



RAPPORT

Etude d'opportunité énergies renouvelables et réseau de chaleur

Opération de renouvellement urbain
Grand Belle-Beille

Février 2018

Angers Loire Métropole et Alter public


angers Loire
métropole
communauté urbaine


alter
public


sce
Aménagement
& environnement

MAITRE D'OUVRAGE

| | |
|----------------|--|
| RAISON SOCIALE | Angers Loire Métropole |
| COORDONNÉES | Direction Aménagement et Développement des Territoires Hôtel d'agglomération 83 rue du Mail BP 80011 49020 Angers Cedex 02 Tél : 02.41.05.50.00 |

CONCESSIONNAIRE

| | |
|--|--|
| RAISON SOCIALE | Alter Public |
| COORDONNÉES | 48C boulevard du Maréchal Foch 49101 Angers Cedex 02 Tél : 02.41.18.21.21 |
| INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i> | Monsieur William CHAMPALAUNE et Madame Mylène BESNARD Responsables d'opérations |

SCE

| | |
|--|--|
| COORDONNÉES | 4, rue Viviani – CS 26220 44262 NANTES Cedex 2 Tél. 02.51.17.29.29 - Fax 02.51.17.29.99 E-mail : sce@sce.fr |
| INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i> | Monsieur Pierre ROCA Tél. 02.51.17.29.87 E-mail : pierre.roca@sce.fr |

RAPPORT

| | |
|------------------|--|
| TITRE | Etude d'opportunité ENR et réseau de chaleur |
| NOMBRE DE PAGES | 52 |
| NOMBRE D'ANNEXES | 2 |

SIGNATAIRE

| RÉFÉRENCE | DATE | RÉVISION DU DOCUMENT | OBJET DE LA RÉVISION | RÉDACTEUR | CONTRÔLE QUALITÉ |
|-----------|----------|-------------------------|-------------------------|-----------|---------------------|
| 160685 | 12/02/18 | Édition 2 | Remarques MOA | ARY | PRC |
| 160685 | 03/08/17 | Édition 1 | Création | MBY | AGF |

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Contexte de l'étude | 6 |
| 1. Objet de l'étude | 6 |
| 2. Programme constructif | 7 |
| 2.1. Situation du projet..... | 7 |
| 2.2. Bilan programmatique | 9 |
| 3. Définition des consommations RT2012 | 10 |
| 3.1. Bâtiments collectifs à usage d'habitation..... | 10 |
| 3.2. Bureaux..... | 11 |
| 3.3. Commerces..... | 12 |
| 3.4. Equipements..... | 13 |
| 3.5. Répartition des consommations..... | 14 |
| 4. Bilan des consommations | 15 |
| 5. Contexte ENR | 16 |
| 5.1. La géothermie | 16 |
| 5.1.1. Potentiels géothermiques | 17 |
| 5.2. La filière bois | 19 |
| 5.2.1. Approvisionnement..... | 19 |
| 5.2.2. Chaufferies biomasses environnantes | 19 |
| 5.2.2.1. Réseau de chaleur « Biowatt » | 19 |
| 5.2.2.2. Réseau de chaleur « Belle Beille » | 20 |
| 5.3. Le solaire | 22 |
| 5.4. L'éolien | 23 |
| 6. Revue des énergies envisageables | 25 |
| 7. Comparaison des solutions d'approvisionnement énergétique | 27 |
| 7.1. Présentation des scénarii..... | 27 |
| 8. Comparatif des scénarii pour la desserte en chauffage et eau chaude sanitaire | 28 |
| 8.1. Introduction | 28 |
| 8.2. Hypothèses de calcul du coût du kWh | 29 |
| 8.2.1. Tarifs de base et impact CO2..... | 29 |
| 8.2.2. Evolution des prix | 30 |
| 8.2.3. Hypothèses pour les coûts de conduite et maintenance (P2)..... | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 8.2.4. Hypothèses pour les coûts d'investissement, gros entretien, renouvellement (P3-P4)..... | 30 |
| 8.2.5. Coût global (P1-P2-P3-P4)..... | 30 |
| 8.2.6. Rappel de la limite principale de la modélisation du coût global..... | 30 |
| 9. Comparatif des scénarii pour la desserte en chauffage et eau chaude sanitaire..... | 32 |
| 9.1. Scénarii à l'échelle d'un bâtiment collectif de 20 logements..... | 32 |
| 9.1.1. Analyse du coût d'exploitation – fourniture d'énergie (P1)..... | 32 |
| 9.1.2. Analyse du coût de conduite et de maintenance P2..... | 34 |
| 9.1.3. Investissement et gros entretien | 35 |
| 9.1.4. Analyse du coût global – Bâtiment rénové RT2012..... | 36 |
| 9.1.4.1. Bâtiment rénové « RT2012 » : Coût de raccordement au réseau de chaleur à 100 000 € | 37 |
| 9.1.4.2. Bâtiment neuf « Effinergie » : Coût de raccordement au réseau de chaleur à 80 000 €..... | 38 |
| 9.1.5. Comparatif émissions de CO2 | 40 |
| 9.1.6. Analyse multicritères à coût de raccordement nul | 41 |
| 9.1.6.1. Synthèse du comparatif pour un collectif rénové – RT2012 | 41 |
| 9.1.6.2. Synthèse du comparatif pour un collectif neuf – Effinergie+ | 41 |
| 10. Energies renouvelables pour la desserte en électricité..... | 42 |
| 10.1. Compensation photovoltaïque..... | 42 |
| 10.1.1. Généralités | 42 |
| 10.1.2. Définition des consommations électriques..... | 43 |
| 10.1.3. Taux de couverture..... | 44 |
| 10.2. Energie éolienne..... | 44 |
| 11. Conclusion | 45 |



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 de renouvellement urbain envisagé aujourd'hui prévoit la réalisation d'environ :

- ▶ 560 logements et 180 autres locaux proposés à la déconstruction, dont près de 80% appartiennent à Angers Loire Habitat.
 - ▶ 800 logements constituant une offre nouvelle de logements locatifs libres ou en accession à la propriété.
 - ▶ 600 réhabilitations sur le parc existant dans le respect du patrimoine existant et d'un niveau de performance thermique équivalent au parc neuf et libre construit.
-

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

2.1. Situation du projet

L'opération de renouvellement urbain envisagée s'inscrit dans le cadre de la rénovation du quartier de Belle Beille porté par Angers Loire Métropole et Alter Public. L'objectif de ce projet est de faire de « Belle-Beille » un quartier populaire, attractif et durable.

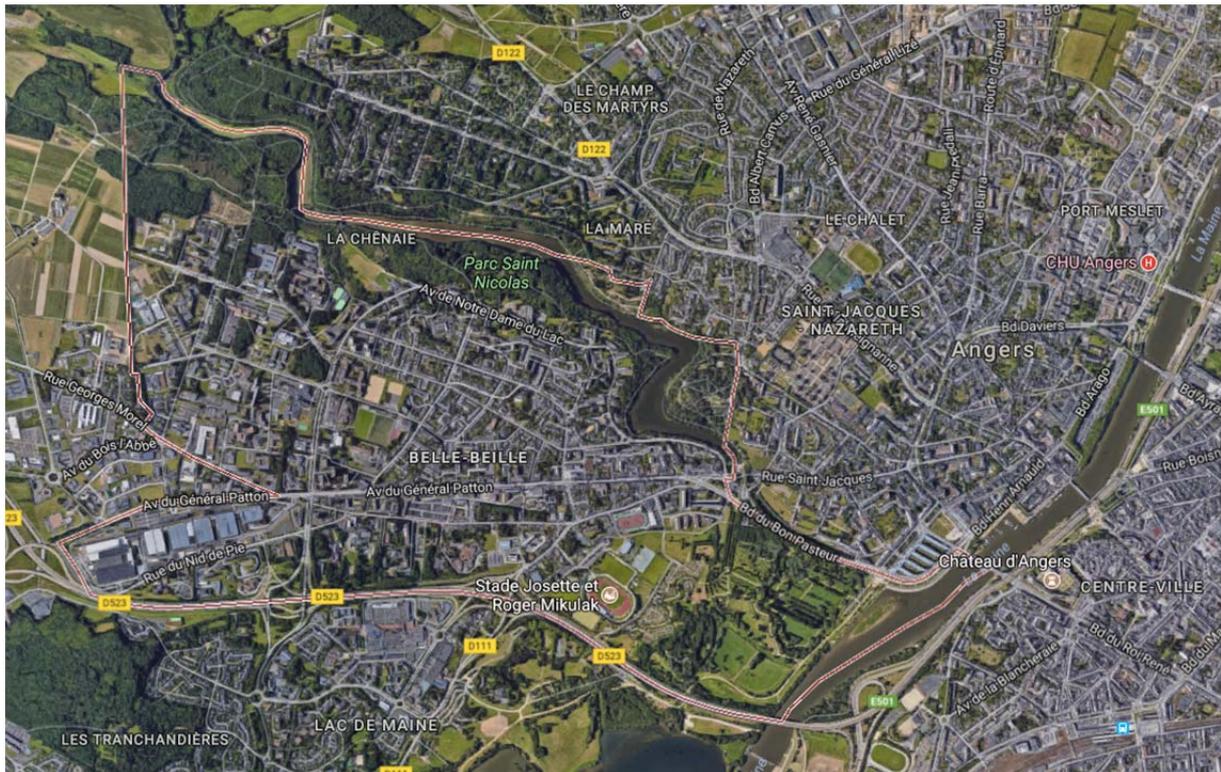


Figure 1 – Périmètre du Quartier Belle Beille.

2.2. Bilan programmatique

| Typologie | Surfaces nouvelles | Surfaces réhabilitées |
|------------------------|--|---------------------------------|
| Habitat | 60 000 m ² (+/- 20%) | 42 000 m ² (+/- 20%) |
| Bureaux | N.C | N.C |
| Activités et commerces | 3 100 m ² (+/- 20%) (dont 1 100 m ² reconstitution de surfaces commerciales) | 2 000 m ² (+/- 20%) |
| Equipements | 5 000 m ² (+/- 20%) | 4 000 m ² (+/- 20%) |

3. 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 l'ensemble des bâtiments nouveaux de l'opération étant livré après 2020, cela implique que ces derniers seraient soumis à la réglementation thermique RT2020. Les exigences énergétiques de cette réglementation étant à l'heure actuelle encore inconnues, ces bâtiments sont supposés respectés le niveau « Effinergie + ».

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

3.1. Bâtiments collectifs à usage d'habitation

| | |
|---|---|
| Date de dépôt du permis de construire avant le 1 ^{er} janvier 2018 ? | Non |
| Département ? | 49 - Maine-et-Loire |
| Zone climatique ? | H2b |
| Altitude (m) ? | 0 à 400 m |
| Type de construction ? | Construction neuve |
| Nombre de niveaux du bâtiment (Nniv) ? | 1 |
| Type de bâtiment ? | Bâtiment collectif d'habitation |
| Nombre de logements (N _l) ? | 20 |
| Catégorie de bâtiment ? | CE1 |
| Surface thermique S _{RT} (m ²) ? | 1400 |
| Source d'énergie principale utilisée ? | Autre source d'énergie (gaz, fioul, électricité...) |
| Réseau de chaleur ? | 49 - Angers - Réseau d'Angers |
| Réseau de froid ? | 00 - Aucun réseau de froid |
| M _{ctype} = | 1,00 |
| M _{cgeo} = | 1,00 |
| M _{calt} = | 0,00 |
| M _{c surf} = | 0,06 |
| M _{cGES} = | 0,00 |
| Cep_{max} (kWh_{ep}/an.m² S_{RT}) = | 53,00 |
| 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}) = | 42,40 |
| NIVEAU DU LABEL EFFINERGIE+ | |

Le CEPmax pour les bâtiments collectifs d'habitation nouveaux livrés après 2020 est de **42 Wh_{ep}.m²/an.**

Pour les bâtiments réhabilités, les logements collectifs sont supposés respectés le niveau « Effinergie rénovation » avec donc un objectif de consommation maximale en énergie primaire fixé à 80 kWh/m².an.

Le CEPmax pour les bâtiments collectifs d'habitation rénovés livrés après 2020 est de **53 Wh_{ep}.m²/an.**

3.2. Bureaux

| | |
|---|---|
| Date de dépôt du permis de construire avant le 1 ^{er} janvier 2018 ? | Oui |
| Département ? | 49 - Maine-et-Loire |
| Zone climatique ? | H2b |
| Altitude (m) ? | 0 à 400 m |
| Type de construction ? | Construction neuve |
| Nombre de niveaux du bâtiment (Nniv) ? | 1 |
| Type de bâtiment ? | Bâtiment de bureaux |
| Catégorie de bâtiment ? | CE1 |
| Surface thermique S_{RT} (m ²) ? | 2000 |
| Source d'énergie principale utilisée ? | Autre source d'énergie (gaz, fioul, électricité...) |
| Réseau de chaleur ? | |
| Réseau de froid ? | |
| $M_{ctype} =$ | 1,40 |
| $M_{cgéo} =$ | 1,00 |
| $M_{calt} =$ | 0,00 |
| $M_{c surf} =$ | 0,00 |
| $M_{cGES} =$ | 0,00 |
| Cep_{max} (kWh _{ep} /an.m ² S _{RT}) = | 70,00 |
| 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.m ² S _{RT}) = | 42,00 |
| NIVEAU DU LABEL EFFINERGIE+ | |

Le CEPmax pour les nouveaux bureaux livrés après 2020 est de **42 Wh_{ep}.m²/an.**

Pour les bâtiments de bureaux réhabilités, les bureaux sont supposés respectés le niveau « Effinergie rénovation ». Le seuil maximal de consommation dépend de plusieurs facteurs dont le niveau de consommation conventionnel de référence du bâtiment. Nous estimons néanmoins :

Le CEPmax pour les bureaux réhabilités livrés après 2020 est de **70 Wh_{ep}.m²/an.**

3.3. Commerces

| | |
|---|---|
| Département ? | 49 - Maine-et-Loire |
| Zone climatique ? | H2b |
| Altitude (m) ? | 0 à 400 m |
| Type de construction ? | Construction neuve |
| Nombre de niveaux du bâtiment (Nniv) ? | 1 |
| Type de bâtiment ? | Commerces |
| Catégorie de bâtiment ? | CE1 |
| Surface thermique S_{RT} (m ²) ? | 2000 |
| Source d'énergie principale utilisée ? | Autre source d'énergie (gaz, fioul, électricité...) |
| Réseau de chaleur ? | |
| Réseau de froid ? | |
| $M_{ctype} =$ | 6,40 |
| $M_{cgéo} =$ | 1,00 |
| $M_{calt} =$ | 0,00 |
| $M_{c surf} =$ | 0,00 |
| $M_{cGES} =$ | 0,00 |
| $Cep_{max} (kWh_{ep}/an.m^2 S_{RT}) =$ | 320,00 |
| 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. | |
| $Cep_{max} \text{ Effinergie+} (kWh_{ep}/an.m^2 S_{RT}) =$ | 192,00 |
| NIVEAU DU LABEL EFFINERGIE+ | |

Le Cep_{max} pour les nouveaux commerces livrés après 2020 est de **192 $Wh_{ep}.m^2/an.$**

Pour les commerces réhabilités, ils sont supposés respectés le niveau « Effinergie rénovation ». Le seuil maximal de consommation dépend de plusieurs facteurs dont le niveau de consommation conventionnel de référence du bâtiment. Nous estimons néanmoins :

Le Cep_{max} pour les commerces réhabilités livrés après 2020 est de **320 $Wh_{ep}.m^2/an.$**

3.4. Equipements

| | |
|---|---|
| Département ? | 49 - Maine-et-Loire |
| Zone climatique ? | H2b |
| Altitude (m) ? | 0 à 400 m |
| Type de construction ? | Construction neuve |
| Nombre de niveaux du bâtiment (Nniv) ? | 1 |
| Type de bâtiment ? | Gymnase ou Salle de sport, municipal ou privé |
| Catégorie de bâtiment ? | CE1 |
| Surface thermique S_{RT} (m ²) ? | 2000 |
| Source d'énergie principale utilisée ? | Autre source d'énergie (gaz, fioul, électricité...) |
| Réseau de chaleur ? | |
| Réseau de froid ? | |
| $M_{ctype} =$ | 2,40 |
| $M_{cgéo} =$ | 1,00 |
| $M_{calt} =$ | 0,00 |
| $M_{c surf} =$ | 0,00 |
| $M_{cGES} =$ | 0,00 |
| Cep_{max} (kWh _{ep} /an.m ² S_{RT}) = | 120,00 |
| 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.m ² S_{RT}) = | 72,00 |
| NIVEAU DU LABEL EFFINERGIE+ | |

Le CEPmax pour les nouveaux bâtiments d'équipements livrés après 2020 est de **72 Wh_{ep}.m²/an.**

Pour les bâtiments d'équipements réhabilités, ils sont supposés respectés le niveau « Effinergie rénovation ». Le seuil maximal de consommation dépend de plusieurs facteurs dont le niveau de consommation conventionnel de référence du bâtiment. Nous estimons néanmoins :

Le CEPmax pour les bâtiments d'équipements réhabilités livrés après 2020 est de **120 Wh_{ep}.m²/an.**

3.5. 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 | Collectif | 40% | 40% | 10% | 10% | 0% | 0% | | 100% |
| | Bureaux | 30% | 5% | 30% | 35% | 0% | 0% | | 100% |
| Tertiaire | Équipement | 38% | 12% | 30% | 20% | 0% | 0% | | 100% |
| | Commerces | 42% | 0% | 40% | 18% | 0% | 0% | | 100% |

Les simulations de consommations énergétiques sont réalisées suivant les deux typologies de bâtiments présents sur l'opération:

- ✓ Le niveau Effinergie rénovation pour les bâtiments rénovés livrés après 2020 (niveau de consommation RT2012)
- ✓ Le niveau Effinergie+ pour les bâtiments neufs construits après 2020 (gain de 40% vis-à-vis de la RT2012).

Les hypothèses de ratios de consommations primaires sont les suivantes :

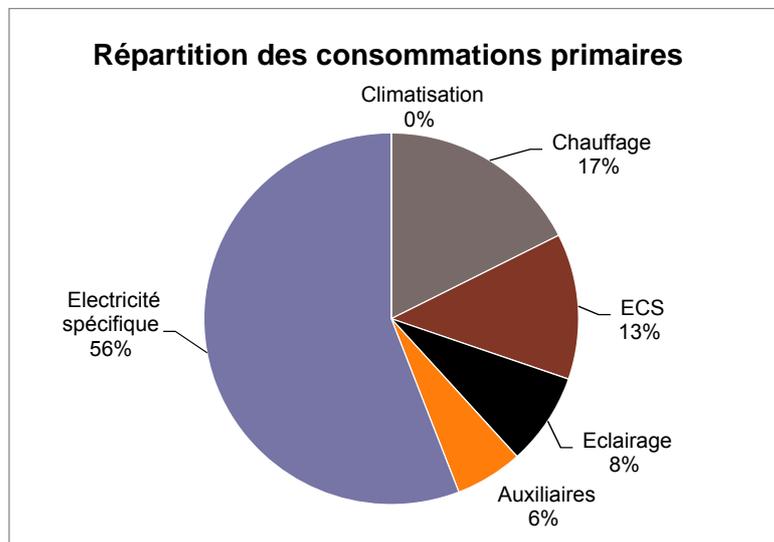
| Effinergie rénovation - Bâtiments rénovés après 2020 | | | | | | | | | |
|--|------------|----------------------|-----|-----------|-------------|------------------------|---------------|-----|-------|
| Réduction vis-à-vis RT2012 | | 0% équivalent RT2012 | | | | | | | |
| Type de bâtiment | | Chauffage | ECS | Eclairage | Auxiliaires | Electricité spécifique | Climatisation | EnR | Total |
| Résidentiel | Collectif | 21 | 21 | 5 | 5 | 70 | 0 | 0 | 123 |
| | Bureaux | 21 | 4 | 21 | 25 | 100 | 0 | 0 | 170 |
| Tertiaire | Équipement | 46 | 14 | 36 | 24 | 100 | 0 | 0 | 220 |
| | Commerces | 134 | 0 | 128 | 58 | 100 | 0 | 0 | 420 |

| Effinergie + - Bâtiment neufs construits après 2020 | | | | | | | | |
|---|------------|---|-----------|-------------|------------------------|---------------|-----|-------|
| Réduction vis-à-vis RT2012 | | 40% Logements équivalent 21% Autres Effinergie + | | | | | | |
| Type de bâtiment | | ECS | Eclairage | Auxiliaires | Electricité spécifique | Climatisation | EnR | Total |
| Résidentiel | Collectif | 17 | 17 | 4 | 4 | 70 | 0 | 112 |
| | Bureaux | 13 | 2 | 13 | 15 | 100 | 0 | 142 |
| Tertiaire | Équipement | 27 | 9 | 22 | 14 | 100 | 0 | 172 |
| | Commerces | 81 | 0 | 77 | 35 | 100 | 0 | 292 |

4. Bilan des consommations

Sur la base des ratios de consommation et du programme de l'opération de renouvellement, les consommations en MWhep.an de la ZAC sont les suivantes :

| | Effinergie | RT en vigueur |
|------------------------|---------------|---------------|
| Chauffage | 2 787 | 18% |
| ECS | 2 008 | 13% |
| Eclairage | 1 271 | 8% |
| Auxiliaires | 924 | 6% |
| Electricité spécifique | 8 850 | 56% |
| Climatisation | - | 0% |
| total | 15 839 | 100% |



Les consommations thermiques relevant des chauffages et de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) représentent 4 794 MWhep.an à l'échelle de l'opération.

5. Contexte ENR

5.1. 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.

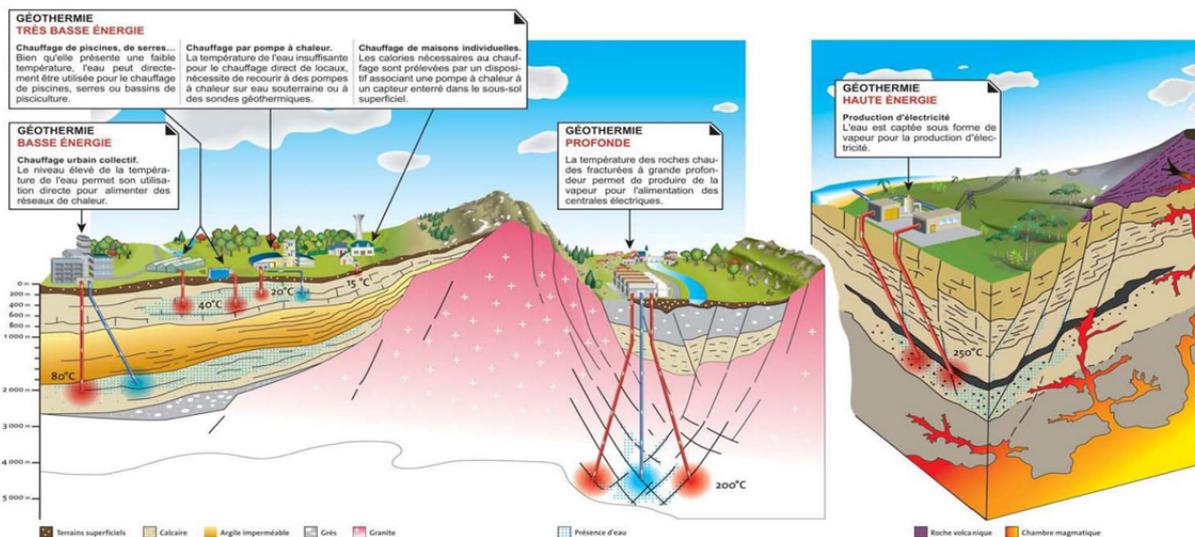


Figure 3 - Techniques d'exploitation de la géothermie (Source BRGM, ADEME)

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 :

- le code Minier,
- 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).

5.1.1. Potentiels géothermiques

La région des Pays de la Loire se caractérise par :

- un massif cristallin (formation dite de « socle ») correspondant au massif armoricain, pour les départements de la Loire-Atlantique, la Mayenne, le nord et le centre de la Vendée, ainsi que l'ouest du Maine-et-Loire.
- de bassins sédimentaires peu profonds, pour le sud de la Vendée, l'est du Maine-et-Loire et la Sarthe.

La formation dite de « socle », qui représente près de 57% de la superficie de la région, est considérée comme peu aquifère par rapport à la zone sédimentaire (43 % de la superficie de la région).

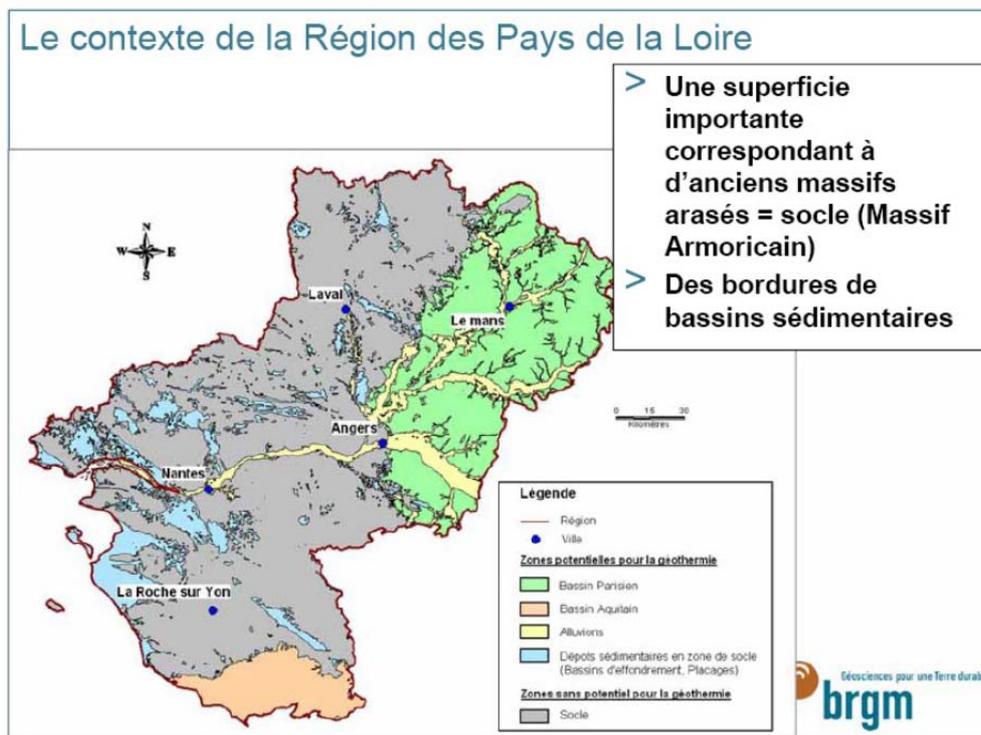


Figure 4 - Contexte géologique des Pays de la Loire (Source BRGM)

Le contexte géologique des Pays de la Loire est globalement **moins favorable** que d'autres régions. Cela s'explique par une absence d'aquifère profond d'extension importante permettant un puisage direct de l'eau chaude et par l'absence de gradient thermique important. Ainsi la valorisation de la ressource géothermique est cantonnée à une exploitation dite « très basse énergie » : prélèvement des calories dans des aquifères peu profonds ou dans le sol et utilisation d'une pompe à chaleur afin de rehausser la température extraite.

5.2. La filière bois

5.2.1. Approvisionnement

Les gisements de biomasse (plaquettes forestières, connexes de l'industrie du bois, bois en fin de vie, haies bocagères...) pouvant être mobilisés vers la filière du bois-énergie ont fait l'objet d'une évaluation par Atlanbois. Ces chiffres ont servi de base pour l'élaboration des objectifs de développement à l'horizon 2020 :

- stabilité de production liée aux installations individuelles (hypothèse nationale), soit 320 ktep,
- et 140 ktep pour les installations industrielles et collectives, soit +100 ktep par rapport à 2009.

D'ici 2050, les ERE (action collective d'avenir pour la filière bois) estiment une stabilité de la consommation régionale de bois-énergie en volume à 350 ktep. Les gains d'isolation et de rendement sur le bois de chauffage dans les bâtiments existants devraient permettre le déploiement de nombreux équipements au bois dans les maisons rurales, les logements collectifs en ville, les réseaux de chaleur et les industries.

Plusieurs facteurs sont favorables au développement régional de la filière : En Pays de la Loire, une dynamique forte s'est développée en 2008-2009 grâce à l'interprofession du bois (Association Atlanbois) très structurée et très active dans le soutien technique au développement de projets bois-énergie et à la formation. Cette dynamique se traduit également à l'échelle des départements où il existe une complémentarité et une synergie entre les acteurs : Atlanbois, Relais Bois Energie, autres... Des financements importants nationaux (appels à projets BCIAT, fond chaleur, CRE) et régionaux (fonds Conseil régional et ADEME) encouragent les porteurs de projets à s'intéresser au bois-énergie.

Il est envisageable d'utiliser le bois-énergie à l'échelle du projet.

5.2.2. Chaufferies biomasses environnantes

5.2.2.1. Réseau de chaleur « Biowatt »

Le quartier sud d'Angers dispose d'un réseau de chaleur (réseau de chaleur collectif de la Roseraie). Il est alimenté par une chaufferie biomasse « BIOWATT » construite en 2011 en remplacement de l'ancienne usine d'incinération de la Roseraie ayant cessé son activité du fait de la mise en service de Biopôle.

Le raccordement à ce réseau n'est pas pertinent en raison de son éloignement. La zone d'aménagement est en effet située au nord-ouest d'Angers à environ 5 à 6 km et séparée par la Maine (rivière).

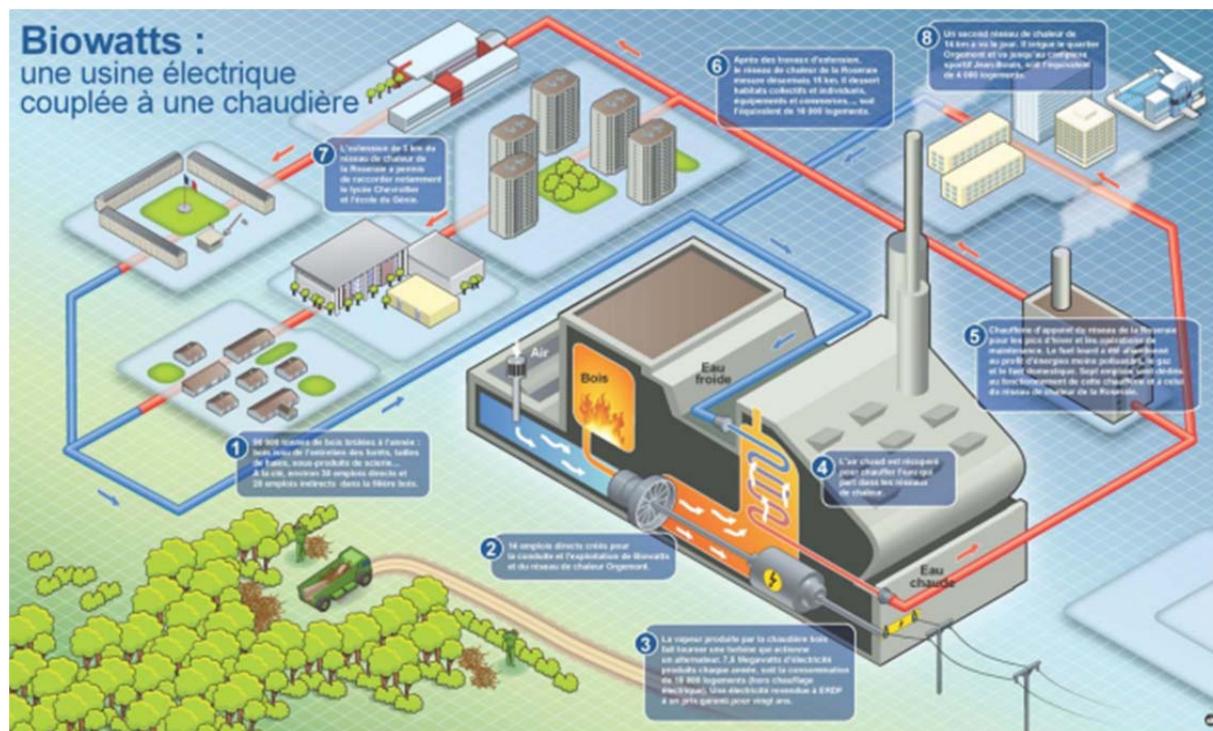


Figure 5 - Le fonctionnement de Biowatts (www.angers.fr)

5.2.2.2. Réseau de chaleur « Belle Beille »

À l'instar de ce qui a été réalisé à la Roseaie, une chaufferie biomasse alimentée principalement au bois et au gaz est en cours de construction dans le quartier Belle Beille. Il desservira les bâtiments du quartier par le biais d'un réseau de chaleur.

Au vue des besoins énergétiques et de la proximité des futurs bâtiments avec le futur périmètre du réseau permettant une densité thermique suffisante (voir ci-dessous), le raccordement à ce réseau pourrait être envisageable. La création d'un nouveau réseau de chaleur, exclusivement réservé aux bâtiments de l'opération, n'est donc pas pertinente.

NB : 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).



Figure 6 – Aperçu des densités énergétiques du futur réseau (Source étude de faisabilité pour la création d'un réseau de chaleur et d'une chaufferie Biomasse sur le quartier de Belle Beille à Angers)

5.3. Le solaire

La région Pays de la Loire dispose d'un gisement solaire intéressant, un peu supérieur à la moyenne nationale. Le gisement solaire en Loire-Atlantique, Maine-et-Loire, Mayenne et Sarthe est compris entre 1220 et 1350 kWh/m²/an. Celui de la Vendée, situé entre 1350 et 1490 kWh/m²/an, est le plus favorable de notre région. 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.

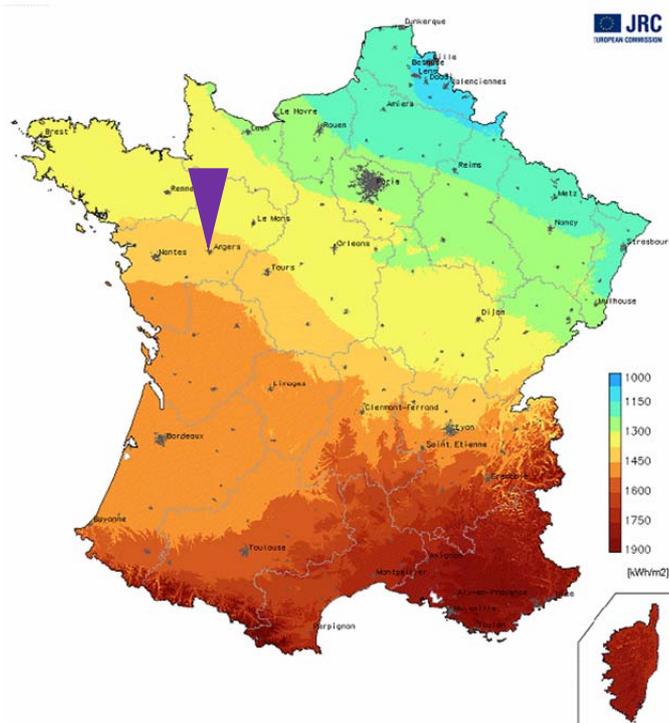


Figure 7 - Ensoleillement surfacique annuel en France (kWh/m².an)

Le solaire photovoltaïque

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.

Une augmentation des installations solaires thermiques est constatée dans les Pays de la Loire entre 2002 et 2009 avec un pic en 2006. Cela s'explique par la mise en place, de 1999 à 2006, du plan soleil par l'ADEME et la création d'un crédit d'impôt spécifique en 2005.

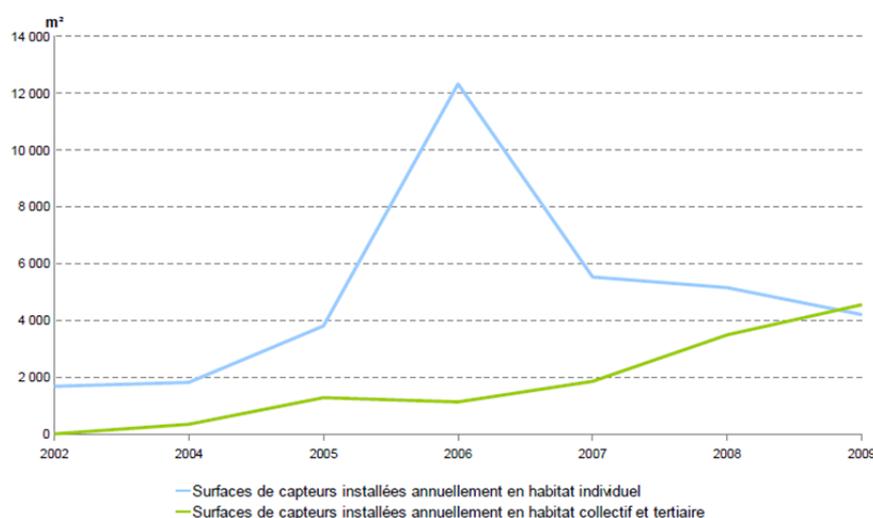


Figure 8 - Évolution régionale des surfaces de capteurs installés de 2002 à 2009 (Source SOeS)

En Pays de la Loire, la production d'énergie solaire thermique atteint 2,6 ktep/an en 2009 soit une production de chaleur d'environ 30 GWh pour près de 65 000 m² de panneaux.

5.4. L'éolien

Le grand éolien

Selon le schéma régional éolien (SRE) des Pays de la Loire, la commune d'Angers est, en partie, située dans une zone favorable au grand éolien. Ces zones, favorables au développement du grand éolien, représentent 76% des communes de la région Pays de la Loire.

Elles ont été identifiées en prenant en compte différentes sensibilités environnementales, patrimoniales, architecturales et culturelles ainsi que des contraintes et servitudes techniques de chacune des zones. C'est, d'une part, le potentiel du vent et, d'autre part, des servitudes réglementaires, des contraintes techniques et des facteurs environnementaux (paysages, patrimoine, biodiversité). Ce qui permet d'obtenir la carte de synthèse ci-dessous.

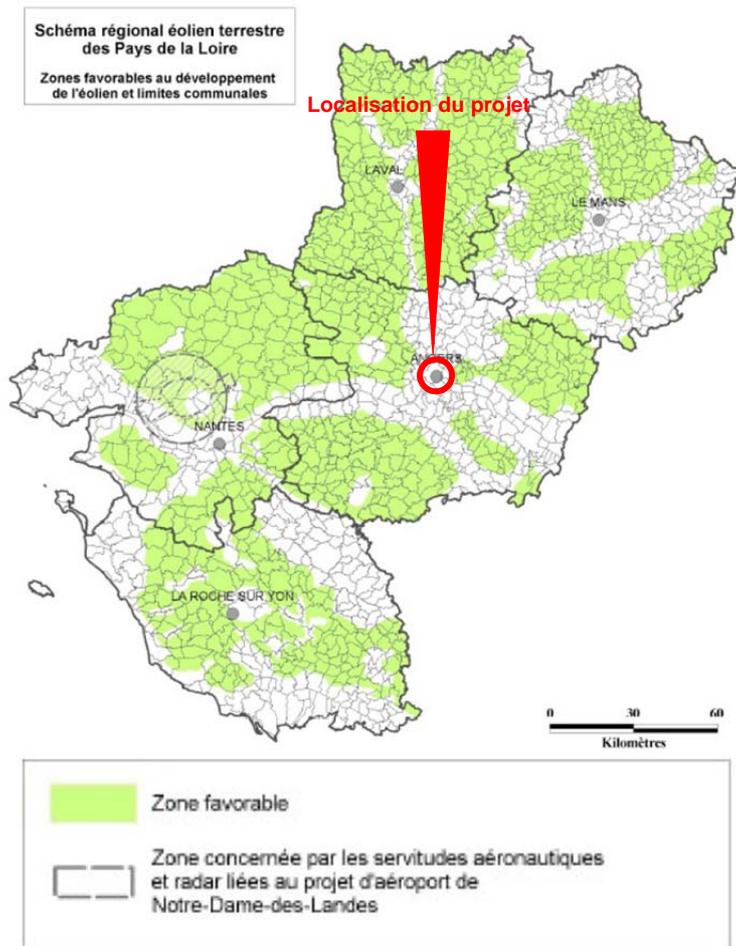


Figure 9 - Carte des zones favorables à l'éolien en Basse Normandie (source Schéma régional éolien des Pays de la Loire)

La zone d'aménagement du projet n'est toutefois pas située dans une zone favorable.

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 mats 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.

6. 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 > 20m ²) | Capteurs sans vitrage, vitrés (plus de 20 m ²) | 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. |

PROJET DE RENOUVELLEMENT URBAIN DU GRAND BELLE-BEILLE A ANGERS
ÉTUDE D'OPPORTUNITÉ ENR

| Energie | Technologie | | Usage | Echelle de production | Possibilité d'utilisation pour le projet |
|---|--|--|--|------------------------------------|---|
| GEOthermie TRÈS 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. |
| Raccordement chaufferies existantes ou réseau de chaleur | Chaufferies industrielles ou biomasses | Chaufferies industrielles ou biomasses | Chauffage, ECS | Zone | Il existe un réseau de chaleur alimentant la zone d'aménagement sur lequel il est envisageable de se raccorder. |

7. Comparaison des solutions d'approvisionnement énergétique

7.1. Présentation des scénarii

La zone d'aménagement étant principalement constituée de logements collectifs et la possibilité de mutualisation à l'échelle de l'opération par le biais de raccordement des bâtiments au futur réseau de chaleur de Belle Beille, un travail est mené pour analyser et comparer les solutions énergétiques à l'échelle d'un bâtiment collectif d'habitation type de 1 400 m² constitué de 20 logements représentatif de la zone d'aménagement.

Quatre solutions sont étudiées à l'échelle d'un collectif de 20 logements :

- Solution 1 : Chaudière à condensation individuelle + Solaire PV. Cette solution intègre une chaudière individuelle gaz à condensation (25 kW) par logement, un onduleur de 2.6 kW, et 30 m² de capteurs photovoltaïques.
- Solution 2 : Chaufferie gaz collective 20 gaz + Solaire thermique. Cette solution intègre une chaudière à condensation de 100 kW, une installation solaire thermique de 45 m² et un ballon d'hydro-accumulation de 500 litres.
- Solution 3 : Chaufferie mixte Bois granulé - gaz. Cette solution intègre une chaudière au bois granulé de 50 kW, une chaudière à condensation de 50 kW, la mise en place d'un réservoir de surface pour stockage des granulés (5T) ainsi que l'installation d'un système d'alimentation de la chaudière bois.
- Solution 4 : PAC géothermique + CET. Cette solution intègre une unité eau-eau pompe à chaleur géothermique (100kW), la mise en place par logement d'un chauffe-eau thermodynamique de 200 litres et la réalisation de 20 sondes verticale de 100ml (puissance estimée 100 kW).
- Solution 5 : Le raccordement au réseau de chaleur de Belle-Beille.

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

8.1. 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.

8.2. Hypothèses de calcul du coût du kWh

8.2.1. 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 200 kva | Prix abonnement € TTC 20% | | 117,00 |
| 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 | | | |
| Réseau de chaleur de Belle Beille (avec subvention) - Source étude de faisabilité | | | | | |
| année | | 2016 | | | |
| Prix abonnement € TTC 5,5% | 6 863,71 | 100 kW | | | |
| Prix kWh €HT | | 0,0371 | | | |
| Prix kWh €TTC 5,5% | | 0,0391 | | | |
| Prix MWh €TTC 10% | | 39,20 | | | |
| Emission CO2 | 0,066 | kgCO2/kWh | | | |

8.2.2. 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 | Réseau de chaleur |
|--|------|------|-------------|-----------|-------------------|
| Taux d'augmentation annuel du combustible | 4,0% | 6,0% | 6,0% | 2,0% | 2,0% |
| Taux d'augmentation annuel de l'abonnement | | 6,0% | 6,0% | | 2,0% |

8.2.3. 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).

8.2.4. 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 écoulee, 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.

8.2.5. 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.

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

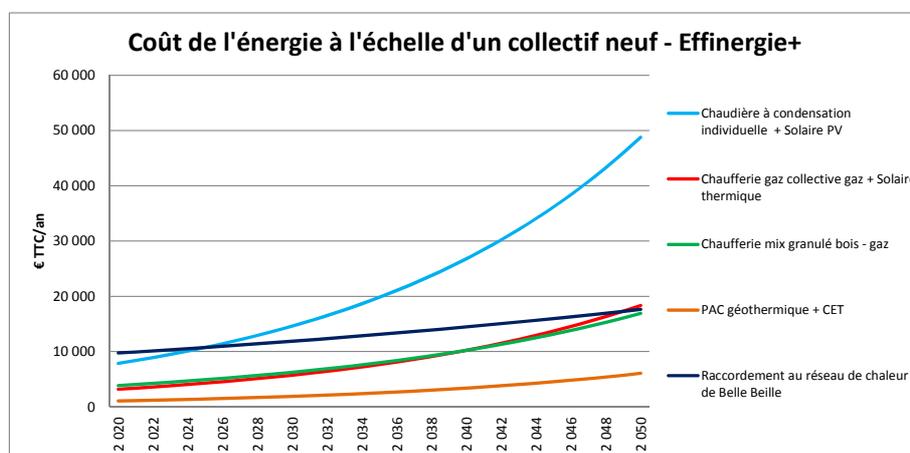
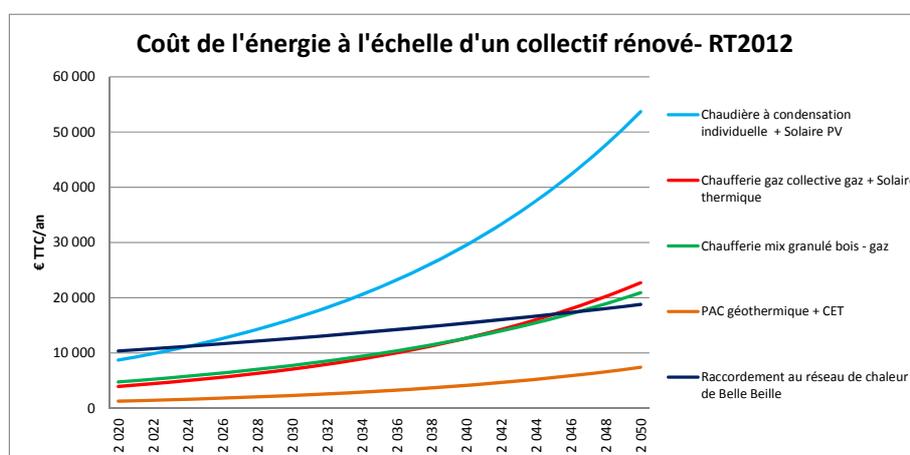
Les hypothèses sur l'évolution des coûts de l'énergie sont fortement déterminantes pour les allures globales des courbes.

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.

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

9.1. Scénarii à l'échelle d'un bâtiment collectif de 20 logements

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



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

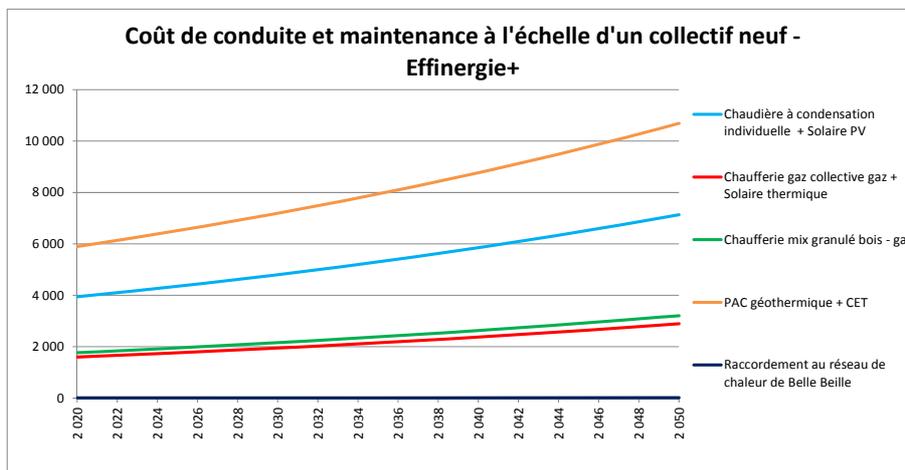
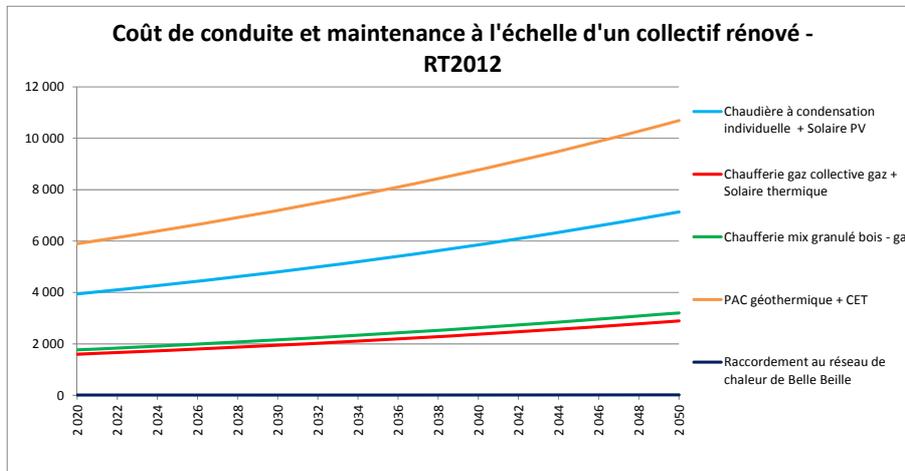
En début d'exploitation, la solution de raccordement au réseau de chaleur urbain est la plus chère en raison de son coût d'abonnement élevé et de sa faible performance comparée à la solution individuelle gaz. La multiplication des abonnements gaz dans la solution individuelle gaz, associée à une inflation élevée sur le prix du gaz par rapport au réseau de chaleur dégrade rapidement son positionnement. La solution de raccordement devient, après 5 années d'exploitation, la plus pertinente des deux solutions.

Les solutions bois-gaz et la solution avec solaire thermique sont peu distinctes sur la période d'étude. La faible inflation sur le bois dans la solution bois-gaz est en effet compensée par la couverture solaire dans la solution 2.

Comparée aux solutions gaz et mixte (bois-gaz), la solution de raccordement au réseau de chaleur est légèrement plus vite amortie en coût d'exploitation pour un bâtiment rénové par rapport à un bâtiment neuf. Le niveau de consommations plus élevé permettant des économies d'énergie plus importantes dans la solution rénovée comparée à la solution neuve, explique cela.

La solution PAC est la moins chère en coût d'exploitation sur l'ensemble des solutions en raison de sa performance élevée comparée aux autres solutions.

9.1.2. Analyse du coût de conduite et de maintenance P2



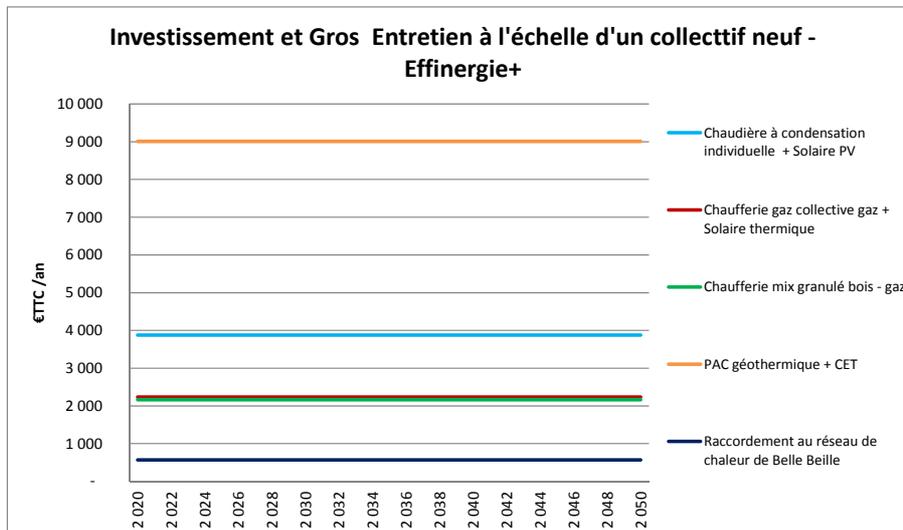
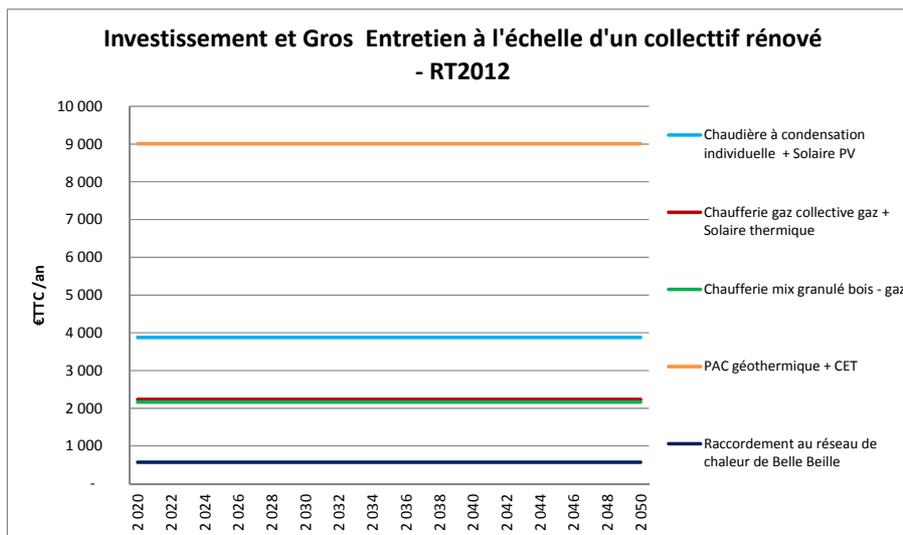
Le coût de conduite et de maintenance est identique quel que soit le niveau de performance retenu.

La solution géothermique avec des chauffe-eau thermodynamique et la solution individuelle gaz présentent les coûts d'entretien et de maintenance les plus élevés en raison de la multiplication des systèmes (ballons thermodynamiques et chaudières individuelles).

La solution de raccordement est la moins chère sur l'ensemble des solutions. En effet, le coût de maintenance de cette solution est en partie pris dans le coût d'exploitation par la part abonnement. Elle est suivie par les solutions gaz individuelle et collective

9.1.3. Investissement et gros entretien

NB : L'absence d'un plan de masse permettant de connaître le positionnement des bâtiments de l'opération vis-à-vis du réseau de chaleur fait qu'il est impossible d'estimer le linéaire de réseau nécessaire pour raccorder un bâtiment. Nous avons donc minimiser, dans un premier temps, le coût de raccordement en supposant que le réseau de chaleur arrive au plus prêt du bâtiment et que le raccordement d'un bâtiment à ce dernier ne nécessite pas un gros investissement.

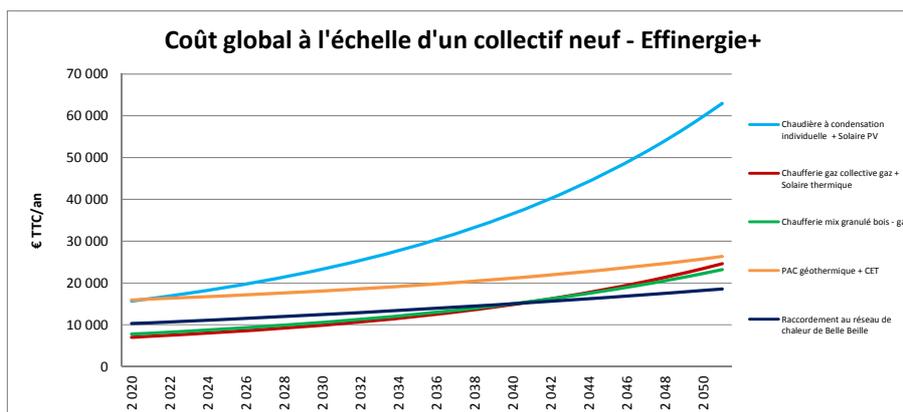
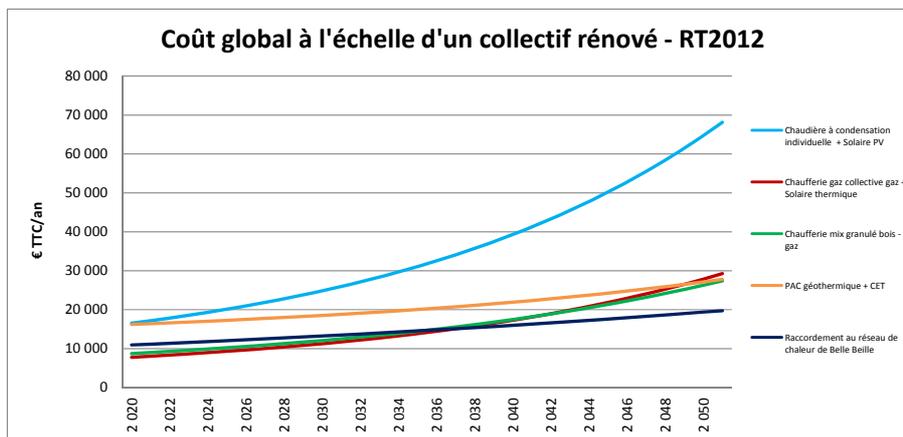


Les investissements et gros entretien sont identiques pour les deux typologies de bâtiment (neuf et rénové). En effet, le surcoût lié à la différence de puissance installée entre un bâtiment neuf et un bâtiment rénové est faible. Les possibilités de modulation des puissances installées entre un bâtiment neuf et rénové explique cela.

Les solutions individuelle et géothermique sont les plus chères en raison de la multiplication des systèmes.

En considérant un coût de raccordement au réseau de chaleur de Belle Beille nul (réseau de chaleur arrivant jusqu'au pied de l'immeuble), la solution de raccordement est la moins chère en investissement et gros entretien.

9.1.4. Analyse du coût global – Bâtiment rénové RT2012



Le coût global permet de faire une analyse globale prenant en compte tous les paramètres d'investissement (coût d'exploitation, entretien, investissement et gros entretien).

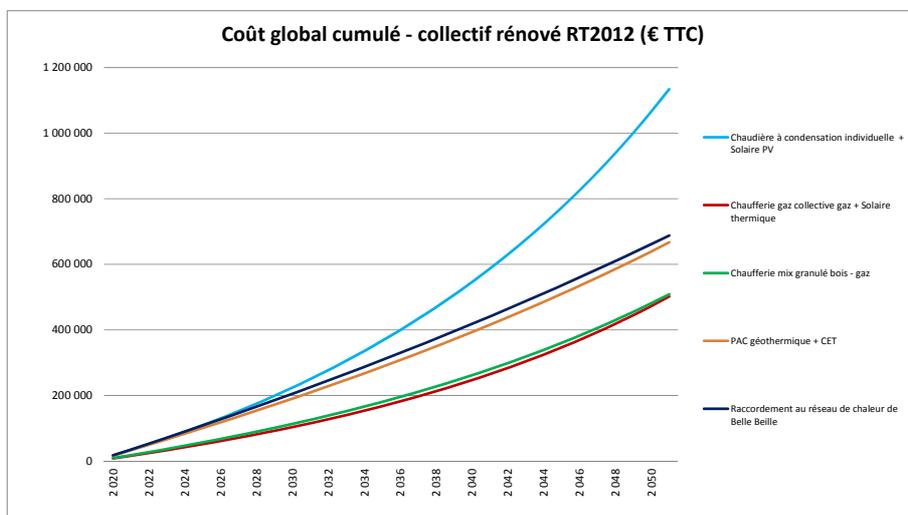
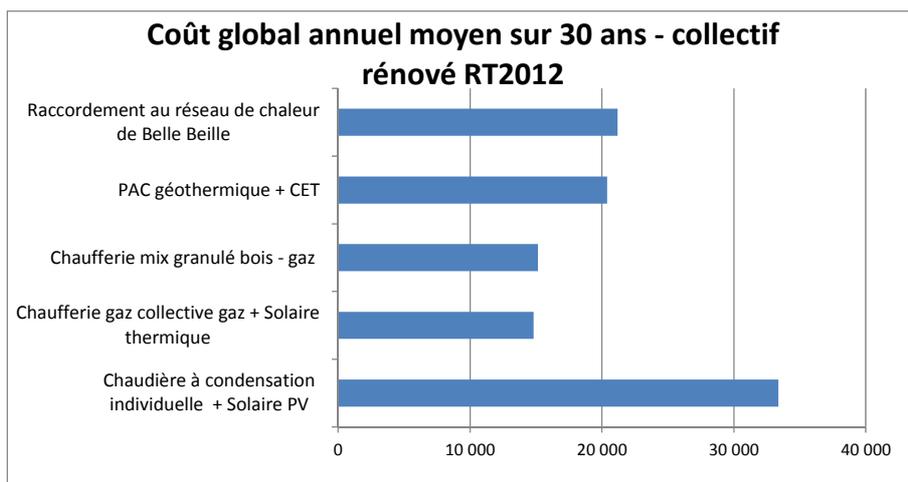
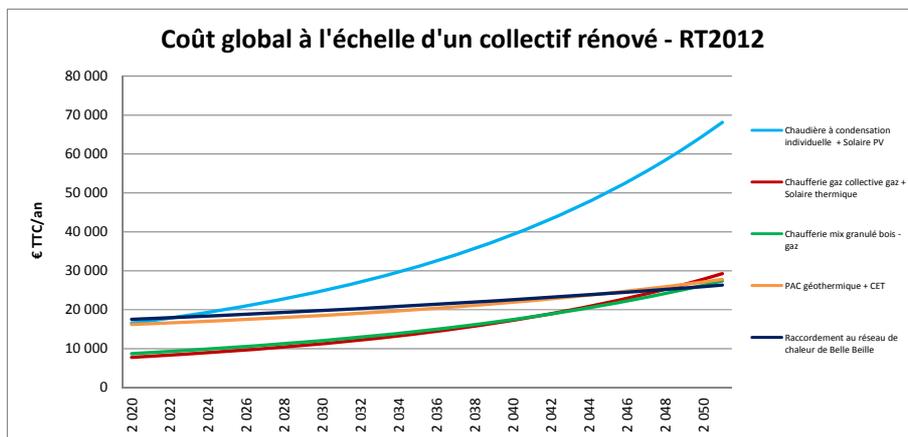
Au vu des courbes sur l'ensemble de la période d'étude, la solution de raccordement n'est pas la plus pertinente malgré un coût de raccordement considéré nul à ce stade. Comparé aux solutions gaz, elle subit toutefois moins l'inflation sur les coûts énergétiques, ce qui la rend plus pertinente sur la 3^{ème} période d'exploitation du bâtiment soit, après 17 ans d'exploitation pour le bâtiment rénové et 20 ans pour le bâtiment neuf. Cela suppose que le réseau passe au plus prêt du bâtiment avec un très faible investissement pour le raccordement.

Comparée à la solution individuelle et à la solution géothermique, la solution de raccordement est pertinente sur l'ensemble de la période à coût de raccordement nul.

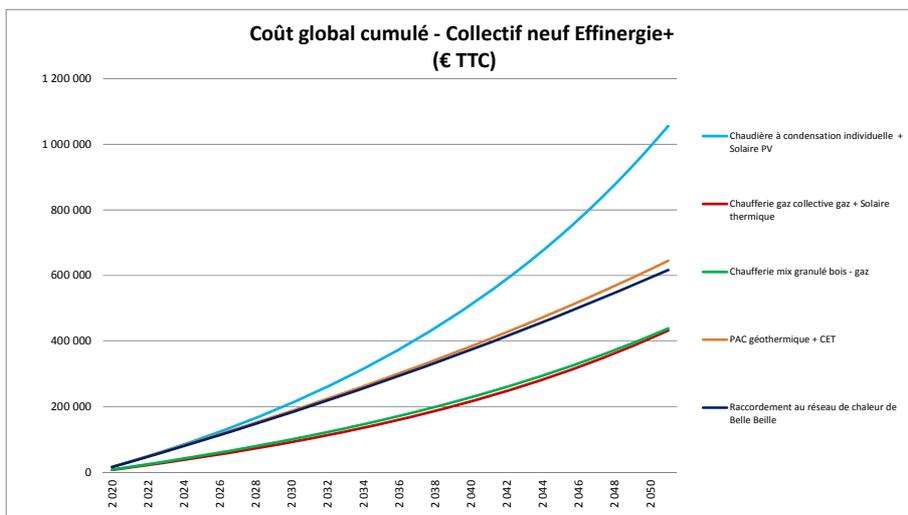
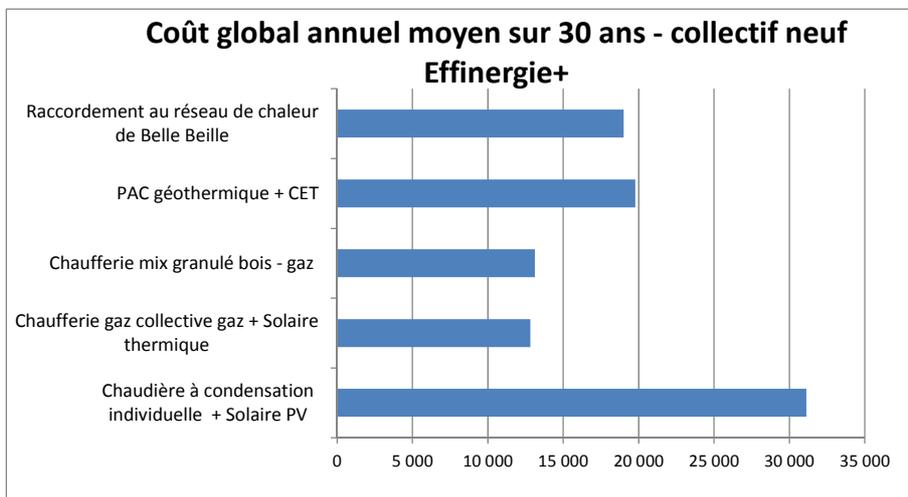
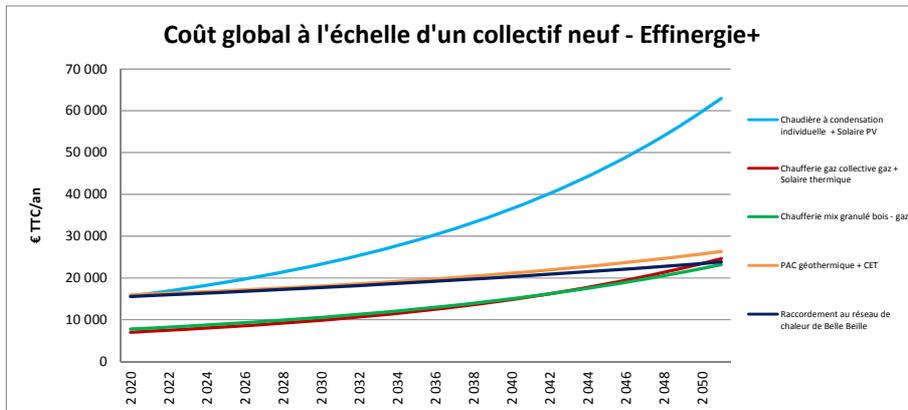
Par ailleurs, nous constatons que, du fait de la faible inflation sur le réseau de chaleur par rapport aux autres énergies, la solution de raccordement peut être pertinente à partir d'une certaine période et pour un certain montant de raccordement. De ce fait, en se servant du coût de raccordement comme paramètre d'ajustement, nous obtenons les courbes suivantes qui permettent de définir les montants

à partir des quels, il n'est pas pertinent de se raccorder, ceci malgré la faible inflation sur le réseau de chaleur.

9.1.4.1. Bâtiment rénové « RT2012 » : Coût de raccordement au réseau de chaleur à 100 000 €



9.1.4.2. Bâtiment neuf « Effinergie » : Coût de raccordement au réseau de chaleur à 80 000 €



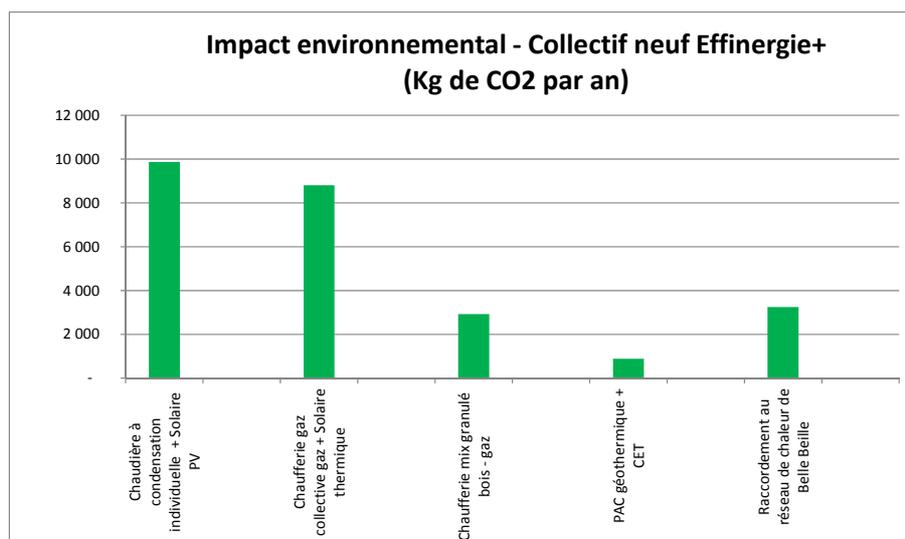
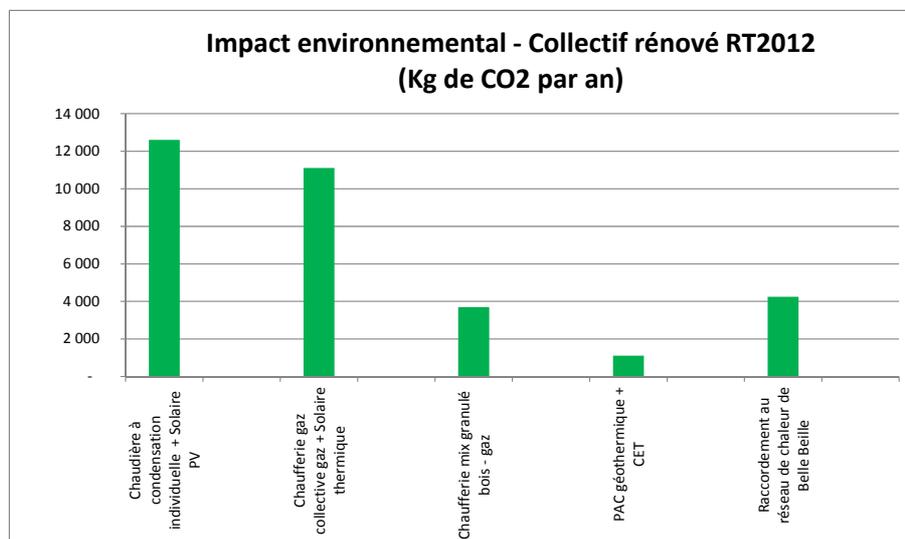
Afin que la solution de raccordement soit à minima pertinente à un moment donné sur la période d'étude :

- Le montant de raccordement doit être inférieur à 100 000 € pour un bâtiment rénové et 80 000 € pour un bâtiment neuf comparé aux solutions collective gaz, mixte (bois-gaz) et géothermique. Dans ce cas, la pertinence de la solution de raccordement se situe en fin de période. Pour un tirage de réseau de chaleur à 250 € / ml, le bâtiment ne doit pas être situé au-delà de 400 m du réseau pour un bâtiment rénové et 320 m pour un bâtiment neuf.
- Par rapport à la solution individuelle gaz, en raison de l'inflation sur le gaz et l'absence de couverture solaire, la solution de raccordement est pertinente dès le début d'exploitation et sur toute la période d'étude si le montant de raccordement est inférieur à 80 000 €.

Pour que la solution de raccordement soit la plus intéressante en coût global moyen annuel sur 30 ans :

- Pour un bâtiment rénové, le coût de raccordement doit être inférieur à 4 000 € (soit un tirage de réseau de 16 mètre maximum à raison de 250 €/ml).
- Pour un bâtiment neuf, son faible besoin énergétique fait que c'est la solution gaz avec solaire thermique qui est la plus pertinente, même à coût de raccordement nul.

9.1.5. Comparatif émissions de CO2



Au regard environnemental, les solutions sans gaz sont les moins polluantes. Les solutions les plus pertinentes sont les scénarii « chaudière granulés bois », « PAC géothermique + CET » et « Réseau de chaleur ». 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.

9.1.6. Analyse multicritères à coût de raccordement nul

Les tableaux suivants présentent des synthèses multicritères de l'analyse des scénarii de desserte étudiés :

9.1.6.1. Synthèse du comparatif pour un collectif rénové – RT2012

| | Chaudière à condensation individuelle + Solaire PV | Chaufferie gaz collective gaz + Solaire thermique | Chaufferie mix granulé bois - gaz | PAC géothermique + CET | Raccordement au réseau de chaleur de Belle Beille |
|--|--|---|--|---|---|
| | RT 2012 | RT 2012 | RT 2012 | RT 2012 | RT 2012 |
| coût global moyen sur 30 ans (€/an) | 33 371 | 14 820 | 15 155 | 20 392 | 14 606 |
| Stabilité du coût pour les usagers | moyenne | moyenne | forte | moyenne | forte |
| Emissions de CO2 moyennes Kg/an | 12 611 | 11 112 | 3691 | 1 119 | 4254 |
| Adaptabilité à un changement d'énergie | Modéré | forte | forte | Modéré | forte |
| Recours en Enr | Modéré | Modéré | Important | Important | Important |
| Point de vigilance | RAS | RAS | Exploitation avec contrat de fourniture énergie bois + gaz Emprise foncière lié à la présence d'un silo | Point juridique : télédéclaration pour le forage | RAS |
| Analyse multi-critères | Solution à faible pertinence | Solution à pertinence modérée | Solution à pertinence élevée | Solution à pertinence modérée | Solution à pertinence élevée |

9.1.6.2. Synthèse du comparatif pour un collectif neuf – Effinergie+

| | Chaudière à condensation individuelle + Solaire PV | Chaufferie gaz collective gaz + Solaire thermique | Chaufferie mix granulé bois - gaz | PAC géothermique + CET | Raccordement au réseau de chaleur de Belle Beille |
|--|--|---|--|---|---|
| | Effinergie+ | Effinergie+ | Effinergie+ | Effinergie+ | Effinergie+ |
| coût global moyen sur 30 ans (€/an) | 31 110 | 12 806 | 13 106 | 19 766 | 13 740 |
| Stabilité du coût pour les usagers | moyenne | moyenne | forte | moyenne | forte |
| Emissions de CO2 moyennes Kg/an | 9 865 | 8 806 | 2925 | 887 | 3243 |
| Adaptabilité à un changement d'énergie | Modéré | forte | forte | Modéré | forte |
| Recours en Enr | Modéré | Modéré | Important | Important | Important |
| Point de vigilance | RAS | RAS | Exploitation avec contrat de fourniture énergie bois + gaz Emprise foncière lié à la présence d'un silo | Point juridique : télédéclaration pour le forage | RAS |
| Analyse multi-critères | Solution à faible pertinence | Solution à pertinence modérée | Solution à pertinence élevée | Solution à pertinence modérée | Solution à pertinence élevée |

Sur le critère coût global moyen sur 30 ans, deux remarques ressortent de ces tableaux :

- ▶ Sur les 30 années d'étude, les différences ne sont pas très marquées entre les solutions 2,3 et 5.
- ▶ Pour un bâtiment rénové, le réseau de chaleur est pertinent par rapport aux autres solutions à coût de raccordement nul ainsi que pour tout montant de raccordement inférieur à 4 000 € (soit un tirage de réseau de 16 mètre maximum à raison de 250 €/ml).
- ▶ Pour un bâtiment neuf, c'est la solution gaz avec solaire thermique qui est la plus pertinente.

10. Energies renouvelables pour la desserte en électricité

10.1. Compensation photovoltaïque

10.1.1. 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 voire 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.

10.1.2. Définition des consommations électriques

Pour l'ensemble des bâtiments rénovés de l'opération, les consommations électriques s'élève à 2 400 MWh.

| Consommation électrique Valeur en kWh/m ² .an | | | | | |
|---|------------|------------------|------------------------|-----------------|------------------|
| Bâtiment rénové - Niveau RT2012 | usage RT | usage spécifique | Surface m ² | Conso RT MWh/an | Conso spé MWh/an |
| Collectif | 4 | 27 | 42 000 | 173 | 1 140 |
| Bureaux | 18 | 39 | 1 500 | 26 | 58 |
| Equipement | 23 | 39 | 4 000 | 93 | 155 |
| Commerces | 72 | 39 | 2 000 | 144 | 78 |
| | 117 | 143 | 49 500 | 436 | 1 430 |
| | | | | | 1 866 |

Pour l'ensemble des bâtiments neufs de l'opération, les consommations électriques s'élève à 1 900 MWh.

| Consommation électrique Valeur en kWh/m ² .an | | | | | |
|---|-----------|------------------|------------------------|-----------------|------------------|
| Bâtiment neuf - Niveau Effinergie+ | usage RT | usage spécifique | Surface m ² | Conso RT MWh/an | Conso spé MWh/an |
| Collectif | 3 | 27 | 60 000 | 195 | 1 628 |
| Bureaux | 11 | 39 | 1 500 | 16 | 58 |
| Equipement | 14 | 39 | 5 000 | 70 | 194 |
| Commerces | 43 | 39 | 3 100 | 134 | 120 |
| | 71 | 143 | 69 600 | 415 | 2 000 |
| | | | | | 2 415 |

Sur l'ensemble de l'opération, la consommation électrique totale s'élève à environ 4 300 MWh. Il est donc important d'étudier les possibilités d'alimenter ces besoins par des énergies renouvelables.

10.1.3. Taux de couverture

Les hypothèses de calcul sont réalisées sur la base de panneaux solaires de type polycristallin de 115 Wc/m², orientés +/- 15° sud avec une inclinaison de 45°.

Les résultats sont les suivants :

| Puissance installée (kWc) | Surface équivalente (m ²) | Production (kWh.an) | Investissement (€ HT) | Taux couverture électrique (%) |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 292 | 2 918 | 320 936 | 583 521 | 7% |
| 592 | 5 918 | 650 936 | 1 183 521 | 15% |
| 892 | 8 918 | 980 936 | 1 783 521 | 23% |
| 1 192 | 11 918 | 1 310 936 | 2 383 521 | 31% |
| 1 492 | 14 918 | 1 640 936 | 2 983 521 | 38% |
| 1 792 | 17 918 | 1 970 936 | 3 583 521 | 46% |
| 2 092 | 20 918 | 2 300 936 | 4 183 521 | 54% |
| 2 392 | 23 918 | 2 630 936 | 4 783 521 | 61% |
| 2 692 | 26 918 | 2 960 936 | 5 383 521 | 69% |
| 2 992 | 29 918 | 3 290 936 | 5 983 521 | 77% |
| 3 292 | 32 918 | 3 620 936 | 6 583 521 | 85% |
| 3 592 | 35 918 | 3 950 936 | 7 183 521 | 92% |
| 3 892 | 38 918 | 4 280 936 | 7 783 521 | 100% |

Pour couvrir l'ensemble de la consommation électrique, l'installation serait de 39 000 m² de capteurs solaires. Le montant associé à cette installation est estimé à 7,8 millions d'euros. Bien entendu, ces valeurs sont indicatives et ne pourront pas être installées en totalité. Toutefois, en fonction de la surface disponible en toiture, après déduction d'une installation éventuelle de solaire thermique ou encore des espaces dédiés aux équipements techniques du bâtiment, l'installation d'une surface plus faible et cohérente pourra être envisagée.

10.2. 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.

11. Conclusion

Cette étude d'opportunité en énergies renouvelables sur le projet de renouvellement urbain de Belle Beille à Angers 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, il existera un réseau de chaleur auquel il sera envisageable de se raccorder en raison de sa proximité avec les bâtiments de l'opération. La création d'un nouveau réseau de chaleur, exclusivement réservé aux bâtiments de l'opération, n'est donc pas pertinente.

Afin d'analyser les opportunités de dessertes en énergies renouvelables, l'étude d'approvisionnement a été réalisée sur un collectif d'habitation de 20 logements (majoritaire sur l'opération) et suivant les critères performantiels ci-dessous.

| Bâtiment rénové | Bâtiment neuf |
|-----------------|----------------------|
| ➤ Niveau RT2012 | ➤ Niveau Effinergie+ |

L'opération est, en effet, composée de bâtiments neufs et de bâtiments rénovés, leurs performances thermiques sont donc différentes.

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

Scénarii à l'échelle d'un collectif d'habitation de 20 logements

Solution 1 : Chaudière individuelle gaz à condensation + Solaire PV.

Solution 2 : Chaudière collective gaz à condensation + Solaire thermique.

Solution 3 : Chaudière collective mixte bois granulé - gaz.

Solution 4 : PAC géothermique + CET.

Solution 5 : Raccordement au réseau de chaleur de Belle Beille.

Pour chacune des solutions, sous réserve des hypothèses considérées, une analyse multicritères a été effectuée. Pour la solution de raccordement, étant donné l'absence de plan de masse permettant de connaître le positionnement des bâtiments de l'opération vis-à-vis du réseau de chaleur de Belle Beille et donc d'estimer le coût de raccordement au réseau de chaleur, ce paramètre a servi de référence afin de connaître le seuil de rentabilité de cette solution par rapport aux autres.

➤ **Bâtiment collectif d'habitation rénové :**

Coût de raccordement < 4000 € : Avec un coût de raccordement inférieur à 4000€, soit un réseau de chaleur passant à moins de 16 mètres du bâtiment, le coût global moyen sur 30 ans de la solution de raccordement est la plus intéressante comparé aux autres solutions.

4 000 € < Coût de raccordement < 8500 € : La solution collective gaz avec solaire thermique est la plus intéressante suivi par la solution de raccordement puis la solution mixte bois-gaz. Le linéaire de réseau à tirer est compris dans ce cas entre 16 et 34 mètres.

Coût de raccordement > 8500 € : La solution collective gaz avec solaire thermique est la plus intéressante suivi par la solution mixte bois-gaz puis la solution de raccordement. Le linéaire de réseau à tirer est dans ce cas est supérieur à 34 mètres.

➤ **Bâtiment collectif d'habitation neuf :**

Coût de raccordement nul : Avec un coût de raccordement nul, soit un réseau de chaleur passant au pied du bâtiment, c'est la solution collective gaz avec solaire thermique qui est la plus intéressante en coût global moyen sur 30 ans, suivi par la solution mixte bois-gaz et la solution de raccordement. Comparé au bâtiment rénové, la bonne performance thermique de l'enveloppe thermique du bâtiment neuf limite en effet son besoin énergétique et donc la pertinence d'un raccordement au réseau de chaleur.

Par ailleurs, 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 Effnergie+ 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 l'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.
- La pertinence de raccordement d'un bâtiment à un réseau de chaleur est corrélée avec sa performance énergétique et donc son niveau de consommation. Plus le bâtiment consomme de l'énergie, plus il est intéressant de se raccorder...

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 – Périmètre du Quartier Belle Beille.</i> | 7 |
| <i>Figure 2 – Rénovation verte du grand Belle Beille – Schéma d'intentions.</i> | 8 |
| <i>Figure 3 - Techniques d'exploitation de la géothermie (Source BRGM, ADEME)</i> | 16 |
| <i>Figure 4 - Contexte géologique des Pays de la Loire (Source BRGM)</i> | 18 |
| <i>Figure 5 - Le fonctionnement de Biowatts (www.angers.fr)</i> | 20 |
| <i>Figure 6 – Aperçu des densités énergétiques du futur réseau (Source étude de faisabilité pour la création d'un réseau de chaleur et d'une chaufferie Biomasse sur le quartier de Belle Beille à Angers)</i> | 21 |
| <i>Figure 7 - Ensoleillement surfacique annuel en France (kWh/m².an)</i> | 22 |
| <i>Figure 8 - Évolution régionale des surfaces de capteurs installés de 2002 à 2009 (Source SOeS)</i> | 23 |
| <i>Figure 9 - Carte des zones favorables à l'éolien en Basse Normandie (source Schéma régional éolien des Pays de la Loire)</i> | 24 |



SCE Annexes

Table des annexes

| | |
|--|-----------|
| <i>Annexe 1- Coût de conduite et de maintenance en euros</i> | 50 |
| <i>Annexe 2 - Coût d'investissement.....</i> | 51 |

HYPOTHESES D'ETUDE – COÛTS DE CONDUITE ET MAINTENANCE

Le P2 annuel est calculé à partir des ratios suivants :

- Cas d'un collectif d'habitation constitué de 20 logements

| | P2 annuel |
|--|------------------|
| Chaudière à condensation individuelle + Solaire PV | 3 940 |
| Chaufferie gaz collective gaz + Solaire thermique | 1 598 |
| Chaufferie mix granulé bois - gaz | 1 770 |
| PAC géothermique + CET | 5 900 |
| Raccordement au réseau de chaleur de Belle Beille | - |

Annexe 1- Coût de conduite et de maintenance en euros

HYPOTHESES D'ETUDE – COÛTS D'INVESTISSEMENT

- Cas d'un collectif d'habitation constitué de 20 logements :

| Chaudière à condensation individuelle + Solaire PV | |
|---|-------------------|
| Chaudière à condensation 25kW *20 | 40000 € HT |
| Photovoltaïque onduleur 3,4 kw | 2500 € HT |
| Photovoltaïque capteurs (30m ²) | 16500 € HT |
| TOTAL | 59000 € HT |

| Chaufferie gaz collective gaz + Solaire thermique | |
|---|-------------------|
| Chaudière à condensation 100kw | 14000 € HT |
| Panneau solaire 45 m ² + Ballon de stockage 500 litres | 19981 € HT |
| TOTAL | 33981 € HT |

| Chaufferie mix granulé bois - gaz | |
|--|-------------------|
| chaudières granulés de bois 50 kw | 16000 € HT |
| Chaudière à condensation 50 kw | 10400 € HT |
| vis | 2181 € HT |
| silo 9T | 4368 € HT |
| TOTAL | 32949 € HT |

| PAC géothermique + CET | |
|--|--------------------|
| Sonde géothermique (20 sondes de 100 m - 100 kw) | 40000 € HT |
| Pompe à chaleur eau/eau 100 kw | 57000 € HT |
| CET - 20 logements | 40000 € HT |
| TOTAL | 137000 € HT |

| Raccordement au réseau de chaleur de Belle Beille | |
|--|------------------|
| Echangeurs de raccordement (Chauffage+ecs) | 7800 € HT |
| Ballon tampon | 900 € HT |
| Raccordement au réseau de chaleur de Belle Beille | Variable |
| TOTAL | 8700 € HT |

Annexe 2 - Coût d'investissement



sce

Aménagement
& environnement

www.sce.fr

GRUPE KERAN