

**ETUDE DE FAISABILITE SUR LE
POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT
EN ENERGIES RENOUVELABLES**

**SECTEUR GRAND LAUNAY
CHATEAUGIRON**

Décembre 2018

RAPPORT D'ETUDES

Rapport Final

Exoceth Water & Energy Systems

Siège social

Espace d'activités du Val Coric – 56380 GUER – France

Tél. (33) 2 97 22 03 30 – Fax. (33) 2 97 22 16 68

Agence des Pays de la Loire

8 avenue des Thébaudières – 44800 SAINT-HERBLAIN - France

Tél. (33) 2 40 85 61 86 – Fax. (33) 2 97 22 16 68



Date	Indice	Observations
27/10/2016	0	Premier établissement
13/12/2016	A	Mise à jour suite à la redéfinition du programme
12/12/2018	B	Mise à jour suite à la redéfinition du programme

Numéro d'étude	16061	
Etabli par	PTO	
Vérifié par	JDE	
Approuvé par	JDE	

Sommaire

Sommaire	2
1. Introduction.....	1
2. Présentation du territoire	2
3. Contexte énergétique régional.....	4
3.1. Mesures de lutttes contre le réchauffement climatique	4
3.1.1 Au niveau Européen	4
3.1.2 Au niveau National	4
3.2. Qu'appelle-t-on énergie renouvelable et énergie de récupération	5
3.3. Etat des lieux des consommations d'énergie en Bretagne	5
4. Gisements énergétiques bruts à l'échelle de la région	11
4.1. Ensoleillement moyen annuel.....	11
4.1.1 Généralités et Potentiel	11
4.1.2 Etat des lieux	11
4.2. Gisement Bois-Energie.....	15
4.2.1 Généralités et Potentiel	15
4.2.2 Disponibilité de la matière première	16
4.2.3 Développement de filières	17
4.2.4 Implantations des fournisseurs de bois-décheté	19
4.2.5 Etat des lieux des installations	20
4.2.6 Réseau de chaleur	21
4.2.7 Implantations des fournisseurs de bois buches et granulés	22
4.3. Les déchets organiques valorisables	23
4.4. Usines d'Incinération des Ordures Ménagères.....	24
4.5. Unités de méthanisation.....	25
4.6. La géothermie.....	26
4.6.1 Rappel sur la technique de géothermie basse énergie	26
4.6.2 Potentiel estimatif	27
4.6.3 La géothermie très basse énergie	28
4.7. L'aérothermie.....	29
4.8. La ressource éolienne	30
4.8.1 Potentiel	30
4.8.2 Etat des lieux	30
4.9. Production d'électricité hydraulique.....	33
4.9.1 Potentiel	33
4.9.2 Etat des lieux	33
5. Gisements énergétiques nets à l'échelle de la zone d'étude.....	35
5.1. Cadre du projet.....	35
5.1.1 Description du programme prévisionnel	35
5.1.2 Estimation des consommations énergétiques	36
5.1.3 Estimation des puissances thermiques	39

5.2. Scénario de référence	40
5.3. Gisement Solaire Net	42
5.3.1 Description des formes urbaines	42
5.3.2 Solaire thermique	46
5.3.3 Solaire Photovoltaïque	50
5.4. Le gisement net issu de la valorisation des déchets organiques	54
5.5. Le gisement géothermique net	56
5.5.1 La géothermie basse énergie (profonde)	56
5.5.2 La géothermie très basse énergie	57
5.6. Le gisement aérothermique net	60
5.6.1 Compression électrique	60
5.6.2 Aérothermie gaz naturel	62
5.7. Le gisement éolien net	64
5.7.1 Vents dominants	64
5.7.2 Grand éolien	64
5.7.3 Petit éolien	65
5.8. Le gisement Bois-Energie net	68
5.8.1 Ressources locales	68
5.8.2 Bois granulés	69
5.8.3 Bois bûches	73
5.8.4 Chaufferie centrale Bois-décheté & réseau de chaleur	74
5.9. Le gisement Hydroélectrique net	78
6. Evolution des coûts énergétiques	79
6.1. Hypothèses de base.....	79
6.2. Analyse de l'évolution sur 30 ans	80
7. Emissions de CO₂ des différentes solutions énergétiques	86
8. Recommandations sur l'éclairage urbain	87
8.1. Etat des lieux	87
8.2. Enjeux de l'éclairage urbain.....	87
8.3. Pollution lumineuse	87
8.4. Préconisations.....	89
9. Synthèse	91

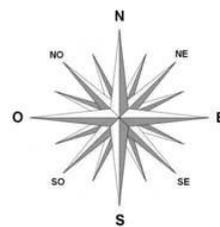
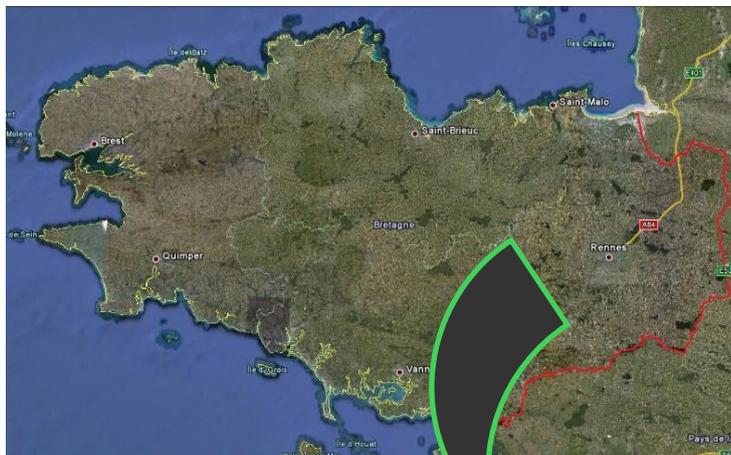
1. Introduction

L'objet de ce document est de réaliser une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables dans le cadre des études préalables et de création de ZAC sur le secteur du « Grand Launay » d'environ 55 ha sur la commune de CHATEAUGIRON (35).

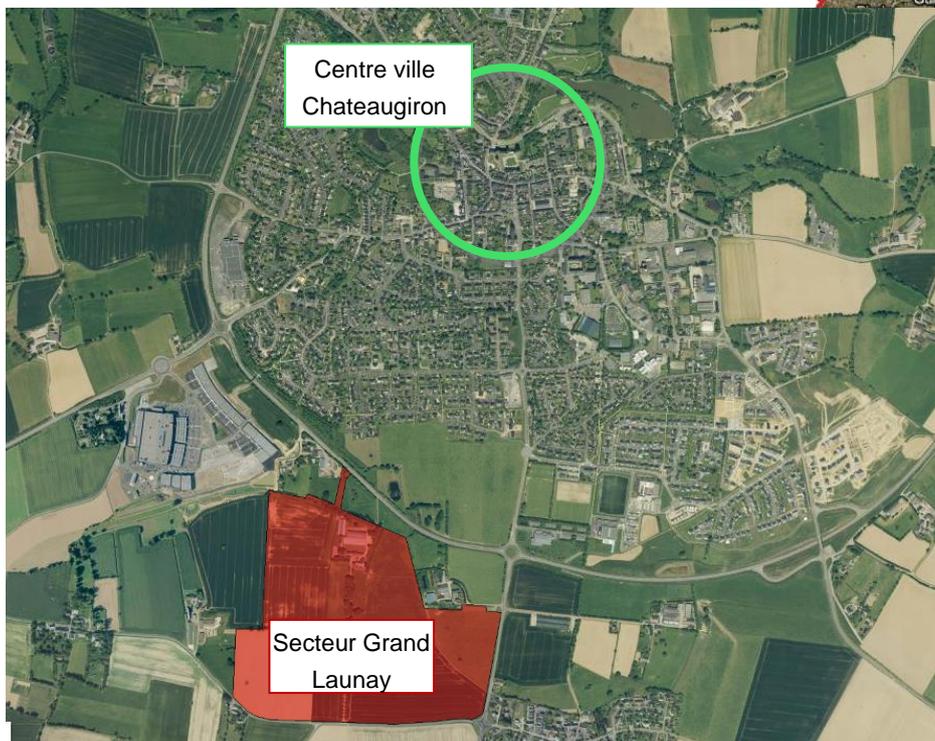
Cette étude entre dans le cadre de l'article 8 de la loi n° 2009-967 du 3 août 2009, créant l'article L. 128-4 dans le code de l'urbanisme :

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

2. Présentation du territoire



La commune de Châteaugiron est située au cœur de l'Ille-et-Vilaine (35) en région Bretagne, à une dizaine de kilomètres de l'agglomération rennaise.



La population totale de la commune nouvelle de Châteaugiron, Ossé et Saint-Aubin du Pavail estimée selon l'INSEE est de 10052 habitants (2016) et sa superficie est de 23.52 km², soit une densité d'environ 427 hab/km².

La commune est bordée :

- au nord par la commune de Noyal-sur-Vilaine,
- à l'est par les communes de Domagné et de Chancé,
- au sud par la commune d'Amanlis et Piré-sur-Seiche,
- à l'ouest par les communes de Nouvoitou et Domploup,

Le périmètre de l'opération couvre une surface d'environ 41 ha, délimité sur la vue aérienne ci-dessous :



3. Contexte énergétique régional

3.1. Mesures de lutttes contre le réchauffement climatique

3.1.1 Au niveau Européen

.La conférence de Paris de 2015 sur les changements climatiques est le premier accord universel pour le climat à avoir été approuvé à l'unanimité par les 196 délégations (195 états + l'union européenne). En 2016, l'accord de Paris (COP21) est entré officiellement en vigueur. Le seuil des ratifications (55 états représentant 55 % des émissions de gaz à effet de serre) a été atteint.

Avec l'adoption du Paquet Énergie-Climat 2030 en octobre 2014, l'Union européenne a conclu un accord solide et collectif la plaçant à la pointe de la transition énergétique mondiale et lui permettant de contribuer au succès de la Conférence de Paris. Ses objectifs s'articulent en trois temps :

- ▶ Un engagement de court terme : la réduction de ses émissions de gaz à effet de serre de 40% d'ici 2030, par rapport à 1990.
- ▶ Un objectif de moyen terme : la diminution des émissions de 80 à 95% d'ici 2050, par rapport à 1990.
- ▶ Un objectif de long terme : 0 émission nette d'ici 2100, pour garantir une trajectoire d'augmentation maximale de 2°C de la température.

Le cadre énergie climat favorise la transition énergétique notamment par :

- ▶ Un objectif de 27% d'énergies renouvelables dans le mix énergétique d'ici 2030 ;
- ▶ Un objectif de 27% d'économies d'énergies d'ici 2030. Un réexamen en 2020 est d'ores et déjà prévu pour le porter à 30% d'ici 2030 ;
- ▶ Un soutien significatif aux États-membres, en particulier aux moins avancés, pour investir dans l'innovation et des projets concrets, grâce au mécanisme "NER 400", un nouveau fonds de modernisation, géré par les États membres avec le soutien de la BEI, et la redistribution de 10 % des quotas carbone aux États membres ayant un PIB inférieur à 90 % de la moyenne européenne

3.1.2 Au niveau National

La France s'est fixé deux objectifs principaux en lien avec la loi transition énergétique pour la croissance verte, qui sont :

- ▶ 40 % de réduction de ses émissions d'ici à 2030 par rapport au niveau de 1990,
- ▶ 75 % de réduction de ses émissions d'ici à 2050 par rapport au niveau de 1990.

Pour ce faire, elle s'est engagée sur l'évolution du mix énergétique :

- ▶ Porter à 32 % la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale en 2030,
- ▶ Réduire de 50 % la consommation énergétique à l'horizon 2050. .

La France s'est donc donné les orientations stratégiques à court terme (2015 – 2028) pour mettre en œuvre dans tous les secteurs d'activité la transition vers une économie bas-carbone

- ▶ Réduction de 54 % des émissions dans le secteur du bâtiment, dans lequel les gisements de réduction des émissions sont particulièrement importants : déploiement des bâtiments à très basse consommation, accélération des rénovations énergétiques, éco-conception, compteurs intelligents ;

- ▶ Réduction de 29% des émissions dans le secteur des transports : amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules (véhicule consommant 2L /100 km), développement des véhicules propres (voiture électrique, biocarburants, ...);
- ▶ Réduction de 12 % des émissions dans le secteur de l'agriculture grâce au projet agro-écologique : méthanisation, couverture des sols, maintien des prairies, développement de l'agroforesterie, optimisation de l'usage des intrants ;
- ▶ Réduction de 24 % des émissions dans le secteur de l'industrie : efficacité énergétique, économie circulaire (réutilisation, recyclage, récupération d'énergie), énergies renouvelables ;
- ▶ Réduction de 33 % des émissions dans le secteur de la gestion des déchets : réduction du gaspillage alimentaire, écoconception, lutte contre l'obsolescence programmée, promotion du réemploi et meilleure valorisation des déchets.

3.2. Qu'appelle-t-on énergie renouvelable et énergie de récupération

Définition énergie renouvelable :

« Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humaine ».

Les énergies renouvelables identifiables sont : éolienne, solaire, géothermique, houlomotrice, marémotrice et hydraulique ainsi que l'énergie issue de la biomasse. On englobe aussi dans les énergies renouvelables les flux de déchets organiques de l'activité économique qui peuvent donner lieu à une valorisation énergétique : déchets de l'agriculture et de l'exploitation forestière, part fermentescible des déchets industriels et des ordures ménagères.

Définition énergie de récupération :

Les énergies de récupération sont des énergies dites « propres », au même titre que le solaire, la biomasse ou le vent. Comme leur nom l'indique, valoriser les énergies de récupération consiste à récupérer de l'énergie qui, à défaut, serait perdue. Ce sont les énergies générées par l'incération des déchets, la chaleur des data centers, la récupération de la chaleur industrielle ou toute autre chaleur perdue.

Les avantages de ces énergies sont nombreux puisqu'elles permettent d'éviter le gaspillage énergétique : cette méthode vise en effet à remplacer les énergies fossiles, comme le gaz, le fioul ou le charbon, par une énergie qui serait autrement « perdue ». Par ailleurs, contrairement à ces énergies carbonées, les énergies de récupération n'émettent, par définition, aucun rejet supplémentaire de CO₂. Enfin, cette énergie est bon marché, étant donné qu'elle réduit les coûts de production, à condition que le site où l'on récupère l'énergie ne soit pas trop éloigné des bâtiments ou des équipements à chauffer.

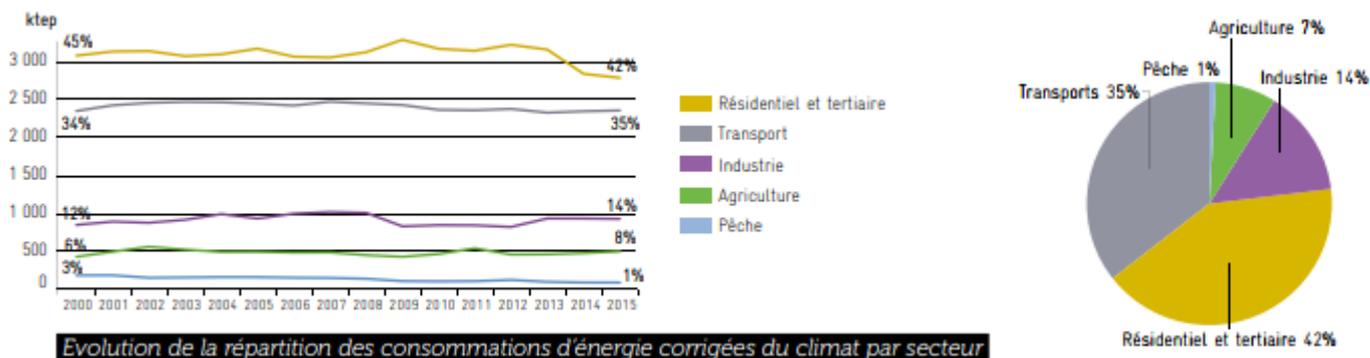
3.3. Etat des lieux des consommations d'énergie en Bretagne

La Bretagne a présenté une consommation d'énergie finale totale de l'ordre de 6,4 Mtep (Méga tonnes d'équivalent pétrole) en 2015, pour les secteurs résidentiels, tertiaires, les transports, l'industrie et l'agriculture. De cette consommation énergétique finale, 90,1% ont été importés, soit seulement 9,9% qui ont été produit en région Bretagne (augmentation d'environ 10% depuis 2001).

A l'échelle nationale, cette consommation correspond à 4,2 % de la consommation nationale pour 5,1 % de la population. D'autre part, cette consommation équivaut à 2 tep par habitant par an, contre une moyenne de 2,3 à l'échelle nationale.

On peut donc considérer que la Bretagne consomme légèrement moins d'énergie que la moyenne nationale.

Le secteur le plus consommateur d'énergie en Bretagne est le résidentiel-tertiaire, suivi des transports, de l'industrie et de l'agriculture, comme l'illustre le graphique ci-dessous (données 2015).

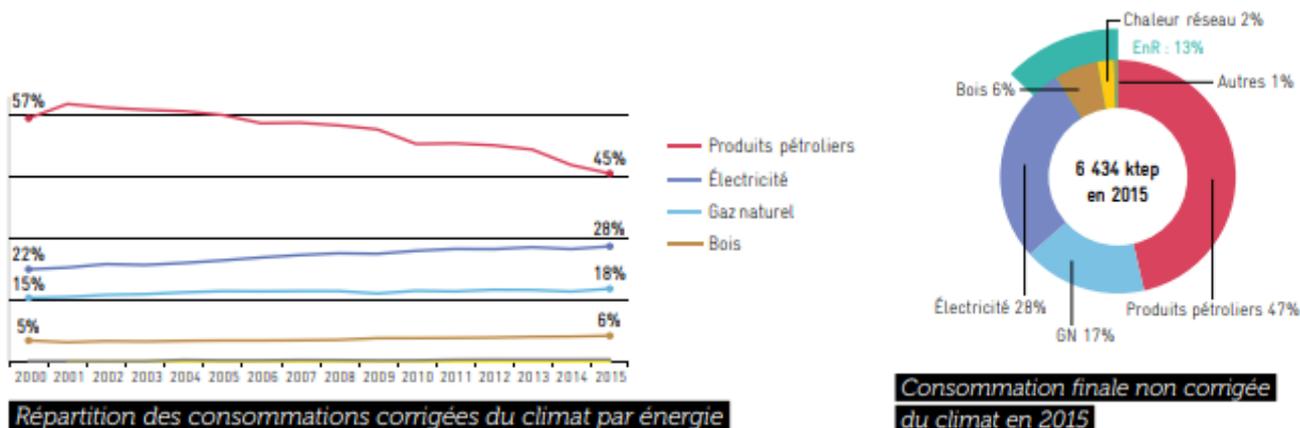


Source : bretagne-environnement.org

L'habitat individuel est prédominant par rapport à l'habitat collectif.

Les énergies les plus utilisées dans le résidentiel et tertiaire sont l'électricité et les produits pétroliers, utilisées principalement pour se chauffer. (Le gaz est la première énergie de chauffage dans l'habitat collectif alors que les produits pétroliers sont plus utilisés dans l'habitat individuel).

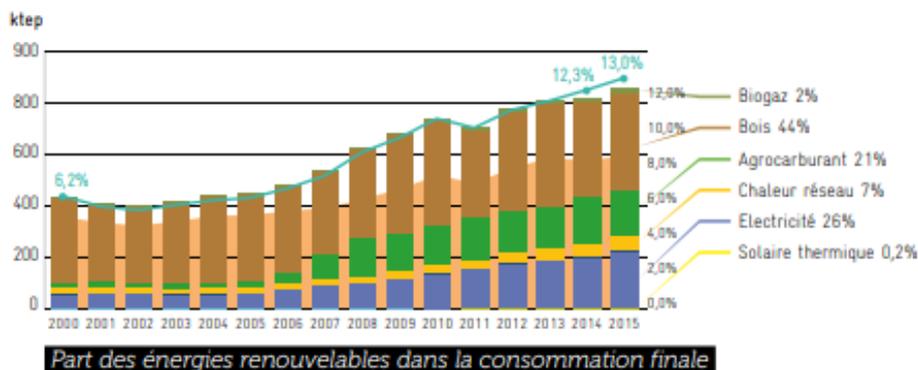
Dans la globalité, le type d'énergie le plus utilisé en Bretagne est le pétrole, comme le montre l'évolution des consommations leur répartition énergétique en Bretagne sur les graphiques ci-dessous :



Source : bretagne-environnement.org

La part des consommations finales produite par des sources d'énergies renouvelables s'élève à environ 836 Ktep en 2015 soit environ 13 % de la consommation totale.

On note que cette production d'énergie renouvelable est en hausse de 7 points par rapport à 2000 ou elle représentait seulement 6,2 % de la consommation finale totale.

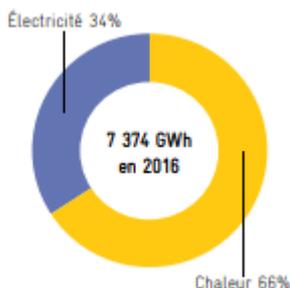


La production d'énergie renouvelable se décompose en 2 parties :

- La production de chaleur,
- La production d'électricité.

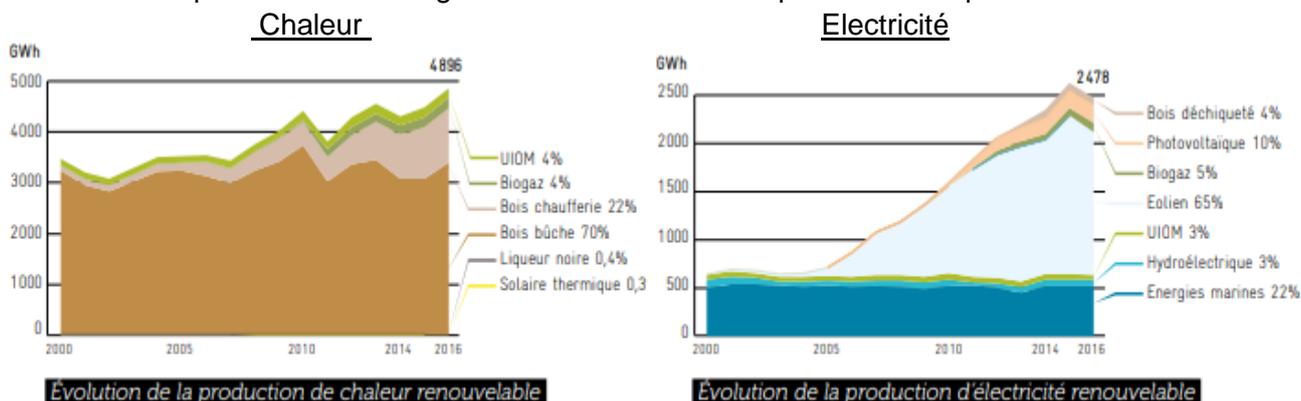
A l'échelle de la Bretagne, la chaleur représente la plus grande partie de l'ensemble des énergies renouvelables produites, et le bois en est la première ressource.

La répartition générale des types de production d'EnR en 2016 est la suivante :



L'énergie renouvelable est majoritairement produite sous forme de chaleur ou de combustibles en 2016 avec 66 % de la production d'EnR bretonne, contre 34 % sous forme d'électricité. Cette répartition a fortement évoluée depuis 2000 avec le développement rapide de l'éolien et du photovoltaïque.

L'évolution des productions d'énergies renouvelables électriques et thermiques est la suivante :



Source : bretagne-environnement.org

La production d'énergie renouvelable dépasse les 7 TWh (7 374 GWh en 2016) et continue de progresser, avec + 7,1 % en 2015 et + 3,3 % en 2016. 82,6 % de la production totale d'énergie en Bretagne est renouvelable en 2016. Cela permet d'atteindre près de 10% « d'autonomie énergétique » grâce aux énergies renouvelables seules.

La production renouvelable de la Bretagne représente ainsi 9,6 % de la consommation d'énergie finale en 2015, contre 14,9 % au niveau national. Cette différence s'explique par la nature des énergies renouvelables produites : au niveau national, la production hydroélectrique représente 25 % de la production EnR, contre 0,8 % en Bretagne. La production d'agrocarburants est marginale en Bretagne et représente 12 % des EnR nationales.

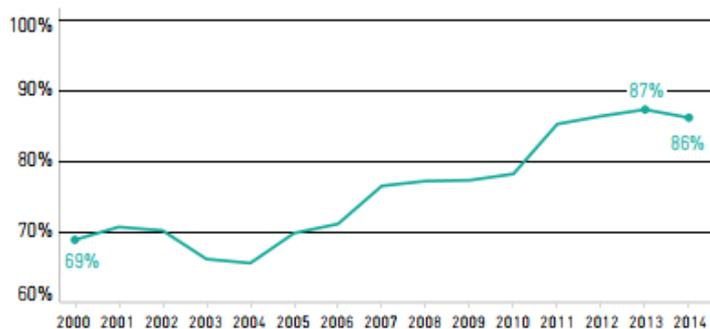
On note une forte augmentation de la production d'électricité renouvelable (production plus que triplée depuis 2005), du fait de la prolifération des champs d'éoliennes ces dernières années.

La production de chaleur quant à elle est relativement stable depuis 2000, avec toutefois une augmentation de l'ordre de 27%, en raison principalement du développement des chaufferies bois plaquettes.

La majorité du parc immobilier existant en Bretagne est antérieur à 1975, n'étant assujettie à aucune réglementation thermique et donc présentant un potentiel de réhabilitation important et prioritaire. La Bretagne comptait en 2011, 35% de ses résidences principales chauffées à l'électricité contre 26,4% au niveau national.

La consommation importante d'électricité en Bretagne contraste avec sa faible production. La production d'électricité régionale permet de couvrir en 2015 seulement 13,7% de ses besoins en électricité (chiffre en hausse par rapport à 2011 et 2013), le reste étant acheminé depuis l'extérieur. Ce constat est un point critique pour la région qui peut se retrouver en pénurie d'électricité lors de périodes de grand froid. En effet, la Bretagne connaît quelques difficultés d'approvisionnement en électricité lors des fortes pointes.

Parmi ces 13,7% de production locale, environ 86% sont produits à partir d'énergies renouvelables, production en hausse constante depuis 2000, comme le montre le graphique ci-dessous :

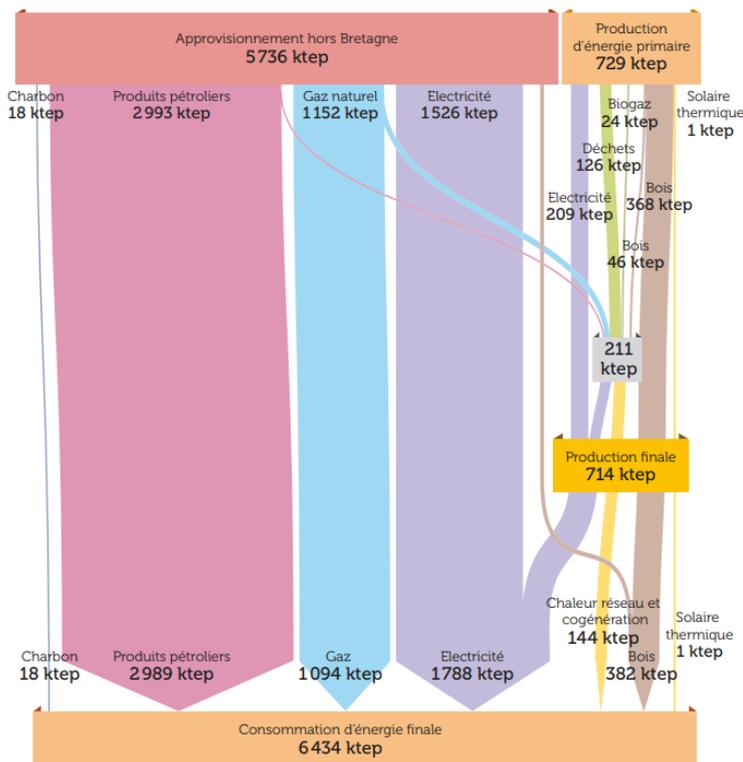


Part de l'électricité produite à partir d'énergie renouvelable

Le maximum de puissance appelée a été atteint le 25 janvier 2013: 4615 MW de puissance appelée sur le réseau et une amplitude de l'ordre de 700 MW sur la journée.

La puissance appelée en pointe ne cesse d'augmenter ces dernières années due à l'augmentation des installations électriques, (pompes à chaleur comprises).

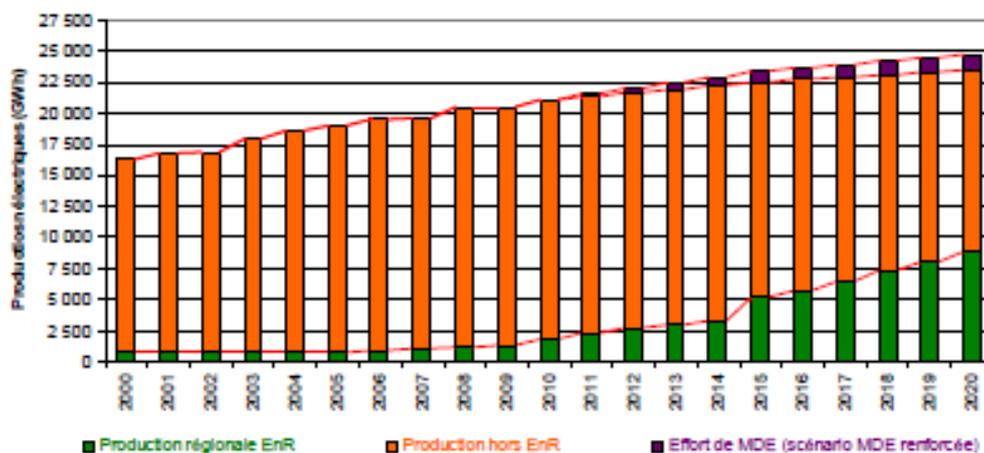
Le graphique ci-dessous illustre le bilan énergétique régional en 2015 :



Les 729 ktep produits en 2015 sont essentiellement fournis par le bois, sous forme de bûches ou utilisé dans des chaufferies au bois déchiqueté. 35 % de l'énergie finale est produite sous forme d'électricité et le reste se répartit entre la chaleur (réseau ou issue des cogénérations), le biogaz (hors biogaz consommé pour la production d'électricité) et la production d'eau chaude par panneaux solaires thermiques.

Pour pallier à cette situation critique, un pacte électrique breton a été mis en place avec l'objectif de porter à 3 600 MW la puissance d'électricité renouvelable d'ici 2020.

La perspective d'évolution de la consommation électrique bretonne serait alors la suivante :



Ce pacte électrique breton s'accompagne d'un plan de maîtrise de la demande en électricité (MDE) composé notamment :

- D'une sensibilisation des acteurs bretons au contexte électrique régional par une information adaptée : le programme EcoWatt sera renforcé.
- D'une aide à l'orientation des choix d'investissements et d'équipements, afin d'assurer une information sur les avantages et inconvénients au regard du système électrique de l'équipement en pompes à chaleur ou en convecteurs aux fins de privilégier d'autres systèmes de chauffage moins consommateurs d'électricité.

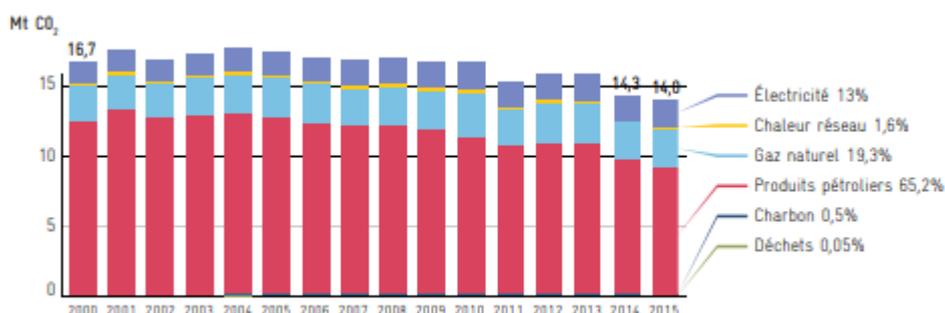
La production régionale est assurée par l'hydraulique principalement, puis par une production thermique, et enfin, manifestant une forte augmentation depuis 2005, par l'éolien. L'éolien est d'ailleurs en passe de devenir la première source de production d'électricité régionale.

La consommation d'énergie finale a engendré 14,0 Mt de dioxyde de carbone (CO₂) en 2015 dont 90 % a été émis en Bretagne. Le reste est émis par les centrales électriques hors Bretagne, par exemple à Cordemais en Pays-de-la-Loire.

La consommation de produits pétroliers est la première source de CO₂, avec 65 % des émissions, mais elle baisse progressivement depuis le début des années 2000. Le gaz naturel représente 19 % des émissions énergétiques et l'électricité 13 %. Les transports sont les premiers contributeurs aux émissions (51 % en 2015).

La répartition des émissions par secteur diffère de la répartition de la consommation d'énergie finale, en raison notamment de la pénétration des EnR dans la consommation sectorielle. Une fois corrigées du climat, les évolutions de la consommation finale et des émissions de CO₂ ne suivent pas les mêmes tendances. Alors que la consommation a baissé de 3,5 % depuis 2000, les émissions de CO₂ ont chuté de 14 %.

Outre la diminution de la part des consommations de produits pétroliers, la baisse est liée à l'incorporation d'agrocultures (7,7 % pour le gazole et 6,1 % pour le supercarburant), au développement des chaufferies bois, au bois bûche et dans une moindre mesure à l'électricité renouvelable.



Emissions de CO₂ liées à la consommation d'énergie non corrigée du climat

La Bretagne présente donc quelques difficultés énergétiques. L'analyse du potentiel de développement en énergies renouvelables au sein de son territoire est une opération aujourd'hui nécessaire, ayant pour principal intérêt l'amélioration de sa situation énergétique.

4. Gisements énergétiques bruts à l'échelle de la région

4.1. Ensoleillement moyen annuel

4.1.1 Généralités et Potentiel

L'énergie solaire est une énergie inépuisable et gratuite.

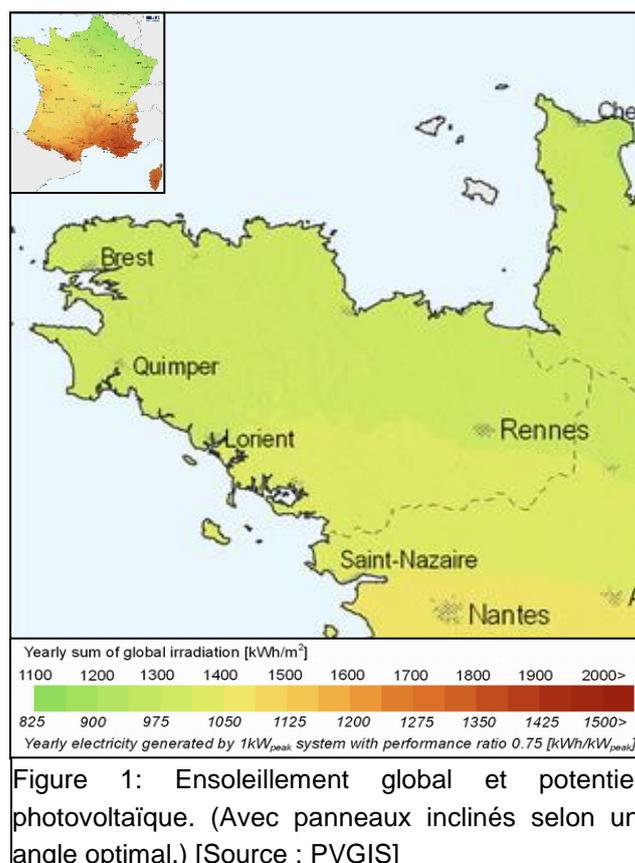
Cette énergie peut être exploitée pour produire de l'eau chaude sanitaire, de l'électricité, ou encore alimenter un circuit de chauffage.

La région Bretagne présente un ensoleillement annuel de 1700 heures en moyenne. Un mètre carré de capteur reçoit alors sur sa surface, une quantité d'énergie entre 1300 et 1400 kWh/m².an.

Pour une installation solaire photovoltaïque, on estime qu'un champ de capteurs d'une puissance de 1kW_{crête} produira en moyenne entre 975 et 1050 kWh sur l'année.

Pour une installation de chauffe-eau solaire, une installation correctement dimensionnée assurera un taux de couverture solaire de l'ordre de 50 - 60% des besoins.

La réalisation d'une centrale solaire asservissant un réseau de chaleur est envisageable, mais présente des coûts très importants et dont la technique reste expérimentale en France.



4.1.2 Etat des lieux

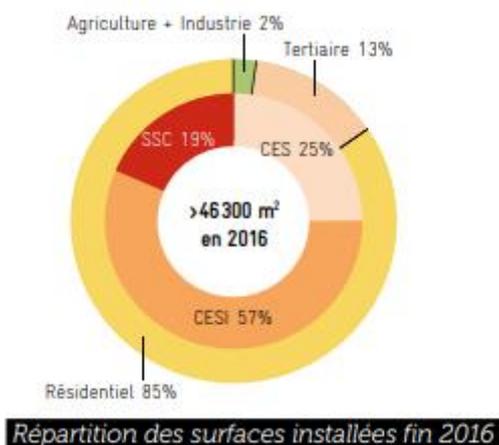
Solaire Thermique

Le solaire thermique est une solution de production d'énergie (eau chaude sanitaire majoritairement) qui connaît un fort développement en Bretagne depuis quelques années.

Cette évolution s'est manifestée au niveau des particuliers comme des collectivités.

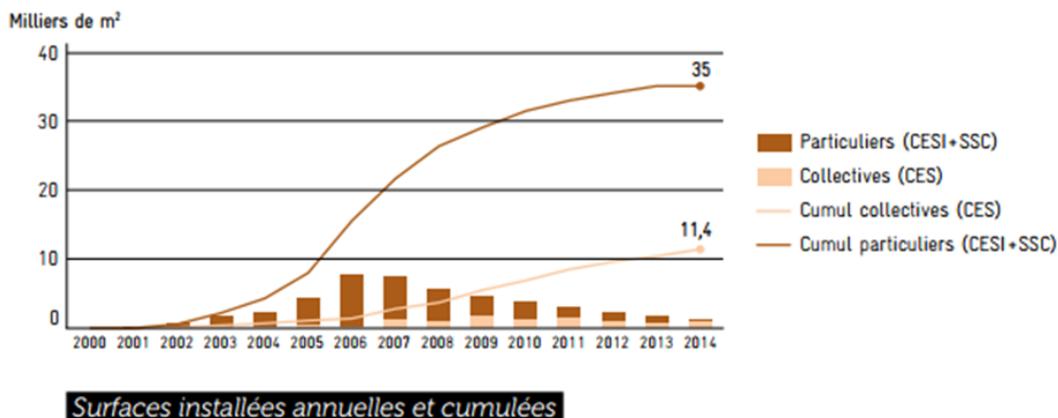
En effet, on a remarqué l'augmentation à la fois des CESI (Chauffe Eau Solaire Individuel), des SSC (Système Solaire Combiné), mais également des CES (Chauffe Eau Solaire collectif) ou alors des installations de plusieurs CESI dans des bâtiments collectifs.

En Bretagne la répartition des différentes technologies utilisant le solaire thermique en 2016 est la suivante :

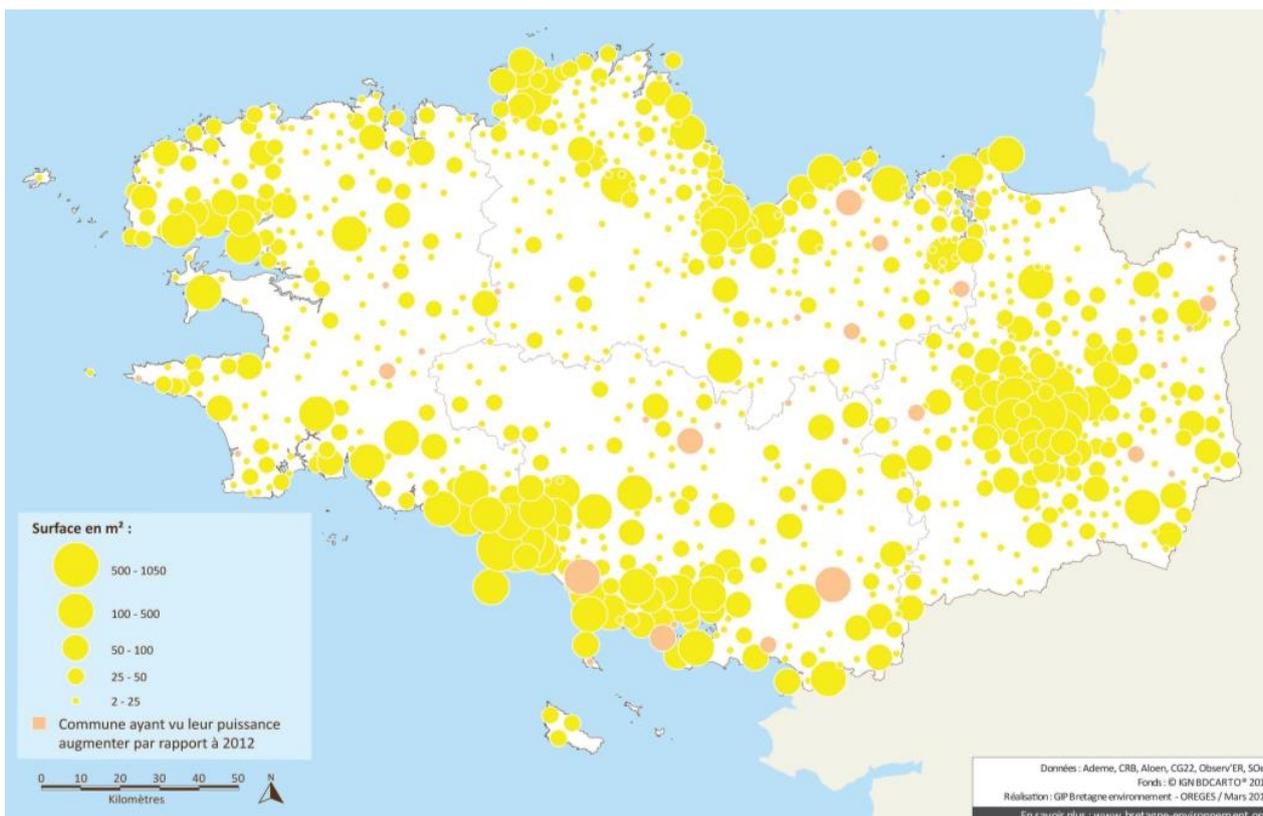


L'ensemble de ces 46 300 m² (dont 87% chez les particuliers) permet selon les estimations, une production d'énergie annuelle de l'ordre de 14 GWh.

L'évolution temporelle du nombre d'installations solaires thermiques en Bretagne depuis 2000 est la suivante :



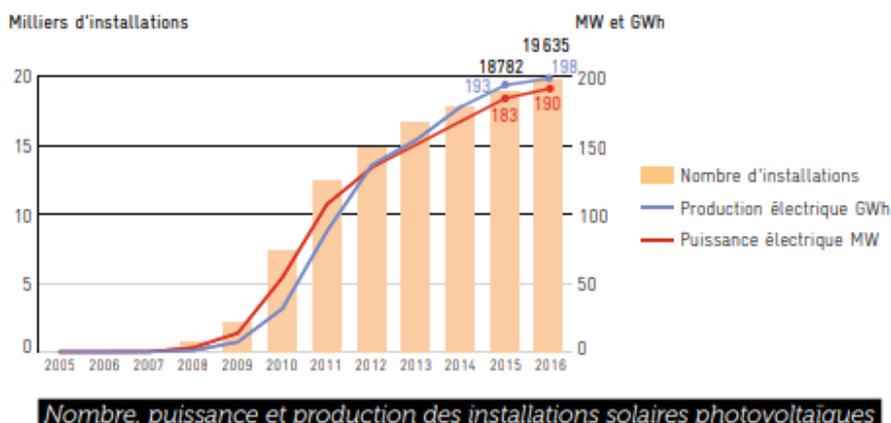
Le nombre d'installations solaires thermiques a donc connu un véritable essor lors de ces dernières années. Les installations sont présentes sur l'ensemble de la région, malgré une plus forte densité du nombre d'installations sur les côtes et autour des grandes villes comme le montre la carte page suivante.



L'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'eau chaude sanitaire en Bretagne présente donc un potentiel avéré, tant au niveau des installations individuelles que collectives.

Photovoltaïque

Le solaire photovoltaïque est en plein développement en Bretagne comme dans le reste de la France. L'année 2016 présente des puissances photovoltaïques installées sans précédent malgré la baisse du tarif de rachat, comme le montre le graphique ci-dessous :



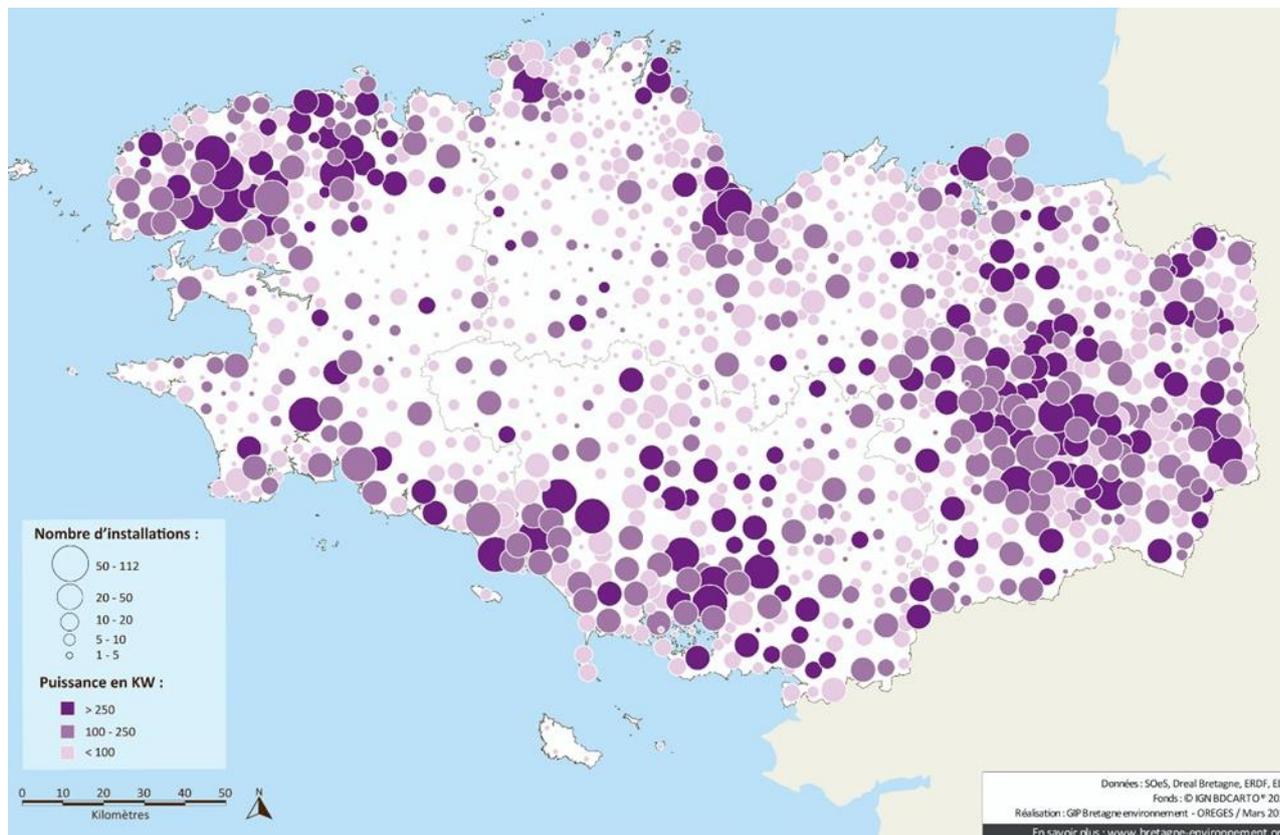
Le solaire photovoltaïque atteint 19 635 installations pour 190 MW en 2016. Cela représente 198 GWh, soit 2,7 % des énergies renouvelables produite en Bretagne et 6,4 % de l'électricité renouvelable produite en Bretagne.

La progression des installations ralentit en 2016 avec + 7 MW, contre + 16 MW en 2015.

En 2016, le pic est atteint le 19 avril avec 143 MW, mais la puissance disponible reste inférieure à 1 MW sur 50% de la période septembre-mars 2016, plus défavorable aux énergies solaires.

Environ un tiers de la puissance installée est mise en œuvre chez des particuliers tandis que la plus grande partie de la puissance installée se retrouve sur des installations agricoles collectives ou industrielles.

La carte ci-dessous montre la couverture des installations photovoltaïques en Bretagne.

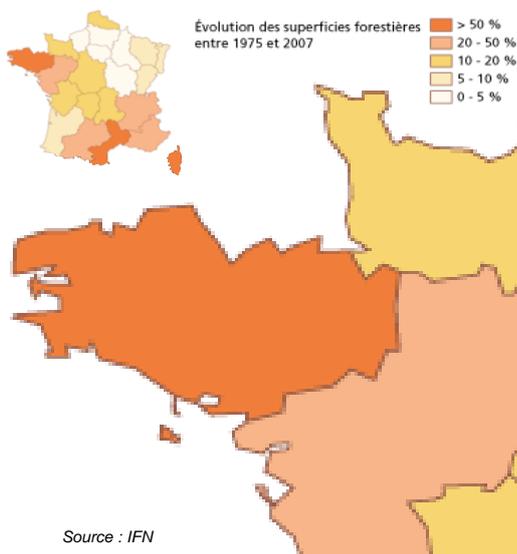


4.2. Gisement Bois-Energie

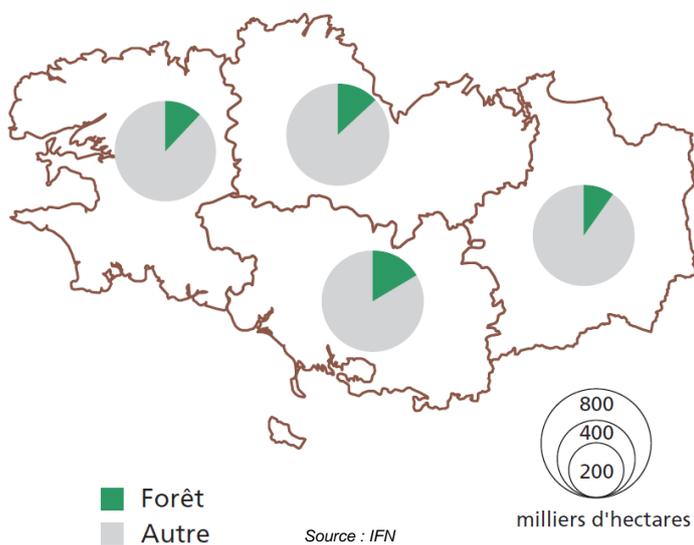
4.2.1 Généralités et Potentiel

La France est un pays où le potentiel forestier augmente constamment.

La carte ci-contre montre que la Bretagne est l'une des régions où les surfaces forestières ont le plus augmenté depuis 1975 :



La Bretagne est une région présentant un fort potentiel avec un taux de boisement de l'ordre de 13% ce qui représente une surface forestière de l'ordre de 360 000 hectares.



Des 4 départements bretons, le Morbihan présente la surface forestière la plus importante, avec un taux de boisement de 17%.

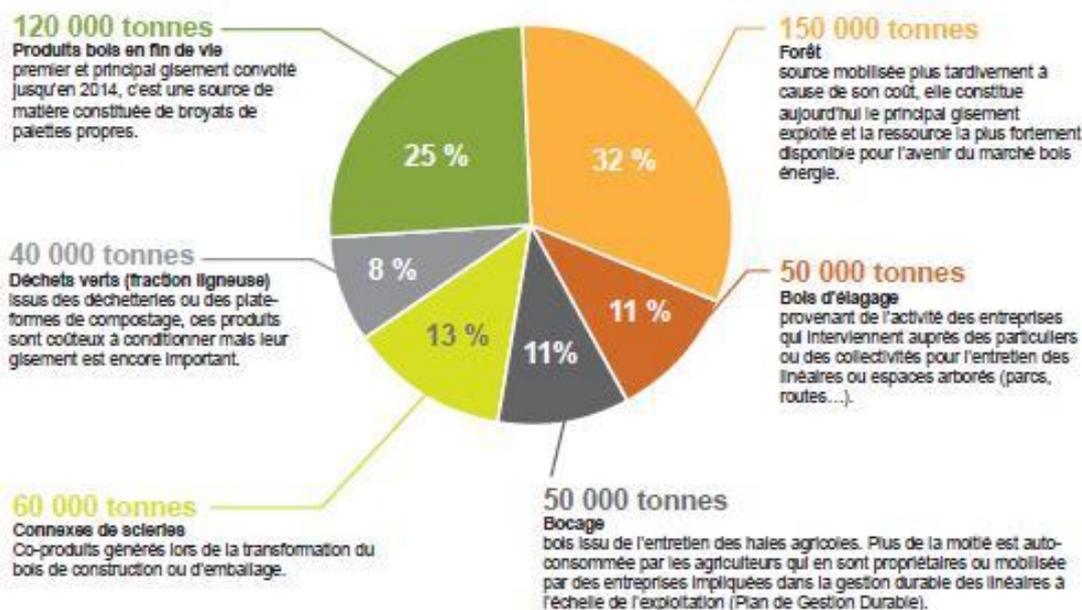
L'intérêt environnemental du Bois-Energie est que la combustion du bois n'est pas considérée comme émettrice de CO₂, car ce CO₂ rejeté à la combustion est absorbé lors de la croissance du bois, créant ainsi un cycle.

Le volume annuel de combustible prévisionnel des chaufferies bois réalisées, en construction et en projet en Bretagne à horizon 2015 est de l'ordre de 420 000 tonnes. Ce qui représente environ 100 000 tonnes d'équivalent pétrole substituées.

4.2.2 Disponibilité de la matière première

La multiplication des projets de chaufferies à bois déchiqueté entraînent une augmentation de la consommation de bois. Une évolution prévisionnelle de la consommation de bois plaquettes a été établie par l'association AILE de la manière suivante :

VOLUME DE BOIS DÉCHIQUETÉ MOBILISÉ PAR ORIGINE DE PRODUIT EN BRETAGNE



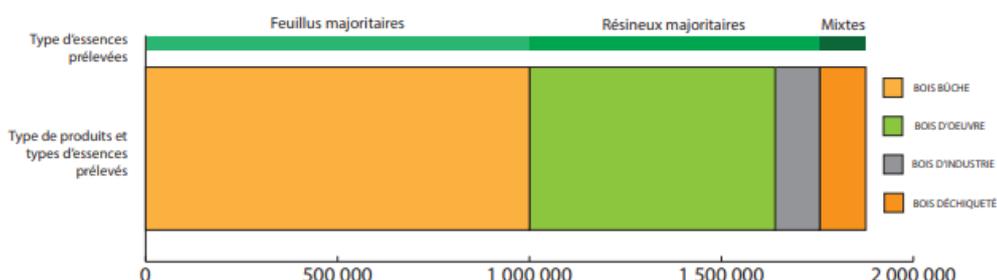
Source : AILE

On peut préciser que plus de 90 % du bois énergie collecté en Bretagne est consommé sur le territoire régional. Le reste est consommé dans des départements limitrophes.

L'augmentation de la consommation de bois, selon le prévisionnel établi sur les études en cours, est considérable notamment pour les collectivités et les industries.

En effet Le développement de la consommation de bois énergie, quelquefois par à coup, a pu donner l'impression que la ressource forestière était fortement sollicitée pour cette utilisation mais les chiffres ci-dessous montrent que, bien que la consommation de bois énergie forestier soit significative, elle ne représente pas un poids très conséquent au regard des autres prélèvements de bois.

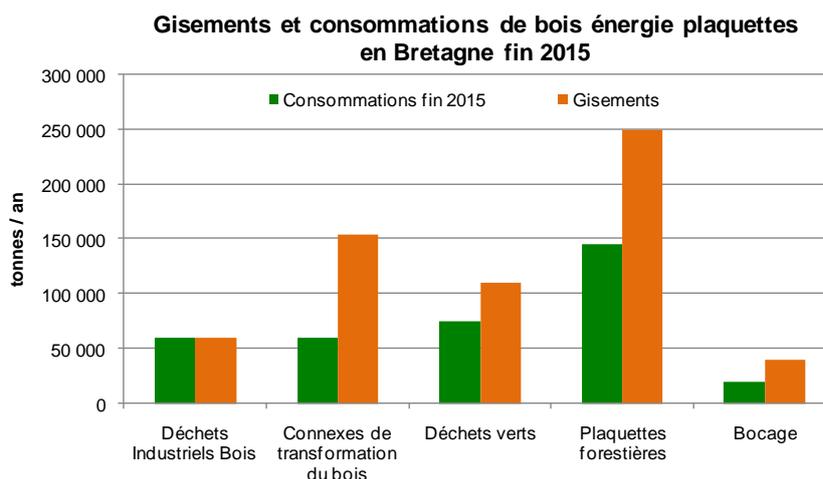
VOLUME DE BOIS PRÉLEVÉ EN FORÊTS BRETONNES, par catégorie de produit (m³ bois rond) en 2014



Le bois déchiqueté destiné au bois énergie ne représente que 7 % de la récolte totale de bois en Bretagne en 2014. Chaque année, les prélèvements de bois en forêt sont inférieurs à la production naturelle de celle-ci. Donc chaque année, le stock de bois sur pied augmente et l'accroissement de l'année suivante se fait à partir d'un stock plus important. La tendance en Bretagne est donc à la croissance en volume et en surface, plutôt composés de taillis pauvres délaissés, propices à produire du bois énergie.

Le gisement en bois énergie à l'échelle régionale est estimé à environ 615 000 tonnes de bois par an.

Ce gisement est comparé aux consommations prévisionnelles pour fin 2015 par source sur le graphique suivant :



La ressource, même si elle doit être gérée avec vigilance reste disponible, avec le développement de l'exploitation des déchets verts, des connexes de scieries et des plaquettes forestières.

4.2.3 Développement de filières

D'autre part, le développement d'une filière de production (cultures TTCR, entretien du bocage) et distribution est parfois favorisé par les collectivités locales.

Ces initiatives engendrent des investissements complémentaires (création de plateformes, location de matériel, etc...) mais permettent de mieux maîtriser et de pérenniser l'approvisionnement dans le cadre d'un développement économique local (création d'emploi).

La culture de TTCR (Taillis Très Courte Rotation) de type saule par exemple, présente les caractéristiques de fonctionnement suivantes :

- Récolte tous les 3 ans en hiver, sur une période de 20 ans environ,
- 1 ha permet de produire environ 10 tonnes de matière sèche par an,
- 1 ha permet de substituer 12 tonnes de CO2 en comparaison avec du fioul,
- 1 ha permet potentiellement la plantation d'environ 15 000 boutures.

L'illustration ci-dessous présente le principe de la récolte du TTCR :

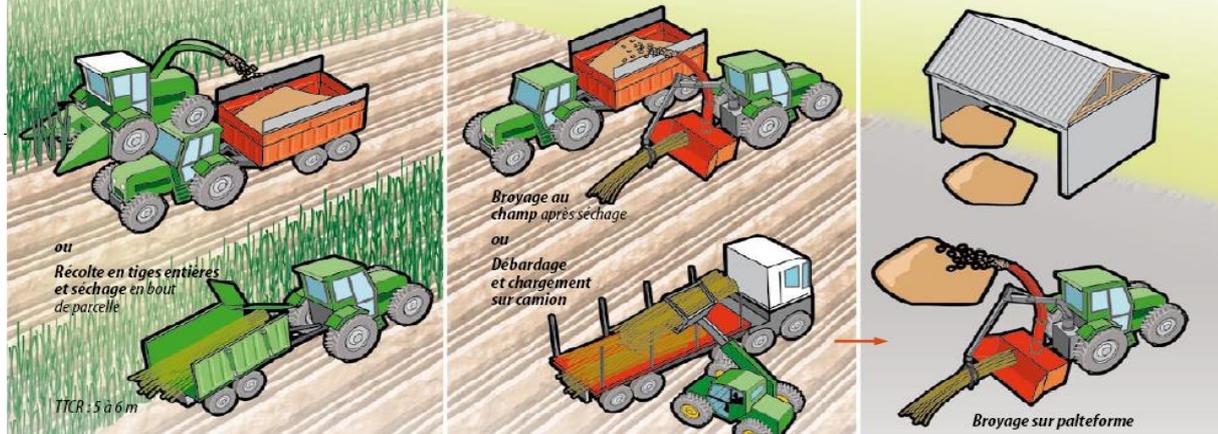
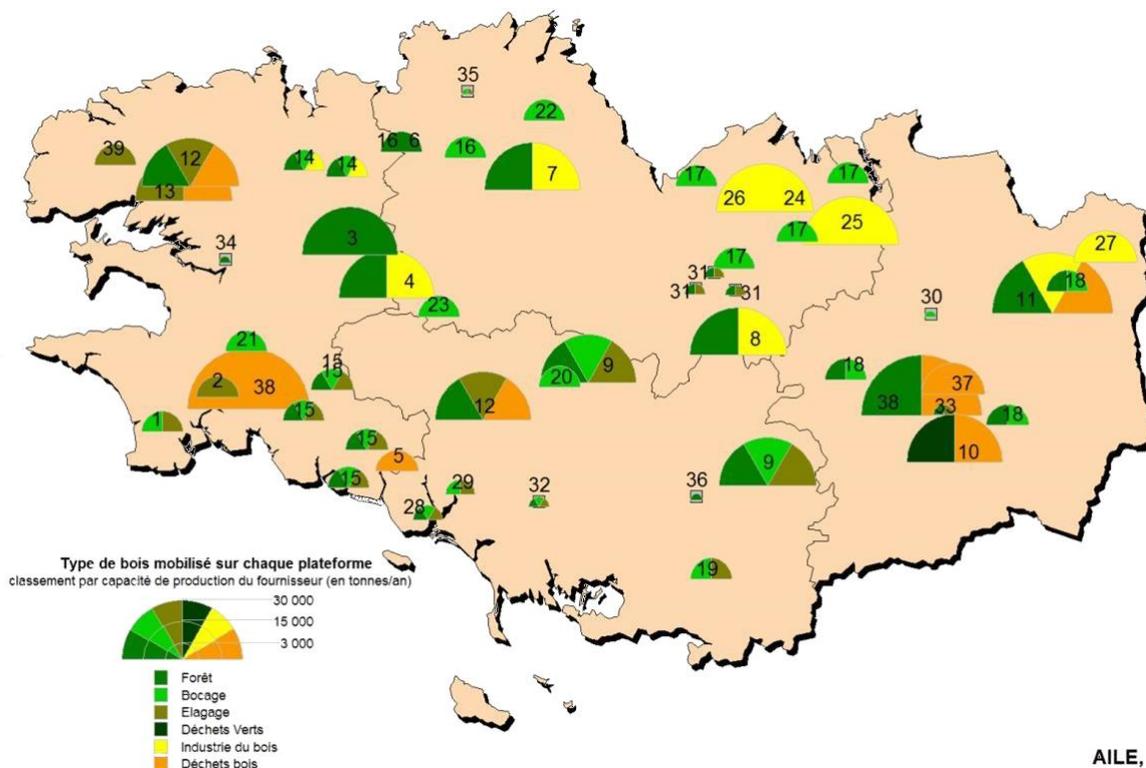


Schéma de principe de la récolte des TTCR

4.2.4 Implantations des fournisseurs de bois-décheté

Une cinquantaine de plateformes de livraison de bois décheté pour l'énergie sont recensées à l'heure actuelle en Bretagne.

Ces différents fournisseurs sont répartis géographiquement sur la carte située ci-dessous, selon leur capacité de production et la nature des plaquettes de bois distribuées :



Ces fournisseurs sont répertoriés selon leur statut dans le tableau suivant :

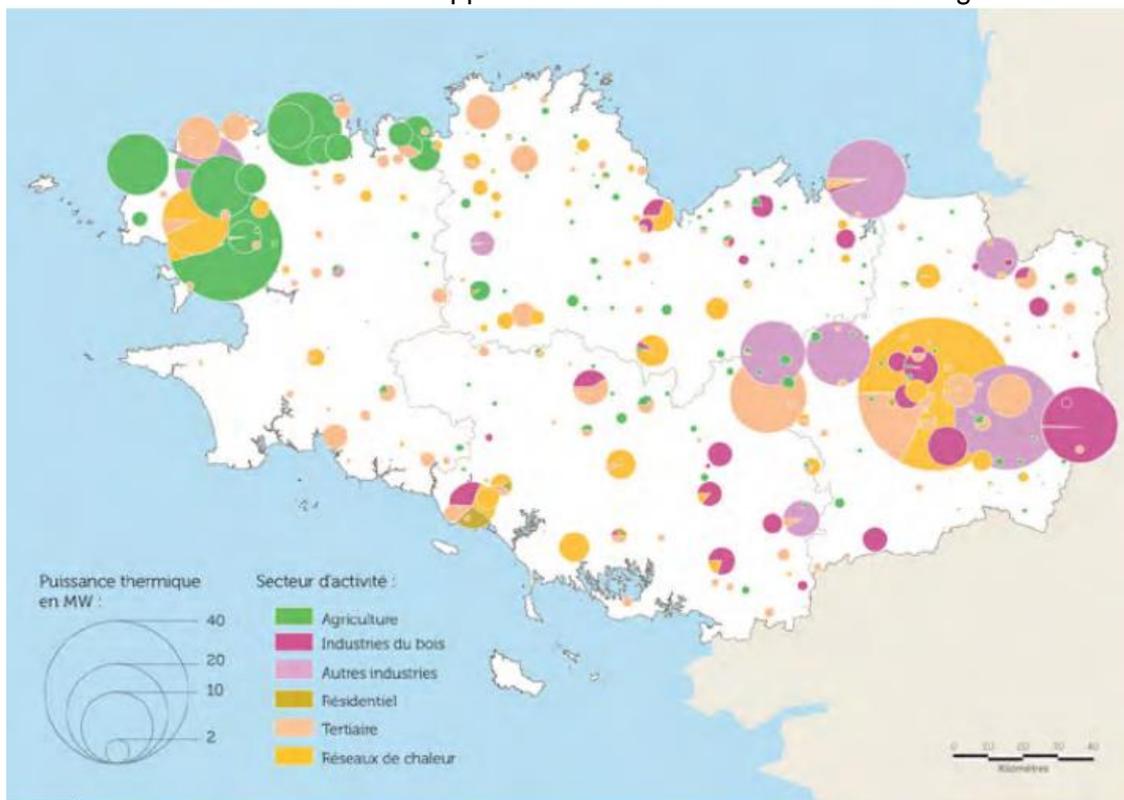
Multi produits - Recyclage		Agricoles et coopératives		Collectivités (autoproduction)	
38	PAPREC	14	Scic Coat Bro Montroulez	28	Lorient
11	Bois2	15	Scic Energie bois Sud Cornouaille	29	Hennebont
10	Ecosys	16	Scic Bocagénèse	31	Comcom du Mené
13	SARL Bois Services	17	Scic Energies Renouvelables Pays de Rance	32	Auray Communauté
12	Sylv'Eco	18	CBB35	33	Chartres de Bretagne
37	DBR Environnement	19	Scic Nature Solidaire	30	ComCom val d'ille
5	Emmaus Rédéné	20	Scic Argoat Bois énergie	34	PNR Armorique
27	N2TA	21	Glazik bois énergie	35	Cavan
Entrepreneurs de travaux agricoles/forestiers/élagueurs		22	Goelo bois énergie	36	Serent
3	BECOB	23	Esat de Glomel	Liées à une scierie	
9	BEOE			24	Scierie Houée
1	Adel Services			25	Scierie Norman
2	Kerne Elagage			26	Scierie Rault
39	Bro Léon			4	AproBois
6	Le Boulanger			7	SBE
				8	GIE Bretagne Scieries*

* les capacités de production du GIE sont regroupées au siège social

On remarque que la région Bretagne est relativement bien couverte dans sa globalité, mis à part certaines localités. Ceci est un gage d'une proximité de la ressource, renforçant son intérêt d'un point de vue économique et environnemental.

4.2.5 Etat des lieux des installations

La carte ci-dessous de visualiser le développement des chaufferies bois en Bretagne.

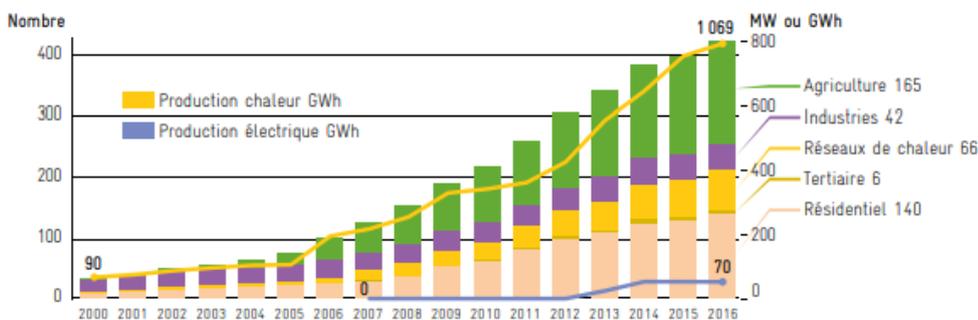


Puissance thermique des chaufferies au bois déchiqueté par commune en 2016

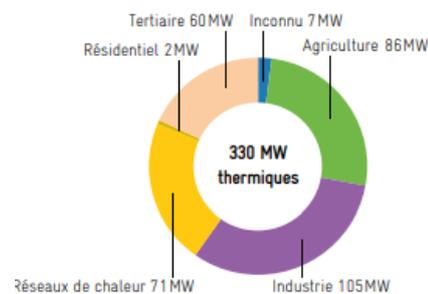
On dénombre 420 chaufferies bois en Bretagne à fin 2016, pour 330 MW de puissance thermique et 10 MW de puissance électrique. La progression est continue et soutenue avec 20 nouvelles installations en 2016 pour 16 MWth supplémentaires.

Depuis 2005, année de référence du SRCAE, le nombre de chaufferies et leur puissance ont été multipliés par près de 6. Environ 430 000 tonnes de bois sont consommées pour alimenter ces chaufferies, soit environ 1 300 GWh d'énergie primaire*.

L'énergie finale produite se répartit entre 1 069 GWhth et 70 GWhé. La majorité des installations fournit de la chaleur au secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire + réseaux de chaleur), avec 185 chaufferies et 95 MW.



Nombre, puissance et production de chaleur et d'électricité des chaufferies bois

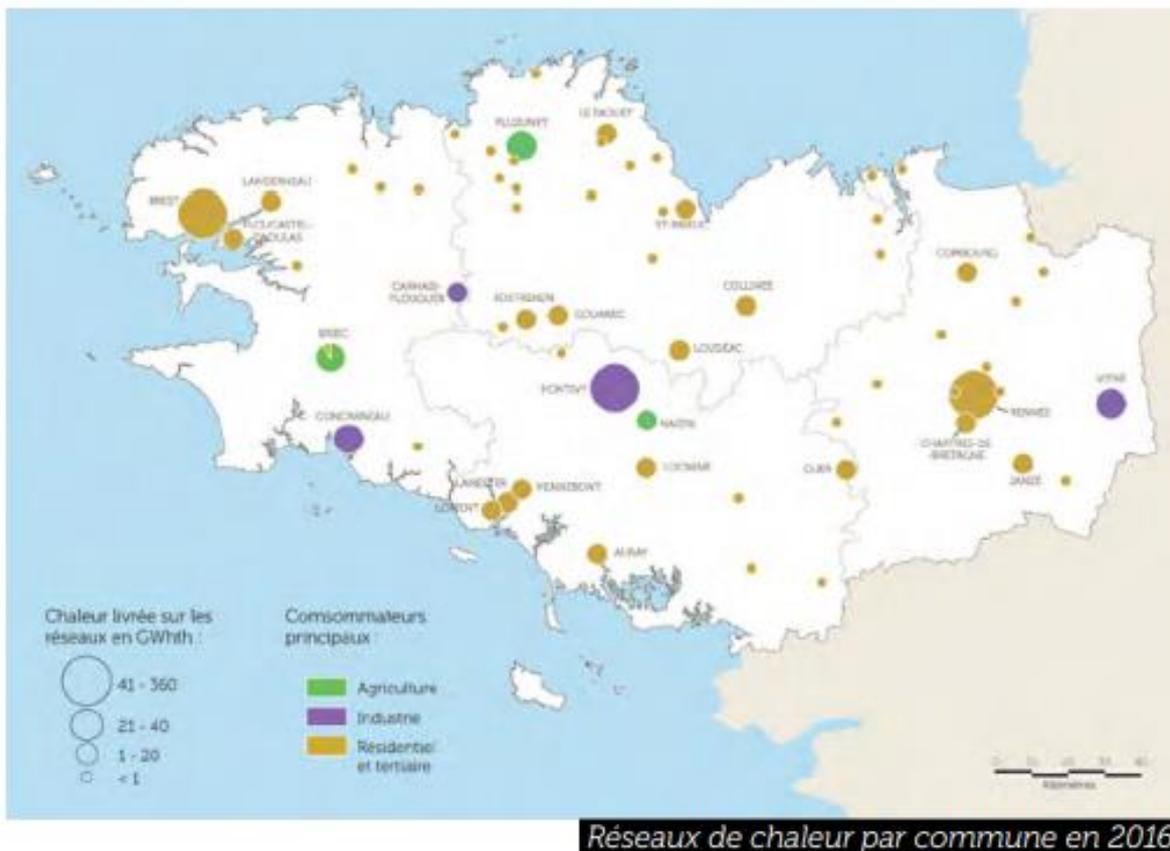


Puissance des chaufferies par secteur en 2016

On dénombre aussi 159 chaufferies agricoles, soit 84 MW, dont 17 chaufferies dans le Finistère qui alimentent des serres, pour 69 MW. Les installations industrielles ne représentent que 42 sites, mais totalisent 105 MW, soit 34 % de la puissance installée.

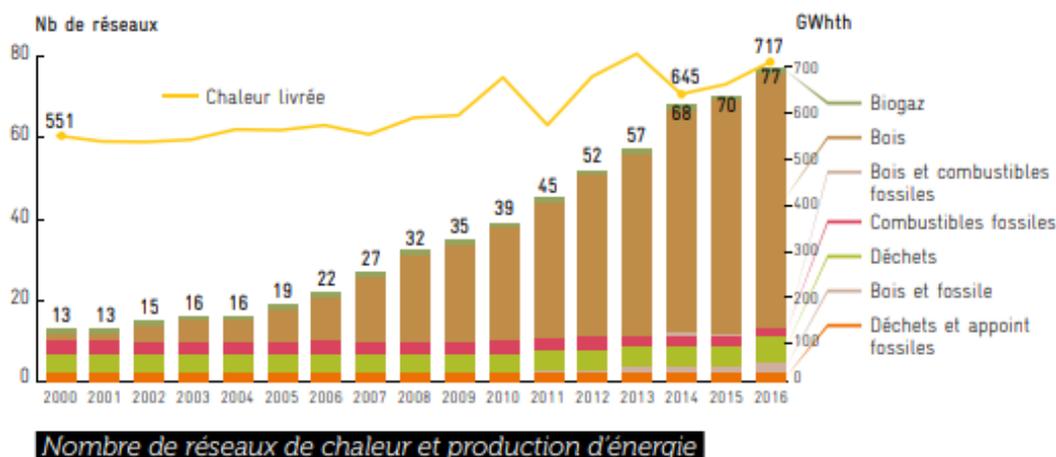
4.2.6 Réseau de chaleur

En 2016, 63 communes sont équipées par un ou plusieurs réseaux de chaleur. L'énergie délivrée est estimée à 717 GWh thermiques soit une baisse de 7,6 % par rapport à 2015 du fait de la progression du nombre de réseaux et de l'hiver moins rigoureux.

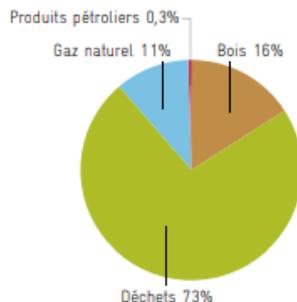


On dénombre au total 77 réseaux de chaleur, dont 63 petits réseaux alimentés par des chaufferies bois ou une cogénération biogaz (1 réseau). 7 réseaux supplémentaires ont été inaugurés en 2016 pour une capacité d'environ 50 GWhth supplémentaires par an. La production de chaleur est largement dominée par de grands réseaux urbains créés il y a plus de 10 ans, et elle augmente donc peu depuis 2000 malgré la progression du nombre de réseaux.

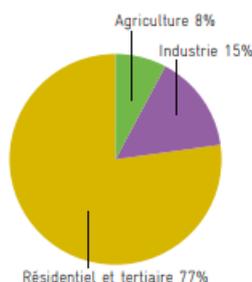
Le graphique ci-dessous illustre le nombre de réseau et la production en Bretagne :



Ces réseaux alimentent environ 60 000 équivalents logements, soit 550 à 700 GWh thermiques par an (630 GWh th en 2016). On les retrouve dans les grandes agglomérations et les communes disposant d'une unité d'incinération des ordures ménagères (UIOM). En effet, la première énergie utilisée pour alimenter les réseaux de chaleur de Bretagne provient des déchets (73 % de l'énergie primaire), suivie par le bois (16 %), puis le gaz, le fioul et le biogaz.



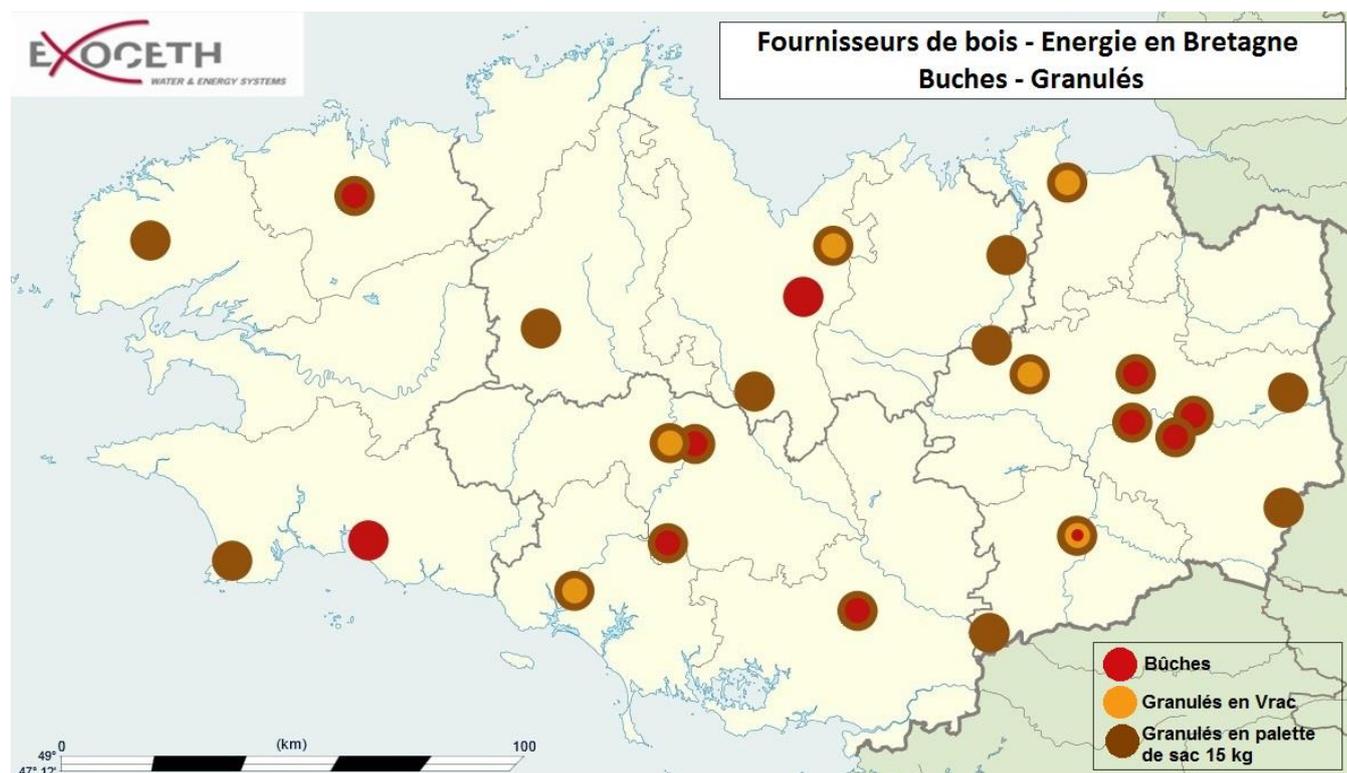
Au total, 77 % de la chaleur produite dessert des bâtiments résidentiels et tertiaires (69 réseaux). Le reste est consommé par des bâtiments industriels (3 réseaux ; 15 % de la production) ou des serres (3 réseaux ; 8 % de la production).



4.2.7 Implantations des fournisseurs de bois buches et granulés

Pour les installations présentant des puissances plus faibles, notamment les installations destinées à l'habitat individuel, une utilisation de la ressource bois sous la forme de buches ou de granulés est plus adaptée dans la majorité des cas.

Les différents types de fournisseurs en combustible de type bois buches ou granulés sont répartis géographiquement comme le montre la carte située ci-après :



En dehors de ces fournisseurs, la consommation de bois bûche est difficile à évaluer étant donné l'existence d'un marché parallèle (autoconsommation, vente de gré à gré, travail au noir). En ce qui concerne le bois bûche, cette carte ne représente donc qu'une partie des fournisseurs réels.

4.3. Les déchets organiques valorisables

Ces déchets sont :

- Entre un tiers et la moitié des ordures ménagères (part fermentescible),
- Les boues de stations d'épuration,
- Les déjections animales en exploitation agricole,
- Les déchets verts,
- Les huiles alimentaires.

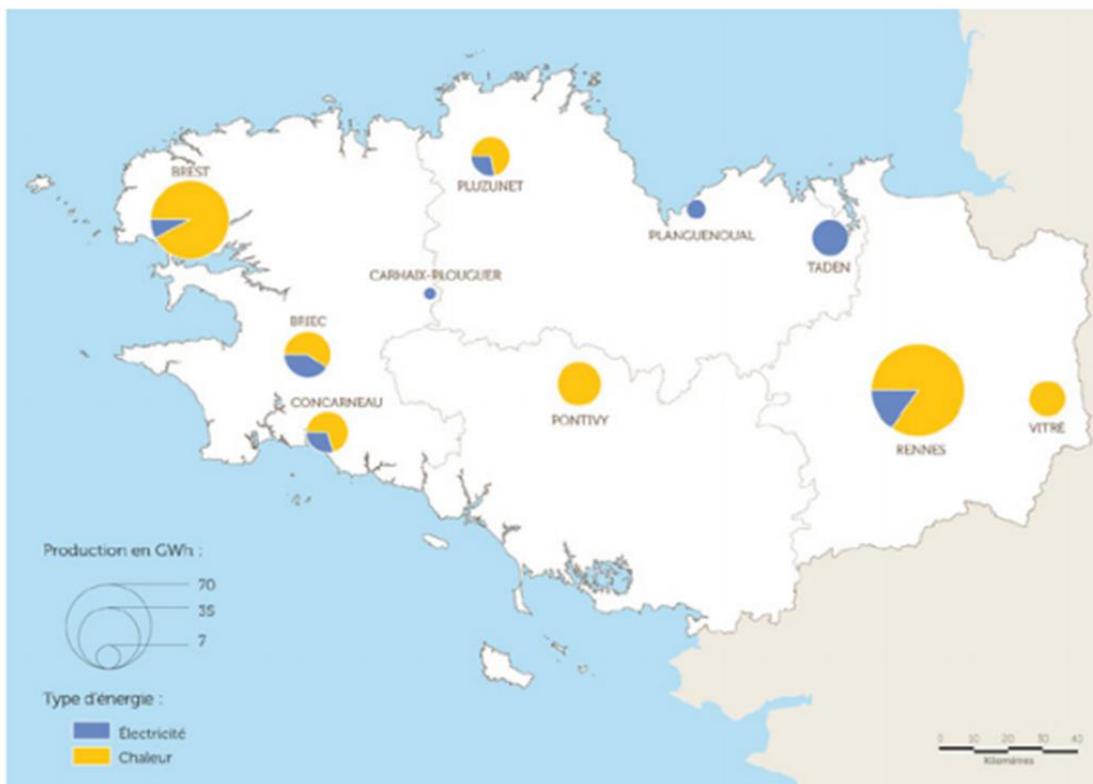
Ces déchets peuvent être valorisés par cogénération en électricité et en chaleur pour le chauffage des bâtiments, via un réseau de chaleur. Ils peuvent également être la principale ressource pour la production de biogaz, utilisé comme source d'énergie pour la production de chaleur et d'électricité ou bien réinjecté dans le réseau de distribution du gaz naturel.

Il convient de dissocier la valorisation des déchets organiques en deux catégories :

- Les usines d'incinération des ordures ménagères (IUOM),
- Les unités de méthanisation.

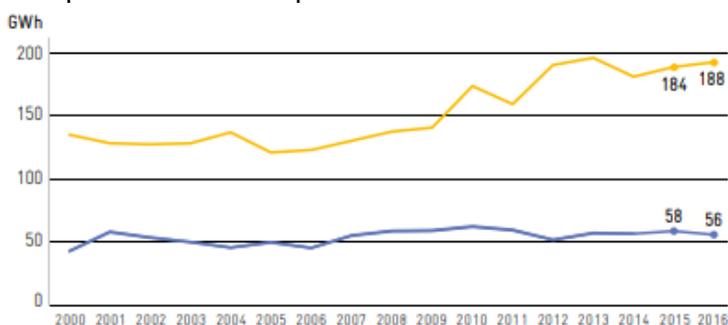
4.4. Usines d'Incinération des Ordures Ménagères

La Bretagne compte 10 usines d'incinération des ordures ménagères, principalement dans certaines grandes villes (notamment Brest et Rennes). Ces installations sont représentées sur la carte suivante :

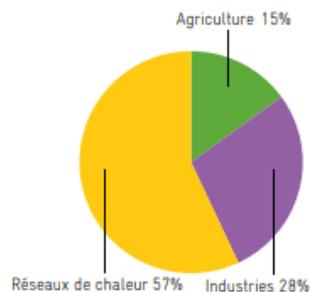


Ces usines valorisent l'énergie restituée par les déchets incinérés, dont 50 % est considérée comme d'origine renouvelable par convention (déchets verts et alimentaires). Cette valorisation se fait soit sous forme électrique (3 sites), soit sous forme de chaleur livrée au réseau (2 sites), soit les deux en cogénération (5 sites).

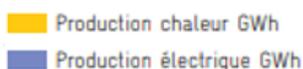
Au total, 486 GWh d'énergie finale ont été livrés en 2016. On estime que cela représente 243 GWh d'énergie renouvelable. Ce total se répartit entre 56 GWh d'électricité et 188 GWh de chaleur valorisée à 58 % dans des réseaux de chaleur, à 27 % par des industriels et 14 % pour les serres agricoles. Il faut signaler qu'environ un tiers de l'électricité totale produite sur les sites est autoconsommée et n'apparaît donc pas dans le bilan présenté.



Production d'électricité et de chaleur renouvelable des UIOM

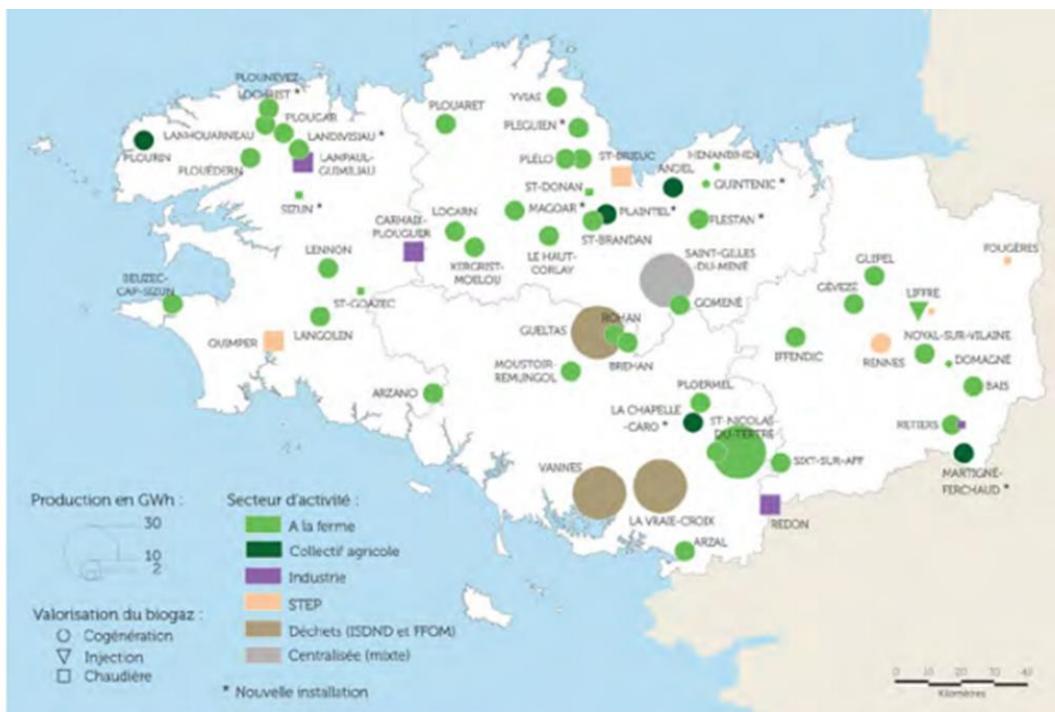


Répartition de la production renouvelable des UIOM en 2016



4.5. Unités de méthanisation

Les installations de production de biogaz, valorisant des déchets organiques sont relativement présentes sur la région Bretagne, notamment dans le Finistère et les Côtes d'Armor.

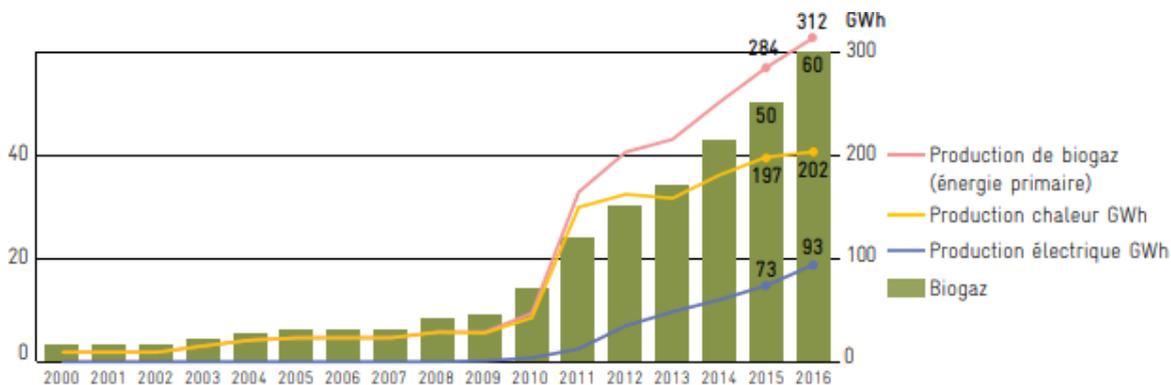


Production de chaleur et d'électricité des installations de méthanisation en 2016

La filière méthanisation représente au total 60 unités de méthanisation en Bretagne.

Le biogaz produit en 2016 est estimé à 314 GWh ce qui représente une part de 4 % dans la production totale EnR, ou 55 millions de m³. Le biogaz est valorisé en cogénération (49 installations), en chaudières (10 installations) ou en injection (1 installation). La puissance cumulée des cogénérations biogaz représente 14 MW électriques. Et 20 MW thermique.

Au total, les installations produisent 93 GWh d'électricité et 202 GWh de chaleur.



Production de chaleur et d'électricité et de biogaz brut

Cette énergie est utilisée en autoconsommation pour le processus de méthanisation, pour chauffer des bâtiments d'élevage, alimenter un réseau de chaleur, des industriels ou sécher des fourrages. La

production de biogaz concerne principalement le secteur agricole, avec 47 installations dont 5 collectives et 56 % du biogaz produit.

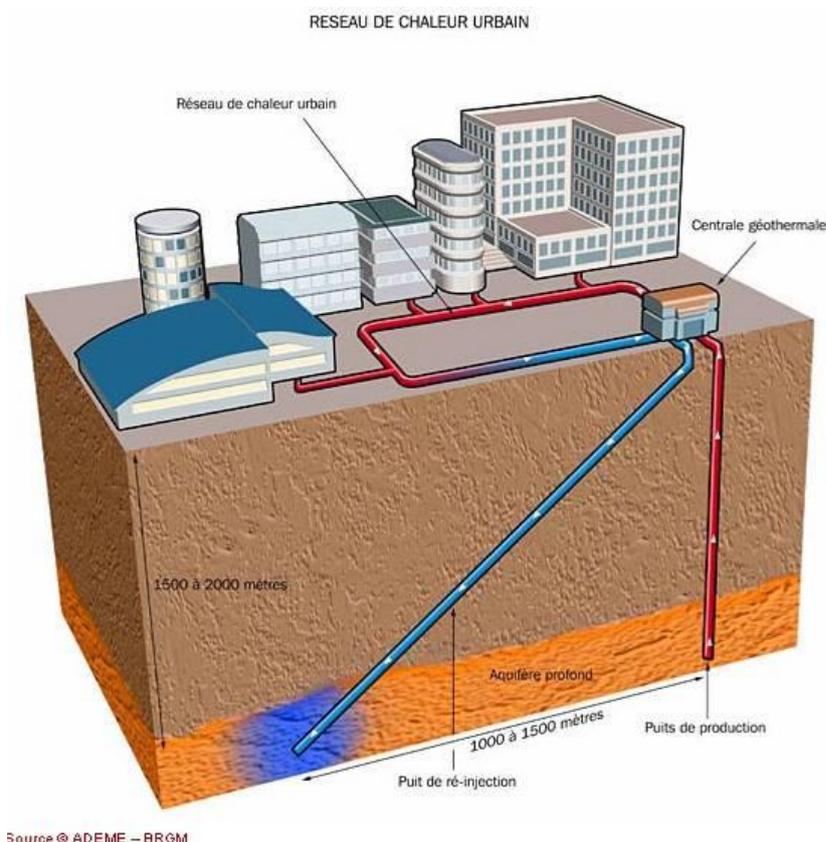
La dynamique de la filière biogaz en Bretagne est amenée à se poursuivre : on dénombre 42 projets en instruction (dont 6 en injection) ou en travaux (dont une en injection, à Quimper)

4.6. La géothermie

On citera deux types de géothermie envisageables en région Bretagne : La géothermie basse énergie et la géothermie très basse énergie.

4.6.1 Rappel sur la technique de géothermie basse énergie

Le principe de la géothermie dite « Basse énergie » est d'aller puiser une eau géothermale sur aquifère profond (à environ 1000-2000 mètres de profondeur), pour ensuite alimenter un réseau de chaleur après échange des calories contenues dans l'eau géothermale.

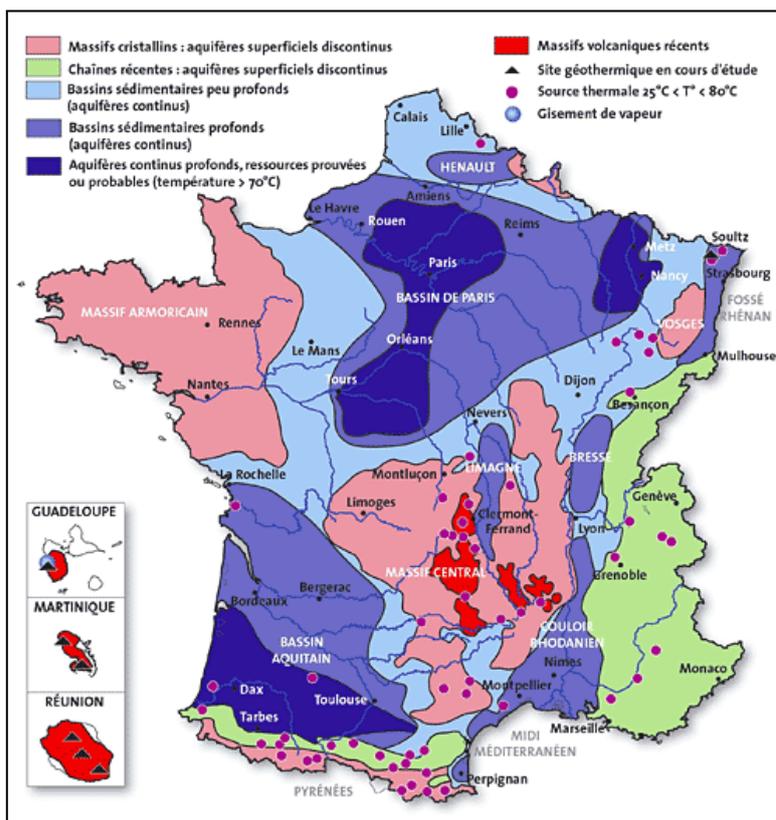


Les installations de ce type sont inédites en région Bretagne, néanmoins, un forage d'étude (670m) a été réalisé sur la commune de Chartres de Bretagne (35) dans le cadre du projet Cinergy. L'étude menée par le BRGM montre un gradient de température du sol relativement classique, ne mettant pas en avant de potentiel particulièrement intéressant thermiquement.

4.6.2 Potentiel estimatif

Le potentiel géothermique est difficile à estimer, étant donné le fait que les aquifères profonds sont imperceptibles sans forages et que ce type d'opération est inédit dans la région Bretagne. Cependant, les études géologiques des sous sols, permettent d'établir des hypothèses sur le potentiel.

La carte représentant une estimation des ressources géothermiques ci dessous, éditée par le BRGM, montre que les zones les plus favorables aux installations de géothermie basse énergie sont les bassins parisien et aquitain.



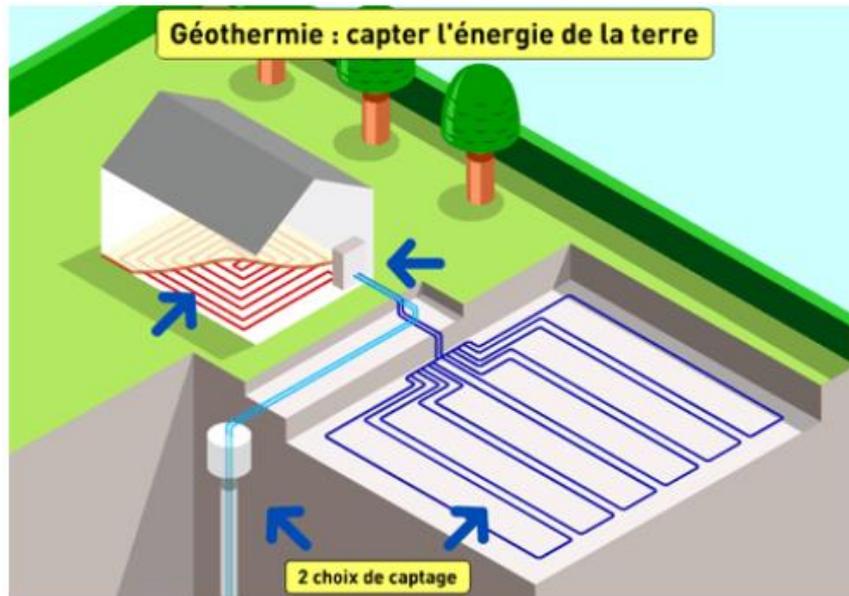
Source : BRGM

La région Bretagne est localisée sur un massif cristallin, dévoilant vraisemblablement des aquifères superficiels discontinus. Cela se traduit par un potentiel géothermique sous forme de nappes d'eau peu profondes (< 1000 m) présentant des températures moyennes.

Ces températures susceptibles d'obtenir seraient a priori insuffisantes pour une alimentation directe d'un réseau de chaleur. En revanche, le couplage avec un système de relèvement de température, telle une pompe à chaleur de grosse puissance, engendrerait un coefficient de performant relativement élevé et donc intéressant énergétiquement.

4.6.3 La géothermie très basse énergie

La géothermie très basse énergie exploite, grâce à des pompes à chaleur, soit la chaleur du sous-sol peu profond (capteurs horizontaux ou verticaux en circuit fermé) soit celle contenue dans les nappes d'eau profondes.



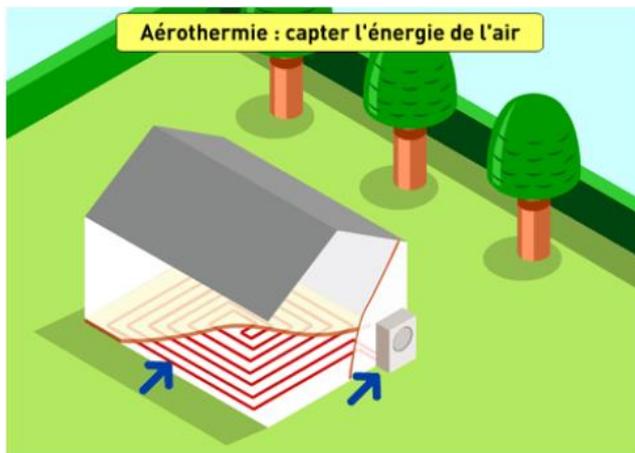
Les perspectives de mise en œuvre pour les installations de capteurs horizontaux disposant d'une surface de terrain peu importante sont réduites. L'installation de capteurs verticaux est dans ce cas précis plus adéquate, mais l'investissement est plus important en règle générale.

Le captage vertical est plus performant que l'horizontal : la source de chaleur est stable en profondeur alors qu'à proximité de la surface, elle est sensible aux variations thermiques.

Cette ressource est inépuisable, et gratuite, mais nécessite un appoint électrique garanti par la pompe à chaleur.

4.7. L'aérothermie

Selon le même principe que pour la géothermie, l'aérothermie exploite, grâce à des pompes à chaleur, les calories contenues dans l'air extérieur.



Cette ressource est inépuisable, et gratuite, mais nécessite un appoint électrique garanti par la pompe à chaleur.

4.8. La ressource éolienne

4.8.1 Potentiel

L'éolien a connu un véritable essor en Bretagne ces dernières années.

Le potentiel éolien est à évaluer au cas par cas, car le vent est une ressource particulièrement instable. Néanmoins, la Bretagne, de par son statut péninsulaire présente de manière générale des prédispositions favorables à l'énergie éolienne.

L'éolien présente l'avantage, malgré l'intermittence de la ressource (le vent), d'une corrélation entre besoins et ressource (Globalement les besoins électriques sont plus importants en hiver et c'est également à cette période qu'il y a le plus de vent).

D'autre part, la Bretagne de par sa géographie péninsulaire, présente peu d'autonomie en matière d'approvisionnement d'électricité, et se retrouve parfois en pénurie lors de grands froids. L'éolien est une alternative visant à diminuer ce phénomène petit à petit.



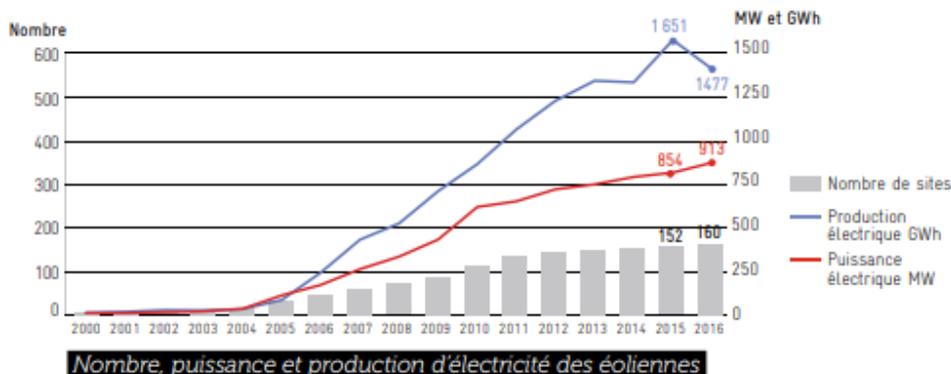
Néanmoins, le Grenelle II impose un minimum de puissance de 15 mégawatts (MW) et un nombre de cinq éoliennes par parc, ainsi qu'une distance minimale de 500 mètres entre les turbines et les zones d'habitation. Ces dispositions rendent relativement difficile l'intégration d'une production éolienne proche d'un projet constructif.

4.8.2 Etat des lieux

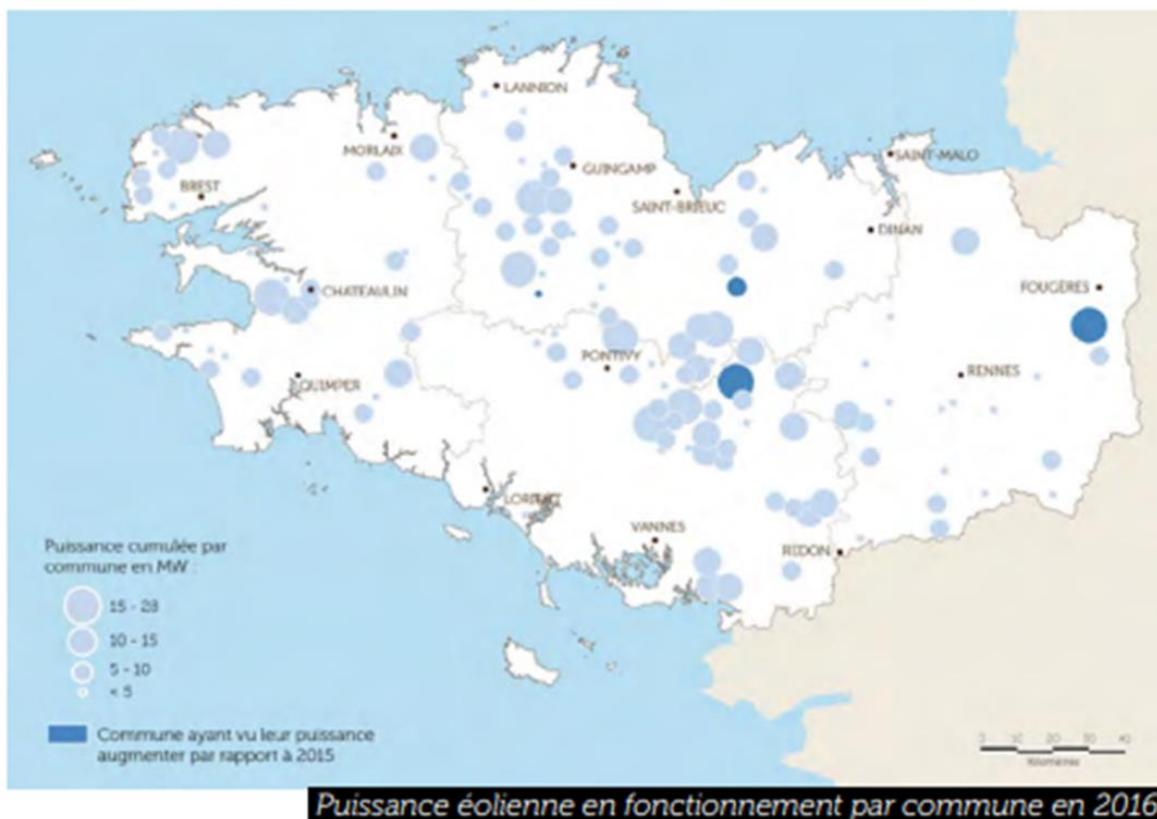
La puissance éolienne installée en Bretagne fin 2016 est de l'ordre de 913 MW, sur un total de 160 parcs et 570 éoliennes, ce qui en fait la troisième région la mieux équipée de France en terme de puissance installée (10% de la puissance totale installée en France).

La production d'électricité d'origine éolienne est de 1 477 GWh en 2016. Ce qui représente 47 % de la production électrique totale de la Bretagne et 20 % de l'ensemble des énergies renouvelables en 2016.

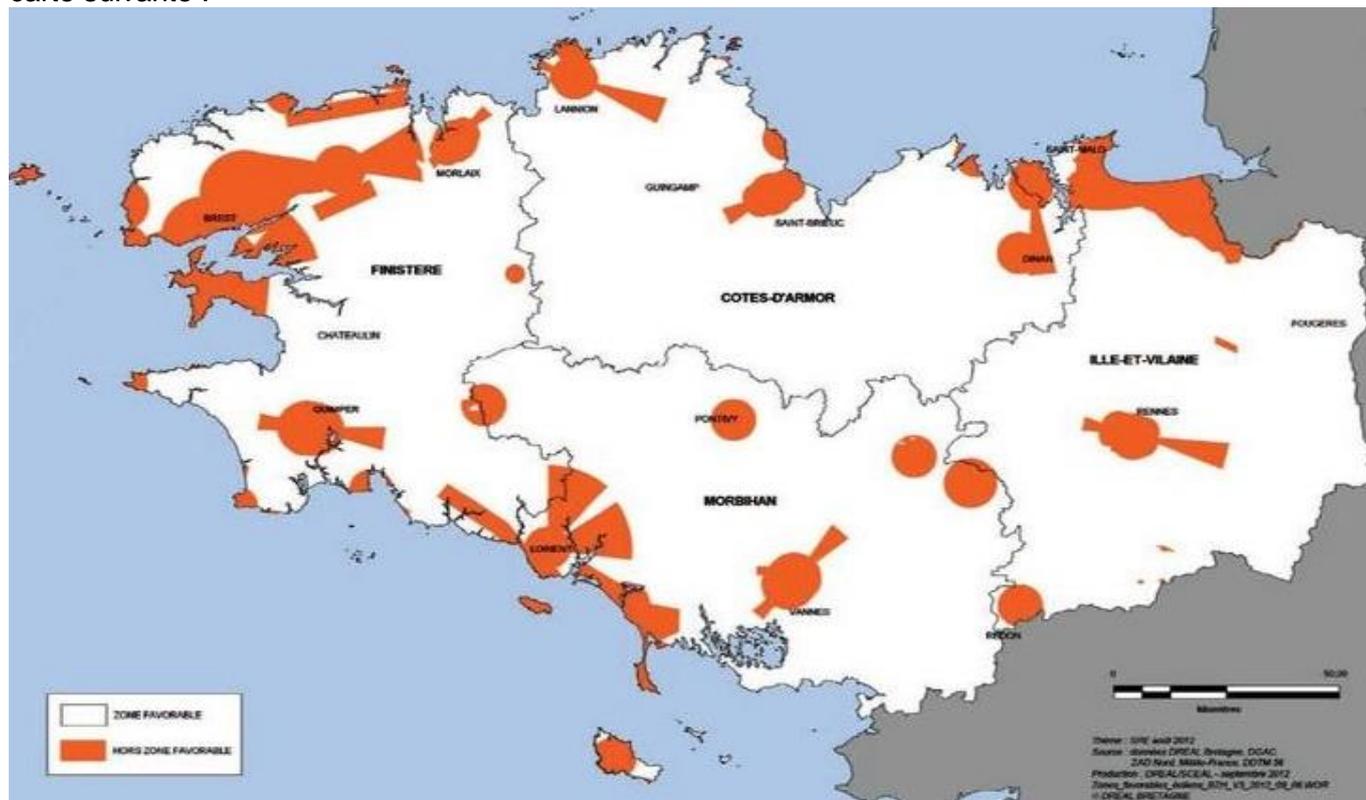
Les capacités de production d'électricité d'origine éolienne ont considérablement augmenté ces dernières années, à travers les nouvelles constructions de parcs éoliens, comme le montre le graphique ci-dessous :



On remarque que les parcs éoliens, très présents sur le territoire breton, sont beaucoup plus denses sur ce que l'on pourrait définir comme une diagonale Nord Ouest / Sud Est.



Les zones favorables au développement du grand éolien terrestre en Bretagne sont représentées sur la carte suivante :



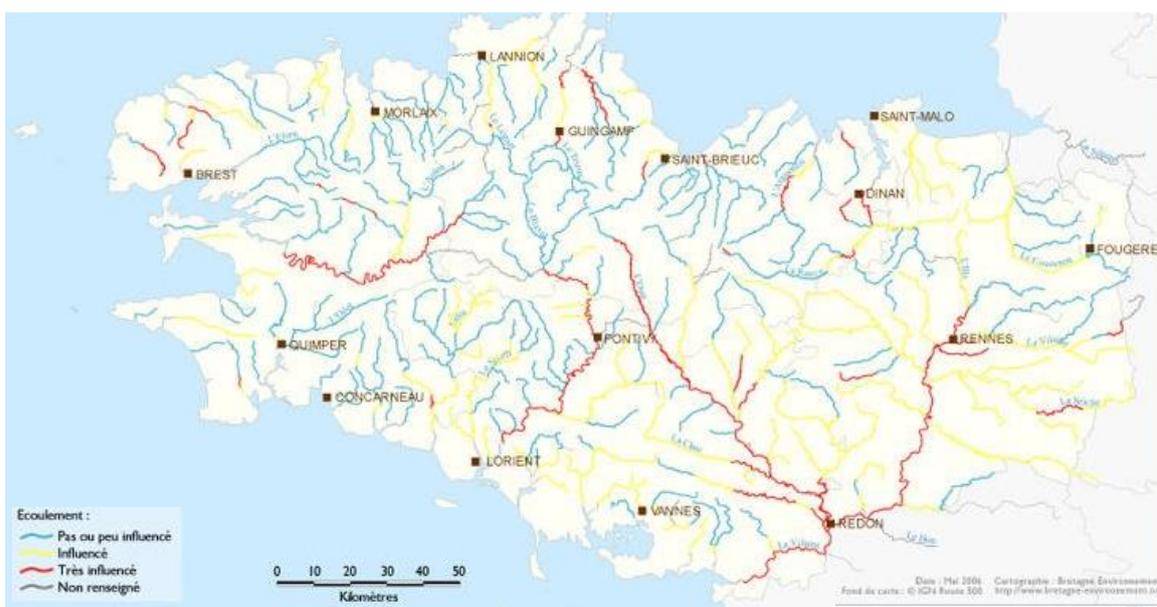
4.9. Production d'électricité hydraulique

4.9.1 Potentiel

La production d'électricité hydraulique est la principale source d'électricité en Bretagne, devant la production thermique et l'éolien.

On recense plusieurs types de sources d'énergies hydrauliques.

- Le potentiel marin (marées, courants marins, houle),
- Le potentiel des rivières (débits des rivières).

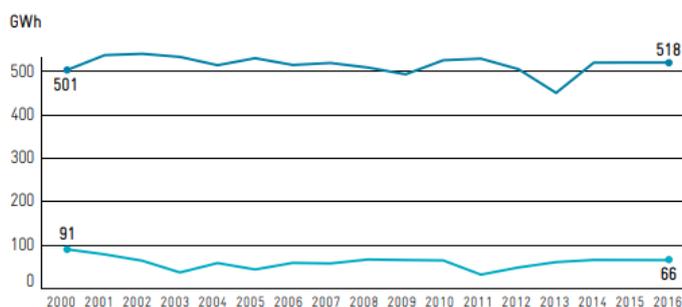


La Bretagne de par sa géographie péninsulaire, présente un littoral très important. D'autre part, elle est traversée par de nombreux cours d'eau. Le potentiel hydraulique de la Bretagne est donc avéré.

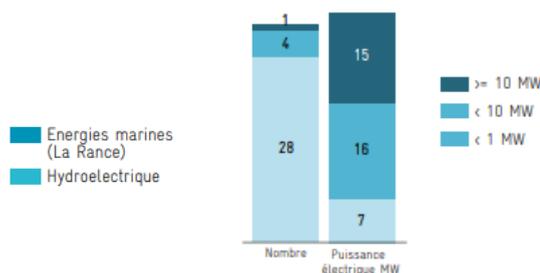
L'inconvénient de ce potentiel est néanmoins son immobilité, et est de ce fait exploitable uniquement en présence de conditions très particulières.

4.9.2 Etat des lieux

Les productions hydroélectrique et marine sont stabilisées depuis 2013. La grande majorité de cette électricité d'origine hydraulique est produite par l'usine marémotrice de La Rance. Cette installation unique au monde lors de sa mise en service en 1966, présente une puissance de 240 MW, produisant en 2016 une quantité d'électricité de 518 GWh (soit 20% de l'électricité renouvelable produite en Bretagne) et suffit à couvrir les besoins résidentiels en électricité d'une ville de 220 000 habitants.



Évolution de la production hydroélectrique et de l'usine marémotrice



Puissance hydroélectrique installée en 2016

Le reste de la production hydraulique en Bretagne est assuré par des petites centrales hydroélectriques situées sur des cours d'eau, représentant une puissance totale de 38 MW répartis sur une trentaine de sites.



Le potentiel actuel d'implantation d'installations de production d'électricité hydraulique est faible en Bretagne, notamment au niveau d'installation de grandes puissances (hormis les projets d'éoliennes sous marines). En revanche, des potentiels localisés et propices à la mise en œuvre de centrales micro-hydraulique ne sont pas à négliger.

Le potentiel d'implantation d'installations de production de nouvelles énergies marines est en revanche très présent et d'actualité. En effet, l'éolien offshore (500 MW prévus au large de la baie de Saint-Brieuc) et les hydroliennes (2 MW attendus au large de l'île de Bréhat) et dans le passage du Fromvoeur entre l'île de Molène et d'Ouessant au large des côtes Bretonnes sont actuellement en projet.

Ces installations devraient permettre de produire environ 2000 GWh d'électricité annuellement.

5. Gisements énergétiques nets à l'échelle de la zone d'étude

5.1. Cadre du projet

5.1.1 Description du programme prévisionnel

A ce stade, le projet porte sur un périmètre opérationnel de 40,76 ha, sur ce périmètre 20,73 ha peuvent être mobilisés pour accueillir des logements (surfaces cessibles). La dernière version du programme prévisionnel fait état d'un projet de 916 logements répartis comme suit :

- Logements individuels libres de constructeur : 522 logements,
- Logements collectifs ou semi-collectifs : 394 logements.
-



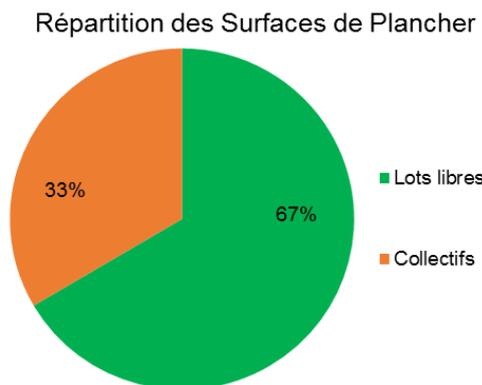
Les hypothèses de surfaces de plancher prises en compte pour la définition des besoins énergétiques sont les suivantes :

- Logements individuels libres : 120 m² par logement en moyenne,
- Logements collectifs ou semi collectifs: 80 m² par logement en moyenne.

Les surfaces par typologies sont donc les suivantes :

Typologie	Nombre de logements	Surface de plancher unitaire (m ²)	Surface de plancher totale (m ²)
Lots libres	522	120	62 640
Collectifs ou semi collectifs	394	80	31 520
Total	916	-	94 160

Soit la répartition suivante :



5.1.2 Estimation des consommations énergétiques

L'estimation des consommations énergétiques du projet est basée sur un scénario d'aménagement permettant ainsi de réaliser une approche quantitative sommaire des consommations énergétiques à considérer. Il est fait la distinction entre les consommations thermiques, engendrées par les besoins en chauffage, et en Eau Chaude Sanitaire (ECS), et les consommations techniques & domestiques, engendrés par les consommations des éclairages, des appareils électroménagers, des appareils hifi ou de bureau, de communication, de cuisson,...

Les estimations des consommations sont en partie établies sur la base des seuils maximum de consommation définis par la RT 2012 étant donné que les différents projets seront soumis à cette réglementation (pour les 5 postes évalués par la réglementation thermique à savoir chauffage, ECS, éclairage, froid, auxiliaires).

Les bâtiments devront, répondre aux exigences de la RT 2012, et donc présenter une valeur du coefficient de consommation Cep inférieure au Cep_{max} calculé par la formule suivante :

$$Cep_{max} = 50 \cdot M_{c\text{type}} \cdot (M_{c\text{géo}} + M_{c\text{alt}} + M_{c\text{surf}} + M_{c\text{GES}})$$

Avec :

- $M_{c\text{type}}$: coefficient de modulation selon le type de bâtiment ou de la partie de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2,
- $M_{c\text{géo}}$: coefficient de modulation selon la localisation géographique,
- $M_{c\text{alt}}$: coefficient de modulation selon l'altitude,
- $M_{c\text{surf}}$: coefficient de modulation selon la surface (pour les maisons individuelles, accolées ou non),
- $M_{c\text{GES}}$: coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées. (Ex : si réseau de chaleur dont le contenu < 50 gCO₂/kWh : $M_{c\text{GES}} = 0,3$
si bois-énergie en logement : $M_{c\text{GES}} = 0,3$)

La valeur maximale des consommations énergétiques des logements dépend donc du type de bâtiment, de sa localisation, de sa surface (si logement individuel) et des équipements prévus d'installer.

Les coefficients Cep_{max} pour les bâtiments programmés sont les suivantes (sans tenir compte de la possibilité de mettre en œuvre des installations faiblement émetteur en CO₂) :

- Logements individuels (120 m²) : 55,0 kWhep/m²_{SRT.an},
- Logements collectifs (80 m²) : 66,7 kWhep/m²_{SRT.an},

La ventilation selon les usages de ce coefficient Cep_{max} est estimée de la façon suivante :

Typologie	Chauffage	ECS	Eclairage	Auxiliaires	Cep_{max}
Logements individuels	30,1	18,4	4	2,5	55,0
Logements collectifs ou semi collectifs	32,0	28,2	4	2,5	66,7

Il est important de rappeler que la répartition des consommations entre les usages est une estimation moyenne issue de retours d'expériences sur des bâtiments similaires, et que d'un projet à l'autre, ces répartitions pourront varier selon les orientations prises par les concepteurs et maîtres d'ouvrage.

Il a également été estimé des consommations d'électricité spécifique, liées aux usages non pris en compte par la RT 2012 à savoir le fonctionnement du matériel informatique, process, multimédia, prises de courant diverses,...

Précisions :

- *Il sera considéré étant donné l'avancement du projet et donc la méconnaissance de la réelle architecture des bâtiments une Surface RT égale à la surface chauffée estimée des bâtiments.*
- *La consommation répondant à des besoins en énergie pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire est exprimée en kWhep (kilowattheure d'énergie primaire). L'énergie primaire est la quantité d'énergie nécessaire pour produire une quantité d'énergie « utile » exploitable par l'utilisateur. Pour produire un kWh d'énergie utile, la quantité d'énergie primaire varie selon le type d'énergie. Ainsi, il faudra 2,58 kWhep d'énergie au total pour produire 1kWh d'électricité, mais uniquement 1 kWhep pour produire 1kWh utile issu du fioul, gaz de ville ou bois.*

Les consommations estimées sur la base des hypothèses d'équipements précisés dans le scénario de référence (cf 5.2) (exprimées à la fois en énergie primaire **EP** et énergie finale **EF**) par parcelle pour l'ensemble du projet sont donc les suivantes :

Typologie	Surface Plancher unit	Surface Plancher total	Chauffage	ECS	Eclairage	Aux. RT	Elec. spécifique	Conso. Thermiques	Conso. Electriques		Conso. Totales		Total RT 2012
			MWh/an	MWh/an	MWh/an	MWh/an	MWh/an	MWh/an	MWh/an	EP	EF	EP	EF
Logements	m ²	m ²	EF	EF	EF	EF	EF	EP/EF*	EP	EF	EP	EF	EP
Lots Libres	120	62 640	1884	1154	97	61	607	3038	1973	765	5011	3803	3196
Collectifs ou semi collectifs	80	31 520	1009	889	49	31	330	1898	1056	409	2953	2307	1977
Total	-	94 160	2892	2043	146	91	937	4936	3029	1174	7965	6110	5173

* Le respect de la RT 2012 rendent quasiment impossible la couverture de l'ensemble des besoins thermiques par un système électrique direct, il est pris en compte un ratio EP/EF = 1.

La commune étant desservie en gaz naturel, le scénario énergétique de référence (non renouvelable) prendra en compte un système de production de chaleur utilisant cette ressource.

Pour la suite de l'étude, il sera pris en compte les valeurs des consommations thermiques de référence en énergie primaire, auxquelles seront appliquées les différentes efficacités des équipements étudiés et les ratios de conversion en énergie finale propre à chaque équipement.

En termes de consommations finales, à savoir la quantité d'énergie consommée sur site et facturée, le projet représente environ **6,1 GWh/an** de consommations, dont 80 % liés à la couverture des besoins thermiques et 20 % liés aux autres usages, de type électriques.

5.1.3 Estimation des puissances thermiques

L'estimation des puissances thermiques nécessaires au chauffage des locaux et à la préparation d'ECS est la suivante :

	Puissance thermique unitaire (kW)	Puissance thermique totale (kW)
Lots Libres	8,2	4 280
Logements collectifs ou semi collectifs	6,1	2 403
Total		6 684

L'ordre de grandeur de puissance thermique nécessaire pour l'ensemble de l'opération est estimé à environ **6,7 MW**.

5.2. Scénario de référence

Afin d'évaluer la pertinence économique des différents potentiels de mise en œuvre d'énergies renouvelables qui seront présentés dans cette étude, il est nécessaire de pouvoir les comparer à un scénario de référence basé sur l'utilisation d'une énergie non renouvelable.

Une installation entièrement électrique (hors Pompe à Chaleur) afin d'assurer le chauffage et la préparation d'eau chaude sanitaire est relativement simple à mettre en œuvre et peu onéreuse, mais cependant difficilement compatible avec la RT 2012 étant donné le coefficient de conversion en énergie primaire de l'électricité de 2,58. Cette solution a donc été écartée pour la solution de référence pour l'ensemble des projets de l'opération.

D'autre part, la commune est desservie en gaz naturel par le réseau GRDF.

Il sera pris l'hypothèse d'un type de production de chaleur par chaudière individuelle fonctionnant au gaz naturel pour l'ensemble des bâtiments.

Approche Energétique et Economique

Les estimations des consommations liées à la production thermique par type d'énergie utilisée et de la dépense énergétique annuelle sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Un ordre de grandeur de l'investissement généré par les installations thermiques prises en compte dans ce scénario de référence est également présenté (comprenant l'ensemble des investissements de la production à l'émission de chaleur, à savoir selon les cas : production, distribution, émission, hydraulique, fumisterie, main d'œuvre,...).

	Type production chauffage	Type production ECS	Consos Gaz (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements** (€ TTC)
Lots libres	Chaudière gaz naturel		3 038	765	285 635	539 849	5 846 400
Logements Collectifs ou semi collectifs	Chaudière gaz naturel		1 898	409	167 800	359 678	3 703 600
Total			4 936	1 174	453 435	899 527	9 550 000
Moyenne par logement			5,39	1,28	495	982	10 426

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

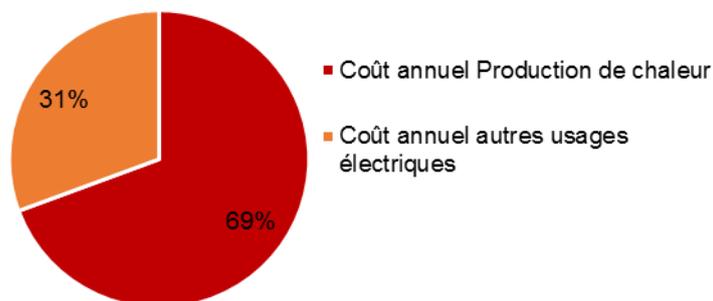
** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude et détaillés en annexe de ce document.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Sur l'ensemble du projet, la répartition des dépenses énergétiques liées aux besoins thermiques (chauffage et ECS) et aux autres usages est la suivante :

Répartition des dépenses énergétiques annuelles



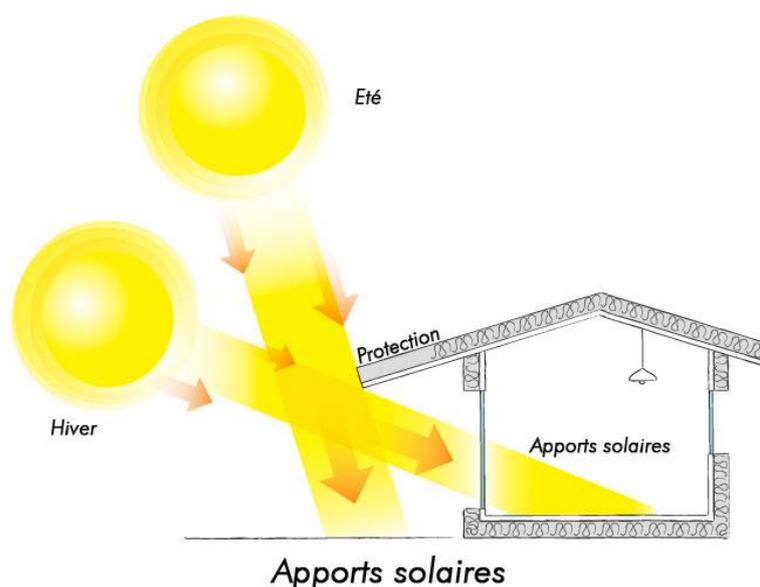
Pour l'ensemble du projet, la dépense énergétique annuelle du scénario de référence est estimée à environ **900 000 € TTC** et l'investissement liée aux installations de production thermique est estimé à environ **9,6 M€ TTC**.

5.3. Gisement Solaire Net

5.3.1 Description des formes urbaines

L'implantation des bâtiments devra prendre en compte au mieux les principes de base d'une architecture bioclimatique visant à optimiser les apports solaires directs en hiver en privilégiant une orientation principale du bâtiment et des surfaces vitrées plein sud.

Cette orientation permettra également une protection contre les surchauffes estivales par des brise-soleil correctement dimensionnés plus efficace que pour une orientation Est-Ouest. En effet, la position du soleil est plus basse en matinée et soirée (soit à l'est et à l'ouest) qu'à midi. La protection solaire par brise soleil est donc plus facile avec une orientation plein sud. A l'est et à l'ouest, la protection solaire pourra être de type stores extérieurs ou brise soleil également mais avec un débord plus conséquent et une efficacité plus limitée.



A noter que les contraintes d'urbanisme ne permettent pas d'obtenir 100% de bâtiments correctement orientés, en conservant le nombre de logements prévus et en prenant en compte les tracés de voirie. Il pourra cependant être effectué une optimisation du plan actuel.

Il faudra veiller, pour les bâtiments correctement orientés, à se protéger des surchauffes estivales par des brise-soleil correctement dimensionnés.

Cette orientation plein sud présente également l'avantage de fournir un potentiel d'implantation de capteurs solaires intéressant (capteurs thermiques ou photovoltaïques).

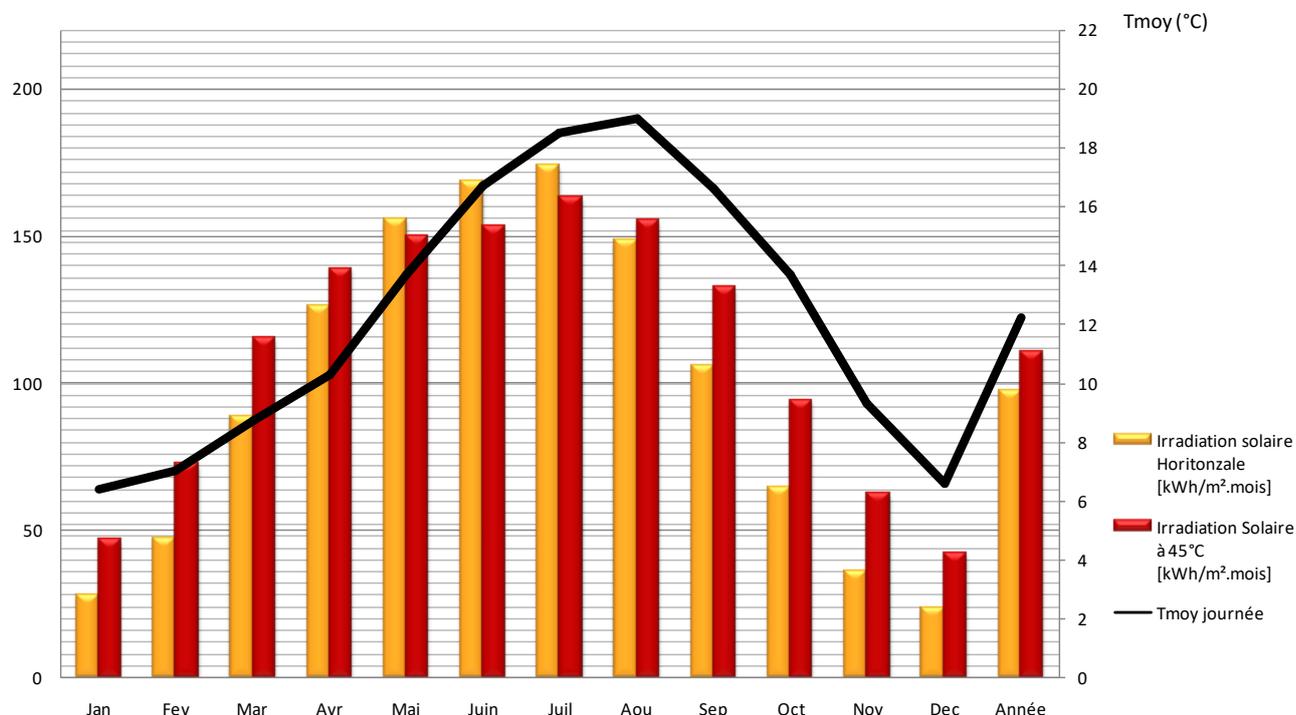
Des orientations différentes engendrent de moins bons rendements globaux, matérialisés par les facteurs de correction ci-dessous.

FACTEURS DE CORRECTION POUR UNE INCLINAISON ET UNE ORIENTATION DONNEES					
INCLINAISON \ ORIENTATION		0°	30°	60°	90°
Est		0,93	0,90	0,78	0,55
Sud-Est		0,93	0,96	0,88	0,66
Sud		0,93	1,00	0,91	0,68
Sud-Ouest		0,93	0,96	0,88	0,66
Ouest		0,93	0,90	0,78	0,55

Cette prédisposition est notamment valable lorsque les formes urbaines présentent des toitures inclinées (généralement à 45° dans la région).

Le potentiel solaire propre à la zone d'étude est présenté dans le graphique ci-dessous.

[kWh / m²] Evolution de l'ensoleillement et des températures moyennes sur l'année



Dans cette simulation de l'ensoleillement pour les environs de Rennes, nous avons représenté à la fois l'ensoleillement horizontal (donnée de base) et l'ensoleillement reçu par une surface plane orientée plein sud et inclinée à 45°.

La moyenne de l'irradiation globale sur l'année est de 97 kWh/m².mois pour une inclinaison horizontale, et de 110 kWh/m².mois pour une inclinaison à 45° plein sud.

Ceci représente pour cette zone d'étude une irradiation globale annuelle de **1166 kWh/m².an pour une inclinaison horizontale, et de 1326 kWh/m².an pour une inclinaison à 45° plein sud.** Ces valeurs sont tout à fait cohérentes avec les moyennes régionales précisées précédemment.

Les masques proches entrent également en compte dans l'évaluation du potentiel solaire.

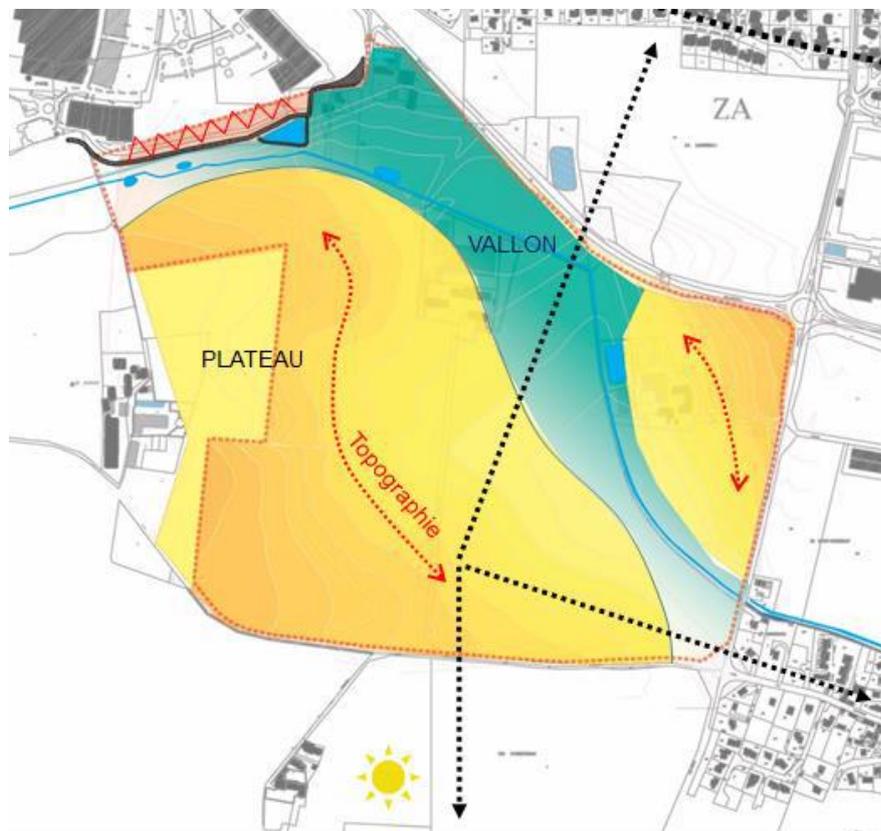


En effet, toute surface orientée au sud mais ombragée par des éléments divers (bâtiment adjacent, végétation, ...) représente un manque à gagner énergétique conséquent.

Il faut donc veiller à les éviter dans la mesure du possible.

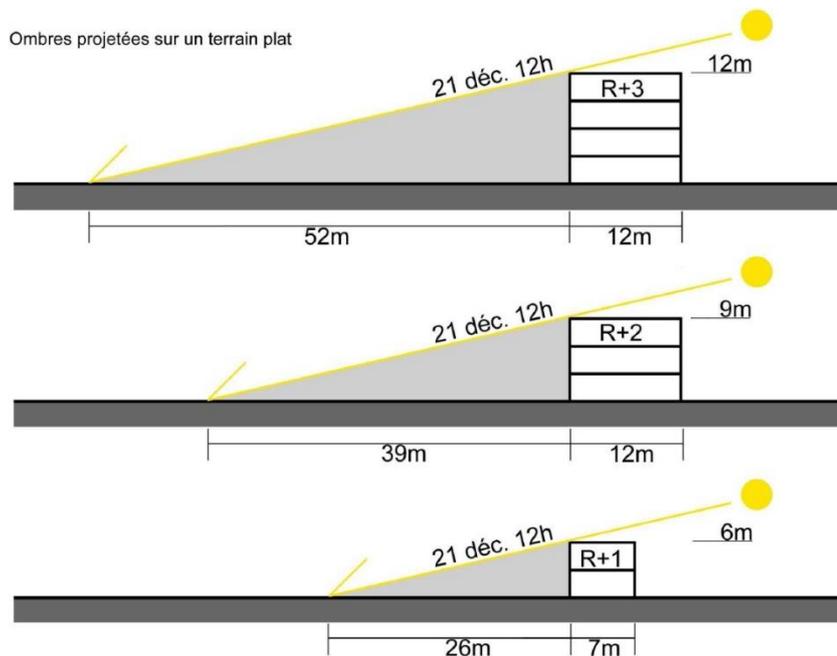
Les masques proches peuvent également être la conséquence d'une topographie accidentée.

L'illustration ci-dessous présente la topographie du site :



Pour ce projet, le site présente une dizaine de mètre de hauteur de dénivelé entre le plateau et le valon, L'orientation de la pente peut donc être contraignante et source d'ombres portées.

En règle générale, on veillera à respecter les distances entre bâtiments suivantes pour une surface plane :



L'implantation définitive des bâtiments devra respecter les distances impliquées par les ombres portées, afin de favoriser les apports solaires directs, en considérant le contexte topographique contraignant du site.

5.3.2 Solaire thermique

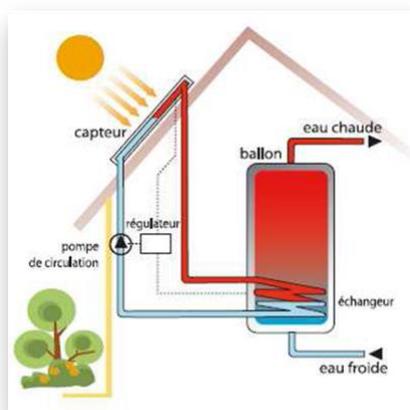
Réseau de chaleur solaire thermique

Cette technologie nécessite d'une part un encombrement par les champs de capteurs et un volume de stockage enterré qu'il est difficile de mettre en œuvre ici étant donné les dimensions importantes de ces éléments et du caractère urbain du projet.

A l'échelle de l'opération, un réseau de chaleur solaire pour alimenter les bâtiments à la fois en chauffage et en eau chaude sanitaire, malgré l'ensoleillement suffisant, semble donc peu adapté au projet.

Chauffe-eau solaire

Les chauffe-eaux solaires, permettent de chauffer de l'eau sanitaire en partie gratuitement, via l'énergie du soleil. La présence d'un appoint est nécessaire en cas d'ensoleillement insuffisant.



Une installation de préparation d'ECS solaire présente les avantages et inconvénients suivants :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Energie propre (limite les émissions de GES). ➤ Nécessite peu d'entretien. ➤ Bien adapté aux besoins en ECS de l'habitat. ➤ Durée de vie de 15 ans minimum. ➤ Ressource inépuisable et gratuite. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ne couvre pas 100 % des besoins (2ème source d'appoint). ➤ Peu adapté aux établissements fermés en période estivale (écoles,...) et aux bâtiments peu consommateurs d'ECS (immeubles de bureaux, commerces,...). ➤ Local spécifique nécessaire pour l'installation collective.

En cohérence avec la typologie du bâtiment et sa configuration, des volontés du maître d'ouvrage, ainsi qu'à l'appréciation du concepteur de l'installation, cette dernière présentera l'une des 3 configurations suivantes :

- CESI : Chauffe-Eau Solaire Individuel,
- CESC : Chauffe-Eau Solaire Collectif,
- CESCAI : Chauffe-Eau Solaire Collectif avec Appoint Individualisé.

La surface de capteurs nécessaire, devra alors être dimensionnée en fonction des besoins et d'un taux de couverture choisi raisonnablement. Cette surface, alors théoriquement adaptée à la taille du bâtiment, pourra alors être installée en toiture, et si possible intégrée architecturalement à cette dernière.

Dans le contexte du projet, une installation solaire thermique de type CESI sera la plus adaptée aux besoins des logements individuels et de type CESCOI aux besoins des logements collectifs (afin de pouvoir être comparée à la solution de référence optant pour une individualisation de la production de chaleur par logement).

Il sera, pour les besoins de cette étude, pris l'hypothèse de la mise en place d'installations solaires permettant de couvrir environ 70% des besoins annuels en ECS pour les logements individuels et 45 % pour les logements collectifs (taux de couverture moyens constatés et conseillés pour ces types de bâtiments).

La conception des bâtiments devra en outre prendre en compte l'encombrement, en chaufferie ou dans chaque local, du volume de stockage adapté aux besoins d'eau chaude sanitaire propres à chaque bâtiment.

La mise en place de chauffe-eau solaires est une solution techniquement adaptée aux différents logements du projet. Sa faisabilité technique sera néanmoins tributaire de la bonne orientation des constructions.

Approche Energétique et Economique

Les estimations des consommations liées à la production thermique par type d'énergie utilisée et de la dépense énergétique annuelle dans le cadre d'une préparation d'ECS solaire pour les bâtiments concernés sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Il est considéré en investissements, la mise en place d'une installation de préparation d'eau chaude solaire pour les bâtiments concernés, comprenant l'ensemble de l'installation (Capteurs, stockage, raccordement au réseau de distribution, accessoires hydrauliques, main d'œuvre,...).

Pour les bâtiments concernés par une potentielle mise en œuvre de préparation d'ECS solaire, le système de chauffage du scénario de référence est conservé, ainsi que le système de préparation d'ECS de référence assurant dans le cadre de ce scénario le rôle d'appoint des chauffe-eau solaire.

	Type production chauffage	Type production ECS	Consos Gaz (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements** (€ TTC)
Logements individuels	Chaudière gaz naturel	CESI + gaz naturel	2 230	765	241 188	511 062	8 195 400
Logements collectifs ou semi-collectifs	Chaudière gaz naturel	CESCOI + gaz naturel	1 498	409	145 800	349 498	4 073 600
Total			3 727	1 174	386 989	860 561	12 269 000
Moyenne par logement			4,07	1,28	422	939	13 394

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude et détaillés en annexe de ce document.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec préparation d'ECS solaire :

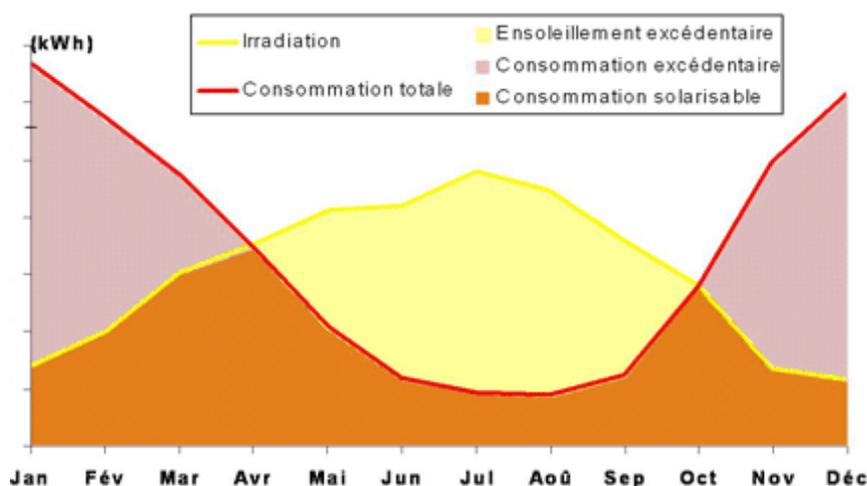
Poste	Scénario ECS Solaire	Gain par rapport au scénario de référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	4 901	1 208
Dépense énergétique annuelle (€ TTC/an)	860 561	38 966
Emission CO2 (tonnes CO ₂ /an)	990	283
Surinvestissement (€ TTC)	2 719 000	

Systemes Solaires Combinés (SSC)

Les systèmes solaires combinés permettent, grâce à l'énergie du soleil, de réaliser une partie des besoins en chauffage et en ECS des bâtiments. Un appoint est également nécessaire.

La surface de capteurs nécessaire sera dimensionnée afin d'obtenir un taux de couverture des besoins par le solaire de l'ordre de 30 à 40% (En général, la surface de capteurs représente environ 10% de la surface habitable). Cette valeur est fixée afin d'éviter au maximum la surchauffe estivale des panneaux solaires thermiques, étant donné que les besoins en chauffage sont nuls à cette saison. Des taux de couverture supérieurs peuvent être envisagés dans les cas où il existe un système de décharge dans un équipement fonctionnant l'été, à l'exemple d'une piscine.

La réalisation d'un compromis entre la gestion de la surchauffe et la réalisation du chauffage par le solaire est essentielle à la définition du taux de couverture. Ce compromis est illustré par le schéma suivant, montrant la désynchronisation entre les besoins et les apports solaires.



Cette technologie est principalement destinée au logement individuel étant donné la surface de capteurs à mettre en œuvre afin d'avoir un taux de couverture intéressant.

Lorsque cette technologie sera choisie, on veillera à optimiser l'orientation des capteurs comme il a été précisé précédemment, afin de rendre l'installation la plus performante possible. Cette optimisation passe

par une bonne implantation des châssis dans le cas de toiture plate et une optimisation de l'orientation du bâtiment pour une toiture à pans inclinés.

La mise en place de Systèmes Solaires Combinés est donc envisageable à l'échelle du projet pour les logements individuels, mais nécessitera un dimensionnement rigoureux afin d'éviter des surcoûts et surchauffes, tout en obtenant les meilleurs résultats énergétiques.

La bonne orientation des bâtiments et le contexte topographique du site favorisent la mise en œuvre de cette technologie.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Energie propre (limite les émissions de GES). ➤ Nécessite peu d'entretien. ➤ Durée de vie de 15 ans minimum. ➤ Ressource inépuisable et gratuite. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ne couvre pas 100 % des besoins (2ème source d'appoint). ➤ Risque de surchauffe des équipements si surdimensionnement. ➤ Inadapté aux établissements fermés en période estivale (écoles,...). ➤ Investissement important. ➤ Surface de capteurs importante.

Approche Energétique et Economique

Les estimations des consommations liées à la production thermique par type d'énergie utilisée et de la dépense énergétique annuelle dans le cadre d'un système solaire combiné pour les bâtiments concernés sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Il est considéré en investissements, la mise en place d'une installation de chauffage et préparation d'ECS solaire pour les bâtiments concernés, comprenant l'ensemble de l'installation (Capteurs, tampon, stockage ECS, raccordement au réseau de distribution, accessoires hydrauliques, main d'œuvre, circulateurs...).

	Type production chauffage	Type production ECS	Consos Gaz (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements** (€ TTC)
Logements individuels	SSC + chaudière gaz naturel		1 896	765	222 808	544 882	11 275 200
Logements collectifs ou semi-collectifs	Chaudière gaz naturel		1 898	409	167 800	359 678	3 703 600
Total			3 793	1 174	390 608	904 560	14 978 800
Moyenne par logement			4,14	1,28	426	988	16 352

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude et détaillés en annexe de ce document.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

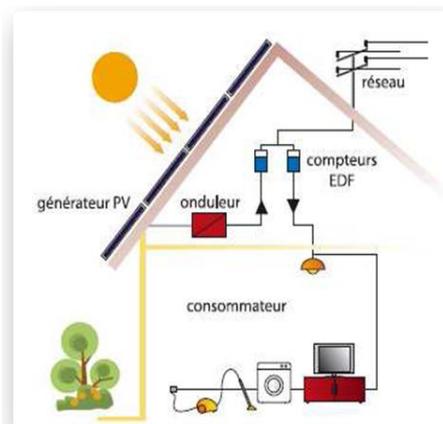
Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec système solaire combiné :

Poste	Scénario SSC	Gain par rapport au scénario de référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	4 967	1 142
Dépense énergétique annuelle (€ TTC/an)	904 560	-5 033
Emission CO2 (tonnes CO ₂ /an)	1 005	267
Surinvestissement (€ TTC)	5 428 800	

5.3.3 Solaire Photovoltaïque

La mise en place de capteurs solaires photovoltaïques est parfaitement envisageable sur cette opération avec un objectif de revente de l'énergie plus que d'autoconsommation afin de bénéficier des tarifs de rachat et ainsi d'en améliorer la rentabilité économique.

Pour l'habitat individuel, la puissance installée sera inférieure à 3 kWc (moyenne pour ce type d'habitat) afin de pouvoir bénéficier de l'obligation de rachat par EDF de la production photovoltaïque.

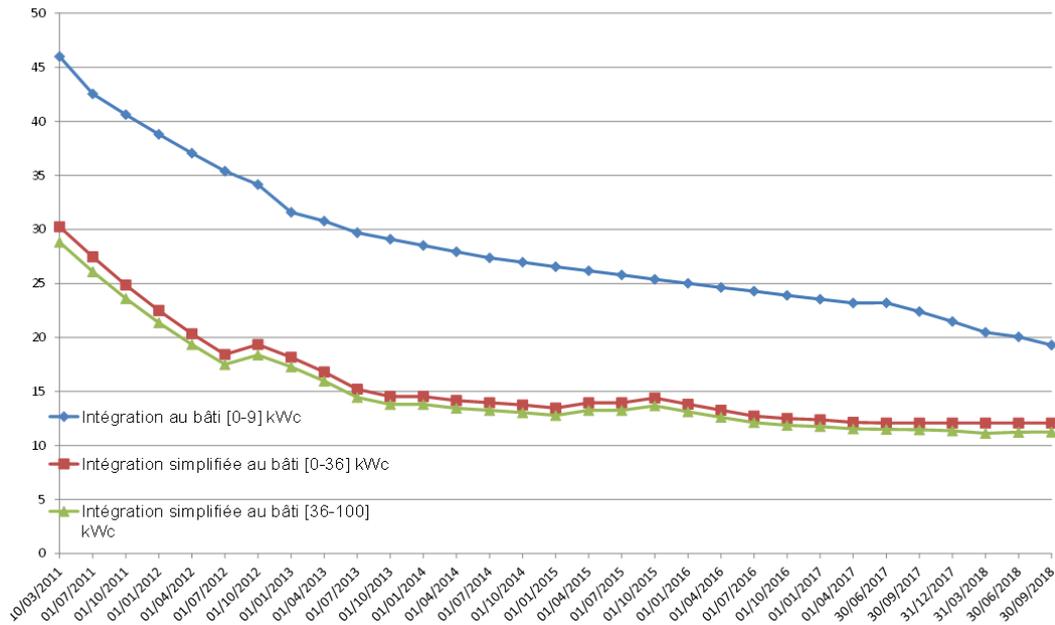


On donne ci-dessous les tarifs de rachat du photovoltaïque jusqu'au 30/09/2018 pour les différentes typologies de bâtiment :

Type d'installation	Tarif (c€/kWh)	
Intégrée au bâti	[0-3] kWc	19,30
	[3-9] kWc	16,52
Intégration simplifiée au bâti	[0-3] kWc	18,55
	[3-9] kWc	15,77
	[9-36] kWc	12,07
	[36-100] kWc	11,25

En ne prenant pas en compte une baisse des coûts d'investissement d'une telle installation, sa rentabilité économique est mise en péril par l'évolution du tarif de rachat du photovoltaïque prévisionnelle, comme le montre le graphique suivant :

Evolution du tarif de rachat photovoltaïque



La plupart des fabricants de panneaux solaires garantissent un rendement de production de 80 % minimum au bout de 20 ans par rapport au rendement initial.

Les capteurs peuvent dans la mesure du possible être intégrés aux toitures inclinées ou sur supports inclinés pour les toitures terrasses non végétalisées. Dans ce dernier cas, l'implantation de capteurs solaires nécessitera la mise en œuvre de châssis inclinés à **environ 30°** (meilleur rendement des capteurs photovoltaïques à 30° qu'à 45°).

Il existe plusieurs technologies de solaire photovoltaïque :

Silicium monocristallin	Silicium polycristallin	Silicium amorphe
<ul style="list-style-type: none"> • Meilleur rendement au m². • Coût le plus élevé pour une même puissance. 	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleur rapport qualité/prix et les plus utilisés. • Bon rendement. • Bonne durée de vie (plus de 35 ans). • Peuvent être fabriqués à partir de déchets de l'électronique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Souples (facilité de pose). • Meilleure production par ensoleillement faible ou diffus. • Rendement acceptable à faible inclinaison (<5%). • Rendement divisé par deux par rapport à celui du cristallin. • Le prix au m² plus faible que pour des panneaux solaires composés de cellules.
		

Etant donné la méconnaissance des formes des bâtiments qui seront implantés sur la zone, les différents types de technologies sont potentiellement adaptés

Pour l'approche énergétique et économique, il sera pris l'hypothèse de d'une mise en œuvre de capteurs photovoltaïques monocristallin.

La mise en place de capteurs solaires photovoltaïques est envisageable sur cette opération pour l'ensemble des projets. Le cas échéant, une orientation plein sud des toitures inclinées sera à privilégier pour optimiser la mise en œuvre des champs de capteurs.

Les productions générées varieront selon les types de technologie mises en œuvre, qui seront conditionnées par les formes urbaines choisies.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Production d'énergie électrique ($\approx 1\ 000$ kWh/m²/an). <ul style="list-style-type: none"> • soit vendue au distributeur d'électricité (voir tarif ci-avant). • soit consommée directement sur place. ➤ Ne consomme pas d'énergie fossile (n'émet aucun polluant). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Filière de recyclage des cellules photovoltaïques. ➤ Tarif de rachat en baisse.

Approche Energétique et Economique

Il a été considéré une installation de panneaux photovoltaïques intégrée au bâti sur 50% des maisons individuelles (suivant la topographie du site une partie des maisons ne pourra disposer d'une exposition adaptée à l'accueil de panneaux), et une installation de 100 kWc potentielle pour les logements collectifs ou semi collectifs.

Il sera considéré le tarif de rachat actuellement en vigueur, à savoir 19,3 c€/kWh pour les logements et 12,07 c€/kWh pour les ensembles de logements collectifs.

Afin de donner des ordres de grandeur des investissements pour ce type d'installation et de sa rentabilité selon les hypothèses prises, une approche économique a été effectuée et est présentée ci-dessous :

	Surface de capteurs Potentielle (m ²)	Puissance installée potentielle (kWc)	Production annuelle potentielle (MWh/an)	Investissements (€ TTC)	Part des consommations d'électricité compensées par l'électricité produite *	Recettes potentielles revente d'électricité (€ /an)	Part des dépenses annuelles d'électricité compensées par la revente d'électricité
Lots libres	10440	1252,8	1357	3 307 000	177%	261 900	233%
Collectifs ou semi collectifs	4000	400	520	1 056 000	127%	62 800	104%
Total	14440	1652,8	1877,2	4 363 000	160%	324700	188%
Moyenne par logement	15,7	2,7	2,05	4 763	160%	355	188 %

* Hors consommations thermiques pouvant être couvertes par une source électrique.

La production annuelle potentielle d'électricité si l'ensemble des bâtiments en présentant le potentiel (en écartant ceux ayant une mauvaise orientation) sont équipés d'une installation photovoltaïque est estimée à environ **1 880 MWh/an**, soit une recette en cas de revente aux tarifs précités de l'ordre de **325 000 €** pour un investissement de l'ordre de **4,4 M €TTC**. Le temps de retour brut de ce scénario est donc estimé à environ 20 ans.

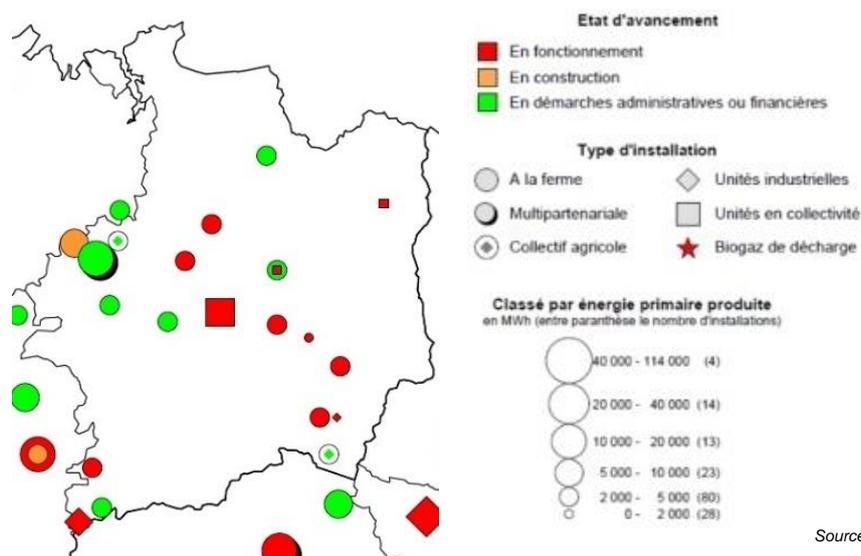
Ce scénario d'implantation de panneaux photovoltaïques permet de produire plus d'électricité que ce que l'ensemble des bâtiments consomment (hors consommations thermiques).

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'électricité est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude et détaillés en annexe de ce document.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements liés aux installations photovoltaïques sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

5.4. Le gisement net issu de la valorisation des déchets organiques

Le potentiel de valorisation des déchets organiques est présent dans les environs, notamment les installations de méthanisation à la ferme, en témoignent les installations similaires en projet ou en activité sur le département de l'Ille et Vilaine.



L'Usine d'Incinération d'Ordures Ménagères (UIOM) de la Ville de Rennes qui alimente un réseau de chaleur sur la partie nord de la ville, est le seul exemple d'installation en milieu urbain des environs. Elle permet la valorisation d'environ 36% des déchets ménagers de Rennes métropole soit environ 140 000 tonnes de déchets à l'année. L'installation génère une production de chaleur couvrant les besoins en chauffage d'environ 18 000 logements.

Dans le cadre de ce projet, la hauteur des besoins énergétiques engendrés par le projet est incohérente avec les capacités énergétiques de ce type d'installation.

Enfin, les contraintes d'implantation en milieu urbain, et le type d'activités présentés sur le projet (notamment les logements) est un frein à la mise en œuvre de ce type d'installation.

La production de biogaz par méthanisation consiste à stocker des déchets organiques dans une cuve cylindrique et hermétique appelée "digesteur" dans laquelle ils sont soumis, en l'absence d'oxygène, à l'action de bactéries.

Un brassage de la matière organique, éventuellement un apport d'eau, mais surtout un chauffage, accélèrent la fermentation et la production de gaz qui dure environ deux semaines. Ce procédé peut générer jusqu'à 500 m³ de gaz par tonne de déchets.

Le biogaz produit est composé en moyenne de 60% de méthane. Le procédé produit également un "digestat" qui est ensuite transformé en compost.

Tout comme une UIOM, une installation de méthanisation est consommatrice de surface foncière non prévue dans la programmation. De plus, l'un des principaux impacts sur l'environnement proche d'une méthanisation, outre l'aspect visuel, est l'odeur dégagée par le transport et la fermentation des matières organiques.

En revanche, et à titre d'information dans le cadre d'une utilisation de gaz naturel sur le projet, GRDF a pour objectif à horizon 2020 d'injecter dans le réseau de distribution de gaz naturel 5 000 à 16 000 GWh de biométhane. A horizon 2050, il est estimé par l'ADEME que 56% du gaz circulant dans le réseau de gaz naturel sera du « gaz vert ».

Le potentiel de valorisation des déchets organiques sur la zone d'étude est donc limité et les installations incompatibles avec une l'inscription dans un contexte urbain du projet. Cette alternative n'apparaît donc pas comme étant pertinente pour le projet.

5.5. Le gisement géothermique net

5.5.1 La géothermie basse énergie (profonde)

Ce moyen de production d'énergie présente l'avantage de ne nécessiter aucun combustible. Le coût de production de l'énergie dépend alors seulement des consommations des équipements du réseau (pompes, vannes, ...).

La présence d'une énergie d'appoint est cependant nécessaire pendant les périodes où les besoins sont importants.

Cette technologie ne sera envisageable qu'avec une zone de desserte énergétique présentant une forte densité et de forts besoins, ce qui ne semble pas être le cas dans le cadre de ce projet.

La faisabilité de ce type d'installation sera le cas échéant vérifiée par une étude géothermique détaillée, s'accompagnant d'un forage d'étude afin de vérifier le potentiel réel exploitable.

Dans l'éventualité d'un potentiel intéressant, mais trop faible pour une alimentation directe du circuit de chauffage, (une eau géothermale à 40-45°C par exemple), la mise en place d'une pompe à chaleur de grosse puissance en relève s'avérerait nécessaire. Cependant, les contraintes d'études et de densité énergétiques restent valables pour cette solution intermédiaire.

Cette solution énergétique est donc inadaptée au projet. D'une part du fait de la méconnaissance du réel potentiel local, et d'autre part du fait de la hauteur des investissements pour la faible hauteur des besoins énergétiques du projet.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilise la chaleur sous terre pour couvrir une large gamme d'usages : réseau de chauffage urbain, chauffage de serres, utilisation de chaleur dans les process industriels,... ➤ Contribue à la réduction des émissions de GES. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nécessite des études approfondies du sous-sol. ➤ Impose la mise en œuvre de forages à des profondeurs importantes (2 km). ➤ Nécessite une chaudière d'appoint en cas de besoin.

5.5.2 La géothermie très basse énergie

5.5.2.1 Géothermie capteurs horizontaux

Concernant la **géothermie très basse énergie avec des capteurs horizontaux**, elle nécessite une surface de pose 1,5 à 2 fois supérieure à celle de la surface chauffée des bâtiments.

De plus, cette surface d'implantation doit être perméable aux eaux de pluie, qui jouent un rôle déterminant dans la régénération de la chaleur du sol.

Les surfaces nécessaires à l'implantation de capteurs horizontaux ne peuvent également être arborées du fait de la potentielle dégradation des capteurs par les racines.

Pour ce type d'installation la pente maximale adaptée à l'implantation des capteurs géothermiques est de 20 %. A l'échelle du site la dénivelée n'apparaît pas comme étant contraignante pour l'implantation des capteurs.

Ce type d'installation est plutôt adapté pour des bâtiments de type maisons individuelles ou éventuellement très petits tertiaires, mais peu propice aux logements collectifs, en raison de la surface de captage nécessaire.

Dans le contexte du projet de lotissement, le système conviendra donc aux logements individuels dans la plupart des cas. Il est cependant important de préciser que la faisabilité technique de ce type d'installation devra être étudiée au cas par cas, afin de vérifier notamment que la surface d'implantation des capteurs horizontaux enterrés est en adéquation avec la surface foncière de chaque logement, après implantation de ce dernier.

La mise en place de pompes à chaleur géothermiques avec capteurs horizontaux est donc pertinente pour les logements individuels de ce projet sous réserve de présenter une surface foncière adéquate (au cas par cas).

Pour les logements collectifs, un système géothermique à captage horizontal est inadéquat, il lui sera préféré un captage vertical.

5.5.2.2 Géothermie capteur verticaux

La géothermie très basse énergie avec des capteurs géothermiques verticaux, descendant à une profondeur de 80-110 m (selon l'étude de sol) nécessite la mise en place de forages sur le projet. Le nombre de puits est directement lié aux besoins énergétiques des bâtiments à chauffer, chaque puits nécessitant chacun une surface de 50 x 50 cm environ et distants d'une dizaine de mètres au moins. Ils reçoivent les sondes géothermiques, constituées de quatre tubes PEHD (Ø 25 ou 32 mm) formés en doubles U (soudés deux par deux à la base) et où circule de l'eau glycolée en circuit fermé.

Une fois les sondes reliées à la PAC, elles sont scellées dans leurs puits par injection d'un coulis à base de ciment et d'argile. Ce mélange, tout en protégeant les capteurs des pierres et racines, permet d'améliorer leur conductibilité. La capacité d'absorption calorifique d'un capteur vertical est en moyenne de 50 W par mètre de forage. A titre d'exemple, deux sondes profondes de 50 m peuvent ainsi chauffer 120 m² habitables. Parfois, la nature du sol (terre trop friable) oblige à tuber les sondes, augmentant ainsi le coût global de l'intervention.

On retiendra également que cette technologie n'est pas une source d'énergie complètement « propre ». En effet, seulement une partie des calories nécessaires pour couvrir les besoins du bâtiment sont puisées

dans le sol. Un appoint électrique par compression est réalisé pour atteindre une température de transfert de calories suffisante.

Il est donc important d'opter pour un matériel présentant un coefficient de performance (COP) élevé, afin de réduire au maximum cet appoint électrique.

Cette technologie, même si elle nécessite moins de surface foncière que la mise en place de capteurs horizontaux, requiert une surface foncière disponible pour la mise en place des forages qui reste relativement importante.

Dans le cadre du projet, il sera privilégié un système utilisant des capteurs horizontaux pour les logements individuels. De plus, pour ce type d'habitat, étant donné le coût d'investissement lié aux forages, la géothermie très basse énergie ne présente pas de pertinence économique avérée. Pour les logements collectifs, ce système sera en théorie entièrement compatible, sous réserve également de présenter une surface foncière adéquate, ce qui semble au regard de la surface de la parcelle, du nombre de logements, donc des besoins thermiques et des écarts à respecter entre les forages, relativement optimiste.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Une PAC peut être réversible et fournir de la chaleur l'hiver et du rafraîchissement l'été. ➤ Coefficient de performance (COP) élevé > 4. ➤ Possibilité de raccordement sur un réseau de chaleur. ➤ Pas de stockage de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Difficulté de mise en œuvre (capteurs enterrés). ➤ Investissement relativement lourd. ➤ Surface de terrain nécessaire importante. ➤ Pas de plantation sur les capteurs (horizontaux). ➤ Besoin d'électricité alourdissant le bilan en énergie primaire.

Approche Energétique et Economique

Les estimations des consommations liées à la production thermique par type d'énergie utilisée et de la dépense énergétique annuelle dans le cadre d'installations de géothermie très basse énergie sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Il a été considéré une installation de géothermie très basse énergie par capteurs horizontaux par logement individuel assurant la couverture des besoins en chauffage et en ECS.

Pour les logements collectifs, il a été pris en compte 18 installations (hypothèse de 18 opérations d'environ 19 à 20 logements), assurant la couverture des besoins de chauffage et en ECS.

Il est considéré en investissements, l'ensemble de l'installation thermique (Capteurs enterrés ou forages [selon cas], Pompe à chaleur, stockage ECS, raccordement au réseau de distribution, accessoires hydrauliques, main d'œuvre, circulateurs, distribution, émission,...).

Il est considéré un COP moyen de 4,1 pour les systèmes horizontaux et de 4,3 pour le système vertical avec une puissance moyenne apportée par le sol de l'ordre de 50 W / mL de forage.

	Type production chauffage	Type production ECS	Consos Gaz (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements** (€ TTC)
Lots Libres	PAC Géo horizontale		0	1 506	233 395	372 769	13 990 000
Logements collectifs ou semi collectifs	PAC Géo verticale		0	851	108 877	186 975	4 681 000
Total			0	2 356	342 272	559 744	18 671 000
Moyenne par logement			0	2,57	374	611	20 383

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude et détaillés en annexe de ce document.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec PAC Géothermique :

Poste	Scénario PAC	Gain par rapport au scénario de référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	2 356	3 753
Dépense énergétique annuelle (€ TTC/an)	559 744	339 782
Emission CO2 (tonnes CO ₂ /an)	236	1 037
Surinvestissement (€ TTC)	9 121 000	

Pour couvrir l'ensemble des besoins du projet on donne les surfaces occupées au sol par les capteurs :

- Lots libres: 11 ha,
- Logements collectifs ou semi- collectifs : 3 ha.

Les surfaces mobilisées pour accueillir les capteurs sont donc très importantes.

5.6. Le gisement aérothermique net

Les pompes à chaleur aérothermiques, dans le cadre d'une production de chaleur décentralisée, entrent bien dans le potentiel de développement en énergies renouvelables.

5.6.1 Compression électrique

Le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur aérothermique avec compression électrique est de puiser des calories dans l'air extérieur via un évaporateur dans lequel passe un fluide frigorigène formant un cycle, puis d'apporter le complément de calories nécessaire à l'obtention de la température désirée en augmentant la pression du fluide frigorigène via un compresseur.

Contrairement à la géothermie, il n'y a pas de contrainte foncière d'encombrement lourde, les Pompes à Chaleur pourront être installées en toiture des bâtiments en veillant à les dissimuler visuellement ou dans des locaux techniques. Cependant, et tout comme pour la géothermie très basse énergie, cette technologie requiert un appoint électrique, d'où l'importance ici aussi de choisir un matériel présentant un coefficient de performance élevé. Il pourra en outre être choisie une solution mixte avec une chaudière Gaz qui substituera la PAC lors des périodes les plus froides de l'année, afin de limiter les consommations électriques hivernales, d'augmenter le rendement global du système et ainsi de réduire le coût en combustible du au fonctionnement.

La mise en place d'un mode de production de chaleur par Pompe A Chaleur Air/Eau devra appréhender l'impact acoustique de l'installation, selon l'arrêté du 31 août 2006, et veiller à le limiter à travers les actions suivantes :

- Mise en œuvre de plots anti-vibratiles,
- Implantation la plus éloignée possible du voisinage,
- Mise en œuvre de matériaux absorbants en façades exposées à la réflexion,
- Mise en œuvre de gravillons devant unité extérieure (plutôt que dalle béton),
- Mise en œuvre d'un écran anti-bruit brise-vue sur unité extérieure,
- Implantation sous les fenêtres, dans les angles rentrants et dans les cours intérieures proscrites,...

Cette solution est donc envisageable à l'échelle du projet ; que ce soit pour les logements individuels ou collectifs.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Une PAC peut être réversible et fournir de la chaleur l'hiver et du rafraîchissement l'été. ➤ Coefficient de performance (COP) élevé > 3,5. ➤ Possibilité de raccordement sur un réseau de chaleur. ➤ Simplicité de mise en œuvre. ➤ Pas de stockage de combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pollution sonore (préjudiciable en cas de densité d'habitations forte). ➤ Besoin d'électricité alourdissant le bilan en énergie primaire. ➤ Plus éligibles au crédit d'impôt pour les particuliers depuis 2009.

Approche Energétique et Economique

Il a été considéré une installation de type Pompe à Chaleur Air/Eau pour chaque logement individuel, afin d'assurer les besoins de chauffage et d'ECS.

Pour les logements collectifs ou semi collectifs, il a été pris en compte 18 installations (hypothèse de 18 opérations d'environ 19 à 20 logements), assurant la couverture des besoins de chauffage et en ECS.

Les estimations des consommations d'énergie totales des bâtiments comprenant la production de chauffage et ECS par PAC Aérothermique Air-Eau et de la dépense énergétique annuelle associée sont présentées dans le tableau ci-dessous :

	Type production chauffage	Type production ECS	Consos Gaz (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements** (€ TTC)
Logements individuels	PAC Air-Eau		0	1 633	253 084	331 384	9 761 000
Logements collectifs ou semi-collectifs	PAC Air-Eau		0	1 168	141 594	219 692	3 351 000
Total			0	2 801	394 678	551 076	13 112 000
Moyenne par logement			0	3,06	431	602	14 314

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude et détaillés en annexe de ce document.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec PAC aérothermiques :

Poste	Scénario PAC Aéro.	Gain par rapport au scénario de référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	2 801	3 309
Dépense énergétique annuelle (€ TTC/an)	551 076	348 450
Emission CO2 (tonnes CO₂/an)	280	992
Surinvestissement (€ TTC)	3 562 000	

5.6.2 Aérothermie gaz naturel

La technologie de pompes à chaleur aérothermiques avec appoint au gaz naturel est relativement récente et encore peu développée sur le marché.

Le principe de fonctionnement est de puiser des calories dans l'air extérieur de la même façon que pour une machine à compression électrique. La différence est que le cycle n'est pas à compression mécanique comme pour la pompe à chaleur électrique, mais de type thermochimique. Le fluide frigorigène est tout d'abord un fluide composé d'un mélange eau/ammoniac, sans impact sur l'effet de serre, et le compresseur électrique est remplacé par un brûleur gaz identique à une chaudière.



Ce système permet de bénéficier d'un apport de calories gratuit, selon le coefficient de performance de la machine. Tout comme pour un système à compression électrique, cette technologie nécessite un appoint d'énergie, mais n'est pas pénalisée en termes de consommation d'énergie primaire, puisque le coefficient de transformation d'énergie primaire est de 1 pour le gaz naturel et de 2,58 pour l'électricité. La pompe à chaleur gaz naturel présente donc une étiquette énergétique et environnementale intéressante pour les bâtiments RT 2012.

Les plages de puissances aujourd'hui disponibles sur le marché sont situées entre 25 et 35 kW. Cependant les pompes à chaleur peuvent être mises en cascade afin d'atteindre des puissances plus importantes.

Dans le cadre du projet, les plages de puissances sont incompatibles avec les puissances thermiques des logements individuels.

Pour les logements collectifs, la mise en place de PAC à compression gaz naturel sera adaptée, parfois en mettant en œuvre plusieurs unités en cascade, selon la taille des ensembles de logements.

Cette solution n'est donc pas adaptée pour les logements individuels, mais envisageable pour les logements collectifs, potentiellement sous forme de plusieurs unités mises en cascade.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Possibilité de se raccorder au réseau de Gaz. ➤ Simplicité de mise en œuvre. ➤ Etiquette énergétique plus intéressante que pour une PAC à compression électrique. ➤ Nuisances sonores réduites. ➤ Fluide frigorigène remplacé par une solution eau/ammoniac. ➤ Brûleur modulant permettant d'adapter la puissance de l'équipement en fonction de la variation des charges. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilisation d'une ressource fossile en appoint. ➤ Plages de puissances limitées.

Approche Energétique et Economique

Il a été considéré 22 installations de type Pompe à Chaleur Air/Eau fonctionnant au gaz naturel afin d'assurer les besoins thermiques des bâtiments de logements collectifs ou semi collectifs (hypothèses de 22 opérations).

Pour les logements individuels, la solution de référence a été conservée dans cette approche.

Les estimations des consommations d'énergie totales des bâtiments comprenant la production de chauffage et ECS par PAC Aérothermique Air-Eau gaz et de la dépense énergétique annuelle associée sont présentées dans le tableau ci-dessous :

	Type production chauffage	Type production ECS	Consos Gaz (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements** (€ TTC)
Lots Libres	Chaudière gaz naturel		3 038	765	285 635	539 849	5 846 400
Logements collectifs ou semi-collectifs	PAC Air-Eau - GAZ		1 186	409	114 956	189 354	4 520 000
Total			4 224	1 174	400 591	729 203	10 366 400
Moyenne par logement			4,61	1,28	437	796	11 317

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude et détaillés en annexe de ce document.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

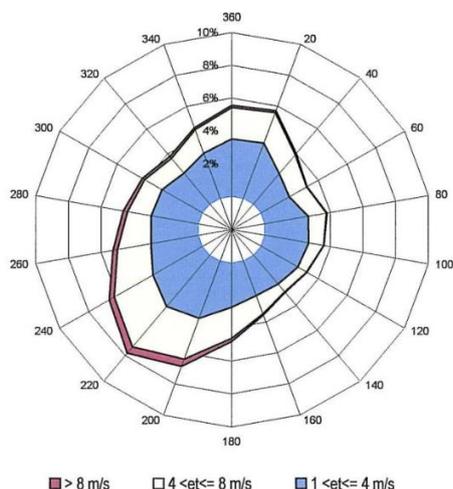
Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec PAC aérothermiques gaz :

Poste	Scénario PAC Gaz	Gain par rapport au scénario de référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	5 398	712
Dépense énergétique annuelle (€ TTC/an)	729 203	170 323
Emission CO2 (tonnes CO ₂ /an)	1 106	167
Surinvestissement (€ TTC)	816 400	

5.7. Le gisement éolien net

5.7.1 Vents dominants

Les vents dominants pour la station de référence la plus proche, c'est-à-dire Rennes sont sud-ouest, comme le montre le graphique ci-dessous.



La vitesse moyenne du vent sur l'année est de 8 Nœuds.

Ceci a pour conséquence au niveau du projet, de prévoir un aménagement qui protège les bâtiments des vents dominants au sud-ouest afin de limiter la convection sur les surfaces de bâtiments et ainsi de générer des déperditions thermiques plus importantes.

5.7.2 Grand éolien

Le potentiel éolien est relativement difficile à déterminer et ne peut être défini précisément qu'à partir d'une campagne de mesure de qualité préalable, le plus souvent indispensable à l'étude du potentiel éolien de référence du site. Par ailleurs, l'implantation de ce type d'équipement n'est autorisée qu'à une distance minimale de 500 m d'habitations et donc incompatible avec ce type de projet.

L'implantation d'éoliennes de grandes puissances sur le périmètre de l'étude est donc à proscrire, étant donné la proximité des habitations, conformément aux dispositions du grenelle II.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Niveau sonore peu perceptible (≈ 40 dB à 200 m). ➤ Energie propre utilisant une ressource gratuite et inépuisable. ➤ Matériaux recyclables (démantèlement facile). ➤ La période de haute productivité, située en hiver où les vents sont les plus forts, correspond à la période de l'année où la demande d'énergie est la plus importante. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fort impact visuel. ➤ Production variable dans le temps et dépendante du climat. ➤ Localisation de l'installation dépendante de la ressource (vent). ➤ Distance minimale des habitations : 500m.

5.7.3 Petit éolien

Les installations d'éoliennes de faibles puissances sont en revanche réalisables à l'échelle du projet puisque leurs nuisances sont relativement faibles.

Il existe aujourd'hui plusieurs technologies de petites éoliennes, également appelées éoliennes domestiques. Elles peuvent être à axe vertical ou horizontal, et implantées sur les toitures, généralement de petite ou moyenne puissance (jusqu'à 6 kW) et spécialement développées pour l'environnement urbain.

Les différents types d'éoliennes urbaines sont les suivants :

- Eolienne à axe horizontal (similaire aux grandes éoliennes) :
De 5 à 20 m, d'une puissance < 20 kW.

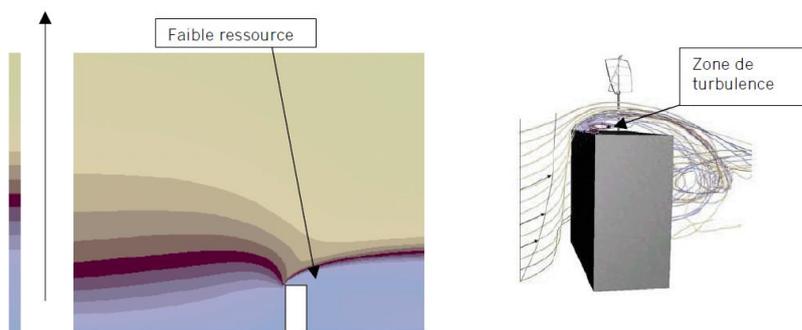


- Eoliennes à axe vertical :
Conçues pour s'adapter aux contraintes de turbulences en milieu urbain, fonctionnant avec des vents venants de toutes les directions, et relativement silencieuses. Elles se décomposent en 2 types :

CC



En milieu urbain, le vent est plus faible qu'en terrain ouvert et il est surtout plus turbulent (variations rapides de vitesse et de direction du flux d'air), comme l'illustre le schéma suivant :



Cependant, il est important de noter qu'il s'agit d'une technologie récente dont les retours d'expériences sont quasi inexistantes en France.

L'énergie produite pourra être consommée sur place pour assurer une partie de l'alimentation électrique des bâtiments ou de l'éclairage public, ou alors réinjectée dans le réseau pour une exploitation par le concessionnaire du réseau d'électricité.

L'implantation de petites éoliennes est donc envisageable pour ce projet.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pas de nuisances sonores. ➤ Matériaux recyclables (démantèlement facile). ➤ La période de haute productivité, située en hiver où les vents sont les plus forts, correspond à la période de l'année où la demande d'énergie est la plus importante. ➤ Production d'électricité : soit injectée sur le réseau, soit consommée sur place. ➤ Intégration au bâti (en toiture,...). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fort impact visuel. ➤ Petites et moyennes puissances : 100W à 20kW. ➤ Encore chères (moins répandues).

Approche Energétique et Economique

L'investissement avoisine 6 000 €/kW installé et comprend le matériel, la pose, la mise en service et le raccordement au réseau ERDF.

Selon l'arrêté du 10 juillet 2006, et toujours en vigueur aujourd'hui, les tarifs d'achat sont les suivants :

Période	Tarif
Pendant les 10 premières années	8,2 c€/kWh HT
Lors des 5 années suivantes	Entre 2,8 et 8,2 c€/kWh HT (selon le nombre d'heures de production annuelle)

La relation entre production et investissement afin d'envisager la rentabilité de ce type de technologie pour ce projet est la suivante :

Exemple : Eolienne de 2 kW	
Puissance nominale de l'éolienne	2 kW
Heures de production par an	2 400 h/an
Production par an	4 800 kWh/an
Achat de l'électricité produite en 1 année	395 €
Coût d'une éolienne de 2 kW	10 000 €
Durée d'amortissement	26 ans

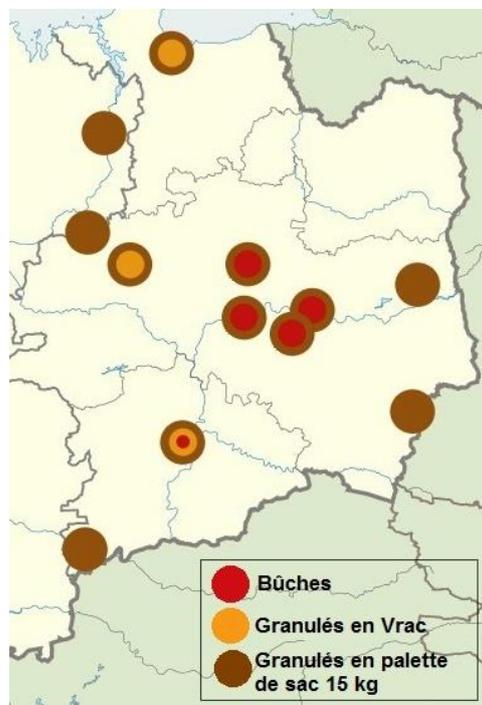
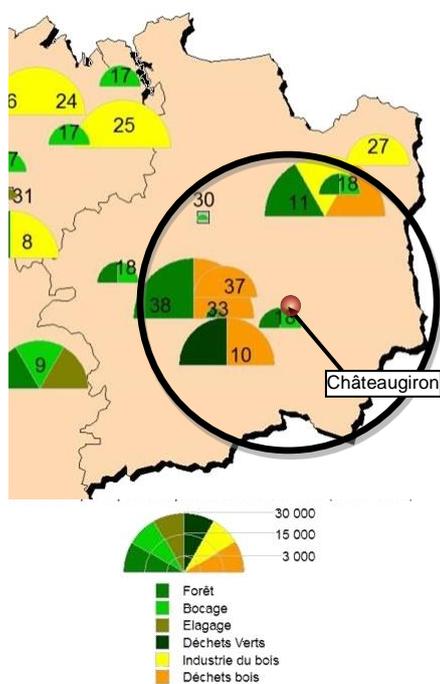
Même si la faisabilité technique de ce type d'installation semble intéressante pour le projet, la rentabilité économique est actuellement encore difficile à obtenir.

(Ces données sont formulées uniquement pour donner une approche globale et à titre indicatif. D'autre part, les données économiques ne prennent pas en compte les subventions allouées à ce type d'installation.)

5.8. Le gisement Bois-Energie net

5.8.1 Ressources locales

On soulignera que les plateformes Bois-Energie sont très bien représentées dans un rayon d'environ de 40 km du site du projet (cercle sur la carte ci-dessous).



On recense plusieurs plates-formes en fonctionnement situées à proximité (CBB 35 [Collectif Bois Bocage], ECOSYS, PAPREC, DBR Environnement, Bois 2). Figurent également sur la cartes les filières mises en place par les collectivités du Val d'Ille et de Chartres de Bretagne.

On retiendra que le développement d'une filière de proximité, avec plantations de miscanthus ou TTCR (Taillis Très Courte Rotation), et utilisation des bois de taille provenant de l'entretien du bocage peut être envisagé.

Le combustible bois adapté à une production d'énergie décentralisée, de type petites ou moyennes chaudières bois individuelles ou poêles à bois, est présenté sous forme de pellets (granulés de sciure agglomérée grâce à la lignine) ou de bûches. L'approvisionnement de ces types de combustibles est possible à proximité, comme le montre la carte ci-contre.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Energie renouvelable (biomasse). ➤ Pollution atmosphérique négligeable. ➤ Energie locale (indépendance énergétique, développement économique des territoires,...). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Energie non inépuisable. ➤ Peut nécessiter une énergie d'appoint. ➤ Nécessite la livraison régulière du bois -> s'assurer de l'existence d'une filière d'approvisionnement locale. ➤ Nécessité une surface de stockage importante (local chaufferie, silo, aire de manœuvre).

5.8.2 Bois granulés

L'utilisation du bois granulés comme combustible est envisageable pour le projet via la mise en œuvre des systèmes suivants :

- Lots libres : Chaudière automatique faible puissance à chargement manuel (Chauffage et ECS), ou éventuellement poêle à granulés avec appoint électrique.
 - Logements collectifs : Chaudière automatique collective équipée d'un silo textile ou maçonnée (livraison par camion souffleur).
- Chaudières automatiques

Il est donc envisagé pour les logements individuels et les ensembles de logements collectifs, la mise en œuvre de chaudières automatiques à granulés de bois.

Pour les logements collectifs, la livraison pourra être aisément assurée par camion souffleur.

Les réservoirs de stockage devront être situés généralement à 20 m maximum des voiries principales qu'empruntera le camion souffleur.



Le réservoir de stockage pourra être de type silo textile dans un local réservé à cet effet, ou de type silo maçonné enterré. Ce dernier présentera l'intérêt d'optimiser la surface foncière du projet, mais engendrera des coûts d'investissements plus importants.

L'alimentation de la chaudière à partir du silo pourra s'effectuer par vis ou par aspiration si la configuration de la chaufferie ne permet pas un réservoir de stockage à proximité.

Ces différentes possibilités sont résumées par les schémas suivants :



Le silo textile sera dimensionné afin de limiter les livraisons de granulés à 1 à 2 livraisons annuelles.

Pour les lots libres, certaines marques proposent des chaudières automatiques petites puissances mixtes (ECS et Chauffage), permettant un chargement manuel par sacs, afin de limiter l'encombrement du matériel et le coût d'investissement. Solution plus adaptée pour les pavillons de taille moyenne.

- Poêles à granulés

Pour les logements individuels, l'utilisation des granulés de bois pourra également intervenir dans le cadre de l'installation de poêle à bois individuels. Un poêle à bois pourra être installé dans la pièce de vie principale du logement, et la chaleur répartie dans l'ensemble de l'habitation soit par les flux d'air intérieurs générés par la ventilation, soit par un circuit de chauffage et radiateurs (l'installation nécessitera alors l'ajout d'un ballon tampon pour stocker la chaleur émise par la génération et d'une régulation afin de ne pas surchauffer le ballon et d'assurer un confort thermique optimal dans les pièces desservies par le réseau de distribution).



L'alimentation de ce type de technologie se fera automatiquement à partir du réservoir à granulés du poêle qui sera lui rempli manuellement via des sacs de granulés.

Dans une démarche d'économie d'énergie le matériel installé pourra bénéficier de la labellisation de qualité flamme verte, garantissant un rendement de production supérieur à 85%.

Dans le cadre de la conception des logements individuels et afin de respecter les dispositions de la RT 2012, la mise en place d'un poêle à granulés peut être considérée comme le moyen de chauffage principal du logement, un appoint est cependant conseillé dans la ou les salles de bains, ainsi que dans les pièces n'étant pas en communication directe avec la pièce dans laquelle est installé le poêle à granulés.

Approche Energétique et Economique

Pour ce scénario, il a été considéré 22 installations collectives équipées de chaudières à granulés et silos associés pour assurer les besoins thermiques des logements collectifs ou semi-collectifs.

Pour les logements individuels, il a été pris en compte la mise en place d'une chaudière à granulés par maison, avec un chargement manuel par sacs assurant à la fois les besoins en chauffage et en ECS.

En variante, il est étudié la solution poêle à granulés, consistant en la mise en place un poêle à granulés par logement individuel, complété par un appoint par émetteur électrique direct (couverture bois : 80 %) et un ballon thermodynamique pour la préparation d'ECS, technologie couramment utilisée dans la conception actuelle de ce type de logement en association avec un poêle à granulés. Pour cette variante, il sera conservé des chaudières automatiques pour les logements collectifs ou semi-collectifs.

Les estimations des consommations d'énergie totales des bâtiments comprenant la production de chauffage et/ou ECS par chaudière/poêle à granulés de bois et de la dépense énergétique annuelle dans le cadre de ce scénario sont présentées dans les tableaux ci-après.

- Solution chaudières automatiques :

	Type production chauffage	Type production ECS	Consos Granulés (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements** (€ TTC)
Lots libres	Chaudière Granulés		3 099	765	304 471	469 945	12 006 000
Logements collectifs ou semi-collectifs	Chaudière Granulés		1 935	409	179 564	243 262	2 925 000
Total			5 034	1 174	484 035	713 207	15 976 000
Moyenne par logement			5,50	1,28	528	779	17 441

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude et détaillés en annexe de ce document.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec système de production de chaleur bois granulés :

Poste	Scénario Granulés	Gain par rapport au scénario de référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	6 208	-99
Dépense énergétique annuelle (€ TTC/an)	713 207	186 320
Emission CO2 (tonnes CO₂/an)	117	1 155
Surinvestissement (€ TTC)	6 426 000	

- Variante poêles à granulés (pour logements individuels seulement) :

	Type production chauffage	Type production ECS	Consos Granulés (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements** (€ TTC)
Lots Libres	Poêle Granulés / appoint électrique + Ballon Thermodynamique		1 537	1 603	340 730	480 104	8 717 000
Logements collectifs	Chaudière Granulés		1 935	409	179 564	243 262	3 970 000
Total			3 472	2 013	520 295	723 367	12 687 000
Moyenne par logement			3,79	2,20	568	790	13 850

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude et détaillés en annexe de ce document.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec système de production de chaleur bois granulés via un poêle pour les logements individuels :

Poste	Scénario Granulés	Gain par rapport au scénario de référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	5 485	625
Dépense énergétique annuelle (€ TTC/an)	723 367	176 160
Emission CO2 (tonnes CO₂/an)	201	1 071
Surinvestissement (€ TTC)	3 137 000	

5.8.3 Bois bûches

- Poêles à bois

Sur les mêmes principes de mise en œuvre et de répartition de la chaleur que les poêles à granulés de bois, la mise en place d'un poêle à bois utilisant le bois-bûche comme combustible est envisageable pour logements individuels du projet.



L'alimentation sera entièrement manuelle, impliquant une autonomie plus faible que pour un poêle à granulés de bois. Cependant le coût d'investissement de cette technologie est plus faible.

Dans une démarche d'économie d'énergie le matériel installé pourra bénéficier de la labellisation de qualité flamme verte, garantissant un rendement de production supérieur à 70%.

Il est précisé que dans le cadre de la conception des logements individuels et afin de respecter les dispositions de la RT 2012, **la mise en place d'un poêle à buche ne peut être considérée comme le moyen de production de chaleur principal du logement mais plutôt d'un appoint**, en raison notamment du fait qu'un poêle à buche ne permet pas une régulation et programmation de son fonctionnement.

A ce titre, la mise en place d'un poêle à buches ne pourra substituer le type de chauffage pris en compte dans le scénario de référence.

A titre d'information, le coût d'investissement pour ce type d'équipement est d'environ 3 000 € HT par logement comprenant la pose du poêle et de la fumisterie associée.

5.8.4 Chaufferie centrale Bois-décheté & réseau de chaleur

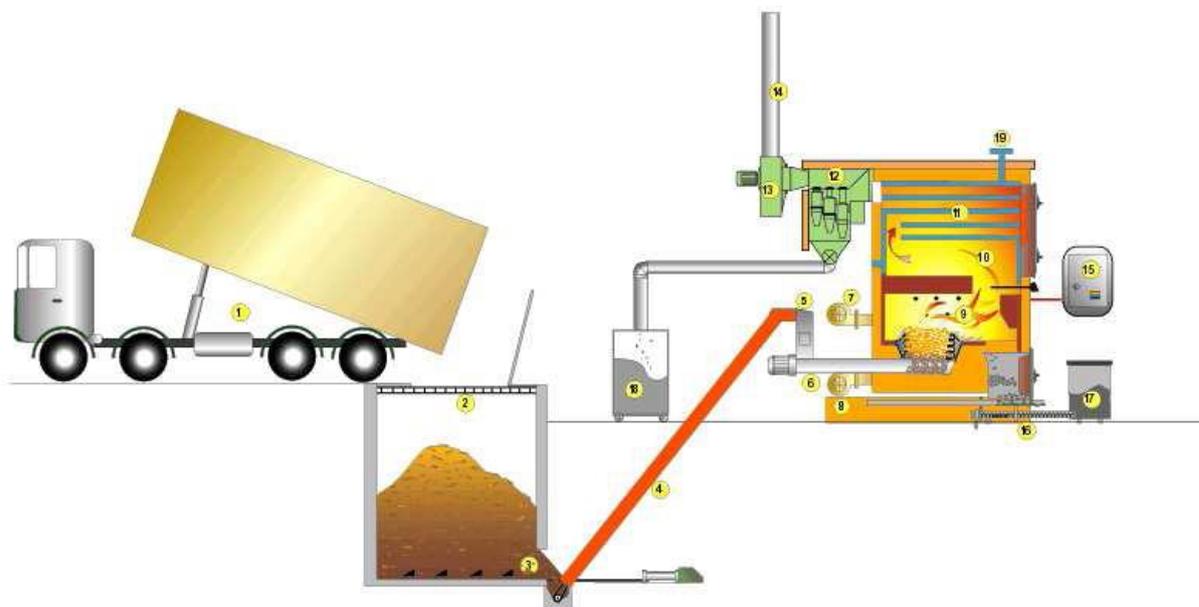
L'utilisation de la ressource bois sous forme de bois déchiqueté peut être envisageable pour alimenter une chaufferie centrale commune à l'ensemble des bâtiments. La chaleur produite serait ensuite distribuée dans les logements via un réseau de chaleur et des sous-stations (une par bâtiment).

L'implantation d'un réseau de chaleur alimenté par une chaufferie mixte Bois-Energie/Gaz naturel peut s'avérer intéressante pour un projet de quartier, sous réserve d'une densité énergétique (donc densité de bâtiments) suffisante.



La chaufferie bois est une structure qui s'intègre généralement bien architecturalement dans l'environnement proche si l'on se place dans le contexte d'un projet urbain de ce type. Elle nécessite cependant une attention particulière sur l'aménagement des voiries afin de permettre une desserte optimisée par poids lourds.

Le principe de fonctionnement d'une telle chaufferie est le suivant :



- | | |
|---|----------------------------|
| 1- Livraison du combustible | 11- Echangeur |
| 2- Stockage du combustible dans un silo | 12- Traitement des fumées |
| 3- Extraction du combustible du silo (désileur) | 13- Extracteur de fumées |
| 4- Transfert du combustible (vis sans fin) | 14- Cheminée |
| 5- Système coupe feu | 15- Armoire de commande |
| 6- Système de dosage et d'introduction | 16- Décendrage |
| 7- Ventilateur d'air secondaire | 17- Conteneur à cendres |
| 8- Ventilateur d'air primaire | 18- Conteneur à poussières |
| 9- Chambre de combustion | 19- Départ eau chaude |
| 10- Chambre de post-combustion | |

On présente ci-dessous des photographies de silos enterrés :



Le silo est en général dimensionné suivant l'autonomie à pleine charge de la chaudière souhaitée (généralement de 3 à 5 jours).

Dans une configuration constituée majoritairement de logements individuels, entraînant une densité énergétique faible, la mise en place d'un réseau de chaleur n'a pas d'intérêt économique et énergétique (les pertes de chaleur sur le réseau seraient trop importantes au regard des besoins finaux).

Cependant, une solution bois déchiqueté mutualisée peut présenter un intérêt plus certain pour alimenter des logements collectifs si la densité énergétique est suffisante.

Il sera donc étudié dans cette partie une approche de la pertinence d'une chaufferie bois déchiqueté assurant les besoins thermiques des logements collectifs.

Il est envisagé une implantation de la chaufferie en sous-sol d'un des bâtiments afin de ne pas pénaliser le nombre de logements constructibles potentiel au regard de la surface foncière, avec un silo enterré accolé à la chaufferie, à proximité d'une voirie de desserte accessible pour les véhicules lourds pour la livraison de bois.

Cette configuration permet une polyvalence des types de livraison, et a un faible impact visuel et foncier.

Il est envisagé un dimensionnement mixte, avec une chaudière bois couvrant plus de 80% des besoins thermiques et une chaudière d'appoint couvrant les 20 % restant.

Ceci permet de limiter l'investissement lié à la chaudière bois en mettant en place une chaudière moins puissante (puissance thermique maximale requise ponctuellement lors des températures extérieures les plus basses) et ainsi d'obtenir une meilleure rentabilité économique de l'installation.

Par ailleurs, une chaufferie bois est déjà présente à proximité du projet, alimentant le centre aquatique « inoxia » et l'école maternelle « le Centaure ». Cette chaufferie mixte est équipée d'une chaudière à bois déchiqueté d'une puissance de 500 kW, engendrant une consommation de l'ordre de 700 à 800 tonnes de bois par an.

Malgré la proximité (environ 500 m), cette installation ne présente cependant pas de réserve de puissance nécessaire pour permettre d'alimenter même partiellement les projets de logements collectifs de l'opération.

La solution d'un réseau de chaleur alimenté par une chaufferie bois pour l'ensemble des bâtiments du projet n'est pas pertinente d'un point de vue économique et énergétique.

La mise en place d'une chaufferie bois déchiqueté, pour les ensembles de logements collectifs et semi-collectifs présentant une densité énergétique importante, est en revanche envisageable techniquement si ces derniers s'avère relativement centralisés et non disséminés sur la ZAC

Approche Energétique et Economique

Pour ce scénario, il a donc été considéré une chaufferie comprenant une chaudière bois de 800 kW et un ensemble de chaudières gaz totalisant une puissance de 1,6 MW en appoint afin de limiter l'investissement tout en maintenant un taux de couverture du bois supérieure à 80% des besoins annuels. La chaufferie sera implantée une zone centrale par rapport aux logements collectifs ou semi-collectifs qu'elle dessert et à proximité des axes routiers, sans impacter sur le nombre de logements constructible.

Dans l'investissement est pris en compte le coût de génie civil à prévoir pour la construction de la chaufferie, l'ensemble du process bois et d'appoint, l'ensemble des équipements hydrauliques et électrique de la chaufferie et des sous-stations des différentes opérations (hypothèse de 18 dans le cadre de cette étude), le réseau de chaleur en tuyau acier pré-isolé entre les opérations et le système de distribution et d'émission des bâtiments.

Pour l'ensemble de logements individuels, la solution de référence a été conservée dans cette approche.

Les estimations des consommations d'énergie totales des bâtiments comprenant la production de chauffage et/ou ECS par chaufferie bois et de la dépense énergétique annuelle dans le cadre de ce scénario sont présentées dans le tableau ci-après.

	Type production chauffage	Type production ECS	Consos Bois (MWh/an)	Consos Gaz (MWh/an)	Consos Electricité (MWh/an)	Coût Consos totales (€ TTC/an)	Dépense énergétique annuelle * (€ TTC/an)	Investissements** (€ TTC)
Lots libres	Chaudière gaz naturel			4 161	1 048	362 056	710 261	8 008 000
Logements collectifs	Chaufferie bois déchiqueté		1 746	436	409	134 138	217 236	4 331 950
Total			1 746	3 474	1 174	419 773	757 085	10 178 350
Moyenne par logement			1,91	3,79	1,28	458,27	826,51	11 111,74

* La dépense énergétique annuelle estimée comprend le coût de l'ensemble des consommations thermiques et électriques, ainsi que les coûts de maintenance estimés selon les types d'installations et les abonnements.

** Les investissements concernent à la fois la production, la distribution et l'émission de chaleur.

Le coût annuel prévisionnel lié aux consommations d'énergie est établi sur la base des coûts énergétiques constatés au moment de l'étude et détaillés en annexe de ce document.

Etant donné l'incertitude quant à la définition finale des projets, les investissements des équipements liés à la production de chaleur sont des ordres de grandeur estimés sur la base d'hypothèses et de ratios.

Le tableau ci-dessous synthétise l'approche énergétique et économique de ce scénario avec système de production de chaleur bois déchiqueté (logements collectifs seulement) :

Poste	Scénario Granulés	Gain par rapport au scénario de référence
Consommations d'énergie (MWh/an)	6 394	-285
Dépense énergétique annuelle (€ TTC/an)	757 085	142 442
Emission CO2 (tonnes CO ₂ /an)	930	342
Surinvestissement (€ TTC)	628 350	

5.9. Le gisement Hydroélectrique net

La commune de Chateaugiron est traversée des petits ruisseaux qui ne présentent pas de potentiel intéressant :



Une production locale d'électricité par des sources hydrauliques n'est donc pas envisageable étant donné le contexte hydraulique du site.

6. Evolution des coûts énergétiques

6.1. Hypothèses de base

L'ensemble des approches économiques détaillées précédemment ne prennent pas en compte l'évolution du coût de l'énergie, les coûts liés à la maintenance des installations, ni les frais bancaires liés aux emprunts pour réaliser les investissements.

Afin de visualiser l'intérêt économique des différentes solutions, on se propose de synthétiser l'ensemble des données économiques en intégrant ces paramètres.

Les hypothèses d'augmentation du coût de l'énergie prises en compte sont les suivantes :

Poste	Valeur
Gaz naturel	5%
Electricité	5%
Bois	3,5%

Il a également été considéré une augmentation des coûts liés à la maintenance des installations thermiques de l'ordre de 2% par an.

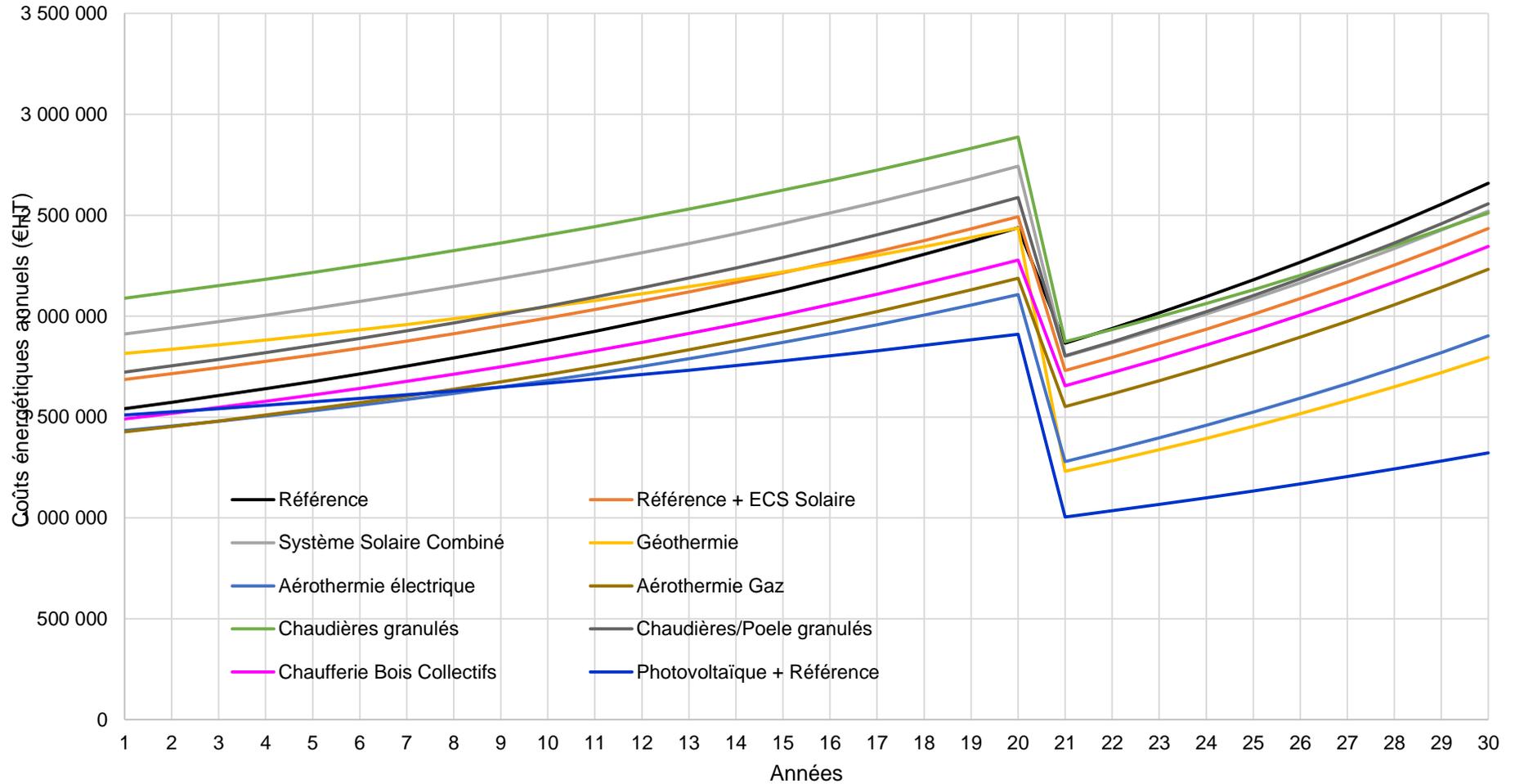
Il a été considéré un financement des installations sur une durée de 20 ans, avec un taux d'intérêts de 3 %.

Afin d'intégrer le scénario photovoltaïque dans la comparaison de l'évolution des coûts énergétiques de l'ensemble des scénarios, il est considéré que ce scénario est combiné avec le scénario de référence.

6.2. Analyse de l'évolution sur 30 ans

L'évolution des coûts énergétiques annuels pour l'ensemble de ces scénarios énergétiques est donc la suivante :

Evolution des coûts énergétiques



La dépense annuelle liée à l'ensemble des coûts énergétiques (combustible, maintenance et financement de l'installation) est plus faible, pour les premières années d'exploitation, que la situation de référence pour les solutions suivantes :

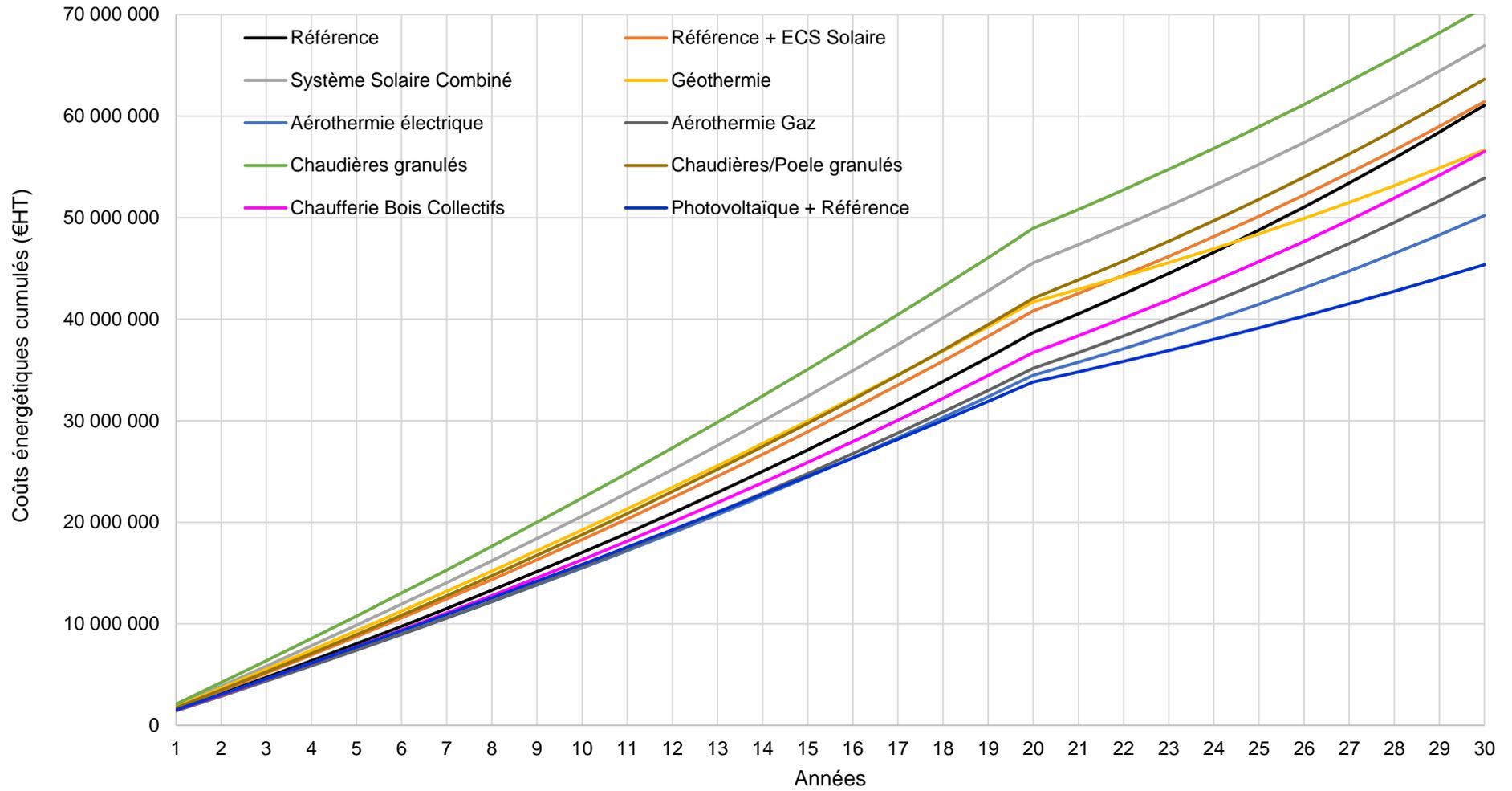
- Installations photovoltaïques en complément à la solution chaudières gaz de référence pour l'ensemble des logements,
- Aérothermie électrique,
- Aérothermie Gaz (logements collectifs) couplé à la solution chaudières gaz de référence pour les logements individuels,
- Chaufferie bois déchiqueté (logements collectifs) couplée à la solution chaudières gaz de référence pour les logements individuels,

L'ensemble des autres solutions présente un coût énergétique plus élevé.

A plus ou moins long terme l'ensemble des solutions présente un coût énergétique plus faible que la situation de référence. Cette analyse compare uniquement les dépenses annuelles, afin d'évaluer la pertinence économique des différentes solutions, il est nécessaire de comparer l'ensemble des coûts cumulés, année après année, pour chaque scénario énergétique.

L'évolution des coûts énergétiques annuels cumulés pour l'ensemble de ces scénarios énergétiques est donc la suivante :

Cumul des coûts énergétiques



En analysant les coûts énergétiques cumulés dans le temps de chaque solution, les scénarios les moins pertinents économiquement et non amortissables par rapport au scénario de référence sur 30 années sont :

- Chaudières à granulés automatique pour l'ensemble des logements, ou poêle à granulés sur les logements individuels,
- Système solaire combiné (logements individuels) couplée à la solution chaudières gaz de référence pour les logements collectifs,
- Scénario de référence avec ECS Solaire pour l'ensemble des logements.

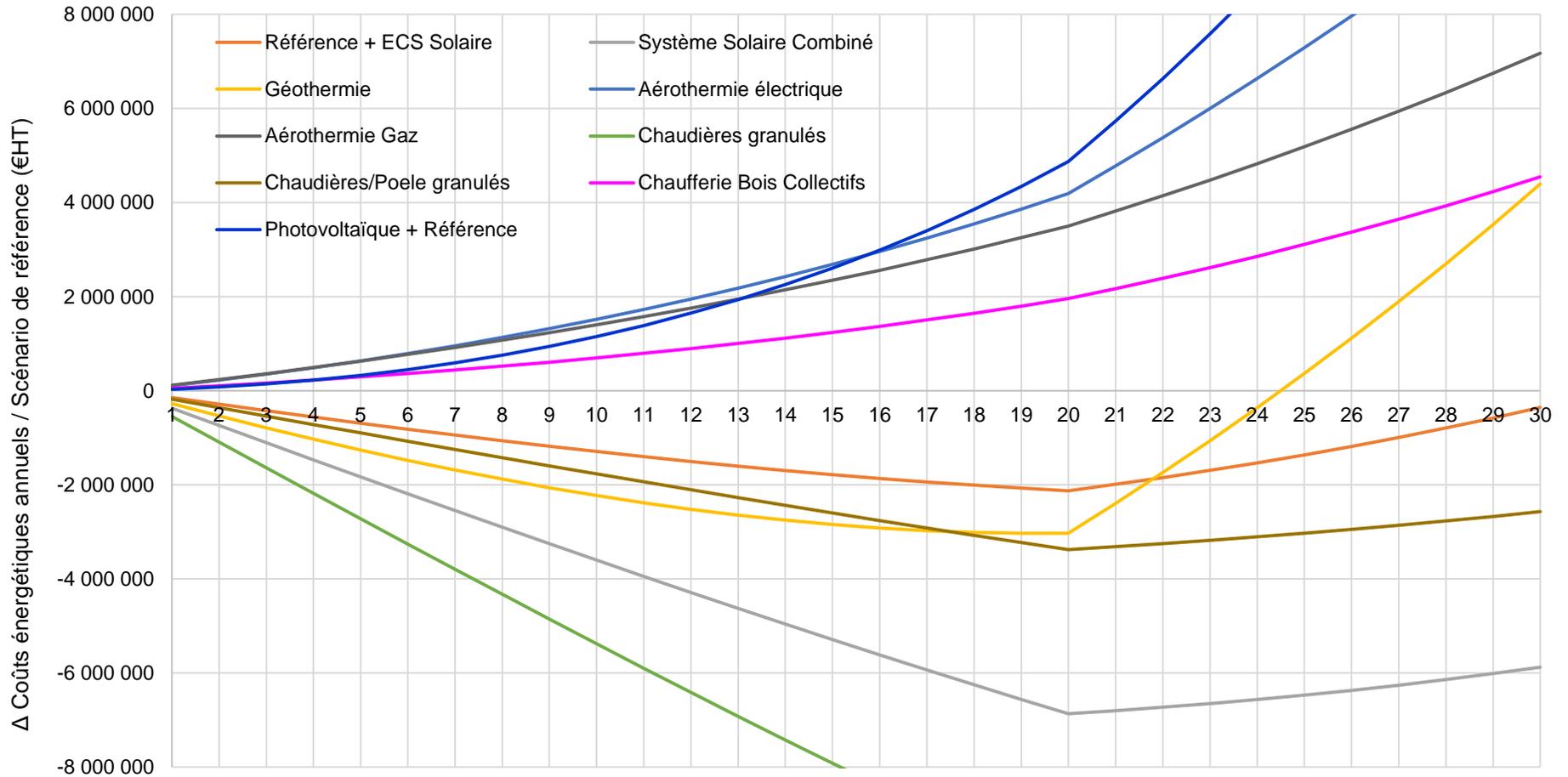
En revanche, 5 scénarios présentent un intérêt économique dans le temps par rapport au scénario de référence, il s'agit par ordre de pertinence des scénarios suivants :

- Installations photovoltaïques en complément à la solution chaudières gaz de référence pour l'ensemble des logements,
- Aérothermie électrique,
- Aérothermie Gaz (logements collectifs) couplé à la solution chaudières gaz de référence pour les logements individuels,
- Chaufferie bois déchiqueté (logements collectifs) couplée à la solution chaudières gaz de référence pour les logements individuels,
- Géothermie pour l'ensemble des logements.

En considérant les écarts de dépenses cumulés entre le scénario de référence et chaque autre scénario, il est possible de visualiser le temps de retour sur investissement de chaque solution par rapport à la référence. Ces temps de retours sont matérialisés par l'intersection de chaque solution avec l'axe des abscisses du graphique ci-dessous qui représente le scénario de référence.

Lorsque la courbe représentant un des scénarios étudiés recoupe l'axe des abscisses, celui-ci devient donc moins onéreux que le scénario de référence :

Evolution des coûts énergétiques



Le graphique ci-avant donne les temps de retour des solutions ainsi que le gain financier par rapport à la situation de référence au bout de 25 ans d'exploitation :

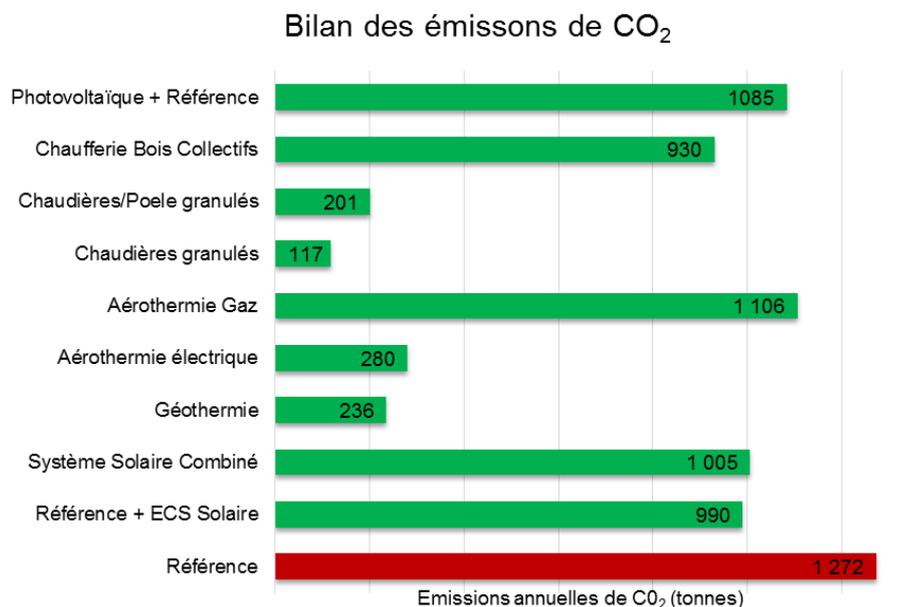
Scénario	Temps de retour (année)	Economie / référence à 20 ans
Installations photovoltaïques + solution de référence	Immédiat	5,0 M€ HT
Aérothermie électrique	Immédiat	4,2 M€ HT
Aérothermie Gaz (logements collectifs)	Immédiat	3,5 M€ HT
Chaufferie bois déchiqueté (logements collectifs)	Immédiat	2 M€ HT
Géothermie	25 ans	-

7. Emissions de CO₂ des différentes solutions énergétiques

L'augmentation de la température moyenne de l'atmosphère est induite par l'augmentation de la concentration atmosphérique moyenne de diverses substances d'origine anthropique (CO₂, CH₄, CFC, etc.). L'indicateur retenu pour évaluer l'impact potentiel sur l'effet de serre d'une substance est exprimé en tonnes d'équivalent CO₂.

Chaque solution envisagée dans cette étude va potentiellement engendrer des émissions de CO₂ différentes, en fonction du combustible utilisé, de l'efficacité du matériel, du type d'acheminement de l'énergie,...

Ces émissions sont les suivantes :



Le scénario le plus émetteur de CO₂ est le scénario de référence, en raison du taux d'émission de CO₂ du gaz naturel (234 kgCO₂/MWh).

Le scénario prévoyant la mise en place de système utilisant le granulé de bois comme combustible est le moins émetteur de CO₂ en raison des émissions de CO₂ considérées nulles pour le bois.

Le scénario chaudière bois déchiqueté collective présente un bilan peu distinct de la solution de référence en raison du fait que pour l'ensemble des logements individuels, il est considéré que la solution de référence est maintenue dans ce scénario.

Les solutions PAC Aérothermique et géothermiques sont également faiblement émettrices de CO₂, car d'une part permettent de puiser une grande partie de l'énergie dans l'environnement extérieur sans engendrer d'émissions, et d'autre part, l'électricité, produite en France est faiblement émettrice de CO₂ (en comparaison avec les Energies fossiles).

A titre d'information, la solution de référence émettrice d'environ 1511 tonnes de CO₂ par an représente des émissions de CO₂ similaires à environ 330 voitures parcourant 15 000 km/an à raison de 200 g CO₂/km.

8. Recommandations sur l'éclairage urbain

8.1. Etat des lieux

Un projet d'aménagement urbain tel que celui-ci, implique des besoins en éclairage urbain non négligeables. En prenant les communes de moins de 2 000 habitants qui regroupent 25 % de la population française, l'ADEME indique que l'éclairage public représente 50% de leur consommation d'énergie. Toujours pour l'ADEME, la moitié du parc actuel est composée de matériels obsolètes et énergivores, le potentiel de réduction de la consommation d'énergie se situe entre 50 à 75%

8.2. Enjeux de l'éclairage urbain

L'éclairage urbain est cependant un service public indispensable à l'échelle d'un projet d'aménagement. Ses enjeux sont les suivants :

- Assurer la sécurité des déplacements (piétons, cycles, véhicules motorisés,...),
- Assurer la sécurité des personnes et des biens,
- Valoriser les espaces publics,
- Disposer d'une installation la moins énergivore possible, afin d'abaisser les dépenses énergétiques de la collectivité,
- Réduire la pollution lumineuse.

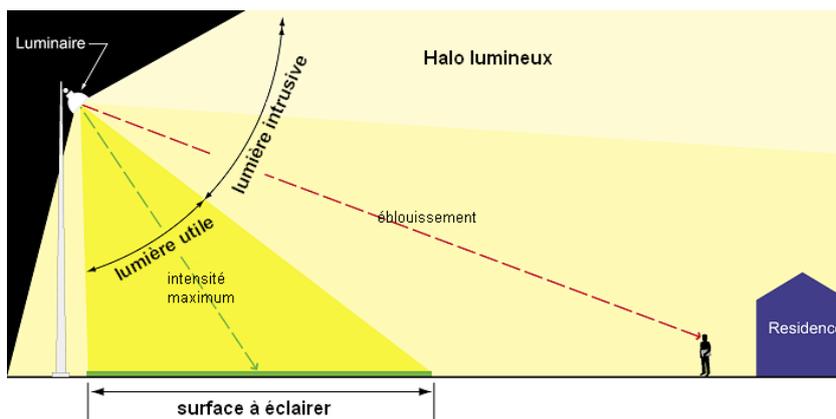
8.3. Pollution lumineuse

La pollution lumineuse est une forme de pollution moins connue que certaines autres (déchets, émissions de CO₂, eaux souillées,...), car à priori moins néfastes sur la santé directement.

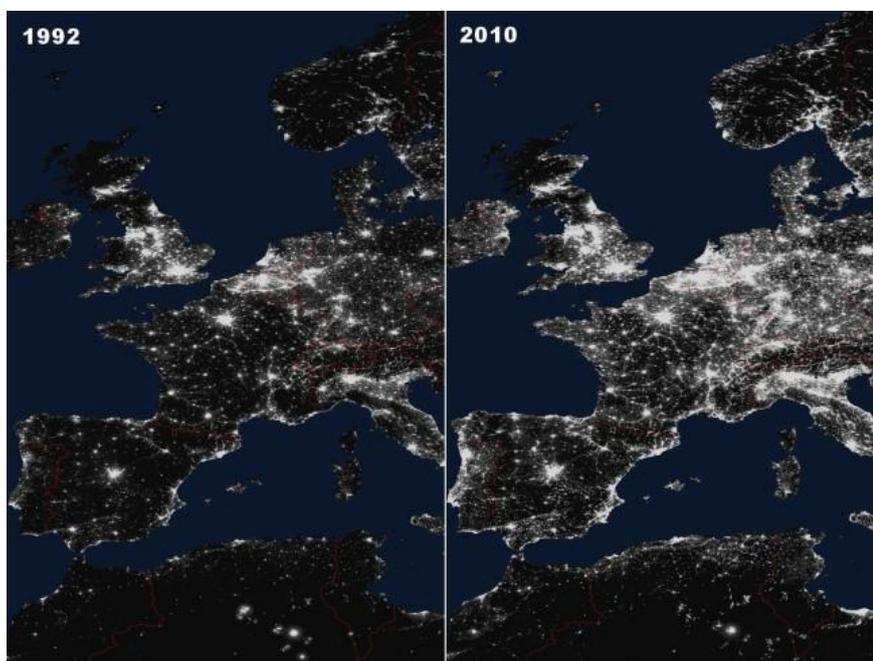
Cependant, l'impact de la pollution lumineuse n'est pas sans conséquence sur la faune (modifications des comportements, de l'orientation, augmentation de la mortalité de certaines espèces nocturnes,...), la flore (perturbations dans le développement – photosynthèse,...) et peut avoir des conséquences sur la santé humaine (perturbation du sommeil, désynchronisation hormonale,...).

Au sens strict, tout dispositif d'éclairage artificiel est source de pollution lumineuse. Cependant, il est considéré que la pollution lumineuse est la conséquence de l'utilisation de moyens et de méthodes d'éclairage inadaptés aux besoins réels, par exemple une plage temporelle de fonctionnement de l'éclairage non adaptée, ou encore l'éclairage des zones riveraines d'une surface présentant un besoin d'éclairage alors que celles-ci n'en présentent pas.

Ce dernier exemple est illustré par le schéma ci-dessous :



L'augmentation de la pollution lumineuse est un phénomène constaté notamment par des vues satellites nocturnes telles que celles-ci-dessous :



L'augmentation des points lumineux en l'espace de 18 ans est indéniable. Ce phénomène est constaté à l'échelle mondiale, mais est plus prononcé dans les pays industrialisés.

La pollution lumineuse, outre son impact sur l'environnement, a un impact économique, puisque par définition, la pollution lumineuse est un éclairage qui ne répond pas à un besoin réel. C'est donc une perte d'énergie qu'il est important de réduire, étant donné le contexte énergétique actuel.

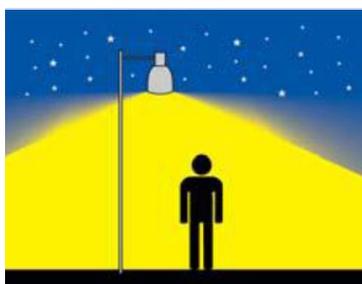
Le principe général de lutte contre cette pollution lumineuse est le suivant :

« **Eclairer OU et QUAND cela est nécessaire** »

8.4. Préconisations

Les pistes d'amélioration pour la conception d'un dispositif d'éclairage urbain sont les suivantes :

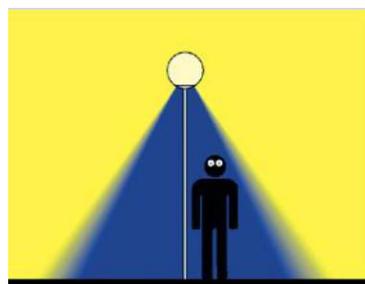
- Recourir à des luminaires dont l'orientation se limite tant que possible à la zone à éclairer.



Bon

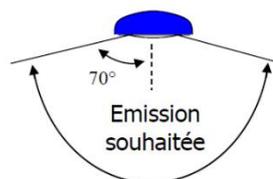
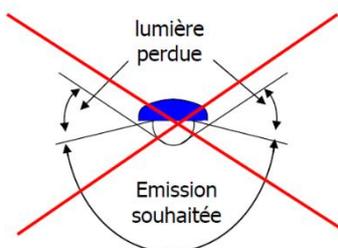


Mauvais



Très Mauvais

- Utiliser les lampadaires équipés de réflecteurs haut rendement, dont l'ampoule est encastrée dans le luminaire à verre plat,



A exclure

verre bombé éblouissant émettant de la lumière en dehors de sa zone d'utilité



Recommandé

verre plat diffusant strictement à la verticale sans émission au dessus de l'horizontale

- Affiner le dimensionnement des puissances d'éclairage et la hauteur des mats en fonction de l'utilisation du secteur éclairé (études photométriques),
- Optimiser la gestion temporelle du fonctionnement de l'éclairage,
 - Centralisation des commandes d'éclairage public, et gestion par une horloge astronomique (programmation automatique du fonctionnement selon les heures de lever et de coucher du soleil, les changements d'heures,...) ou un interrupteur crépusculaire couplé à une horloge (l'interrupteur crépusculaire autorise le fonctionnement uniquement en dessous d'un seuil de luminosité, et l'horloge permet un arrêt nocturne 23h-6h en hiver et 24h-6h en été).
 - Si un arrêt complet de nuit n'est pas envisageable, il peut être mis en place un variateur de puissance, qui permet d'abaisser la tension, donc le niveau d'éclairage et les consommations d'électricité selon une programmation horaire. Un variateur de tension

permet également d'augmenter la durée de vie des lampes car permet un allumage progressif.

- Recourir au maximum à l'éclairage passif (catadioptrés ou matières réfléchissantes), par exemple au niveau des giratoires,



- Utiliser des types de lampes économes, efficaces et respectueuses de l'environnement. Les technologies ci-dessous, sont classées selon leur pertinence :
 - Lampes de type **LED**, présentant une bonne efficacité lumineuse et une excellente durée de vie.
 - Les **lampes à vapeur de sodium Haute Pression**, présentant également une très bonne efficacité lumineuse et ayant l'avantage de produire une lumière monochromatique (teinte orangée ou jaune clair).
 - Les **lampes à iodure métalliques** présentent une efficacité lumineuse, mais durée de vie plus faible.

A titre d'information, les **lampes à vapeur de mercure**, devant être éliminées comme des déchets spéciaux car toxiques, sont interdites à la commercialisation depuis 2015.

- Coupler l'éclairage avec des systèmes de production d'électricité renouvelable,

L'énergie solaire en alimentation d'un éclairage quand il n'existe pas de ligne électrique à proximité du luminaire peut être une solution intéressante. Cependant, l'investissement élevé de ces équipements, la durée de vie limitée des batteries par rapport au luminaire et le risque de ne plus répondre aux besoins d'éclairage longue durée si l'énergie solaire stockée est trop faible, en font un dispositif qui n'est pas le plus judicieux à mettre en œuvre.



9. Synthèse

Le tableau ci-dessous présente la synthèse sur le potentiel de développement en énergies renouvelables et les solutions énergétiques envisageables pour le projet de création du secteur Grand Launay.

	Logements Individuels	Logts Collectifs ou semi-collectifs	Observations
Solaire thermique (Réseau de chaleur)	Inadapté		Echelle du projet et typologie inappropriée.
Solaire thermique (Préparation d'ECS – CESI ou CESCAI)	Adapté		Adapté aux logements pour un taux de couverture de l'ordre de 45 % pour les collectifs et 70% pour les individuels
Solaire thermique (Chauffage et ECS Solaire - SSC)	Envisageable	Inadapté (encombrement capteurs)	Surface de capteurs nécessaires trop importante pour les collectifs. Gain énergétique faible par rapport à une installation ECS Seule. Intérêt économique non avéré.
Photovoltaïque	Adapté		Evolution des tarifs de rachat en baisse, mais restant attractifs.
Valorisation des déchets	Inadapté		Echelle du projet et contexte urbain inappropriés.
Géothermie Basse Energie	Inadapté		Echelle du projet inappropriés - Pas de potentiel avéré dans la région.
Géothermie Très basse énergie (Capteurs horizontaux)	Adapté (sous réserve de surface foncière suffisante)	Inadapté (encombrement capteurs)	Surface de captage trop importante par rapport à la surface disponible pour les logements collectifs.
Géothermie Très basse énergie (Capteurs verticaux)	Adapté		Respect des distances entre forages et vis-à-vis des parcelles voisines. Investissement important.
Aérothermie (compression électrique)	Adapté		Veiller à minimiser les nuisances sonores - Intégration architecturale – Rentabilité économique faible.
Aérothermie (appoint gaz)	Inadapté (puissances)	Adapté	Solution intéressante pour les logements collectifs, permettant un gain énergétique par rapport à une solution chaudières gaz, mais utilise le même combustible.
Grand Eolien	Inadapté		Inapplicable selon la loi Grenelle II.
Petit Eolien	Envisageable		Intérêt expérimental - Etudes complémentaires sur la faisabilité de telles installations nécessaires.
Bois énergie (chaudières granulés)	Adapté		Chaudières à granulés automatiques pour chaque logement individuel et collectives pour les logements collectifs. Investissement difficilement rentable pour les maisons individuelles face à une solution gaz naturel.
Bois énergie (chaudières granulés pour les collectifs / Poêles pour les individuels)	Adapté		Poêle à granulés pour logements individuels, et chaudières automatiques pour logements collectifs Solution intéressante écologiquement et économiquement à court terme.
Chaufferie bois déchiquetée collective	Inadapté	Adapté	Pas d'intérêt de mutualisation d'une chaufferie pour les logements individuels. Potentiel intéressant pour une chaufferie collective assurant les besoins de l'ensemble des logements collectifs. Nécessite une étude de faisabilité technico-économique une fois la configuration des opérations de logements collectifs plus détaillée.

Les solutions définies comme « Adaptées » présentent un potentiel exploitable. Cependant, même si le potentiel est intéressant, la pertinence de la rentabilité économique des différentes solutions est parfois difficile à atteindre et malgré l'approche économique réalisée pour chaque solution dans cette étude reste à définir en détail au cas par cas par une étude technico-économique.

Il est utile de préciser que les exigences d'isolation définies par la RT 2012 ont tendance à baisser la rentabilité économique de ces différentes solutions étant donné la diminution importante des besoins énergétiques.

Il est utile de préciser également que la mise en place d'énergies renouvelables requiert dans la majorité des cas une énergie d'appoint. Les énergies d'appoint seront dans ce cas, et en fonction des solutions d'énergies renouvelables adoptées, le gaz ou l'électricité.

Il sera donc impératif lors de la viabilisation du terrain, de prévoir l'implantation des réseaux pour l'énergie d'appoint lorsqu'elle est nécessaire.

De nombreuses solutions différentes sont donc envisageables pour la fourniture énergétique du secteur du Grand Launay

Les potentiels existants en matière d'énergies renouvelables et classés selon leur pertinence économique à long terme et selon notre approche sont principalement :

1. Installation de production d'électricité photovoltaïque,
2. L'aérothermie électrique,
3. L'aérothermie gaz pour les logements collectifs,
4. La chaufferie bois collective pour les logements collectifs,*
5. La géothermie très basse énergie
6. La mise en place de poêles à granulés pour les logements individuels,
7. Le Solaire thermique (Préparation d'ECS solaire uniquement),
8. Eventuellement le petit éolien.

On précise également que d'un point de vue environnemental, les solutions bois et à compression électrique (géothermie / aérothermie) présentent les meilleurs bilans d'émissions de CO₂.

On précisera que les avantages d'un point de vue environnemental des solutions ayant recours aux énergies renouvelables auront un impact non négligeable sur la conformité des projets à la réglementation thermique 2012.

A noter que ces solutions, même lorsqu'elles manifestent des intérêts certains, ne sont pas toujours compatibles entre elles d'un point de vue rentabilité.

* La pertinence technico-économique d'une chaufferie collective bois déchiqueté, pour les logements collectifs est à étudier plus en détail à travers une étude de faisabilité bois énergie (selon de cahier des charges de l'ADEME), subventionnée à hauteur de 70%, afin de pouvoir réellement se positionner sur l'intérêt de la solution. De plus, sa pertinence sera également tributaire de implantation des opérations de logements collectifs.