



# *quartier durable* **LAURAGAIS-TOLOSAN**

CASTANET TOLOSAN

**Dossier de création**

**D'une Zone d'Aménagement Concerté**

**Pièce D.2- Etude de faisabilité sur le  
potentiel de développement en énergies  
renouvelables**



ESPACES VERTS



LOGEMENTS



MOBILITÉ



COMMERCES

Conformément à l'article R.311-2 du Code de l'Urbanisme, le dossier de création d'une Zone d'Aménagement Concerté (ZAC) comprend :

D) l'étude d'impact définie à l'article R.122-5 du Code de l'Environnement lorsque celle-ci est requise en application des articles R.122-2 et R.122-3 du même code.

Et en application de l'article L.300-1 du Code de l'Urbanisme toute action ou opération d'aménagement faisant l'objet d'une évaluation environnementale 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.

# SOMMAIRE

|      |                                                                     |    |
|------|---------------------------------------------------------------------|----|
| I.   | DESCRIPTION ET CONTEXTE DU PROJET .....                             | 7  |
| 1.   | Contexte politique.....                                             | 7  |
| 2.   | Contexte du site .....                                              | 10 |
| II.  | POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES.....          | 18 |
| 1.   | L'énergie solaire .....                                             | 18 |
| 2.   | L'énergie géothermique .....                                        | 27 |
| 3.   | La biomasse .....                                                   | 34 |
| 4.   | L'énergie éolienne .....                                            | 40 |
| 5.   | La récupération de chaleur des eaux domestiques.....                | 45 |
| 6.   | Les autres technologies existantes.....                             | 50 |
| III. | PRE-DIMENSIONNEMENT ET SCENARII .....                               | 56 |
| 1.   | Définition des scenarii d'approvisionnement .....                   | 56 |
| 2.   | Hypothèses pour l'analyse .....                                     | 58 |
| 3.   | Analyse économique comparative des différents scénarios.....        | 59 |
| 4.   | Analyse environnementale comparative des différents scénarios ..... | 61 |
| 5.   | Synthèse .....                                                      | 62 |

## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

|            |                                                                                                                                                    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tableau 1  | Tableau climatologique de la station Toulouse-Blagnac de 1981 à 2010 – Source : Météo France 2017                                                  |
| Figure 2   | Rose des vents de la station Toulouse-Blagnac – Source : Météo France 2017 – rapport de présentation PLU 2017                                      |
| Figure 3   | Thermographie aérienne – Source : Sicoval 2013                                                                                                     |
| Figure 4   | Situation géographique du projet dans le territoire communal – source : Commune – fond cartographie Google Earth 2017                              |
| Tableau 5  | Programmation du quartier – Source : Citadia 2017                                                                                                  |
| Figure 6   | Plan masse du scénario retenu – Source : Citadia 2018                                                                                              |
| Tableau 7  | Ratios de besoins utiles (en KWh énergie finale / m <sup>2</sup> / an) par usage – Source : GRDF 2017                                              |
| Tableau 8  | Besoins énergétiques (en MWh énergie finale / an) du quartier durable la Maladie – Source : GRDF 2017                                              |
| Figure 9   | Ensoleillement des façades                                                                                                                         |
| Figure 10  | Mur trombe                                                                                                                                         |
| Figure 11  | Schéma de fonctionnement d'un panneau solaire thermique                                                                                            |
| Figure 12  | Schéma des différents types de panneaux solaires pour les immeubles collectifs                                                                     |
| Tableau 13 | Tableau du prix de rachat en cas de vente totale de l'énergie produite et selon les technologies disponibles - source : BG ingénieurs conseil 2018 |
| Tableau 14 | prime d'investissement (€/Wc) et tarifs d'achat - vente en surplus - SOURCE : BG Ingénieurs Conseil 2018                                           |
| Figure 15  | Carte d'ensoleillement en France – Source : Météo France                                                                                           |
| Figure 16  | Carte du gisement solaire en France – Source ADEME                                                                                                 |
| Tableau 17 | Irradiation solaire à Toulouse – Source TECSOL                                                                                                     |
| Tableau 18 | Estimation de la production d'énergie pour des capteurs solaires installés en toiture – Source : TECSOL                                            |
| Figure 19  | Schéma de géothermie haute-énergie                                                                                                                 |
| Figure 20  | Schéma de géothermie basse énergie                                                                                                                 |
| Figure 21  | Carte des caractéristiques géothermiques de la nappe des sables infra-molassique – Source : Géothermie perspective 2017                            |
| Figure 22  | Schéma de principe des sondes géothermiques verticales ou horizontales                                                                             |
| Figure 23  | Schéma de principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur sur l'eau de nappe                                                                      |
| Figure 24  | Schéma de principe des capteurs géothermiques intégrés aux pieux                                                                                   |
| Figure 25  | Carte des caractéristiques géothermiques de la nappe alluvionnaire - Source : Géothermie perspective 2017                                          |
| Figure 26  | Différentes matières mobilisables pour la biomasse – Source : ADEME                                                                                |
| Figure 27  | Différentes familles de cogénérations – Source : GRDF                                                                                              |
| Figure 28  | Ressource forestière sur le département de la Haute-Garonne – Source : Inventaire forestier IGN 2017                                               |
| Figure 29  | Ressource forestière sur le département de la Haute-Garonne – Source : Inventaire forestier IGN 2017                                               |
| Figure 30  | Eoliennes à axe vertical et horizontal                                                                                                             |
| Tableau 31 | Tarif de rachat de l'électricité produite par l'énergie éolienne – Source : arrêté du 10 juillet 2006                                              |
| Figure 32  | Eoliennes urbaines                                                                                                                                 |
| Figure 33  | Distribution de la direction du vent sur l'année à la station Toulouse-Blagnac – Source : Windfinger 2017                                          |
| Figure 34  | Communes situées en zone favorable au développement de l'éolien – Source : SRE 2016                                                                |

|              |                                                                                                        |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Figure 35    | Schéma de fonctionnement de la technologie à eaux grises                                               |
| Figure 36    | Schéma de fonctionnement de la technologie recoh HT                                                    |
| Figure 37    | Principe de récupération de chaleur sur les eaux usées – Source : SUEZ                                 |
| Figure 38    | Principe de récupération de chaleur sur les eaux usées à l'échelle d'un bâtiment – Source : Biofluides |
| Figure 39    | Installations de récupération de chaleur sur évacuation d'eaux usées – Source : Powerpipe              |
| Figure 40    | Principe de fonctionnement de la méthanisation                                                         |
| Figure 41    | Emplacement du projet vis-à-vis de la STEP – Source : GRDF                                             |
| Figure 42    | Hydroliennes implantées dans un fleuve                                                                 |
| Tableau 43   | Scénarii d'emploi des énergies renouvelables – Source : GRDF 2017                                      |
| Tableau 44   | Coûts d'investissements et subventions mobilisables par scénario – Source : Citadia 2017               |
| Tableau 45   | Coûts d'exploitation par logement - Source : Citadia 2017                                              |
| Tableau 46   | Coûts global par scénario - Source : Citadia 2017                                                      |
| Graphique 47 | Coûts global par scénario - Source : Citadia 2017                                                      |
| Tableau 48   | Analyse environnementale comparative des différents scénario – Source : Citadia 2017                   |
| Figure 49    | Comparaison de consommation d'énergie primaire pour produire du gaz ou de l'électricité                |
| Tableau 50   | Synthèse par scénario - Source : Citadia 2017                                                          |

# DESCRIPTION ET CONTEXTE DU PROJET



ESPACES VERTS



LOGEMENTS



MOBILITÉ



COMMERCES

## I. DESCRIPTION ET CONTEXTE DU PROJET

La présente « Etude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables » a été réalisée conformément à l'article L.300-1 du Code de l'Urbanisme. Le rapport présente :

- Les besoins énergétiques futurs du quartier,
- Les énergies renouvelables potentiellement mobilisables localement,
- Les scénarios de développement de ces énergies renouvelables sur le site,
- Des éléments d'analyse comparative (économique et environnementale).

### 1. Contexte politique

#### 1.1. Des enjeux internationaux à intégrer localement

A l'heure où les questions énergétiques et climatiques deviennent des enjeux majeurs à l'échelle planétaire, leur gestion représente un véritable défi. Le réchauffement climatique et la raréfaction des ressources naturelles, notamment fossiles, sont aujourd'hui, de réelles problématiques qui nécessitent la mise en place d'actions concrètes et durables. Au fur et à mesure de la prise de conscience de ces enjeux, les pouvoirs publics ont instauré des objectifs à atteindre afin de permettre l'atténuation de ces phénomènes. Ces ambitions, définies à différentes échelles d'intervention (mondiale, nationale, régionale, communale...), se sont vues déclinées en stratégies contextualisées à chaque territoire à travers notamment, l'adoption de lois cadres et l'élaboration de documents de planification. Le projet d'aménagement du quartier durable Lauragais-Tolosan est à ce titre soumis à des exigences environnementales. Il doit répondre aux textes réglementaires et aux ambitions régionales et locales qui ont fait de la politique énergétique une politique prioritaire.

#### 1.2. Un cadre réglementaire structurant

Depuis le sommet de Rio de 1992, les réglementations visant à diminuer les consommations énergétiques et à développer les énergies renouvelables se sont multipliées, incitant les différents acteurs (publics et privés) et les citoyens à entreprendre et développer des actions concrètes sur leur territoire.

A l'échelle nationale, la loi de programme applicable sur le territoire français découle de la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. Définitivement adoptée le 3 août 2009, elle « *fixe les objectifs, définit le cadre d'action, organise la gouvernance à long terme et énonce les instruments de la politique mise en œuvre pour lutter contre le changement climatique* ». En matière énergétique, elle confirme les engagements précédents, notamment concernant le facteur 4 à l'horizon 2012, la part de 23% des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie en 2020, la réduction de 20% des émissions de gaz à effet de serre dans les transports, la consommation maximale de 50 kWh/m<sup>2</sup>/an en 2013 (57,5 kWh/m<sup>2</sup>/an pour les bâtiments collectifs d'habitation jusqu'en 2019 pour obtenir en 2020 des bâtiments à énergie positive) et la baisse d'au moins 38% des consommations énergétiques dans les bâtiments existants d'ici 2020. La loi Grenelle 2, adoptée le 12 juillet 2010 complète quant à elle, la loi Grenelle 1, en définissant les mesures à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs fixés précédemment.

La Loi relative à la Transition Energétique pour la Croissance Verte (LTECV) publiée au Journal Officiel du 18 août 2015, ainsi que les plans d'action qui l'accompagnent, visent à permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et à la préservation de l'environnement, ainsi que de renforcer son indépendance énergétique tout en offrant à ses entreprises et ses citoyens l'accès à l'énergie à un coût compétitif.

Pour donner un cadre à l'action conjointe des citoyens, des entreprises, des territoires et de l'État, la loi fixe des objectifs à moyen et long termes :

- **Réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 (facteur 4).** La trajectoire est précisée dans les budgets carbone ;
- **Réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence 2012** en visant un objectif intermédiaire de 20 % en 2030 ;
- **Réduire la consommation énergétique primaire d'énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à la référence 2012 ;**
- **Porter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % de la consommation finale brute d'énergie en 2030 ;**
- Porter la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50 % à l'horizon 2025 ;
- **Atteindre un niveau de performance énergétique conforme aux normes « *bâtiment basse consommation* » pour l'ensemble du parc de logements à 2050 ;**
- Lutter contre la précarité énergétique ;
- Affirmer un droit à l'accès de tous à l'énergie sans coût excessif au regard des ressources des ménages ;
- Réduire de 50 % la quantité de déchets mis en décharge à l'horizon 2025 et découpler progressivement la croissance économique et la consommation de matières premières.

Elle souhaite ainsi aller plus loin que la RT 2012, et prévoit dès 2018, l'ajout d'exigences portant sur le calcul des émissions de gaz à effet de serre, un calcul des consommations d'énergie et de ressources sur l'ensemble du cycle de vie, ainsi qu'une incitation à recourir aux énergies renouvelables pour couvrir et compenser les besoins des bâtiments.

En parallèle, divers documents cadres réalisés aux différentes échelles d'intervention ont été élaborés et viennent encadrer tout nouveau projet d'aménagement. Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE) de la région Midi-Pyrénées (avant fusion) contient 5 objectifs pour atteindre les objectifs du Facteur 4. Les principaux objectifs du SRCAE à l'horizon 2020 sont les suivants :

- Réduire les consommations énergétiques (sobriété et efficacité) :
  - Bâtiments : -15 % (entre 2005 et 2020)
  - Transports : -10 % (entre 2005 et 2020)
  - Réduire d'ici 2020 au moins de moitié le nombre de nouvelles constructions implantées à l'extérieur des tâches urbaines par rapport au rythme actuel
- Réduire les émissions de gaz à effet de serre :
  - Bâtiments : -25 % (entre 2005 et 2020)
  - Transports : -13 % (entre 2005 et 2020)



- Réduire le rythme d'artificialisation des sols au moins de moitié au niveau régional par rapport à celui constaté entre 2000 et 2010
- Agriculture et industrie : fixé d'ici mi-2014.
- Développer la production d'énergies renouvelables :
  - Augmenter de 50 % la production d'énergies renouvelables entre 2008 et 2020. Ainsi, la part des énergies renouvelables en Midi-Pyrénées devrait se situer entre 34 et 43 % de la consommation finale.
- Prévenir et réduire la pollution atmosphérique :
  - Respecter les valeurs limites de qualité de l'air pour les oxydes d'azote et les particules, et les valeurs cibles pour l'ozone, dès que possible, et en toutes hypothèses avant 2020
  - Tendre vers un respect des objectifs de qualité
  - Contribuer à l'objectif national de réduction de 40 % des émissions d'oxyde d'azote d'ici 2015
  - Contribuer à l'objectif national de réduction de 30 % des particules fines à l'horizon 2015.
- Adapter les territoires et les activités socio- économiques face aux changements climatiques.

Le projet d'aménagement du quartier durable du Lauragais-Tolosan s'inscrit donc dans le cadre de ces objectifs.

## 2. Contexte du site

### 2.1. Le climat

Castanet-Tolosan, à proximité de Toulouse, ne dispose pas de station météorologique permettant de caractériser le climat avec précision, sur le territoire de la commune. La station de mesure de Météo France la plus proche du site (contexte et distance) est celle de Toulouse-Francazal.

#### Les températures et les précipitations

Pour la période 1981-2010, les données Météo-France sont présentées ci-dessous :

Tableau climatologique de Toulouse-Blagnac (période : 1981-2010).

| Mois                              | jan.  | fév.  | mars  | avril | mai   | juin  | juil. | août  | sep. | oct.  | nov. | déc. | année   |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|---------|
| Température minimale moyenne (°C) | 2,4   | 3     | 5     | 7,1   | 10,9  | 14,3  | 16,5  | 16,5  | 13,4 | 10,5  | 5,8  | 3,2  | 9,1     |
| Température moyenne (°C)          | 5,9   | 7     | 9,7   | 11,9  | 15,9  | 19,6  | 22    | 21,9  | 18,9 | 14,9  | 9,5  | 6,5  | 13,6    |
| Température maximale moyenne (°C) | 9,5   | 11,1  | 14,5  | 17    | 21    | 25,2  | 28    | 27,9  | 24,6 | 19,5  | 13,3 | 9,9  | 18,5    |
| Record de froid (°C)              | -18,6 | -19,2 | -8,4  | -3    | -0,8  | 4     | 7,6   | 5,5   | 1,9  | -3    | -7,5 | -12  | -19,2   |
| Record de chaleur (°C)            | 21,2  | 22,1  | 27,1  | 30    | 33,4  | 39,8  | 40,2  | 44    | 35,3 | 30,8  | 24,3 | 21,1 | 44      |
| Ensoleillement (h)                | 92,5  | 115   | 175,1 | 186,1 | 209,2 | 227,6 | 252,6 | 238,8 | 204  | 149,2 | 96   | 85,3 | 2 031,3 |
| Précipitations (mm)               | 51,3  | 41,6  | 49,1  | 69,6  | 74    | 60,3  | 37,7  | 46,8  | 47,4 | 57    | 51,1 | 52,4 | 638,3   |

Tableau 1 - TABLEAU CLIMATOLOGIQUE DE LA STATION TOULOUSE-BLAGNAC DE 1981 A 2010 - SOURCE : METEO France 2017

La commune jouit d'un climat méditerranéen, caractérisé par un été très sec et chaud, un automne bien ensoleillé, un hiver doux et un printemps marqué par de forte pluies et orages violents. Avec 625,6 mm de précipitations par an, la commune se situe en-dessous de la moyenne nationale de 770 mm/an.

#### Le vent

La rose des vents pour la station de Toulouse-Blagnac est la suivante :

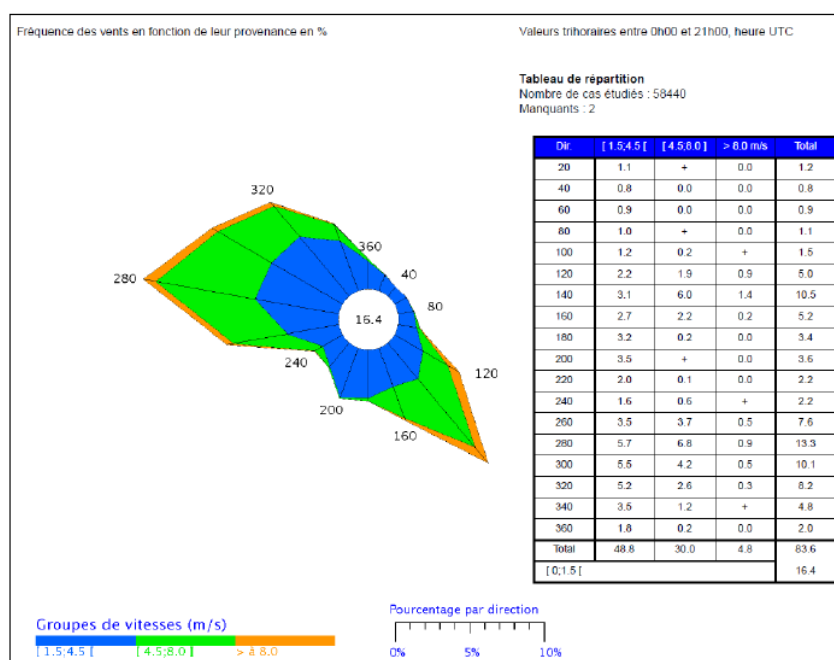


Figure 2 - ROSE DES VENTS DE LA STATION TOULOUSE-BLAGNAC - SOURCE : RAPPORT DE PRESENTATION DU PLU 2017

Les vents dominants sur la région toulousaine proviennent majoritairement du Sud-Est (vent d'Autan) et de l'Ouest/Nord-Ouest. 4,8 % des vents observés ont une force supérieure à 8 m/s et 49 % ont une force comprise entre 1,5 m/s et 4,5 m/s.

Le nombre de jours moyen de vent avec rafales (force supérieure à 16 m/s) est de 52 par an entre 1981 et 2010.

## 2.2. Desserte énergétique actuelle du quartier

Le secteur d'étude est à proximité de plusieurs lignes 20 KV permettant de couvrir les besoins du projet.

Entre 6 et 10 postes de transformation publics seront à intégrer dans le projet, afin de distribuer la basse tension.

En terme de réseau gaz naturel, plusieurs tubes du réseau GrDF 4 bars sont présents à proximité immédiate. GrDF a confirmé la possibilité d'alimenter la zone, à partir de ces réseaux.

## 2.3. Consommations énergétiques du site

Sur le territoire du SICOVAL, les déperditions de chaleur au niveau de la toiture ont été mesurées selon la méthode de la thermographie aérienne en février 2013.

Sur la zone d'études, les quelques bâtiments présents montrent très peu de déperditions à l'exception des maisons au Sud-Ouest, le long de l'avenue du Lauragais.

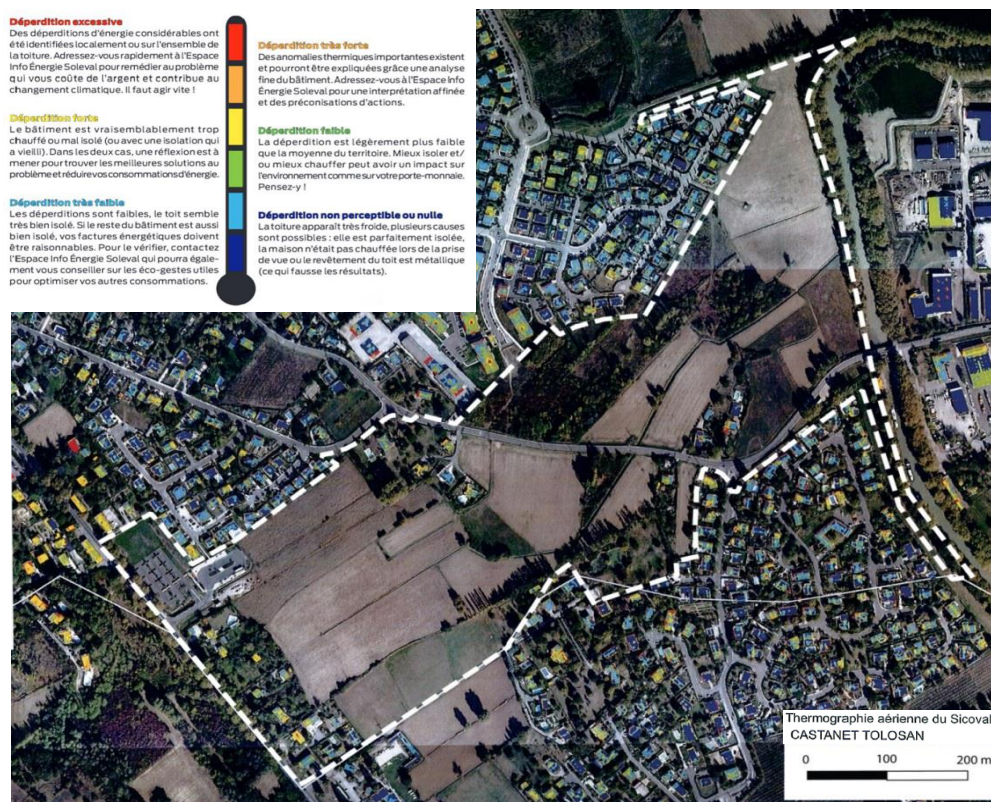


Figure 3 - THERMOGRAPHIE AERIENNE - SOURCE : SICOVAL 2013

## 2.4. Programmation et organisation spatiale du projet

Le périmètre d'intervention se trouve au Sud de la commune de Castanet-Tolosan, en limite avec celle de Péchabou. La surface de la zone est d'environ 35.2 hectares, allant de la RD 813 au canal du Midi.

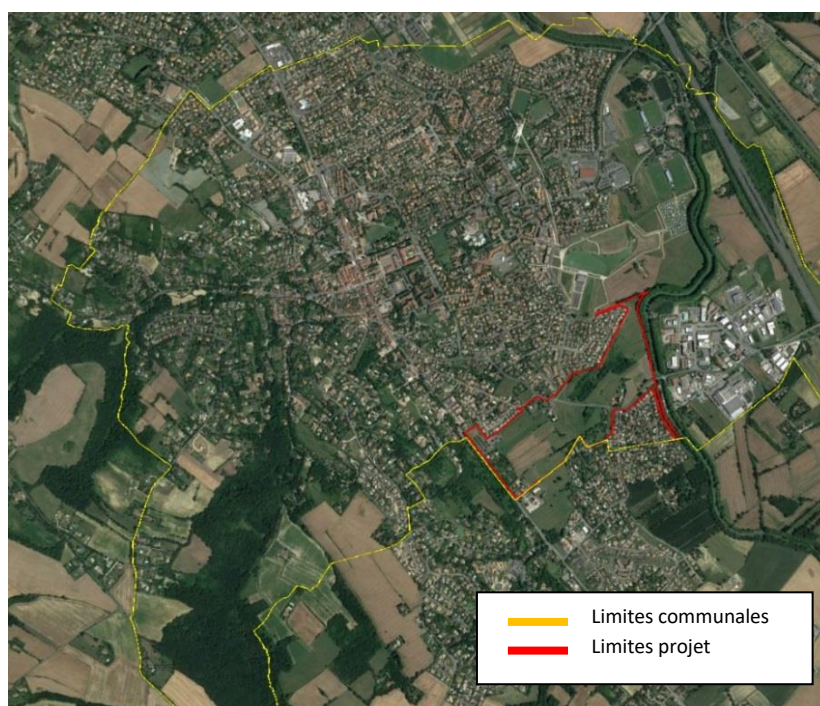


Figure 4 - SITUATION GEOGRAPHIQUE DU PROJET DANS LE TERRITOIRE COMMUNAL -  
SOURCE : COMMUNE - FOND CARTOGRAPHIQUE GOOGLE EARTH 2017

L'opération d'aménagement de la commune devra permettre la réalisation d'un quartier durable sur une réserve foncière de 35,2ha quasiment dépourvu d'urbanisation et liant, par une continuité de structures et de bâtis, deux communes limitrophes. Ainsi ce projet permettra d'augmenter l'offre de logements et de diversifier son parc afin d'être conforme au Programme Local de l'Habitat (PLH) et au Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT) de la grande agglomération toulousaine.

| Vocation                           | Nombre de logements | Nombre de bâtiments | Surface de plancher (en m²) |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Logements collectifs               | 1666                | 76                  | 116525                      |
| Logements intermédiaires (R+1/R+2) | 90                  | 45                  | 9309                        |
| Logements individuels              | 34                  | 34                  | 3672                        |
| Commerces                          | -                   | 20                  | 7864                        |
| Crèche                             | -                   | 1                   | 567                         |
| Bureaux                            | -                   | 10                  | 4049                        |
| Gymnase                            | -                   | 1                   | 1850                        |
| Groupe Scolaire                    | -                   | 1                   | 3800                        |
| Total                              |                     |                     | <b>147636</b>               |
| Total suite reprise du dossier     |                     |                     | <b>146681</b>               |

Tableau 5 - PROGRAMMATION DU QUARTIER – SOURCE : CITADIA 2017 –CITADIA2019

La commune souhaite intégrer dans cet aménagement des préconisations sociales, environnementales et énergétiques fortes, au-delà des aspects strictement règlementaires, afin de réaliser un aménagement respectueux des finalités du Développement Urbain Durable (DUD), et répondant par-là aux objectifs d'un « éco-quartier ».





Figure 6 - PLAN MASSE DU SCENARIO RETENU – SOURCE : CITADIA 2018

## 2.5. Les besoins énergétiques associés

### Niveau de performance énergétique retenu

La RT2012, prévue par le Grenelle de l'environnement, et le label BBC étaient destinés à diminuer fortement la consommation énergétique des constructions en limitant le chauffage, la climatisation, l'éclairage, l'eau chaude sanitaire et la ventilation. Etant donné le calendrier prévisionnel de livraison du projet, le niveau de performance considéré est la **future Réglementation Environnementale RE 2018/2020**.

Bien qu'aucun texte ne soit paru concernant la prise en compte de cette réglementation aujourd'hui, la RE 2018 prendra en compte deux notions nouvelles par rapport à la RT 2012 :

- **Bilan Energie** : Il correspond à l'énergie consommée, importée du réseau, ajoutée à la consommation domestique auxquelles il faut soustraire l'énergie électrique produite et autoconsommée, éventuellement réinjectée dans le réseau. Au total, 4 seuils sont envisagés, de E1 à E4. Le seuil 4 est le plus vertueux, le seuil 2 est une bonne moyenne.
- **Analyse du Cycle de Vie** : Il s'agit de prendre en compte l'impact des matériaux et des équipements permettant de construire, de renouveler, de faire fonctionner le bâtiment ainsi que l'impact de la consommation énergétique. Le bilan ACV correspond au bilan de la construction ajoutée au bilan de l'exploitation (sur 50 ans). Il existera 2 seuils : Carbone 1 et Carbone 2 (le plus vertueux).

Le calcul des besoins des nouvelles constructions se base sur des ratios de besoins utiles par m<sup>2</sup> pour des constructions ayant une isolation leur permettant de respecter la future réglementation. Les hypothèses de besoins énergétiques sont des hypothèses de besoin « réels » : les retours sur les constructions RT 2005 BBC et RT 2012 ont montré que les consommations d'énergie réelles étaient souvent supérieures à celles estimées dans les calculs réglementaires. Les hypothèses retenues sont donc supérieures à celles que l'on peut retrouver dans les calculs réglementaires.

Il est aussi à noter qu'en première approche, les besoins énergétiques des logements collectifs et intermédiaires pris en compte sont identiques. Ces besoins pourront être affinés en fonction de l'architecture et notamment de la compacité des bâtiments présents sur le quartier durable du Lauragais-Tolosan.

Ces ratios, présentés dans le tableau ci-dessous, ont été estimés :

- Sur la base des données climatiques du secteur,
- Pour les usages de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire (ECS) et de climatisation.

| <b>Ratios de besoins utiles<br/>en KWh énergie finale /<br/>m<sup>2</sup> / an</b> | <b>Chauffage</b><br>En kWh / m <sup>2</sup> /<br>an | <b>ECS</b><br>En kWh / m <sup>2</sup> /<br>an | <b>Froid</b><br>En kWh / m <sup>2</sup> /<br>an | <b>Ventilation,<br/>Eclairage,<br/>Auxiliaire</b><br>En kWh / m <sup>2</sup> /<br>an |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Logement collectif/intermédiaire                                                   | 10                                                  | 21                                            | 0                                               | 5                                                                                    |
| Logement individuel                                                                | 24                                                  | 13                                            | 0                                               | 5                                                                                    |
| Commerces                                                                          | 16                                                  | 8                                             | 20                                              | 10                                                                                   |
| Crèches                                                                            | 27                                                  | 5                                             | 0                                               | 10                                                                                   |
| Bureaux                                                                            | 14                                                  | 4                                             | 30                                              | 10                                                                                   |
| Gymnase                                                                            | 30                                                  | 13                                            | 0                                               | 10                                                                                   |
| Groupe scolaire                                                                    | 27                                                  | 5                                             | 0                                               | 10                                                                                   |

Tableau 7 - RATIOS DE BESOINS UTILES (EN KWH ENERGIE FINALE / M<sup>2</sup> / AN) PAR USAGE - SOURCE : GRDF 2017

La conception optimisée des projets permettra de réduire leur impact environnemental en limitant les consommations d'énergie grise.

### Estimation des besoins énergétiques

Sur la base de ces hypothèses, les besoins énergétiques sont estimés à 5 912 MWh/an pour la chaleur (Chauffage + ECS) et à 297 MWh/an pour le froid sur l'ensemble du projet.

| <b>Besoin énergétique en<br/>MWh énergie finale / an</b> | <b>Chauffage</b> | <b>ECS</b>  | <b>TOTAL<br/>chaud</b> | <b>Froid</b> |
|----------------------------------------------------------|------------------|-------------|------------------------|--------------|
| Logement collectif                                       | 1485             | 3368        | 4853                   | 0            |
| Logement intermédiaire                                   | 119              | 269         | 388                    | 0            |
| Logements individuels                                    | 92               | 55          | 147                    | 0            |
| Commerces                                                | 134              | 78          | 212                    | 169          |
| Crèche                                                   | 16               | 3           | 19                     | 0            |
| Bureaux                                                  | 58               | 21          | 79                     | 128          |
| Gymnase                                                  | 58               | 28          | 86                     | 0            |
| Groupe scolaire                                          | 108              | 20          | 128                    | 0            |
| <b>TOTAL</b>                                             | <b>1906</b>      | <b>3796</b> | <b>5912</b>            | <b>297</b>   |

Tableau 8 - BESOINS ENERGETIQUES (EN MWH ENERGIE FINALE / AN) DU QUARTIER DURABLE LAURAGAIS-TOLOSAN - SOURCE : GRDF 2017

*Compte tenu des enjeux environnementaux, le projet a été repris. Les surfaces de plancher du projet ont été ajustées et ont légèrement diminué de 955 m<sup>2</sup> (la répartition des vocations est restée similaire entre les deux versions). Les besoins de consommation et production énergétique présentés dans cette étude sont donc dimensionnés par rapport aux besoins réels du quartier.*



# POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES



ESPACES VERTS



LOGEMENTS



MOBILITÉ



COMMERCES

## II. POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES

Nous présentons dans cette partie les différentes sources d'énergies renouvelables qui pourraient être mobilisées pour l'alimentation du projet en chaleur.

### 1. L'énergie solaire

L'énergie solaire peut être valorisée à travers divers dispositifs :

- La **conception adaptée des bâtiments**, qui permet **d'exploiter au mieux les apports solaires naturels** pour couvrir les besoins de chauffage ;
- Les **panneaux solaires thermiques** qui peuvent être utilisés pour la **production d'eau chaude sanitaire**, pour le chauffage des constructions ou encore pour la production de froid. Leur fonctionnement consiste à capter la chaleur d'une partie des rayonnements solaires qu'ils reçoivent (l'autre partie étant réfléchi) et à la transférer à un fluide caloporteur ;
- Les **panneaux photovoltaïques** qui permettent de convertir la lumière en électricité.

#### 1.1. Solaire passif

Le solaire passif regroupe les solutions, essentiellement constructives, qui utilisent passivement l'énergie du soleil pour le chauffage des locaux en hiver. Quel que soit la conception des bâtiments, ces derniers bénéficient d'une part de solaire passif, le tout étant d'optimiser l'apport solaire passif pour en retirer le plus de bénéfices. Afin que le recours à ce solaire passif soit pertinent, il faut pouvoir en bénéficier en hiver mais s'en prémunir en été pour éviter les surchauffes dans le bâtiment et donc des consommations énergétiques pour son rafraîchissement plus importantes.

La démarche d'utilisation de l'énergie solaire passive peut être décrite en plusieurs étapes :

- Recul suffisant entre les bâtiments ou parties du bâtiment lui-même (patios) pour permettre un accès au soleil jusqu'aux façades des étages bas ;
- Ouverture de la façade au Sud, Est et Ouest pour profiter au maximum des apports solaires passifs captés par les surfaces vitrées ou grâce à des dispositifs comme un mur trombe.

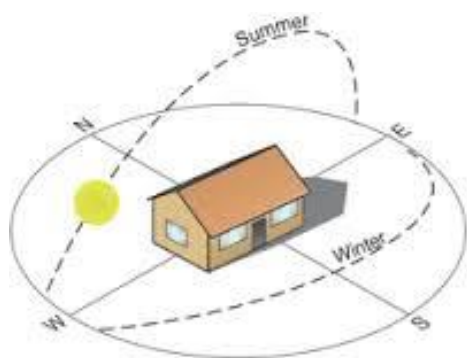


Figure 9 - ENSOLEILLEMENT DES FAÇADES

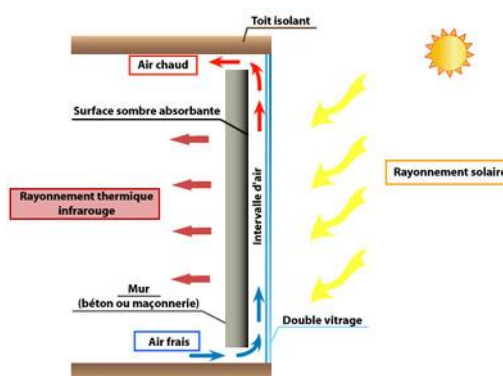


Figure 10 - MUR TROMBE

Ces techniques de construction sont uniquement des optimisations de la conception et n'engendrent aucun surcoût particulier à l'échelle d'un projet.

## 1.2. Solaire thermique

### Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du solaire thermique consiste à utiliser l'énergie provenant du rayonnement solaire pour la convertir en énergie thermique. Il permet de récupérer l'énergie solaire grâce à un fluide caloporteur qui circule dans les capteurs. Par l'intermédiaire d'un échangeur thermique, l'énergie est transférée dans le ballon solaire pour préchauffer l'eau froide. Une énergie d'appoint apporte le complément d'énergie si l'ensoleillement n'est pas suffisant. Un thermostat associé à cet appoint permet de garantir le maintien de la température de sortie de l'eau à la consigne désirée.

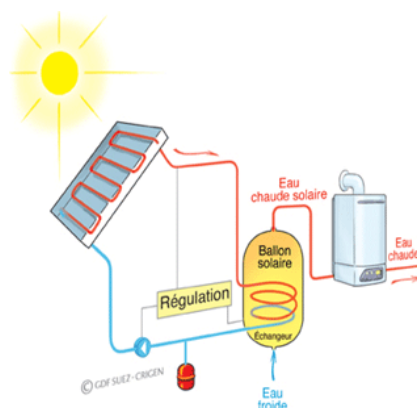


Figure 11 - SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UN PANNEAU SOLAIRE THERMIQUE

### Echelle d'exploitation

Le solaire thermique est une énergie valorisable à l'échelle du bâtiment. Cette technologie est pertinente dès lors que les besoins d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) sont importants et stables. C'est notamment le cas pour les logements, pour certains équipements publics (crèches, hôpitaux, etc.) ou pour les hôtels. Diverses solutions techniques existent aujourd'hui, que ce soit pour les maisons individuelles ou les logements collectifs :



- Pour les maisons individuelles** : Des systèmes de production solaire optimisés sont disponibles. Ces systèmes présentent une efficacité comparable à un système de production solaire classique (jusqu'à 50 % de couverture des besoins d'ECS), mais moins de contraintes techniques et économiques : surface de panneaux solaires et taille du ballon de stockage réduites, et par conséquent coût d'investissement plus faible (3 000 à 3 500 euros posé fourni).
- Pour les immeubles collectifs**, plusieurs types de solutions sont possibles. Elles couvrent jusqu'à 50 % des besoins d'ECS du bâtiment. Le coût de revient est d'environ 1 500 euros par logement. Ces technologies sont éligibles au Fonds Chaleur.
- Pour les bâtiments nécessitant un grand volume d'ECS disponible rapidement (ex. : hôtel)**, on privilégiera le CESCO, qui permet de bénéficier d'une meilleure disponibilité en eau chaude grâce à un ballon tampon positionné au plus près du point de puisage, ceci permettant d'apporter un plus grand confort aux habitants/utilisateurs du bâtiment.

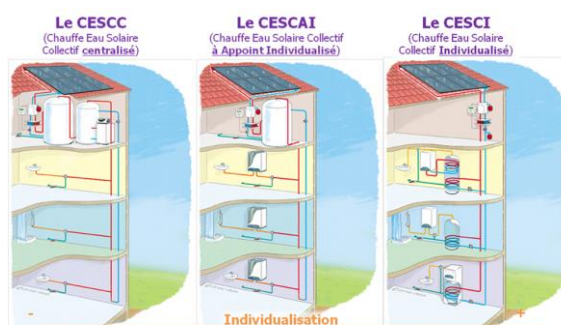


Figure 12 - SCHEMA DES DIFFERENTS TYPES DE PANNEAUX SOLAIRES POUR LES IMMEUBLES COLLECTIFS

## Coût global de la technologie

Le coût d'investissement d'une installation solaire varie selon la technologie choisie. En considérant le coût des travaux et celui des études d'ingénierie pour la conception et l'installation d'un chauffe-eau solaire collectif, le coût global s'élève, pour des bâtiments neufs, à :

- 1 500 € HT/m<sup>2</sup> pour une installation d'une taille inférieure à 50 m<sup>2</sup> ;
- 1 000 € HT/m<sup>2</sup> pour une installation d'une taille inférieure à 100 m<sup>2</sup> ;
- 800 € HT/m<sup>2</sup> pour une installation d'une taille supérieure à 100 m<sup>2</sup>.

Pendant la phase d'exploitation, les coûts d'entretien sont évalués à environ 300 €/an pour une installation de taille supérieure à 100 m<sup>2</sup>. Ils sont forfaitaires et ne dépendent pas réellement de la puissance installée.

### Subventions (source ADEME 2018)

L'ADEME subventionne ce type d'installation par le biais du « *Fonds Chaleur* ». Celui-ci est calculé en fonction du nombre de tonnes équivalent pétrole (TEP) évitées. Une TEP est équivalente à 11 630 kWh. Cette aide est soumise à certaines conditions. En effet, le Fonds Chaleur se focalise prioritairement sur les installations de chauffe-eau solaires collectifs (CESC) pour les secteurs suivants :

- Le logement collectif et, par extension, tout hébergement permanent ou de longue durée avec des besoins similaires en eau chaude sanitaire (secteur hospitalier et sanitaire, structures d'accueil, maisons de retraite...) ;
- Le tertiaire privé comprenant les hôtels et hôtels de plein air à usage non saisonnier, les piscines collectives, les restaurants, les cantines d'entreprises ainsi que les activités agricoles et industrielles consommatrices d'eau chaude.

Les aides Fonds Chaleur sont octroyées « *aux projets optimisés* » qui répondent à un certain nombre de critères, comme notamment la surface de capteurs minimum (25 m<sup>2</sup>), la productivité minimum par m<sup>2</sup>, ainsi que la mise en place systématique d'une procédure de monitoring de l'installation.

D'autres aides existent également : différentes réductions en provenance de l'Etat (crédit d'impôt, taux de TVA réduit), de la banque (éco-prêt à taux zéro), de l'ANAH, ou encore de la Région, Département ou Commune (offres 2017).

## 1.3. La climatisation solaire

### Présentation de la technologie :

La climatisation solaire peut être utilisée pour des bâtiments tertiaires dès lors que la conception implique la mise en œuvre d'un système de rafraîchissement.

Dans le cadre de la réalisation d'un projet d'aménagement, les capteurs solaires « *sous vides* » sont à privilégier. Ce type de système fonctionnant à une température avoisinant les 100°C, le fluide caloporteur présent dans ce type de capteurs permet de supporter la montée en température

nécessaire à l'atteinte de la température optimale. Deux systèmes, les plus courants, peuvent être envisagés :

- Les systèmes fermés à absorption : de l'eau glacée est produite par un groupe froid à absorption, utilisable dans une centrale de traitement d'air ou dans un réseau d'eau glacée alimentant des installations décentralisées.
- Les systèmes ouverts dans lesquels l'air est directement traité en fonction du confort souhaité.

### Coût global de la technologie

Le coût d'investissement d'une installation de climatisation solaire est d'environ 1 500 € HT/m<sup>2</sup> de capteurs solaires (système à absorption avec capteurs sous vides). Cette estimation est basée sur les quelques retours d'expérience de réalisations en Europe.

Les coûts d'entretien pour la phase d'exploitation sont difficilement quantifiables, étant donné le peu de retour d'expérience.

### Subventions

Aucune aide spécifique à la climatisation solaire n'existe actuellement. Néanmoins, les quelques projets réalisés en Europe ont bénéficié d'aides ponctuelles de l'ADEME, de l'Union Européenne et d'EDF.

## 1.4. Le solaire photovoltaïque

### Présentation de la technologie

Le solaire photovoltaïque utilise le rayonnement solaire pour produire de l'électricité. La production peut être soit utilisée pour couvrir directement une partie des besoins en électricité des bâtiments sur lesquels sont positionnés les capteurs (système autonome), soit réinjectée dans le réseau (lorsque le système y est raccordé) ou encore stockée (système encore peu développé).

Dans le cadre de la réalisation d'un projet d'aménagement en milieu urbain, le choix de la seconde option semble plus pertinent étant donné que les systèmes autonomes sont plus rentables dans le cas d'habitations isolées (rentabilité supérieure lorsque l'électricité est réinjectée dans le réseau).



Différents systèmes et modules existent sur le marché pour la production d'électricité par photovoltaïque :

- Les modules solaires monocristallins : ils possèdent un meilleur rendement au m<sup>2</sup> (18-19 %), et sont essentiellement utilisés lorsque les espaces sont restreints. Le coût, plus élevé que celui d'une autre installation de même puissance, limite le développement de cette technique.
- Les modules solaires polycristallins : actuellement, ils présentent le meilleur rapport qualité/prix et sont les plus utilisés. Ils ont un bon rendement (15-16 %) et une durée de vie importante (plus de 35 ans). Ils présentent l'avantage de pouvoir être produits à partir du recyclage de déchets électroniques.
- Les modules solaires amorphes : ces modules ont un avenir prometteur car ils peuvent être souples et ont une meilleure production lorsque l'ensoleillement est faible. Le silicium amorphe possède un rendement divisé moindre par rapport aux systèmes cristallins (8 %), ce qui nécessite plus de surface pour la même puissance installée. Toutefois, le prix au m<sup>2</sup> installé est plus faible que pour des panneaux solaires composés de cellules.
- Les modules solaires en couche mince : ces modules ont un rendement moyen (12 %) mais des coûts de production plus faibles que les panneaux cristallins.

### **Echelle d'exploitation**

Le solaire photovoltaïque peut être valorisé à l'échelle du bâtiment. La proportion de surface de toiture nécessaire pour obtenir une production conséquente d'électricité est plus importante que celle nécessaire pour obtenir une production d'ECS satisfaisante avec du solaire thermique. Il est donc pertinent de développer le solaire photovoltaïque sur d'importantes surfaces de toiture.

### **Coût global de la technologie**

Le coût d'investissement diminue en fonction de la puissance totale installée, mais également en fonction du cadre réglementaire. Celui-ci évoluant très vite, il est difficile de connaître avec certitude le coût d'une installation d'ici 1 à 2 ans.

A titre indicatif, les coûts donnés par l'ADEME se situent dans les tranches suivantes :

- entre 2,7 et 3,7 euros HT/W pour des systèmes de puissance nominale inférieure à 10 kW, selon le niveau d'intégration au bâtiment des modules ;
- de l'ordre de 2 euros HT/W pour un système de moyenne puissance supérieure à 36 kW, installé sur une grande surface de toiture (toitures commerciales, industrielles, agricoles) ;
- de l'ordre de 1,6 euros HT/W pour une centrale au sol de puissance supérieure à 1 MW.

Si le choix d'exploitation de l'énergie photovoltaïque se porte sur un raccordement au réseau, le prix est différent. Ce coût n'est pas forcément proportionnel à la puissance que l'on souhaite raccorder car il dépend de la faisabilité et de la facilité du raccordement. En effet, la proximité du poste source joue considérablement sur le coût global ; ainsi une petite installation nécessitant de grands travaux pour le raccordement aura un coût bien supérieur à celui d'une installation plus conséquente mais localisée à une distance plus proche (pouvant aller de 1 000€ à plusieurs dizaines de milliers d'euros).

Le coût d'exploitation est lié principalement à la maintenance des modules (nettoyage, intervention...).



A titre d'exemple, la maintenance d'une installation d'environ 200 kWc (correspond à la puissance que le module peut délivrer dans des conditions optimales de fonctionnement - ensoleillement de 1 000 W/m<sup>2</sup> et température de 25°C) nécessite un coût d'exploitation estimé à 6 000 €/an.

Le coût global et les revenus générés d'une installation photovoltaïque dépendent également du coût de rachat de l'électricité par EDF. Un arrêté relatif au tarif d'achat de l'énergie photovoltaïque a été examiné le 1er juillet 2012 par la Commission de Régulation de l'Energie instituant le réajustement (à la baisse) du tarif chaque trimestre en fonction du volume de projets déposés durant le trimestre passé.

### Tarif de rachat

Les tarifs applicables pour les installations sur toiture dépendent de la puissance crête et du degré d'intégration au bâti des installations. Ils sont indexés chaque trimestre selon le volume de projets entrés en file d'attente au trimestre précédent.

Au-delà de 100 kWc, les tarifs sont octroyés par appels d'offres.

Le dispositif de soutien au photovoltaïque prévoit des tarifs d'achat, ajustés chaque trimestre.

Les tarifs d'achats photovoltaïques sont garantis sur une durée de 20 ans et permettent de rentabiliser l'installation de panneaux solaires photovoltaïques. Il existe plusieurs niveaux de tarifs en fonction de la nature et de la puissance de l'installation.

A ce jour, les prix de rachat en cas de vente totale de l'énergie produite et selon les technologies disponibles, sont les suivants :

| Type de tarif | Type de l'installation                                          | Puissance totale (P+Q) | du 01/10/17 au 31/12/17 | du 01/01/18 au 31/03/18 |
|---------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Tarif dit Ta  | Intégration au bâti                                             | ≤ 3 kWc                | 18,48+3,00=21,48        | 18,44+2,25=20,69        |
|               |                                                                 | ≤ 9 kWc                | 15,71+3,00=18,71        | 15,67+2,25=17,92        |
|               | Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation | ≤ 3 kWc                | 18,48                   | 18,44                   |
|               |                                                                 | ≤ 9 kWc                | 15,71                   | 15,67                   |
| Tarif dit Tb  | Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation | ≤ 36 kWc               | 12,07                   | 12,07                   |
|               |                                                                 | ≤ 100 kWc              | 11,36                   | 11,26                   |
|               |                                                                 | > 100 kWc              | 0                       | 0                       |
| -             | au sol                                                          | -                      | 0                       | 0                       |

**Tableau 13 - TABLEAU DU PRIX DE RACHAT EN CAS DE VENTE TOTALE DE L'ENERGIE PRODUITE ET SELON LES TECHNOLOGIES DISPONIBLES**  
- SOURCE : BG Ingénieurs Conseil 2018

### Subventions (source ADEME 2018)

Pour les collectivités, l'installation peut être éligible à une subvention de la région de l'ordre de 40 % du montant des études de faisabilité et de l'ADEME à hauteur de 25 % en cofinancement s'il y a aide du conseil régional ou de 50 % en l'absence du conseil régional. En revanche le système de crédit d'impôts a été supprimé pour les panneaux solaires photovoltaïques depuis le 1er septembre 2014, et les prix de rachat de l'électricité produite par le photovoltaïque est en baisse au fil des trimestres.

Des primes d'investissement existent pour soutenir le développement de centrales intégrées au bâti en cas de vente partielle de l'énergie. Elles sont, à ce jour, de l'ordre de 0,1 à 0,4 ct€/Wc selon la puissance totale de l'installation. Dans ce cas, la rémunération de l'énergie injectée au réseau varie de 6 à 10 c€/kWh.

| Type de tarif | Type de l'installation                                          | Puissance totale (P+Q) | Prime à l'investissement (€/Wc) |                         | Rémunération de l'énergie injectée (c€/kWh) |
|---------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|
|               |                                                                 |                        | du 01/10/2017 au 31/12/2017     | du 01/01/18 au 31/03/18 |                                             |
| Prime dit Pa  | Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation | ≤3 kWc                 | 0,39                            | 0,39                    | 10                                          |
|               |                                                                 | ≤9 kWc                 | 0,29                            | 0,29                    | 10                                          |
| ≤36 kWc       |                                                                 | 0,19                   | 0,19                            | 6                       |                                             |
| Prime dit Pb  |                                                                 | ≤100 kWc               | 0,09                            | 0,09                    | 6                                           |
|               |                                                                 | >100 kWc               | 0                               | 0                       | 0                                           |
| -             | au sol                                                          | -                      | 0                               | 0                       | 0                                           |

Tableau 14 : prime d'investissement (€/Wc) et tarifs d'achat - vente en surplus - SOURCE : BG Ingénieurs Conseil 2018

### 1.5. Le gisement solaire local

La commune de Castanet-Tolosan se caractérise par ensoleillement d'environ 2 000 h/an et un gisement solaire compris entre 1 220 et 1 490 kWh/m<sup>2</sup>/an, donc un potentiel moyen mais exploitable. La commune compte, au 31 décembre 2014, 72 installations solaires toutes confondues permettant une production de 470 kW.

Les toitures des bâtiments représentent des surfaces favorables à l'implantation de panneaux solaires dans la mesure où elles sont orientées favorablement.

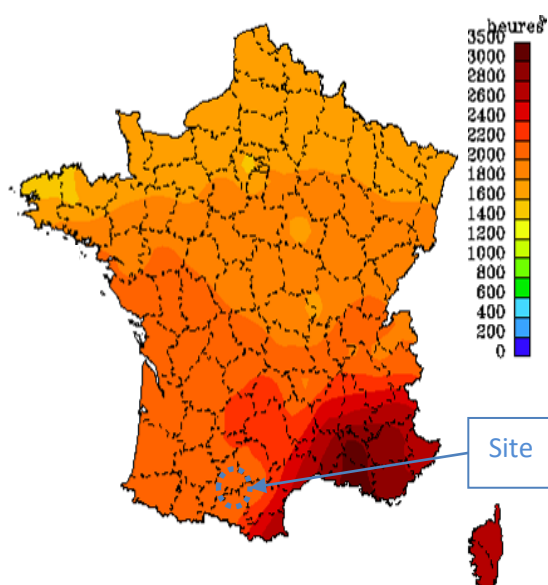


FIGURE 15 - CARTE D'ENSOLEILLEMENT EN FRANCE  
- SOURCE : METEO FRANCE

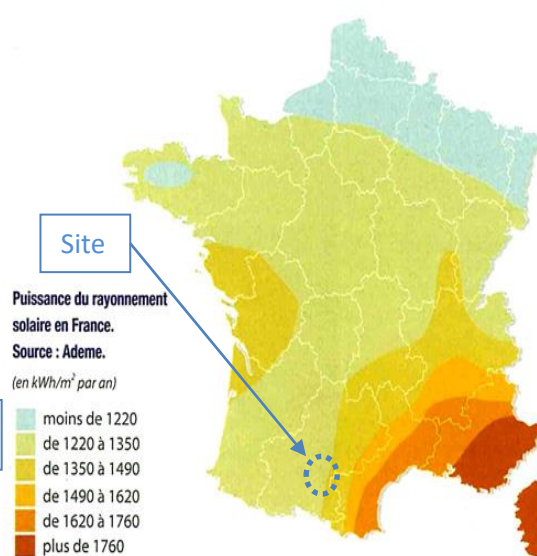


FIGURE 16 - CARTE DU GISEMENT SOLAIRE EN FRANCE  
- SOURCE : ADEME

La station météo de Toulouse permet d'estimer l'irradiation des toitures et des éventuels modules solaires qui y sont implantés.

Nous avons considéré une orientation des capteurs de 30° par rapport à l'horizontale.

| Mois      | Energie solaire reçue<br>plan horizontal<br>Wh/m2.j | Energie solaire reçue plan<br>des capteurs<br>Wh/m2.j |
|-----------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Janvier   | 1 422                                               | 2 049                                                 |
| Février   | 2 169                                               | 2 846                                                 |
| Mars      | 3 552                                               | 4 308                                                 |
| Avril     | 4 503                                               | 4 787                                                 |
| Mai       | 5 488                                               | 5 454                                                 |
| Juin      | 6 228                                               | 5 996                                                 |
| Juillet   | 6 478                                               | 6 339                                                 |
| Août      | 5 120                                               | 5 315                                                 |
| Septembre | 4 138                                               | 4 805                                                 |
| Octobre   | 2 923                                               | 3 935                                                 |
| Novembre  | 1 599                                               | 2 236                                                 |
| Décembre  | 1 046                                               | 1 410                                                 |

Tableau 17 - IRRADIATION SOLAIRE A TOULOUSE - SOURCE : TECSOL

➔ Le solaire thermique est une solution connue et éprouvée. Elle permet de valoriser une énergie locale à l'échelle des différents bâtiments. Cette solution peut être adaptée, notamment pour les bâtiments ayant des besoins en eau chaude sanitaire importants et constants comme les logements.

Selon les technologies disponibles, une simulation à l'aide du site Tecsol permet d'estimer la production d'énergie pour des capteurs solaires installés en toiture. Les hypothèses retenues pour les simulations sont les suivantes :

- Surface de capteurs de 100 m<sup>2</sup> ;
- Orientation : 0° par rapport au sud ;
- Inclinaison : 30 ° par rapport à l'horizontale.

|                                         |                                                           |                                                          |                                                    |                                          |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Station<br/>Météo</b>                | <b>Toulouse</b>                                           |                                                          |                                                    |                                          |
| <b>Latitude du<br/>lieu</b>             | <b>43°37</b>                                              |                                                          |                                                    |                                          |
| <b>Modules<br/>PV</b>                   | <b>Générique Si<br/>multicristalin<br/>(Verre/Tedlar)</b> | <b>Générique Si<br/>monocristalin<br/>(Verre/Tedlar)</b> | <b>Générique Si<br/>amorphe<br/>(Verre/Tedlar)</b> | <b>Générique CdTe<br/>(Verre/Tedlar)</b> |
|                                         | <b>Puissance 172 Wc</b>                                   | <b>Puissance 217 Wc</b>                                  | <b>Puissance 90 Wc</b>                             | <b>Puissance 75 Wc</b>                   |
| <b>Orientation</b>                      | <b>0 ° /Sud</b>                                           | <b>0 ° /Sud</b>                                          | <b>0 ° /Sud</b>                                    | <b>0 ° /Sud</b>                          |
| <b>Inclinaison</b>                      | <b>30 ° /horizontale</b>                                  | <b>30 ° /horizontale</b>                                 | <b>30 °<br/>/horizontale</b>                       | <b>30 °<br/>/horizontale</b>             |
| <b>Surface<br/>utile</b>                | <b>99 m<sup>2</sup></b>                                   | <b>99 m<sup>2</sup></b>                                  | <b>99 m<sup>2</sup></b>                            | <b>99,4 m<sup>2</sup></b>                |
| <b>Puissance<br/>crête</b>              | <b>11,4 kWc</b>                                           | <b>14,3 kWc</b>                                          | <b>5,9 kWc</b>                                     | <b>10,4 kWc</b>                          |
| <b>Total<br/>énergies<br/>(kWh/an)</b>  | <b>12833</b>                                              | <b>16407</b>                                             | <b>6780</b>                                        | <b>12013</b>                             |
| <b>Total CO2<br/>évitée<br/>(kg/an)</b> | <b>4620</b>                                               | <b>5907</b>                                              | <b>2441</b>                                        | <b>4325</b>                              |

Tableau 18 - ESTIMATION LA PRODUCTION D'ÉNERGIE POUR DES CAPTEURS SOLAIRES INSTALLES EN TOITURE - SOURCE : TECSOL

Sur le site, 100 m<sup>2</sup> de panneaux solaires permettraient de produire entre 6 700 et 16 400 kWh/an selon la technologie choisie.

Les bureaux sont les bâtiments les plus consommateurs d'énergie (58 kWh/m<sup>2</sup>/an). Pour 100m<sup>2</sup>, il faudrait donc 5800 kWh/an. L'installation de panneaux solaires pourrait répondre entièrement à ce besoin en énergie.

Le site est donc très favorable à l'implantation de panneaux solaires thermiques et photovoltaïques.

➔ Le solaire photovoltaïque peut être envisagé sur le quartier du Lauragais-Tolosan.

## 2. L'énergie géothermique

Le principe consiste à extraire l'énergie géothermique contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou pour la transformer en électricité. Il existe un flux géothermique naturel à la surface du globe, mais il est si faible qu'il ne peut être directement capté. En réalité on exploite la chaleur accumulée, stockée dans certaines parties du sous-sol (nappes d'eau).

La géothermie sur nappe peut être valorisée :

- Soit à l'échelle du bâtiment : chaque bâtiment réalise son propre forage et dispose de son système de pompes à chaleur,
- Soit à l'échelle d'un groupe de bâtiment : un forage permet de faire circuler l'eau dans une boucle d'eau. Chaque bâtiment se connecte à la boucle grâce à son système de pompe à chaleur. Dans ce cas, un seul forage est mis en place ce qui peut permettre de limiter les investissements réalisés.

Selon les régions, l'augmentation de la température avec la profondeur est plus ou moins forte. Ce gradient géothermique varie de 3 °C par 100 m en moyenne jusqu'à 15°C ou même 30°C.

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). C'est donc une source d'énergie quasi-continue car elle est interrompue uniquement par des opérations de maintenance sur la centrale géothermique ou le réseau de distribution de l'énergie. Les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années.

### 2.1. Haute énergie

Utilisation des sources hydrothermales très chaudes, ou forage très profond pour produire principalement de l'électricité.

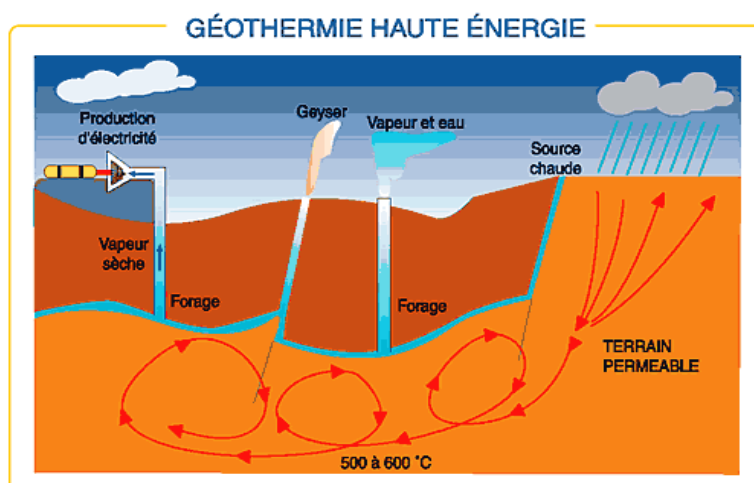
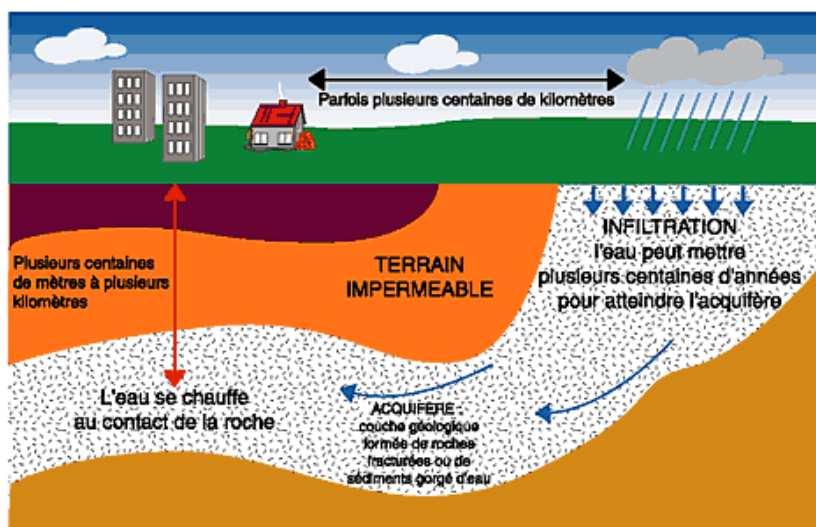


Figure 19 - SCHEMA DE GEOTHERMIE HAUTE ENERGIE

La géothermie haute énergie, ou géothermie profonde, appelée plus rarement géothermie haute température est une source d'énergie contenue dans des réservoirs localisés à plus de 1 500 mètres de profondeur et dont la température est supérieure à 80°C.

Ce type de ressource est géographiquement très localisé. Castanet-Tolosan ne compte pas de thermes. La production d'électricité par géothermie haute énergie n'est donc pas envisageable.

## 2.2. Basse énergie



Elle consiste en l'extraction d'une eau située à des profondeurs de quelques centaines de mètres jusqu'à environ 2 000 m, pour des températures généralement comprises entre 30°C et 90°C. Le niveau de chaleur est directement adapté au chauffage des bâtiments. Principale utilisation : les réseaux de chauffage urbain.

Figure 20 - SCHEMA GEOTHERMIE BASSE ENERGIE

En France, plus de 30 réseaux de chaleur urbain sont alimentés par géothermie profonde type « Basse énergie ».

### Potentiel local

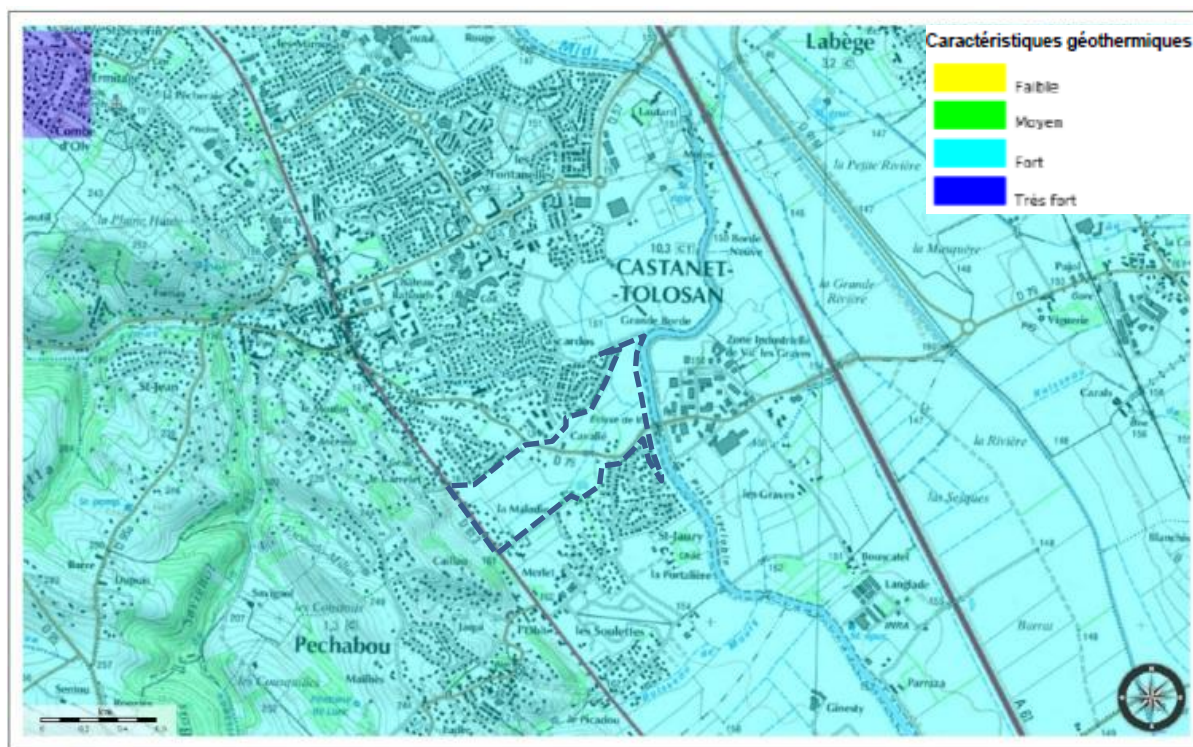


Figure 21 - CARTE DES CARACTERISTIQUES GEOTHERMIQUES DE LA NAPPE DES SABLES INFRA-MOLASSIQUE - SOURCE : GEOTHERMIE PERSPECTIVE 2017

Dans les aquifères sables infra-molassiques, la température comprise entre 20°C et 40°C permet également une recette calorifique importante sur la totalité de la commune mais à des coûts importants (profondeur de plus de 840 mètres).



La mise en œuvre d'un forage de ce type se fait généralement dans le cadre de projets d'ampleur considérable (environ 5 000 équivalent logement). Un tel dispositif ne serait pas adapté à l'échelle du quartier durable du Lauragais-Tolosan.

### 2.3. Très basse énergie

La chaleur provenant non pas des profondeurs de la croûte terrestre, mais du soleil et du ruissellement de l'eau de pluie, comprise dans les aquifères superficiels (température inférieure à 30°C – profondeur de nappe inférieure à 100 m) est utilisée sous forme de chaleur pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire ou le rafraîchissement de locaux.

#### Sondes géothermiques

La géothermie très basse énergie peut également exploiter la chaleur du sous-sol par l'installation de capteurs peu profonds horizontaux ou verticaux faisant circuler un fluide caloporteur en circuit fermé. Ces installations nécessitent également l'utilisation d'une pompe-à-chaleur fonctionnant à l'électricité

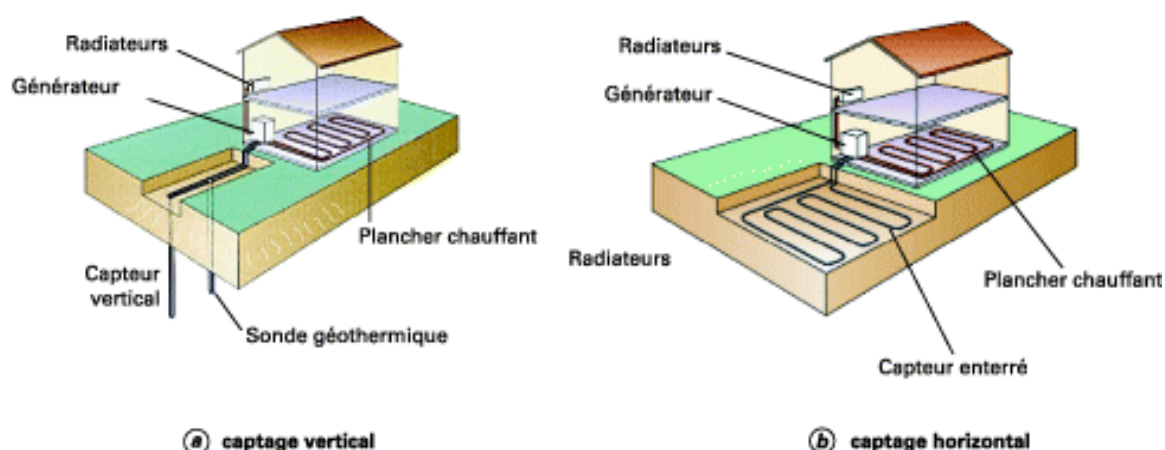


Figure 22 - SCHEMA DE PRINCIPE DES SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES OU HORIZONTALES

Ce dispositif permet de ne pas avoir à mobiliser l'eau des aquifères. De plus, les sondes géothermiques sont moins impactantes pour la stabilité des sols que les prélèvements sur eaux de nappe.

Le coût est d'environ 70 € HT / m linéaire (incluant les frais de raccordement). Il faudra cependant ajouter en plus le coût de la pompe-à-chaleur.

#### Pompes-à-chaleur (PAC) sur eau de nappe

Etant donné la température des nappes aquifères (entre 13 et 25°C), il est nécessaire d'utiliser des systèmes de pompes à chaleur électriques (PAC à compression) ou gaz (PAC gaz à absorption) afin d'augmenter la température de l'eau jusqu'à un niveau compatible avec son utilisation pour du chauffage et/ou de l'Eau Chaude Sanitaire.

La pompe-à-chaleur permet de prélever la chaleur basse température dans l'eau (boucle primaire) et de la restituer à plus haute température dans un autre milieu via un fluide caloporteur (boucle secondaire). Ainsi, les circuits sont fermés et bien séparés et les seuls échanges sont des échanges de chaleurs.

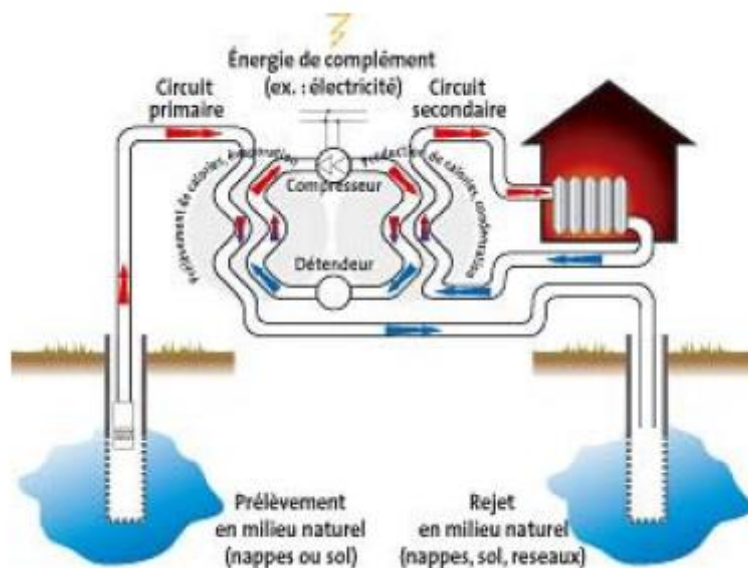


Figure 23 - SCHEMA DE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE POMPE-A-CHALEUR SUR EAU DE NAPPE

Le système est basé sur la réalisation d'un doublet de forages : un forage de prélèvement et un forage de réinjection. Ainsi, l'intégralité des volumes prélevés sont réinjectés dans l'aquifère. Il n'y a donc aucun impact quantitatif sur la ressource en eau, à partir du moment où les températures de réinjection dans l'aquifère sont respectées. Par inversion de cycle, certaines pompes-à-chaleur sont réversibles et peuvent produire alternativement du chaud et du froid selon les saisons.

Ce dispositif consomme de l'énergie électrique pour faire fonctionner le compresseur, 1 kWh d'énergie électrique consommée peut fournir 3 à 5 kWh d'énergie utile en fonction de la performance de la pompe-à-chaleur. Cette performance est mesurée au travers d'un COP (Coefficient de Performance) en mode de production de chaud et d'un EER (Coefficient d'efficacité frigorifique) en mode de production de froid.

### Pieux géothermiques

Dans le cadre de la construction de bâtiments nécessitant des pieux à grandes profondeurs, il est possible d'utiliser ces structures en béton pour capter l'énergie thermique du sol. Les capteurs sont alors installés au cœur des fondations.

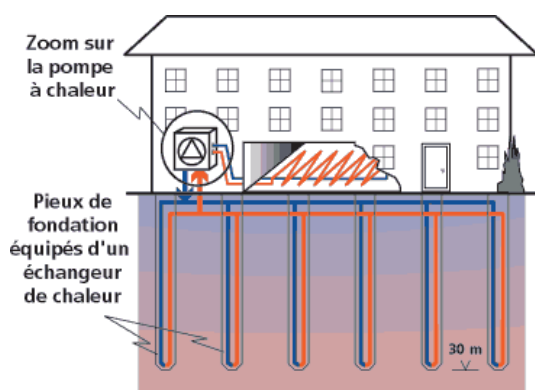
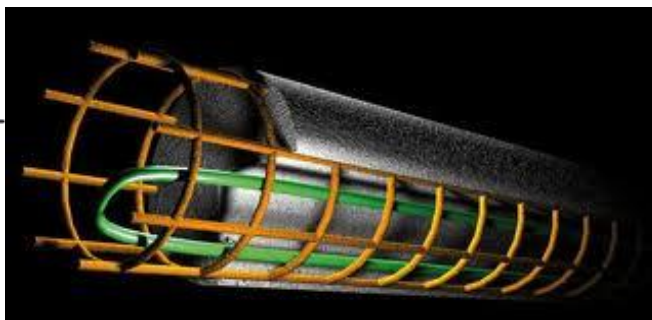


Figure 24 - SCHEMA DE PRINCIPE DES CAPTEURS GEOTHERMIQUES INTEGRES AUX PIEUX



## Potentiel local

Ce mode de production de chaud et de froid à partir de géothermie très basse énergie est utilisé pour le chauffage et le rafraîchissement ainsi que la production d'Eau Chaude Sanitaire pour les maisons individuelles mais également les logements collectifs et bâtiments tertiaires.

Les forages sur eau de nappe sont soumis aux procédures de déclaration et d'autorisation préalables au titre de la « Loi sur l'Eau », selon les volumes annuels prélevés dans la nappe.

D'après les cartographies réalisées par le BRGM, le potentiel géothermique des nappes superficielles (alluviales) est considéré sur la zone considérée comme « Moyen ».

4 niveaux de zonages ont été réalisés :

- zone bleue : Potentiel fort : PAC possibles pour tous les bâtiments
- zone verte : Potentiel moyen : PAC possibles pour habitation individuelles et petits collectifs
- zone jaune : Potentiel faible : PAC possibles pour habitations individuelles
- zone rouge : Potentiel très faible : PAC difficiles même pour habitations individuelles.

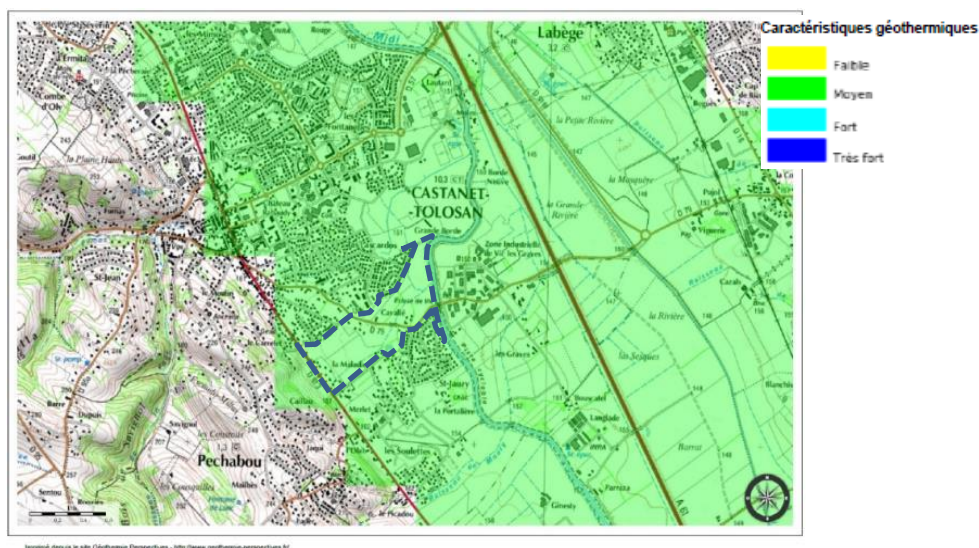


Figure 25 - CARTE DES CARACTERISTIQUES GEOTHERMIQUES DE LA NAPPE ALLUVIONNAIRE - SOURCE : GEOTHERMIE PERSPECTIVE 2017

La nappe des alluvions, parallèle à l'Hers, dont la température est supérieure à 12°C et la profondeur inférieure à 16 m, possède des caractéristiques géothermiques moyennes et peut être utilisée pour produire de l'énergie pour les bâtiments individuels et les petits collectifs au moyen de l'utilisation d'une pompe à chaleur.

## Cout global de la technologie géothermie sur aquifères

Le coût d'un forage seul (hors équipements, réseaux, électricité) varie entre 800 et 2 000 € HT/ML. Pour les autres équipements, le coût varie beaucoup en fonction des pompes, des systèmes ou encore des capteurs utilisés, en considérant par exemple un débit compris entre 60 et 100 m<sup>3</sup>, le coût peut varier de 25 000 à 70 000 € HT. S'ajoute à cette estimation le coût de la PAC d'environ 300€ HT du kW et celui des études de faisabilité qui s'élève à un montant compris entre 12 000 et 20 000€.

Le coût de la maintenance pendant la phase d'exploitation semble varier entre 1 500 et 3 000€ HT auquel s'ajoute tous les 10 à 15 ans des examens endoscopiques des forages estimés à 2 500 € HT et un examen des pompes pour 8 000€. En ce qui concerne les pompes à chaleur, le coût de maintenance se situe entre 4 500€ HT/an pour une pompe de 100 à 200kW et 15 000€ HT/an pour une pompe de 800 à 1 000kW.

### **Subventions**

Les aides représentent 60 % des dépenses éligibles pour des opérations sur champ de sondes (soit un niveau d'aide pour les opérations sur champ de sondes compris entre 3 500 et 8 500 €/ (tep sortie installation/an)) pour l'unité de production géothermale et 40 % des dépenses éligibles pour des opérations sur eau de nappe (soit un niveau d'aide compris entre 1 000 et 2 500 €/ (tep sortie installation/an) pour l'unité de production géothermale.

La productivité et la pérennité de l'aquifère n'étant jamais sûre à 100 %, les organismes en liaison avec la géothermie ont mis en place un outil financier de garantie. La garantie Aquapac® a été initiée en 1983 sous l'égide de l'ADEME (AFME à l'époque), d'EDF et du BRGM. Elle est destinée à favoriser le développement des opérations de pompes à chaleur sur nappe aquifère. Pour cela, elle offre une double garantie portant sur les ressources en eau de ces nappes aquifères :

- La garantie « recherche » couvre le risque d'échec consécutif à la découverte d'une ressource en eau souterraine insuffisante pour fournir le débit d'eau nécessaire. Le taux de cotisation pour cette garantie est désormais de 5% du montant des ouvrages garantis en recherche.
- La garantie « pérennité » couvre le risque de diminution ou de détérioration de la ressource, en cours d'exploitation. La durée de cette garantie est de 10 ans, et le taux de cotisation pour cette garantie est de 4 % du montant des ouvrages garantis.

Le taux de TVA 2017 est réduit à 5.5 % pour une pompe à chaleur géothermique.

La fourniture et l'installation d'une pompe à chaleur bénéficient d'un taux de TVA réduit à 5.5 %, (depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2014) si l'entreprise qui vend le matériel en assure aussi la pose. Les travaux doivent être réalisés dans des habitations achevées depuis plus de deux ans.

## **Autres soutiens financiers**

### Aide de l'ANAH (Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat) pour une pompe à chaleur géothermique

L'Agence nationale d'amélioration de l'habitat peut accorder une subvention pour l'installation d'une pompe à chaleur géothermique. L'ANAH peut permettre de bénéficier de primes en complément de la subvention :

- Une prime de 900€ pour l'installation (fourniture et main d'œuvre) d'une pompe à chaleur air/eau ;
- Une prime de 1 800€ pour l'installation d'une pompe à chaleur à capteurs enterrés.

### Crédit d'impôts

La pompe à chaleur géothermique fait partie des installations éligibles au crédit d'impôt pour la transition énergétique (CITE), qui permet de déduire de l'impôt sur le revenu 30 % des dépenses réalisées pour les travaux d'amélioration de la performance énergétique.

### Eco-prêt à taux 0 % pour une pompe à chaleur géothermique

Pour obtenir l'éco-prêt à taux 0 %, il faut réaliser plusieurs travaux visant à améliorer l'efficacité énergétique d'un logement individuel. La pose d'une pompe à chaleur se combine particulièrement bien avec d'autres types de travaux tels que la pose d'une chaudière à condensation etc...

➔ A cette étape et compte tenu du potentiel géothermique moyen pour la nappe superficielle de la zone, la réalisation de quelques opérations en PAC géothermique, sur des bâtiments de petite taille, peut être étudiée plus précisément pour le quartier durable du Lauragais-Tolosan.

### 3. La biomasse

#### 3.1. Le gisement biomasse

La biomasse mobilisable pour être exploitée sous forme de biogaz, de vapeur, chaleur ou de biocarburant provient de multiples sources. Les principales sont décrites dans le schéma présenté ci-après.

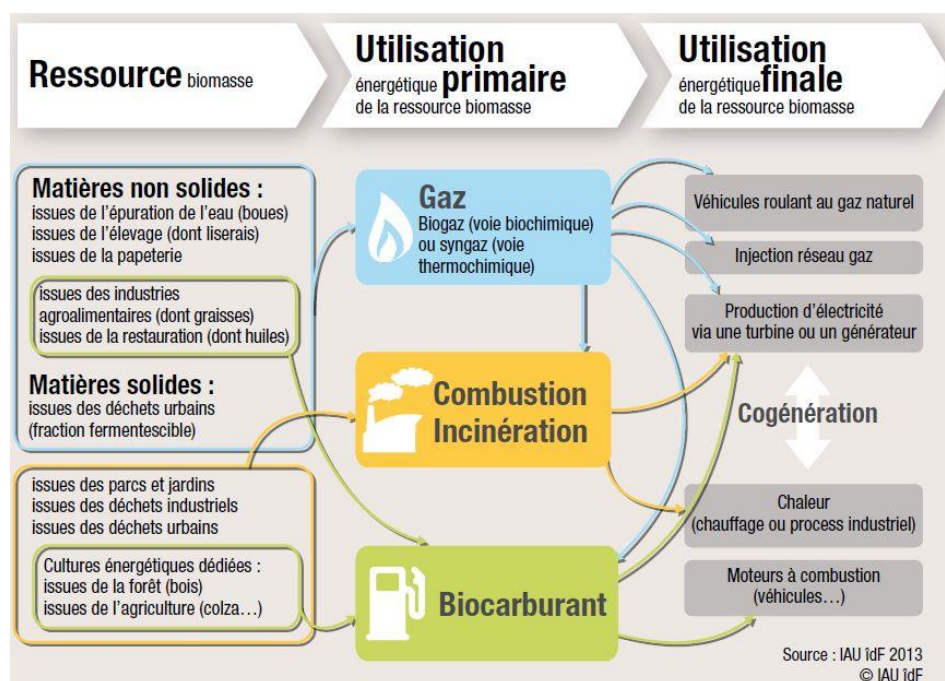


Figure 26 - DIFFERENTES MATIERES MOBILISABLES POUR LA BIOMASSE - SOURCE : ADEME

Le choix de valoriser la ressource biomasse doit se faire en tenant compte de la distance à parcourir pour aller la chercher. Les valeurs données pour déterminer la ressource seront donc représentatives de la ressource présente dans un rayon de 150 km autour du site et proviendront des informations disponibles à l'échelle régionale. Au-delà cette distance, les coûts et les émissions engendrées par le transport font de cette solution, une option non rentable et non viable économiquement et écologiquement.

#### 3.2. Bois-énergie

Le bois-énergie est une ressource naturelle et renouvelable, qui permet de valoriser des sous-produits ou déchets locaux.

Le gisement bois-énergie est composé de divers produits issus de l'exploitation forestière ainsi que des matières organiques issues de l'industrie :

- la ressource forestière (boisement, taillis, rémanents d'exploitation...) et les résidus d'élagage,
- les sous-produits de l'industrie du bois (sciures, copeaux, écorces...),
- les bois de rebut non souillés (palettes, cagettes...).

La disponibilité de la ressource est très dépendante de la distance entre le lieu de production et d'exploitation, ainsi que des infrastructures disponibles permettant son transport.



Le bois énergie peut être utilisé :

- A l'échelle du quartier, grâce une chaufferie collective et un réseau de chaleur : la combustion du bois est faite dans une chaufferie collective. L'énergie est ensuite transportée vers les différents bâtiments via un réseau de chaleur urbain,
- A l'échelle du bâtiment (immeuble collectif ou maisons individuelles).

Le bois énergie est considéré comme une énergie renouvelable, à condition que le stock prélevé chaque année soit reconstitué. Le bois énergie est donc une énergie renouvelable mais limitée. Elle doit donc être utilisée de manière efficace avec des systèmes performants. A ce titre, il peut être plus pertinent de développer le bois énergie grâce à un système collectif comme les réseaux de chaleur, car la mise en place de systèmes collectifs peut permettre d'utiliser des systèmes plus efficaces et de mieux gérer les contraintes (pollution atmosphérique liée à la combustion du bois, livraison de bois).

### **Cout global de la technologie**

Le coût d'investissement d'une chaufferie biomasse dépend essentiellement de la taille de la chaufferie, du réseau et des sous stations. Le ML de réseau coûte entre 600 et 800 € HT et chaque sous station à un coût d'investissement de 20 000 € HT. En moyenne, le coût de la chaufferie bois individuelle serait compris entre 600 et 800 € HT/kW biocombustibles.

Au coût d'investissement s'ajoute celui des combustibles : plaquettes industrielles entre 25 et 30 €/MWh, granulés entre 25 et 36 €/MWh et bois de rebut entre 7 et 13 €/MWh. Bien que ces prix semblent beaucoup moins importants que ceux pour une chaufferie gaz (55 € HT/MWh), les coûts d'exploitation des chaufferies biomasses sont plus conséquents (personnel d'exploitation plus nombreux, maintenance plus régulière...). Néanmoins, ces coûts sont moins soumis à la volatilité des prix des combustibles.

### **Subventions** (source ADEME 2018)

Le Fonds Chaleur (engagement majeur du Grenelle de l'environnement) géré par l'ADEME permet de financer la mise en œuvre de systèmes pour la production de chaleur à partir des énergies renouvelables (destiné à habitat collectif, collectivité et entreprises). Cependant pour être éligible à cette aide, l'installation doit respecter certains critères qui sont :

- Etre une installation collective, industrielle ou agricole ;
- Avoir une production énergétique minimum (100 tep/an biomasse sortie chaudière) ;
- Avoir un système de traitement des fumées performant ;
- Assurer une performance énergétique et environnementale du projet ;
- Etre approvisionné partiellement ou totalement en plaquettes forestière ;
- Etre raccordé à un réseau d'une densité énergétique minimale de 1.5 MWh/ml/an.

Cette aide est plafonnée selon la production de chaleur, pour les réseaux et sous stations, elle ne peut dépasser les 60 %. Pour une installation comprise entre 0 et 250 tep, l'aide est plafonnée à 1750 €/tep, entre 250 et 500 tep, à 1250 €/tep, entre 500 et 1000 tep et pour une installation supérieure à 1 000 tep à 300 €/tep.

Les appareils de production de chaleur ou d'eau chaude sanitaire bois ou autre biomasse sont également éligibles au crédit d'impôt pour la transition énergétique et à la TVA à taux réduit mis en place depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2014.

### 3.3. Le bois énergie – cogénération

#### Présentation de la technologie

Ce système permet à la fois de produire de la chaleur et de l'électricité. C'est une alternative intéressante à l'énergie solaire et éolienne. La chaleur issue de la combustion est utilisée pour le chauffage mais aussi, dans le cas de la cogénération, pour alimenter une turbine à vapeur qui va produire de l'électricité.

La production combinée de chaleur et d'électricité se révèle toujours plus efficace que des productions séparées. La production distribuée permet de s'affranchir des pertes du réseau de transport et de distribution (égales à 7 % pour un système raccordé en basse tension), d'où un gain allant jusqu'à 30 % en énergie primaire et en émissions de CO<sup>2</sup> par rapport aux meilleures technologies de chauffage disponibles (chaudière condensation) et un appel au système centralisé électrique le plus efficace (centrales cycles combinés gaz).

Il existe des turbines à vapeur d'une puissance de quelques dizaines de kW à plusieurs centaines de MW, avec des vitesses de rotation allant de 5 000 à 15 000 tr/min et des rendements électriques de 12 à 20 % pour les modèles à condensation. La quantité de combustible nécessaire pour les installations de puissance importante, pousse à diversifier les sources d'approvisionnement.

L'utilisation de petite turbine possédant une puissance minime s'apparente à la technologie de la micro-cogénération biomasse. Si actuellement, cette technologie est encore peu mature et présente des coûts d'investissement importants, elle représente une réelle opportunité pour le développement des énergies renouvelables.

Il existe 3 familles de cogénérations, permettant de délivrer des puissances électriques plus ou moins importantes et de s'adapter à une grande variété de projets. On parle de micro cogénération lorsque la puissance nominale est inférieure à 36 kWe et de mini cogénération lorsque celle-ci est comprise entre 36 et 250 kWe.

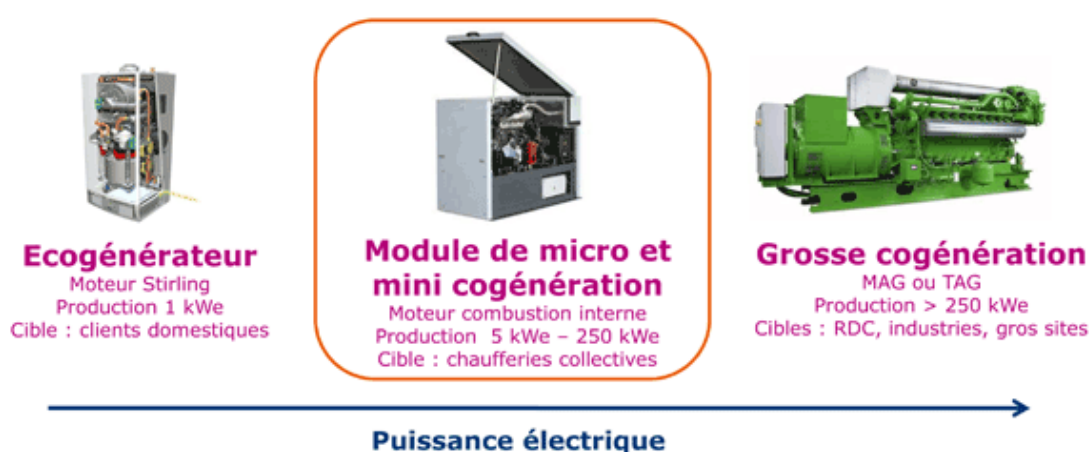


Figure 27 - LES DIFFERENTES FAMILLES DE COGENERATIONS - SOURCE : GRDF

Il est à noter que les systèmes de mini et micro cogénérations peuvent être installés à l'échelle de bâtiments. En revanche, les systèmes de cogénération à moteur Stirling (éco générateur) sont plutôt utilisés à l'échelle individuelle (adaptée pour des maisons individuelles).

## **Cout global de la technologie**

Les coûts d'investissement sont de l'ordre de 1,8 millions d'euros par MW électrique installé. Le temps de retour sur investissement couramment observé est de 8 à 10 ans.

Les coûts annuels d'exploitation sont généralement de l'ordre de 1 à 3 % des coûts d'investissement pour les installations à contrepression et de l'ordre de 4 à 5 % pour les ensembles à condensation.

### **Subventions** (source ADEME 2018)

Les aides à l'investissement pour ce type d'installation sont allouées après une étude au cas par cas. Les aides de l'ADEME sont plafonnées à 30 % sur le coût des travaux. En ce qui concerne la micro-cogénération, les aides sont du même ordre, 20 % maximum du coût des travaux pour les aides de la région et 40 % maximum du coût éligible pour le financement de l'ADEME (aides accordées ou non selon le degré d'innovations de l'opération, leur dimension de communication...).

Un tarif de rachat préférentiel pour l'électricité produite par un système de cogénération a été mis en place. Il est de l'ordre de 18c €/kWh dont 3c € dépendent de la valorisation énergétique de l'installation. Le taux de valorisation de la chaleur produite est souvent déterminant pour la rentabilité d'un projet. Entre 30 et 35 % de l'énergie primaire est valorisée en électricité, le reste est de l'énergie thermique.

## **3.4. Ressource forestière**

En 2016, la forêt de l'ex région Midi-Pyrénées s'étend sur une surface d'environ 1 350 000 ha selon l'Inventaire Forestier National (IFN), soit 29,7 % de la surface de la région.

D'après l'étude sur la disponibilité forestière pour l'énergie et les matériaux (ADEME, 2015), la disponibilité de la ressource en France est assurée et les capacités de la forêt française permettent une augmentation importante de la récolte à l'horizon 2035. En tablant sur un statu quo au niveau de la gestion des forêts de Midi-Pyrénées, la disponibilité de la ressource pour du bois-énergie pourrait atteindre plus d'un million de m<sup>3</sup> par an et être sensiblement augmentée en cas mise en place de mesures de gestion dynamique de la ressource.

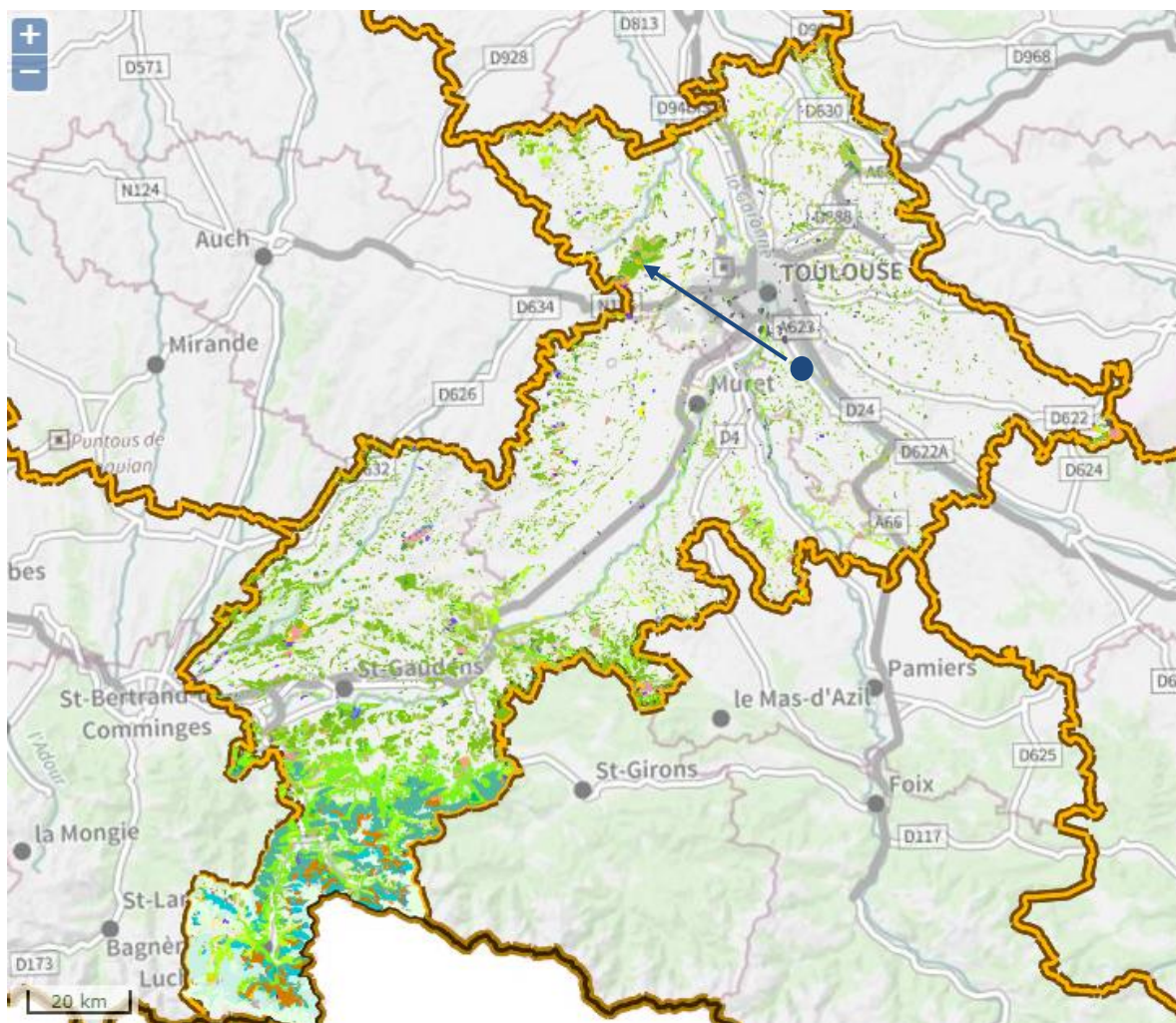


Figure 28 - RESSOURCE FORESTIERE SUR LE DEPARTEMENT DE LA HAUTE GARONNE - SOURCE : INVENTAIRE FORESTIER IGN 2017

D'après le SRCAE datant de 2012, la disponibilité forestière brute régionale, ou maximale théorique, en dehors de toute contrainte technique ou économique, est de l'ordre de 5 600 à 6 600 milliers de m<sup>3</sup> par an (1 200 à 1 500 ktep par an). En tenant compte des contraintes techniques environnementales et des prix actuels du marché, la disponibilité nette régionale est de l'ordre de 2 600 à 3 000 milliers de m<sup>3</sup> par an (600 à 700 ktep/an). Les prélèvements actuels en bois-industrie et bois-énergie régionaux sont de l'ordre de 1 800 milliers de m<sup>3</sup> par an. Il en résulterait une disponibilité supplémentaire régionale de 800 à 1 200 milliers de m<sup>3</sup> par an (180 à 270 ktep/an).



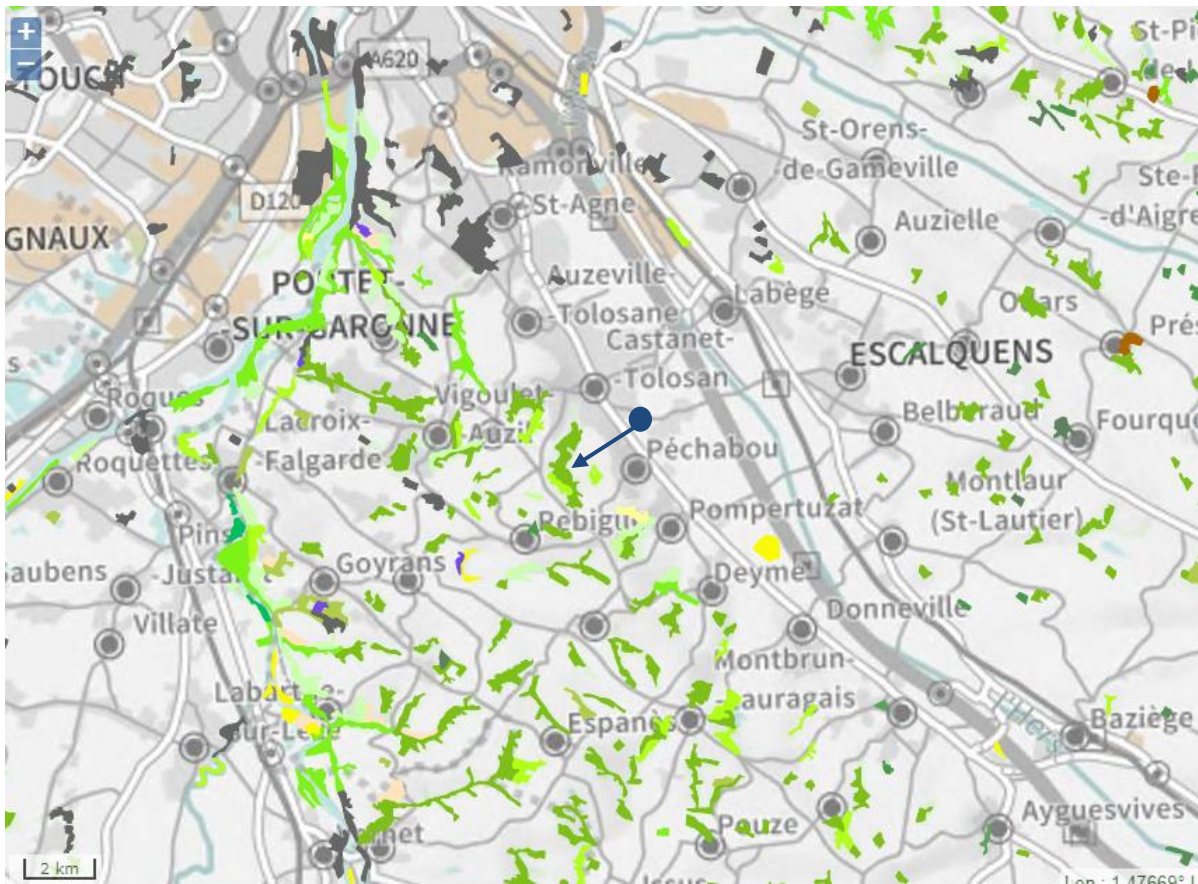


Figure 29 - RESSOURCE FORESTIERE SUR LE DEPARTEMENT -SOURCE : INVENTAIRE FORESTIER IGN 2017

Le quartier durable du Lauragais-Tolosan se situe à proximité de réservoirs boisés, à 2,5 km du bois de Savignol (environ 80 ha) et à 35 km de la forêt domaniale de Bouconne (environ 4 440 ha).

La ressource bois énergie existe et se développe rapidement dans la Région, avec plusieurs plateformes permettant de maîtriser le combustible fourni (granulométrie et humidité). L'évaluation de ce potentiel doit faire l'objet d'une étude détaillée in-situ qui permettra de déterminer les surfaces et les linéaires à potentiel de productions.

La commune de Castanet-Tolosan dispose d'ores et déjà d'un réseau de chaleur équipé d'une chaufferie-bois qui dessert le quartier Albert Camus. Ce dernier réseau très local, dessert une partie Nord de la ville, pour environ 300 logements ou équivalent logements. Ce réseau n'a pas vocation à s'étendre aussi loin, en termes de distance et de puissance et ne peut desservir le projet.

➔ La mise en place d'un réseau de chaleur biomasse semble être une option intéressante, pour l'ensemble du projet, en se basant sur une chaufferie centrale à positionner proche d'une voirie lourde (livraison par semi-remorques).

## 4. L'énergie éolienne

### 4.1. Le grand éolien et le petit éolien

Le petit éolien correspond à des éoliennes dont la puissance varie entre 0,1 et 36 kW et leur mât mesure entre 10 et 35 m.

Le grand éolien désigne les aérogénérateurs dont la puissance est comprise entre 1 500 kW et 2 500 kW et d'une hauteur en général supérieure à 50 m. Ils sont destinés à la production d'électricité pour le réseau.

Deux types de technologies peuvent être utilisés :

- Les grandes éoliennes à axe horizontal : ce sont les plus répandues et elles se caractérisent par une dimension de plus en plus imposante (ne fonctionnent pas dans des conditions particulières de vitesse de vent),
- Les grandes éoliennes à axe vertical : plus petites que les précédentes, elles ont l'avantage de pouvoir fonctionner dans des conditions climatiques plus défavorables.



Figure 30 - EOLIENNES A AXE VERTICAL ET HORIZONTAL

Le gisement éolien est faible à Castanet-Tolosan. Les vents dominants sont orientés Sud-Est (vent d'Autan) et de Ouest/Nord-Ouest avec des vents de hautes vitesses (8 m/s) présents pendant moins de 4,8 % de l'année.

#### Coût global de la technologie

Le coût d'investissement moyen d'une grande éolienne est d'environ 1 300 à 1 500 €/kW installé, comprenant :

- Le coût du matériel ;
- Le raccordement ;
- L'installation ;
- Les études préalables ;
- Le démantèlement en fin de vie.



Le coût annuel d'exploitation d'une grande éolienne équivaut à environ 2 à 3 % du coût d'investissement.

Pour une éolienne de 2 000 kW, cela représente :

- Un investissement de 2,8 M€,
- Un coût d'exploitation de 70 000 € annuels.

Le coût global et les revenus générés d'une installation éolienne dépendent également, comme pour le photovoltaïque du coût de rachat de l'électricité. La France a choisi de soutenir le développement de l'éolien par la mise en place d'une obligation d'achat de l'électricité produite à partir de l'énergie éolienne. Ce tarif est particulièrement favorable au grand éolien en revanche, il ne s'applique pas vraiment aux caractéristiques du petit éolien qui pourtant connaît des coûts d'installation et de production plus élevés. Le tarif de rachat de l'énergie éolienne fixé par l'arrêté du 10 juillet 2006 est d'environ 8,2 c€/kWh pour les dix premières années (suivant l'année de mise en service) ; et entre 2,8 et 8,2 pour les cinq années suivantes (il est fixé en fonction de la durée annuelle de fonctionnement de référence).

| <b>Durée annuelle de fonctionnement de référence</b> (quotient de l'énergie produite pendant une année par la puissance maximale installée) | <b>TARIF des 10 premières années</b><br>c€/kWh | <b>TARIF des 5 années suivantes</b><br>c€/kWh |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 2 400 heures et moins                                                                                                                       | 8.4                                            | 8,2                                           |
| Entre 2 400 et 2 800 heures                                                                                                                 | 8.4                                            | Interpolation linéaire                        |
| 2 800 heures                                                                                                                                | 8.4                                            | 6,8                                           |
| Entre 2 800 et 3 600 heures                                                                                                                 | 8.4                                            | Interpolation linéaire                        |
| 3 600 heures et plus                                                                                                                        | 8.4                                            | 2,8                                           |

**Tableau 31 - TARIF DE RACHAT DE L'ELECTRICITE PRODUITE PAR L'ENERGIE EOLIENNE, ARRETE DU 10 JUILLET 2006**

Concernant le rachat d'électricité, le contrat est conclu pour 15 ans avec le fournisseur d'électricité (après cette période l'électricité peut continuer à être revendue mais au tarif normal de l'électricité du réseau).

Depuis 2008, le tarif de rachat est fixé à 8.4 c€/ kWh pendant les 10 premières années puis entre 2.6 et 8.2 c€/ kWh pendant les 5 années suivantes (déterminé selon le nombre d'heures de production/an).

## 4.2. L'éolien urbain

### Présentation de la technologie

Le petit éolien, ou éolien domestique, désigne les éoliennes de petites et moyennes puissances (de 100 watts à environ 20 kilowatts) montées sur des mâts de 5 à 20 mètres, elles peuvent être raccordées au réseau ou bien autonomes en site isolé. Certaines éoliennes sont de très petite taille, avec pour objectif de pouvoir les installer sur les toitures terrasses des immeubles d'habitation dans les villes, ou sur les toitures des immeubles industriels et commerciaux, dans des gammes de puissances allant de quelques kW à quelques dizaines de kW.

Leur vitesse de rotation est faible et indépendante de la vitesse du vent. Leur puissance varie linéairement avec la vitesse du vent (entre 5 km/h jusqu'à plus de 200 km/h) sans nécessiter la « mise en drapeau » des éoliennes à pales. Elles peuvent être à axe horizontal ou vertical.



Figure 32 - EOLIENNES URBAINES

### Coût global de la technologie

Le marché peu développé des éoliennes urbaines rend difficile l'estimation du coût global (installation et maintenance). Selon le site urbawind.org et les premiers retours d'expérience, le coût d'investissement serait pour une petite éolienne à axe horizontal de 7 000 à 10 000 €/kW et pour une petite éolienne à axe vertical de 10 000 à 25 000 €/kW (fabrication et matériaux). Le coût d'installation serait évalué entre 2 200 et 2 900 €/kW et le raccordement à environ 1 000 €/kW (prix dépendant du modèle de l'éolienne).

Pour la phase d'exploitation, le coût de la maintenance serait de l'ordre de 200 à 850 €/an auxquels s'ajoute le coût de changement de certains matériels tels que l'onduleur (environ 1 000 €).

### Subventions (source ADEME 2018)

Pour l'année 2017, le Crédit d'Impôt pour la Transition Énergétique (CITE) qui autorisait les particuliers à répercuter 30% du coût de leur rénovation énergétique directement sur leurs impôts n'était plus à l'ordre du jour en ce qui concerne l'installation d'éoliennes, quel que soit leur potentiel énergétique. Il en est ainsi de même pour l'Éco-prêt à taux zéro, un crédit à taux d'intérêt nul bien pratique ordinairement destiné aux propriétaires voulant rénover leur logement.

De manière générale l'ADEME supprime progressivement ses aides à l'éolien pour des raisons qui lui sont propres: difficiles d'accès en milieu urbain et produites majoritairement à l'étranger, les éoliennes intéressent peu l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie qui préfère se rabattre sur des solutions plus sûres comme le photovoltaïque, les pompes à chaleur, ou plus simplement les travaux classiques d'isolation.

Seule la TVA à taux réduit de 10% (et non 5,5% comme auparavant puisque les éoliennes ne sont plus éligibles au CITE) est encore d'actualité.

### 4.3. Potentiel éolien local

La distribution du vent sur la commune de Castanet-Tolosan peut être assimilée à celle de la commune de Toulouse, compte tenu de la similitude de leur contexte.

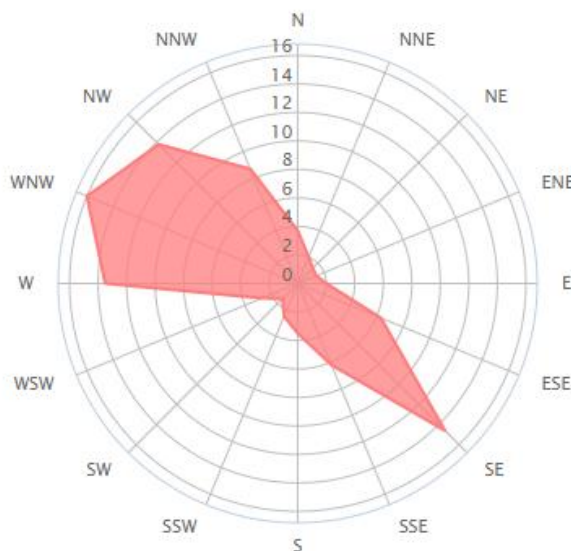


Figure 33-: DISTRIBUTION DE LA DIRECTION DU VENT SUR L'ANNEE A LA STATION DE TOULOUSE-BLAGNAC - SOURCE : WINDFINDER 2017

Le schéma régional éolien décrit les zones favorables à l'implantation d'éoliennes.

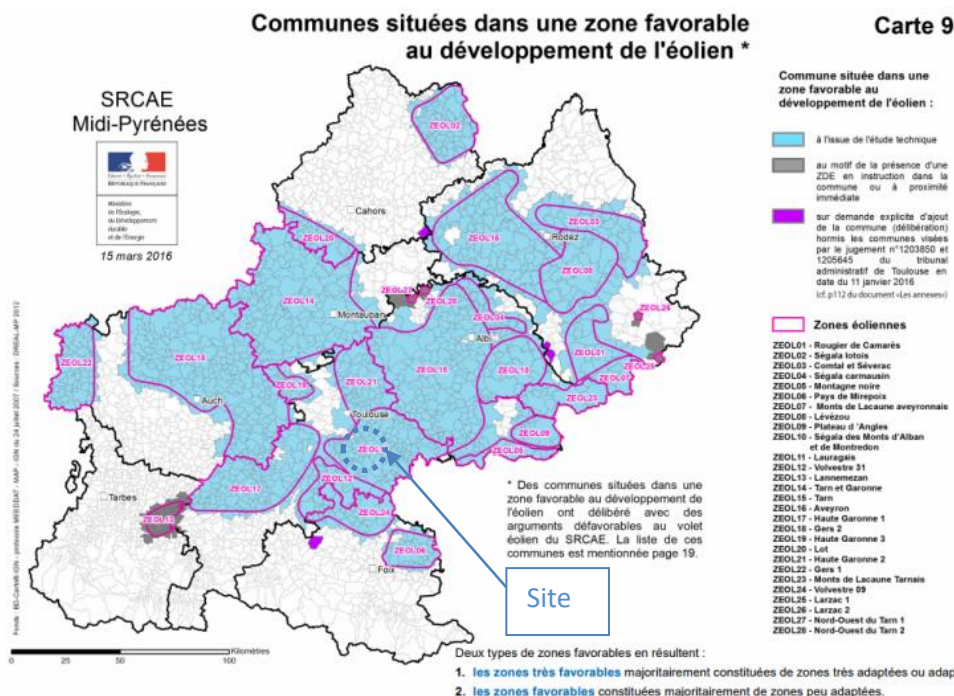


Figure 34 - COMMUNES SITUÉES EN ZONE FAVORABLE AU DÉVELOPPEMENT DE L'ÉOLIEN - SOURCE : SRE 2016

Dans le SRCAE, la commune de Castanet-Tolosan est identifiée comme étant favorable au développement de l'éolien.

La productivité d'une éolienne qu'elle soit grande ou petite, verticale ou horizontales, dépend de la vitesse du vent. Pour commencer à fonctionner, sa vitesse ne doit pas être inférieure à 4 m/s, une vitesse trop forte en revanche suspendra le fonctionnement de l'éolienne (vitesse maximum dépendant du type d'éoliennes), arrêtant la production d'électricité.

La commune de Castanet-Tolosan est concernée par un vent à 50 m qui est compris entre 5 et 5,5m/s.

### **Grand et petit éolien**

Malgré un gisement intéressant pour le grand éolien sur la commune, l'implantation d'éoliennes sur le site d'étude est compromise car une des règles d'implantations d'éoliennes est un recul de 500 m des habitations.

### **L'éolien urbain**

Compte tenu des vitesses de vents plutôt faibles et de la présence d'obstacles pour le passage du vent (proximité d'immeubles collectifs) le site n'est pas adapté à l'implantation d'éoliennes urbaines. Si cette technologie est choisie, elle devra être privilégiée en toiture des immeubles à une hauteur conséquente afin d'assurer une prise aux vents optimale et une vitesse de vents suffisante pour que l'éolienne fonctionne correctement et que son installation soit rentable.

➔ Le site ne paraît pas adapté à l'implantation de sources de production énergétique à base d'énergie éolienne.



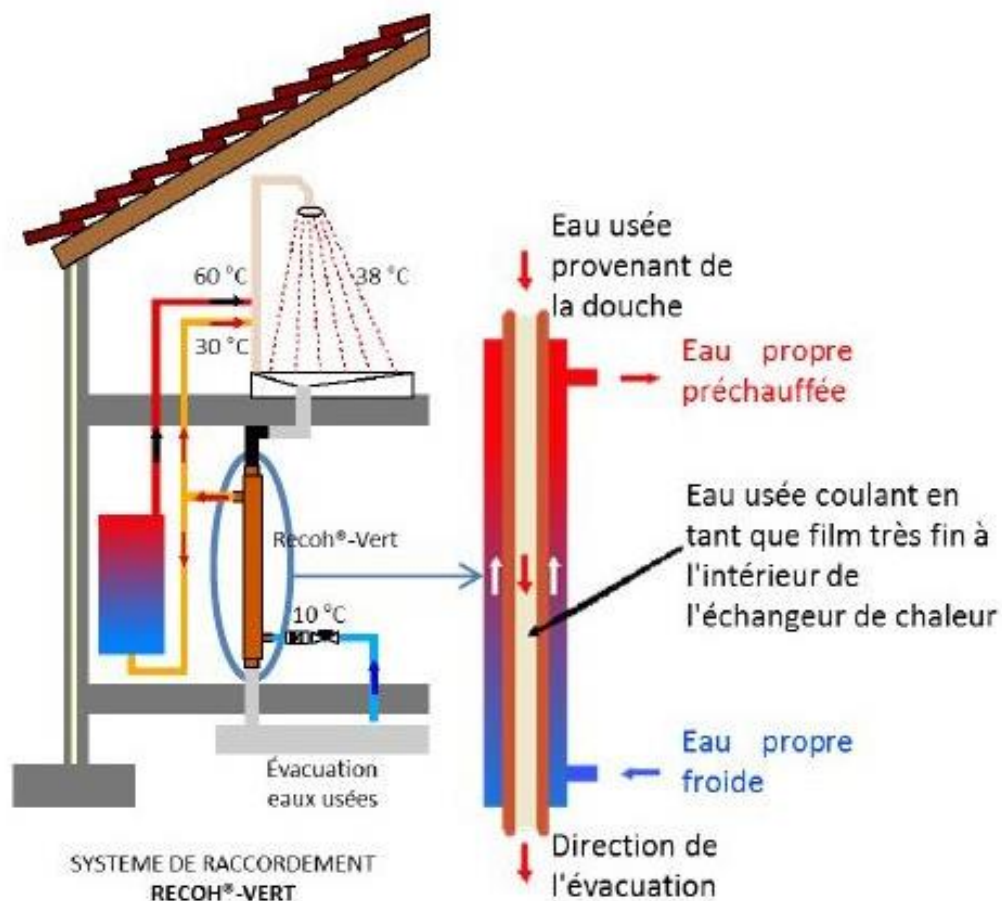


Figure 36 - SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DE LA TECHNOLOGIE RECOH HT

Ce prix englobe les coûts de système, de matériel associé et de la main d'œuvre. L'entretien et la maintenance ne nécessite que de faibles coûts. Cela nécessite toutefois de séparer les réseaux avec des potentiels intéressants (douches, ...) des autres réseaux EU et de les installer à proximité, avec de multiples récupérateurs locaux.

#### Subventions (source ADEME 2018)

L'ADEME peut soutenir l'installation d'équipements de captage de la chaleur des eaux usées à travers le Fonds Chaleur. Un exemple est celui de la pompe à chaleur sur eaux usées de la résidence Les Nouveaux Chartreux à Marseille (13), ou bien d'une résidence à Courcouronnes (91) dont le coût s'est élevé à 89 k€ et pour laquelle l'ADEME a contribué à hauteur de 39 k€.

## 5.2. Eaux usées

A l'échelle d'un quartier ou d'une ville, la récupération de chaleur sur les eaux usées consiste à récupérer l'énergie thermique des eaux usées circulant dans les conduites. Chacune des canalisations, alimentées par les différents bâtiments du quartier, est équipée d'un échangeur de chaleur qui récupère l'énergie, grâce au fluide caloporteur, pour ensuite l'acheminer vers des pompes à chaleur.



Pour qu'une installation de ce type puisse être envisagée, le réseau doit répondre aux conditions suivantes :

- Débit supérieur à 15 l/s et température supérieure à 10°C,
- Distance maximum entre l'échangeur et la chaufferie inférieure à 300 mètres,
- Tronçons rectilignes sur au moins 100 mètres (grandes installations) et de diamètre minimum de 40 cm (réseau neuf),
- Puissance minimum de l'installation = 150 kW (environ 50 logements = densité minimum).



Figure 37 - PRINCIPE DE RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES EAUX USEES - SOURCE : SUEZ

Les retours d'expérience montrent qu'un mètre de canalisation permet de produire de 2 à 8 kW de puissance de chauffage. A titre d'exemple, l'échangeur de chaleur qui permet de produire environ 30 % des besoins de chaleur du quartier Sainte-Geneviève à Paris est composé de 4 trains de 50 modules, correspondant à une surface totale d'échange de 112 m<sup>2</sup>, sous l'avenue Georges Clémenceau.

A l'échelle d'un bâtiment, il existe également des dispositifs de filtration et récupération de chaleur directement sur les eaux usées en sortie de bâtiment. Toutefois, ce dispositif est plus particulièrement adapté à un ensemble de logements d'échelle suffisamment importante pour assurer une production de chaleur régulière.

Les calories présentes dans les eaux usées ménagères sont captées puis réinjectées instantanément dans le réseau local afin de produire 80 à 100 % des besoins en eau chaude sanitaire (ECS). La cuve d'échange thermique récupère et transfère l'énergie vers la pompe à chaleur. À l'intérieur de cette cuve sont placés des échangeurs dans lesquels circule un fluide caloporteur. Les eaux grises entrent dans la cuve à une température moyenne comprise entre 28 et 32°C et en ressortent à 9°C. Les calories prélevées dans la cuve d'échange thermique sont transférées à la pompe à chaleur.

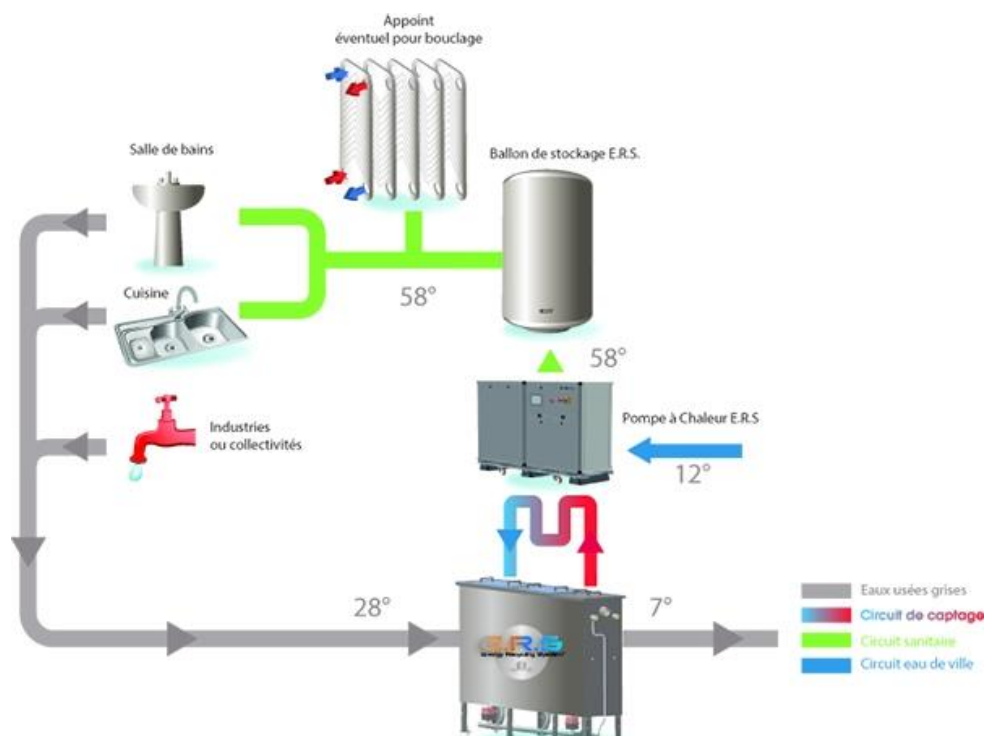


Figure 38 - PRINCIPE DE RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES EAUX USEES A L'ECHELLE D'UN BATIMENT - SOURCE : BIOFLUIDES

Des technologies existent également pour être implantées à l'échelle de chaque logement (type Powerpipe).



Figure 39 - INSTALLATION DE RECUPERATION DE CHALEUR SUR EVACUATION D'EAUX USEES - SOURCE : POWERPIPE

### Cout global de la technologie

Le coût d'investissement d'une installation comme celle-ci est très dépendant des caractéristiques du secteur étudié. Les coûts sont donc donnés à titre d'exemple pour la couverture des besoins en ECS des immeubles de logements dont les besoins énergétiques sont estimés à 5 000 MWh (2 500 MWh/an soit 50 % des besoins).

Les conduites de diamètre 1 500 mm sont équipées sur 135 ml d'échangeurs (réseau à 13°C pour un débit de 100 l/s) :

- Coût d'investissement estimé à 1,2M€ (PAC et autres systèmes nécessaires inclus),
- Coût d'exploitation estimé à 334 000€ pour cette installation degrés bleus (combustible d'appoint nécessaire (gaz), électricité pour la PAC et les coûts de maintenance (chaufferie...) sont inclus).

### Subvention (source ADEME 2018)

L'ADEME subventionne ce type d'installation par le biais du « Fonds Chaleur ». Celui-ci est calculé en fonction du nombre de tonnes équivalent pétrole (TEP) évitées. Une TEP est équivalente à 11 630 kWh. Cette aide est soumise à certaines conditions.

## Potentiel du site

Compte tenu des besoins de plus en plus faibles de chaque bâtiment, des solutions à l'échelle du bâtiment (comme les systèmes Powerpipe ou REcoh HT) seront plus pertinentes et moins lourdes à mettre en œuvre que la mobilisation des eaux usées du quartier. Cela permet également de s'adapter facilement au phasage des travaux : chaque bâtiment pouvant être autonome, sans lien avec une installation centralisée, ni avec les autres bâtiments.

De plus, pour cette échelle de mobilisation de la technologie, les distances entre source d'énergie et utilisation sont limitées. Ainsi, les pertes d'énergies causées par les réseaux et le bouclage sont également limitées. Ce type de procédé permet de récupérer une part importante de l'énergie évacuée aux réseaux et de préchauffer utilement, l'eau chaude sanitaire. En moyenne, la récupération de l'énergie est de l'ordre de 50 %, pour une installation réduite, ce qui est très intéressant.

- ➔ La densité importante du quartier du Lauragais-Tolosan (densité brute de 56,3 logements par hectare) permet la mobilisation de la chaleur provenant des eaux grises et des eaux usées rejetées par les habitants/commerces/bureaux du quartier.
- ➔ Une mobilisation de l'énergie des eaux grises ou des eaux usées à l'échelle du bâtiment est à privilégier par rapport à une mobilisation des eaux usées du quartier (plus facile à mettre en place et très bon rapport énergétique).

## 6. Les autres technologies existantes

### 6.1. Le biogaz et les biocarburants

Le biogaz, issu de la méthanisation ou de la fermentation des déchets organiques, peut être utilisé pour produire de la chaleur et/ou de l'électricité.

Les substrats organiques permettant la méthanisation peuvent se décomposer en trois grandes familles :

- Les effluents d'élevage : fumier, paille, cultures...,
- Les industries-agroalimentaires : co-produits de transformation provenant des abattoirs, des laiteries, des conserveries...,
- Les collectivités : déchets verts, déchets ménagers, boues d'épuration...

Une suite de réactions biologiques conduit à la formation de biogaz (contient 2/3 de méthane et 1/3 de gaz carbonique) et d'un digestat (répandu sur les cultures comme engrais). Le biogaz a un Pouvoir Calorifique Inférieur de 5 à 7 kWh/Nm<sup>3</sup>. Pour augmenter les rendements, la matière est placée à l'intérieur d'une grosse cuve (le digesteur) fermée, chauffée, brassée sans entrée d'air et à l'abri de la lumière. Elle peut être sèche ou humide.

Une installation de méthanisation est composée principalement d'un équipement de séparation des impuretés, d'un mélangeur/malaxeur pour que la matière organique soit introduite de façon homogène dans le digesteur, du digesteur, d'un système de brassage, d'un système d'extraction et de pressage du digestat et d'un système de traitement, de stockage et de valorisation du digestat.

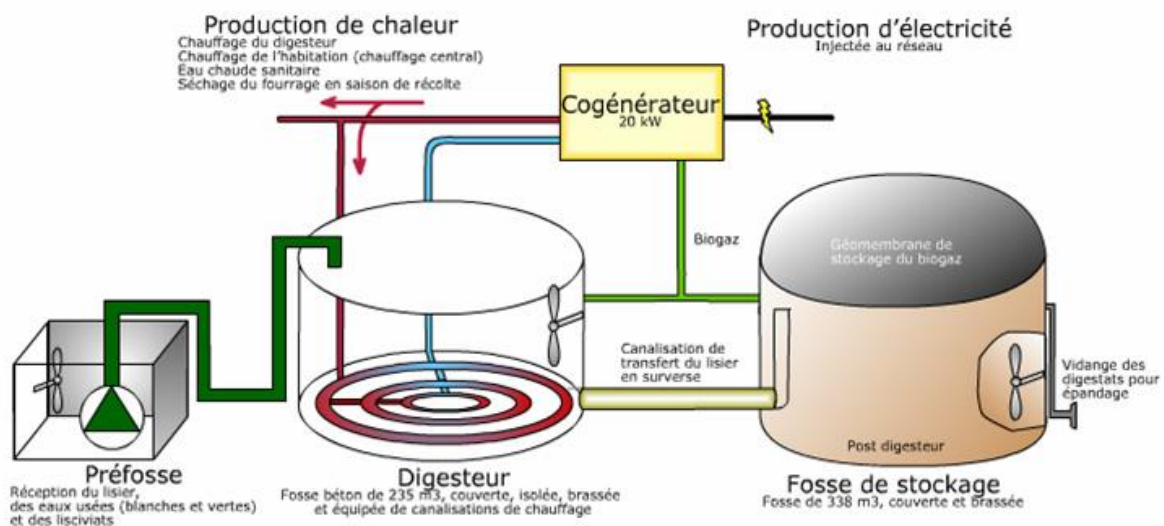


Figure 40 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA METHANISATION

Le digesteur est un réacteur hermétique, imperméable à la lumière et maintenu à température constante (35°C pour les bactéries mésophiles ou 55°C pour les bactéries thermophiles) à laquelle la digestion anaérobie se produit. La digestion mésophile dure environ 30 à 40 jours, tandis que la digestion thermophile est plus rapide, durant une quinzaine de jours. Si la digestion thermophile est plus rapide et présente un meilleur rendement de méthanisation par tonne de matière digérée, les

installations nécessaires sont plus coûteuses et plus délicates. Les coûts d'investissement rapportés à la puissance électrique sont toutefois très proches.

### **Echelle d'exploitation**

Depuis novembre 2011, il est désormais possible d'injecter du biométhane dans le réseau de distribution GRDF. Pour valoriser cette énergie « verte » injectée dans le réseau, un système de garanties d'origine a été mis en place afin que chaque consommateur, individuel ou collectif, puisse acheter du gaz garanti 100 % biométhane, donc 100 % Energie Renouvelable.

Le biogaz produit peut-être valorisé à l'échelle du quartier et même **à une échelle plus large (commune)** dès lorsqu'il est transformé en biométhane (biogaz épuré) et injecté dans le réseau de gaz naturel. L'intérêt de l'injection est de pouvoir utiliser une énergie renouvelable en utilisant un réseau de distribution déjà présent sur le territoire.

### **Cout global de la technologie**

Les coûts à l'investissement sont de l'ordre de 850 à 1 000 €/kW pour une installation de 30 kWe. La rentabilité du projet dépend de la valorisation du biogaz (vente d'électricité, valorisation de la chaleur ou injection d'un biogaz épuré dans un réseau de distribution) et de la rémunération liée au traitement de déchets extérieurs. La pérennité et le montant de cette rémunération peuvent varier sous l'effet de la concurrence locale.

Les données économiques pour les unités de méthanisation fonctionnant avec les boues d'épuration sont peu nombreuses et disparates selon la capacité des unités (exprimée en équivalents-habitants et en €/Tonne de matière sèche) :

- Pour une capacité < à 10 000 EH : 2 000 à 3 000 €/Tonne de MS,
- Pour les capacités supérieures à 10 000 EH : 500 à 3 000 €/Tonne de MS (ADEME).

### **Potentiel local**

La mise en œuvre d'une unité de production de biogaz est très dépendante du lieu de production de la matière première. Ce type d'installation nécessite des emprises foncières conséquentes.

Le potentiel énergétique sur la commune de Castanet-Tolosan provient principalement de la station d'épuration. La STEP traite les effluents des communes de Castanet-Tolosan, Péchabou, Pompertuzat, Donneville et Deyme (soit environ 19 000 habitants dont 90 % sont raccordés au tout à l'égout). Elle traite également les effluents de quelques industriels dont Coca-Cola.

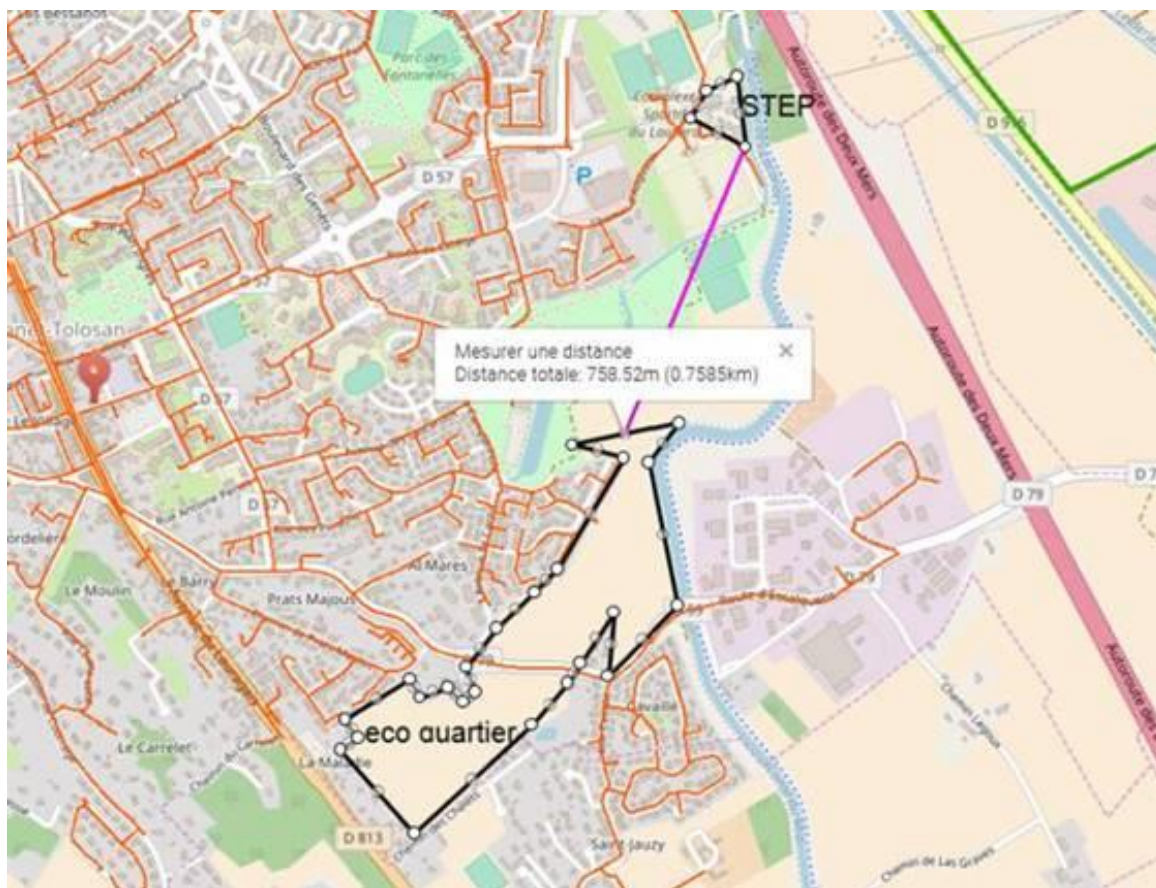


Figure 41 - EMPLACEMENT DU PROJET VIS A VIS DE LA STEP - SOURCE : GRDF

Elle est proche du site de projet (moins d'1km). GrDF a confirmé la faisabilité d'une réinjection potentielle de bio-gaz, issue de déchets divers (station épuration ...) dans le réseau de gaz. Cela devra faire l'objet d'une étude plus fine ultérieure.

- ➔ Des études récentes montrent un potentiel de développement du Biométhane de 30 % de gaz vert dans la consommation nationale de gaz en 2030, et supérieur à 50 % en 2050.
- ➔ L'injection de Biométhane pourrait permettre d'utiliser un gaz « vert » pour ce quartier, mais aussi pour d'autres quartiers à proximité. Des études complémentaires sont nécessaires pour quantifier le potentiel de production ainsi que d'injection dans le réseau de gaz naturel.

## 6.2. Aérothermie

### Principe de fonctionnement

Le principe de l'aérothermie est de capter les calories dans l'air extérieur. De la même manière que pour la géothermie très basse énergie, le puisage des calories de l'air nécessite l'utilisation d'un système de pompes à chaleur, qui peut être électrique ou à absorption gaz. La fluctuation des températures de l'air extérieur influence la performance des systèmes de pompes à chaleur. En effet, par temps froid, les besoins de chauffage sont maximums alors que la quantité d'énergie pouvant être extraite dans l'air est à contrario minimale, d'où une baisse de la performance.



Dans le cas de pompes à chaleur gaz à absorption, l'impact des températures extérieures est cependant moins important que pour des pompes à chaleur classiques, puisqu'une partie de la chaleur est fournie par la réaction d'absorption. Les PAC gaz à absorption permettent aussi de produire de l'eau chaude sanitaire à 60 / 65 °C, avec des performances supérieures à celles des pompes à chaleur électriques.

### **Echelle d'exploitation**

Les PAC aérothermiques sont utilisables à l'échelle du bâtiment. Plusieurs systèmes de pompes à chaleur aérothermiques existent aujourd'hui. Dans le cas des PAC gaz à absorption, des modules de 40 kW sont disponibles. Cette technologie est donc plus adaptée pour des bâtiments collectifs ou des bâtiments d'activités.

### **Potentiel aérothermique local**

Etant donné le climat Toulousain et l'importance des besoins en ECS sur le secteur, l'utilisation de pompes à chaleur gaz à absorption peut être pertinente, car la performance énergétique de ce système sera moins impactée que dans le cas de pompes à chaleur électriques.

➔ Les pompes à chaleur aérothermiques, fonctionnant notamment au gaz naturel, sont des systèmes adaptés aux différentes typologies de bâtiments présents sur le quartier durable du Lauragais-Tolosan.

## **6.3. L'énergie hydrolienne**

### **Présentation de la technologie**

L'hydrolienne doit être placée dans l'axe des courants afin d'actionner les pales du ou des rotors (courant minimum 1,5 m/s). L'énergie mécanique, produite par la rotation des pales est transformée ensuite en énergie électrique à l'aide d'une turbine. Elle est alors dirigée vers un générateur pour être ensuite acheminée jusqu'au réseau d'électricité terrestre par l'intermédiaire d'un câble relié au rivage. Différents types d'hydroliennes existent sur le marché mais le principe de fonctionnement est similaire.



**Figure 42 - HYDROLIENNES IMPLANTEES DANS UN FLEUVE**

## Coût global de la technologie

Le manque de maturité de la technologie mais surtout l'absence de retour d'expériences sur des parcs d'hydroliennes sur une longue durée rend délicat la prévision des coûts.

Le coût d'investissement pour une hydrolienne est élevé avec un prix compris entre 2,5 et 3,5 M €/MW installés en supposant un développement massif de la filière (2 voire 3 fois plus important que pour une éolienne).

Le coût d'exploitation des hydroliennes est également plus conséquent que celui des éoliennes, les difficultés d'accès exigent un personnel qualifié et l'érosion demande également un entretien plus fréquent. L'estimation du coût d'exploitation est d'environ 40% du coût global de l'hydrolienne au cours de son cycle de vie.

### Subventions (source ADEME 2018)

L'ADEME subventionne au moyen du Prêt à Taux Zéro et du Crédit d'Impôt, les installations produisant de l'électricité à partir de l'énergie hydraulique depuis le 1er septembre 2014.

Concernant le tarif de rachat de l'électricité produit par l'hydrolien, il a été défini à 15 c€/KWh durant les 20 premières années.

### Potentiel hydrolien local

Le site d'étude est traversé par le fossé du Péchabou et à proximité immédiate du canal du Midi.

➔ Au vu des débits des cours d'eau et des enjeux écologiques et touristiques du canal du Midi, cette filière n'est pas mobilisable.

# Pré-dimensionnement et scénarii



ESPACES VERTS



LOGEMENTS



MOBILITÉ



COMMERCES

### III. PRE-DIMENSIONNEMENT ET SCENARII

Dans cette partie, un scénario d'approvisionnement tout électrique est comparé à des scénarios d'approvisionnement en mix énergétique gaz et ressource renouvelable. L'analyse des diverses solutions est basée sur deux critères : budgétaire et environnemental.

#### 1. Définition des scenarii d'approvisionnement

Au vu des potentiels présentés précédemment, les énergies mobilisables sont :

- le solaire (photovoltaïque et thermique),
- la géothermie, notamment la géothermie des nappes superficielles,
- la biomasse, à travers la mobilisation du bois-énergie,
- la méthanisation, via le biogaz mobilisable sur la STEP,
- l'aérothermie par le biais de pompes à chaleur.

Ainsi, au vu des énergies disponibles, 5 scénarios, sont réalisés :

- **Scénario 1 - Décentralisé Gaz- Solaire thermique** : dans ce scénario, l'accent est mis sur la valorisation de l'**énergie solaire thermique** en résidentiel collectif dans la consommation en Eau Chaude Sanitaire :
  - Pour les logements collectifs : Chaudière et solaire thermique collectif,
  - Pour la crèche : **Pompe à chaleur géothermique** sur sondes géothermique (Opération vitrine/exemplaire),
  - Pour les autres typologies de logements et de bâtiments tertiaire : Chaudière à condensation individuelle ou collective.
- **Scénario 2 – Décentralisé Gaz- Pompe à chaleur Gaz** : dans ce scénario, les solutions retenues sont des solutions de production d'énergie grâce à des pompes à chaleur gaz naturel à absorption **aérothermique**.
  - Pour les logements collectifs : Pompe à chaleur gaz aérothermique collective,
  - Pour la crèche : **Pompe à chaleur géothermique** sur sondes géothermique (Opération vitrine/exemplaire),
  - Pour les autres typologies de bâtiments : chaudière gaz naturel couplé au non avec du solaire thermique en fonction de l'importance des besoins d'ECS.
- **Scénario 3 – Décentralisé Gaz– Production locale d'électricité** : dans ce scénario, l'accent est mis sur la production décentralisée d'électricité grâce à des **panneaux photovoltaïques** installés en toiture, notamment sur les bâtiments résidentiels (collectif et individuel).
- **Scénario 4 – Réseau de chaleur Bois/Gaz** : dans ce scénario, le quartier est alimenté en chaleur pour un réseau de chaleur avec une **chaufferie centralisé Bois /Gaz** en tête de réseau.
- **Scénario 5 – Electrique** : étant donné les faibles besoins de chauffages en construction neuve (notamment en résidentiel), des **solutions à faibles coûts d'investissement et de maintenance** ont été choisis pour le chauffage (convecteur électrique).

Le tableau suivant synthétise les systèmes énergétiques retenus pour chacun des scénarios.

|                          |            | Scénario 1 : Gaz                                                   | Scénario 2: Gaz EnR                                                | Scénario 3: Gaz - production d'électricité | Scénario 4: Réseau de chaleur Bois/Gaz | Scénario 5: Electrique                        |
|--------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Logements collectifs     | Chaud      | Chaudière collective gaz                                           | Pac gaz aérothermique + chaudière en appoint                       | Chaudière collective gaz                   | Sous- station RCU                      | Convecteurs électriques                       |
|                          | ECS        | Solaire Thermique + Chaudière                                      |                                                                    |                                            | Sous- station RCU                      | Cumulus électrique individuel                 |
|                          | Prod Elec  | -                                                                  | -                                                                  | PV (20m²/batiment)                         | -                                      | -                                             |
| Logements intermédiaires | Chaud      | Chaudière collective gaz                                           | Chaudière collective gaz                                           | Chaudière collective gaz                   | Sous- station RCU                      | Convecteurs électriques                       |
|                          | ECS        |                                                                    |                                                                    |                                            | Sous- station RCU                      | Cumulus électrique individuel                 |
|                          | Prod Elec  | -                                                                  | -                                                                  | PV (10m²/batiment)                         | -                                      | -                                             |
| Logements individuels    | Chaud      | Chaudière individuelle gaz                                         | Chaudière individuelle gaz                                         | Chaudière individuelle gaz                 | Chaudière individuelle gaz             | PAC électrique individuelles aérothermique    |
|                          | ECS        | Solaire Thermique + Chaudière                                      | Solaire Thermique + Chaudière                                      |                                            | Solaire Thermique + Chaudière          | Cumulus électrique individuel                 |
|                          | Prod Elec  | -                                                                  | -                                                                  | PV (10m²/maison)                           |                                        |                                               |
| Commerces                | Chauffage  | Chaudière collective gaz                                           | Chaudière collective gaz                                           | Chaudière collective gaz                   | Sous- station RCU                      | PAC électrique collectives aérothermique      |
|                          | ECS        |                                                                    |                                                                    |                                            | Sous- station RCU                      | Cumulus élec. individuel                      |
|                          | Froid      | Groupe froid électrique                                            | Groupe froid électrique                                            | Groupe froid électrique                    | Groupe froid électrique                | Appoint Groupe froid électrique si nécessaire |
|                          | Prod Elec. | -                                                                  | -                                                                  | -                                          | -                                      | -                                             |
| Crèche                   | Chauffage  | PAC géothermique sur sondes + chaudière et groupe froid en appoint | PAC géothermique sur sondes + chaudière et groupe froid en appoint | Chaudière collective gaz                   | Sous- station RCU                      | PAC électrique collectives aérothermique      |
|                          | ECS        |                                                                    |                                                                    |                                            | Sous- station RCU                      | Cumulus élec. individuel                      |
|                          | Froid      |                                                                    |                                                                    | -                                          | -                                      | -                                             |
|                          | Prod Elec. | -                                                                  | -                                                                  | -                                          | -                                      | -                                             |
| Bureaux                  | Chauffage  | Chaudière collective gaz                                           | Chaudière collective gaz                                           | Chaudière collective gaz                   | Sous- station RCU                      | PAC électrique collectives aérothermique      |
|                          | ECS        |                                                                    |                                                                    |                                            | Sous- station RCU                      | Cumulus élec. individuel                      |
|                          | Froid      | Groupe froid électrique                                            | Groupe froid électrique                                            | Groupe froid électrique                    | Groupe froid électrique                | Appoint Groupe froid électrique si nécessaire |
|                          | Prod Elec. | -                                                                  | -                                                                  | -                                          | -                                      | -                                             |
| Gymnase                  | Chauffage  | Chaudière collective gaz                                           | Chaudière collective gaz                                           | Chaudière collective gaz                   | Sous- station RCU                      | PAC électrique collectives aérothermique      |
|                          | ECS        |                                                                    |                                                                    |                                            | Sous- station RCU                      | Cumulus élec. individuel                      |
|                          | Froid      | -                                                                  | -                                                                  | -                                          | -                                      | -                                             |
|                          | Prod Elec. | -                                                                  | -                                                                  | -                                          | -                                      | -                                             |
| Groupe scolaire          | Chauffage  | Chaudière collective gaz                                           | Chaudière collective gaz                                           | Chaudière collective gaz                   | Sous- station RCU                      | PAC électrique collectives aérothermique      |
|                          | ECS        |                                                                    |                                                                    |                                            | Sous- station RCU                      | Cumulus élec. individuel                      |
|                          | Froid      | -                                                                  | -                                                                  | -                                          | -                                      | -                                             |
|                          | Prod Elec. | -                                                                  | -                                                                  | -                                          | -                                      | -                                             |

Tableau 43 - SCENARII D'EMPLOI DES ENERGIES RENOUVELABLES - SOURCE : GRDF 2017

## 2. Hypothèses pour l'analyse

### 2.1. Analyse économique

L'analyse économique est réalisée d'un point de vue global. Les scénarios sont comparés selon le coût global moyen à l'échelle du quartier, exprimé en € TTC/MWh. Ce coût global prend en compte l'ensemble des coûts d'investissement et d'exploitation pour chacun des scénarios.

#### Investissements

Les coûts d'investissements prennent en compte l'ensemble des coûts des systèmes de productions et sont donnés sans préoccupation de leur répartition entre les différents acteurs du projet d'aménagement (Ville, bailleurs, promoteurs, etc.).

Les coûts relatifs à la distribution et à l'émission de chaleur à l'intérieur des bâtiments étant équivalents quel que soit le scénario choisi (hors scénario électrique direct), ils ne sont pas pris en compte.

Le coût d'investissement calculé pour le réseau de chaleur se base sur les hypothèses suivantes :

- La mise en place d'une chaufferie bois de 2 100 KW, avec appoint gaz de 2 000 Kw,
- La desserte de tous les bâtiments de la zone, en utilisant les voies principales avec une longueur de réseau de chaleur considérée de 4200 m.

#### Subventions mobilisables

Pour le solaire thermique collectif, des subventions sont mobilisables grâce au Fonds Chaleur.

#### Coûts d'exploitation

Les besoins énergétiques sont des besoins utiles, c'est-à-dire livrés à l'utilisateur. On ne prend donc pas en compte les pertes sur le réseau ou les pertes de combustion, qui ne sont pas les mêmes pour le gaz ou pour le réseau de chaleur et peuvent ainsi entraîner une variation du coût d'exploitation réel.

Les coûts d'exploitation sont estimés en prenant en compte le coût de l'énergie (consommations et abonnement), les coûts de maintenance et les coûts de renouvellement des équipements. Les hypothèses de prix de l'énergie sont issues des prix de marché moyens constatés pour le gaz naturel et l'électricité.

Pour le solaire photovoltaïque, il est considéré que l'électricité est revendue sur le réseau. Des recettes d'exploitation sont donc intégrées dans le bilan économique.

Le coût d'exploitation calculé pour le réseau de chaleur se base sur les hypothèses suivantes :

- Le réseau de chaleur assure la chaleur (Chauffage et ECS) mais pas le froid. Le besoin de froid est satisfait par des Groupes froids électrique/bâtiment
- Le prix du bois : 26,7 euros HT/MWh

### 2.2. Analyse environnementale

L'analyse environnementale compare les consommations d'énergie primaire des différents scénarios ainsi que les émissions de CO<sub>2</sub> générées.



### 3. Analyse économique comparative des différents scénarios

Les estimatifs de besoins énergétiques, coûts à l'investissement et à l'exploitation sont donnés à titre indicatif et seront sujets à des variations en fonction de l'évolution du projet et de l'affinage des données techniques, qui demeurent aujourd'hui sommaires et provisoires.

*Pour rappel, suite à cette étude, le projet a été repris pour limiter son impact sur l'environnement. Le total des surfaces de plancher du projet étant passé de 147 636 m<sup>2</sup> à 133 514 m<sup>2</sup>, les besoins de consommation et production énergétique présentés dans cette étude sont surdimensionnés par rapport aux réels besoins du quartier.*

#### Coûts d'investissements et subvention mobilisables

| Investissements                                     | Scénario Gaz 1 | Scénario Gaz 2 | Scénario Gaz 3 | Scénario RCU | Scénario Elec |
|-----------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|---------------|
| Investissement total (hors subventions) (k€ HT)     | 4 415          | 2 235          | 2 301          | 7 597        | 4 434         |
| Montant total des subventions (k€)                  | 1 751          | 13             | 0              | 1 955        | 0             |
| Investissement total - subventions déduites (k€ HT) | 2 664          | 2 222          | 2 301          | 5 643        | 4 434         |
| Taux de subventions                                 | 40%            | 1%             | 0%             | 26%          | 0%            |

Tableau 44 – COÛTS D'INVESTISSEMENT ET SUBVENTIONS MOBILISABLES PAR SCENARIO – SOURCE : CITADIA 2017

Le scénario 4 Réseau de Chaleur Urbain (RCU) présente le coût d'investissement le plus élevé malgré un appel important aux subventions publiques (26 % d'aides).

Le scénario 1 présente le cout d'investissement le plus élevé (couts des installations solaires thermiques). Cependant, ce surinvestissement est largement compensé par des aides du Fonds Chaleur (Taux de subvention de 40% : passage 4 415 k€ à 2 664 k€). Ce scénario se rapproche alors du scénario au cout d'investissement le plus fable : le scénario 2 appelant la mise en place de pompe à chaleur aérothermique.

#### Cout d'exploitation par logement

| Dépenses énergétiques du client                                            | Scénario Gaz 1 | Scénario Gaz 2 | Scénario Gaz 3 | Scénario RCU | Scénario Elec |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|---------------|
| Facture énergétique par éq logement en € TTC/an (Combustible + Abonnement) | 142            | 131            | 204            | 328          | 448           |
| Coût d'entretien par éq logement en € TTC/an                               | 130            | 173            | 124            | 0            | 7             |

Tableau 45 – COÛTS D'EXPLOITATION PAR LOGEMENT – SOURCE : CITADIA 2017

Le scénario 5, tout électrique, est celui qui compte la facture la plus cher car il ne compte pas d'énergie renouvelable.

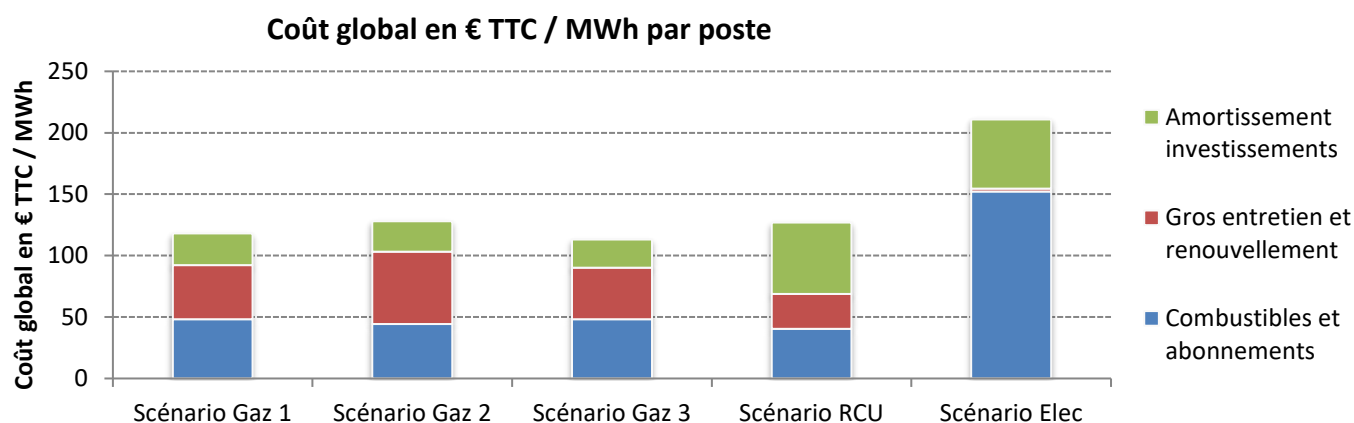
Les couts d'exploitations les moins chers sont ceux des scénarios 1, solaire thermique (272€ TTC/logement/an) et le scénario 2, aérothermie (304€ TTC/logement/an).

## Coût global

| Coût global et coûts annuels                       | Scénario Gaz 1 | Scénario Gaz 2 | Scénario Gaz 3 | Scénario RCU | Scénario Elec |
|----------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|---------------|
| <b>Coût global en € TTC / MWh</b>                  | <b>118</b>     | <b>128</b>     | <b>113</b>     | <b>127</b>   | <b>211</b>    |
| Coût annuel total (€ TTC/an)                       | 733 247        | 794 540        | 702 000        | 788 600      | 1 309 200     |
| Coût combustible + Abonnement (€ TTC/an)           | 299 700        | 275 200        | 429 700        | 250 300      | 945 000       |
| Revenu de la revente d'électricité (€ TTC / an)    | 0              | 0              | -130 700       | 0            | 0             |
| Coût d'entretien et de renouvellement(€ TTC/an)    | 273 700        | 364 900        | 261 200        | 177 100      | 14 400        |
| Amortissement investissements (€ TTC/an)           | 247 600        | 155 300        | 141 800        | 440 800      | 349 800       |
| Subvention annuelle à l'investissement (€ TTC /an) | -87 753        | -860           | 0              | -79 600      | 0             |

Tableau 46 – COUTS D'EXPLOITATION PAR SCENARIO – SOURCE : CITADIA 2017

Le graphique ci-dessous présente la répartition des différents postes de coûts dans le coût global pour chaque scénario.



Graphique 47 – COUTS GLOBAL PAR SCENARIO – SOURCE : CITADIA 2017

Cette analyse met en avant les points suivants :

- Les 3 scénarios Gaz ont des couts globaux (€/MWh) relativement proches,
- Malgré l'investissement important pour le réseau de chaleur urbain, le cout global s'approche de celui des scénarios gaz car le cout d'exploitation est très faible,
- Dans le scénario 3, le cout d'exploitation intègre des recettes liées à la revente de l'électricité produite par les installations photovoltaïques,
- Le scénario tout électrique, ne mobilisant pas d'énergie renouvelable, est celui qui propose un cout global le plus élevé.

## 4. Analyse environnementale comparative des différents scénarios

*Pour rappel, suite à cette étude, le projet a été repris pour limiter son impact sur l'environnement. Le total des surfaces de plancher du projet étant passé de 147 636 m<sup>2</sup> à 133 514 m<sup>2</sup>, les besoins de consommation et production énergétique présentés dans cette étude sont surdimensionnés par rapport aux réels besoins du quartier.*

| Performances environnementales                                                     | Scénario Gaz 1 | Scénario Gaz 2 | Scénario Gaz 3 | Scénario RCU | Scénario Elec |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|---------------|
| Part d'EnR dans le besoin chauffage + ECS (%)                                      | 29%            | 14%            | 21%            | 80%          | 5%            |
| Emissions de CO2 (t/an)                                                            | 1 242 000      | 1 116 600      | 1 564 800      | 307 500      | 448 400       |
| Emissions de CO2 (t/m <sup>2</sup> /an)                                            | 8              | 8              | 11             | 2            | 3             |
| Consommation d'énergie primaire pour les usages Chauffage, ECS et Clim (MWh EP/an) | 5 606          | 5 070          | 8 247          | 8 511        | 14 138        |

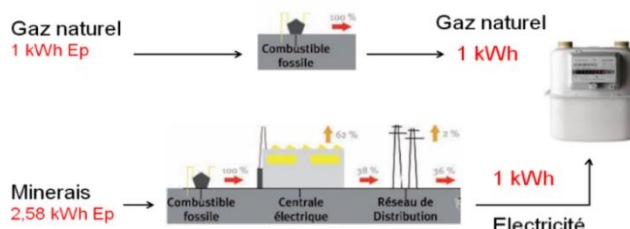
Tableau 48 – ANALYSE ENVIRONNEMENTALE COMPARATIVE DES DIFFERENTS SCENARIO – SOURCE : CITADIA 2017

La part d'énergies renouvelables (ENR) est très importante et les émissions de CO<sup>2</sup> sont très faibles pour le réseau de chaleur urbain. Malgré une consommation d'énergie primaire plus importante que les deux premiers scénarios, le bilan des performances environnementales le plus positif est celui du réseau de chaleur urbain.

Le scénario 1 permet d'atteindre un niveau de performance environnemental acceptable avec un taux d'EnR de 29% et permet de limiter la consommation en énergie primaire (préservation de la ressource).

Le scénario tout électrique quant à lui possède une faible part d'ENR et consomme énormément d'énergie primaire. Il a le bilan de performances environnementales le plus faible.

Figure 49 - COMPARAISON DE CONSOMMATION D'ENERGIE PRIMAIRE POUR PRODUIRE DU GAZ OU DE L'ELECTRICITE



## 5. Synthèse

|                                             | Avantages                                                                                        | Inconvénients                                                                                                             |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Scénario 1 : gaz+ solaire thermique         | Un cout d'investissement raisonnable, une facture utilisateur réduite                            | Un bilan environnemental moins performant que la solution réseau de chaleur                                               |
| Scénario 2 : gaz + aérothermie              | Un cout d'investissement raisonnable, une facture utilisateur réduite                            | Un cout d'entretien relativement important<br>Un bilan environnemental moins performant que la solution réseau de chaleur |
| Scénario 3 : gaz + solaire photovoltaïque   | Un cout d'investissement raisonnable, une recette liée à la revente de l'électricité             | Une facture utilisateur plus importante<br>Un bilan environnemental moins performant que la solution réseau de chaleur    |
| Scénario 4 : Raccordement réseau de chaleur | Un cout d'entretien et un cout du combustible faible<br>Un bilan environnemental très performant | Un cout d'investissement supérieur aux autres solutions étudiées, une facture utilisateur plus importante                 |
| Scénario 5 : Tout électrique                | Un cout d'entretien inexistant                                                                   | Un cout d'investissement supérieur aux autres solutions étudiées, une facture utilisateur plus importante                 |

Tableau 50 – SYNTHÈSE PAR SCÉNARIO – SOURCE : CITADIA 2017

Le scénario 1, solaire thermique, est le scénario optimisé d'un point de vue économique et environnemental.