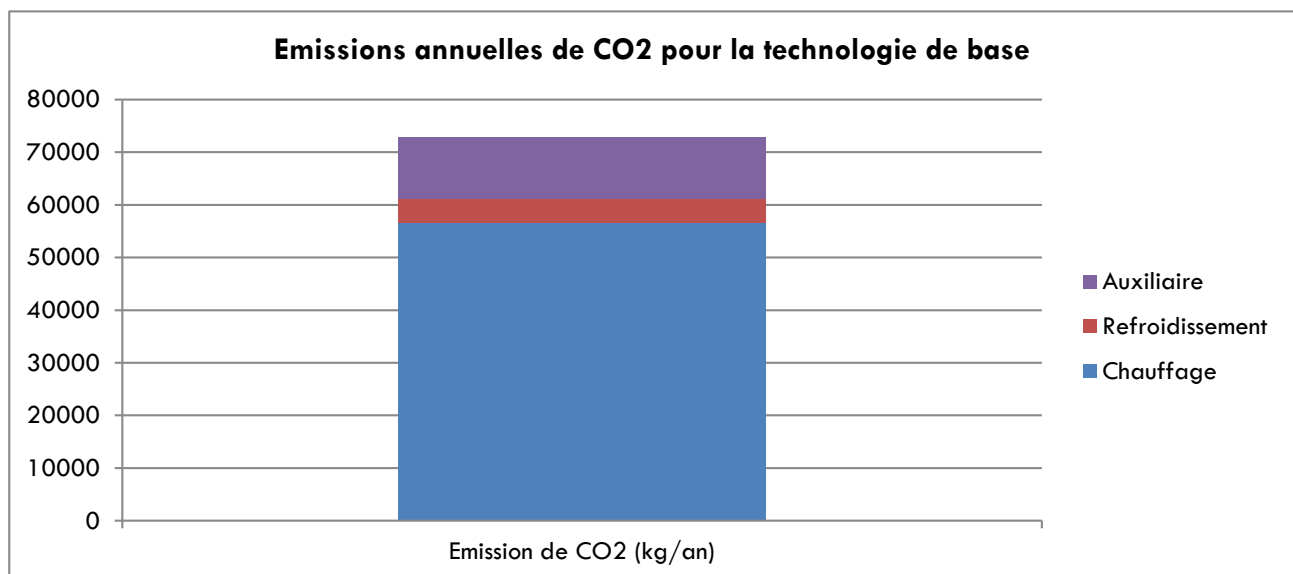
- **T1 - Technologie traditionnelle de base** : Chaudière à condensation
- **T1-Photovoltaïque 1**: Chaudière à condensation + panneaux solaires photovoltaïques
- **T2-Pompe à chaleur**: PAC Air/Eau.
- **T3-Photovoltaïque 2**: PAC Air/Eau + panneaux solaires thermiques
- **T4-Biomasse** : non exigé à Bruxelles

Ci-dessous, les graphiques reprenant la consommation en énergie finale et en énergie primaire ainsi que l'émission en CO₂ pour le cas de base T0.

Graphique reprenant la consommation en énergie finale et primaire pour T0. [Graphe 1]

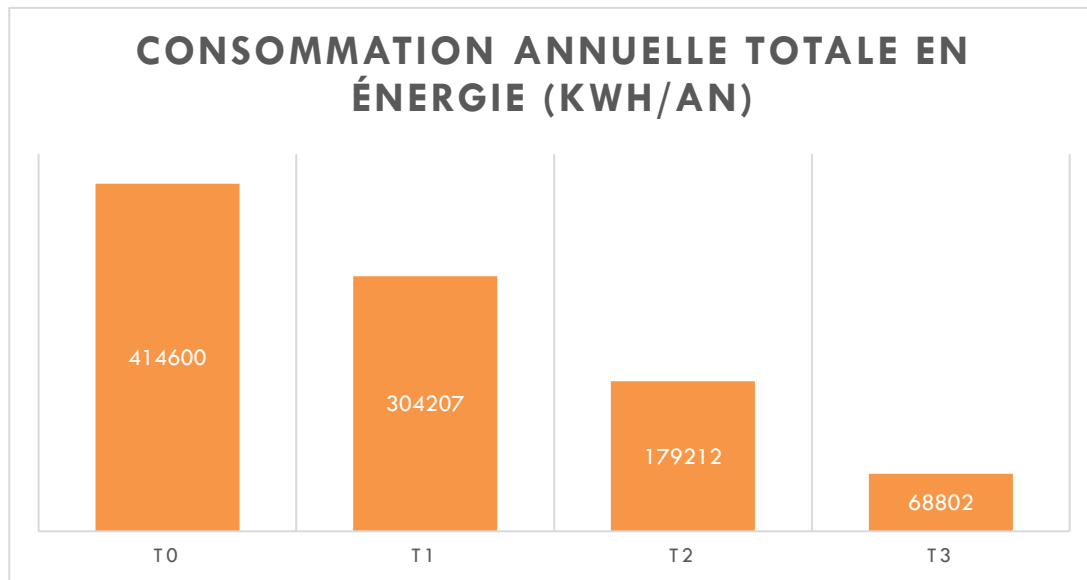


Graphique reprenant l'émission annuelle de CO₂ pour T0.[Graphe 2]

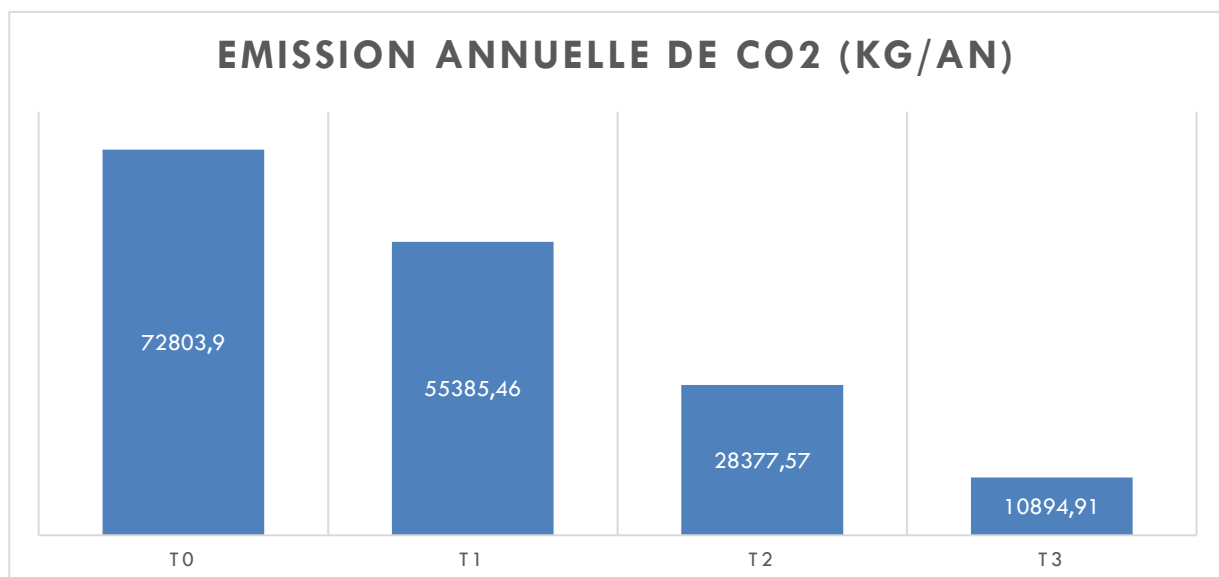


Pour chaque scénario étudié, les consommations en énergie primaire et émissions de CO₂ pour le chauffage, ont été comparées à celles de la technologie de référence.

Graphique reprenant la consommation annuelle totale en énergie pour T0, T1, T2, T3 et T4 [Graphe 3]



Graphique reprenant l'émission annuelle de CO₂ totale pour T0, T1, T2, T3 et T4 [Graphe 4]



RAPPORT DÉTAILLÉ

Tableau synthétique des hypothèses

Cette partie présente en détail la méthodologie, les hypothèses et les calculs qui ont amené aux résultats de l'étude.

Le tableau ci-dessous liste les différentes hypothèses et données générales utilisées dans l'étude. Ces dernières sont majoritairement issues du portail de la Région wallonne reprenant les hypothèses à considérer nécessaire à la réalisation des études de faisabilité.

Les données relatives aux différentes subventions proposées par les communes, régions et par le fédéral dépendent du bénéficiaire (société de promotion, propriétaire d'un logement, société propriétaire d'un commerce ou de bureaux, etc.) et sont soumises à des conditions d'octroi spécifiques qu'il convient de respecter. Étant donné la diversité de cas de figure qui se présente, il est difficile d'analyser l'impact global des subventions et d'évaluer en détail toutes les possibilités offertes. Nous nous baserons dès lors sur la solution qui nous semble la plus probable. D'une année à l'autre, les aides financières présentent une grande variabilité et ce qui est d'application aujourd'hui ne le sera peut-être plus demain. Il faut toutefois espérer une continuité logique dans l'octroi des aides financières afin que celles-ci s'adaptent au marché, sans pour autant évoluer au détriment d'une technologie particulière. Il convient donc de rester prudent face aux chiffres avancés et de les mettre à jour si nécessaire.

Données économiques			
		Unité	Valeur
Prix des combustibles	Gaz (redevance incluse)	€ HTVA/kWh PCS	0.14
	Électricité (redevance incluse)	€ HTVA/kWh	0.25
	Électricité (vente sans compensation)	€ HTVA/kWh	0.04
	Pellets (livraison incluse max 30 km)	€ HTVA/kWh PCI	0.1
	Augmentation du prix de l'énergie	%	3
Paramètres financiers	Taux d'actualisation	%	6.5
	Taux d'imposition	%	33.99
	Période d'amortissement	ans	10
Subsides ²	Listés au cas par cas en fonction des technologies envisagées		

²D'une année à l'autre, les aides financières présentent une grande variabilité et ce qui est d'application aujourd'hui ne le sera peut-être plus demain. Il faut toutefois espérer une continuité logique dans l'octroi des aides financières afin que celles-ci s'adaptent au marché, sans pour autant évoluer au détriment d'une technologie particulière. Il convient donc de rester prudent face aux chiffres avancés et de les mettre à jour si nécessaire.

Données énergétiques			
		Unité	Valeur
Facteur de conversion EP	Gaz	kWh _{EP} /kWh _{Efin} (PCS)	1
	Pellets	kWh _{EP} /kWh _{Efin} (PCS)	1
	Electricité	kWh _{EP} /kWh _{Efin}	2.5
Rendements des systèmes	Listés au cas par cas en fonction des technologies envisagées		
Données environnementales			
		Unité	Valeur
Facteur de conversion CO ₂	Gaz	kgCO ₂ /kWh _p	0.206
	Pellets	kgCO ₂ /kWh _{Ep}	0.03
	Électricité	kgCO ₂ /kWh _{EI}	0.456

En plus des prix des combustibles envisagés, une évolution raisonnable de ceux-ci dans le temps peut être considérée pour chacun des vecteurs [%/an], en se basant sur l'évolution historique des prix du combustible en question.

Selon la méthode de calcul de rentabilité choisie par l'auteur pour le calcul des indicateurs financiers (rentabilité, temps de retour, ...), les hypothèses utilisées dans la méthode devront être détaillées : durée du prêt, taux d'intérêt, taux d'actualisation, durée d'amortissement, taux d'imposition, ...

Les facteurs de conversion utilisés sont les facteurs réglementaires fixés dans la PEB. Il est important de calculer la consommation d'énergie finale en utilisant les mêmes conventions que dans la PEB, à savoir convertir les rendements via le facteur de multiplication égal au rapport du PCI/PCS (annexe F de l'arrêté).

Les facteurs de conversion permettant de déterminer les économies de CO₂ liées aux solutions étudiées sont basés sur les valeurs réglementaires fixées par la Région.

En première approximation, les rendements d'émission, de régulation, de distribution et de stockage sont identiques pour les différentes variantes considérées.

Cependant, lorsque la technologie induit une modification du rendement du système (par exemple l'installation d'un stockage de chaleur, ou encore la centralisation de la production sur un site entraînant des longueurs de distribution importantes), le rendement global doit être impacté. Celui-ci est donc renseigné par technologie.

Présentation du bâtiment

L'auteur de l'étude décrit le bâtiment étudié afin de mieux situer l'objet de l'étude.

Il renseigne toute information jugée pertinente, telle que le nombre d'unités PEB ainsi que leur destination, le type de construction, son orientation, sa surface nette par affectation ou usage, ou toute autre valeur caractéristique (nombre de lits, d'occupants, d'élèves, horaires d'ouverture,...). Les plans utilisés pour réaliser l'étude doivent être référencés.

L'auteur décrit également les éléments techniques influençant les systèmes qui seront étudiés, tels que la présence de raccordements au gaz, la possibilité de valoriser des déchets (bois déchiquetés, biogaz,...), terrain disponible, etc.

Le projet étudié est **une transformation d'un immeuble existant en un immeuble de 39 appartements comprenant :**

- 39 appartements (1 chambre, 2 chambres et 3 chambres)
- 3 zone commune
- 1 local compteur
- Des locaux poubelle / poussette

Chaque appartement sera autonome au niveau énergie, ce bâtiment disposera d'une chaufferie centralisée pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire. La ventilation sera de type D réalisée via plusieurs groupe double flux performant dits décentralisés avec une ventilation à la demande.

Résumé des caractéristiques du bâtiment	
Type de toiture	Toitures plates et inclinées
Surface d'utilisation	2550 m ²
Superficie de toiture	170 m ² (toiture +1&+2)
Nombre d'occupants	Variable
Raccordement gaz disponible ?	non
Ventilation	Système D groupe double flux performant
Chauffage / Eau chaude sanitaire	PAC air/eau

Ci-dessous la liste des plans disponibles en annexe ainsi qu'une implantation :

A-R-0000 : Occupation de la parcelle.

A-R-1100 : Plans perspectives vues depuis la façade avant

P-A-2000 : Plans des niveaux ss1, rez PROVISoire

P-A-2000 : Façades avant, gauche, arrière et droite

P-A-3000 : Coupes A,B



Besoins énergétiques du bâtiment

Les besoins nets et les méthodes de calcul utilisées pour les évaluer doivent être rigoureux et renseignés de manière transparente. Ces besoins nets serviront de base commune aux calculs présentés en aval.

Les besoins sont exprimés en kWh/an et en kWh/m²an. La surface utilisée est la surface d'utilisation pour les espaces tertiaires et l'ACH pour les logements.

L'auteur présente dans tous les cas ses sources et hypothèses de départ de façon claire.

Les besoins sont déterminés par unité PEB. Dans le cas où de nombreuses unités similaires sont présentes, ceux-ci peuvent être déterminés pour une unité PEB représentative d'un même type en kWh/m²an, et les besoins totaux peuvent être extrapolés. Lorsque le bâtiment présente plusieurs affectations, les besoins sont calculés spécifiquement par affectation.

L'étude de faisabilité étant réalisée au moment de la déclaration initiale, les besoins en énergie sont préférentiellement extraits du logiciel PEB, pour les affectations pour lesquelles ceux-ci sont disponibles. Dans le cas d'une affectation pour laquelle les besoins ne sont pas fournis par le logiciel PEB, l'auteur référence la méthode utilisée. Un profil d'utilisation est renseigné pour chaque besoin. Si l'auteur ne peut renseigner un profil précis, un profil qualitatif peut suffire (horaires d'occupation, composants principaux, ...).

Même si les besoins en énergie sont fournis par le logiciel PEB, ceux-ci ne sont pas toujours représentatifs de la réalité. L'auteur de l'étude peut tenter de s'approcher au mieux des besoins réels. Prenons le cas d'un bâtiment permettant l'installation d'une grande surface de panneaux photovoltaïques. La rentabilité du projet sera fonction de l'auto-consommation d'électricité de celui-ci.

En résidentiel, l'auteur de l'étude peut considérer le besoin en électricité réel tenant compte de l'électricité domestique. L'auteur peut également envisager un autre profil d'utilisation de l'eau chaude sanitaire et calculer le besoin de chaleur correspondant, si les équipements sont plus ou moins économes en eau.

En non résidentiel, les luminaires ne sont pas toujours encodés au stade de la déclaration initiale. La consommation en électricité peut donc être très inférieure à la valeur calculée par le logiciel PEB. Par ailleurs, le logiciel PEB ne considère pas les consommations des équipements (bureautique, machinerie, ...). Dans certains cas, les études d'avant-projet prévoient des simulations thermiques dynamiques. Les besoins en chaleur et en froid peuvent alors être plus précis. L'auteur pourrait utiliser ces valeurs et justifier son choix.

Le projet vise à satisfaire les exigences réglementaires en matière de performance énergétique – le projet est un bâtiment respectant le standard basse énergie. Le niveau d'isolation est conforme aux standards en terme de réglementation PEB à Bruxelles et la valeur moyenne U de l'enveloppe s'élève à 0.34 W/m²K.

Les besoins en ventilation globaux des appartements sont au maximum de 350m³/h. Chaque appartements aura son propre groupe double flux avec échangeur conforme suivant l'EN308. Le débit de fuite à 50 Pa par unité de surface est de 5m³/(h.m²) en situation initiale mais l'architecte prendra ses dispositions en cours d'exécution pour améliorer cette valeur. L'inertie sera considérée comme mi-lourd.

Les **besoins de chauffage et eau chaude sanitaire** sont calculés via le logiciel PEB v14.5.2 et s'élèvent à **267440 kWh/an**. Les **besoins nets** sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

	Besoins nets total par unité de surface kWh/an	Besoins nets total par unité de surface kWh/an/m ²	Source
Totaux	225244	62.93	PEB

Technologie de référence

Afin d'évaluer l'intérêt de solutions renouvelables, l'auteur les compare à une technologie pressentie, typiquement une chaudière gaz ou mazout pour le chauffage et l'ECS, sans production d'électricité via du photovoltaïque ou une cogénération. Le choix doit être justifié par la disponibilité des vecteurs énergétiques. Dans le cas où une production de froid mécanique est prévue, une machine frigorifique est considérée.

Afin d'établir un point de comparaison pour les différentes technologies alternatives, nous définissons un cas de base correspondant à une installation traditionnelle et peu coûteuse. Pour ce projet, une chaudière gaz à condensation de type HR top et aux normes EcoDesign couplée à des radiateurs ont été choisis pour l'étude de base. Solution très compétitive et maîtrisée. Grâce à une régulation performante, on est énergiquement performant.

La technologie choisie comme référence doit être réaliste. Par exemple, il ne serait pas réaliste de proposer une chaudière au gaz à condensation s'il n'y a pas de réseau de gaz naturel alimentant le site.

Aspects énergétiques et environnementaux

Une chaudière à condensation avec une régulation performante, permet de limiter la consommation d'énergie primaire, et l'émission de CO₂. L'installation de panneaux photovoltaïques aura pour but de diminuer la consommation en électricité des auxiliaires de chaque occupant.

L'émission totale de cette variante est de **72804** kg de CO₂ par an.

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

Aspect financier

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

On considère dans l'investissement uniquement ce qui est propre à la technique étudiée et qui ne se retrouve pas dans les autres choix. L'amortissement de l'investissement (diminution de l'impôt) est considéré dans le calcul financier, mais n'est pas considéré comme une subvention.

Chauffage PAC air/eau		
	Montant	Concerne
Investissement (HTVA)	3500*39 €	1 chaudière / appartement
Coût annuel de maintenance(HTVA)	27300 €	Maintenance des chaudière
Subventions :	0 €	Plus de subvention en Région wallonne

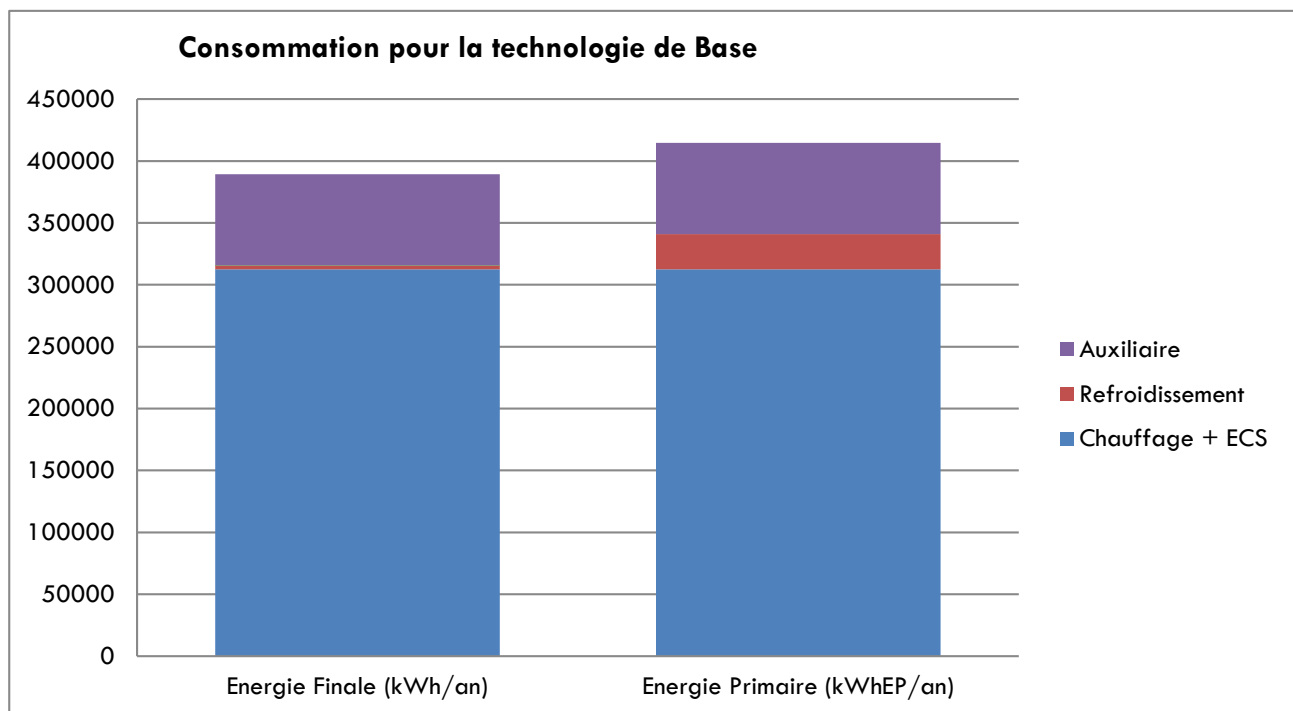
Résultats

Les **consommations d'énergie primaire** nécessaire peuvent alors être identifiées ainsi que les **émissions totales de CO₂** associées.

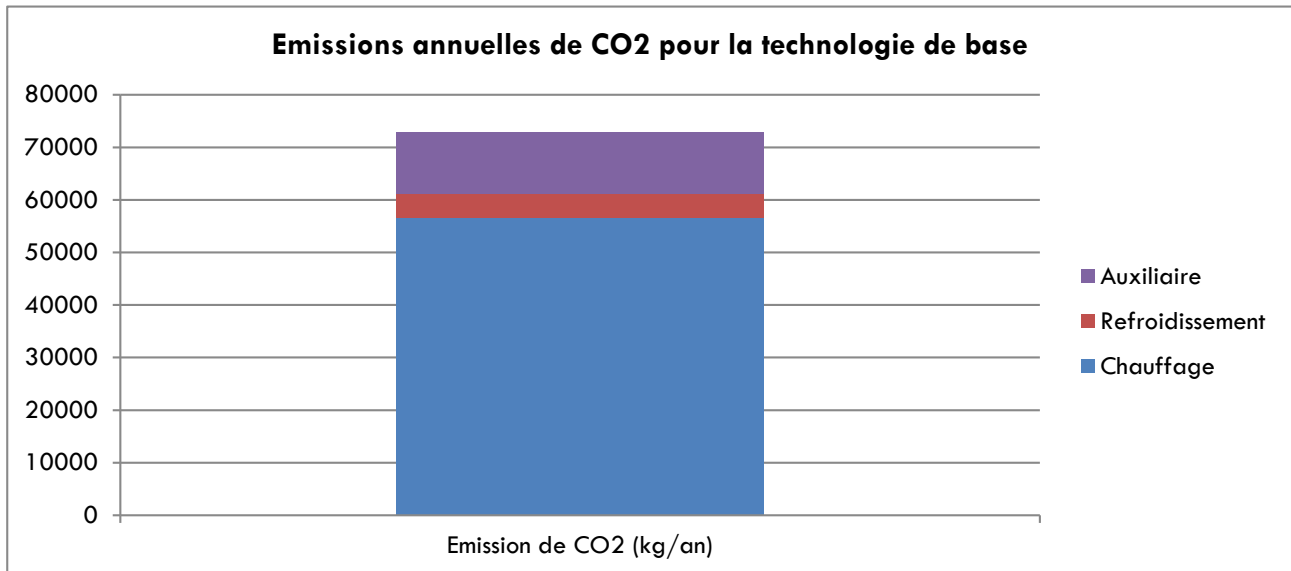
Résultats EP et CO ₂	
EP [kWh/an]	414600
CO ₂ [kg/an]	72804

La consommation en énergie primaire est répartie selon les proportions illustrées sur le graphique ci-dessous. Les émissions annuelles totales de CO₂ sont approximativement réparties de la même manière.

[Graphe 1]



[Graphe 2]



Technologies alternatives

Analyse de la disponibilité des variantes

Si une des technologies obligatoires est directement rejetée, elle doit l'être sur base d'arguments techniques clairs et précis (besoins énergétiques ou profils clairement inadaptés, ou impossibilité technique majeure de mise en œuvre). Les *a priori* peu fondés ne sont pas acceptés. Une attention particulière est apportée à l'adéquation des techniques avec le profil des demandes.

Il est au minimum nécessaire d'étudier la pertinence des solutions suivantes (technologies obligatoires) :

- Biomasse ;
- Panneaux solaires thermiques ;
- Panneaux solaires photovoltaïques ;
- Pompe à chaleur ;
- Réseau de chaleur.

L'auteur peut évidemment envisager d'installer des technologies qui ne figurent pas dans la liste minimale obligatoire par la réglementation PEB.

Les technologies alternatives pour lesquelles une étude chiffrée n'est pas justifiée sont rejetées sur base des arguments techniques présentés dans le tableau ci-dessous.

Les variantes sont analysées indépendamment les unes des autres selon l'usage, à savoir chauffage, ECS, refroidissement et production d'électricité. Nous sélectionnons ensuite les cas les plus pertinents afin d'analyser des combinaisons de variantes. Certaines technologies, comme la pompe à chaleur, peuvent être utilisées pour plusieurs usages.

	Variantes	Technologie pertinente ?	Justification technique
Chauffage + ECS	Biomasse	Non	Possibilité de stockage du combustible, la surface du en cave est suffisante. Possibilité de livraison via la rue. Prévoir de remplacer les chaudières individuelles par une centralisée, prévision d'un local chaufferie.
	Pompe à chaleur Eau glycolée/eau	Non	Le coût de l'installation est beaucoup trop élevé.
	Pompe à chaleur Air/eau	Oui	Cette technologie permet de se passer de chaudière, donc un gain de place, pas de local chaufferie, mais juste un local technique reprenant le collecteur chauffage.
	Réseau de chaleur	Non	Pas présent sur place
	Panneaux solaires thermiques	Non	Technologie non rentable, temps de retour simple supérieur à 30 ans.
	Cogénération	Non	Pas de local technique, impossibilité d'y placer une cogénération, son pot d'échappement.

Refroidissement	Rafrachissement passif	Non	Pas de refroidissement nécessaire pour ce type d'immeuble.
	Pompe à chaleur Eau glycolée/eau	Non	Pas de refroidissement nécessaire pour ce type d'immeuble.
	Pompe à chaleur Air/air	Non	Pas de refroidissement nécessaire pour ce type d'immeuble.
Électricité	Panneaux solaires photovoltaïques	Oui	Rentabilité de l'installation en moins de 3 ans, local de comptage disponible et surface en toiture amplement suffisante.

Faisabilité des solutions retenues – Chauffage

Chaudière avec des panneaux photovoltaïques

Il s'agit d'une chaudières gaz à condensation de 20 à 25 kW, du type HR TOP, elle est commandée de manière modulante de 10 à 100% en fonction des conditions extérieures, elle alimentera les différentes parties du bâtiment en chauffage et eau chaude sanitaire.

Technique	Puissance	Source
Chauffage	20 à 25kW	PEB

Aspects énergétiques et environnementaux

Une chaudière à condensation avec une régulation performante, permet de limiter la consommation d'énergie primaire, et l'émission de CO₂. L'émission totale de cette chaudière est de 3048.11 kg de CO₂ par an.

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

Chauffage et ECS		
Production (saisonnier)		
Chaudière à condensation	Rendement PCS	98%
Distribution et stockage		
Chauffage + ECS (avec ballon intégré)	Rendement	100 %
Émission et régulation		
Chauffage (radiateurs)	Rendement	89%

Caractéristiques techniques et intégration

Les technologies cristallines

Celle-ci se trouve à base de silicium (polycristallin et monocristallin) sont les plus utilisées à l'heure actuelle. Bien que plus ancienne, cette technologie représente encore 90 % des parts de marché du fait de sa robustesse et de ses performances (rendement modules allant de 12 à 20 % pour une durée de vie de 30 ans environ) ainsi que des investissements importants qui lui ont été destinés, que ce soit pour la transformation du silicium, l'élaboration des cellules ou l'assemblage des modules.

Structure d'une cellule photovoltaïque

La cellule solaire, élément unitaire d'un module photovoltaïque, est aussi l'élément actif dans lequel se produit l'effet photovoltaïque. Celui-ci permet au matériau de cellule de capter l'énergie lumineuse (photons) et de la transformer en énergie électrique caractérisée par un déplacement de charges, positives et négatives.

La caractéristique commune à toutes les technologies photovoltaïques est la mise en présence dans le matériau de la cellule d'un donneur et d'un accepteur d'électrons pour permettre ce déplacement de charges. Une fois transféré dans un circuit électrique extérieur, celui-ci prend la forme d'un courant électrique continu.

Notion de kiloWatt crête

Il s'agit de la puissance crête d'un système dans des conditions standards d'ensoleillement (1000 W/m²) et de température 25°C.

Inclinaison et ombrage

© www.ef4.be		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%

Pour assurer un rendement optimal, l'inclinaison la plus adéquate est de 35° par rapport à l'horizontale. Attention néanmoins, aux ombrages qui font diminuer énormément ce rendement.

Aspects énergétiques et environnementaux

Une chaudière à condensation avec une régulation performante, permet de limiter la consommation d'énergie primaire, et l'émission de CO₂. L'installation de panneaux photovoltaïques aura pour but de diminuer la consommation en électricité des auxiliaires de chaque occupant.

L'émission totale de cette variante est de **55385** kg de CO₂ par an.

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

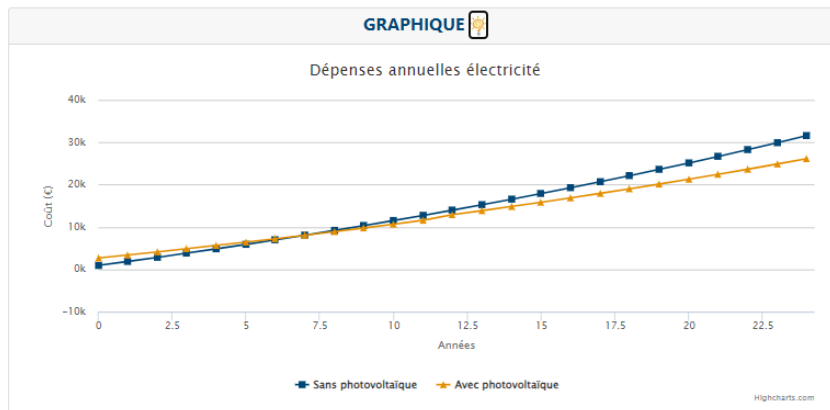
Pour le projet considéré, La solution envisagée sera l'installation de 117 panneaux photovoltaïques pour subvenir aux besoins de chaque appartement. On fait l'hypothèse que le rendement des cellules en polycristallin est de 21%.

Aspect financier

Chauffage PAC air/eau		
	Montant	Concerne
Investissement (HTVA)	3500*39€	1 Chaudière au gaz à condensation / appartement
Investissement (HTVA)	80000 €	117 panneaux
Coût annuel de maintenance(HTVA)	5655 €	Maintenance de la chaudière et entretien des panneaux
Subventions :	0 €	Plus de subvention en Région wallonne

Rentabilité (TRS)

1 SITUATION INITIALE	2 INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE	3 ASPECTS FINANCIERS	4 TARIF PROSUMER
Code postal: 1030 -	Puissance panneaux (DC): 1.4 kWc	Prix de l'installation: 2000 € TVA	Formule tarifaire: Revente de l'inje
Consommation annuelle: 2500 kWh/an	Puissance onduleur(s) (AC): 2 kVA	Montant de l'emprunt: 0 €	Prix de vente de l'injection: 0.05 €/kWh
Redevance annuelle: 50 €/an	Orientation: 180 °	Taux de l'emprunt: 2 %	Autoconsommation annuelle: 50 %
Prix de l'électricité prélevée: 0.35 €/kWh	Inclinaison: 30 °	Durée de l'emprunt: 10 ans	
Facture électricité annuelle: 925 €/an			



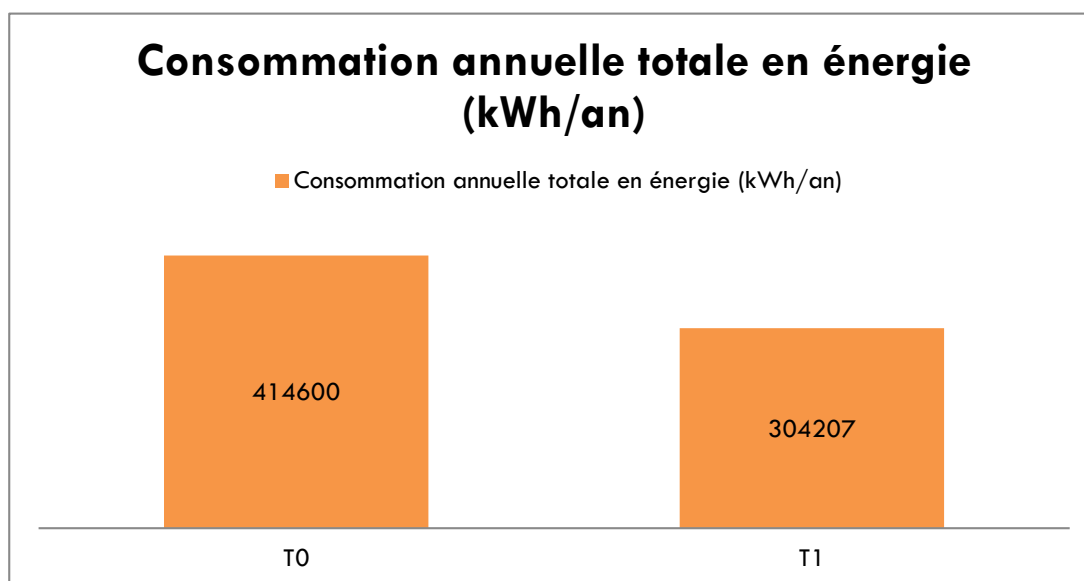
RÉSULTATS

Productivité énergétique spécifique	997 kWh/kWc-an
Production énergétique annuelle	1396 kWh/an
Couverture des besoins électriques	56 %
Mensualités	0 €/mois
Temps de retour sur investissement (TRS)	7 ans
Economies sur la facture d'électricité annuelle	279 €
Valeur Actuelle Nette (VAN) (25 ans)	5248 €
Taux de Rentabilité Interne (TRI)	14.27 %
Taux de Rentabilité Interne Modifié (TRIM)	6.02 %

→ Le temps de retour simple estimé est de 7ans

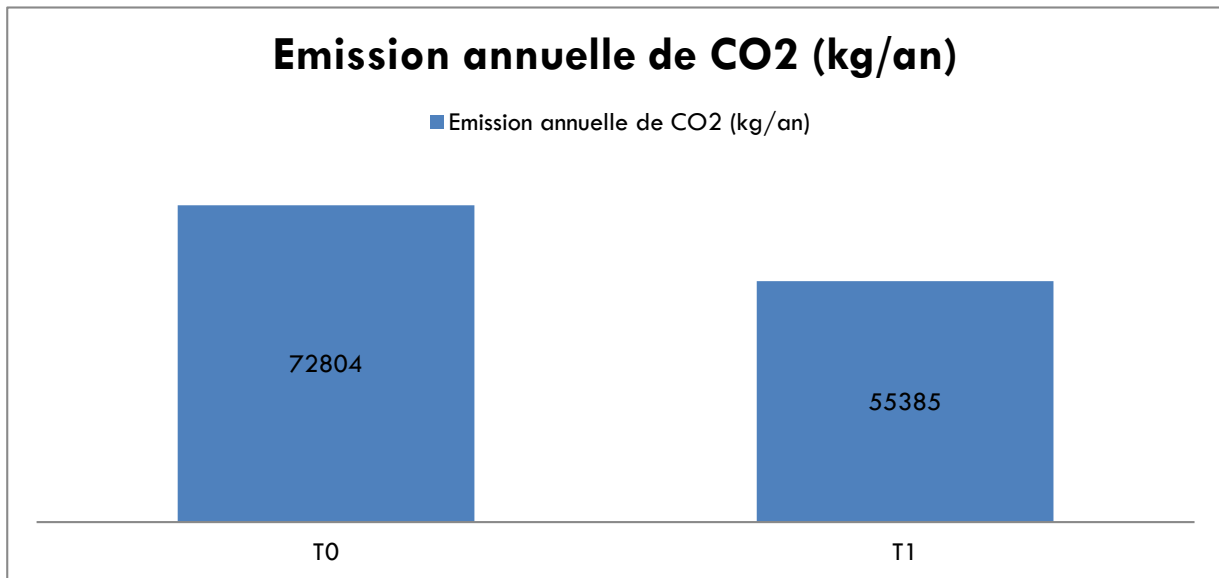
Résultats

L'installation de panneaux photovoltaïques (T0) permet de consommer environ 25% moins d'énergie primaire pour le chauffage que la chaudière gaz à condensation (T1). [Graphe 6]



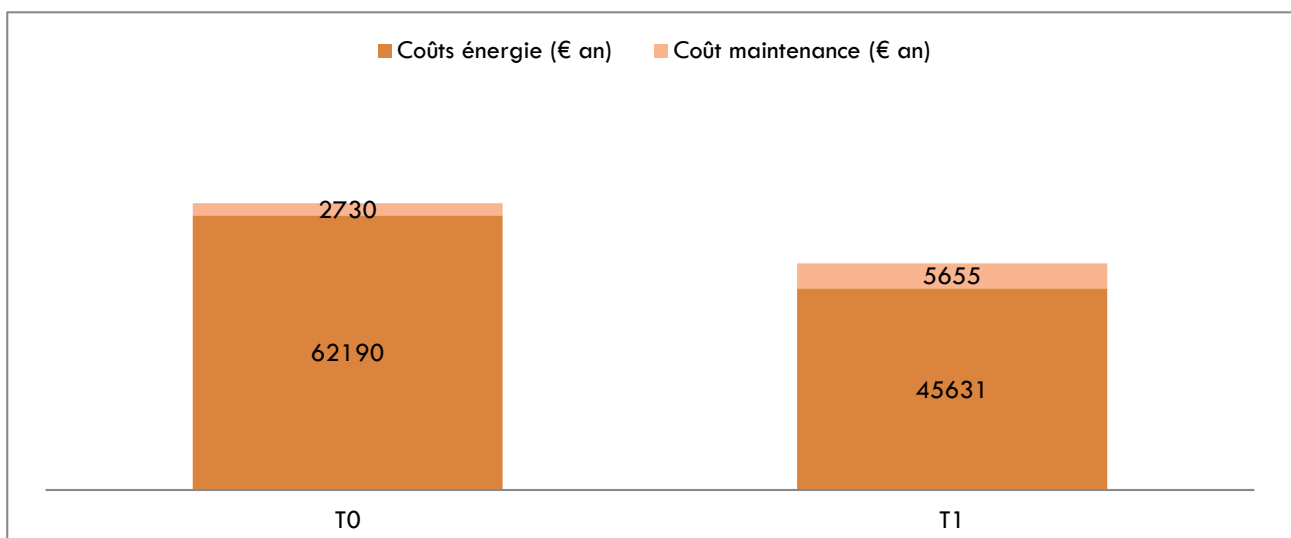
[Graphe 7]

L'émission de CO₂ de la variante (T1) est largement supérieure à celle des PAC + PV (T0)



L'ensemble coût de maintenance de l'installation et le coût de l'énergie de la variante panneaux photovoltaïques (T1) sont supérieurs aux coûts de la chaudière gaz à condensation (T0).

[Graphe 8]



Pompe à chaleur**Caractéristiques techniques et intégration**

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

Géothermie

Le principe consiste à faire descendre à la verticale à +/- 100m de profondeur (variable suivant le type de terrain) un échangeur via forage. Pour obtenir la puissance nécessaire pour les besoins en chauffage, (50W/m) il faudrait + de 50 forages, ce qui dans ce cas au vu de l'utilisation du bâtiment, n'est pas du tout rentable.

Pour garantir un bon fonctionnement de la pompe à chaleur, l'emploi d'un réservoir tampon d'eau primaire est vivement conseillé. Sa capacité est déterminée en fonction de la durée de fonctionnement. Le volume de stockage est d'environ 1000 litres.

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

PAC Air-eau

Nous envisageons le placement d'une pompe à chaleur permettant la couverture complète du besoin en chauffage en remplacement des chaudières individuelles.

Aspects énergétiques et environnementaux

L'utilisation de fluides frigorigènes, gaz à effet de serre puissants, peut engendrer des fuites. Cet aspect n'est pas chiffré dans cette étude.

Le bilan énergétique est assez difficile à évaluer car il dépend du COP saisonnier, qui dépend lui-même d'un certain nombre de facteurs tels que le type de PAC, l'appoint utilisé, le type de sol, le climat, l'utilisation de la chaleur, etc. Seule une étude dynamique permettrait d'évaluer précisément la consommation globale du système, et par la même occasion les gains environnementaux et la rentabilité du projet. A ce stade du projet, il convient donc de faire des hypothèses générales et représentatives.

Pour le projet considéré, comme vu ci-dessus, nous ne considérerons pas la pompe à chaleur par géothermie. La solution étudiée sera une pompe à chaleur air-eau :

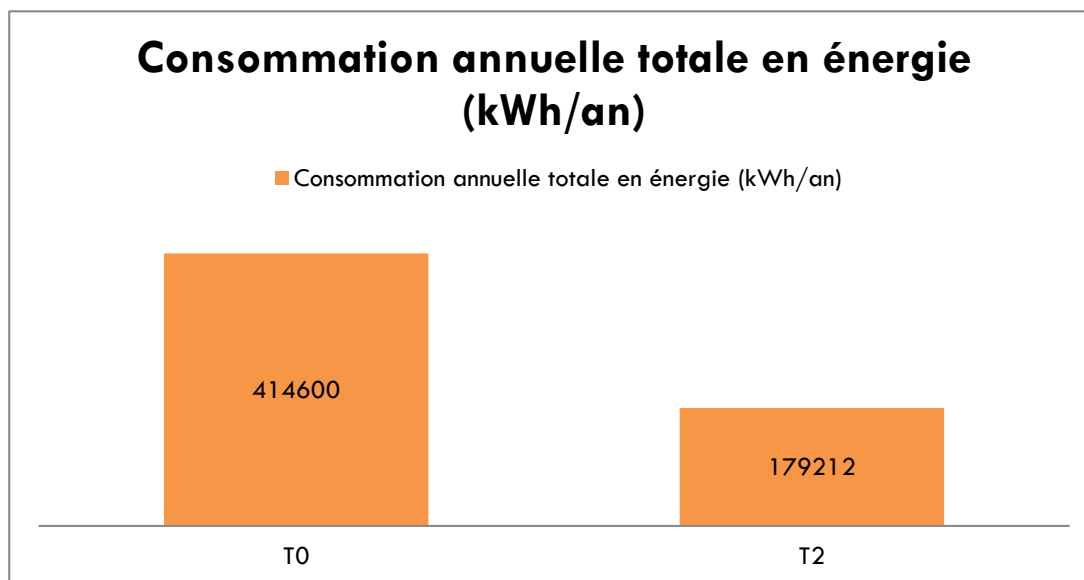
Chauffage		
Production (saisonnier)		
Pompe à chaleur air/eau	SCOP	3.24
Distribution		
Chauffage	Rendement	280%
Émission et régulation		
Chauffage	Rendement	93%

Aspect financier

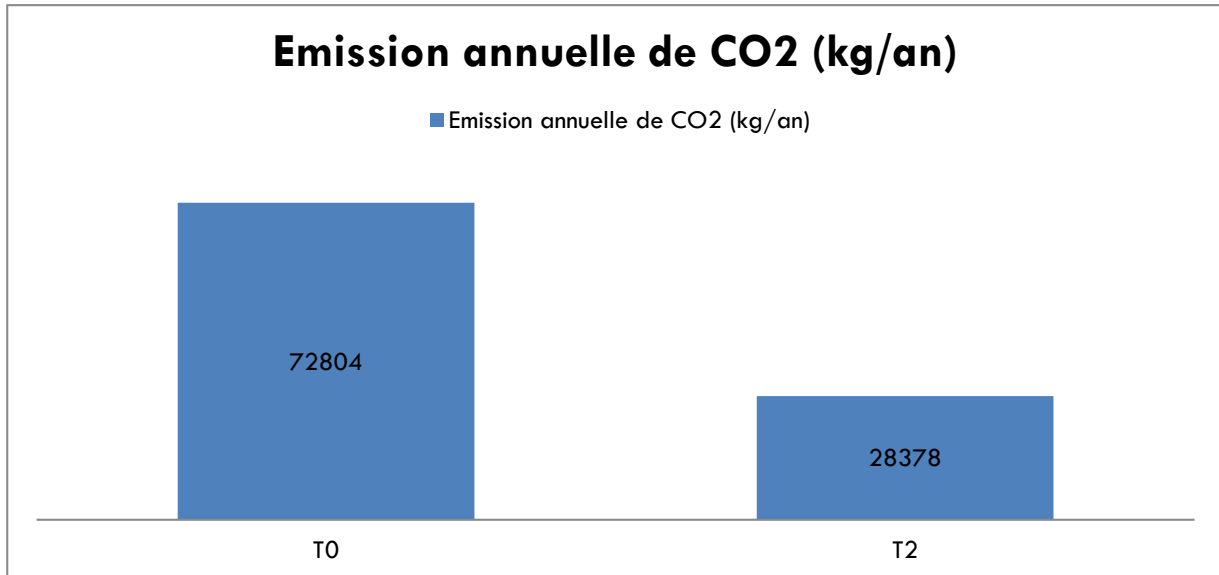
Chauffage PAC air/eau		
	Montant	Concerne
Investissement (HTVA)	7000*39 €	PAC Air/Eau et accessoires
Coût annuel de maintenance(HTVA)	5460 €	2% du coût de l'investissement
Subventions :	0 €	Plus de subvention en Région wallonne

Résultats

L'ensemble de l'installation pompe à chaleur (T2) consomme environ 2x moins d'énergie primaire pour le chauffage que la chaudière gaz à condensation (T0) [Graphe 9]

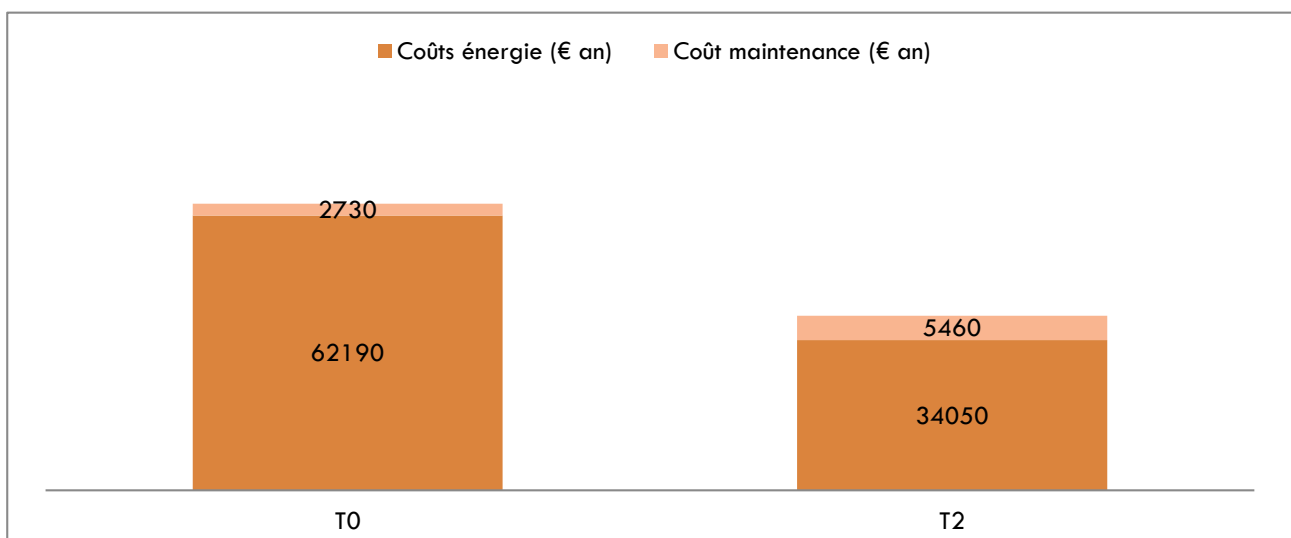


L'émission de CO₂ de la pompe à chaleur (T2) sont inférieures à celle de la chaudière gaz à condensation (T0)[*Graphe 10*]



L'ensemble coût de maintenance de l'installation et le coût de l'énergie avec les pompes à chaleur (T2) sont supérieurs aux coûts de la chaudière gaz à condensation (T0).

[*Graphe 11*]



Pompe à chaleur avec des panneaux solaires thermique

Caractéristiques techniques et intégration

Caractéristiques des panneaux photovoltaïques

Les technologies cristallines

Celle-ci se trouve à base de silicium (polycristallin et monocristallin) sont les plus utilisées à l'heure actuelle. Bien que plus ancienne, cette technologie représente encore 90 % des parts de marché du fait de sa robustesse et de ses performances (rendement modules allant de 12 à 20 % pour une durée de vie de 30 ans environ) ainsi que des investissements importants qui lui ont été destinés, que ce soit pour la transformation du silicium, l'élaboration des cellules ou l'assemblage des modules.

Structure d'une cellule photovoltaïque

La cellule solaire, élément unitaire d'un module photovoltaïque, est aussi l'élément actif dans lequel se produit l'effet photovoltaïque. Celui-ci permet au matériau de cellule de capter l'énergie lumineuse (photons) et de la transformer en énergie électrique caractérisée par un déplacement de charges, positives et négatives.

La caractéristique commune à toutes les technologies photovoltaïques est la mise en présence dans le matériau de la cellule d'un donneur et d'un accepteur d'électrons pour permettre ce déplacement de charges. Une fois transféré dans un circuit électrique extérieur, celui-ci prend la forme d'un courant électrique continu.

Notion de kiloWatt crête

Il s'agit de la puissance crête d'un système dans des conditions standards d'ensoleillement (1000 W/m²) et de température 25°C.

Inclinaison et ombrage

		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%

Pour assurer un rendement optimal, l'orientation des panneaux doit être dirigés vers le SUD et l'inclinaison la plus adéquate est de 35° par rapport à l'horizontale. Attention néanmoins, aux ombrages qui font diminuer énormément ce rendement.

Sur base d'un panneau photovoltaïque choisi, voici les spécifications du produit provenant d'une fiche technique d'un fabricant ou provenant du logiciel PEB :

Spécifications	
Données géométriques	
Dimensions	2008 x 1002 x 40 mm
Poids	22.5 kg
Données techniques	
Type	Monocristallin
Puissance maximale	410 Wp
Voltage maximal	40 V
Courant maximal	7.76A
Rendement du panneaux	21.36%

Aspects énergétiques et environnementaux

Il s'agit d'une 1ère pompe à chaleur de 16 kW, la première sera dite préférentielle au système et la seconde définie en non préférentielle, chacune d'entre elle alimentera le bâtiment uniquement en chauffage.

Technique	Puissance	Source
Chauffage et ECS	2 x 16 kW	PEB

Caractéristiques techniques et intégration

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

Géothermie

Le principe consiste à faire descendre à la verticale à +/- 100m de profondeur (variable suivant le type de terrain) un échangeur via forage. Pour obtenir la puissance nécessaire pour les besoins en chauffage, (50W/m) il faudrait + de 50 forages, ce qui dans ce cas au vu de l'utilisation du bâtiment, n'est pas du tout rentable. Pour garantir un bon fonctionnement de la pompe à chaleur, l'emploi d'un réservoir tampon d'eau primaire est vivement conseillé. Sa capacité est déterminée en fonction de la durée de fonctionnement. Le volume de stockage est d'environ 1000 litres.

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

PAC Air-eau

Nous envisageons le placement de d'une pompe à chaleur permettant la couverture complète du besoin en chauffage en remplacement des chaudières individuelles.

Aspects énergétiques et environnementaux

L'utilisation de fluides frigorigènes, gaz à effet de serre puissants, peut engendrer des fuites. Cet aspect n'est pas chiffré dans cette étude. Le bilan énergétique est assez difficile à évaluer car il dépend du COP saisonnier, qui dépend lui-même d'un certain nombre de facteurs tels que le type de PAC, l'appoint utilisé, le type de sol, le climat, l'utilisation de la chaleur, etc. Seule une étude dynamique permettrait d'évaluer précisément la consommation globale du système, et par la même occasion les gains environnementaux et la rentabilité du projet. A ce stade du projet, il convient donc de faire des hypothèses générales être représentatives.

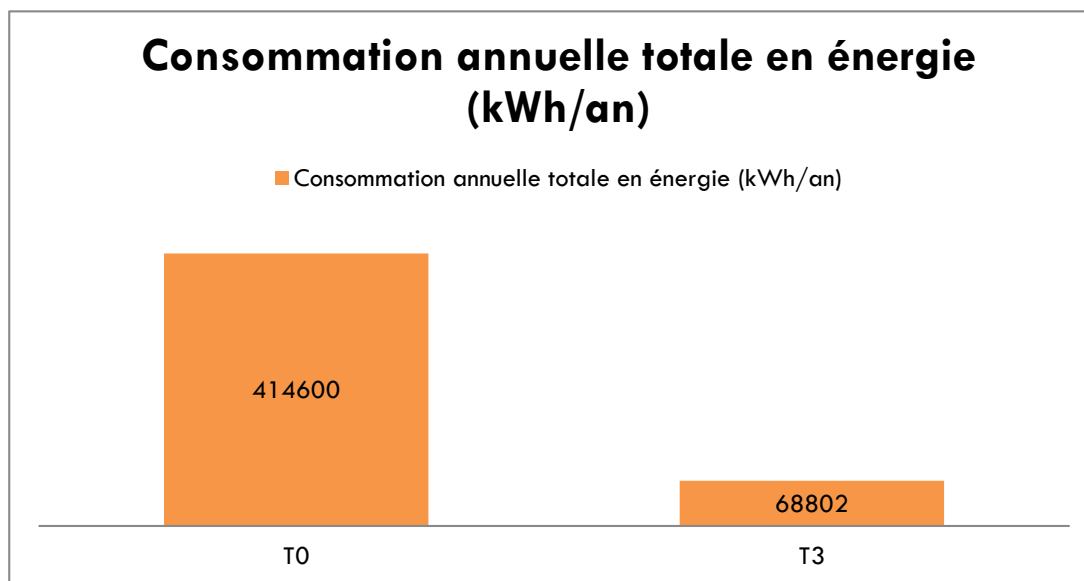
Aspect financier

Chauffage PAC air/eau		
	Montant	Concerne
Investissement (HTVA)	7000*39 €	Pompe à chaleur
Investissement (HTVA)	80000 €	117 panneaux photovoltaïques
Coût annuel de maintenance(HTVA)	8385 €	2% du coût de l'investissement + entretien des panneaux
Subventions :	0 €	Plus de subvention en Région wallonne

Résultats

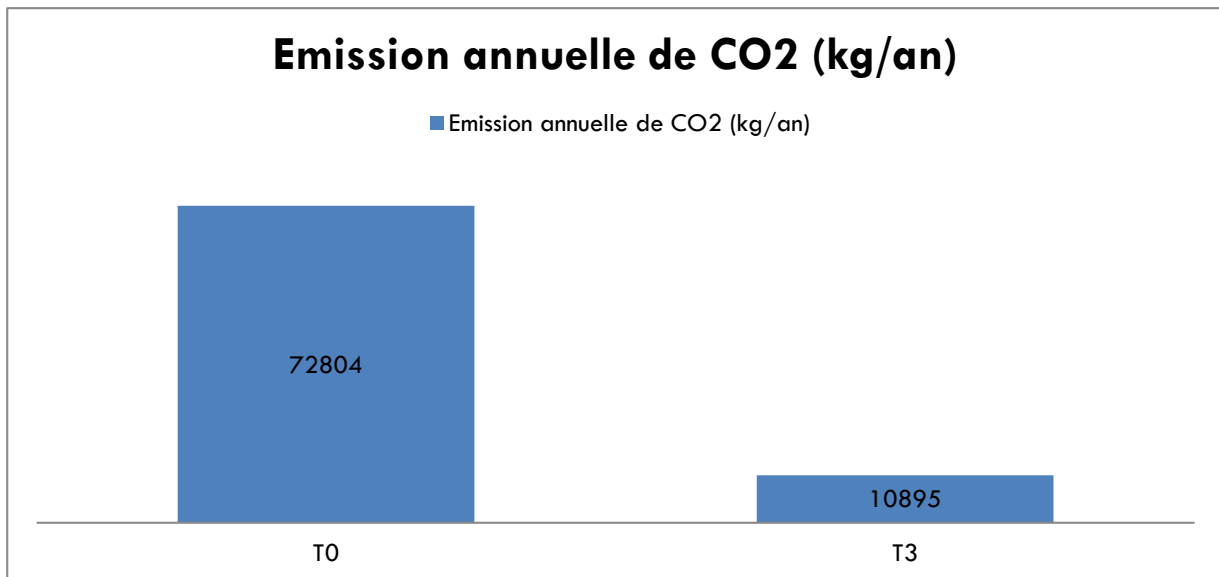
La consommation d'une combinaison de PAC avec une installation de panneaux solaires thermique (T3) consomme 80% moins d'énergie primaire pour le chauffage que la technologie de référence (T0).

[Graphe 12]

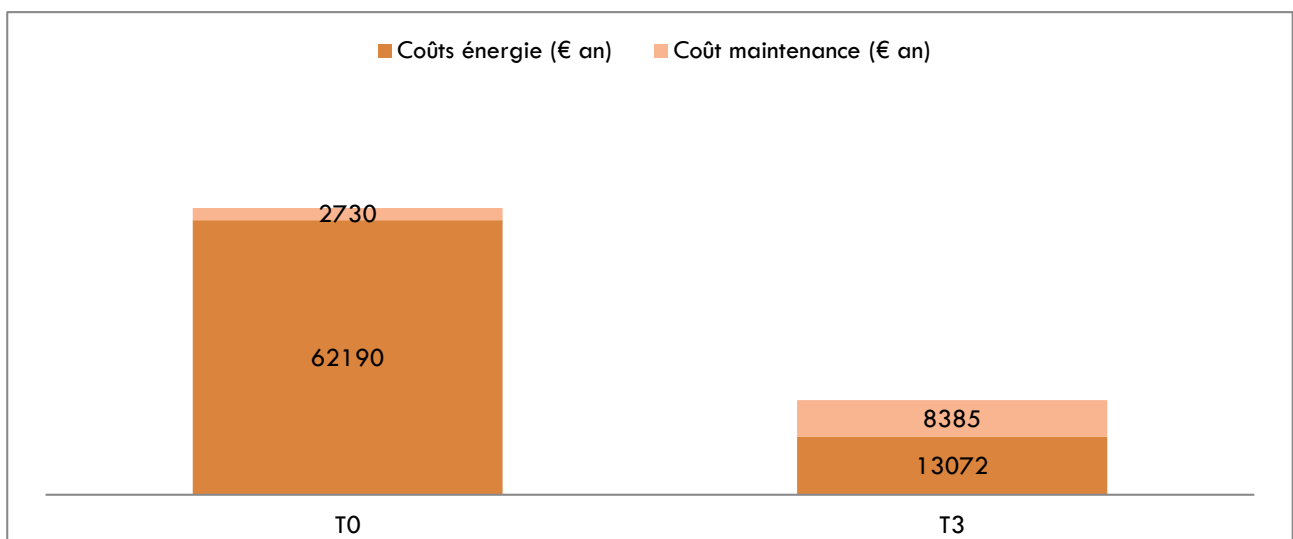


[Graphe 13]

L'émission de CO₂ de la technologie (T3) est inférieure à celle de référence (T0)



[Graphe 14]



L'ensemble coût de maintenance de l'installation et le coût de l'énergie de la variante panneaux solaires photovoltaïques (T3) sont inférieurs aux coûts de la technologie de base (T0).

Faisabilité des solutions retenues – Refroidissement

Technologie non appliquée au projet.

Faisabilité des solutions retenues – Électricité

Technologie non appliquée au projet.

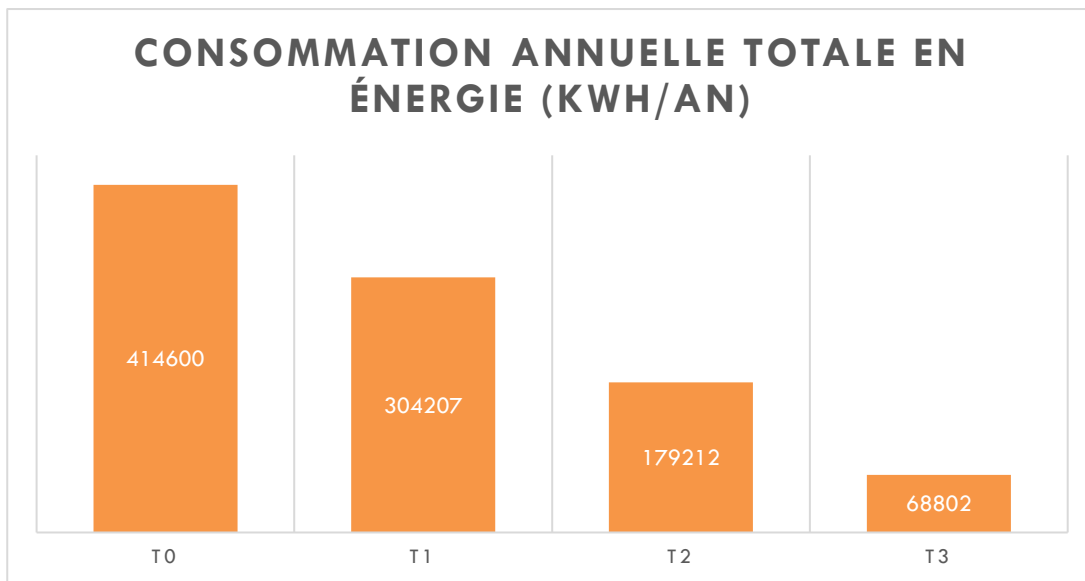
Etude comparative

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

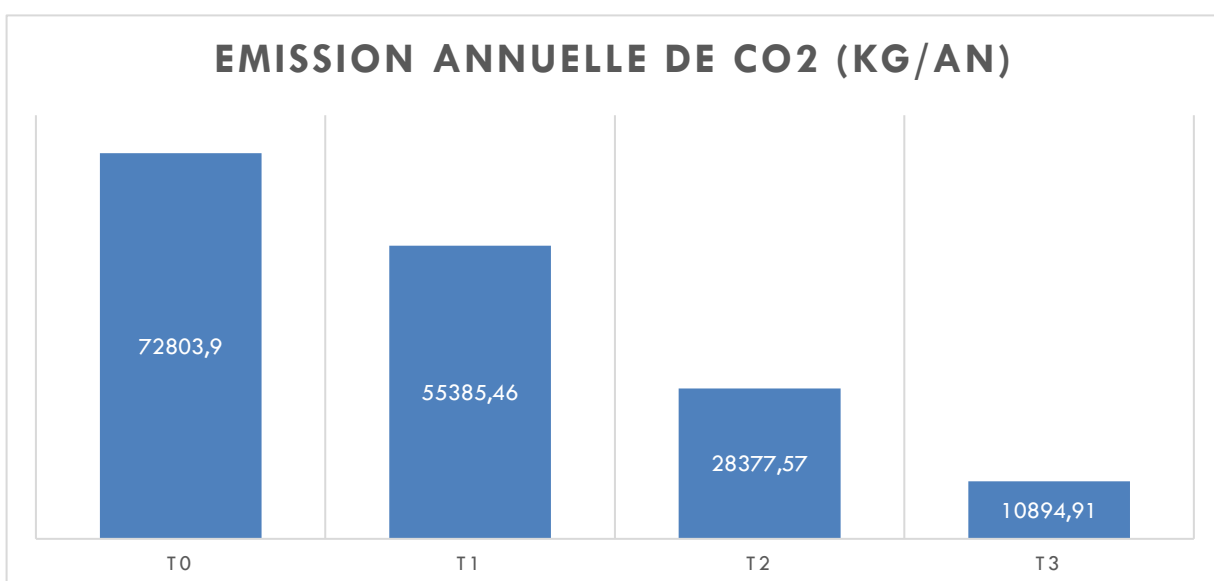
- **T0 - Technologie traditionnelle de base** : PAC Air/Eau + panneaux solaires photovoltaïques
- **T1-Photovoltaïque 1**: Chaudière à condensation + panneaux solaires photovoltaïques
- **T2-Pompe à chaleur**: PAC Air/Eau.
- **T3-Photovoltaïque 2**: PAC Air/Eau + panneaux solaires thermiques

La comparaison est d'abord effectuée sur base non financière afin de chiffrer la « qualité » de la mesure. Pour chaque scénario étudié, les consommations en énergie primaire et émissions de CO₂ pour le chauffage, ont été comparées à celles de la technologie de référence.

[Graphe 3]



[Graphe 4]



Conclusion

Sur base des différents scénarios proposés et du coût cumulé sur 10 ans, on remarque que les technologies alternatives T1 (chaudières gaz condensation combinées à des panneaux photovoltaïques) et T3 (pompe à chaleur Air-Eau avec panneaux photovoltaïques) nous offrent les meilleures combinaisons d'émissions de CO₂/ réduction d'énergie primaire et financière.

En effet, la consommation annuelle en énergie primaire de T0 et T1 sont fort différentes. Il en va de même pour la variante T3. Cela étant dû au fait que d'un part la PAC possède un rendement saisonnier élevé et d'autre part la consommation en énergie d'une chaudière gaz condensation est plus faible mais possède un moins bon rendement. C'est pourquoi, la technologie T3 est celle qui offre une des meilleures alternatives en termes de performances énergétiques et économies en énergie.

Ensuite, lorsqu'on analyse les investissements de chacune de ces technologies, la variante T1 (chaudière gaz à condensation + panneaux photovoltaïques), se révèle être la plus économique. En comparaison avec la technologie T3 qui est plus onéreuse, son investissement de base est plus élevé. Néanmoins, l'ensemble des panneaux permettent un gain de nombreux certificats verts et une économie en énergie importante ce qui permet un temps de retour d'environ 30% plus rapide que la technologie de référence. Un temps de retour simple permet de constater que ces panneaux sont rapidement rentable aux alentours de 8 à 9 ans.

En définitif, le choix de la solution T3 (PAC + PV) s'impose car c'est la seule technologie qui permet de respecter l'ensemble des exigences PEB en région bruxelloise. C'est également celle qui est la plus rentable aussi bien au point de vue économique qu'en terme de gain en émission de CO₂.

	Coût annuels énergie cumulés 10 ans (y compris inflation) [€]	Coût annuels maintenance cumulés 10 ans (y compris inflation) [€]	Investissement [€]	Gains / économie [€] cumulés 10 ans	Total [€]
T0	621900.6	27300	136500	0	785700.56
T1	456311.2	56550	215475	85029.5	643306.45
T2	340502.5	54600	273000	0	668102.53
T3	130723.1	83850	351975	85029.5	481518.3