



RAPPORT

Etude d'opportunité énergies renouvelables et réseau de chaleur

Opération d'aménagement

ZAC Le Grand Clos à Bretteville-sur-Laize (14)

Ville de Bretteville-sur-Laize
SAS FONCIM



CLIENT

RAISON SOCIALE	FONCIM AMENAGEMENT
COORDONNÉES	2 bis boulevard Georges Pompidou, 14000 Caen Tél. 02 31 38 94 94
INTERLOCUTEUR (nom et coordonnées)	Olivier CAPELLE o.cappelle@foncim.fr]

SCE

COORDONNÉES	Agence de Caen ZAC Object'ifs Sud - 13, rue Charles Sauria 14123 Ifs Tél. 02.31.34.24.25 - Fax. 02.31.83.25.24 E-mail : sce@sce.fr
INTERLOCUTEUR (nom et coordonnées)	David MARIE Tél. 02.31.34.24.25 - Fax. 02.31.83.25.24 E-mail : david.marie@sce.fr

RAPPORT

TITRE	Etude d'opportunité ENR et réseau de chaleur
NOMBRE DE PAGES	54
NOMBRE D'ANNEXES	4
OFFRE DE RÉFÉRENCE	170344

SIGNATAIRE

RÉFÉRENCE	DATE	RÉVISION DU DOCUMENT	OBJET DE LA RÉVISION	RÉDACTEUR	CONTRÔLE QUALITÉ
170344	15/05/17	Édition 1		MBY	AGF

Sommaire

Contexte de l'étude	6
1. Objet de l'étude.....	6
2. Programme constructif	7
2. Situation du projet.....	7
3. Schéma d'aménagement.....	8
4. Phasage et bilan programmatique	9
5. Définition des consommations RT2012.....	10
5.1. Logements individuels groupés ou non	10
5.2. Bâtiments collectifs à usage d'habitation.....	11
5.3. Répartition des consommations	12
6. Bilan des consommations RT 2012	13
7. Bilan des consommations Effinergie+.....	14
8. Analyse de la densité thermique.....	15
8.1. Desserte globale.....	15
9. Contexte ENR.....	16
9.1. La géothermie.....	16
9.1.1. Potentiels géothermiques.....	17
9.2. La filière bois	17
9.2.1. Approvisionnement.....	17
9.2.2. Chaufferies biomasses environnantes	19
9.3. Le solaire	21
9.4. L'éolien.....	22
10. Revue des énergies envisageables	23
11. Comparaison des solutions d'approvisionnement énergétique	25
11.1. Présentation des scénarii	25
11.1.1. À l'échelle d'un logement individuel	25
11.1.2. À l'échelle de 3 logements	26
12. Comparatif des scénarii pour la desserte en chauffage et eau chaude sanitaire.....	27
12.1. Introduction	27

12.2. Hypothèses de calcul du coût du kWh	28
12.2.1. Tarifs de base et impact CO2.....	28
12.2.2. Evolution des prix	29
12.2.3. Hypothèses pour les coûts de conduite et maintenance (P2).....	29
12.2.4. 10.2.4. Hypothèses pour les coûts d'investissement, gros entretien, renouvellement (P3-P4) 29	
12.2.5. Coût global (P1-P2-P3-P4).....	29
12.2.6. Rappel de la limite principale de la modélisation du coût global.....	29
13. Comparatif des scénarii pour la desserte en chauffage et eau chaude sanitaire.....	30
13.1. Scénarii à l'échelle d'un logement individuel.....	30
13.1.1. Analyse du coût d'exploitation – fourniture d'énergie (P1).....	30
13.1.2. Analyse du coût de conduite et de maintenance P2.....	31
13.1.3. Analyse du coût global	31
13.1.3.1. Cas de logement RT2012	31
13.1.3.2. Cas logement Effinergie+	33
13.1.4. Comparatif émissions de CO2	35
13.1.5. Variante scénario n°1	36
13.2. Scénarii à l'échelle d'un bâtiment collectif de 3 logements	37
13.2.1. Analyse du coût d'exploitation – fourniture d'énergie (P1).....	37
13.2.2. Analyse du coût de conduite et de maintenance P2.....	38
13.2.3. Analyse du coût global	39
13.2.3.1. Cas de 3 logements RT2012.....	39
13.2.3.2. Cas de 3 logements Effinergie+	40
13.2.4. Comparatif émissions de CO2	42
13.2.5. Analyse multicritères	43
13.2.5.1. Synthèse du comparatif pour un logement individuel	43
13.2.5.2. Synthèse du comparatif pour un collectif de 3 logements.....	43
14. Energies renouvelables pour la desserte en électricité	44
14.1. Compensation photovoltaïque	44
14.1.1. Généralités	44
14.1.2. Définition des consommations électriques.....	44
14.1.3. Taux de couverture.....	45
14.2. Energie éolienne.....	45
15. Conclusion	46



Etude d'opportunité ENR

Contexte de l'étude

1. Objet de l'étude

Cette opération d'aménagement entre dans le cadre de l'article n°8 de la loi n°2009-967 du 3 août 2009, par le biais de l'article L. 128-4 du Code de l'Urbanisme.

Cet article mentionne que « toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L. 300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération. »

Réalisé conformément aux textes réglementaires en vigueur, cette étude a pour objet de comparer la pertinence technique, environnementale et financière de plusieurs scénarii de desserte énergétique.

Le projet d'aménagement envisagé aujourd'hui porte sur 4 phases réparties sur environ 16 ha. Il prévoit la réalisation d'environ 50 000 m² de bâtiments à usage d'habitations.

L'objet de ce rapport est d'étudier les différentes opportunités de dessertes énergétiques utilisant des énergies renouvelables et de présenter, en première approche, un comparatif technico-économique et environnemental permettant d'orienter les solutions techniques pertinentes.

2. Programme constructif

2. Situation du projet

Le projet porte sur l'aménagement d'une zone d'habitation (ZAC LE GRAND CLOS). Il est porté par la commune de Bretteville-sur-Laize et s'inscrit dans la continuité du projet d'aménagement du parc d'activité sur la partie nord à Bretteville-sur-Laize (14).

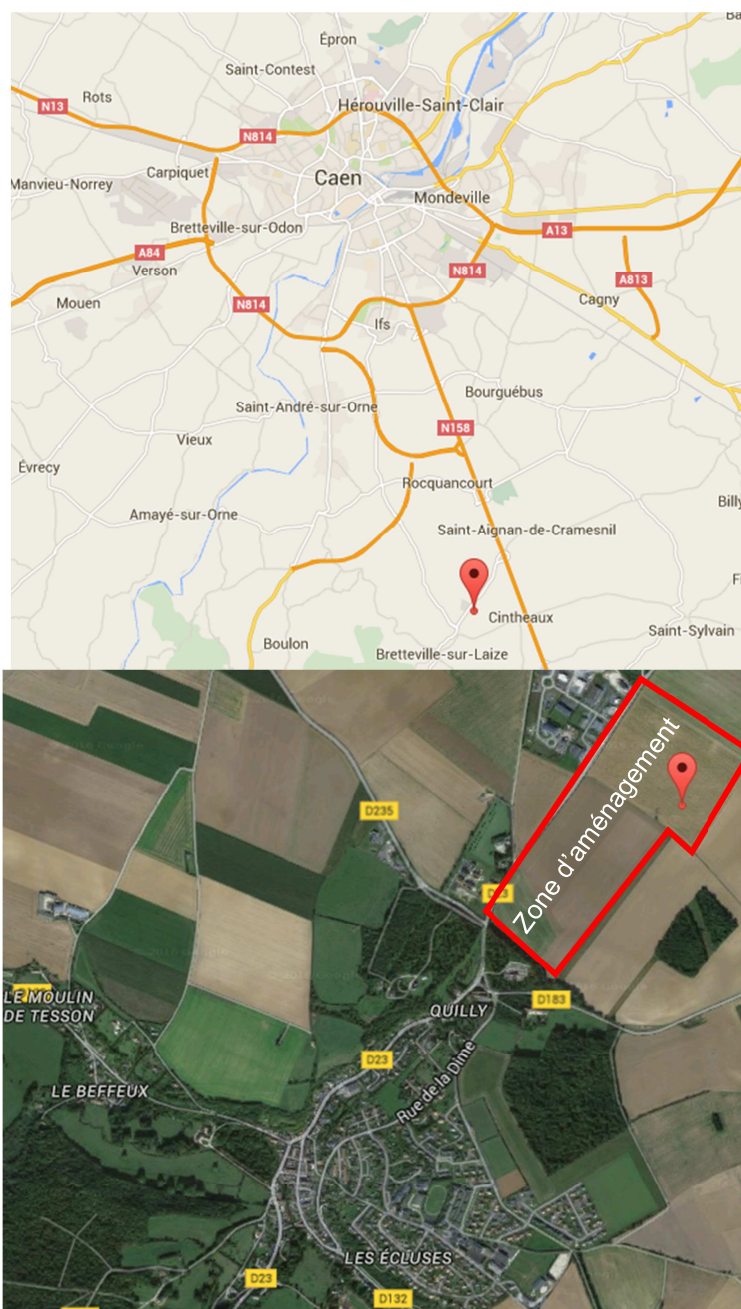


Figure 1 - Zone d'aménagement

3. Schéma d'aménagement

LE PROJET

LE SCHÉMA D'AMÉNAGEMENT (JANVIER 2014) - LE PROJET DE ZA RETENU

RAPPEL DES FONDAMENTAUX DU PROJET

PROJET DE ZA RETENU.....

PÉRIMÈTRE DE LA ZAC.....

LA VALLÉE.....

LES BOSQUETS HABITÉS.....

LA PLAINE HABITÉE.....



Figure 2 - Schéma d'aménagement de la ZAC après livraison.

4. Phasage et bilan programmatique

LE PROJET

PHASAGE ET OBJECTIFS

LE PROGRAMME

QUATRE PHASES

360 LOGEMENTS AU TOTAL

- 120 LOTS LIBRES (33%)
- 80 LOTS LIBRES STRUCTURÉS (23%)
- 62 MAISONS DE VILLE (17%)
- 98 LOGEMENTS COLLECTIFS (27%)

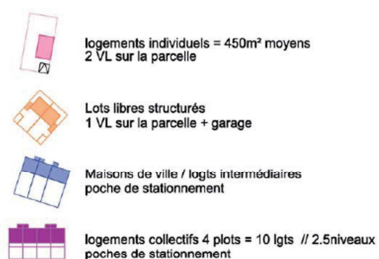


Figure 3 - Phasage

L'étude d'approvisionnement énergétique ne concerne que la zone d'habitation au sud-ouest. La partie Nord-est a déjà fait l'objet d'une précédente étude d'approvisionnement énergétique.

Ci-dessous les quantitatifs et les repartitions surfaciques du programme :

			ZAC Le Grand Clos							
			Répartition de la programmation par phase							
Phasage/typologie	Type	Niveaux	Les Bosquets Nord (3)	Les Bosquets Sud (1)	La Plaine Nord (4)	La Plaine Sud (2)	Total	Nbre de logement / bâtiment	Ratio m² / logement	Total sdp (m²)
Lots libres	Maisons individuelles	RDC	43	57	45	50	195	1	130	25 350
Lots denses		RDC	17	11	12	10	50	1	130	6 500
Maisons de ville		RDC			26	12	38	1	100	3 800
Intermédiaires /collectifs	Logements collectifs	R+1/R+2			51	30	81	3	65	15 795
TOTAL			60	68	134	102	364			51 445

5. Définition des consommations RT2012

L'estimation des consommations de l'opération d'aménagement est réalisée sur la base des consommations réglementaires RT2012 maximales (CEPmax). La valeur du CEPmax dépend de plusieurs facteurs dont l'usage du bâtiment.

A noter que la livraison de bâtiments au-delà de 2020 impliquerait que ces derniers seraient soumis à la réglementation thermique RT2020. Les exigences énergétiques de cette réglementation étant à l'heure actuelle encore inconnues, les bâtiments livrés après 2020 sont supposés respectés le niveau « Effinergie + ».

Le tableau suivant détaille les hypothèses de calcul permettant d'estimer le CEPmax.

5.1. Logements individuels groupés ou non

Date de dépôt du permis de construire avant le 1 ^{er} janvier 2018 ?	Non
Département ?	14 - Calvados
Zone climatique ?	H1a
Altitude (m) ?	0 à 400 m
Type de construction ?	Construction neuve
Nombre de niveaux du bâtiment (Nniv) ?	1
Type de bâtiment ?	Maison individuelle
Nombre de logements (Nl) ?	1
Catégorie de bâtiment ?	CE1
Surface thermique S _{RT} (m²) ?	130
Source d'énergie principale utilisée ?	Autre source d'énergie (gaz, fioul, électricité...)
Réseau de chaleur ?	00 - Aucun réseau de chaleur
Réseau de froid ?	00 - Aucun réseau de froid
M _{ctype} =	1,00
M _{cgeo} =	1,20
M _{calt} =	0,00
M _{c surf} =	0,00
M _{cGES} =	0,00
Cep_{max} (kWh_{ep}/an.m² S_{RT}) =	60,00
Consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire d'un bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage artificiel des locaux, les auxiliaires de chauffage, de refroidissement, d'eau chaude sanitaire et de ventilation, déduction faite de l'électricité produite à demeure.	
Cep_{max} Effinergie+ (kWh_{ep}/an.m² S_{RT}) =	48,00
NIVEAU DU LABEL EFFINERGIE+	

Le CEPmax pour les bâtiments individuels d'habitation livrés avant 2020 est de **60 Wh_{ep}.m²/an.**

Le CEPmax pour les bâtiments individuels d'habitation livrés après 2020 est de **48 Wh_{ep}.m²/an.**

5.2. Bâtiments collectifs à usage d'habitation

Date de dépôt du permis de construire avant le 1 ^{er} janvier 2018 ?	Non
Département ?	14 - Calvados
Zone climatique ?	H1a
Altitude (m) ?	0 à 400 m
Type de construction ?	Construction neuve
Nombre de niveaux du bâtiment (N _{liv}) ?	2
Type de bâtiment ?	Bâtiment collectif d'habitation
Nombre de logements (N _l) ?	3
Catégorie de bâtiment ?	CE1
Surface thermique S _{RT} (m²) ?	195
Source d'énergie principale utilisée ?	Autre source d'énergie (gaz, fioul, électricité...)
Réseau de chaleur ?	00 - Aucun réseau de chaleur
Réseau de froid ?	00 - Aucun réseau de froid
M _{ctype} =	1,00
M _{cgeo} =	1,20
M _{calt} =	0,00
M _{c surf} =	0,09
M _{cGES} =	0,00
Cep_{max} (kWh_{ep}/an.m² S_{RT}) =	64,50
Consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire d'un bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage artificiel des locaux, les auxiliaires de chauffage, de refroidissement, d'eau chaude sanitaire et de ventilation, déduction faite de l'électricité produite à demeure.	
Cep_{max} Effinergie+ (kWh_{ep}/an.m² S_{RT}) =	51,60
NIVEAU DU LABEL EFFINERGIE+	

Le CEPmax pour les bâtiments collectifs d'habitation livrés avant 2020 est de **64.5 Wh_{ep}.m²/an.**

Le CEPmax pour les bâtiments collectifs d'habitation livrés après 2020 est de **51.6 Wh_{ep}.m²/an.**

5.3. Répartition des consommations

Le CEPmax englobe les 5 postes réglementaires : chauffage, ECS, rafraîchissement, éclairage et auxiliaires de ventilation. Le tableau suivant présente les hypothèses de répartition des consommations. Ces valeurs sont extrapolées sur la base des observations empiriques menées par l'observatoire BBC.

Répartition par postes								
Type de bâtiment	Chauffage	ECS	Eclairage	Auxiliaires	Electricité spécifique	Climatisation	EnR	Total
Résidentiel	Individuel	35%	35%	10%	20%	0%	0%	100%
	Collectif	30%	38%	12%	20%	0%	0%	100%

Les simulations de consommations énergétiques sont réalisées sous deux niveaux de performance :

- ✓ Le niveau RT2012
- ✓ Le niveau Effinergie+ (gain de 20% vis-à-vis la RT2012)

Ainsi, au **niveau RT2012**, les hypothèses de ratios de consommations primaires sont les suivantes :

RT2012								
Type de bâtiment	Chauffage	ECS	Eclairage	Auxiliaires	Electricité spécifique	Climatisation	EnR	Total
Résidentiel	Individuel	21	21	6	12	70	0	130
	Collectif	19	25	8	13	70	0	135

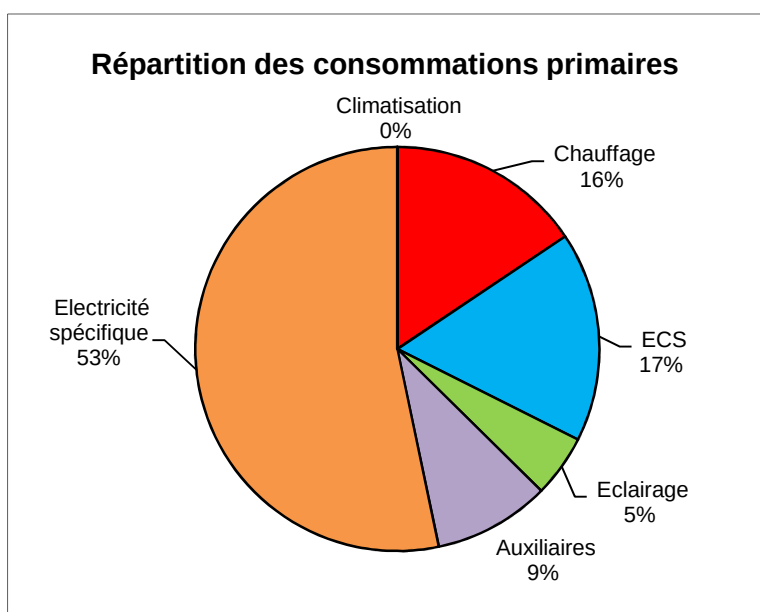
Au **niveau Effinergie+**, les hypothèses de ratios de consommations primaires sont les suivantes :

Effinergie								
Réduction vis-à-vis RT2012		20%						
Type de bâtiment	Chauffage	ECS	Eclairage	Auxiliaires	Electricité spécifique	Climatisation	EnR	Total
Individuel	17	17	5	10	56	0	-6	98
	Collectif	15	20	6	10	56	0	101

6. Bilan des consommations RT 2012

Sur la base des ratios de consommation et du programme constructif, les consommations réglementaires RT2012 en MWhep.an de la ZAC sont les suivantes :

	RT 2012	RT en vigueur
Chauffage	1 054	16%
ECS	1 136	17%
Eclairage	336	5%
Auxiliaires	632	9%
Electricité spécifique	3 601	53%
Climatisation	-	0%
total	6 759	100%

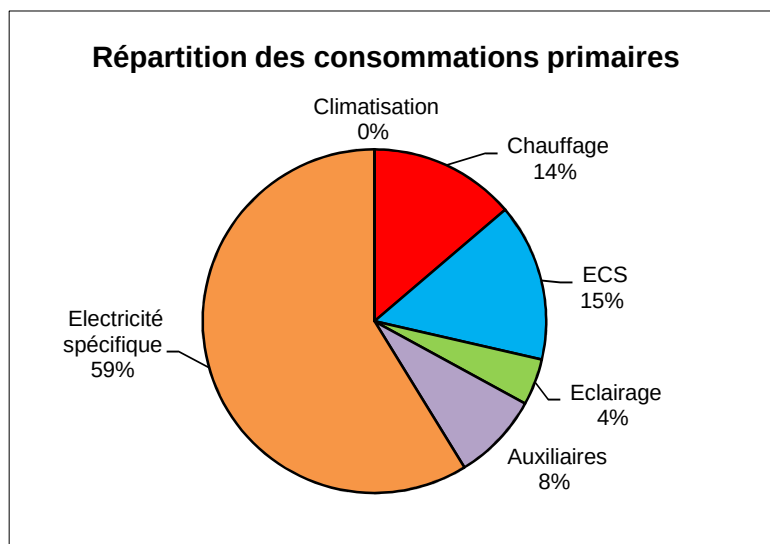


Les consommations thermiques relevant des chauffages et de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) représentent 2 190 MWhep.an.

7. Bilan des consommations Effinergie+

Sur le même principe que précédemment défini, les consommations réglementaires Effinergie+ en MWhep.an de la ZAC sont les suivantes :

	Effinergie +	RT en vigueur
Chauffage	843	14%
ECS	909	15%
Eclairage	269	4%
Auxiliaires	505	8%
Electricité spécifique	3 601	59%
Climatisation	-	0%
total	6 127	100%



Les consommations thermiques relevant des chauffages et de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) représentent 1 752 MWhep.an.

8. Analyse de la densité thermique

Le schéma suivant présente le cheminement potentiel d'un réseau de chaleur pour l'opération d'aménagement. Cette approche schématique est réalisée de manière à estimer la densité thermique.

Sur la base des aides de l'ADEME et du Fond Chaleur, la pertinence d'un réseau de chaleur débute avec une charge de 1,5 MWh/ml aller de réseau (palier minimal pour obtenir des aides).

8.1. Desserte globale



Figure 4 - Aperçu réseau de chaleur

L'ensemble de la ZAC est desservi par le réseau de chaleur. Le linéaire de réseau aller est estimé à environ 3 500 ml.

Niveau RT2012 → La densité thermique du réseau de chaleur est de 0.6 MWh / ml / an.

Niveau Effinergie+ → La densité thermique du réseau de chaleur est de 0.5 MWh / ml / an.

Au regard des densités thermiques calculées, la mutualisation des systèmes de production à l'échelle de la ZAC apparaît être très peu pertinente. Ceci, s'explique principalement par les besoins (chauffage et ECS) faibles de l'opération rapportés à un linéaire de réseau de distribution élevé.

9. Contexte ENR

NB : Dans le cadre de la réforme territoriale, la Basse-Normandie a fusionné avec la Haute-Normandie le 1er janvier 2016, pour former la région Normandie. Les données énergétiques ci-dessous étant issues des études faites par le SRCAE (Les Schémas régionaux Climat Air Energie) avant le redécoupage régional, les anciennes appellations ont donc été maintenues car ces données ne concernent qu'une partie de la nouvelle région.

9.1. La géothermie

La géothermie est une énergie locale, basée sur la récupération de la chaleur de la terre par l'exploitation des ressources du sous-sol, qu'elles soient aquifères ou non. Pour l'exploitation de la chaleur contenue dans le sous-sol, plusieurs technologies sont envisageables selon la température de la ressource :

On distingue généralement :

- ▶ La géothermie **très basse énergie** (température inférieure à 30°C) : la température de la ressource qui provient généralement d'un aquifère superficiel et parfois intermédiaire, ne permet pas un usage direct. La chaleur est souvent valorisée à l'échelle d'un bâtiment résidentiel ou tertiaire, grâce à l'installation de pompes à chaleur (PAC) sur aquifères superficiels ou sur champs de sonde (récupération de la chaleur du sol).
- ▶ La géothermie **basse énergie** (température entre 30 et 90°C) : La chaleur est souvent valorisée dans un réseau de chaleur géothermique à l'aide d'un simple échangeur ou par utilisation direct.
- ▶ La géothermie **haute énergie** (température supérieure à 150°C) : permet de produire de la vapeur pour l'alimentation notamment des centrales électriques.

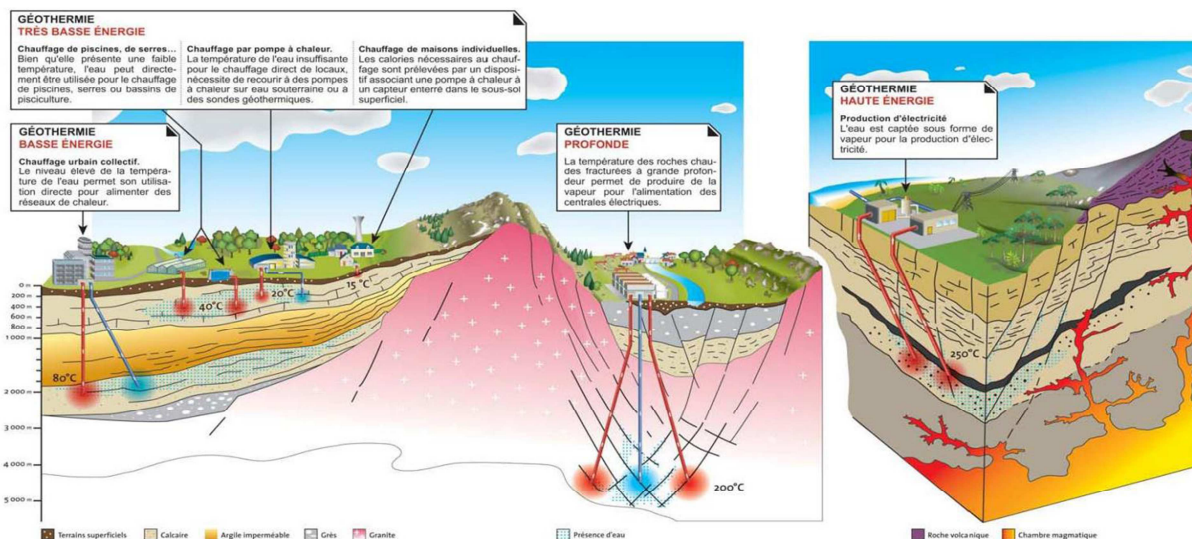


Figure 5 - Techniques d'exploitation de la géothermie (Source BRGM, ADEME)

Les enjeux du développement de la géothermie :

- ▶ Quantifier les puissances disponibles :

La quantification des ressources disponibles passe par une connaissance approfondie des aquifères disponibles. Pour une géothermie basse ou haute température, l'ensemble de l'énergie extraite doit également pouvoir être valorisé par une demande énergétique suffisante en surface afin que l'installation soit techniquement et économiquement pertinente.

➤ Enjeux environnementaux :

Le principal enjeu environnemental lié aux installations géothermiques est le risque de pollution des eaux souterraines. Dans le cas de la géothermie basse énergie sur nappe ou par sonde, les forages peuvent mettre en communication des nappes superposées et de qualité différentes, et donc induire une possibilité de contamination d'une eau potable par une eau polluée. Par ailleurs les forages peu étanches ou abandonnés sont des voies d'infiltration directe des eaux de ruissellement (donc polluées) vers les eaux souterraines (filtrées).

➤ Réglementation :

Compte tenu des enjeux environnementaux, la réglementation joue un rôle dominant dans le développement de la géothermie par forages, car elle est relativement complexe et contraignante. Le développement d'un projet est de ce fait très long, au vu des études et des procédures.

Les installations doivent respecter :

- o le code Minier,
- o la loi sur l'Eau (en fonction du débit d'eau prélevé ou réinjecté, les installations géothermiques relèvent d'un régime d'autorisation ou de déclaration administrative).

9.1.1. Potentiels géothermiques

En Basse-Normandie, on recense plusieurs aquifères favorables à l'exploitation de la géothermie sur nappe. La région est très propice au développement des opérations sur champs de sondes géothermiques pour les raisons suivantes :

- ▶ présence de niveaux d'eau très proches de la surface sur presque toute la région favorisant la recharge thermique naturelle des sondes ;
- ▶ par ailleurs, les sols de la région présentent une bonne conductivité thermique.

Pour une géothermie basse ou haute température, les besoins énergétiques limités de l'opération fait que ce type d'installation ne présente pas de pertinence technico-économique. L'ensemble de l'énergie extraite ne pouvant pas être valorisé par une demande énergétique suffisante en surface. Quant à la solution de géothermie très basse température avec sonde géothermique, elle est envisageable à l'échelle de l'opération.

9.2. La filière bois

9.2.1. Approvisionnement

Les arguments en faveur du développement d'une filière bois énergie sont nombreux à condition que son utilisation se fasse dans les meilleures conditions (choix des technologies les plus performantes, bonne gestion de la ressource bois). La ressource régionale de bois énergie est importante mais est jusqu'à aujourd'hui encore sous-exploitée.

Le stock de bois sur pied en Normandie est estimé à 110 millions de tonnes. Sa production annuelle représente près de 4,5 millions de tonnes de bois valorisables, aujourd'hui mobilisées aux deux tiers seulement.

La filière bois énergie s'est constituée autour de la société régionale Bio-combustible SA, notamment présente à Cintheaux (environ 3 km à vol d'oiseau).



Figure 6 - Plateformes de stockage et de distribution de bois en région Normandie

9.2.2. Chaufferies biomasses environnantes

Encore assez peu développées en France, les chaufferies collectives au bois présentent l'avantage de permettre la valorisation de grandes quantités de bois dans des conditions de performances énergétiques et écologiques optimales.

Comme illustré ci-dessous, la chaufferie bois industrielle la plus proche de la zone d'aménagement est située à environ 9 km à May-Sur-Orne. Le raccordement à cette installation ne présente pas d'intérêt technico-économique en raison de sa faible densité thermique. De même pour les chaufferies collectives biomasse.

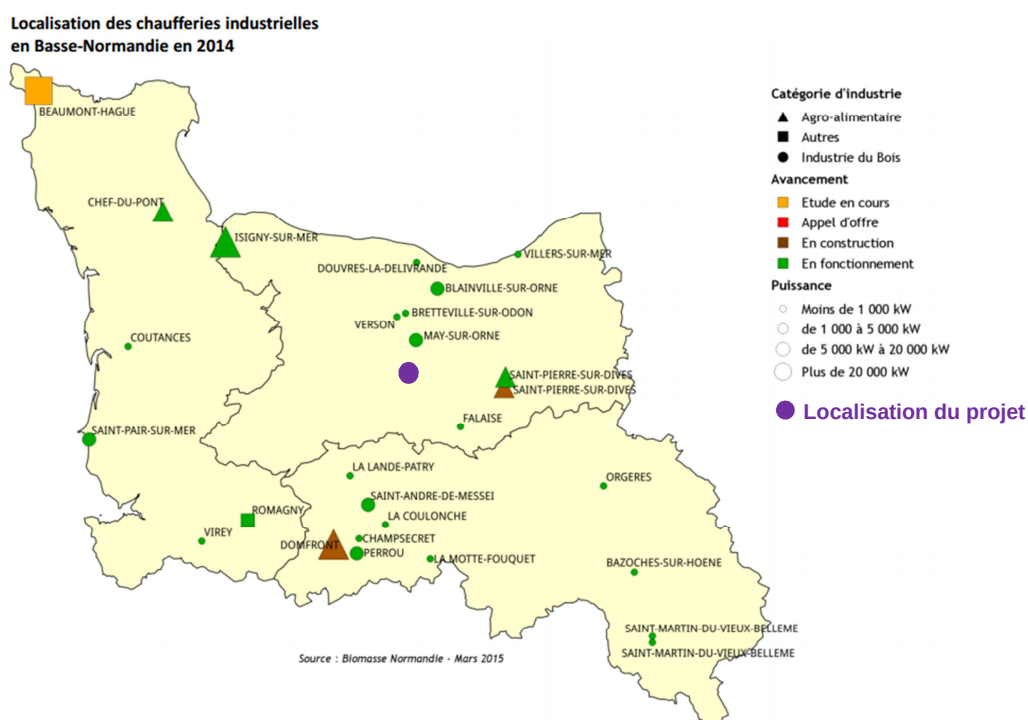


Figure 7 - Les chaufferies bois industrielles en basse Normandie (Source Biomasse Normandie)

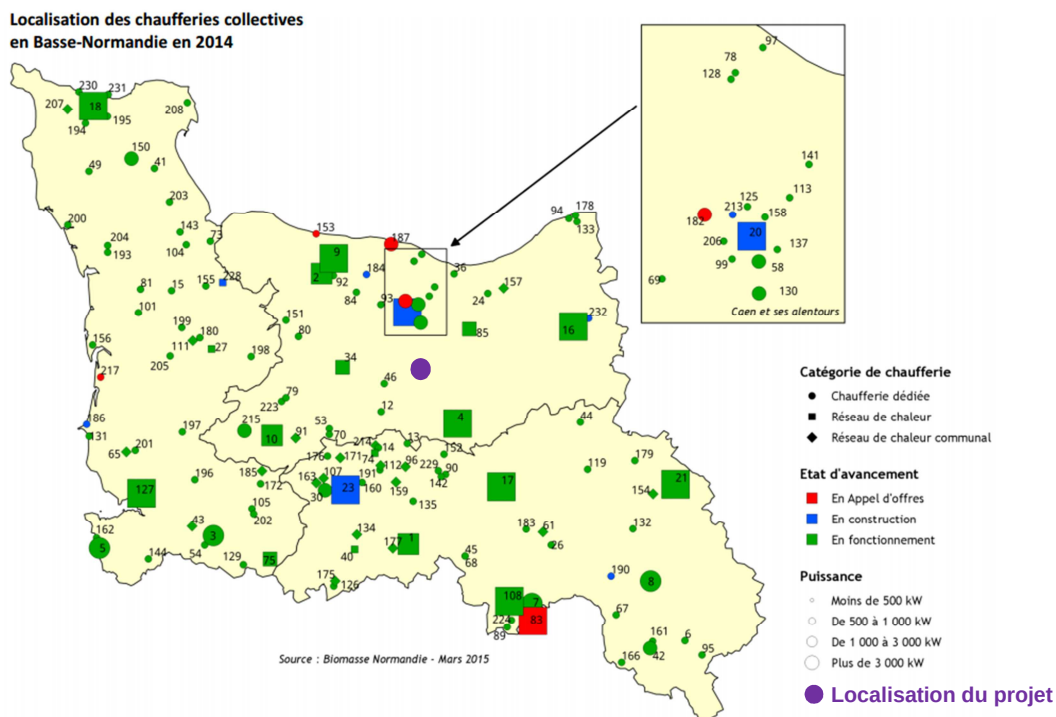
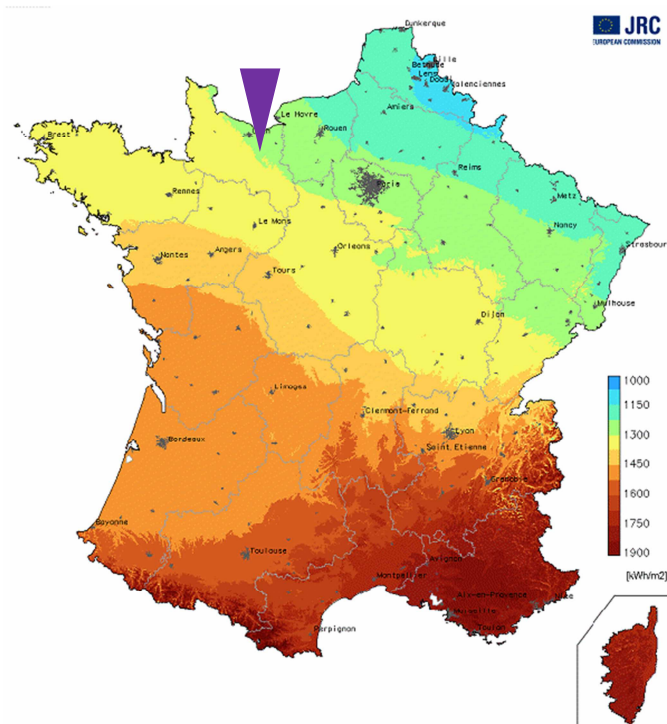


Figure 8 - Les chaufferies bois collectives en basse Normandie (Source Biomasse Normandie)

À l'échelle de la zone d'aménagement toutefois, le recours au bois pour le chauffage peut être envisagé, par la mise en place d'une chaufferie utilisant le bois à l'échelle du bâtiment.

Le rayonnement solaire moyen annuel est de 1150 kWh/m² dans le Calvados soit seulement 20 % de moins que dans le sud de la France. Cette énergie peut être utilisée via des capteurs solaires thermiques pour produire de la chaleur, application la plus courante ; eau chaude sanitaire et/ou chauffage. Un tel système permet de capter 50 % de l'énergie incidente. L'énergie solaire peut permettre aussi de produire de l'électricité par des panneaux photovoltaïques.



Comme illustré ci-dessus, la commune de Bretteville-sur-Laize est située dans une zone à moindre ensoleillement. Cet ensoleillement est équivalent à celui constaté en Allemagne, où le solaire photovoltaïque est très développé. Elle peut donc accueillir du solaire photovoltaïque et (ou) du solaire thermique avec toutefois une moins bonne rentabilité.

Potentiellement, les panneaux solaires photovoltaïques peuvent s'installer en toiture ou en terrasse, en façade, au sol, en écran antibruit, etc. Autant d'endroits possibles tant qu'ils respectent les quelques règles de mise en œuvre : orientation et inclinaison optimales, sans masques ni ombres portées. Ces installations pourront être raccordées au réseau d'électricité afin de bénéficier d'un tarif de rachat de l'électricité. Les tarifs de rachat de l'électricité photovoltaïque dépendent de la puissance installée et depuis 2013, les tarifs d'intégration au bâti ont été supprimés pour les installations supérieures à 9kWc à compter de la date d'entrée en vigueur de l'arrêté. Par ailleurs, la loi du 24 février 2017 contribue à sécuriser et à encourager une nouvelle manière de produire et de consommer sa propre électricité. Désormais, l'autoconsommation peut être totale ou partielle, individuelle ou collective, à l'échelle d'une construction, d'une copropriété ou d'un quartier. En effet, compte tenu de la hausse progressive du prix de vente de l'électricité par les fournisseurs et du prix de rachat qui

diminue, l'autoconsommation présente un intérêt financier évident pour les particuliers et prendra plus en plus d'ampleur dans les mois et années à venir.

Le solaire thermique

Le solaire thermique est une technique qui permet de produire 400 kWh/an par m². Cela peut couvrir entre 40% et 60% des besoins d'eau chaude sanitaire des bâtiments et nécessite un appoint par une autre énergie pour couvrir les besoins restants. En effet, l'installation de 8 m² de panneaux thermiques plans permettrait de couvrir 50 à 60% des besoins annuels en eau chaude d'un foyer de quatre personnes dont la consommation annuelle est estimée à 3 600 kWh (soit 120 et 170 litres par jour) par l'ADEME. Cela suppose une orientation plein sud des panneaux installés avec une inclinaison de 45° par rapport à l'horizontale.

9.4. L'éolien

La Basse-Normandie a un bon potentiel éolien avec son littoral important exposé nord, nord-ouest et ses vents assez réguliers.

Le grand éolien

Selon le schéma régional éolien de Basse-Normandie, la commune de Bretteville-sur-Laize est, en partie, située dans une zone favorable au grand éolien. Ces zones propices au développement éolien ont été définies en prenant en compte différentes sensibilités environnementales, patrimoniales, architecturales et culturelles ainsi que des contraintes et servitudes techniques qui permettent d'obtenir la carte de synthèse ci-dessous. La zone d'aménagement du projet n'est toutefois pas située dans une zone favorable.

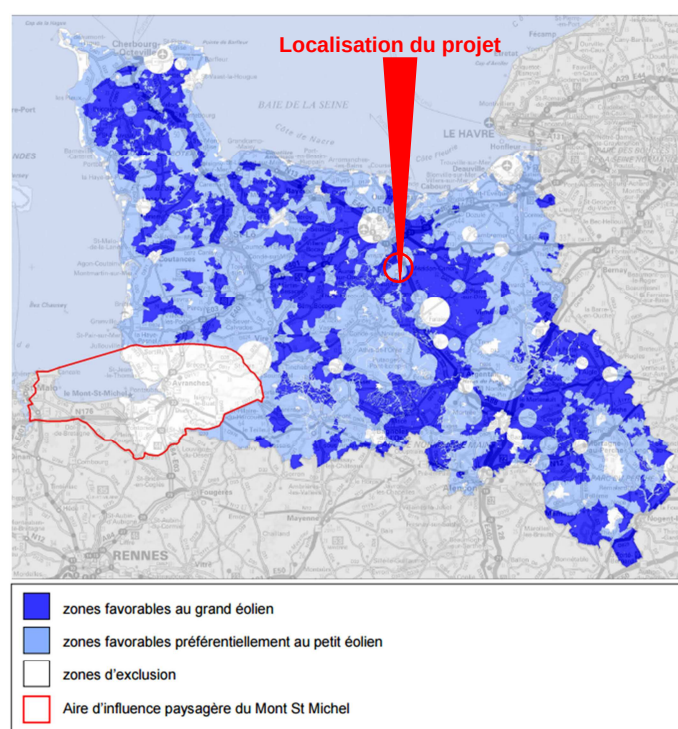


Figure 10 - Carte des zones favorables à l'éolien en Basse Normandie (source Schéma régional éolien de Basse-Normandie)

Le petit éolien

La zone d'aménagement est située dans une zone favorable au petit éolien. Cette technologie présente cependant de nombreux contre-exemples :

- ▶ Intégré au bâtiment, les retours sur expérience montrent des problématiques de vibrations, d'usure prématurée des roulements...
- ▶ En masts inférieurs à 12m, cette technologie relève d'études spécifiques à chaque implantation.

Au niveau des études globales, cette technologie n'est pas retenue. Des études spécifiques au cas par cas pourraient cependant permettre l'implantation de petit éolien.

L'intégration de ce type d'installations sur le parc est donc très limitée et non retenue.

10. Revue des énergies envisageables

Les choix réalisés dans le cadre d'un aménagement représentent un engagement sur plusieurs dizaines d'années. En matière d'énergie, les conséquences directes de ces choix sont le coût pour les usagers (niveau et stabilité), l'impact sur le climat (émissions de gaz à effet de serre) et sur l'environnement (qualité de l'air, impact paysager...). Le panel de solutions est large et chaque solution dispose de ses atouts et de ses limites. Le tableau suivant décrit en première approche les systèmes d'énergies renouvelables présentant une pertinence technique à l'échelle de l'opération.

	Solution étudiée pour l'étude d'opportunité EnR
	Solution à étudier en cas d'études approfondies
	Solution non envisageable

Energie	Technologie		Usage	Echelle de production	Possibilité d'utilisation pour le projet
SOLAIRE THERMIQUE	Chauffe-Eau Solaire Collectif (CESC) (5 capteurs > 20m²)	Capteurs sans vitrage, vitrés (plus de 20 m²)	eau chaude pour Lgmt collectif, bâtiment artisanal ou industriel, établissement de santé avec hébergement, maison de retraite, hôtel, piscine, camping... Consommation supérieure à 1600 litres par jour.	Bâtiment	Adapté aux logements collectifs sur les toitures inclinées orientées sud et sans masques importants, ou sur les toitures-terrasses.
	Capteurs sous vide	capteurs sous vide	production d'eau chaude à plus de 100°C, par exemple pour de la climatisation par absorption (industrie, tertiaire)	Bâtiment	Envisageable dans des cas spécifiques d'entreprises utilisant de l'eau chaude à plus de 100°C
SOLAIRE PHOTO-VOLTAÏQUE	Raccordé au réseau	Centrale, Simple ou sécurisé	Production d'électricité	Bâtiment	Envisageable pour tous les bâtiments présentant une toiture terrasse ou inclinée orientée +/- sud et sans masque.
	Isolé (non raccordé au réseau ERDF)	Simple ou hybride	Production d'électricité	Bâtiment	Investissement important, non rentable en l'absence de subventions, accordées seulement pour les sites éloignés du réseau.

OPERATION D'AMÉNAGEMENT ZAC « LE GRAND CLOS » – COMMUNE DE BRETTEVILLE-SUR-LAIZE
ÉTUDE D'OPPORTUNITÉ ENR

Energie	Technologie		Usage	Echelle de production	Possibilité d'utilisation pour le projet
GEOthermie TRES BASSE ENERGIE : utilisation d'une pompe à chaleur (PAC) captant de la chaleur du sol à basse température	Capteurs horizontaux	PAC sol/eau, sol/sol ou eau glycolée/eau	Chauffage+ Climatisation	Bâtiment	Solution peu pertinente en quartier dense en raison des surfaces au sol requises (environ 1,5 fois la surface chauffée).
	Sondes géothermiques verticales	PAC eau glycolée/eau	Chauffage+ Climatisation+ ECS	Bâtiment	Solution envisageable à l'échelle du projet.
	Pompage PAC sur aquifères	PAC eau/eau	Chauffage+ Climatisation+ ECS	Bâtiment ou réseau de chaleur	Solution technico-économique peu pertinente à l'échelle du projet.
GEOthermie BASSE ENERGIE	Pompage d'eau chaude dans le sol pour alimenter directement un circuit de chauffage/eau chaude	Echange direct	Besoins importants de chauffage urbain+ECS	Réseau de chaleur	Solution technico-économique peu pertinente à l'échelle du projet.
AERO- THERMIE	Ballon d'eau chaude thermodynamique	considérée comme énergie renouvelable dans la RT2012 pour la production d'eau chaude	ECS	Bâtiment	Solution envisageable à l'échelle du projet.
	PAC Air extérieur/Eau PAC Air extérieur/Air	considérée comme énergie renouvelable dans la RT2012 pour la production d'eau chaude	Chauffage+ ECS+ Climatisation	Lgmt collectif, bâtiment tertiaire	

Energie	Technologie		Usage	Echelle de production	Possibilité d'utilisation pour le projet
EOLIEN	PETIT EOLIEN (<12m)	Raccordé au réseau ou non	Production électrique	Bâtiment	Solution peu pertinente à l'échelle du projet
	GRAND EOLIEN (>12m)	Raccordé au réseau MT ou HT	Production électrique	investisseurs	Grand éolien interdit à moins de 500 mètres des habitations.
COMBUSTION DE BIOMASSE	Chaudières biomasse (granulés)	Chaudière à alimentation automatique avec ou sans appoint gaz.	Chauffage, ECS	Réseau de chaleur ou bâtiment collectif ou maison individuelle	Solution énergétiquement pertinente par l'installation de chaudières alimentant chaque bâtiment. Toutefois, la mise en place d'un réseau de chaleur n'est pas pertinente en raison de la faible densité thermique.
	Chaudière + réseau de chaleur		Chauffage, ECS	Zone	
Raccordement chaufferies existantes ou réseau de chaleur	Chaufferies industrielles ou biomasses	Chaufferies industrielles ou biomasses	Chauffage, ECS	Zone	Solution peu pertinente à l'échelle du projet en raison de la faible densité thermique.

11. Comparaison des solutions d'approvisionnement énergétique

11.1. Présentation des scénarii

Après avoir défini la faible pertinence d'une mutualisation à l'échelle de l'opération, un travail est mené pour analyser et comparer les solutions énergétiques selon deux échelles :

- A l'échelle d'un logement
- A l'échelle d'un bâtiment collectif de 3 logements

11.1.1. À l'échelle d'un logement individuel

Quatre solutions sont étudiées à l'échelle d'un logement :

- Solution 1 : Chaudière gaz à condensation + Solaire PV. Cette solution intègre une chaudière individuelle gaz à condensation (25 kW) et la mise en place de 3m² de panneau solaire photovoltaïque, onduleur compris.
- Solution 2 : Chaudière gaz à condensation + Solaire thermique. Cette solution intègre une chaudière individuelle gaz à condensation (25 kW) et la mise en place de 2m² de capteurs solaires thermiques ainsi que la pose d'un ballon d'hydro-accumulation de 200 litres.
- Solution 3 : Chaudière au granulé bois Cette solution comprend une chaudière individuelle granulé bois (25 kW), la mise en place d'un réservoir de surface pour stockage des granulés (3,2T) ainsi que l'installation d'un système d'alimentation de la chaudière.
- Solution 4 : PAC géothermique. Cette solution intègre une unité eau-eau pompe à chaleur géothermique, un ballon échangeur d'ECS de 180 litres et la création d'un forage vertical de 100ml (puissance estimée 5 kW).

11.1.2. À l'échelle de 3 logements

Cinq solutions sont étudiées à l'échelle de 3 logements :

- Solution 1 : Chaudière gaz à condensation + Solaire PV. Cette solution intègre une chaudière collective gaz à condensation (30 kW) et la mise en place d'un onduleur et de 2m² de panneau solaire photovoltaïque par logement, soit 6 m².
- Solution 2 : Chaudière individuelle gaz à condensation + Solaire thermique. Cette solution intègre une chaudière individuelle gaz à condensation (25 kW) par logement, la mise en place d'une installation collective solaire thermique (6 m²) et la mise en place d'un ballon de stockage de 600 litres.
- Solution 3 : Chaudière granulé bois. Cette solution comprend une chaudière individuelle granulé bois (30 kW), la mise en place d'un réservoir de surface pour stockage des granulés (25 m³) ainsi que l'installation d'un système d'alimentation de la chaudière.
- Solution 4 : PAC géothermique + CET. Cette solution intègre une unité eau-eau pompe à chaleur géothermique (30 kW), la mise en place par logement d'un chauffe-eau thermodynamique de 200 litres et la réalisation d'un forage et la création de 6 sondes verticales de 100ml (puissance estimée 30 kW).
- Solution 5 : Chaudière collective gaz à condensation + Solaire thermique. Cette solution intègre une chaudière collective gaz à condensation (30 kW) et la mise en place d'une installation collective solaire thermique (6 m²) ainsi que la pose d'un ballon d'hydro-accumulation de 600 litres.

12. Comparatif des scénarii pour la desserte en chauffage et eau chaude sanitaire

12.1. Introduction

L'étude d'opportunité permet la comparaison de différentes solutions sur la base de plusieurs critères :

- ▶ Coût global,
- ▶ Emissions CO2,
- ▶ Adaptabilité aux évolutions du contexte énergétique,
- ▶ Facilité de mise en œuvre opérationnelle.

Le coût de l'énergie ne se résume pas au coût du kWh et il est nécessaire de réaliser les comparatifs en coût global. Aussi seront étudiés :

- ▶ Le coût du kWh (P1 dans le jargon des contrats d'exploitation de chauffage)
- ▶ Le coût de la conduite maintenance (P2)
- ▶ Le coût d'investissement et de gros entretien (P3 P4).

Remarque : Il est important de garder à l'esprit que l'approche financière, bien que réalisée en coût global, présente des limites : les coûts d'investissement annexes liés au génie civil des locaux chaufferies, les coûts de l'occupation des sols des locaux techniques, les variations de performance du bâti, etc. ne sont pas intégrés dans cette approche.

Dans un second temps seront également chiffrées les émissions de CO2 des différents scénarii. Pour les autres critères, c'est une approche qualitative qui sera menée.

12.2. Hypothèses de calcul du coût du kWh

12.2.1. Tarifs de base et impact CO2

Gaz pour individuel				Gaz collectif		
année	2016			année	2016	
Prix abonnement € TTC 20%	234,00			Prix abonnement € TTC 20%	239,00	
Prix kWh €TTC 20%	0,0510			Prix kWh €TTC 20%	0,0459	
Prix MWh €TTC 20%	51,00			Prix MWh €TTC 20%	45,90	
Emission CO2	0,234	kgCO2/kWh		Emission CO2	0,234	kgCO2/kWh
Electricité - tarif jaune				Electricité - tarif bleu 9 kva		
année	2016			année	2016	
Prix abonnement € TTC 20%	7 600,00	abonnement sur la base de		Prix abonnement € TTC 20%	117,00	
		200 kva				
Prix kWh €TTC 20%	0,0682			Prix kWh €TTC 20%	0,1500	
Prix MWh €TTC 20%	68,20			Prix MWh €TTC 20%	150,00	
Emission CO2	0,18	kgCO2/kWh		Emission CO2	0,18	kgCO2/kWh
Bois Granulés						
année	2016					
Prix abonnement € TTC 10%	-					
Prix kWh €TTC 10%	0,0570					
Prix MWh €TTC 10%	57,00					
Emission CO2	0,013	kgCO2/kWh				
Bois Plaquettes forestières						
année	2016					
Prix abonnement € TTC 10%	-					
Prix kWh €HT	0,0240					
Prix kWh €TTC 10%	0,0264					
Prix MWh €TTC 10%	26,40					
Emission CO2	0,013	kgCO2/kWh				

12.2.2. Evolution des prix

L'augmentation du prix des énergies a un impact décisif sur le coût du chauffage et de l'ECS sur une longue période. Or ces augmentations prévisionnelles sont par nature inconnues.

Les hypothèses retenues pour cette étude sont basées sur les augmentations passées constatées depuis 10 ans.

	bois	gaz	électricité	inflation
Taux d'augmentation annuel du combustible	4,0%	6,0%	6,0%	2,0%
Taux d'augmentation annuel de l'abonnement		6,0%	6,0%	

12.2.3. Hypothèses pour les coûts de conduite et maintenance (P2)

Le P2 annuel est calculé à partir des ratios fournis en annexes.

Après la montée en charge, l'évolution du coût de conduite et maintenance est liée à l'inflation uniquement (les pannes importantes qui peuvent survenir par la suite sont prises en compte dans le paragraphe suivant, dans le P3, gros entretien).

12.2.4. 10.2.4. Hypothèses pour les coûts d'investissement, gros entretien, renouvellement (P3-P4)

Les coûts considérés comprennent :

- le remboursement des emprunts d'investissement, frais financiers inclus : P4,
- les provisions pour gros entretien permettant le maintien de l'installation : P3.

Les différentes composantes de l'investissement ont été réparties selon leur durée de vie pour adapter les taux d'emprunt. Quand la durée de vie des différents éléments est écoulée, on a considéré que l'emprunt était renouvelé de façon à financer son renouvellement. Cette méthode permet de fournir une bonne estimation de la valeur du P3, renouvellement, gros entretien.

Les taux d'emprunt considérés sont les suivants :

Taux d'intérêts des emprunts	
10 ans	4,00%
15 ans	3,75%
20 ans	3,50%
30 ans	3,25%

Les données ayant servi de base au calcul des investissements sont incluses en annexe.

12.2.5. Coût global (P1-P2-P3-P4)

En sommant ces différents coûts d'investissement et de fonctionnement, on obtient le coût global de l'énergie pour les différents modes de desserte.

12.2.6. Rappel de la limite principale de la modélisation du coût global

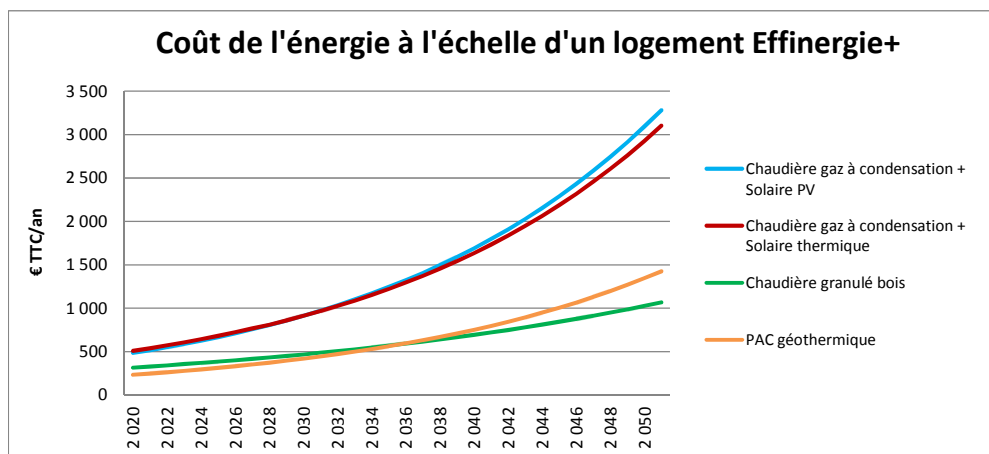
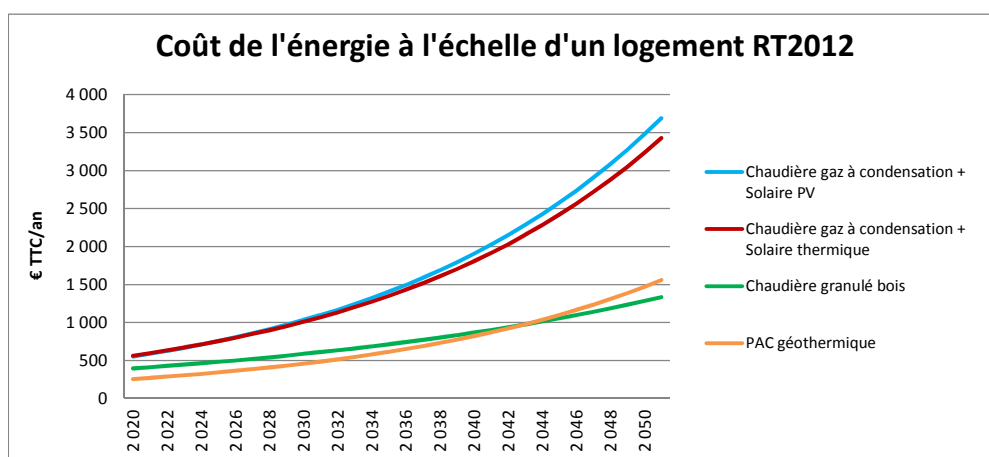
Les hypothèses sur l'évolution des coûts de l'énergie sont fortement déterminantes pour les allures globales des courbes.

De plus, cette approche en coût global n'intègre cependant que les coûts des systèmes. Ainsi, les coûts annexes portant sur les bâtiments (amélioration de la performance du bâti ou des systèmes hors chauffage et ECS, génie civil sur les chaufferies...) ne sont pas considérés.

13. Comparatif des scénarii pour la desserte en chauffage et eau chaude sanitaire

13.1. Scénarii à l'échelle d'un logement individuel

13.1.1. Analyse du coût d'exploitation – fourniture d'énergie (P1)

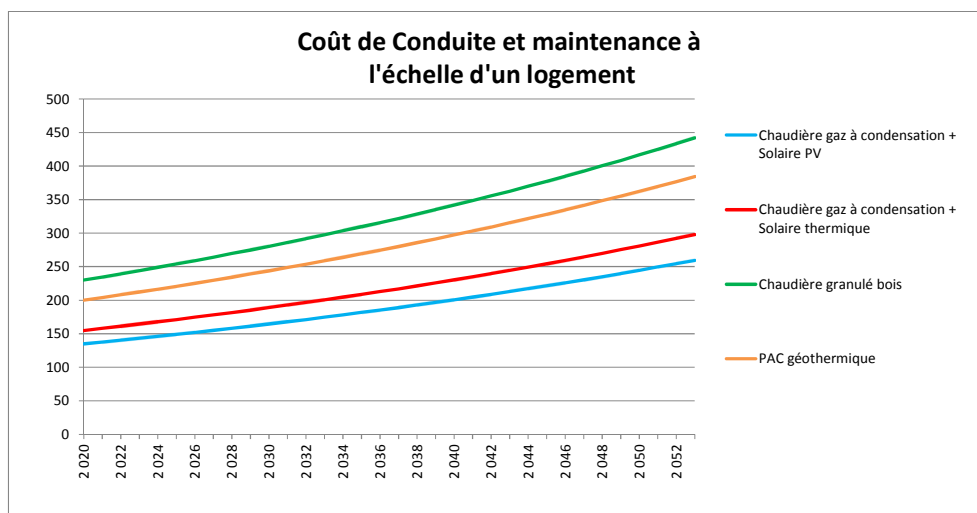


Le coût d'exploitation P1 représente le coût porté par les utilisateurs. Sur le long terme, ce coût est fortement influencé par l'inflation.

Au regard des résultats des simulations, le niveau de performance RT2012 ou Effinergie+ ne modifie pas le classement des solutions. Le scénario PAC géothermique présente le coût le moins important pendant les 10 premières années d'exploitation, la solution chaudière granulés bois devenant ensuite la solution la plus intéressante.

Les solutions individuelles gaz, avec solaire thermique ou photovoltaïque, sont les moins pertinentes au regard du coût d'exploitation. Ce positionnement s'explique par le coût de l'abonnement complémentaire et de la sensibilité prix du gaz. Ces solutions sont représentatives des problématiques de précarité énergétique.

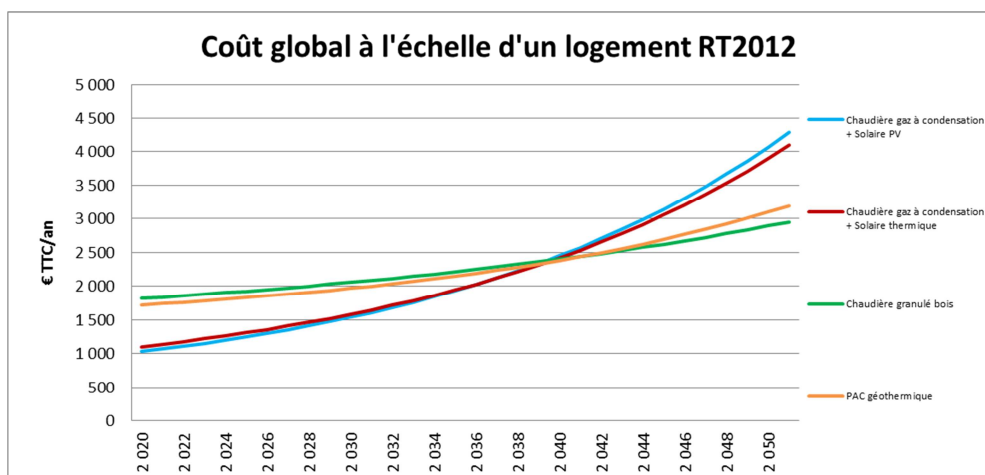
13.1.2. Analyse du coût de conduite et de maintenance P2

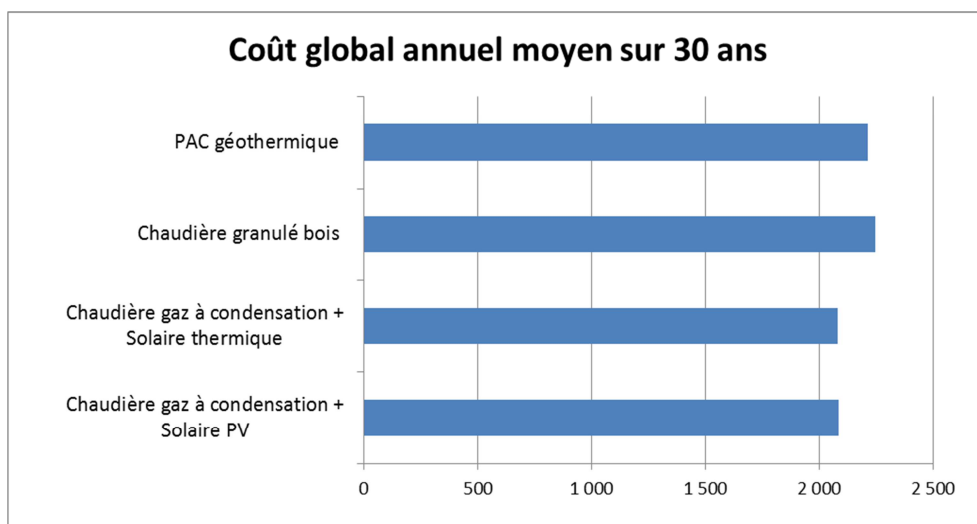


Le coût de conduite et de maintenance est identique quel que soit le niveau de performance retenu. Sur les 4 solutions étudiées, la solution « chaudière à condensation + Solaire PV » est la plus intéressante. Viennent ensuite les solutions « chaudière à condensation + Solaire thermique », « PAC géothermique » et enfin « Chaudière granulé bois ».

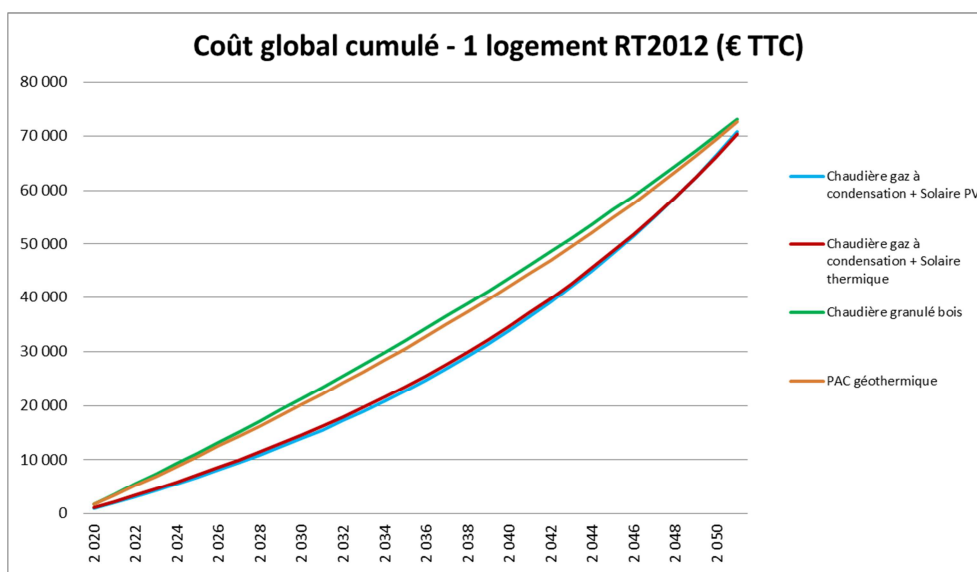
13.1.3. Analyse du coût global

13.1.3.1. Cas de logement RT2012



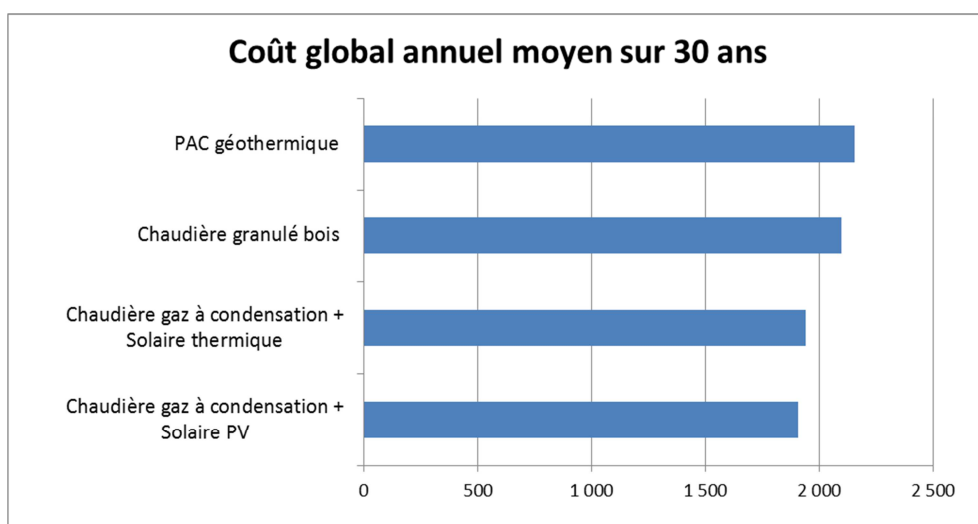
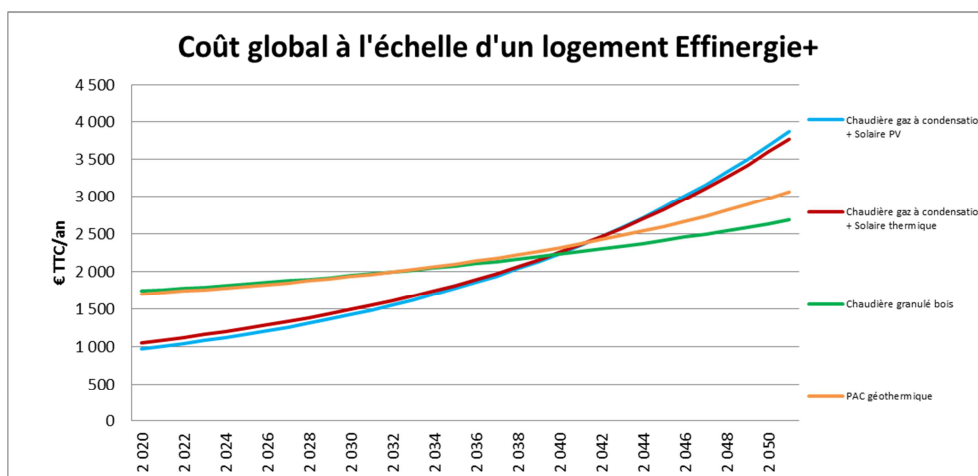


Sur la base d'une performance énergétique RT2012, l'analyse en coût global fait apparaître que les solutions gaz sont les plus pertinentes sur les 10 premières années d'exploitation de la ZAC. Cette pertinence se retrouve visuellement dans le coût global moyen. A terme, les solutions gaz sont dégradées notamment en raison de la sensibilité prix de l'énergie.

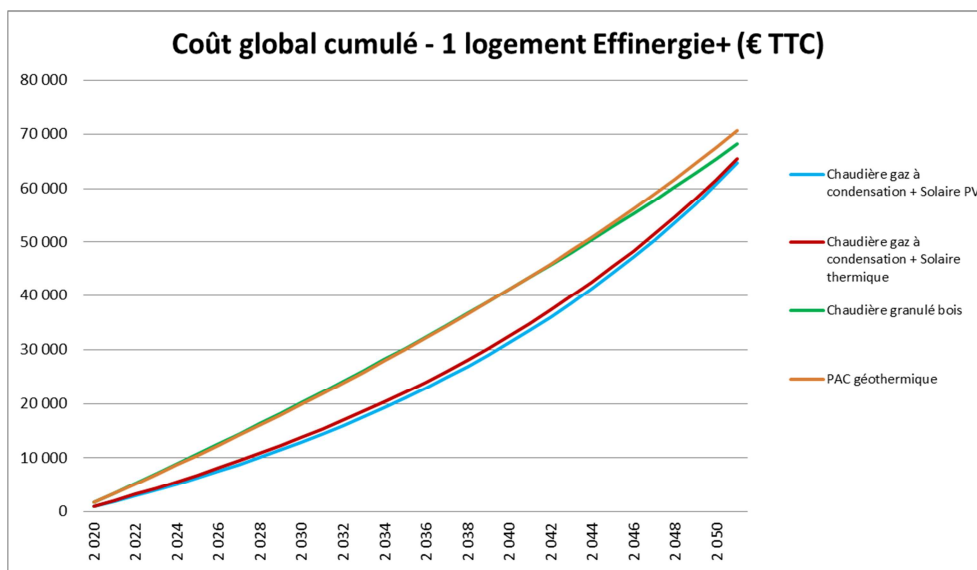


Au regard du coût global cumulé, les solutions gaz sont peu distinctes et sont les plus pertinentes sur l'ensemble de la période d'étude.

13.1.3.2. Cas logement Effinergie+

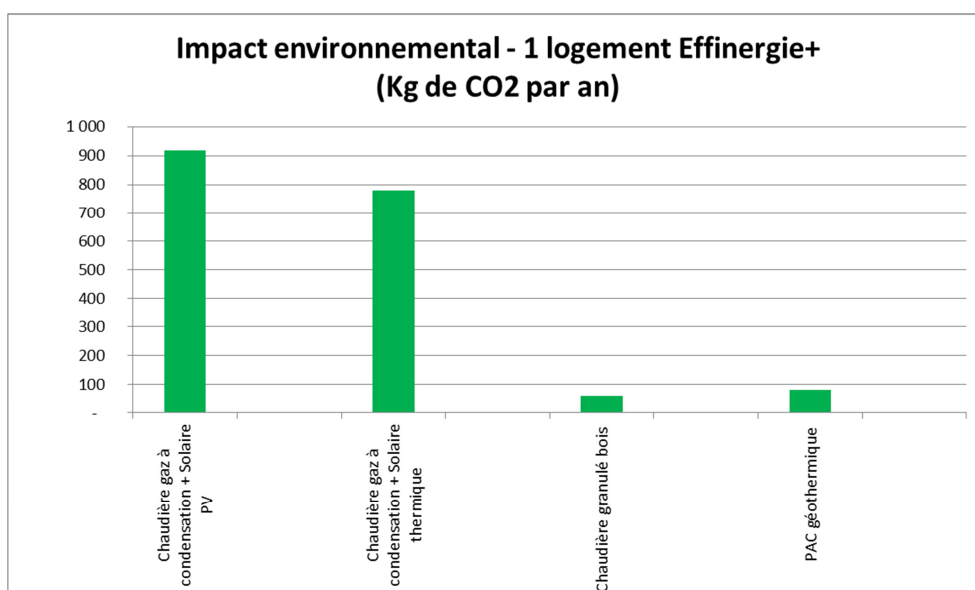
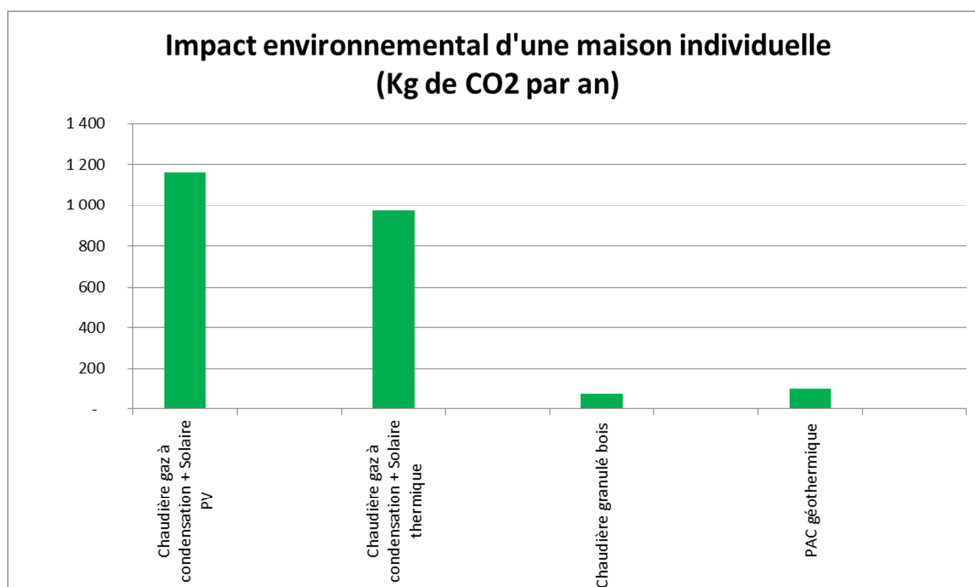


L'analyse des graphiques pour un niveau Effinergie+ fait ressortir les mêmes conclusions que pour le niveau RT2012. Les deux solutions gaz présentent le coût global le plus faible. L'influence du coût de l'énergie est plus faible pour un niveau Effinergie+ : le coût global des solutions gaz reste quelques années plus intéressants : exemple de la solution « chaudière à condensation + PV » qui devient plus chère que la solution PAC en 2040 pour un niveau RT2012 et 2042 pour un niveau Effinergie+. Ceci s'explique par la part réduite des consommations énergétiques pour un bâtiment Effinergie+ et donc de l'impact sur le coût global.



Au regard du coût global cumulé, les conclusions sont identiques au niveau Effinergie+ qu'au niveau RT2012.

13.1.4. Comparatif émissions de CO2

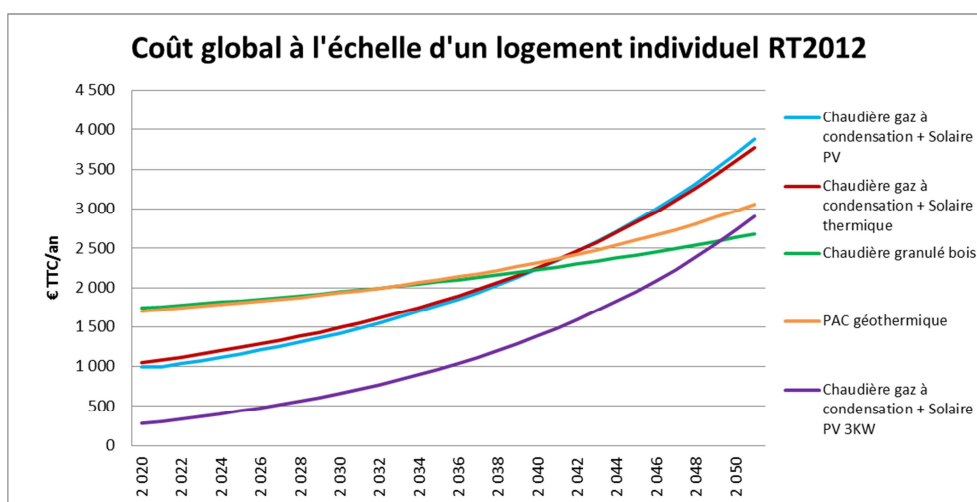
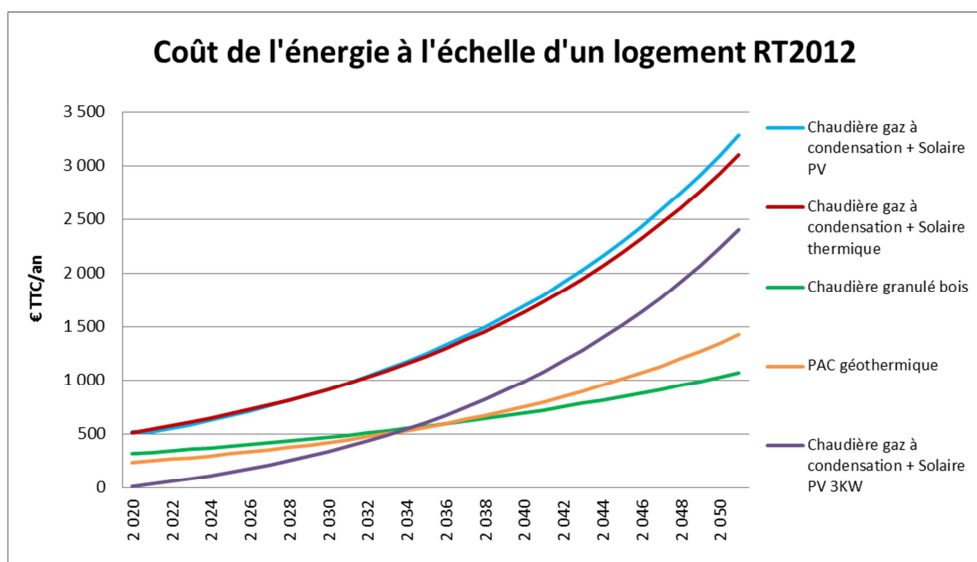


Au regard environnemental, les conclusions sont totalement à l'opposé des conclusions financières. Les solutions les plus pertinentes sont les scénarii « chaudière granulés bois » et « PAC géothermique ». On note que le choix de la performance énergétique et le choix des systèmes énergétiques sont les deux facteurs influents pour limiter les émissions de CO2.

A titre de comparaison sur un véhicule essence moyen, une émission de 900 kg de CO2 correspond à 40 500 km. De plus, il est important de conserver à l'esprit que l'approche en coût global n'intègre pas le coût du dérèglement climatique.

13.1.5. Variante scénario n°1

La variante du scénario n°1 consiste à installer non pas 3m² mais 21 m² de capteurs solaires photovoltaïques et de couvrir d'avantage les consommations électriques.

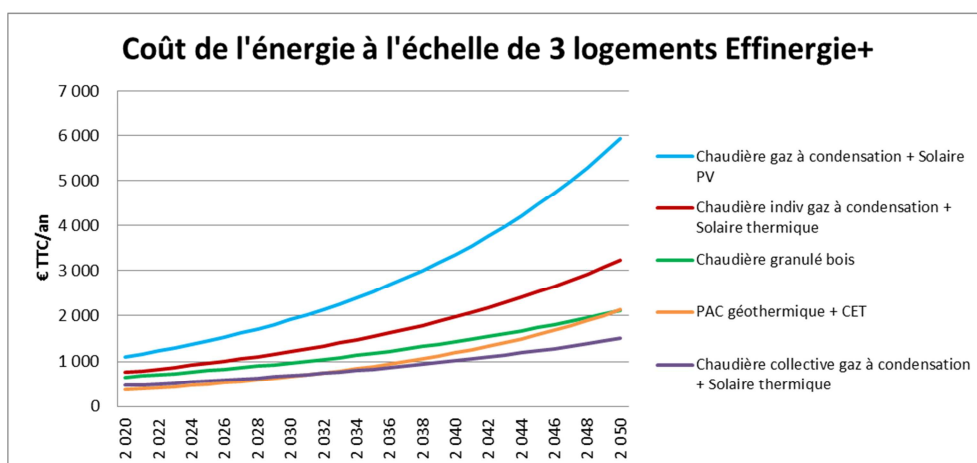
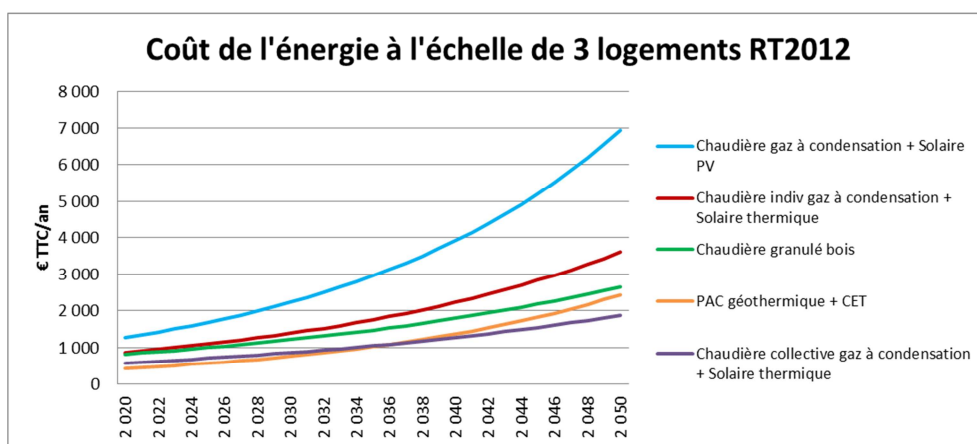


Le recours à la compensation photovoltaïque de manière importante (3kW) permet de translater la courbe bleue vers le bas du graphique. Cet excellent positionnement est expliqué par l'autoconsommation de l'électricité produite sur la base d'un tarif de consommation électrique.

NB : Il est très important de garder à l'esprit que cette translation sera effective sur chaque solution étudiée. La compensation photovoltaïque doit donc être analysée de manière ultérieure aux modes de production thermique.

13.2. Scénarii à l'échelle d' un bâtiment collectif de 3 logements

13.2.1. Analyse du coût d'exploitation – fourniture d'énergie (P1)



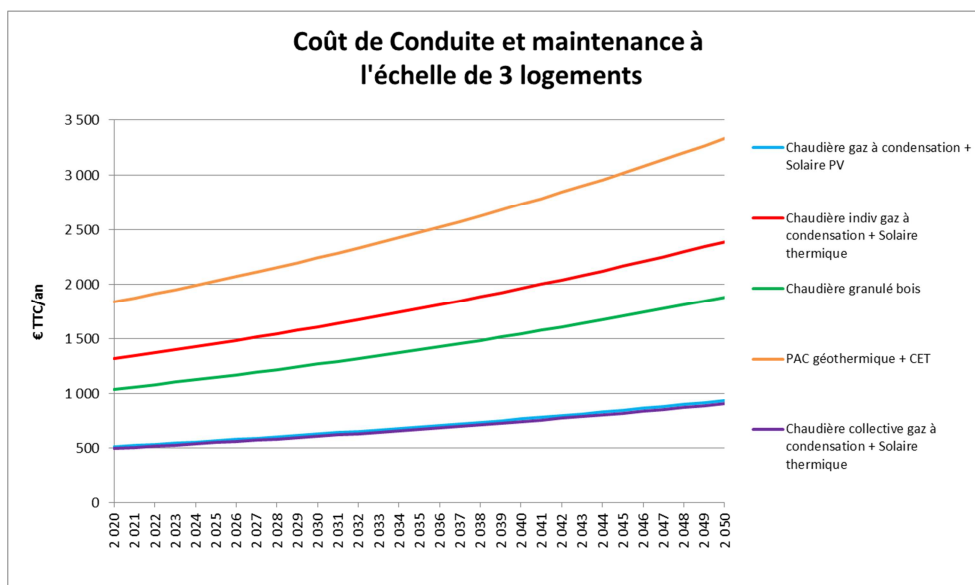
Au regard des résultats des simulations, le niveau de performance RT2012 ou Effinergie+ ne modifie pas le classement des solutions.

Le scénario PAC géothermique présente le coût le moins important sur les 10 premières années d'exploitation de la ZAC. Après cette période, la chaudière collective gaz + solaire thermique devient la moins chère.

Les solutions chaudière granulés bois et Chaudière individuelle gaz + solaire thermique sont très proches sur les premières années d'exploitation. La solution gaz se détache progressivement dans le temps en raison de l'inflation élevée sur le gaz par rapport au bois.

La solution chaufferie gaz + solaire PV arrive en dernière position. Ce positionnement s'explique notamment par la multiplication des abonnements gaz et l'absence de couverture thermique par une énergie renouvelable.

13.2.2. Analyse du coût de conduite et de maintenance P2



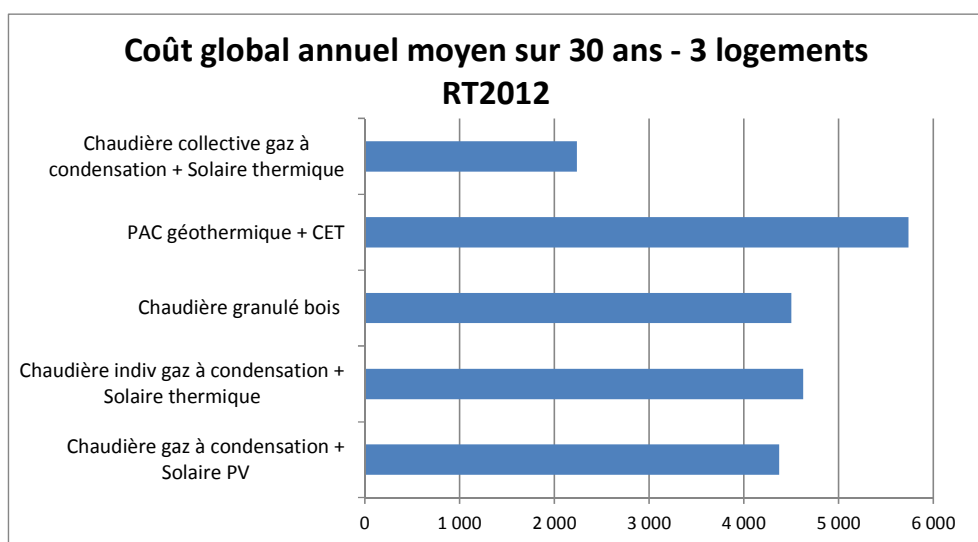
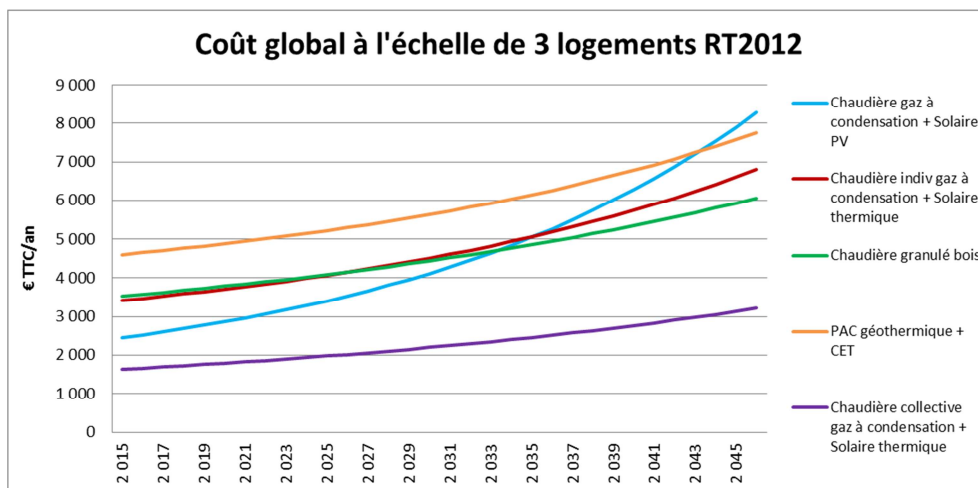
Le coût de conduite et de maintenance est identique quelque soit le niveau de performance retenu. Sur les 5 solutions étudiées, les solutions collectives gaz sont les plus intéressantes.

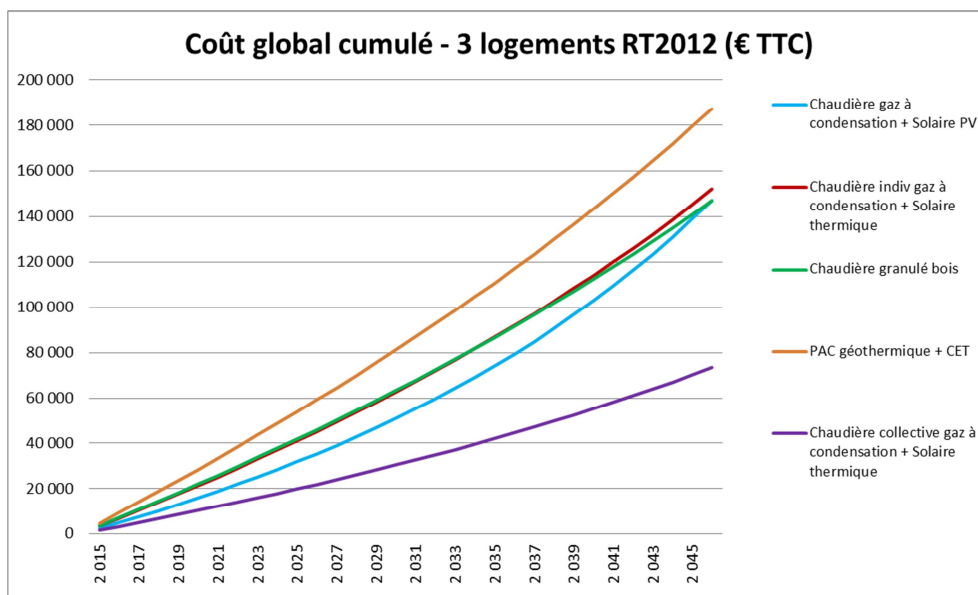
La solution chaudière bois arrive en troisième place.

La solution « chaudière individuelle gaz + solaire thermique » ainsi que la solution « PAC géothermique + CET » sont les plus chères, ceci en raison de la multiplication des systèmes.

13.2.3. Analyse du coût global

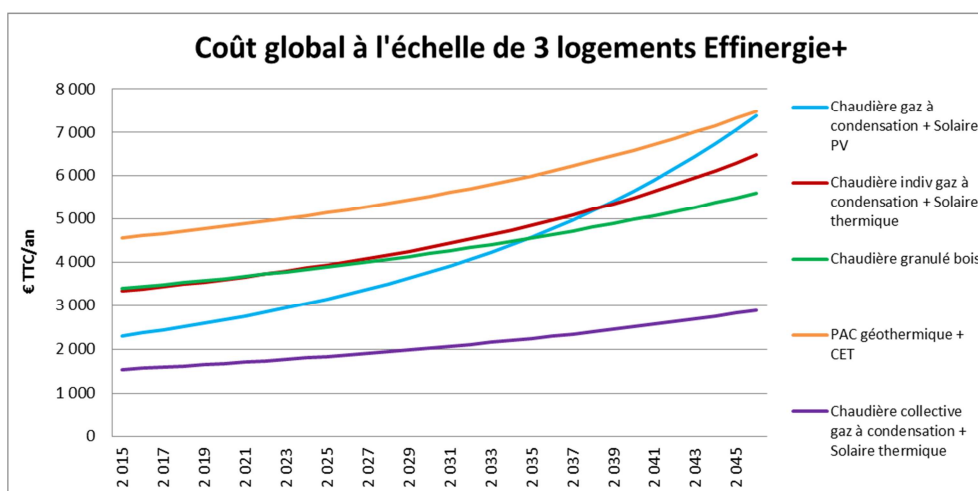
13.2.3.1. Cas de 3 logements RT2012

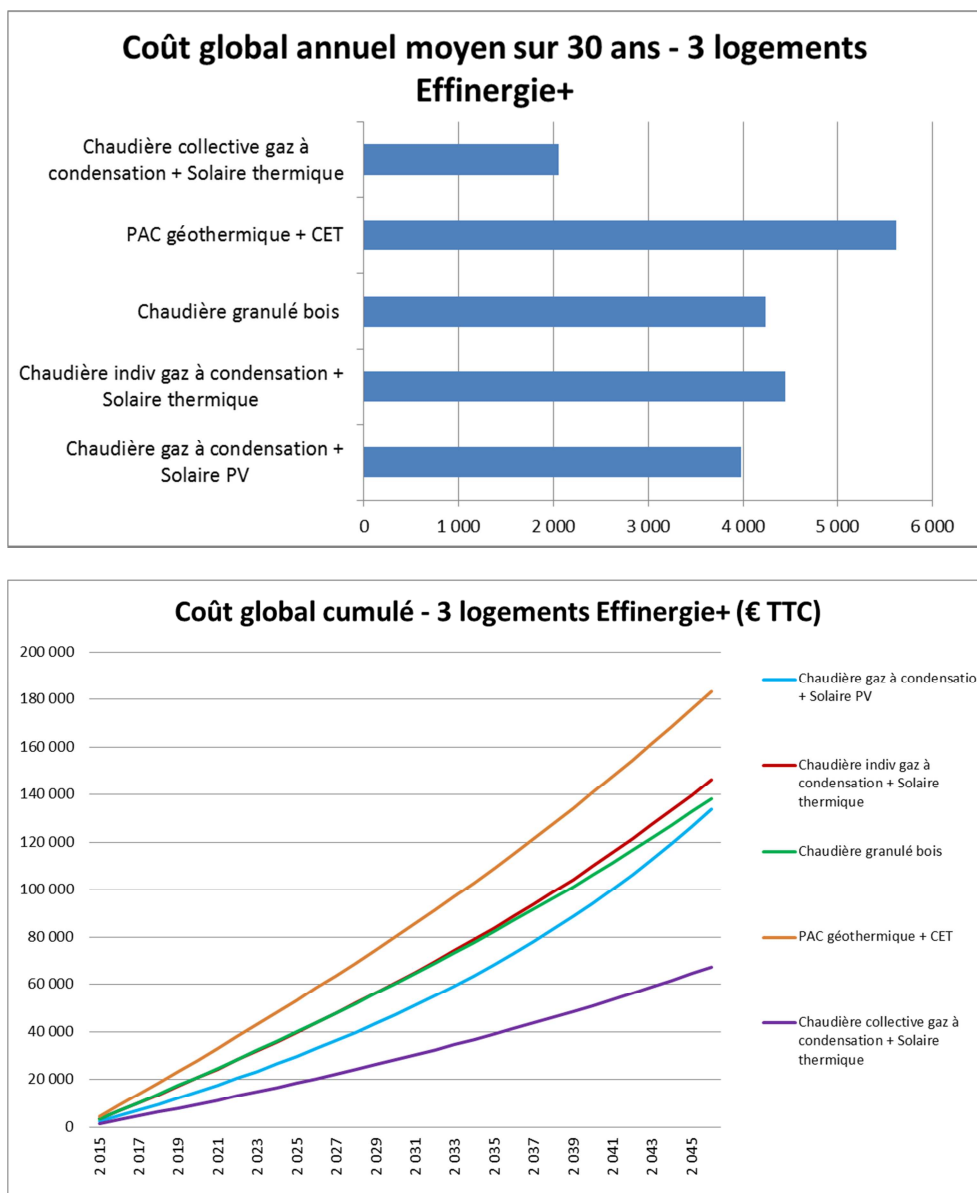




L'analyse graphique pour un niveau RT2012 fait ressortir l'intérêt financier de la mutualisation des systèmes. La solution la plus pertinente revient ainsi à la solution chaufferie collective gaz + solaire thermique. La solution chaufferie collective gaz + solaire PV arrive en seconde position : à noter, la courbe correspondante (bleue) illustre bien la sensibilité du prix de l'énergie sur cette solution qui ne présente pas de couverture thermique par énergie renouvelable.

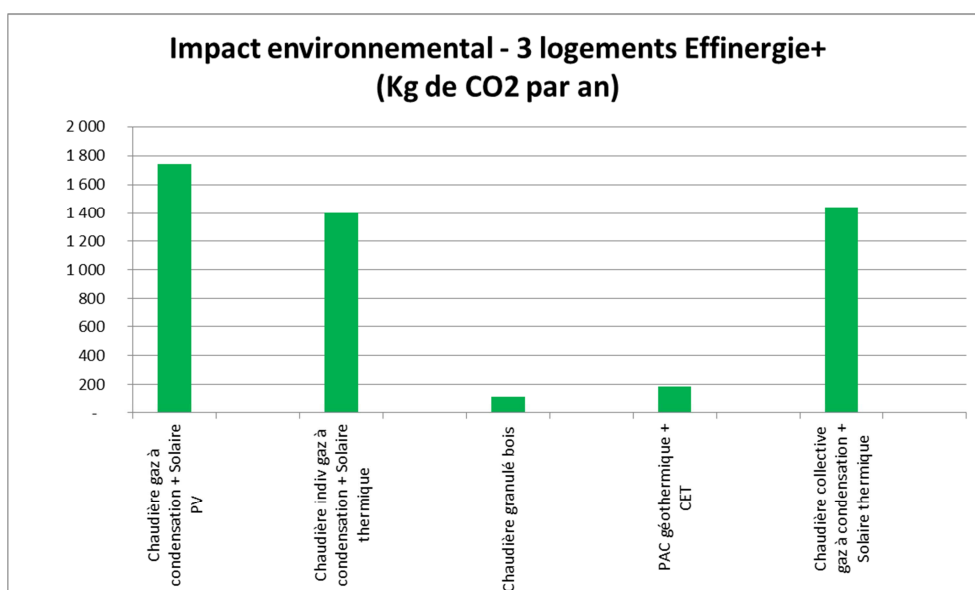
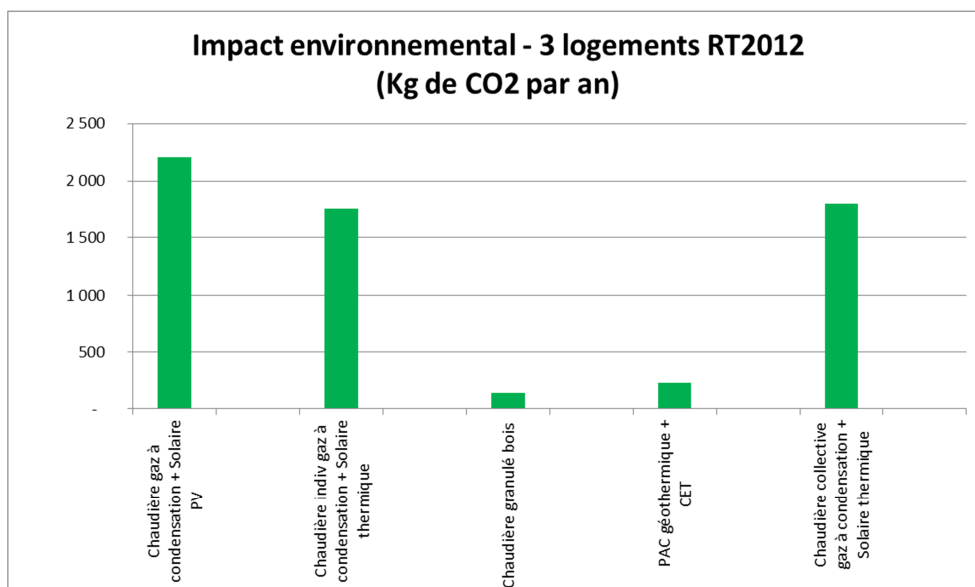
13.2.3.2. Cas de 3 logements Effinergie+





L'analyse pour le niveau Effinergie+ est la même que pour le niveau RT2012. La solution chaufferie collective présente le coût global le plus faible, ceci sur l'ensemble de la période d'étude.

13.2.4. Comparatif émissions de CO2



Au regard environnemental, les conclusions sont à nouveau totalement à l'opposé des conclusions financières. Les solutions les plus pertinentes sont les scénarii « chaudière granulés bois » et « PAC géothermique + CET ». On note que le choix de la performance énergétique et le choix des systèmes énergétiques sont les deux facteurs influents pour limiter les émissions de CO2.

13.2.5. Analyse multicritères

Les tableaux suivants présentent des synthèses multi-critères de l'analyse des scénarii de desserte étudiés :

13.2.5.1. Synthèse du comparatif pour un logement individuel

	Chaudière gaz à condensation + Solaire PV		Chaudière gaz à condensation + Solaire thermique		Chaudière granulé bois		PAC géothermique	
	RT 2012	Effinergie+	RT 2012	Effinergie+	RT 2012	Effinergie+	RT 2012	Effinergie+
coût global moyen sur 30 ans (€/an)	2 082	1 906	2 080	1 939	2 244	2 096	2 212	2 155
Stabilité du coût pour les usagers	moyenne		moyenne		forte		forte	
Emissions de CO2 moyennes Kg/an	1 160	917	973	779	77	62	103	82
Adaptabilité à un changement d'énergie	forte		forte		forte		forte	
Recours en Enr	Modéré		Modéré		Important		Important	
Point de vigilance	RAS		RAS		Emprise foncière lié à la présence d'un silo		Point juridique : télédéclaration pour le forage	
Analyse multi-critères	Solution à pertinence modérée		Solution à pertinence élevée		Solution à pertinence modérée		Solution à pertinence modérée	

13.2.5.2. Synthèse du comparatif pour un collectif de 3 logements

	Chaudière gaz à condensation + Solaire PV		Chaudière indiv gaz à condensation + Solaire thermique		Chaudière granulé bois		PAC géothermique + CET		Chaudière collective gaz à condensation + Solaire thermique	
	RT 2012	Effinergie+	RT 2012	Effinergie+	RT 2012	Effinergie+	RT 2012	Effinergie+	RT 2012	Effinergie+
coût global moyen sur 30 ans (€/an)	4 372	3 984	4 624	4 446	4 500	4 241	5 735	5 615	2 237	2 054
Stabilité du coût pour les usagers	moyenne		moyenne		forte		forte		moyenne	
Emissions de CO2 moyennes Kg/an	1 849	1 456	1 480	1 184	125	100	199	159	1 524	1 219
Adaptabilité à un changement d'énergie	forte		Modéré		forte		Modéré		forte	
Recours en Enr	Modéré		Modéré		Important		Important		Modéré	
Point de vigilance	RAS		RAS		Emprise foncière lié à la présence d'un silo		Point juridique : télédéclaration pour le forage		RAS	
Analyse multi-critères	Solution à pertinence modérée		Solution à pertinence modérée		Solution à pertinence élevée		Solution à pertinence modérée		Solution à pertinence élevée	

14. Energies renouvelables pour la desserte en électricité

14.1. Compensation photovoltaïque

14.1.1. Généralités

Le photovoltaïque constitue une excellente utilisation des toitures de bâtiments, même si pour les bâtiments nécessitant une production d'eau chaude, le solaire thermique sera à implanter en priorité. Toute toiture présentant une pente de 15° minimum, orientée sud, et ne faisant pas l'objet d'ombres portées, peut permettre d'implanter du photovoltaïque. Des montages peuvent être imaginés pour réduire les coûts d'installation.

La construction de bâtiments neufs équipés de grandes toitures, constitue une occasion rare d'intégrer du photovoltaïque au bâti à grande échelle. Il est possible de revendre l'électricité produite ou de passer à l'autoconsommation partielle voir totale de la production. Dans le cas de l'autoconsommation, le surplus pourrait être revendu.

Par ailleurs, les locations de toitures pour l'implantation de panneaux raccordés au réseau sont aujourd'hui chose courante. Des privés, des particuliers ou des collectivités peuvent investir dans des m² d'installation photovoltaïque, et recevoir la part correspondante des bénéfices de la vente des kilowattheures produits, tandis que le propriétaire du bâtiment reçoit un loyer pour la mise à disposition de sa toiture. Ces montages peuvent permettre d'utiliser au maximum les surfaces de toitures adaptées à cette production d'électricité verte sans alourdir les investissements des promoteurs. La solution la plus simple est de confier ce montage à une entreprise spécialisée qui prendra en charge toute l'installation, son exploitation, sa gestion, sa maintenance, et fournira les contrats entre le propriétaire du bâtiment et le locataire de la toiture.

14.1.2. Définition des consommations électriques

Les consommations électriques sont définies au chapitre 5. Par simplification, seule la solution RT2012 sera présentée.

- Consommations électriques bâtiments : 1 800 000 kWh
- Consommations électriques éclairage public : 112 000 kWh

La consommation de l'éclairage public est estimée à 112 000 kWh/an (puissance 28 kW / fonctionnement 4000h/an). La consommation électrique totale de l'opération est estimée à 1 900 MWh. Il est donc important d'étudier les possibilités d'alimenter ces besoins par des énergies renouvelables.

14.1.3. Taux de couverture

Les hypothèses de calcul sont réalisées sur la base de panneaux solaires de type polycristallin de 135 Wc/m², orientés +/- 15° sud avec une inclinaison de 20°.

Les résultats sont les suivants :

Puissance installée (kWc)	Surface équivalente (m ²)	Production (kWh.an)	Investissement (€ HT)	taux couverture éclairage public (%)	taux couverture tout électrique (%)
17	128	19 876	34 566	18%	1%
152	1 128	175 126	304 566		9%
287	2 128	330 376	574 566		18%
422	3 128	485 626	844 566		26%
557	4 128	640 876	1 114 566		34%
692	5 128	796 126	1 384 566		42%
827	6 128	951 376	1 654 566		51%
962	7 128	1 106 626	1 924 566		59%
1 097	8 128	1 261 876	2 194 566		67%
1 232	9 128	1 417 126	2 464 566		75%
1 367	10 128	1 572 376	2 734 566		84%
1 502	11 128	1 727 626	3 004 566		92%
1 637	12 128	1 882 876	3 274 566		100%

Sur la base des ratios retenus, la couverture de l'éclairage public impliquerait l'installation de 720 m² de capteurs photovoltaïques, soit un investissement de 65 000 € HT.

Pour couvrir l'ensemble de la consommation électrique, l'installation serait de 12 200 m² de capteurs solaires. Le montant associé à cette installation est estimé à 3,3 millions d'euros.

14.2. Energie éolienne

Le grand éolien ne peut s'implanter à moins de 500 mètres d'habitations existantes. Cette solution est donc exclue sur le périmètre de l'opération.

Le petit éolien est une solution trop peu fiable, présentant encore d'importants surcoûts de maintenance. Des études spécifiques au cas par cas pourraient cependant permettre l'implantation de petit éolien.

15. Conclusion

Cette étude d'opportunité en énergies renouvelables sur la ZAC LE GRAND CLOS à Bretteville-sur-Laize constitue une première approche de faisabilité technique et de comparatif technico-économique et environnemental destinée à explorer les solutions énergétiques envisageables et proposer une stratégie.

Au niveau de l'opération dans sa globalité, la mutualisation des systèmes de production de chaleur apparaît être très peu pertinente. En effet, les densités thermiques seront trop faibles pour pérenniser ce type d'installation.

Afin d'analyser les opportunités des dessertes en énergies renouvelables, l'étude d'approvisionnement a été réalisée sous plusieurs axes :

Critère performantiel	Critère d'échelle de mutualisation :
➤ Niveau RT2012. ➤ Niveau Effinergie+	➤ Logement individuel. ➤ 3 logements groupés.

Les solutions d'approvisionnement EnR étudiées ont été les suivantes :

Scénarii à l'échelle d'un logement	Scénarii à l'échelle de 5 logements
Solution 1 : Chaudière gaz à condensation + Solaire PV (3m ²)	Solution 1 : Chaudière collective gaz à condensation + Solaire PV.
Solution 2 : Chaudière gaz à condensation + Solaire thermique.	Solution 2 : Chaudière individuelle gaz à condensation + Solaire thermique.
Solution 3 : Chaudière granulé bois.	Solution 3 : Chaudière granulé bois.
Solution 4 : PAC géothermique.	Solution 4 : PAC géothermique + CET.
Solution 5 (Variante) : Chaudière gaz à condensation + Solaire PV (21 m ²)	Solution 5 : Chaudière collective gaz à condensation + Solaire thermique

Plusieurs conclusions peuvent être réalisées des simulations présentées :

- L'impact environnemental est conditionné par le choix des systèmes énergétiques. La performance thermique joue également mais de manière moins importante.
- La pertinence financière des systèmes est liée à la corrélation entre les investissements et les consommations énergétiques. En effet, les niveaux de performance RT2012 et Effinergie+ sont des niveaux élevés limitant les consommations énergétiques. Cette limitation engendre qu'un système très performant mais nécessitant un investissement important ne sera jamais le plus pertinent (exemple de la géothermie).
- La sensibilité à inflation des énergies joue un rôle majeur dans la pertinence à moyen/long terme. Ainsi, plus un système à recours à une énergie thermique renouvelable, plus ces coûts d'exploitation seront stables.

Sur la base d'une approche multicritère, et en sous réserve des hypothèses considérées, les solutions les plus pertinentes sont :

- A l'échelle de 3 logements groupés, deux solutions présentent une pertinence élevée, ceci selon la pondération donnée aux critères financiers et environnementaux :
 - o Pour un critère financier majorant : Solution 5 : Chaudière collective gaz à condensation + Solaire thermique.
 - o Pour un critère environnemental majorant : Solution 3 : Chaudière granulé bois.
- A l'échelle d'un logement individuel, la solution 2 : Chaudière gaz à condensation + Solaire thermique, ceci pour le niveau de performance RT2012 et Effinergie+.

Dans une démarche énergétique pertinente, il est important de réaliser en amont de la desserte énergétique un travail sur l'enveloppe des bâtiments chauffés : optimisation de l'isolation, implantation bioclimatique...En effet, l'énergie la moins chère et la moins polluante est celle que l'on ne consomme pas. Ainsi, avant de mener une réflexion pour consommer mieux, une réflexion sur chaque bâtiment devra être menée pour consommer moins.

Table des figures

<i>Figure 1 - Zone d'aménagement</i>	<i>7</i>
<i>Figure 2 - Schéma d'aménagement de la ZAC après livraison.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 3 - Phasage.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 4 - Aperçu réseau de chaleur</i>	<i>15</i>
<i>Figure 5 - Techniques d'exploitation de la géothermie (Source BRGM, ADEME)</i>	<i>16</i>
<i>Figure 6 - Plateformes de stockage et de distribution de bois en région Normandie</i>	<i>18</i>
<i>Figure 7 - Les chaufferies bois industrielles en basse Normandie (Source Biomasse Normandie).....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 8 - Les chaufferies bois collectives en basse Normandie (Source Biomasse Normandie)</i>	<i>20</i>
<i>Figure 9 - Ensoleillement surfacique annuel en France (kWh/m².an)</i>	<i>21</i>
<i>Figure 10 - Carte des zones favorables à l'éolien en Basse Normandie (source Schéma régional éolien de Basse-Normandie)</i>	<i>22</i>

SCE Annexes

Table des annexes

<i>Annexe 1- Coût de conduite et de maintenance en euros</i>	51
<i>Annexe 2 - Coût d'investissement.....</i>	53

HYPOTHESES D'ETUDE – COUTS DE CONDUITE ET MAINTENANCE

Le P2 annuel est calculé à partir des ratios suivants :

➤ Cas de logement individuel

	P2 annuel
Chaudière gaz à condensation + Solaire PV	135
Chaudière gaz à condensation + Solaire thermique	155
Chaudière granulé bois	230
PAC géothermique	200

➤ Cas de 3 logements

	P2 annuel
Chaudière gaz à condensation + Solaire PV	512
Chaudière indiv gaz à condensation + Solaire thermique	792
Chaudière granulé bois	1 040
PAC géothermique + CET	1 424
Chaudière collective gaz à condensation + Solaire thermique	496

Annexe 1- Coût de conduite et de maintenance en euros

HYPOTHESES D'ETUDE – COUTS D'INVESTISSEMENT

➤ Cas de logement individuel

Chaudière gaz à condensation + Solaire PV	
Chaudière à condensation 25kW	2500 € HT
Photovoltaïque onduleur	1200 € HT
Photovoltaïque capteurs (2m²)	1100 € HT
TOTAL	4800 € HT

Chaudière gaz à condensation + Solaire thermique	
Chaudière à condensation 25kW	2500 € HT
Panneau solaire (2m²)+ Ballon de stockage (200l)	2800 € HT
TOTAL	5300 € HT

Chaudière granulé bois	
Chaudières granulés de bois 21kW	11600 € HT
Vis	1950 € HT
silo 3,2T	2800 € HT
TOTAL	16350 € HT

PAC géothermique	
Sonde géothermique (1 sonde de 100 m - 5 kw)	5500 € HT
Pompe à chaleur eau/eau 5 kW avec ballon 180l	8950 € HT
TOTAL	14450 € HT

➤ Cas de 3 logements

Chaudière gaz à condensation + Solaire PV	
Chaudière à condensation 30 kw	2700 € HT
Photovoltaïque onduleur	1500 € HT
Photovoltaïque capteurs (2m²x3)	3300 € HT
TOTAL	7500 € HT

Chaudière gaz à condensation + Solaire thermique	
3 Chaudières à condensation	7500 € HT
(3x2m²) Panneaux solaires + Ballon de stockage (3x200 l)	8400 € HT
TOTAL	15900 € HT

Chaudière granulé bois	
chaudières granulés de bois 30 kW	11600 € HT
kit d'alimentation	735 € HT
Silo	2700 € HT
TOTAL	15035 € HT

PAC géothermique + CET	
Sonde géothermique (5 sonde de 100 m - 5 kw)	2100 € HT
Pompe à chaleur eau/eau 25kW	4000 € HT
Thermodynamique sur air extérieur	713 € HT
TOTAL	6813 € HT

Chaudière gaz à condensation + Solaire thermique	
Chaudière à condensation	2700 € HT
Panneau solaire + Ballon de stockage + panoplie	2900 € HT
TOTAL	5600 € HT

Annexe 2 - Coût d'investissement



www.sce.fr

GROUPE KERAN