

***Etude sur le potentiel de développement des  
énergies renouvelables***

*article L. 128.4 du Code de l'urbanisme*

---

**Aménagement du secteur Pont / III Cheminées à  
Saint-Malo**

Avancement : Permis d'aménager

---

**Maitrise d'ouvrage : Commune de Saint-Malo (35)**

**Etude d'Impact : Prigent & Associés (35)**

---

**Novembre 2014**

Version 3

<b><i>Date</i></b>	<b><i>Version</i></b>	<b><i>Rédaction</i></b>	<b><i>Validation</i></b>
04/08/2014	1.0	F. Perrier	M. Douté
17/10/2014	2.0 MAJ hypothèses de répartition et plan	F. Perrier	M. Douté
05/11/2014	3.0 Corrections	F. Perrier	

## SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>3</b>
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS</b> .....	<b>5</b>
<b>LEXIQUE</b> .....	<b>7</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>7</b>
<b>I. ELEMENTS DE CONTEXTE</b> .....	<b>8</b>
I.1. PROCESSUS DE LUTTE CONTRE LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE.....	8
I.2. EVOLUTION DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE EN FRANCE.....	9
I.3. CONTEXTE ENERGETIQUE BRETON .....	10
I.4. LE CONTEXTE TERRITORIAL ET COMMUNAL .....	12
<b>II. PRESENTATION DU PROJET D'AMENAGEMENT</b> .....	<b>14</b>
II.1. POSITIONNEMENT GEOGRAPHIQUE DE SAINT-MALO.....	14
II.2. RELIEF DE LA COMMUNE.....	14
II.3. PERIMETRE D'ETUDE.....	15
II.4. TOPOGRAPHIE.....	16
II.5. VEGETATION .....	16
II.6. SCHEMA D'AMENAGEMENT ETUDIE.....	17
II.7. PROGRAMMATION .....	17
<b>III. SOURCES D'ENERGIE DISPONIBLES OU MOBILISABLES SUR LE SITE</b> .....	<b>18</b>
<b>IV. ETUDE DU POTENTIEL DE LA ZONE D'ETUDE VIS-A-VIS DES ENERGIES RENOUVELABLES</b> .....	<b>21</b>
IV.1. L'ENERGIE EOLIENNE.....	21
IV.2. L'ENERGIE SOLAIRE .....	23
IV.3. L'ENERGIE GEOTHERMIQUE .....	26
IV.4. LA RECUPERATION D'ENERGIE SUR LES EAUX USEES .....	29
IV.5. LE BIOGAZ.....	32
IV.6. L'ENERGIE HYDRAULIQUE .....	34
IV.7. L'ENERGIE BOIS.....	37
IV.8. SYNTHESE DU POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES SUR LA ZONE.....	40
IV.9. SYNTHESE SUR L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES ENERGIES MOBILISABLES.....	41
<b>V. ETUDE DE L'IMPACT DE LA MOBILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES</b> .....	<b>42</b>
V.1. PHASE 1 : EVALUATION DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE DU FUTUR QUARTIER.....	43
V.2. PHASE 2 : APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE DU QUARTIER .....	49
V.3. PHASE 3 : ETUDE D'OPPORTUNITE DE CREATION D'UN RESEAU DE CHALEUR ALIMENTE PAR LES ENR .....	65
<b>VI. PROSPECTIVE : PISTES DE MESURES COMPENSATOIRES</b> .....	<b>69</b>
VI.1. PRINCIPE DE LA COMPENSATION CARBONE .....	69
VI.2. PROPOSITION DE MESURES COMPENSATOIRES A L'ECHELLE DU PROJET .....	70
<b>VII. 1<sup>ERE</sup> APPROCHE SUR L'ECLAIRAGE PUBLIC ET LES TRANSPORTS</b> .....	<b>75</b>
<b>VIII. SYNTHESE DES AVANTAGES ET CONTRAINTES DES ENERGIES RENOUVELABLES ETUDIEES</b> .....	<b>81</b>
<b>IX. PROPOSITIONS D' ACTIONS SPECIFIQUES LIEES A L'ENERGIE</b> .....	<b>82</b>
<b>X. PRESCRIPTIONS REGLEMENTAIRES</b> .....	<b>85</b>
X.1. PRESCRIPTIONS TECHNIQUES LIEES A LA RT 2012.....	85
X.2. PRESCRIPTIONS RELATIVES A LA JUSTIFICATION DES PERFORMANCES .....	86
<b>XI. SYNTHESE</b> .....	<b>87</b>

---

<b>ANNEXES : FICHES TECHNIQUES SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES .....</b>	<b>89</b>
FICHE ENERGIE SOLAIRE GENERALITES .....	89
FICHE ENERGIE SOLAIRE THERMIQUE .....	94
FICHE ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE .....	96
FICHE POMPES A CHALEUR .....	97
FICHE ENERGIE EOLIENNE .....	98
FICHE GEOTHERMIE .....	101
FICHE ENERGIE MARINES RENOUVELABLES EN BRETAGNE .....	104
FICHE REGLEMENTATION POUR L'INSTALLATION D'UNE PETITE CENTRALE HYDROELECTRIQUE.....	107
FICHE BOIS ENERGIE : SOLUTIONS INDIVIDUELLES .....	108
FICHE BOIS ENERGIE : SOLUTIONS COLLECTIVES.....	109
FICHE RESEAUX DE CHALEUR .....	114
FICHE FOURNISSEURS D'ELECTRICITE VERTE .....	116
<b>ANNEXE 2 : REGLEMENTATION THERMIQUE 2012.....</b>	<b>117</b>
<b>ANNEXE 3 : COUT DE L'ENERGIE .....</b>	<b>119</b>
<b>ANNEXE 4 : FRAIS DE MAINTENANCE PRIX EN COMPTE.....</b>	<b>120</b>
<b>ANNEXE 5 : EMISSIONS DE CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>121</b>
<b>ANNEXE 6 : HYPOTHESES RELATIVES AUX EMISSIONS POLLUANTES.....</b>	<b>122</b>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: <i>Source Bilan Carbone de Saint Malo</i> .....	12
Figure 2 : Localisation de Saint-Malo ( <i>Via Michelin</i> ).....	14
Figure 3: Carte topographique de Saint-Malo et ses alentours ( <i>Source : cartes-topographiques.fr</i> ) .....	14
Figure 4 : Périmètre d'étude ( <i>Source : Prigent &amp; Associés</i> ) .....	15
Figure 5: Relief de la zone d'étude ( <i>Source : Agence Gwenaël Desnos</i> ) .....	16
Figure 6: Vue aérienne ( <i>Source Géoportail</i> ).....	16
Figure 7: Schéma d'aménagement du secteur d'étude ( <i>Source : BACHMANN architecte- Prigent &amp; Associés</i> ).....	17
Figure 8 : Hypothèses de typologies de logements considérées pour l'étude ( <i>Source : Prigent et Associés</i> ) .....	17
Figure 9: Rose des vents de Saint-Malo ( <i>source : windfinder.com</i> ) .....	21
Figure 10: Statistiques des vents à Saint-Malo ( <i>Source: windfinder.com</i> ) .....	21
Figure 11: Schéma régional éolien .....	21
Figure 12: Insolation annuelle de la Bretagne ( <i>Source Bretagne Environnement</i> ) .....	23
Figure 13 : Orientation optimale des façades principales : Sud +/- 20°.....	25
Figure 14: <i>Extrait carte des ressources géothermiques en France (source BRGM)</i> .....	26
Figure 15: Situation du Pôle multiculturel .....	27
Figure 16: Potentiel géothermique site du pôle multiculturel de Saint Malo .....	27
Figure 17: Avantages et inconvénients des différents systèmes de récupération d'énergie sur les eaux usées .....	30
Figure 18 : schéma de principe d'une filière locale de méthanisation (source Aile) .....	32
Figure 19: (Installation de valorisation du Biogaz en Bretagne et pays de la Loire ( <i>Source: Aile</i> ) .....	33
Figure 20: Potentiel de développement de l'hydroélectricité de la Bretagne ( <i>Source : Rapport Somival</i> ) .....	34
Figure 21: Cours d'eau autours du site d'étude( <i>Source : géoportail</i> ) .....	35
Figure 22: Estimation de la puissance produite par un groupe turbogénérateur ( <i>Source : MJ2 Technologies</i> ).....	35
Figure 23: Débit moyen ( <i>Source Diagnostic Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux Rance Frémur Baie de Beausseis</i> )..	36
Figure 24 : Carte des fournisseurs de bois déchiqueté en Bretagne ( <i>source AILE, 2013</i> ).....	37
Figure 25 : Gisements en consommation de bois énergie plaquette en Bretagne fin 2014 ( <i>source AILE</i> ) .....	38
Figure 26 : Schéma de principe de la méthodologie utilisée .....	42
Figure 27 : Répartition des consommations électriques pour un ménage moyen en 2010 ( <i>Source : negaWatt</i> ).....	44
Figure 28 : Hypothèses de consommations prévisionnelles en fonction de la performance énergétique .....	45
Figure 29: Comparaison des besoins énergétiques par usage en fonction de la performance et de la typologie .....	46
Figure 30 : Evaluation de la consommation d'énergie finale du quartier par scénario de performance énergétique.....	47
Figure 31: Evaluation de la consommation d'énergie finale du quartier par secteur .....	48
Figure 32 : Comparaison de la consommation d'énergie finale du projet par scénario d'approvisionnement énergétique (niveau RT 2012) .....	50
Figure 33: consommation d'énergie finale par scénario d'approvisionnement et par secteur .....	51
Figure 34: Comparaison des coûts d'investissement .....	52
Figure 35: Emissions de CO <sub>2</sub> du projet.....	61
Figure 36: Emissions de CO <sub>2</sub> par secteur – phasage énergétique.....	62
Figure 37 : Evaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critère environnementaux et économiques- logement collectif .....	64
Figure 38 : Evaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critère environnementaux et économiques- logement individuel .....	64

Figure 39: Analyse qualitative du critère de densité énergétique pour un exemple d'implantation .....	66
Figure 40: Projection des surfaces de capteurs photovoltaïques à installer pour une couverture de 50% des consommations d'électricité .....	70
Figure 41: Projection des surfaces de capteurs photovoltaïques à installer pour une couverture de 100% des consommations d'électricité .....	70
Figure 42: Ombrière photovoltaïque .....	71
Figure 43 : Comparaison des émissions de CO <sub>2</sub> par scénario (les pourcentages représentent l'écart avec la référence GAZ 0% de PV).....	72
Figure 44 : Calcul de la surface boisée nécessaire en mesure compensatoire .....	74
Figure 45 : Description des principaux polluants dus aux véhicules à moteur ( <i>source : <a href="http://www.encyclo-ecolo.com">www.encyclo-ecolo.com</a></i> ) .....	78
Figure 46 : Evaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critère environnementaux et économiques-logement collectif .....	87
Figure 47 : Evaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critère environnementaux et économiques-logement individuel .....	87
Figure 48: Synthèse des impacts estimés d'un point de vue énergétique et effet de serre.....	88
Figure 49: Protections solaires adaptées selon l'orientation ( <i>Source : La conception bioclimatique, Terre vivante</i> ).....	91
Figure 50: hauteur angulaire ( <i>source ENSTIB</i> ) .....	92
Figure 51: Paramètres à prendre en compte pour le calcul des marges de recul .....	92
Figure 52 : principe de fonctionnement d'un' installation solaire thermique .....	94
Figure 53 : exemple de membranes d'étanchéité installées sur un bâtiment industriel .....	96
Figure 54 : modules Photowatt.....	96
Figure 55 : principe de fonctionnement des pompes à chaleur ( <i>source <a href="http://www.airclim-concept.com">www.airclim-concept.com</a></i> ) .....	97
Figure 56: Source Schéma éolien terrestre en Bretagne .....	98
Figure 57: Source Synagri.....	98
Figure 58: Schéma de principe d'une installation éolienne ( <i>Source: Fiche pratique DDTM35</i> ).....	99
Figure 59: Exigences et références règlementaires relatives à l'éolien ( <i>Source : <a href="http://www.developpement-durable.gouv.fr">www.developpement-durable.gouv.fr</a></i> ) .....	100
Figure 60© ADEME - BRGM .....	101
Figure 61 : © ADEME - BRGM .....	101
Figure 62 : © ADEME - BRGM .....	101
<b>Figure 63 : Synthèse des techniques de géothermie © ADEME - BRGM.....</b>	<b>102</b>
Figure 64: Panorama des technologies d'exploitation des EMR ( <i><a href="http://energies-marines.bretagne.fr/">http://energies-marines.bretagne.fr/</a></i> ) .....	105
Figure 65: Carte des EMR en Bretagne ( <i>Bretagne développement Innovation</i> ) .....	106
Figure 66 : Avantages des réseaux de chaleur .....	115
Figure 67 : Modulations applicables au Cepmax en fonction du contenu CO <sub>2</sub> du réseau.....	115
Figure 68 : Impact de la modulation du Cepmax pour un bâtiment raccordé à un réseau de chaleur.....	115
Figure 69 : Hypothèses de tarifs considérées .....	119
Figure 70: Coût de maintenance pour chaque scénario – solutions individuelles.....	120
Figure 71: Coût de maintenance pour chaque scénario – solutions collectives .....	120
Figure 72: Extrait de l'annexe 4 de l'arrêté du 15 Septembre 2006 relatif au DPE.....	121
Figure 73: Extrait de la note de cadrage sur le contenu en CO <sub>2</sub> du kWh électrique par usage en France ( <i>Source : Ademe 2005</i> )	121
Figure 74 : Récapitulatif des normes EUROS pour les véhicules Diesels .....	122
Figure 75 : Récapitulatif des normes EUROS pour les véhicules Essence .....	122
Figure 76: Extrait du Rapport chiffres clés 2011 ORTB .....	122

## LEXIQUE

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie

CET : Chauffe-eau Thermodynamique

Cep : Coefficient d'énergie primaire

COP : Coefficient de Performance

ECS : Eau Chaude Sanitaire

GES : Gaz à effet de serre

RT : réglementation Thermique

Teq Co<sub>2</sub> : Tonne équivalent CO<sub>2</sub>

## INTRODUCTION

La commune de Saint-Malo a engagé les études d'aménagement sur le secteur de la frange sud de Rotheneuf. Le secteur considéré couvre environ 18 ha.

La première loi issue du Grenelle de l'Environnement adoptée par l'Assemblée nationale le 29 juillet 2009 définit 13 domaines d'action visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Parmi ces domaines d'action, le recours aux énergies renouvelables est particulièrement mis en avant. L'article 8 de la Loi Grenelle 1 modifie notamment l'**article L128-4 du Code de l'Urbanisme** en précisant que :

*« TOUTE ACTION OU OPERATION D'AMENAGEMENT TELLE QUE DEFINIE A L'ARTICLE L. 300-1 ET FAISANT L'OBJET D'UNE ETUDE D'IMPACT DOIT FAIRE L'OBJET D'UNE ETUDE DE FAISABILITE SUR LE POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT EN ENERGIES RENOUVELABLES DE LA ZONE, EN PARTICULIER SUR L'OPPORTUNITE DE LA CREATION OU DU RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR OU DE FROID AYANT RECOURS AUX ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION. »*

Cette étude vise à dresser un état des lieux des énergies renouvelables qui pourraient être utilisées sur le projet et à définir notamment les possibilités d'implantation de systèmes centralisés permettant de fournir l'énergie nécessaire aux bâtiments à travers des réseaux de chaleur par exemple.

**Elle vise également à définir la part relative à l'énergie dans l'impact environnemental global du projet.**

L'évolution culturelle et réglementaire actuelle impose en effet la réalisation de bâtiments de plus en plus performants (approche bioclimatique, meilleure isolation, utilisation d'équipements performants et d'énergies renouvelables) afin de limiter globalement l'impact du secteur du bâtiment sur l'appauvrissement des ressources fossiles et sur le dérèglement climatique.

Après avoir rappelé le contexte géopolitique et réglementaire, nous passerons en revue les types d'énergies renouvelables dont l'utilisation peut être envisagée sur les secteurs d'aménagement : **nous étudierons différents scénarios permettant de mettre en évidence les conséquences des choix énergétiques sur l'impact environnemental du projet d'aménagement.**

Nous proposerons enfin des **pistes de mesures compensatoires** permettant de contrebalancer l'impact environnemental lié au volet énergétique : **ces pistes ont vocation à faire avancer la réflexion et ne doivent pas être considérées comme des prescriptions.**

Des rappels techniques sur les énergies renouvelables étudiées sont fournis en annexe.

## I. ELEMENTS DE CONTEXTE

Les démarches visant à encourager le développement des énergies renouvelables répondent à deux objectifs principaux à l'échelle mondiale :

- lutter contre le réchauffement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre issues de ressources non renouvelables ;
- tendre vers une autonomie énergétique qui se passerait des énergies fossiles.

Imposer une étude de « potentiel de développement des énergies renouvelables » pour toute opération d'aménagement faisant l'objet d'une étude d'impact prend place dans ces processus globaux : c'est une petite pierre qui, projet par projet, et couplée à d'autres évolutions des réglementations, devrait permettre d'améliorer l'introduction des énergies renouvelables à l'échelle des territoires.

Nous tentons ici de rappeler quelques processus qui permettent de prendre de la hauteur et de comprendre dans quel contexte géopolitique cette nouvelle réflexion s'inscrit.

### I.1. PROCESSUS DE LUTTE CONTRE LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

#### I.1.1. PROCESSUS INTERNATIONAL

Le **Protocole de Kyoto**, ratifié en 1997 est en vigueur depuis 2005. Il arrive à échéance en 2012. Il avait pour objectif de stabiliser les émissions de CO<sub>2</sub> au niveau de celles de 1990 à l'horizon 2010.

En **décembre 2009** s'est tenue la **Conférence internationale de Copenhague** : 15<sup>ème</sup> conférence annuelle des représentants des pays ayant ratifié la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique et 5<sup>ème</sup> rencontre des États parties au protocole de Kyoto, elle devait être l'occasion de renégocier un accord international sur le climat prenant la suite du protocole de Kyoto. Elle a été considérée comme un échec partiel par beaucoup, car, bien qu'ayant abouti à une déclaration politique commune, elle n'a pas défini de cadre contraignant.

En **décembre 2010**, la **Conférence de Cancun** a permis quelques avancées.

En **2015**, la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques se tiendra à **Paris**. Cette conférence devra marquer une **étape décisive** dans la négociation du futur accord international qui entrera en vigueur en 2020, en adoptant ses grandes lignes. L'objectif est que tous les pays, dont les plus grands émetteurs de gaz à effet de serre - pays développés comme pays en développement - soient engagés par un accord universel contraignant sur le climat.

#### I.1.1. PROCESSUS EUROPEEN ET NATIONAL

Dans le cadre des accords de Kyoto, la communauté européenne a fixé l'objectif communautaire: "**3 X 20 en 2020**" :

- réduction de 20 % des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2020 par rapport à 1990 ;
- 20 % d'énergies renouvelables en Union Européenne en 2020 ;
- baisse de 20 % de la consommation d'énergie par rapport aux projections pour 2020.

Parallèlement, la **France s'est engagée à tenir le Facteur 4 : diviser par 4 ses émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050.**

De plus, le Grenelle de l'Environnement a accéléré l'évolution des réglementations au niveau français, notamment celle de la réglementation thermique des bâtiments neufs et existants.

Le projet de loi sur la transition énergétique était examiné par l'assemblée en Septembre 2014, et sera débattu en séances plénières.



### I.1.2. PROCESSUS LOCAUX

Des processus locaux sont également à l'œuvre. De plus en plus de territoires engagent des Plans Climat Energie Territoriaux (PCET).

Le Schéma Régional Climat Air Energie Breton a été arrêté par le Préfet de région le 4 novembre 2013, après approbation par le Conseil régional lors de sa session des 17 et 18 octobre 2013. Le SRCAE définit aux horizons 2020 et 2050 les grandes orientations et les objectifs régionaux pour maîtriser la demande en énergie, réduire les émissions de gaz à effet de serre, améliorer la qualité de l'air, développer les énergies renouvelables et s'adapter au changement climatique.

Plus d'informations : [http://www.plan-eco-energie-bretagne.fr/jcms/c\\_7684/schema-regional-climat-air-energie](http://www.plan-eco-energie-bretagne.fr/jcms/c_7684/schema-regional-climat-air-energie)

Enfin, certaines collectivités territoriales s'engagent de manière plus prononcée, en signant notamment la **Convention des Maires**. Il s'agit d'un engagement à **dépasser les objectifs de l'Union Européenne d'ici 2020**, à savoir réduire de 20% les émissions de CO<sub>2</sub> sur leurs territoires, **par une meilleure efficacité énergétique et l'utilisation et la production d'une énergie moins polluante**.



### I.2. EVOLUTION DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE EN FRANCE

Le Grenelle de l'environnement a accéléré l'évolution des réglementations thermiques.

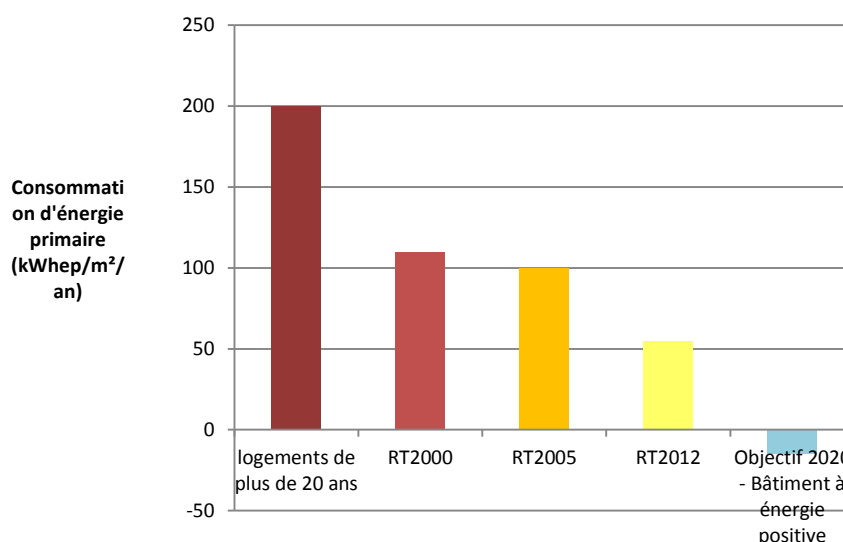
La RT 2005 fait donc place depuis le 1<sup>er</sup> Janvier 2013 à la RT 2012.



Le niveau de performance énergétique des futurs bâtiments et la place des énergies renouvelables dans une opération d'aménagement sont fortement impactés par cette évolution.

Le niveau de performance énergétique de référence de la RT 2012 correspond, pour simplifier, au niveau du label BBC de la RT 2005. L'objectif annoncé étant d'atteindre le niveau de performance de bâtiments passifs à horizon 2020. Cette évolution est rappelée sur le schéma ci-dessous :

Evolution des performances exigées par les réglementations thermiques (hors usages spécifiques)



Extraits du site officiel <http://www.plan-batiment.legrenelle-environnement.fr> :

**Ce qui ne change pas :**

- les exigences à respecter sont de deux types : des exigences de performances globales (consommation d'énergie et confort d'été) et des exigences minimales de moyens ;

- la RT 2012 s'articule toujours autour de cinq usages énergétiques : chauffage, climatisation, production d'eau chaude sanitaire, éclairage et auxiliaires (ventilation, pompes...).

**Ce qui change :**

- les **exigences de performance énergétique globales** sont uniquement exprimées en **valeur absolue** de consommation pour plus de clarté : **niveau moyen très performant exigé, à 50 kWh/m<sup>2</sup>/an** (et non plus en valeur relative par rapport à une consommation de référence recalculée en fonction du projet), modulé en fonction de l'altitude et de la zone climatique du projet notamment.

- l'introduction d'une **exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti** pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage artificiel. Cette exigence prendra en compte **l'isolation thermique** et permettra de **promouvoir la conception bioclimatique** d'un bâtiment ;

- la suppression des exigences minimales n'ayant plus lieu d'être dans le nouveau cadre technique fixé;

- l'introduction de **nouvelles exigences minimales** traduisant des volontés publiques fortes : **obligation de recours aux énergies renouvelables**, obligation de traitement des ponts thermiques (fuites de chaleur), obligation de traitement de la perméabilité à l'air des logements neufs, etc.

La notion de **label de performance énergétique est reconduite** : ces labels ont permis de proposer des « paliers » de performance énergétique dans la RT 2005, afin d'encourager les maîtres d'ouvrage à améliorer leur projet, le dernier palier étant le label BBC. L'objectif de la RT 2012 étant de conduire le milieu du bâtiment à atteindre le bâtiment à énergie positive en 2020, les nouveaux « paliers » sont en cours de définition.

La **justification des performances énergétiques est également introduite dans la RT 2012** sous la forme d'attestations, définies par le décret 2011-544 du 18/05/2011 :

- attestation par le maître d'ouvrage au **dépôt de la demande de permis de construire** de la réalisation de l'étude de faisabilité d'approvisionnement en énergies et de la prise en compte de la réglementation thermique ;

- attestation par le maître d'ouvrage à **l'achèvement des travaux que le maître d'œuvre a pris en compte la réglementation thermique**. L'attestation est réalisée par un contrôleur technique, un diagnostiqueur, un organisme certificateur ou un architecte.

De plus, le décret 2013-979 du 30 octobre 2013 rend obligatoire la réalisation d'une étude d'approvisionnement en énergie pour tous les bâtiments dont la SHON est supérieure à 50m<sup>2</sup>.

### I.3. CONTEXTE ENERGETIQUE BRETON

La Bretagne connaît une situation particulière relative à l'énergie :

- Une situation péninsulaire :

La situation géographique de la Bretagne, excentrée, engendre **une fragilité de l'alimentation électrique lors des pics de consommation**. L'augmentation forte des pointes de consommation, en période hivernale (+ 14% depuis 2003), fragilise d'autant plus la région. Cette situation place désormais la Bretagne devant un risque généralisé de BLACK OUT.

- Une faible production électrique : 8% de sa consommation
- Une forte croissance démographique et un dynamisme économique qui augmente les besoins en proportion plus importante, malgré une situation actuellement moins énergivore que le reste du territoire français.

La région rencontre donc des difficultés récurrentes et de plus en plus importantes pour répondre aux besoins en électricité des territoires. Elle est par ailleurs très dépendante des territoires limitrophes producteurs d'électricité (Régions Basse-Normandie et Pays de la Loire notamment).

Plusieurs dispositifs politiques visent à réduire cette dépendance électrique et énergétique de la région.

### I.3.1. LE PLAN ECO ENERGIE POUR LA BRETAGNE

Ce programme d'actions conjointes mis en œuvre par l'Etat, l'Ademe et la Région Bretagne s'articule autour de trois missions majeures :

- **Maîtriser la consommation d'énergie et développer les énergies renouvelables dans la perspective de la mise en œuvre d'un plan climat régional,**
- Créer une dynamique d'éco-responsabilité au niveau de la production et de la consommation d'énergie,
- Améliorer les connaissances et en favoriser la communication, l'information et la diffusion.

Fédérées autour du slogan et du sigle « **Rassemblons nos énergies ! Plan Eco-Energie Bretagne** », les trois institutions ont fixé des axes d'actions prioritaires :

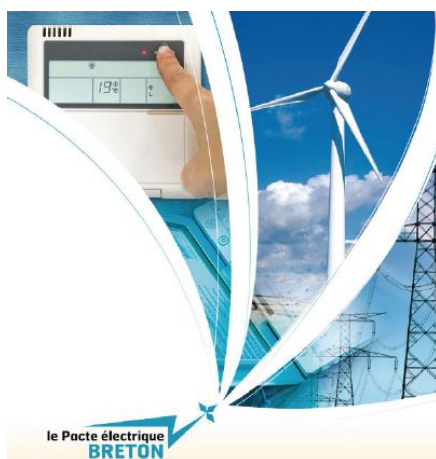
- Le soutien aux collectivités locales, aux entreprises, aux acteurs économiques, aux associations à travers des appels à projets, des aides à la décision, l'élaboration d'outils méthodologiques, un accompagnement des opérations exemplaires.
- La **sensibilisation du grand public aux modes de consommation et aux comportements responsables en matière d'énergie**, en particulier par le développement du réseau breton des espaces Info-énergie.
- La création de l'Observatoire de l'énergie et des gaz à effets de serre.



Plus d'informations : <http://www.plan-eco-energie-bretagne.fr>

### I.3.2. LE PACTE ELECTRIQUE BRETON

Co-signé le 14 décembre 2010 par l'État, la Région Bretagne, l'ADEME, RTE et l'ANAH (Agence nationale de l'habitat), le Pacte électrique breton a pour objectif de sécuriser l'avenir électrique de la Bretagne. Ce pacte propose des réponses autour des 3 grands axes suivants :



- **La maîtrise de la demande en électricité**

L'objectif est de **diviser par 3 la progression de la demande en électricité d'ici 2020** en poursuivant la sensibilisation du grand public, soutenant l'animation des politiques énergétiques sur les territoires, en renforçant les dispositifs de rénovation thermique des logements, etc.

- **Le déploiement massif de toutes les énergies renouvelables**

L'objectif est de **multiplier par 4 la puissance électrique renouvelable installée d'ici 2020**, soit 3 600 MW.

- **La sécurisation de l'approvisionnement**

Grâce à un **réseau de transport de l'électricité renforcé**, à l'implantation d'une **unité de production électrique à l'ouest de la Bretagne**, et à **l'intensification de l'expérimentation des réseaux électriques intelligents** et du stockage de l'énergie.

Plus d'informations : [http://www.plan-eco-energie-bretagne.fr/jcms/c\\_7683/pacte-electrique-breton](http://www.plan-eco-energie-bretagne.fr/jcms/c_7683/pacte-electrique-breton)

**L'ensemble de ces dispositifs montre le dynamisme de la région Bretagne pour réduire sa dépendance énergétique. Tous les nouveaux projets d'aménagement se doivent d'intégrer ces démarches spécifiques dans leurs modalités de mise en œuvre.**

## I.4. LE CONTEXTE TERRITORIAL ET COMMUNAL

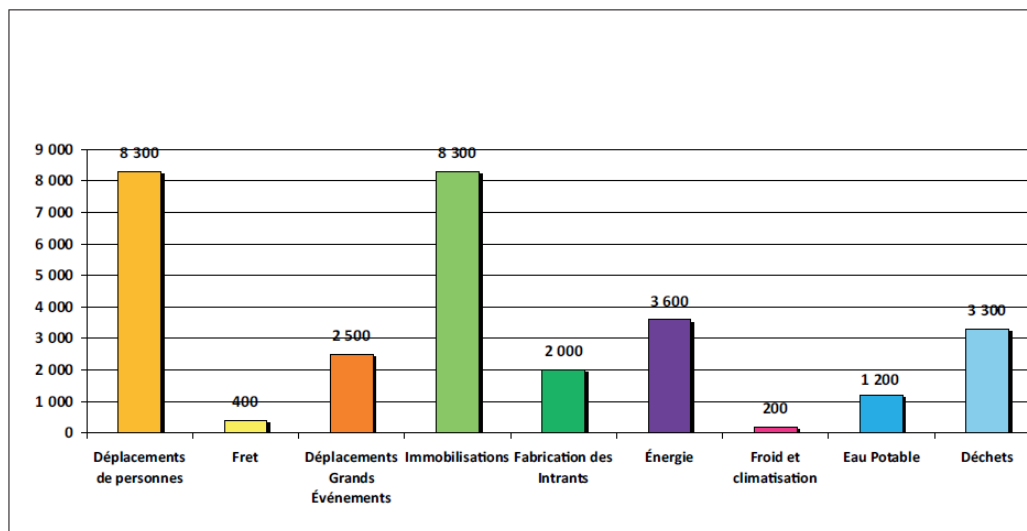
Dans le cadre de la mise en œuvre de son projet de territoire et de son **SCOT**, le Pays de Saint Malo a souhaité en 2011 soutenir la création, le soutien et le développement d'une **filière bois-énergie**.

La ville de Saint-Malo est engagée dans une politique de maîtrise de la consommation d'énergie et de lutte contre le réchauffement climatique. En Septembre 2009, des études ont démarré pour réaliser le **Bilan Carbone®** de la ville.

Le document final est téléchargeable sur le site de la ville au lien suivant :

[http://www.ville-saint-malo.fr/fileadmin/saintmalo/MEDIA/Environnement/Docs/bilan\\_carbone\\_saint-malo\\_2011.pdf](http://www.ville-saint-malo.fr/fileadmin/saintmalo/MEDIA/Environnement/Docs/bilan_carbone_saint-malo_2011.pdf)

La figure suivante présente le Bilan Carbone par poste d'émission :



*Bilan Carbone par poste d'émissions (en Teq CO<sub>2</sub>)*

**Figure 1: Source Bilan Carbone de Saint Malo**

Le total des émissions de GES de la Ville de Saint-Malo produites au cours de l'année 2008 et compte tenu du périmètre retenu est évalué à 29 800 tonnes 1 équivalent CO<sub>2</sub> (Teq CO<sub>2</sub>). Avec 8 300 Teq CO<sub>2</sub> chacun, les postes « Immobilisations » et « Déplacements » représentent l'essentiel des émissions de la Ville.

A la suite du diagnostic des émissions de GES, un Plan de réduction des émissions de gaz à effet de serre a été décidé autour de 4 axes :

AXES DE TRAVAIL	THÉMATIQUES	BILAN CARBONE (en Teq CO <sub>2</sub> )	REDUCTION DES GES EN 2020	
			en Teq CO <sub>2</sub>	en %
Rendre plus sobre les déplacements des agents et visiteurs de la collectivité	Les déplacements des usagers dans les équipements municipaux (P. 18)	11 200	2 200	20
	Les déplacements des visiteurs lors des grands événements (P. 19)			
	Les déplacements professionnels (P. 20)			
	Les déplacements domicile-travail (P. 21)			
	Le transport de marchandises (P. 22)			
Intégrer le critère carbone dans la gestion du patrimoine municipal et la commande publique	Le patrimoine bâti (P. 24)	10 300	2 100	20
	Les parcs informatique et véhicule, le mobilier et les équipements de voirie (P. 25)			
	L'achat public éco-responsable et la consommation durable (P. 26)			
	Les repas dans les cantines (P. 27)			
Réduire la dépendance énergétique de la collectivité	Les consommations en chauffage (P. 29)	3 800	1 500	40
	Les consommations électriques (P. 30)			
Améliorer l'empreinte carbone liée à la gestion de l'eau potable et au traitement des déchets	Les consommations d'eau potable (P. 32)	4 500	400	10
	La production et le traitement des déchets (P. 33)			
TOTAL		29 800	6 200	20

Aujourd'hui, la ville a déjà mis en place de nombreuses actions :

- **Optimisation énergétique** de la piscine municipale du Naye
- Mise en place d'une **chaudière bois** à l'école Legatelois
- Réduction des dépenses énergétiques liées aux illuminations de Noël
- Affichage de **l'étiquette Énergie** pour les bâtiments communaux de plus de 1000 m<sup>2</sup>
- Aménagements cyclables / Plan vélo
- Actions de formation et de sensibilisation des agents municipaux aux principes du développement durable
- Ouverture en mai 2011 d'un **Espace Info Energie** (EIE)
- Adhésion à la démarche **EcoWatt**.
- Projet d'installation de **panneaux photovoltaïques** sur les toitures du centre sportif de Marville.
- Ajout de clauses environnementales dans certains marchés publics, notamment pour les fournitures d'entretien.
- Mise en place d'un système de covoiturage pour les agents de la commune, avec l'aide de l'association Covoiturage +.

## II. PRESENTATION DU PROJET D'AMENAGEMENT

### II.1. POSITIONNEMENT GEOGRAPHIQUE DE SAINT-MALO



Figure 2 : Localisation de Saint-Malo (Via Michelin)

Saint-Malo est située en bordure littorale au Nord du département d'Ille-et-Vilaine.

### II.2. RELIEF DE LA COMMUNE

La figure suivante présente le relief de la commune de Saint-Malo :

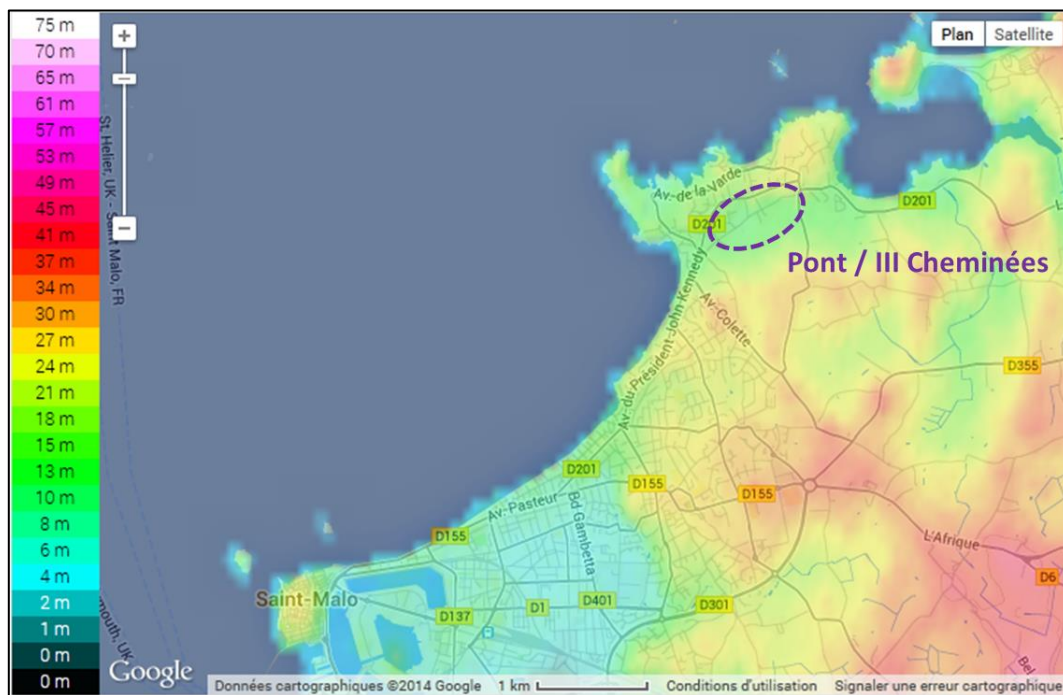


Figure 3: Carte topographique de Saint-Malo et ses alentours (Source : cartes-topographiques.fr)

La commune est marquée par un relief hétérogène : vallonné avec des zones au niveau de la mer et d'autres à environ 50m au-dessus du niveau de la mer



### II.3. PERIMETRE D'ETUDE

Le futur projet d'aménagement s'étalera sur environ 18 ha en extension urbaine au nord-est de Saint-Malo, sur le quartier de Rothéneuf

La figure suivante présente le périmètre d'étude :

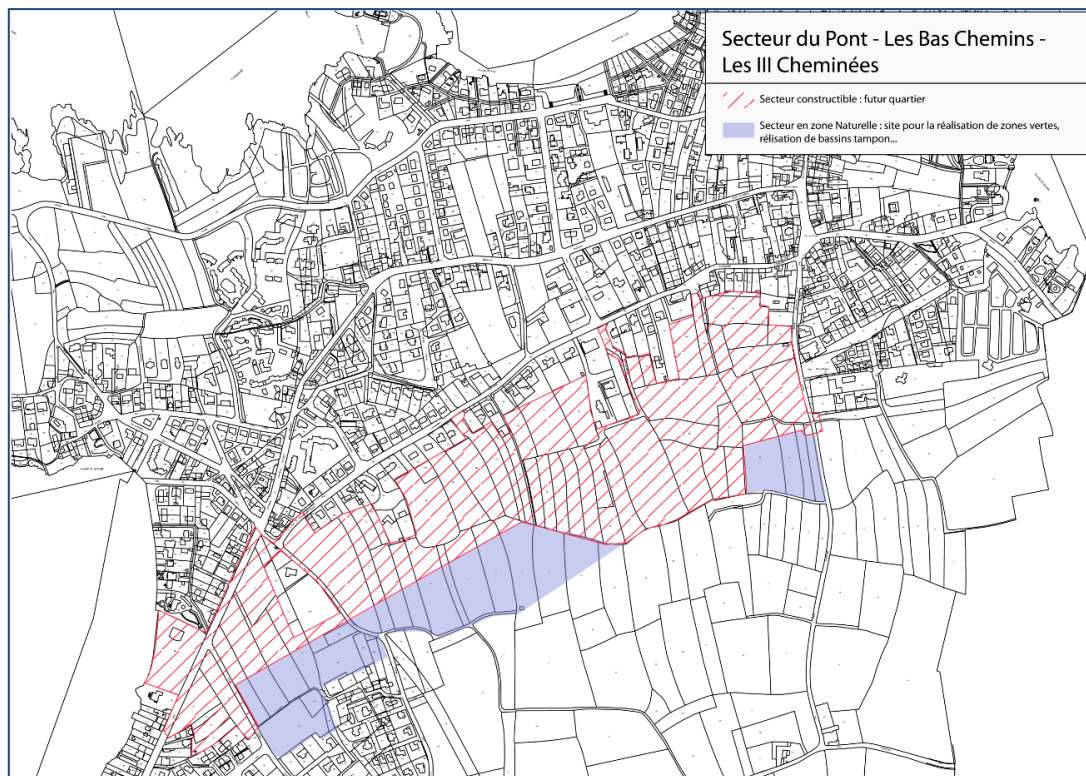


Figure 4 : Périmètre d'étude (Source : Prigent & Associés)

## II.4. TOPOGRAPHIE

La figure suivante la topographiques de la zone d'étude :

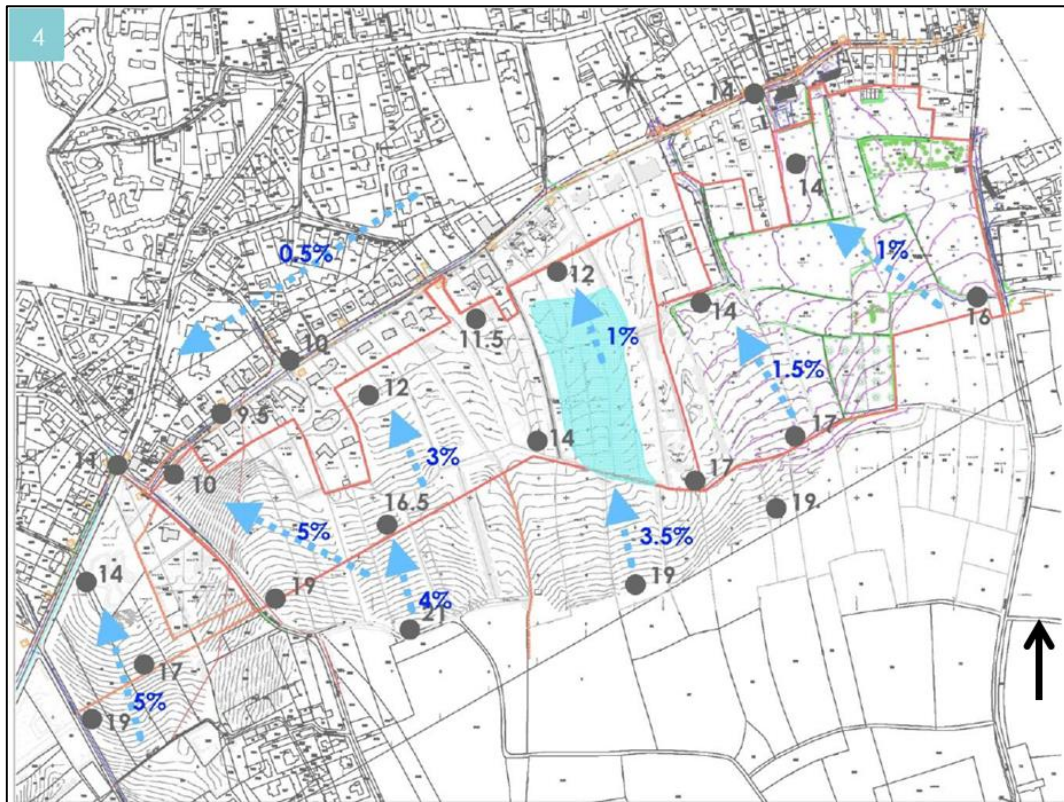


Figure 5: Relief de la zone d'étude (Source : Agence Gwenaël Desnos)

Le site présente un dénivelé vers le Nord, faible (entre 1 et 1,5 %) au Nord du secteur et moyen au sud (entre 3 et 5%).

## II.5. VEGETATION

Le schéma suivant présente une photo aérienne de la zone d'étude :



Figure 6: Vue aérienne (Source Géoportail:)

Le site est marqué par la présence de haies bocagères altérées et de bosquets.



## II.6. SCHEMA D'AMENAGEMENT ETUDIE

La figure ci-dessous présente le plan d'aménagement :



Figure 7: Schéma d'aménagement du secteur d'étude (Source : BACHMANN architecte-Prigent & Associés)

L'aménagement du quartier, permettra l'implantation de logements sous forme individuelle, collective et semi-collective (ou intermédiaire).

## II.7. PROGRAMMATION

Pour conduire cette étude, nous avons considéré les hypothèses de programmation présentées dans les tableaux ci-dessous :

Typologie des logements	superficie (ha)	Nombre de logements ou bâtiments			TOTAL 3 Secteurs	Ratio ZAC	SDP moyenne (m <sup>2</sup> )	SHON <sub>RT</sub> moyenne estimée (m <sup>2</sup> )	SHON <sub>RT</sub> totale (m <sup>2</sup> )
		Trois Cheminées	Bas Chemins	Pont					
<b>Quartier Pont / III Cheminées</b>									
Collectifs		270	175	155	600	75%	55	50	30 000
MIG-Intermédiaires		45	45	15	105	13%	70	63	6 615
Individuels- lots libres		56	22	16	94	12%	150	135	12 690
<b>Total</b>	<b>17,7</b>	<b>371</b>	<b>242</b>	<b>186</b>	<b>799</b>				<b>51 515</b>

Figure 8 : Hypothèses de typologies de logements considérées pour l'étude (Source : Prigent et Associés)

**NOTA :**

Dans la suite de l'étude nous utilisons des ratios de consommation énergétiques issus du calcul réglementaire RT 2012. La surface de référence est donc la SHON<sub>RT</sub>, elle correspond à peu près à la surface du volume chauffé. Il ne faut pas confondre la SHON<sub>RT</sub> et la surface de plancher (SDP). La SDP est la surface de référence officielle pour les documents d'urbanisme ; elle correspond à la somme des surfaces de planchers de chaque niveau clos et couvert d'un bâtiment, calculé à partir du nu intérieur des façades, après déduction de certains éléments s'il y a lieu. Pour les logements on peut considérer que la SHON<sub>RT</sub> correspond à environ 90% de la SDP.

### III. SOURCES D'ÉNERGIE DISPONIBLES OU MOBILISABLES SUR LE SITE

#### III.1.1. ENERGIES FOSSILES

Les choix énergétiques pourront intégrer les énergies suivantes :

##### ■ L'électricité :

L'électricité est en réalité un vecteur d'énergie. En France, elle est produite à partir de ressources fossiles principalement (uranium, gaz, charbon, fioul...), c'est pourquoi nous la classons dans les énergies fossiles. Néanmoins, en 2011, 11% de l'électricité produite en France était d'origine renouvelable (hydraulique, éolien, photovoltaïque...).

Cette énergie, difficilement stockable, a l'avantage d'être simple à utiliser et très polyvalente.

**En revanche, la Bretagne est éloignée des sources principales de production : elle ne produit en effet que 10% de son électricité (environ la moitié en hydraulique, un tiers à partir de centrales fioul et 20% en éolien). L'approvisionnement principal (environ les deux-tiers) provient des centrales nucléaires de Flamanville et Chinon, le dernier tiers de la centrale charbon/fioul de Cordemais. La Bretagne est donc une « péninsule électrique » où le risque de *black-out* est réel.**

L'impact de l'électricité sur l'environnement est principalement lié au mauvais rendement de production de l'électricité. En effet, uniquement un tiers de l'énergie qui entre dans la centrale ressortira sous forme d'électricité. Dans la majorité des cas, les deux tiers restant sont perdus.

Ce mauvais rendement conduit l'électricité à être une grande consommatrice de ressources fossiles et donc une mauvaise élève dans l'approche écologique de l'énergie.

**Il convient ainsi de réserver l'électricité aux usages spécifiques : éclairage, bureautique, électroménager etc...**

##### ■ Le gaz naturel :

Le gaz naturel est une énergie fossile comme le fioul. Sa combustion rejette cependant légèrement moins de CO<sub>2</sub> que le fioul à énergie produite équivalente. Le gaz naturel est acheminé par des canalisations terrestres, ou sous forme liquéfiée par voie maritime. Le raccordement du territoire en fait une énergie facile d'accès, moins chère que le fioul.

La commune est desservie par le gaz naturel. Une extension du réseau pourrait permettre d'alimenter le futur quartier.

**Dans la suite de l'étude, l'énergie fossile de référence pour évaluer l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables sera le gaz naturel.**

##### ■ Le fioul :

Le fioul a tendance à disparaître dans les installations neuves depuis maintenant plusieurs années. Initialement peu cher, il a connu ces dernières années des augmentations très importantes, directement indexées sur le cours du pétrole.

D'autre part, le fioul a un impact important sur le dérèglement climatique par ses rejets carbonés, et parfois soufrés. C'est également une source fossile qu'il serait nécessaire de préserver davantage pour des utilisations plus spécifiques (plastiques, textiles, etc...)

##### ■ Le gaz propane en bouteille ou en citerne :

Le gaz en bouteille (propane) ou en citerne peut également être utilisé lorsque le gaz naturel n'est pas disponible. Ce gaz est directement issu du pétrole et son utilisation constitue également un appauvrissement des ressources. Il est plus polluant que le gaz naturel mais moins que le fioul.

Dans le cas où les citernes ne sont pas enterrées, l'impact visuel des citernes de propane peut être particulièrement fort.

### III.1.2. ENERGIES RENOUVELABLES

**Les énergies renouvelables représentent les sources énergétiques qui peuvent être utilisées sans que leurs réserves ne s'épuisent. En d'autres termes, les énergies renouvelables doivent globalement avoir une vitesse de régénération supérieure à la vitesse d'utilisation.**

Cette définition permet de classer dans cette catégorie de nombreux types d'énergie :

#### ■ L'énergie solaire :

- **L'énergie solaire passive :** Le solaire passif est la moins chère et l'une des plus efficaces. Elle entre directement dans ce que l'on appelle communément l'approche bioclimatique : l'idée simple est d'orienter et d'ouvrir au maximum les façades principales du bâtiment au sud. Il convient cependant d'intégrer des protections solaires (casquettes solaires, volets) pour limiter les apports en mi-saison et en été afin d'éviter les surchauffes. Cette énergie est directement liée au plan masse du quartier à l'organisation des bâtiments sur chaque parcelle.
- **L'énergie solaire active :** L'énergie solaire dite « active » se décline sous la forme thermique (production d'eau chaude, chauffage) et photovoltaïque (production d'électricité). Ces deux types d'énergie pourront être utilisés sur le projet.

Le solaire thermique est considérée comme une énergie renouvelable car la durée de vie du soleil dépasse de très loin nos prévisions les plus ambitieuses... Elle peut à ce titre être considérée comme infiniment disponible.

Pour ses qualités environnementales (énergie renouvelable à très faible impact) et durable (simplicité des équipements), l'énergie solaire pourra être intégrée fortement sur le projet.

#### ■ La biomasse (production de chaleur et d'électricité) :

La biomasse représente l'énergie issue d'organismes vivants. En général, lorsque l'on parle de biomasse en énergie, on parle de bois (bûches, granulés, plaquettes) ou de biogaz issu de la digestion anaérobie de composés biologiques (boues de station d'épuration, déchets verts, lisiers, etc.).

Il est également utile de rappeler que l'énergie issue de la biomasse est en fait une énergie solaire indirecte (le soleil permet de faire croître les plantes via la photosynthèse, plantes qui nourrissent les animaux, etc.).

Le bois énergie est l'une des sources énergétiques les plus intéressantes actuellement :

- **renouvelable :** le bois est une source renouvelable puisqu'il peut être planté en quantité et disponible pour la production énergétique dans un délai cohérent par rapport à notre échelle de temps (quelques années à quelques dizaines d'années) ;
- **neutre pour l'effet de serre : dans le cadre d'une gestion raisonnée (on ne coupe pas plus d'arbres qu'on en replante), sa combustion aura un impact neutre sur l'effet de serre puisque le CO<sub>2</sub> dégagé par sa combustion sera remobilisé par la biomasse en croissance grâce à la photosynthèse ;**
- **bon marché :** en fonction des solutions retenues (bûches, granulés, bois déchiqueté), le prix du bois énergie reste intéressant en comparaison avec les autres types d'énergie ;
- **performant :** les équipements actuels (poêles, chaudières) affichent des performances tout à fait intéressantes, et sont de plus en plus automatisés.

Quelques difficultés peuvent cependant être mises en avant :

- **Manutention et modes de vie :** il convient de choisir la technique la plus adaptée en fonction du futur utilisateur. En effet, la solution bois bûche ne sera pas toujours adaptée à des populations vieillissantes par exemple. Le poêle à bûches sera également plus difficile à réguler ou à automatiser par rapport à un poêle à granulés ou à une chaudière bois.
- **Le traitement des fumées :** il est nécessaire de mettre en œuvre des poêles ou des chaudières performants pour l'ensemble des petites installations afin de favoriser une bonne combustion et ainsi des rejets moins chargés. Les installations plus importantes devront disposer d'équipements spécifiques pour traiter les fumées.

**D'une manière générale, nous sommes favorables à l'utilisation forte du bois énergie sur le quartier, que ce soit pour les lots individuels ou les logements collectifs ou semi-collectifs. Il conviendra cependant de valider la filière de livraison pour s'assurer de la disponibilité du bois sur le moyen terme.**

■ **L'énergie éolienne (production d'électricité) :**

L'énergie éolienne est également une énergie liée indirectement au soleil. En effet, le mouvement des vents et donc l'énergie contenue dans les vents et récupérée par les éoliennes provient directement des différences de températures des zones de l'atmosphère et donc du soleil. Tant que la terre disposera d'une atmosphère et que le soleil l'éclairera, l'énergie éolienne pourra être utilisée, ce qui laisse encore un peu de temps à l'échelle de nos prévisions.

■ **L'énergie hydraulique (production d'électricité) :**

L'énergie hydraulique a également pour origine le soleil, elle est en effet issue du cycle de l'eau (évaporation, précipitation). L'énergie hydraulique marémotrice n'est pas uniquement liée au soleil, les mouvements sont issus en partie de la force gravitationnelle de la lune.

■ **La géothermie (production de chaleur et d'électricité) :**

L'énergie issue de la chaleur originelle de la terre peut également être considérée comme de l'énergie renouvelable car la quantité d'énergie stockée dépasse également de loin toutes nos échelles de temps humaines. Elle peut cependant être récupérée lorsque des failles particulières lui permettent de remonter proche de la surface. Certaines régions françaises sont concernées (le bassin parisien ou l'Est de la France par exemple) mais la Bretagne n'est pas dans ce cas de figure.

En revanche, l'énergie solaire stockée en partie superficielle du sous-sol et les nappes peu profondes peut être captée pour la production de chauffage.

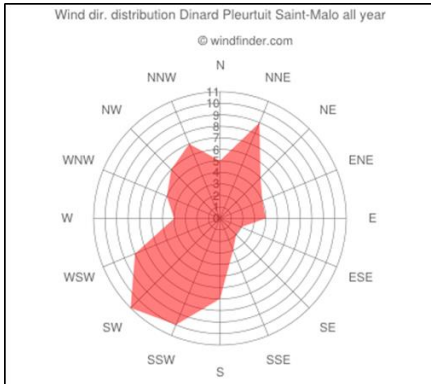
## IV. ETUDE DU POTENTIEL DE LA ZONE D'ETUDE VIS-A-VIS DES ENERGIES RENOUVELABLES

### IV.1. L'ENERGIE EOLIENNE

#### IV.1.1. GISEMENT

##### A. SITUATION DE LA COMMUNE

Les figures suivantes montrent la répartition annuelle des directions et les caractéristiques mensuelles du vent sur Saint-Malo :



Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	An
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Direction du Vent dominant	↙	↙	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Probabilité du vent >= 4 Beaufort (%)	42	44	39	38	36	29	32	30	29	36	40	38	36
Vitesse du vent (kts)	11	11	10	10	10	9	10	9	9	10	10	10	9
Température de l'air moyenne (°C)	5	6	10	12	15	18	19	20	18	15	11	6	13

Figure 9: Rose des vents de Saint-Malo (source : windfinder.com)

Figure 10: Statistiques des vents à Saint-Malo (Source: windfinder.com)

Ainsi au cours d'une année les vents sont majoritairement orientés Sud-Ouest.

La moyenne annuelle de la vitesse de vent est de 9 nœuds soit 18 km/h.

##### B. GRAND EOLIEN

La figure suivant présente le schéma régional éolien :

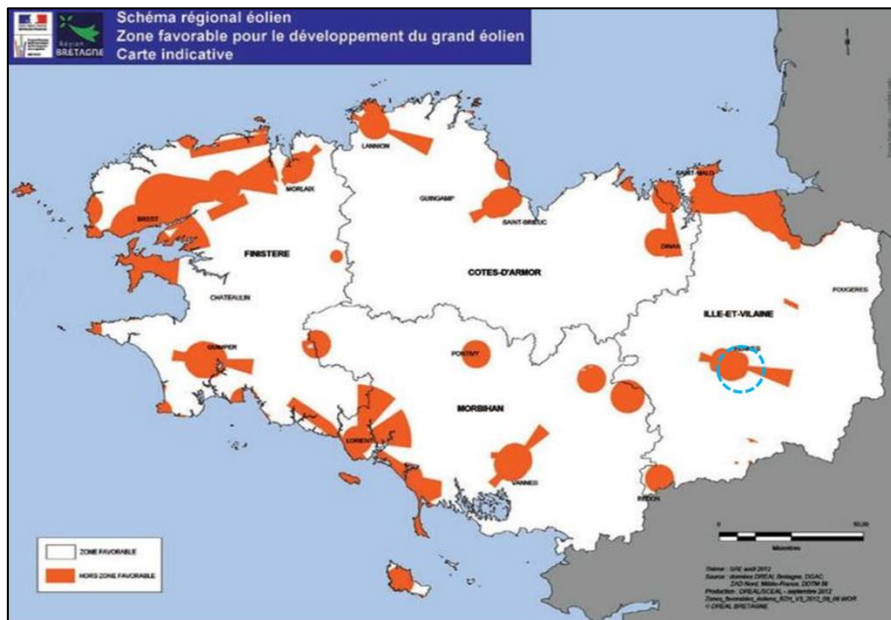


Figure 11: Schéma régional éolien

La commune est hors zone favorable pour le développement du grand éolien.

De plus, l'obligation réglementaire d'éloignement de plus de 500 m des zones d'habitation des éoliennes de plus de 50 mètres de haut et les restrictions dues au plafond aérien militaire réduisent à néant le potentiel de développement du grand éolien sur le site.

### C. PETIT EOLIEN

**La détermination du potentiel éolien de la zone demande une étude fine du vent, dont le résultat est intrinsèquement lié aux constructions alentours. Il ne sera pertinent de réaliser une telle étude que lorsque le quartier sera entièrement bâti.**

Si un emplacement devait être prédéfini il devrait plutôt se situer sur un point haut.

Le relief ne présente pas d'obstacle majeur au vent (Cf. Figure 5 p. 16), à la différence de la végétation et des futurs bâtiments (Cf. Figure 6 p.16. et Figure 7 p.17).

#### Ordre de grandeur :

La mise en place d'une petite éolienne permet de produire environ 5 600 kWh/an, pour un coût d'investissement de l'ordre de 15 000€ (hors Génie civil).

Les mâts doivent être espacés d'environ H+10 m, soit pour une éolienne de 12m : 22m.

En supposant que 50% du site est non construite, Il serait possible de mettre une centaine de petites éoliennes sur la superficie totale du site

Ce qui représenterait une production annuelle de **560 MWh**.

#### IV.1.2. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES SUR L'EOLIEN

**Le grand éolien n'est pas envisageable à moins de 500 m des habitations, il ne peut donc être envisagé sur la zone.**

Le potentiel de développement du petit et moyen éolien sur la zone est lié :

- Physiquement à l'implantation des bâtiments qui influenceront les trajectoires de vent. Une étude spécifique pourrait être réalisée en fin d'opération pour mettre en évidence un éventuel intérêt
- Economiquement à l'absence d'obligation de rachat de l'électricité produite
- Techniquement à l'efficacité des technologies : le petit éolien n'est aujourd'hui pas à maturité technique pour assurer une productivité suffisante au vu de l'investissement qu'il nécessite

L'impact paysager de ce type de solution en milieu urbanisé n'est pas abordé dans cette étude.

**L'installation de petit et moyen éolien est possible et pourrait faire l'objet d'études spécifiques** si les opérateurs souhaitent privilégier cette source d'énergie.

Les particuliers souhaitant installer des petites éoliennes de moins de 12m pourront le faire sans demander de permis de construire (obligatoire à plus de 12m de hauteur). Une déclaration préalable de travaux pourrait néanmoins être exigée dans le Cahier des Prescriptions ou le Règlement du permis d'aménager.

La mise en place de petites éolienne en toiture permettrait de produire environ <b>560 MWh/an</b> , soit :
--



## IV.2. L'ÉNERGIE SOLAIRE

## IV.2.1. SITUATION DE LA COMMUNE ET DU TERRAIN VIS-A-VIS DE L'EXPOSITION AUX RAYONS DU SOLEIL

## D. SITUATION DE LA COMMUNE

La carte suivante présente l'insolation annuelle en Bretagne :

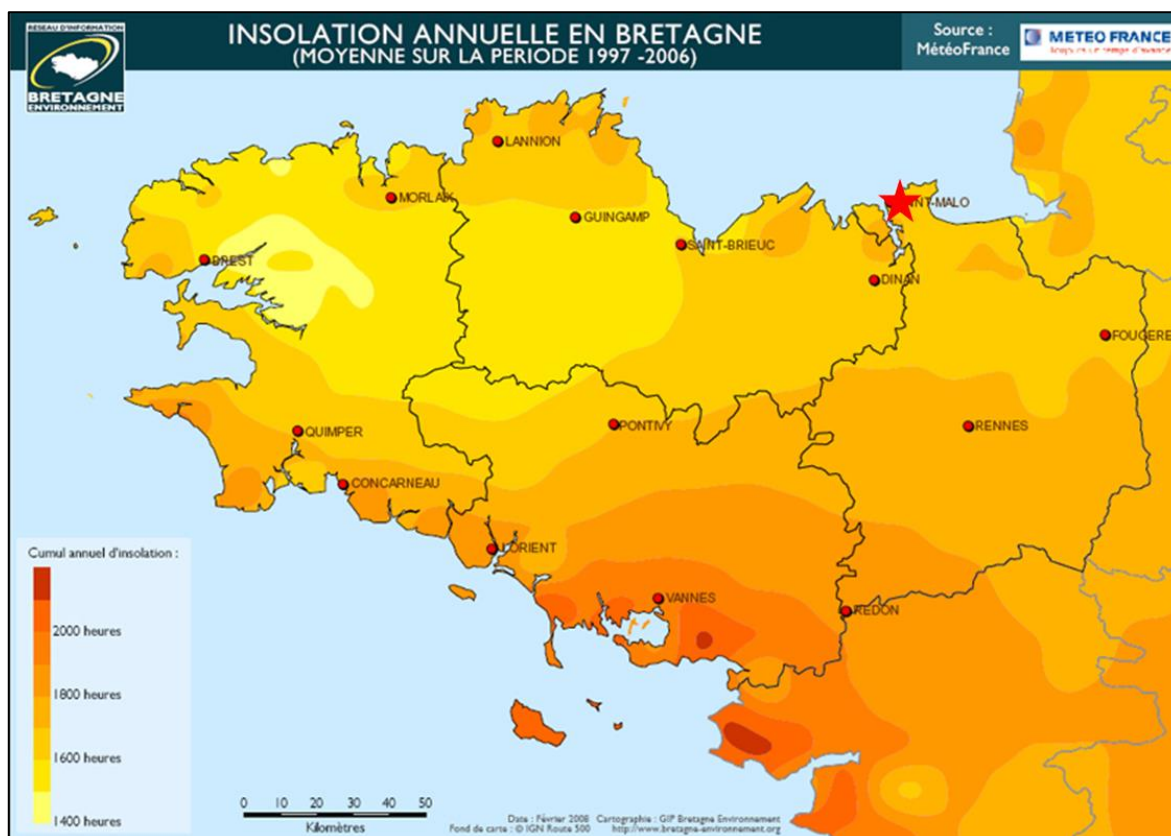


Figure 12: Insolation annuelle de la Bretagne (Source Bretagne Environnement)

L'insolation annuelle de la commune de Saint Malo est comprise entre **1600 et 1700 heures**. L'énergie reçue est d'environ **1 100 à 1 250 kWh/m<sup>2</sup>/an**.

## E. SUR LE SITE

La **pente légère** à moyenne (entre 1 et 5%) du site d'étude est orientée **Nord**. Les contraintes, bien que faibles, d'ombres portées engendrées par cette pente devront être prises en compte pour l'optimisation des apports solaires des futurs bâtiments. (Cf Figure 5 p. 16).

La végétation existante (Cf. Figure 6 p. 16 et Figure 7 p. 17) et créée pourra engendrer des effets de masques et entraver l'accès aux apports solaires gratuits en mi-saison. En hiver, les haies étant constituées d'arbres à feuilles caduques, ce problème sera minimisé.

La mobilisation de l'énergie solaire est possible selon 3 modalités :

- Apports solaires passifs pour limiter les besoins en chauffage
- Panneaux solaires thermiques pour la production d'eau chaude sanitaire et de chauffage
- Panneaux solaires photovoltaïques pour la production d'électricité

Les différentes technologies permettant d'exploiter l'énergie solaire sont détaillées en Annexe.

La pose de panneaux solaires pourra se faire en toiture terrasse des bâtiments

En considérant que tous les bâtiments ont une toiture terrasse (hypothèse la plus favorable mais non réaliste), la surface de toiture disponible est au maximum de 27 170 m<sup>2</sup>. En prenant en compte les autres utilisations de la toiture

(locaux techniques), les ombres générées par les châssis ainsi que les contraintes d'intégration architecturales (marge de recul depuis les façades), en moyenne 1/4 de la surface peut-être recouverte par des panneaux solaires, soit 6 800 m<sup>2</sup>.

Compte tenu de la hauteur des futurs bâtiments et de la végétation, il n'est pas envisageable d'installer des panneaux au sol.

La possibilité d'implanter des panneaux en brise-soleil est négligée. En effet, elle sera directement liée au projet architectural de chaque bâtiment, non défini aujourd'hui.

Le tableau suivant donne la productibilité annuelle des différents types de technologies (source : L'énergie photovoltaïque- conseils et retours d'expériences en Bretagne ; PLAN ECO-ENERGIE BRETAGNE) :

	Electrique	Thermique
<b>Productibilité annuelle</b>	<i>kWh/kWc</i>	<i>kWh/m<sup>2</sup></i>
<b>Panneau en toiture</b>	1025	350
<b>Membrane en toiture</b>	950	
<b>Panneaux en brise soleil</b>	1000	350

Selon nos hypothèses, on obtient une productibilité maximale **de chaleur de 2 380 MWh/an** par des panneaux solaires thermique ou une productibilité maximale **d'électricité de 700 MWh/an** par des panneaux solaires photovoltaïques.

Attention : en réalité la rentabilité d'une installation d'ECS solaire et sa pérennité sont assurés pour une couverture de 40% des besoins d'ECS ou 60% des besoins de chauffage et d'ECS



### IV.2.2. PRECONISATIONS POUR L'OPTIMISATION DES APPORTS SOLAIRES

Construire des bâtiments peu consommateurs d'énergie passe obligatoirement par **l'optimisation des apports solaires passifs pour limiter les besoins en chauffage en hiver et les inconforts dues aux surchauffes estivales.**

Cette démarche peut être décrite en plusieurs étapes :

A l'échelle des parcelles :

- Prévoir les façades principales au Sud : une orientation Sud-Ouest à Sud-Est (Sud +/- 20°) reste pertinente. Les façades principales s'entendent la plupart du temps « côté jardin » pour les maisons individuelles.
- Assurer un recul suffisant entre les bâtiments pour permettre un accès au soleil au Sud dans les conditions les plus défavorables (solstice d'hiver)

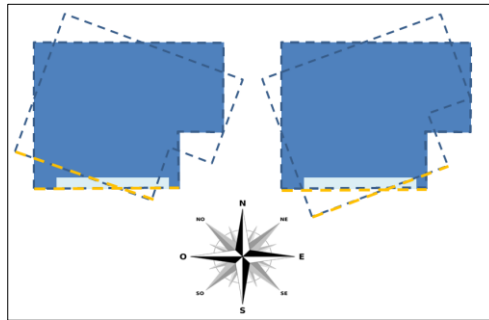


Figure 13 : Orientation optimale des façades principales : Sud +/- 20°

L'annexe sur l'énergie solaire rappelle des données physiques sur la course du soleil et des préconisations pour traiter la thématique des apports solaires à l'échelle d'une opération d'aménagement.

Le tableau ci-dessous synthétise ces préconisations:

Echelle	Solaire Passif	Solaire thermique	Solaire photovoltaïque
<b>Plan d'aménagement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parcelle orientée nord/sud</li> <li>- Zone constructible en limite nord de la parcelle</li> <li>- Respect des distances impliquées par les ombres portées</li> </ul>		
<b>Bâtiment</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Façades et ouvertures principales au Sud +/- 20°</li> <li>- Protections solaires adaptées</li> </ul>	<p>Réserver l'énergie solaire thermique aux bâtiments à fort besoin en ECS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Orientation Sud +/- 25°</li> <li>- Inclinaison de 45° environ</li> </ul> <p>Limiter les ombres et les masques (bâtiments proches, végétation)</p>	<p>Production d'énergie à considérer après l'optimisation énergétique du bâtiment (par exemple prévoir une structure de toiture adaptée pour recevoir des panneaux ultérieurement)</p>

### IV.3. L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

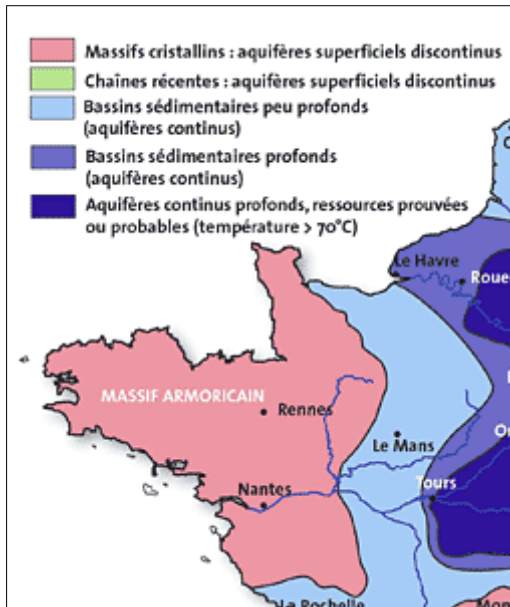
#### IV.3.1. DEFINITIONS

La géothermie désigne les processus d'exploitation de l'énergie interne de la planète, pour produire de l'électricité et/ou de la chaleur.

Il existe différents types de géothermie présentés en annexe p. 101:

#### IV.3.2. SITUATION DE LA COMMUNE

La carte suivante présente une estimation des ressources géothermiques de la France :



La commune de Saint-Malo, comme l'ensemble du territoire breton, se situe sur un **massif cristallin** contenant des aquifères superficiels discontinus.

Ainsi, des nappes d'eau peu profondes (< 1000 m) présentant des températures moyennes forment le potentiel géothermique. La détection de ces aquifères nécessite des **forages** pour évaluer le potentiel de la zone.

Figure 14: Extrait carte des ressources géothermiques en France (source BRGM)

#### IV.3.3. POTENTIEL DE MOBILISATION DE L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

En l'absence d'étude plus poussée avec la réalisation de forage, il est impossible de prédire le potentiel géothermique du site.

Cependant, dans le cadre du projet Cinergy, un forage a été réalisé à Chartes de Bretagne (35) et ne montre pas de potentiel particulièrement intéressant.

D'autre part, le futur pôle multiculturel de Saint-Malo situé dans le quartier de la gare sera chauffé (pour 65% des besoins) et refroidi par une installation pompe à chaleur géothermique sur champs de sondes verticales

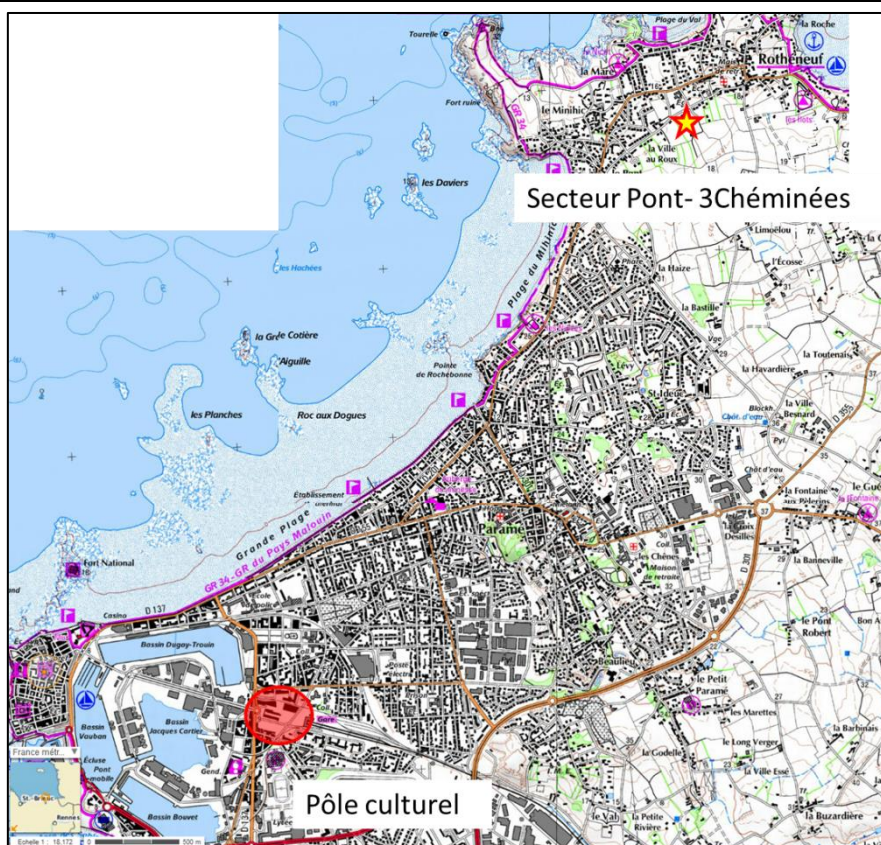


Figure 15: Situation du Pôle multiculturel

Les investigations menées dans le cadre des études de conception du projet ont permis d'identifier le potentiel géothermique de la zone.

Ci-dessous un extrait du Dossier de demande d'autorisation de permis d'exploiter un champ de sondes géothermiques verticales et d'autorisation d'ouverture de travaux miniers :

#### 2.4.2 Ressources visées

Le sous-sol au droit du projet ne recelant pas d'aquifère exploitable pour une exploitation des calories des eaux souterraines au moyen d'une pompe à chaleur (potentiel trop limité), la solution de champ de sondes a donc été retenue. Cette solution exploite la chaleur du sous-sol au moyen de forages équipés pour fonctionner comme des échangeurs de chaleur.

L'étude du sous-sol, effectuée à partir de données bibliographiques et des investigations réalisées sur site, permet d'envisager au droit du projet une température moyenne du gisement d'environ 11°C, un flux de chaleur géothermique de 0,09 W/m<sup>2</sup> et une conduction thermique comprise entre 2,11 et 2,61 W/ml/K.

Figure 16: Potentiel géothermique site du pôle multiculturel de Saint Malo

Ces résultats confortent les conclusions tirées du projet Cinergy sur la faisabilité de champs de sondes géothermiques verticales.

Il est alors possible d'extrapoler au département d'Ille et Vilaine de manière générale :

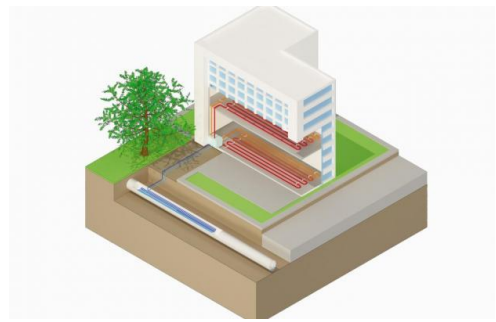
- **La solution basse énergie sur nappe n'est pas envisageable.** En effet cette solution présente plusieurs inconvénients :
  - risque d'échec
  - risque de débits relativement faible sur la recherche en eau
  - des contraintes de maintenance accrue
  - coût de forages très élevé à l'unité et multiplicité des doublets nécessaires.
  - incidence en terme de bulle thermique à prendre en compte, afin d'éviter les recirculations d'eau souterraines entre forage de réinjection et forage de pompage, qui devient d'autant plus pénalisante, que l'on augmente le nombre de forage.

- **La solution de champs de sondes (sondes sèches, type eau glycolée) reste en revanche envisageable pour couvrir les besoins, avec, même si elles sont moindres, certaines contraintes** (pas d'arbres, pas de réseau..., maillage minimum, place disponible). Cette possibilité devra être confirmée par un test de réponse thermique suivi d'une modélisation du champ de sondes, une fois que les besoins seront clairement identifiés (puissance max chaud, froid, et régime journalier dans l'idéal).
- **La solution des sondes types hélicoïdales est plus adaptée pour le chauffage individuel de chaque habitation et permet de réduire les profondeurs d'investigations**

#### IV.4. LA RECUPERATION D'ENERGIE SUR LES EAUX USEES

Source et plus d'info : <http://www.geothermie-perspectives.fr/>

Les eaux usées, d'origine domestique, pluviale ou industrielle comprennent : les eaux ménagères ou eaux grises, les eaux vannes ou eaux noires (toilettes), les eaux d'arrosage (jardins), les eaux industrielles ainsi que les eaux pluviales. Leur température moyenne est d'environ 15°C ce qui en fait une source de chaleur intéressante à exploiter grâce à la mise en place d'une pompe à chaleur. Cette énergie a l'avantage de se situer à proximité de la demande, tout en ayant un impact très limité en termes d'émissions de CO<sub>2</sub>. La récupération d'énergie sur les eaux usées est aussi appelée « **cloacothermie** ».



Ils existent différentes techniques de récupération :

##### **Dans les collecteurs du réseau d'assainissement (ouvrages assurant la collecte et le transport des eaux usées : canalisations, conduites, ...)**

Cette solution utilise la chaleur des effluents quel qu'en soit le type (eaux vannes et eaux grises), sans prétraitement nécessaire. Elle met en œuvre des échangeurs spécifiques qui sont :

- soit directement intégrés dans des canalisations neuves lors de leur fabrication
- soit rapportés et posés en partie basse des canalisations d'eaux usées existantes ou construites spécifiquement.

Elle nécessite des collecteurs de taille adaptée, non coudés sur une longueur suffisante et disposant d'un débit d'eaux usées minimum d'environ 15 l/s. En fonctionnement, cette solution comporte des contraintes d'exploitation liées à l'encrassement des échangeurs par ensablement et formation de biofilm dans le collecteur et à une limitation de baisse de la température des eaux usées à 5 K maximum après passage dans l'échangeur pour ne pas perturber le processus d'épuration en aval.

Ce système a l'avantage de pouvoir se situer proche des preneurs de chaleur. Couplé à une chaudière et une pompe à chaleur, un tel dispositif permet éventuellement d'alimenter un chauffage à distance.

##### **Dans les stations d'épuration (STEP),**

Cette solution utilise la chaleur eaux épurées (après traitement) et peut être mise en place dans l'enceinte de la STEP de dimension supérieure à 5000 équivalents logements, en amont du rejet des eaux épurées vers le milieu naturel. Elle peut théoriquement autoriser une liaison directe vers la pompe à chaleur et éviter ainsi la présence d'échangeur intermédiaire. La récupération de chaleur sur les eaux épurées en sortie de STEP peut être réalisée grâce à différents types d'installations et d'échangeurs : échangeurs à plaques, échangeurs multitubulaires (faisceau de tubes), échangeurs coaxiaux.

##### **Dans les stations (ou postes) de relevage**

La solution de récupération de chaleur des eaux usées au niveau des stations de pompage (ou postes de relevage) peut être aussi intéressante car ces stations sont situées en ville et donc proches des preneurs de chaleur. Le système utilise une fosse de relevage existante. Une partie des eaux usées est pompée de la fosse de la station de pompage avant STEP vers des échangeurs.

##### **Au pied de bâtiments ayant une forte consommation d'eau (dans ce dernier cas, on parlera plutôt de récupération d'énergie thermique sur les eaux grises)**

Cette solution nécessite obligatoirement une évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes. Elle peut permettre l'utilisation de matériel non spécifique aux eaux usées (échangeurs standards, PAC, ...) et nécessite généralement des systèmes sophistiqués de filtrations et d'auto nettoyage des échangeurs sur eaux usées.

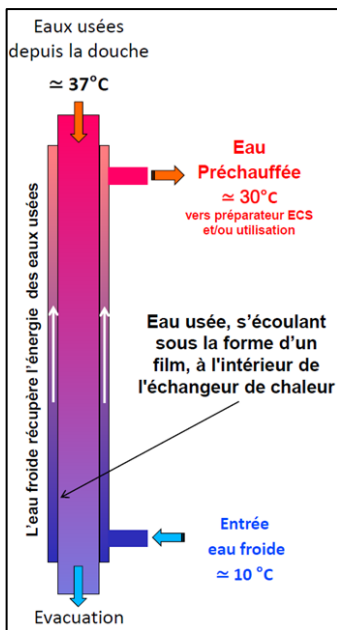
Cette solution capte la chaleur des eaux usées directement à la sortie de l'immeuble, grâce à un échangeur de chaleur installé dans une fosse dédiée à cette utilisation.

Les eaux usées arrivent dans une cuve centrale. Le filtre retient les plus grosses particules dans la cuve et une pompe déverse quotidiennement les résidus accumulés dans la cuve vers le collecteur. Le niveau d'eau dans la fosse est

maintenu suffisamment haut pour qu'il y ait déversement du trop-plein dans le tube intermédiaire puis vers le collecteur.

Cette solution se différencie des autres précédemment citées car son domaine d'application privilégié est la production d'eau chaude sanitaire de l'immeuble. L'application au chauffage (et/ou à la climatisation) d'une installation de récupération de chaleur en sortie de bâtiments peut également être envisagée avec l'intégration au dispositif d'une pompe à chaleur.

 **Echangeur de chaleur sur l'eau des douches**



Cette solution peut être mise en œuvre individuellement ou à l'échelle d'un bâtiment d'habitat collectif. Un échangeur de chaleur est posé directement sur la canalisation d'évacuation des eaux de douche et permet de récupérer environ 60% de la chaleur.

**Avantages et limites des différents systèmes**

Chaque système présente des avantages et contraintes. Le choix d'une technologie par rapport à une autre est orienté par la nature et le contexte du projet.

Dans les collecteurs	dans les STEP	dans les stations de relevage	au pied des bâtiments	Echangeur de chaleur sur l'eau des douches
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potentiel de puissance entre <b>10 kW et 1 MW</b></li> <li>- S'installe dans le réseau public</li> <li>- Nécessite d'avoir de longues conduites droites et un gros diamètre</li> <li>- Doit vérifier les effets sur le fonctionnement du process de la STEP (abaissement de la T°)</li> <li>- Proximité des preneurs de chaleur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potentiel de puissance jusqu'à <b>20 MW</b></li> <li>- Pas de problème de refroidissement</li> <li>- Risque d'être éloigné des preneurs de chaleur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potentiel de puissance jusqu'à <b>2 MW</b></li> <li>- Solution indépendante de la taille du collecteur</li> <li>- Système encore nouveau avec peu de retour d'expérience</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potentiel de puissance entre <b>50 kW et 300 kW</b></li> <li>- Solution simple pour l'eau chaude sanitaire, mais qui ne convient pas pour un chauffage à distance</li> <li>- Solution individuelle, pour les bâtiments de taille significative (hôtel, hôpital, piscine, industrie)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potentiel de puissance environ 30% de la puissance de production d'ECS</li> <li>- Facilité de mise en œuvre et très faible entretien</li> </ul>

Figure 17: Avantages et inconvénients des différents systèmes de récupération d'énergie sur les eaux usées

La récupération thermique sur eaux usées est théoriquement possible sur des réseaux d'assainissement de 5 000 EH (équivalent habitant); cependant la pratique a montré en Suisse que la rentabilité des projets n'est assurée qu'à partir d'environ 20 000 EH.

La STEP de Saint-Malo a une capacité de de 122 000 équivalents/habitants, mais elle se situe à environ 4,5 km du site étudié.

La récupération énergie sur les eaux usées possible à partir des technologies de récupération en pied d'immeuble et d'échangeur sur l'eau des douches. La faisabilité des autres systèmes nécessite des études complémentaires.



## IV.5. LE BIOGAZ

Le biogaz est une énergie renouvelable produite grâce à un procédé biologique : **la méthanisation**.

*La méthanisation est un procédé biologique permettant de valoriser des matières organiques en produisant une énergie renouvelable, le biogaz, et un fertilisant, le digestat. En l'absence d'oxygène (digestion anaérobie), des bactéries dégradent partiellement la matière organique.*

Source : [www.aile.asso.fr](http://www.aile.asso.fr)

Les intérêts de la méthanisation sont multiples :

- ✓ Valoriser la matière organique fermentescible du territoire
- ✓ Produire une énergie renouvelable et locale
- ✓ Produire un fertilisant, le digestat, substituable aux engrais minéraux
- ✓ Recycler et restituer au sol la matière organique et les éléments fertilisants
- ✓ Réduire la production de gaz à effet de serre.

Le biogaz peut être valorisé en alimentant une unité de cogénération qui produira de l'électricité (35 à 40%) et de la chaleur renouvelable (45-50%).

Un quartier urbanisé peut donc théoriquement être alimenté :

- ✓ Par du biogaz injecté (après épuration) dans le réseau de gaz naturel
- ✓ Par de la chaleur renouvelable issue de la cogénération via un réseau de chaleur (cf étude d'opportunité § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

Un projet d'unité de méthanisation peut s'envisager à l'échelle d'une exploitation agricole ou à une échelle territoriale plus étendue. Le schéma suivant résume l'organisation d'une filière locale structurée de méthanisation :

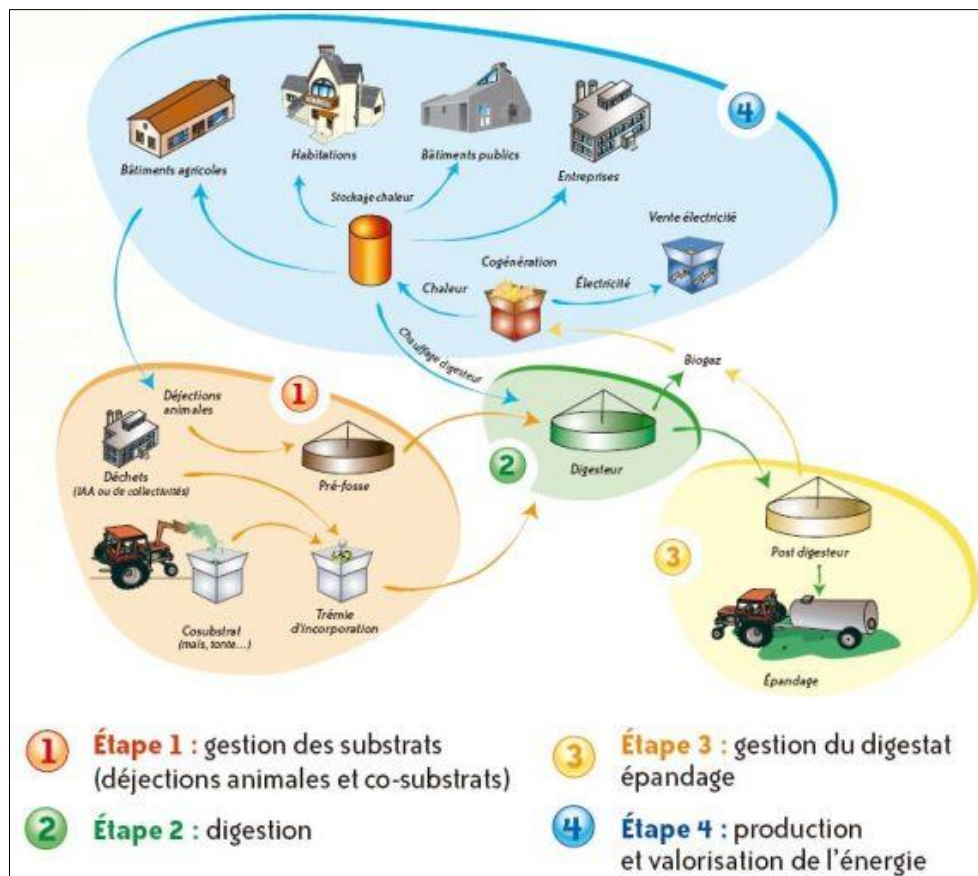


Figure 18 : schéma de principe d'une filière locale de méthanisation (source Aile)



L'exemple emblématique de filière locale structurée est le projet breton Géotexia implanté dans le Mené (<http://geotexia.wordpress.com>).

Une telle filière nécessite une mobilisation d'acteurs locaux ayant de problématiques de déchets organiques (agriculteurs, industries agroalimentaires). Si une telle mobilisation n'est pas préexistante, il est difficile de prendre comme point de départ les besoins énergétiques d'un nouveau quartier pour constituer la filière tant la durée de construction d'un projet est longue (10 ans pour Géotexia).

La figure suivant présente les installations de valorisation du Biogaz en Bretagne et Pays de la Loire :

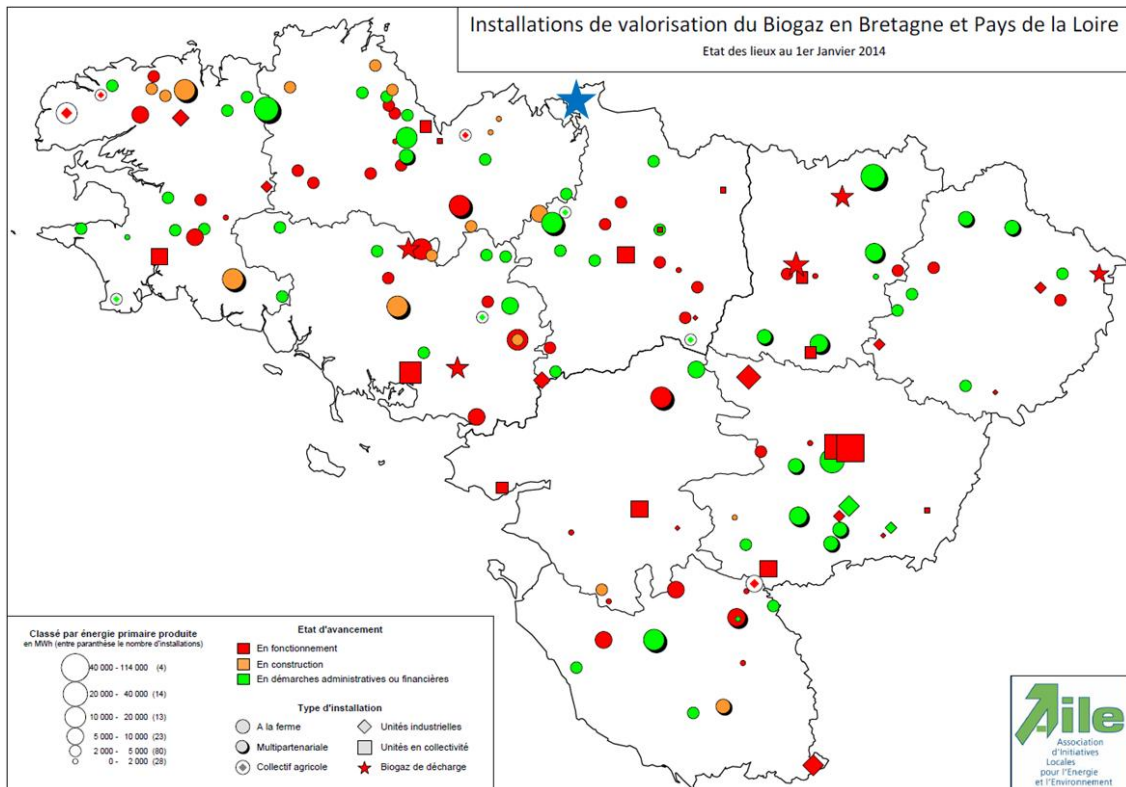


Figure 19: (Installation de valorisation du Biogaz en Bretagne et pays de la Loire (Source: Aile)

Il n'existe pas d'installation à proximité de saint Malo.

**Cette solution n'apparaît pas pertinente pour ce nouveau quartier dans la mesure où les unités existantes sont trop éloignées.**

Cependant, si la collectivité identifie un enjeu autour d'effluents agricoles et industriels sur son territoire, elle peut initier une réflexion qui se déroulera certainement sur un temps plus long que celui de la conception et de la réalisation du nouveau quartier.

L'existence d'un réseau gaz naturel peut dans ce cas permettre l'usage du biogaz. Il est cependant important de s'interroger sur la nécessité de raccorder le futur quartier au gaz naturel uniquement dans la perspective de le voir desservi par du biogaz à une échelle de temps indéterminée.

Cette perspective est certainement plus probable à moyen ou long terme dans le cas d'une agglomération urbaine où les problématiques de déchets fermentescibles sont très présentes (cf Centre de valorisation organique de Lille <http://www.lillemetropole.fr/index.php?p=979>) que dans le cas d'un quartier aménagé dans une commune taille moyenne.

L'utilisation de chaleur renouvelable via un réseau de chaleur est étudiée dans le paragraphe V.3.1 de cette étude.

## IV.6. L'ENERGIE HYDRAULIQUE

La production d'électricité à partir d'énergie hydraulique se décline en 2 types :

- l'hydro-électricité marine (Marées, courants marins, houle.)
- l'hydroélectricité issue des rivières (débits des rivières)

### IV.6.1. LES ENERGIE MARINES RENOUVELABLES EN BRETAGNE

Avec ses 2 730 km de côtes, la Bretagne dispose d'atouts naturels favorables au développement des énergies marines renouvelables à partir de différentes sources : les courants, les marées, les vagues, la houle, la différence de salinité et le vent

La région Bretagne ainsi que de grands acteurs industriels sont engagés dans le développement des énergies renouvelables marines. Avec, 50% des compétences R&D maritimes françaises concentrées en Bretagne, la filière est en plein essor. C'est le premier pilier du **pacte électrique breton**. (Cf. Annexe p.104)

### IV.6.2. SITUATION DE LA COMMUNE ET DU TERRAIN VIS-A-VIS DES COURANTS HYDRAULIQUES

#### A. L'HYDROELECTRICITE MARINE

La commune de Saint-Malo se situe en zone côtière, le potentiel hydroélectrique est exploité par la centrale marémotrice du barrage de la Rance. Construit de 1960 à 1966, l'usine marémotrice de la Rance produit en moyenne 500 millions de kWh par an. Jusqu'en 2011, elle était la plus puissante de ce type au Monde. En 2010, la centrale produisait 2,4% de l'énergie consommée en Bretagne.

Le rapport sur Évaluation du potentiel hydroélectrique du bassin Loire Bretagne indique que la totalité du potentiel est exploité.

#### B. L'HYDROELECTRICITE ISSUE DES RIVIERES

Les deux facteurs essentiels qui conditionnent l'énergie mobilisable sont la hauteur de chute et le débit du cours d'eau. Ils dépendent du site et doivent faire l'objet d'études préalables pour déterminer le projet d'aménagement de centrale hydroélectrique.

La figure suivante présente le potentiel hydroélectrique de la Bretagne :

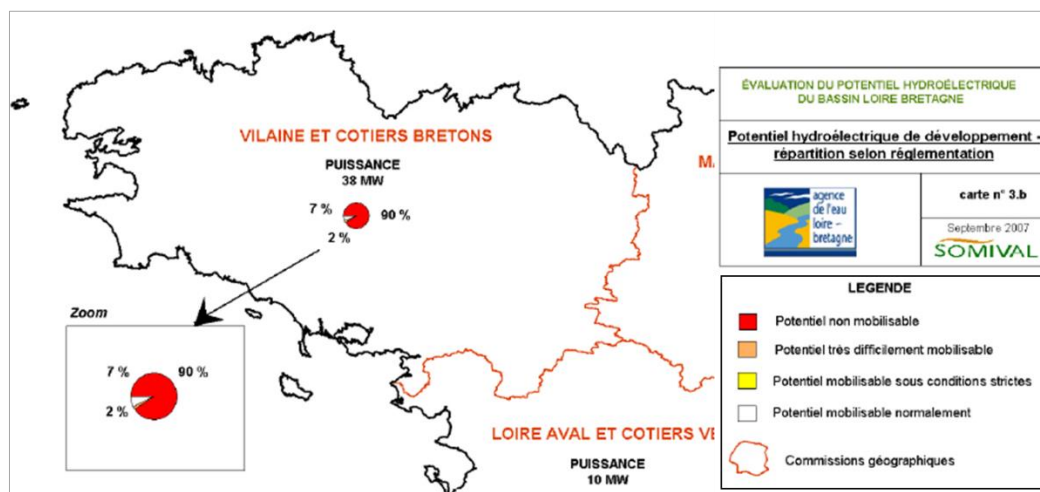


Figure 20: Potentiel de développement de l'hydroélectricité de la Bretagne (Source : Rapport Somival)

Le potentiel de développement de l'énergie hydroélectrique terrestre de la région Bretagne est très faible : seulement 7,6 MW. A la différence du potentiel hydroélectrique marin.

Le contexte Hydrographique du site :



Figure 21: Cours d'eau autour du site d'étude (Source : géoportail)

Il n'y a pas de cours d'eau dans l'emprise même du périmètre d'étude.

### C. POTENTIEL MOBILISABLE

#### PUISSANCE ELECTRIQUE

La puissance électrique d'un aménagement hydroélectrique est directement donnée par sa hauteur de chute et son débit :

$$P = H \times Q \times \rho \times g \times r$$

Avec P puissance produite (en kW), H la hauteur de chute (m), Q débit de l'installation ( $m^3/s$ ),  $\rho$  la masse volumique de l'eau ( $103 \text{ kg}/m^3$ ), g constante d'accélération de la gravité ( $9,81 \text{ m}/s^2$ ) et r le rendement de l'installation (aux alentours de 0,8 pour les centrales hydroélectriques).

Hors région montagneuse les hauteurs de chute sont faibles. Ainsi, la puissance d'une telle installation serait faible.

Le tableau suivant permet d'estimer la puissance produite par un groupe turbogénérateur :

Part de débit		100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%
Chute brute	m	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Chute nette	m	1,43	1,44	1,45	1,46	1,47	1,48	1,49	1,49	1,50
Débit par turbine	$m^3/s$	10,5	9,5	8,4	7,4	6,3	5,3	4,2	3,2	2,1
Puissance turbine	kW	128	118	106	92	77	60	43	27	14
Puissance électrique*	kW	115	106	95	83	69	54	39	25	12

Figure 22: Estimation de la puissance produite par un groupe turbogénérateur (Source : MJ2 Technologies)

#### APPLICATION AU PROJET

Les petits cours d'eau présents proches du site présentent très vraisemblablement un faible débit qui ne permet pas d'envisager un potentiel hydroélectrique.

A titre de comparaison la figure suivante présente les débits moyens constatés sur les cours d'eau bien plus importants de la Rance, du Néal et du Fémur :

Débits (en l/s/km <sup>2</sup> )	Débit moyen	Etiage	Crue
Rance	8,10	0,52	183
Néal	5,67	0,007	171
Frémur	7,42	0,65	181

Figure 23: Débit moyen (Source Diagnostic Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux Rance Frémur Baie de Beausais)

L'investissement pour une telle centrale est supérieur à 400 000 € HT hors génie civil, la rentabilité est remise en cause par la faiblesse de la puissance productible.

Les aspects réglementaires relatifs à l'installation d'une petite centrale d'eau sont détaillés en Annexe p.107.

**Au vu de la faiblesse du débit des cours d'eau voisins du site, de la faible hauteur de chute et du niveau élevé d'investissement nécessaire à l'exploitation de l'énergie hydraulique, la zone d'étude ne présente pas de potentiel hydroélectrique.**



## IV.7. L'ÉNERGIE BOIS

L'énergie bois est disponible sur le territoire sous différentes formes. Les conditions de mobilisations sont détaillées en annexe.

## IV.7.1. BOIS DECHIQUETE OU PLAQUETTES

Le bois déchiqueté est disponible en Ile-et-Vilaine. La carte suivante montre les plateformes d'approvisionnement en bois déchiqueté en Bretagne.

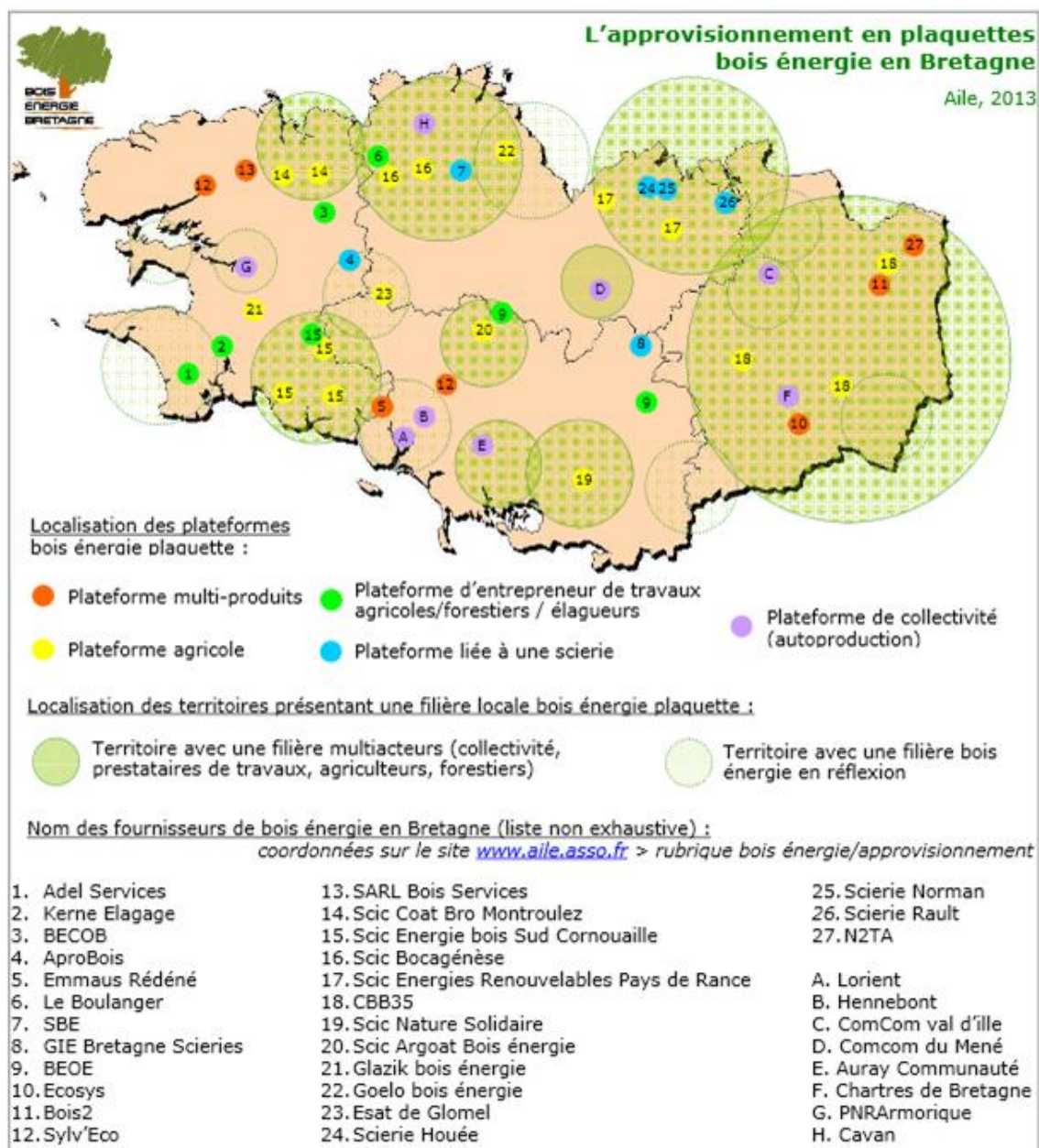


Figure 24 : Carte des fournisseurs de bois déchiqueté en Bretagne (source AILE, 2013)

Plusieurs prestataires seraient susceptibles d'approvisionner en bois déchiqueté un projet à Saint Malo.

Notamment, la plateforme de revalorisation des bois Sylv'ECO à Saint Guinoux, la Scic ENR du pays de Rance à Dinan, la Sarl ETA COURTAIS à Combourg, l'association ENERGIE BOCAG'AIR à Saint Etienne en Coglès et BOIS 2 R BRETAGNE à Saint-Hilaire-des-Landes.



Un collectif d'agriculteurs s'est par ailleurs constitué en Ile-et-Vilaine, le **Collectif Bois énergie35**, permettant de structurer l'offre en bois déchiqueté d'origine bocagère produit par des groupes locaux d'agriculteurs.

D'autre part, l'association AILE a réalisé dans le cadre de sa mission d'animation du Plan bois énergie Bretagne, une étude prospective sur l'état de la ressource bretonne en bois et son évolution dans les années à venir. Les principales conclusions de ce travail sont les suivantes :

- Le gisement bois plaquette régional est estimé à 550 000 t/an, le gisement sur lequel se porte l'enjeu de mobilisation est situé en forêt
- Le gisement de plaquettes agricoles est loin d'être mobilisé à son optimum (gisement évalué à 170 000 t/an contre une mobilisation actuelle de 10 000 t/an)
- La mobilisation de bois plaquette est actuellement à un tournant dû aux projets mobilisant d'importants tonnages (réseaux urbains, projets de cogénération) : **la mobilisation de bois énergie sur des chaufferies de petite et moyenne capacité (jusqu'à 4000 t de bois par an) ne met pas en péril la ressource régionale. C'est l'un des leviers importants de positionnement des collectivités sur les énergies renouvelables.**
- La mobilisation de la ressource agricole notamment pour l'alimentation de projets en collectivités via des plateformes locales reste pertinente.

Le graphique suivant présente une projection des consommations prévisionnelles (basées sur les projets connus dont la chaufferie cogénération biomasse de 37MW à Rennes) mis en regard des gisements régionaux à horizon 2014 :

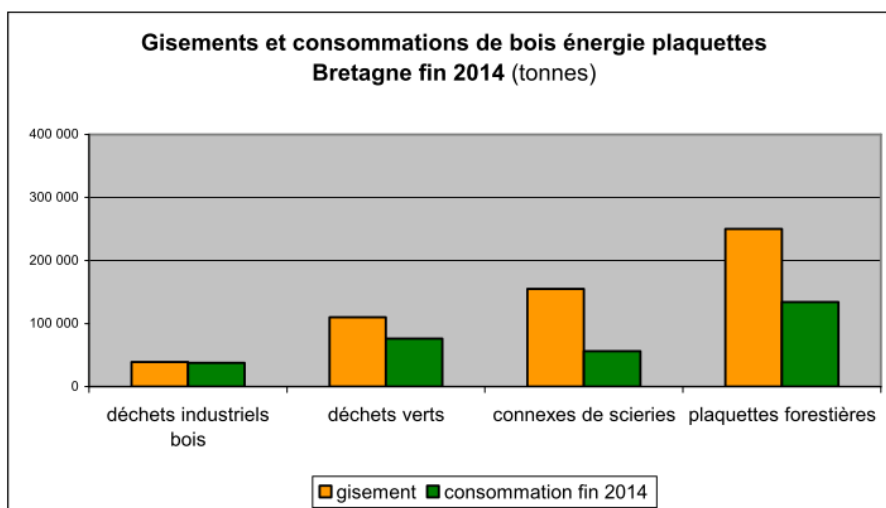


Figure 25 : Gisements en consommation de bois énergie plaquette en Bretagne fin 2014 (source AILE)

La totalité du document est disponible sur le site internet : [http://www.aile.asso.fr/valorisation-de-la-biomasse/bois-energie/plan\\_bois\\_energie\\_bretagne](http://www.aile.asso.fr/valorisation-de-la-biomasse/bois-energie/plan_bois_energie_bretagne)

Bilan Plan bois énergie Bretagne 2007-2013 : L'Ile et Vilaine est le plus gros consommateur de **bois déchiqueté** parmi les 4 départements bretons : **239 100 tonnes par an** (dont 110 000 t/an par la chaufferie Rennes Sud)

Aujourd'hui l'organisation de la mobilisation de bois énergie en forêt, le principale gisement, est jeune et a d'énormes marges d'optimisation, les entreprises spécialisée n'ont pas atteint leur équilibre

D'autre part, l'association AILE réalise, entre autre, le recensement des installations mais également des fournisseurs de bois énergie. Elle peut également accompagner les démarches de mise en place d'une telle filière avec les collectivités dans le cas d'un projet défini.

Contact : [www.aile.asso.fr](http://www.aile.asso.fr)

Par ailleurs, le Pays de Saint Malo a souhaité en 2011 accompagner la création, le soutien et le développement d'une filière bois-énergie. Un programme d'actions a été défini autour de 5 axes :

- identifier le potentiel de bois mobilisable,
- développer le marché local (chauffage / espaces verts),
- assurer la promotion de la filière,
- mobiliser les différents intervenants,
- gérer et entretenir le bocage.

Ce programme d'actions est mis en œuvre depuis 2011, par la SCIC - Société Coopérative d'Intérêt Collectif - ENR Pays de Rance, avec qui le Syndicat mixte de pays a conclu un partenariat opérationnel et financier.

**Les différentes actions menées font ressortir une disponibilité certaine de la ressource bois sur le pays de Saint-Malo, principalement au niveau de la ressource bocagère et forestière.**

Ainsi, La ressource bocagère disponibles actuellement sur le pays de Saint-Malo permettrait l'installation de 210 chaudières d'une puissance de 50 kW, consommant 40 tonnes de bois plaquettes par an (équivalent à la chaudière mise en place à Broualan (35) pour chauffer une école, un logement et une salle des fêtes).

La ressource forestière permettrait l'installation de 37 à 158 chaudières de ce type.

#### IV.7.2. BOIS BUCHES

Aujourd'hui, de nombreux distributeurs et fournisseurs existent en Bretagne et peuvent fournir les besoins individuels.

Le bois bûche peut être livré en palette de bois certifié. Ce combustible est encore majoritairement commercialisé « au noir », surtout en zone rurale.

Une démarche de qualité régionale a été mise en place par l'association Abibois avec la création de la marque Bretagne Bois Bûche® : elle identifie les professionnels bretons du bois de chauffage engagés dans une démarche de qualité des produits et des services.



Le site [www.bretagneboisbuche.com](http://www.bretagneboisbuche.com) permet de localiser les fournisseurs de bois bûche engagés dans cette démarche.

#### IV.7.3. GRANULES DE BOIS

Les **granulés de bois** sont fabriqués avec de la sciure issue de l'industrie du bois : ces sciures sont transformées en granulés par pressage si elles sont sèches, elles sont préalablement séchées avant compression si elles sont humides. Dans les deux cas, les granulés ne comportent pas d'additifs. Le granulé de bois est un produit beaucoup plus homogène que la plaquette, donc plus facilement utilisable, mais il nécessite plus d'énergie pour sa fabrication.



Le bois granulé peut être livré en sacs (poêles à granulés) ou en vrac par camion souffleur (chaudières automatiques).

**Le bois est disponible sur le territoire sous différentes formes et pourrait assurer la production de chauffage.**

**Le bois bûche n'est pas adapté pour de l'habitat collectif, au contraire du bois granulé ou de la plaquette.**

**Quel que soit le combustible, il sera nécessaire de prévoir un volume de stockage suffisant et accessible pour la livraison.**

## IV.8. SYNTHÈSE DU POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES SUR LA ZONE

Le tableau suivant présente une synthèse du potentiel du futur quartier vis-à-vis des sources d'énergies renouvelables, ainsi que de leurs conditions de mobilisations.

Energie	Potentiel du terrain	Conditions de mobilisation
<b>Petit éolien</b>	+	Etude précise des vents à réaliser après la construction des bâtiments
<b>Grand éolien</b>	-	Impossible à moins de 500 m d'une zone d'habitation
<b>Solaire</b>	+++	Orientation Sud des bâtiments Réaliser un modèle 3D pour évaluer précisément l'ensoleillement et notamment les ombres portées des bâtiments et de la végétation
<b>Apports passifs</b>	+++	Conception bioclimatique (maximiser les apports solaires en hiver, s'en protéger en été)
<b>Solaire thermique</b>	+++	Panneaux solaires thermiques en toiture (étude approfondie à réaliser). Orientation sud des toitures ou toit terrasse
<b>Solaire photovoltaïque</b>	+++	Panneaux photovoltaïques : prévoir une étude de faisabilité pour déterminer la faisabilité technico-économique et les possibilités de positionnement (en toiture, en ombrière de parking, sur des candélabres, ...) Orientation sud des toitures ou toit terrasse
<b>Géothermie</b>		
<b>faible profondeur</b>	+	Un test de réponse thermique devra confirmer la faisabilité thermique d'un champ de sondes
<b>moyenne profondeur</b>	-	
<b>Hydraulique</b>	-	Cours d'eau non exploitable
<b>Bois</b>	+++	Prévoir stockage et approvisionnement Filière bois énergie régionale et locale en cours de structuration

L'énergie solaire passive et active, l'énergie bois et la géothermie peu profonde présentent un potentiel de développement. Les grandes lignes sur les conditions de mobilisation sont données en annexe.



## IV.9. SYNTHÈSE SUR L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES ÉNERGIES MOBILISABLES

FORMES D'ÉNERGIE	ATOUTS/AVANTAGES	CONTRAINTES/INCONVENIENTS
<b>ELECTRICITE</b>	Disponibilité <i>A réserver aux usages spécifiques</i>	Coût élevé Faible rendement global, gestion des déchets nucléaires, contexte tendu en hiver en Bretagne
<b>GAZ NATUREL</b>	Commune desservie Impact environnemental plus limité que le fioul	Extension de réseau à prévoir <b>Energie fossile à fort impact environnemental</b>
<b>FIOUL</b>	-	<b>Très fort impact environnemental</b>
<b>PROPANE</b>	Impact environnemental plus limité que le fioul	Positionnement des cuves ou réseau gaz
<b>BOIS – ENR</b>	Zone péri-urbaine propice, disponibilité de la ressource Facilité de mise en œuvre en habitat individuel Chaudière collective possible en habitat collectif	<b>Densité énergétique à valider pour la mise en œuvre de réseaux</b> Niveau d'automatisation à adapter en fonction des utilisateurs
<b>SOLAIRE – ENR</b>	Site dégagé Energie gratuite	Nécessité d'une pente du site favorable Attention aux ombres portées
<b>PETIT ET MOYEN EOLIEN-ENR</b>	Energie renouvelable	Productivité faible, matériels non encore optimisés
<b>PAC aérothermie</b>	Amélioration de l'efficacité d'un chauffage électrique Utilisation d'une part d'énergie gratuite provenant d'une source chaude (Air)	COP moyen annuel faible Appel de puissance électrique en hiver Nuisances sonores Impact sur l'effet de serre du fluide frigorigène
<b>PAC sur sondes géothermique</b>	Amélioration de l'efficacité d'un chauffage électrique Utilisation d'une part d'énergie gratuite provenant d'une source chaude (sol)	Appel de puissance électrique en hiver Impact sur l'effet de serre du fluide frigorigène
<b>GEOOTHERMIE PROFONDE – ENR</b>	Système performant Peu intégrer un bouquet énergétique en tête de réseau de chaleur	Coût élevé de mise en œuvre Pas adapté à des projets individuels

ENR : énergie renouvelable

## V. ETUDE DE L'IMPACT DE LA MOBILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES

Le potentiel de mobilisation des énergies renouvelables étant déterminé, il importe de définir les **niveaux de consommations énergétiques** attendus sur le quartier de manière exhaustive, afin de comparer l'impact environnemental de ces solutions.

Il s'agit donc :

- D'évaluer la totalité des consommations énergétiques du futur quartier en fin d'opération
- De définir des scénarios d'approvisionnement en énergie mobilisant les énergies renouvelables pour répondre à ces besoins
- D'évaluer l'impact environnemental de ces scénarios
- D'évaluer l'impact financier de ces scénarios

Cette étude a pour spécificité d'intégrer :

- l'ensemble des consommations en électricité domestique dans les calculs
- les consommations énergétiques liées à la cuisson des aliments

Cette étude a été conduite selon les phases suivantes :

### Phase 1: définition de la performance énergétique des futurs bâtiments

- Intégration des consommations d'électricité domestique
- Définition des scénarios de performance énergétique
- Comparaison des niveaux de consommation d'énergie finale

### Phase 2: Etude de scénarios d'approvisionnement en énergie avec énergies renouvelables

- Définition des scénarios
- Impact énergétique, économique et environnemental
- Pistes complémentaires

### Phase 3: Etude d'opportunité de la création d'un réseau de chaleur

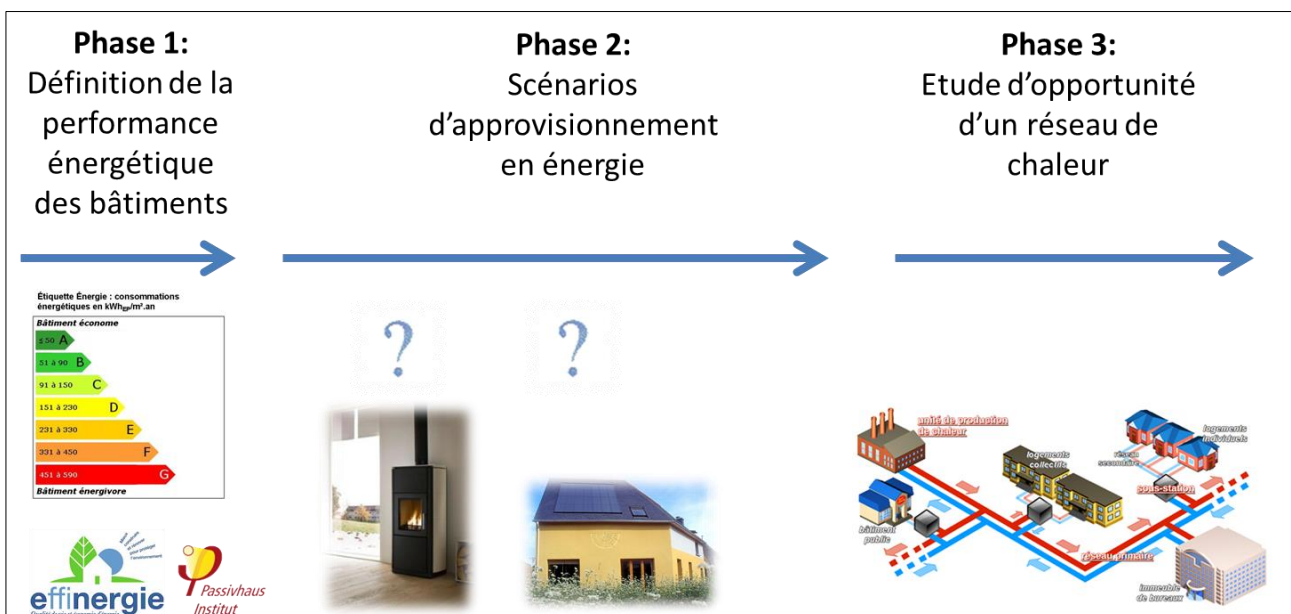


Figure 26 : Schéma de principe de la méthodologie utilisée

## V.1. PHASE 1 : EVALUATION DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE DU FUTUR QUARTIER

### V.1.1. USAGES ENERGETIQUES ATTENDUS

Plusieurs types d'usages de l'énergie peuvent être distingués sur une opération d'aménagement :

- **L'énergie liée au fonctionnement des bâtiments**
- **L'éclairage public**
- **L'énergie consommée par les transports**
- **L'énergie grise mobilisée par la construction des bâtiments**

#### Les usages liés aux bâtiments

Les bâtiments ont des besoins énergétiques qui peuvent être décomposés en besoins de :

- chauffage
- production d'eau chaude sanitaire
- climatisation
- électricité technique : éclairage, ventilation, circulateurs etc.
- électricité domestique : bureautique, HIFI, électroménager etc.
- Cuisson des aliments

Dans cette étude, nous ne considérerons pas de besoins de froid (climatisation) car l'évolution des réglementations thermiques tend à proscrire l'usage de climatisation au profit d'une meilleure conception des bâtiments.

**Cette étude va permettre d'évaluer les besoins énergétiques globaux grâce à des hypothèses de consommations énergétiques, en fonction des typologies de bâtiments prévus sur l'opération.**

#### Les autres usages

- L'éclairage public

Ce poste est supporté directement par les collectivités.

- Les transports

Ces consommations d'énergie liées aux véhicules individuels et au transport collectif ont un impact sur l'effet de serre qu'il convient d'évaluer.

- L'énergie grise

L'énergie grise peut être définie comme l'énergie fossile nécessaire à la fabrication et au transport des matériaux.

Dans le cadre de la réalisation d'un quartier d'habitation qui va nécessiter une forte mobilisation des métiers du bâtiment, il peut être intéressant d'encourager l'usage de matériaux à faible énergie grise et dont la mise en œuvre limite les risques sur la santé des ouvriers et des utilisateurs des bâtiments.

Par exemple : favoriser des solutions alternatives aux laines minérales pour l'isolation des bâtiments.

**La suite de l'étude n'intégrera pas l'énergie grise des matériaux mais ils sont importants à considérer dans l'optique d'une diminution globale de l'impact énergétique global de la future zone urbanisée**

#### Cas particulier de l'électricité domestique :

Le calcul réglementaire des consommations énergétiques (RT 2005 et 2012) n'intègre pas les consommations d'électricité domestique ni l'énergie nécessaire à la cuisson des aliments, et pourtant, celles-ci représentent une part importante de la consommation énergétique des ménages. Jusqu'à 40% des consommations pour un bâtiment très performant.

L'association **négaWatt** s'intéresse aux consommations électrodomestiques et a calculé la part de chaque poste pour un ménage moyen en 2010.

Le graphique suivant présente les résultats :

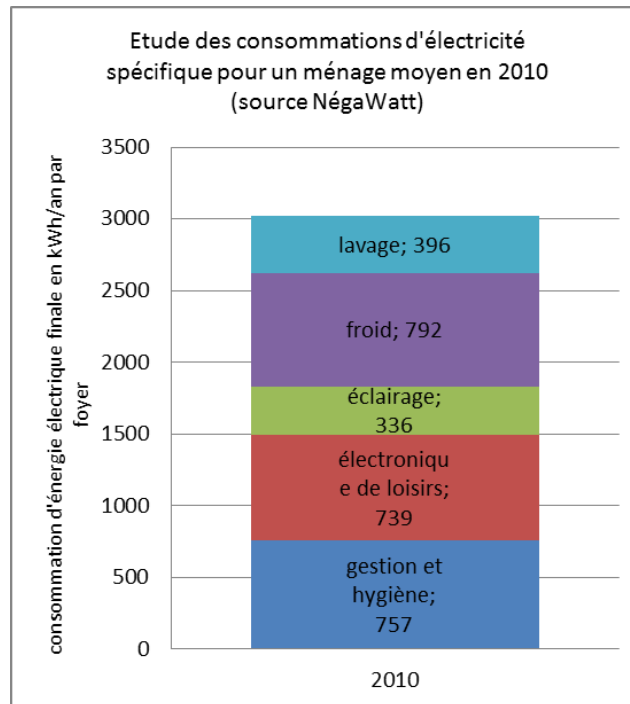


Figure 27 : Répartition des consommations électriques pour un ménage moyen en 2010 (Source : negaWatt)

Ainsi en 2010, un ménage moyen consomme près de 3 000 kWh/an d'électricité pour les usages domestiques.

Dans notre études, en plus des usages pris en compte par la réglementation thermique (chauffage, ECS, Refroidissement, électricité technique : éclairage, circulateurs, pompes, ventilateur...) nous intégrons les usages électro-domestiques suivants :

- lave-linge
- sèche-linge
- lave-vaisselle
- froid
- éclairage
- audio-visuel
- informatique/telecom
- circulateurs et communs
- ventilation
- nettoyage et bricolage
- cuisson

## V.1.2. ESTIMATIONS DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE DES BATIMENTS EN FIN D'OPERATION

### A. DEFINITION DES NIVEAUX DE PERFORMANCE ENERGETIQUE PAR TYPOLOGIE DE BATIMENT

L'évolution de la réglementation thermique décrite ci-dessus nous incite à définir des hypothèses de consommations énergétiques de référence cohérentes avec le « standard » de la RT 2012.

**De fait, elles correspondent à peu près à un niveau de performance BBC-RT 2005.**

D'autre part, la future réglementation thermique RT 2020 imposera le standard passif.

Nous avons donc comparé 2 niveaux de performance énergétique pour les futurs bâtiments :

- **RT 2012** : niveau minimal réglementaire depuis janvier 2013 pour tous les logements (équivalent d'un niveau BBC au sens de la RT 2005)
- **Passif** : Objectif de niveau réglementaire RT 2020 (NB : pour les équipements le niveau passif est défini par une consommation de chauffage inférieure de 30% à celle du niveau BBC.)

Les niveaux de performance énergétique permettent de déduire des consommations prévisionnelles pour chaque typologie de bâtiment, à partir de la SHON<sub>RT</sub>. Les hypothèses de surface sont rappelées ci-dessous :

- Collectif : SDP = 55m<sup>2</sup> ; SHON<sub>RT</sub> = 50m<sup>2</sup>
- Intermédiaires- MIG : SDP = 70m<sup>2</sup> ; SHON<sub>RT</sub> = 63m<sup>2</sup>
- Maison individuelles -lots libres : SDP = 150m<sup>2</sup> ; SHON<sub>RT</sub> = 135 m<sup>2</sup>

Pour estimer les consommations prévisionnelles en énergie finale en fonction du niveau de performance des bâtiments, nous appliquons des ratios de consommation conventionnels. Ces ratios ont été déterminés à partir d'une étude interne sur les calculs thermiques réglementaires RT 2005 et RT 2012 d'une fourchette de projets représentatifs. Des coefficients de majoration sont ensuite appliqués sur les postes chauffage et ECS pour se rapprocher des consommations réelles, en accord avec plusieurs études du bureau d'étude Enertech d'évaluation de la performance réelle de bâtiments BBC.

Ces études sont téléchargeables sur leur site internet : [www.enertech.fr](http://www.enertech.fr)

Le tableau suivant présente les hypothèses de consommations en fonction de la performance énergétique pour chaque typologie de bâtiments :

Typologie SHON <sub>RT</sub> (m <sup>2</sup> )	Collectifs 50 m <sup>2</sup>		MIG-Intermédiaires 63 m <sup>2</sup>		Individuels- lots libres 135 m <sup>2</sup>	
	BBC / RT 2012	Passif	BBC / RT 2012	Passif	BBC / RT 2012	Passif
chauffage	1 600	860	2 020	1 080	4 320	2 320
ECS	900	900	1 140	1 140	2 460	2 460
élec technique	440	420	560	520	1 220	1 140
élec domestique	1 260	1 000	1 580	1 260	3 380	2 700
cuisson	540	540	540	540	540	540
<b>Consommation totale (kWh<sub>ef</sub>/an)</b>	<b>4 740</b>	<b>3 720</b>	<b>5 840</b>	<b>4 540</b>	<b>11 920</b>	<b>9 160</b>

Figure 28 : Hypothèses de consommations prévisionnelles en fonction de la performance énergétique

NB : Les ratios au m<sup>2</sup> utilisés pour évaluer les besoins prennent en compte une couverture solaire de 50% des besoins en ECS.

Ces résultats sont présentés sous forme de graphiques :

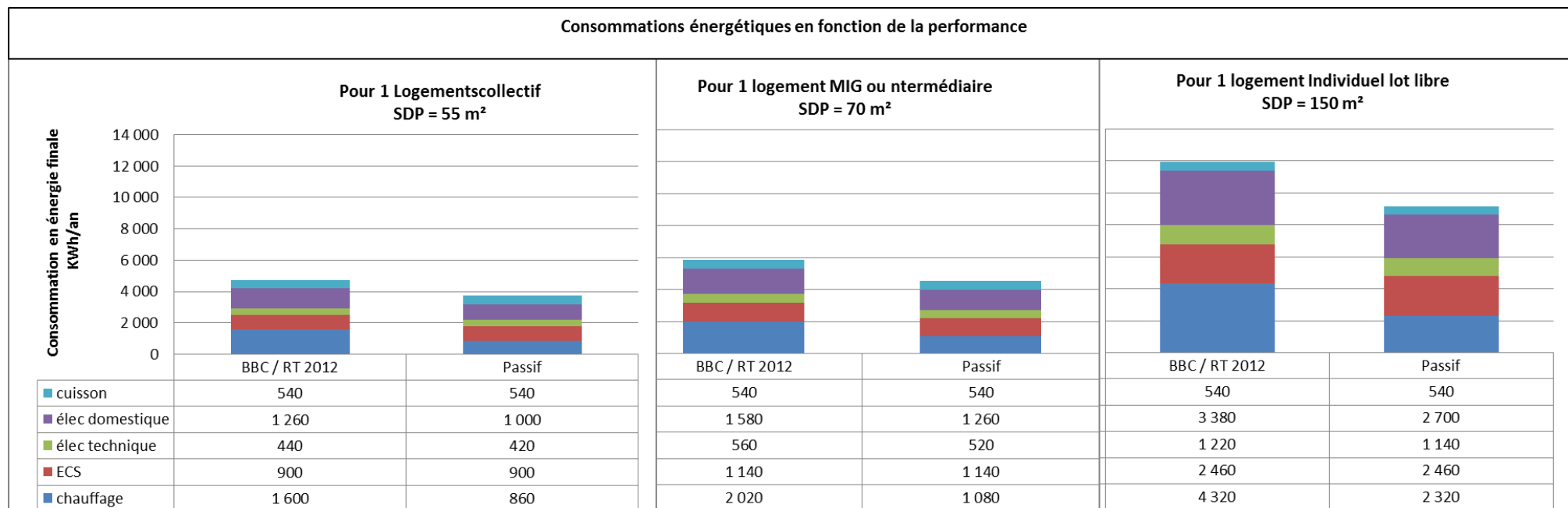


Figure 29: Comparaison des besoins énergétiques par usage en fonction de la performance et de la typologie

L'analyse de ces données permet de constater que :

- ✓ Les économies d'énergie réalisées entre le niveau RT 2012 et le niveau passif sont principalement dues à la diminution des consommations d'énergie pour le chauffage et dans une moindre mesure à une diminution des consommations électrodomestiques.
- ✓ L'électricité domestique (HIFI, électroménager...) et technique (auxiliaires de chauffage, ventilation...) représente une part importante de la consommation d'énergie: les efforts portant sur la conception du bâti (enveloppe notamment) n'ont qu'un impact limité sur les consommations globales, excepté pour les maisons individuelles où le chauffage représente près de la moitié des consommations énergétiques.
- ✓ Le logement individuel est un gros consommateur d'énergie par rapport aux autres typologies.



## B. CALCUL DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE EN FIN D'OPERATION

A partir des hypothèses de programmation et de consommation (CF Figure 8 : Hypothèses de typologies de logements considérées pour l'étude p. 17 et Figure 28 : Hypothèses de consommations prévisionnelles en fonction de la performance énergétique par typologie de bâtiment p. 45) nous évaluons la consommation en énergie finale de l'ensemble des nouveaux bâtiments du projet.

Le graphique suivant présente la consommation prévisionnelle d'énergie finale de l'ensemble du quartier en fin d'opération, par scénario de performance énergétique :

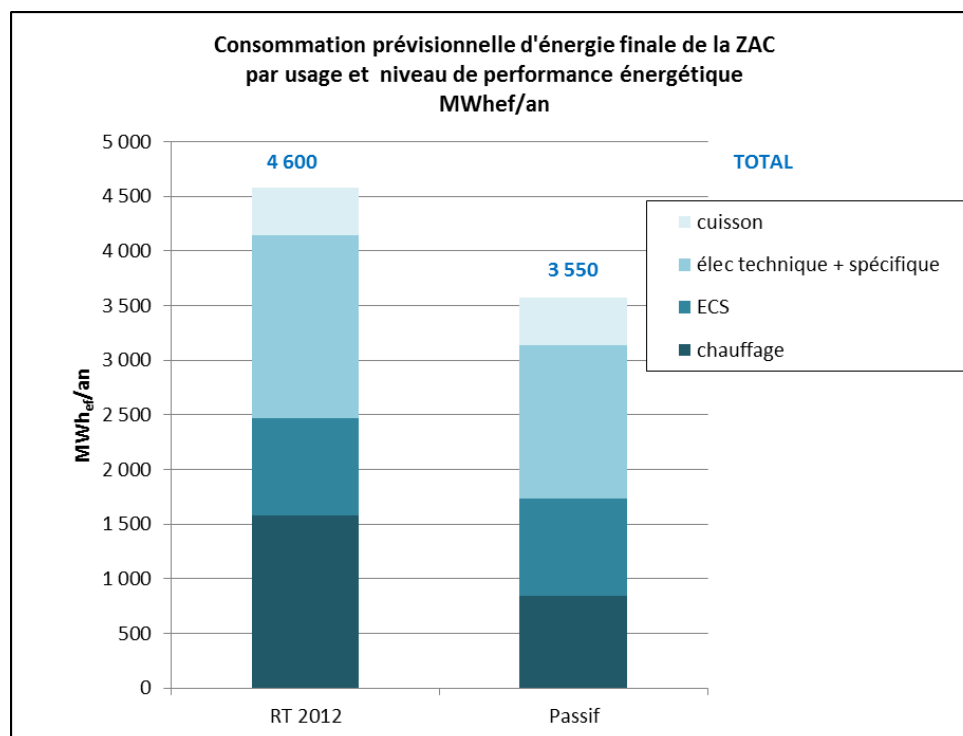


Figure 30 : Evaluation de la consommation d'énergie finale du quartier par scénario de performance énergétique

Ainsi, la consommation énergétique totale attendue pour les bâtiments serait de 4 600 MWh par an pour le scénario RT 2012 et 3 550 MWh/an pour le scénario passif. Le niveau passif permet de réduire de 23% les consommations de l'ensemble des bâtiments grâce à une diminution des consommations de chauffage et d'électricité technique et domestique.

En pratique, vue l'échelle de temps sur lequel les constructions de bâtiments vont s'étaler, il convient de considérer un niveau de performance énergétique entre le RT 2012 et le PASSIF. En effet, le phasage de l'opération va certainement s'étaler sur plusieurs années. La Commune de Saint-Malo et l'équipe de maîtrise d'œuvre urbaine ont convenu, compte tenu de l'évolution réglementaire, de définir un scénario de « phasage énergétique », défini comme suit :

- 2/3 des logements de niveau RT 2012 et 1/3 Passif sur le secteur Trois Cheminées,
- 1/4 des logements de niveau RT 2012 et 3/4 Passif sur le secteur Bas Chemin
- 100% des logements Passifs sur le secteur Pont

La graphique suivant représente la consommation attendue par secteur et par scénario de performance énergétique du quartier :

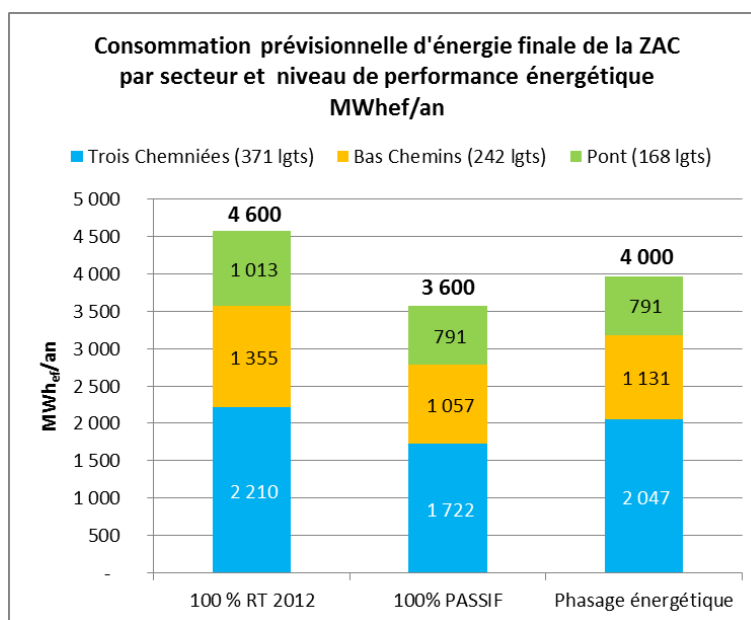


Figure 31: Evaluation de la consommation d'énergie finale du quartier par secteur

Le secteur Trois cheminée est le plus consommateur d'énergie : il représente 48% des consommations. En effet, c'est également le secteur comprenant le plus grand nombre de logements.

#### ATTENTION :

**Dans le cas où la collectivité et l'aménageur souhaiteraient introduire un niveau de performance énergétique plus exigeant que le niveau réglementaire RT 2012, il conviendrait de prendre comme référence :**

- ✓ soit les labels de performance énergétique de la RT 2012 en cours de définition ;
- ✓ soit le niveau de performance Passivhaus allemand ;
- ✓ soit le niveau de performance Minergie Suisse.

Fixer un niveau de performance plus exigeant impliquerait également :

- ✓ de définir la méthodologie de justification des performances atteintes,
- ✓ de définir le type de calcul thermique à exiger.

Dans le cas où la collectivité et l'aménageur ne voudraient pas imposer un choix en début d'opération, il serait possible :

- ✓ d'envisager une progressivité de la performance exigée par tranche de réalisation (introduction dès le départ de cette progressivité dans le cahier des prescriptions environnementales pour éviter une mise à jour régulière) ;
- ✓ d'envisager des niveaux de performance énergétique différents pour les maisons individuelles et les collectifs.

Ce positionnement de la collectivité reste à définir.

## V.2. PHASE 2 : APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE DU QUARTIER

Après avoir estimé les consommations énergétiques attendues sur l'ensemble du quartier, il convient d'étudier l'approvisionnement en énergie qui permettrait de répondre à ces besoins.

Nous avons donc étudié 5 scénarios, pour chaque scénario de performance énergétique sur l'ensemble des bâtiments du quartier.

Le tableau suivant décrit les scénarios étudiés :

	Chauffage	Production d'ECS	Energie d'appoint	Remarque
<b>S0 : Gaz – ballon thermodynamique</b>	Gaz naturel	Gaz naturel (Collectif) ou Ballon thermodynamique COP <sub>moyenannuel</sub> = 2	Electricité	Référence Chaudière à condensation
<b>S1 : Gaz - solaire</b>	Gaz naturel	Solaire 40%	Electricité	Chaudière à condensation
<b>S2 : Bois granulés</b>	bois	Bois (collectifs) ou Ballon thermodynamique COP <sub>moyenannuel</sub> = 2 (individuel)	Electricité	Chaufferie collective granulés OU Poêle granulés appoint élec (individuels)
<b>S3: PAC sur sondes géothermiques</b>	Pompe à chaleur sur sondes géothermique	électrique		
<b>S4 PAC air/eau</b>	Pompe à chaleur air/eau COP <sub>moyenannuel</sub> = 2,8	Pompe à chaleur air/eau	Electrique	

*NB : pour les bâtiments de logements collectifs les solutions étudiées sont systématiquement en chaufferie collective.*

Pour le scénario 1, le COP<sup>1</sup>, traditionnellement de 2,67, est volontairement abaissé à 2 en accord avec une étude Ademe mettant en évidence les performances réelles des systèmes de chauffes eau thermodynamiques.

L'étude de ces scénarios à l'échelle du quartier va permettre de les comparer sous l'angle :

- Des consommations en énergie finale
- De l'impact environnemental (émissions de CO<sub>2</sub>)
- Du coût de fonctionnement la première année: les coûts sont globalisés à l'échelle du quartier et intègrent les abonnements

<sup>1</sup> COP : Coefficient de Performance, représente la performance énergétique de la pompe à chaleur. Par exemple un COP de 3 signifie que pour 1 kWh consommé le système (Pompe à chaleur) en restitue 3

### V.2.1. COMPARAISON DES CONSOMMATIONS EN ENERGIE FINALE

Les graphiques suivants permettent de comparer, pour chaque scénario, la consommation en énergie finale attendue sur le quartier :

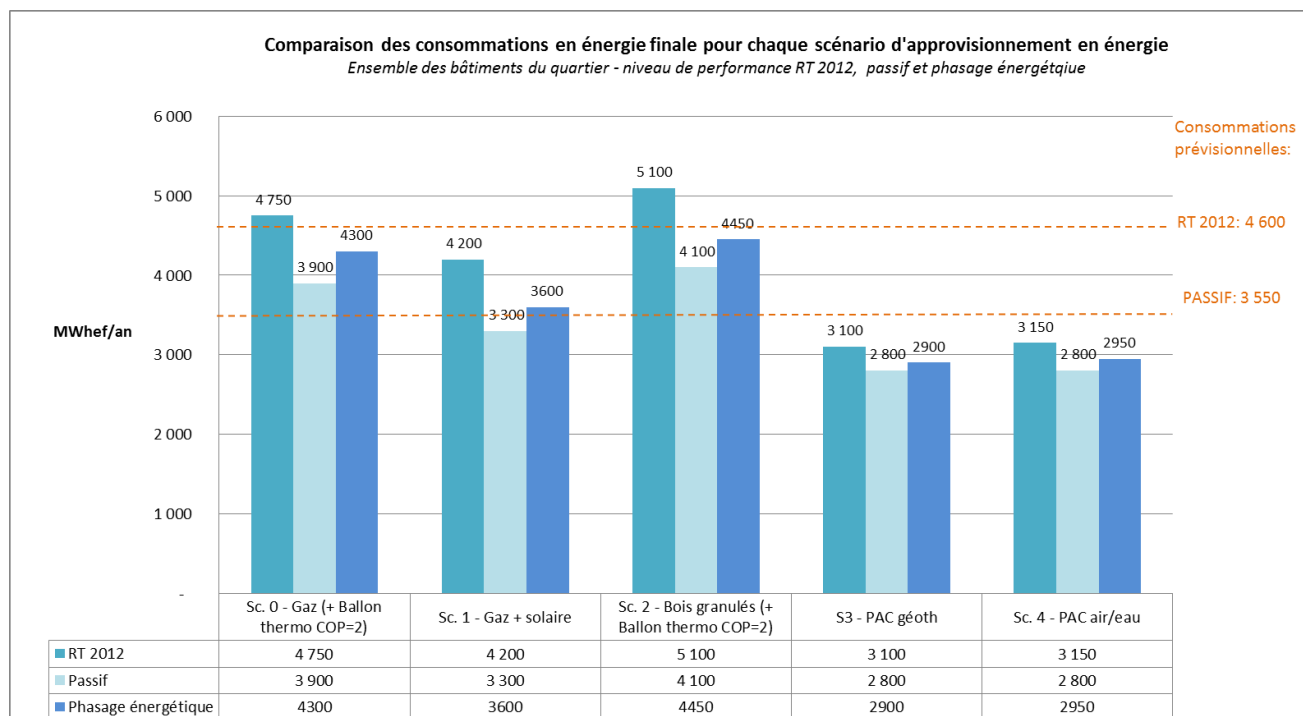


Figure 32 : Comparaison de la consommation d'énergie finale du projet par scénario d'approvisionnement énergétique (niveau RT 2012)

Cette consommation d'énergie est modulée par rapport aux valeurs de 4 600 MWh/an, 4 000 MWh/an et 3 550 MWh/an calculées en Phase 1 car ces scénarios d'approvisionnement en énergie intègrent de l'énergie gratuite (solaire, énergie du sol), des notions de rendement ou d'appoint.

Le scénario le moins énergivore est le *S3-PAC géothermique*: ce scénario utilise l'énergie gratuite du sol pour la production de chauffage et d'ECS. Le scénarios bénéficie de la récupération de chaleur du ballon thermodynamique pour la production d'ECS uniquement pour les logements individuels.

Le scénarios 2 utilise le solaire pour la production d'ECS mais le chauffage ne bénéficie d'aucune contribution gratuite.

**Ces comparaisons montrent qu'à niveau de besoin identique, les consommations énergétiques peuvent varier de plus 11% à moins 28% (par rapport au niveau de consommation évalué en phase 1 soit 4 600 MWh/an en RT 2012 ou 3 550 MWh/an en Passif et 4 000 MWh/an pour un phasage énergétique du niveau de performance), en fonction du type d'énergie choisi pour approvisionner les bâtiments.**

Le graphique suivant montre la répartition de la consommation d'énergie finale par secteur du quartier:

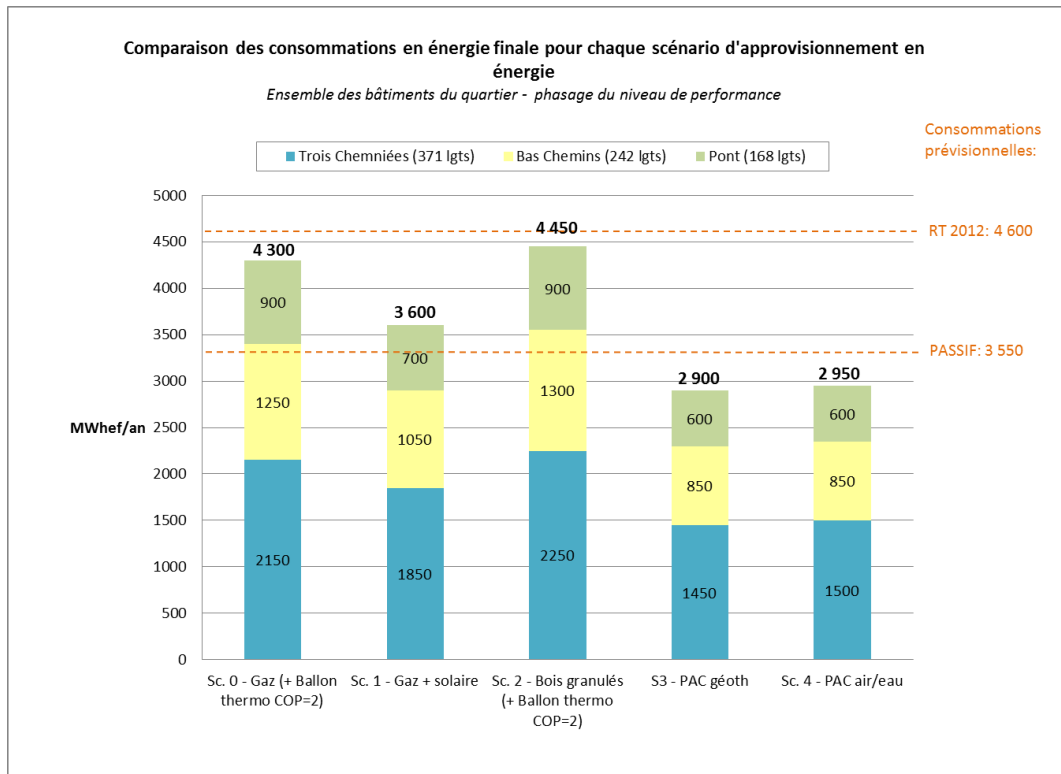


Figure 33: consommation d'énergie finale par scénario d'approvisionnement et par secteur -

Le secteur Trois Cheminées reste le plus énergivore, du fait du nombre de logements plus importants.

Au-delà des consommations d'énergie finale, il importe de s'intéresser à d'autres facteurs qui vont avoir un impact dans les choix stratégiques d'approvisionnement énergétique : **les coûts de fonctionnement, l'impact environnemental et la cohérence avec la politique énergétique bretonne.**

## V.2.2. COMPARAISON DES COÛTS D'INVESTISSEMENT

Pour chaque scénario envisagé en logement individuel et collectif, nous avons estimé l'investissement couvrant les appareils de production de chaleur pour le chauffage et l'ECS, d'émission et de distribution de la chaleur et le système de ventilation. Nous avons considéré un système de ventilation mécanique contrôlée simple flux type Hygro B pour tous les scénarios.

Les graphiques suivant présentent ces estimations :

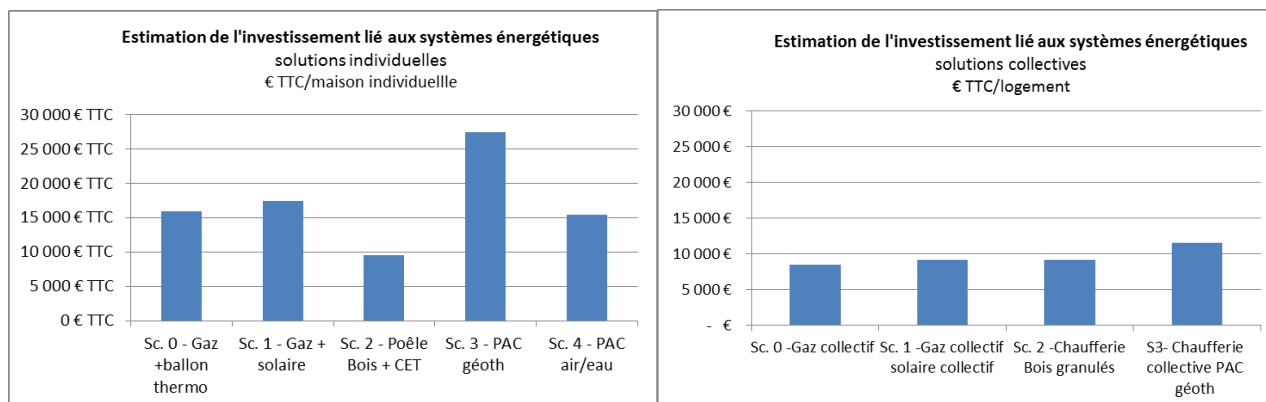


Figure 34: Comparaison des coûts d'investissement

Suivant le scénario d'approvisionnement en énergie, l'investissement lié aux systèmes énergétiques (production + distribution de chauffage et ECS, ventilation) varie du simple au double en logement individuel. La variation est plus légère en logement collectif.

Le Scénario 2 comprenant un poêle à bois permet une économie des systèmes de distribution et d'émission. Ceci explique leur moindre coût par rapport aux autres scénarios.

Le scénario le plus cher, la pompe à chaleur sur sondes géothermiques, demande un investissement supplémentaire non négligeable pour la réalisation des forages.



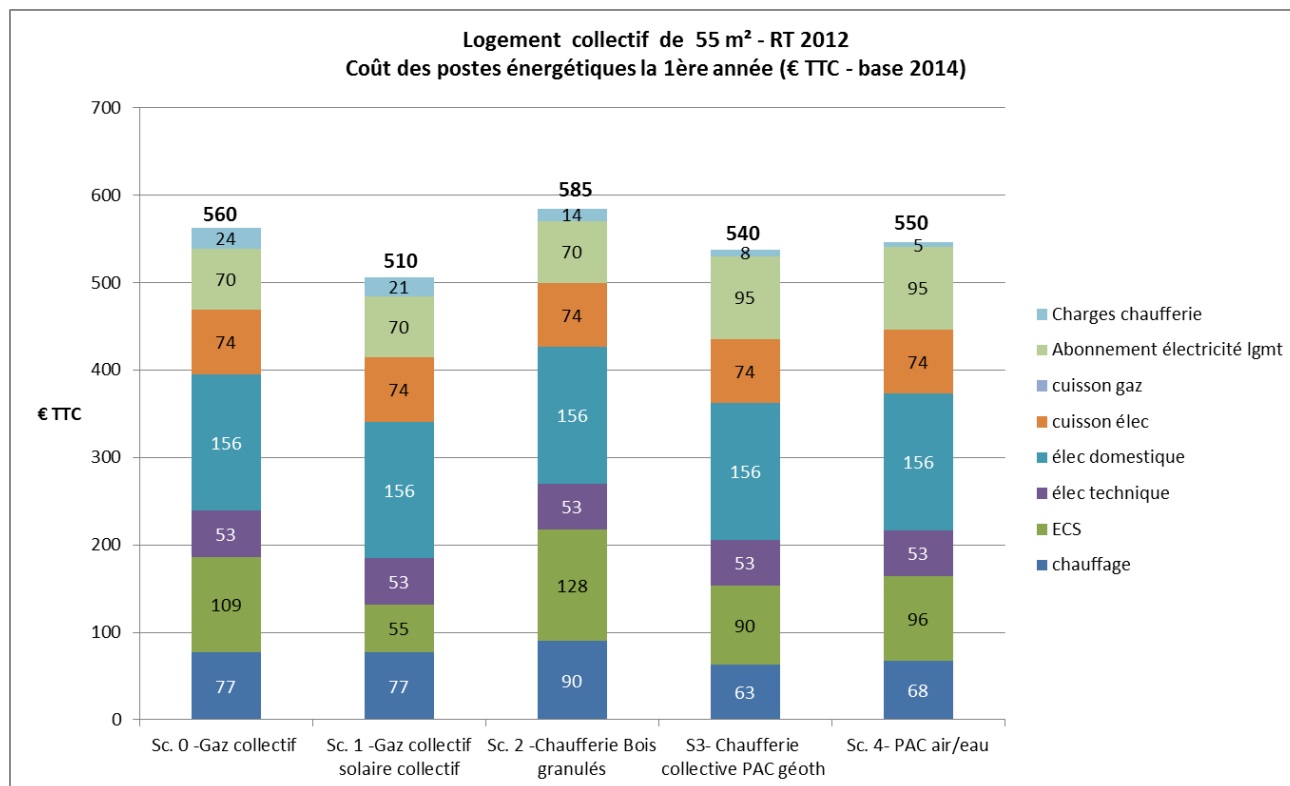
## V.2.3. COMPARAISON DES COÛTS DE FONCTIONNEMENT LA PREMIERE ANNEE

Les hypothèses qui ont permis d'évaluer les coûts de fonctionnement la 1<sup>ère</sup> année pour chaque scénario sont détaillées en annexe p. 119

Le tableau suivant présente les coûts annuels de fonctionnement TTC par typologie de logement, pour chaque scénario d'approvisionnement d'énergie étudié :

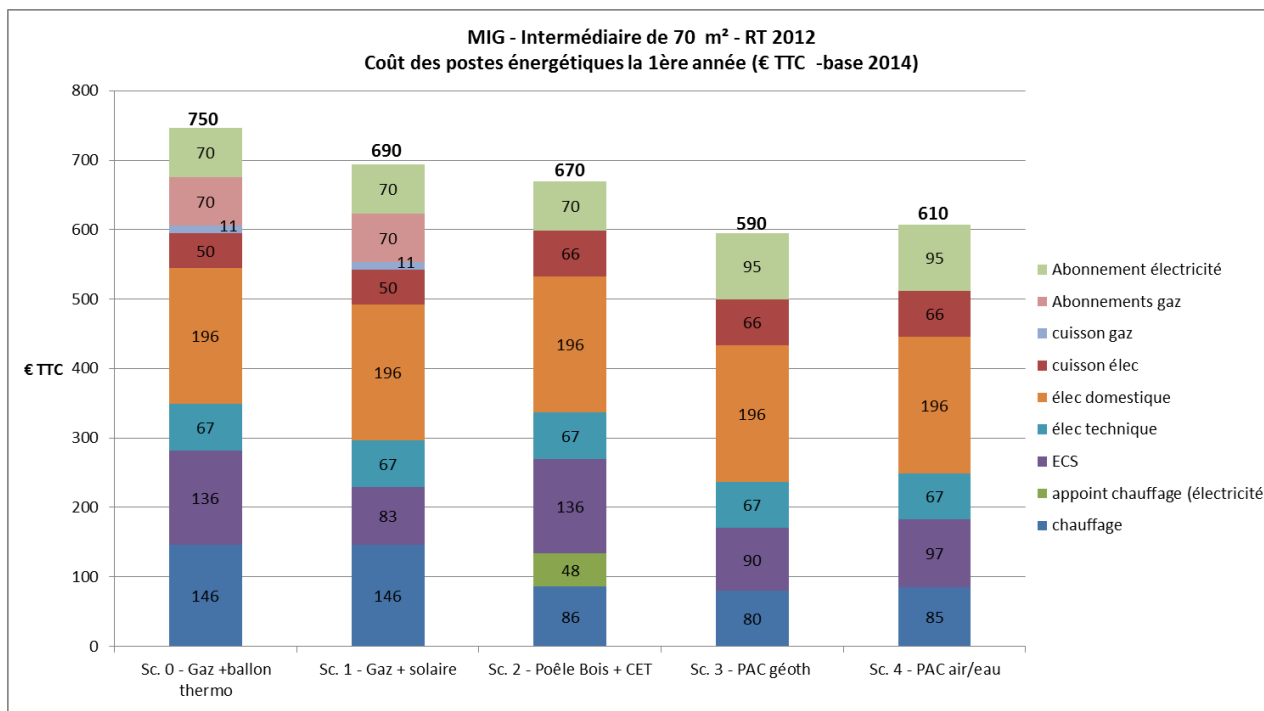
Coût annuel 2014 (énergie + abonnement) niveau RT 2012	Sc. 0 - Gaz (+ Ballon thermo COP=2)	Sc. 1 - Gaz + solaire	Sc. 2 - Bois granulés (+ Ballon thermo COP=2)	Sc. 3 - PAC géoth	Sc. 4 - PAC air/eau
<i>Collectif</i>	560 € TTC	510 € TTC	585 € TTC	540 € TTC	550 € TTC
<i>Maison individuelle groupées &amp; intermédiaires</i>	745 € TTC	695 € TTC	670 € TTC	595 € TTC	605 € TTC
<i>Individuels lots libres</i>	1 360 € TTC	1 245 € TTC	1 280 € TTC	1 090 € TTC	1 115 € TTC

Le graphique suivant présente le détail de la répartition des coûts de fonctionnement annuels TTC pour un logement collectif de 55 m<sup>2</sup> RT 2012:



En fonction du scénario d'approvisionnement en énergie, le coût de fonctionnement d'un logement collectif se situe entre 510 € et 585 € TTC la première année.

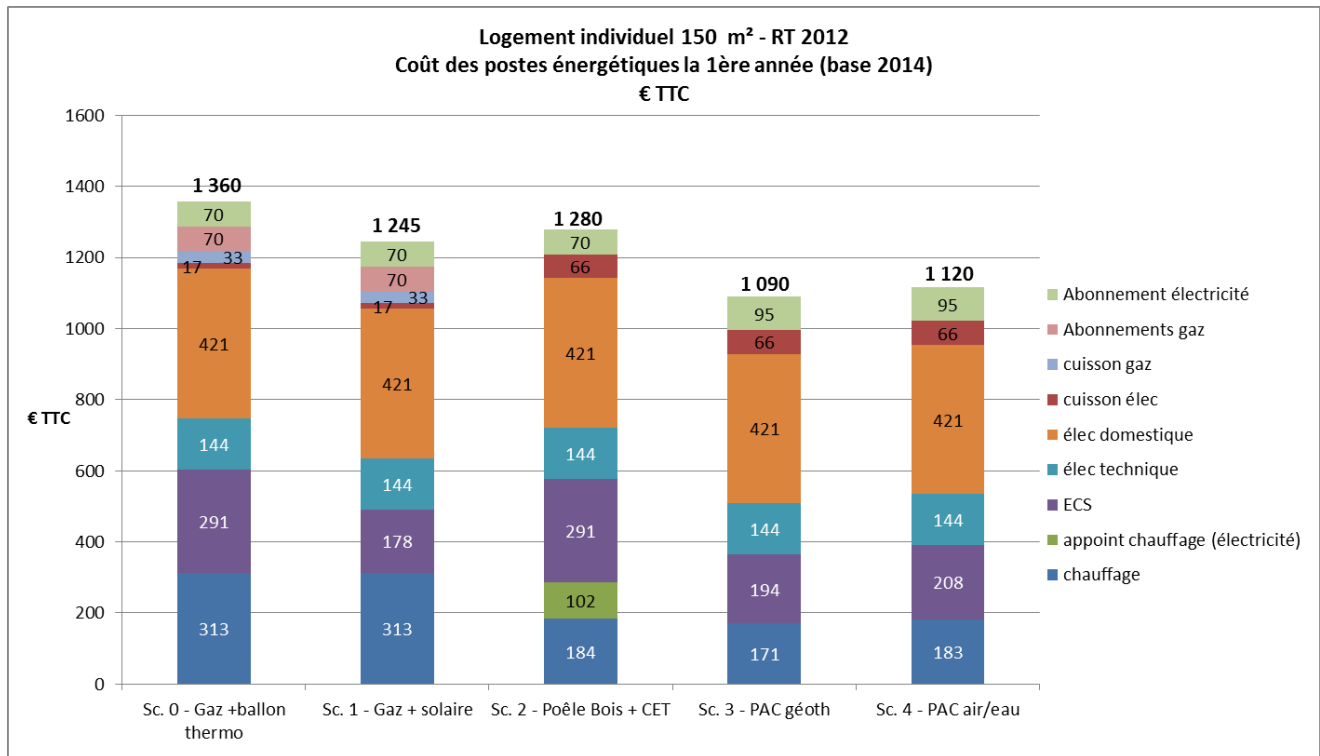
Le graphique suivant présente le détail de la répartition des coûts de fonctionnement annuels TTC pour un logement individuel groupé ou intermédiaire de 70 m<sup>2</sup> RT 2012:



En fonction du scénario d’approvisionnement en énergie, le coût de fonctionnement d’une maison individuelle groupée ou d’un logement intermédiaire de 70 m<sup>2</sup> se situe entre 590 € et 750 € TTC la première année.

NB : la différence de coût pour la production d’ECS entre le S1 et le S2 est liée à l’énergie d’appoint, électricité pour le S0 et gaz pour le S2. En effet, le prix du kilowattheure gaz est bien inférieur au à celui du kilowattheure électrique.

Le graphique suivant présente le détail de la répartition des coûts de fonctionnement annuels TTC pour un logement individuel lot livre de 150 m<sup>2</sup> RT 2012:



En fonction du scénario d’approvisionnement en énergie, le coût de fonctionnement d’une maison individuelle de 150 m<sup>2</sup> se situe entre 1 090 € et 1 360 € TTC la première année.

Plusieurs constats peuvent être tirés de ces graphiques :

- A besoins énergétiques identiques, la consommation énergétique varie en fonction des systèmes énergétiques choisis (rendement des systèmes, énergie gratuite grâce au solaire ou récupération de chaleur)
- L’investissement dans les systèmes énergétiques (génération, distribution, émission+ VMC) présente une plage de variation par rapport à une solution de référence à environ 15 000 € TTC en logement individuel et 10 000 € TTC par logement en collectif. Les solutions mobilisant les énergies renouvelables ne sont pas nécessairement les plus onéreuses.
- Les coûts de fonctionnement pour un niveau RT 2012 varient jusqu’à -50 € TTC par an par rapport à une référence à 560 € TTC en logement collectif ou intermédiaire ou maison individuelle groupée (abonnements compris) ; jusqu’à -270 € TTC en maison individuelle. Le double abonnement gaz+ électricité place les solutions gaz parmi les solutions les moins favorables.
- La première année de fonctionnement les scénarios intégrant une Pompe à chaleur (sur sondes géothermiques ou air/eau) sont les plus économiques, malgré le prix élevé du kWh électrique : en effet une grande partie de l’énergie consommée est gratuite
- La première année de fonctionnement le scénario de référence S0 Gaz + ballon thermodynamique est le plus onéreux

#### V.2.4. COMPARAISON DES COÛTS DE FONCTIONNEMENT ACTUALISES SUR 20 ANS

L'étude des coûts de fonctionnement la première année ne reflète pas les évolutions futures du prix des énergie, notamment la forte inflation des énergies fossiles. C'est pourquoi nous étudions les coûts de fonctionnement sur 20 ans (durée de vie moyenne des systèmes de production de chauffage et d'ECS) en intégrant les coûts de maintenance annuels et en appliquant des taux d'inflation.

La prévision du coût de l'énergie dans les années futures est un exercice difficile, Selon l'ADEME compte-tenu de l'augmentation de la demande, il est envisageable de prévoir une augmentation de 3% du coût de l'énergie hors inflation par an jusqu'en 2020 puis d'observer une croissance exponentielle à partir de cette date.

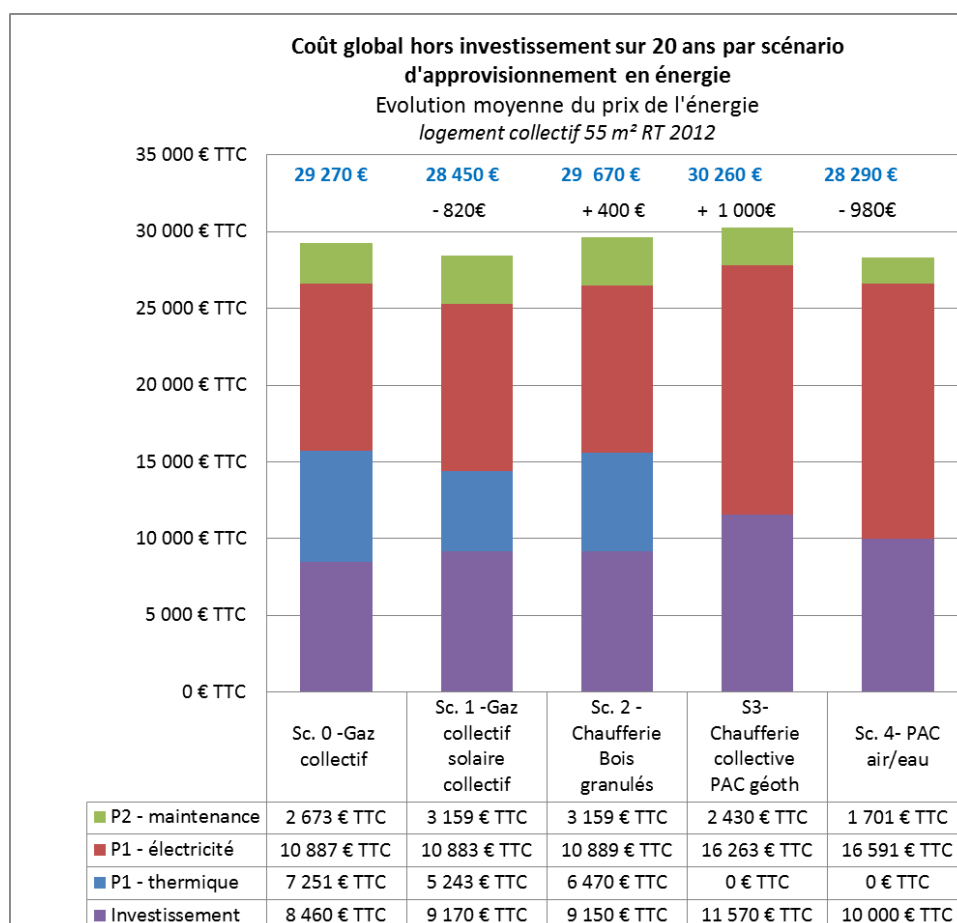
En 5 ans, le coût moyen de l'électricité a augmenté de 18,6 % soit une moyenne de 3,7 %/an. Les augmentations ont été plus importantes en 2013 et 2014 avec respectivement une augmentation de 6,8 % et 5,6 %/an. (source base de données Pégase, disponible sur le site du ministère du développement durable)

Les taux d'inflation pris en compte sont les suivants :

Energie	Taux d'inflation
Energie fossile	6%
Electricité	4%
Bois	4%
maintenance	2%

- **Logement collectif**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, hors investissement, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour un logement collectif de 55m<sup>2</sup>:



En logement collectif, l'analyse sur 20 ans montre des écarts de coût relativement faibles entre les scénarios (de - 1 000€ TTC à + 1 000€ TTC en 20 ans)

Les scénarios S4-PAC aéro. et S1-solaire sont les plus avantageux économiquement, même si l'économie dégagée reste faible.

NB: les taux d'inflation considérés peuvent changer les conclusions. Un taux d'inflation plus important de l'électricité pénaliserait les scénarios PAC

Le scénario 100% gaz est le plus onéreux car la forte augmentation du prix des énergies fossiles impacte directement le coût annuel.

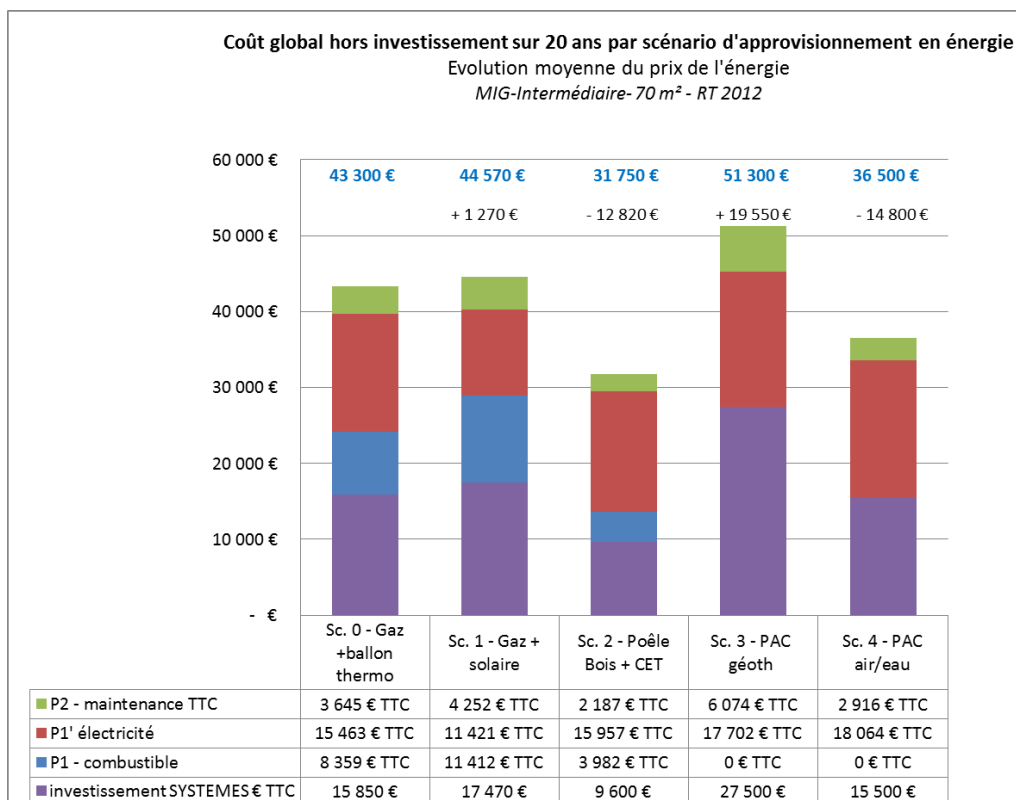
Approche sur le temps de retour :

Par logement	Sc. 0- 100% Gaz	Sc. 1- Gaz + Solaire	Sc. 2- Chaufferie Bois granulés	Sc. 3-PAC Géoth	Sc. 4- PAC Air/Eau
<b>Estimation investissement initial systèmes énergétiques (€ TTC)</b>	<b>8 450 €</b>	<b>9 150 €</b>	<b>9 150 €</b>	<b>11 550 €</b>	<b>10 000 €</b>
<b>Ecart coût système / Sc. 0</b>		700 €	700 €	3 100 €	1 550 €
<b>Coût de l'énergie (dont abonnement) la 1<sup>ère</sup> année de fonctionnement</b>	673 € TTC	638 € TTC	713 € TTC	646 € TTC	627 € TTC
<b>Temps de retour brut (TRB)</b>		20 ans	infini	117 ans	34 ans
<b>Temps de retour actualisé – avec inflation (TRA)</b>		13 ans	23 ans	24 ans	16 ans

Le scénario S2 gaz + solaire est rentable au bout de 13 ans selon les hypothèses de taux d'inflation considérées.

• **Maison individuelle groupée et logement intermédiaire**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, hors investissement, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour une maison individuelle groupée ou un logement intermédiaire:



L'étude du coût global sur 20 ans en prenant en compte l'évolution du prix de l'énergie montre que les scénarios bois granulés et PAC sont les plus économiques. Ils permettent de dégager entre 12 820 €TTC et 14 800 € TTC sur 20 ans.

Les scénarios intégrant du gaz sont les plus onéreux. Le scénario Gaz + ECS solaire (appoint gaz) est le plus cher car la forte augmentation du prix des énergies fossiles impacte directement le coût annuel.

Approche sur le temps de retour :

Par logement	Sc. 0- 100% Gaz	Sc. 1- Gaz + Solaire	Sc. 2- Chauffage Bois granulés	Sc. 3-PAC Géoth	Sc. 4- PAC Air/Eau
<b>Estimation investissement initial systèmes énergétiques (€ TTC)</b>	<b>16 000 € TTC</b>	<b>17 500 € TTC</b>	<b>9 500 € TTC</b>	<b>27 500 € TTC</b>	<b>15 500 € TTC</b>
<b>Ecart coût système / Sc. 0</b>		1 500 € TTC	-6 500 € TTC	11 500 € TTC	-500 € TTC
<b>Coût de l'énergie (dont abonnement) la 1<sup>ère</sup> année de fonctionnement</b>	897 € TTC	869 € TTC	760 € TTC	844 € TTC	727 € TTC
<b>Temps de retour brut (TRB)</b>		54 ans	0 ans	221 ans	0 ans
<b>Temps de retour actualisé – avec inflation (TRA)</b>		infini	0 ans	32 ans	0 ans

Le scénario S2 poêle bois est directement rentable sont directement rentables par rapport à la solution de référence Gaz + ballon thermodynamique.

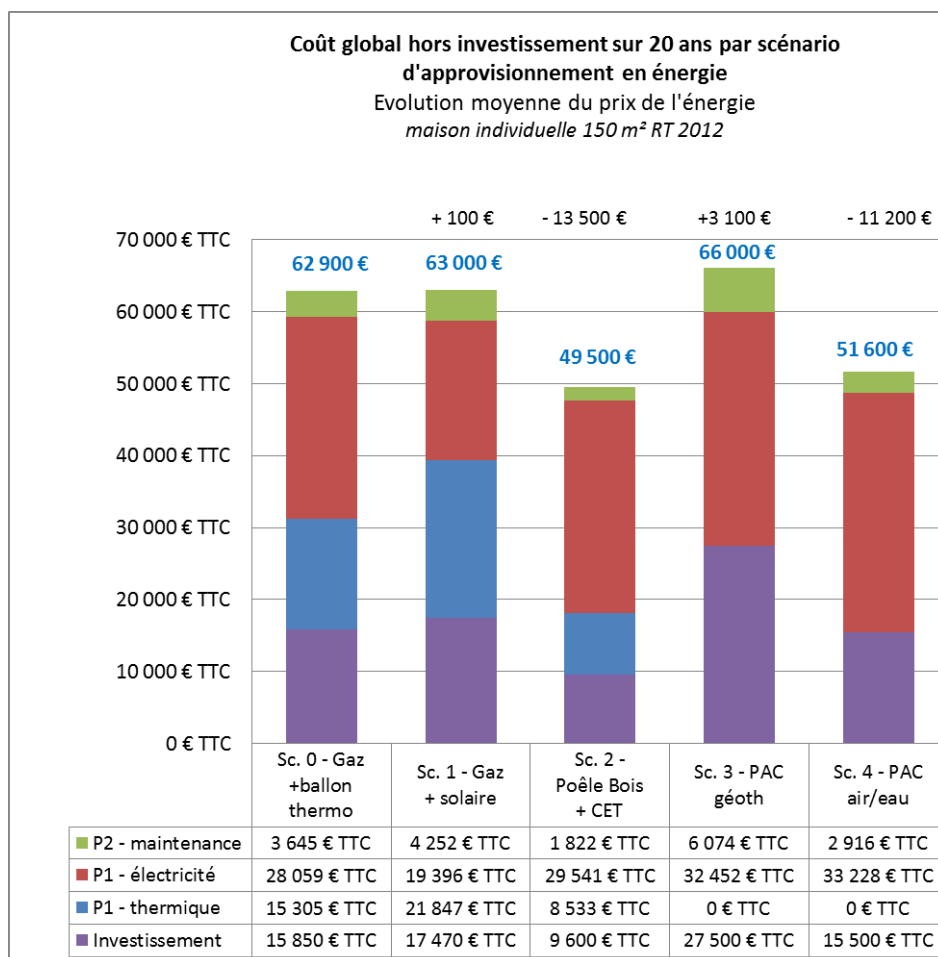


Le scénario S3 PAC sur sondes géothermiques est rentable au bout de 32 ans selon les hypothèses de taux d'inflation prises.

NB : pour un niveau passif, les écarts entre scénarios seraient minisés et les temps de retour plus importants, du fait de la plus faible consommation d'énergie

• **Logement individuel lot libre**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour une maison individuelle de 150 m<sup>2</sup>:



Approche sur le temps de retour :

Par logement	Sc. 0- 100% Gaz	Sc. 1- Gaz + Solaire	Sc. 2- Chaufferie Bois granulés	Sc. 3-PAC Géoth	Sc. 4- PAC Air/Eau
<b>Estimation investissement initial systèmes énergétiques (€ TTC)</b>	<b>16 000 € TTC</b>	<b>17 500 € TTC</b>	<b>9 500 € TTC</b>	<b>27 500 € TTC</b>	<b>15 500 € TTC</b>
<b>Ecart coût système / Sc. 0</b>		1 500 € TTC	-6 500 € TTC	11 500 € TTC	-500 € TTC
<b>Coût de l'énergie (dont abonnement) la 1<sup>ère</sup> année de fonctionnement</b>	1 487 € TTC	1 420 € TTC	1 335 € TTC	1 340 € TTC	1 236 € TTC
<b>Temps de retour brut (TRB)</b>		17 ans	0 ans	68 ans	0 ans
<b>Temps de retour actualisé – avec inflation (TRA)</b>		20 ans	0 ans	25 ans	0 ans

Le scénarios S2 poêle bois est directement rentable par rapport à la solution de référence Gaz + ballon thermodynamique.

Le scénario S3 PAC sur sondes géothermiques + ECS solaire est rentable au bout de 27 ans selon les hypothèses de taux d'inflation prises.

Le coût annuel (énergie et maintenance) du scénario S1 devient supérieur à celui de la référence S0 au bout de 24 ans, certainement lié au taux d'inflation du gaz plus important que celui de l'électricité. En revanche, au bout de 20 ans, le cumul des économies dégagées est supérieur à 1 500€ ce qui explique sa rentabilité à 20 ans.

### V.2.5. COMPARAISON DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

L'impact sur l'effet de serre de l'opération peut être déterminé en calculant les quantités équivalentes de CO<sub>2</sub> émises par les bâtiments en fonction des énergies utilisées. Les hypothèses permettant de calculer les émissions de CO<sub>2</sub> sont détaillées en Annexe.

Le graphique suivant compare par usage et pour chaque scénario les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> évaluées selon nos hypothèses pour l'ensemble des logements du projet:

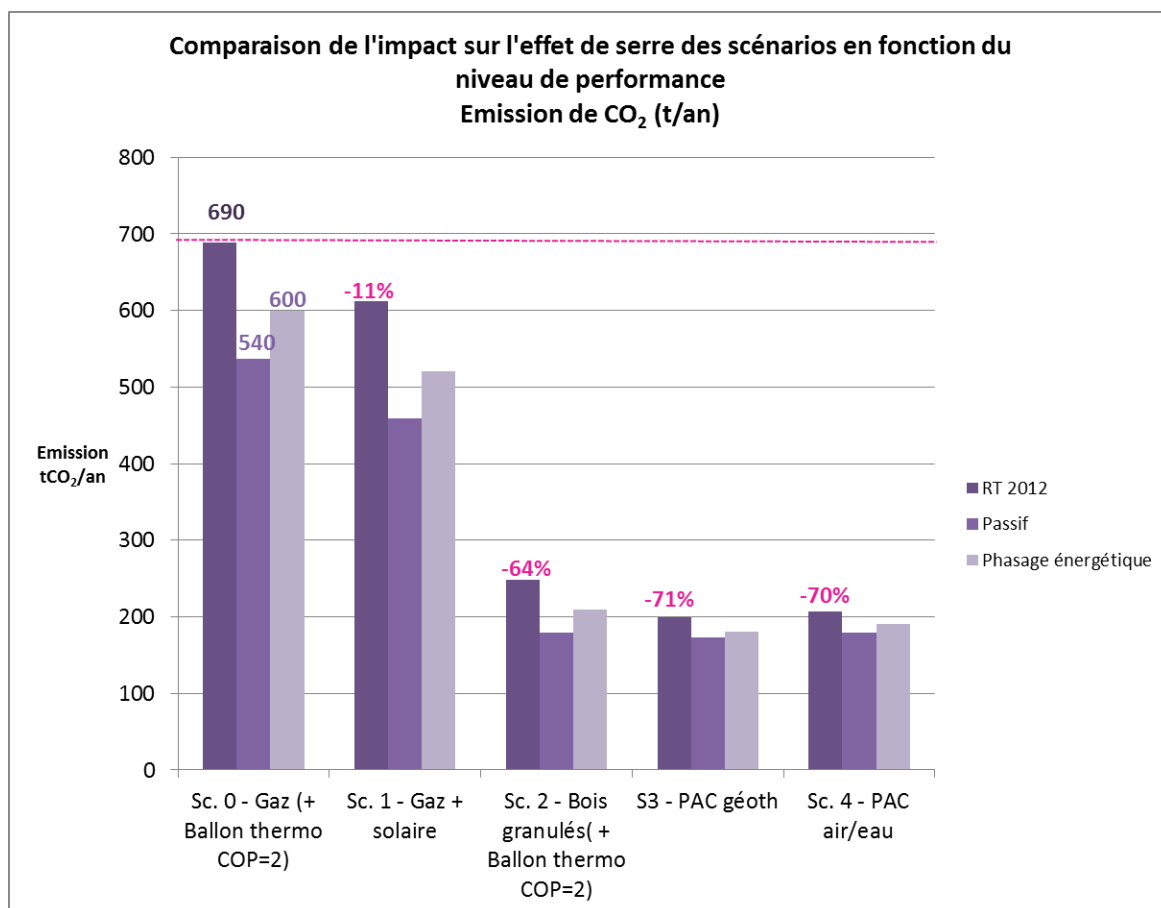


Figure 35: Emissions de CO<sub>2</sub> du projet

Le scénario de référence mobilisant le gaz naturel émettrait près de **690 t de CO<sub>2</sub>/an** pour l'ensemble des logements du quartier selon nos hypothèses.

Les autres solutions permettent de réduire les émissions jusqu'à **-71% par rapport à la référence**.

L'appoint de la production ECS est électrique pour le scénario 0, uniquement pour les logements individuels (MIG, intermédiaires et MI), alors qu'il est au gaz pour toutes les typologies dans le scénario 1. Bien que le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> du gaz naturel soit supérieur à celui de l'électricité (CF. Annexe 5 : Emissions de CO<sub>2</sub> p. 121 ), le scénario 1 est plus émetteur de CO<sub>2</sub> du fait de la proportion importante de logement collectifs pour lesquels la production d'ECS ne bénéficie pas d'apports gratuits.

Les scénarios S2, S3 et S4 sont donc très performants du point de vue de la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le graphique suivant montre la répartition des émissions de gaz à effet de serre par secteur du quartier, pour le scénario de performance « phasage énergétique » :

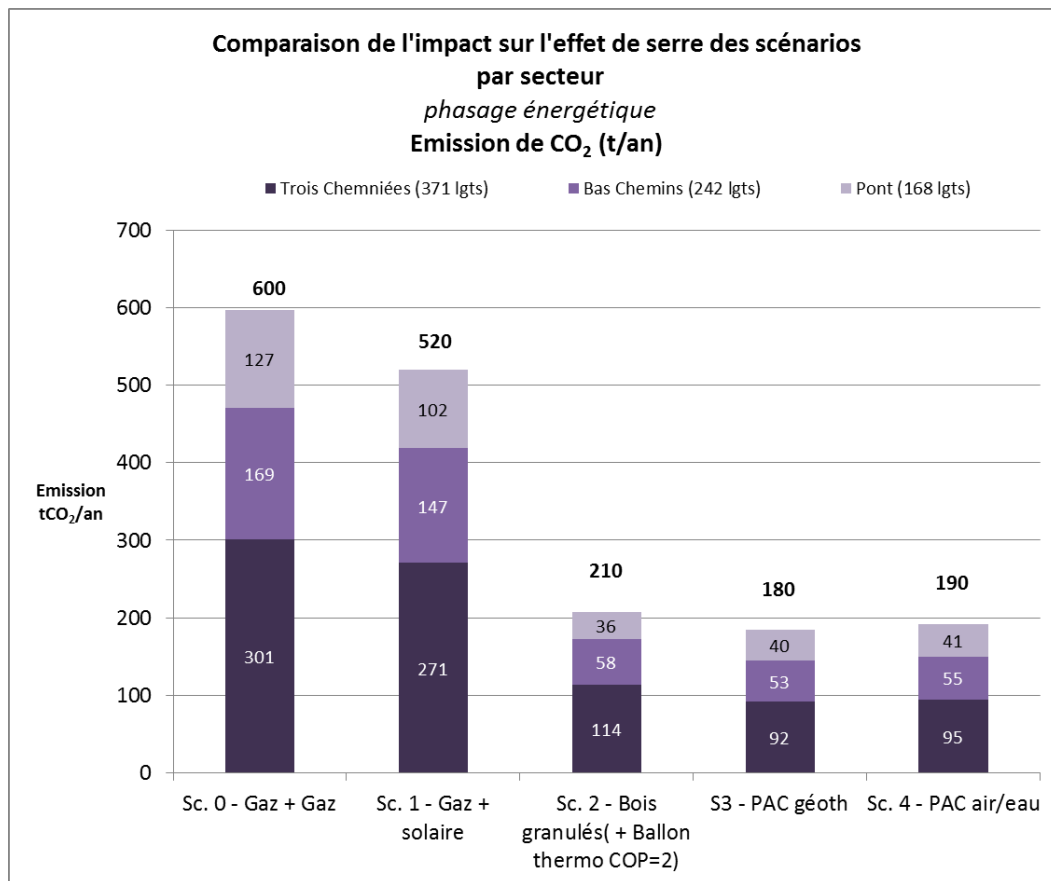


Figure 36: Emissions de CO<sub>2</sub> par secteur – phasage énergétique

Quel que soit le scénario d’approvisionnement en énergie, le secteur 3 Cheminées est plus émetteur de gaz à effet de serre à cause du nombre de logements plus important que sur les autres secteurs.

Le tableau suivant présente le nombre de km équivalent aux émissions annuelles de CO<sub>2</sub> du quartier pour le scénario de performance « phasage énergétique » :

	S0- 100% Gaz ballon thermo	S1- Gaz + solaire	S2- poêle Bois + Solaire	S3-PAC géoth ECS solaire	S4- PAC air/eau
<b>Emissions annuelles (tCO<sub>2</sub>/an)</b>	600	520	210	180	190
Tonnes de CO <sub>2</sub> évitées annuellement		80	390	420	410
<i>Ecart à la référence</i>		13%	65%	69%	68%
Equivalent annuels AR journalier (220 j) Saint- Malo/Rennes	26 700	23 250	9 300	8 250	8 550
Equivalent nombre d'aller- retour évités		3 450	17 400	18 450	18 150

Ainsi, les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> de l'ensemble des logements du quartier pour le scénario S0 Gaz + ballon thermodynamique correspondent aux émissions de 36 700 trajets aller/retour Saint-Malo– Rennes.

*Il est important de préciser que cette approche n'inclut pas l'impact sur l'effet de serre des éventuelles fuites de fluide frigorigène des pompes à chaleur pour les scénarios 3 et 4. Certains fluides frigorigènes ont un pouvoir de réchauffement climatique plus de 4 000 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub> !*

#### V.2.6. COMPATIBILITE AVEC LA DEPENDANCE ELECTRIQUE DE LA BRETAGNE

Le dernier élément de comparaison concerne la compatibilité de systèmes étudiés avec la situation de péninsule électrique de la Bretagne.

Le contexte a été décrit dans la première partie de ce rapport.

Le pacte électrique breton fait une recommandation sur l'utilisation de l'électricité :

##### **Extrait du Pacte électrique Breton :**

###### **L'orientation des choix d'investissements et d'équipements**

Les signataires s'engagent à 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. Les collectivités seront sollicitées pour moduler les critères d'attribution de leurs aides (éco-conditionnalité).

Il convient donc d'éviter de promouvoir le recours à des systèmes énergétiques mobilisant fortement l'électricité pour les besoins en chauffage et en production d'ECS pour éviter les phénomènes de pointe en hiver.

Cette exigence de cohérence avec le Pacte électrique breton invite à écarter les solutions utilisant les pompes à chaleur, sauf si elles sont installées avec des précautions spécifiques : en relève de chaudière pour couvrir les besoins en mi-saison par exemple.

### V.2.7. SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DES SCÉNARIOS D'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE

Les résultats des approches énergétiques, économiques environnementales et en lien avec le contexte régional sont synthétisés de manière qualitative dans les tableaux ci-dessous pour les logements collectifs et individuels :

Le code couleur traduit la réponse du scénario aux critères proposés

Scénario étudié	Critère	Faible consommation en Energie finale	Coût d'investissement	Coût de fonctionnement la 1ère année	Coût Global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne
S0 : Gaz (+ ballon thermodynamique)		Jaune	Vert	Jaune	Vert	Rouge	Vert
S1: Gaz + ECS solaire		Jaune	Vert	Vert	Vert	Jaune	Vert
S2: Bois granulés (+ ballon thermodynamique)		Jaune	Vert	Jaune	Vert	Vert	Vert
S3 : PAC géothermie		Vert	Jaune	Vert	Jaune	Vert	Rouge
S4- PAC air/eau		Vert	Vert	Vert	Vert	Vert	Rouge

Figure 37 : Evaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critère environnementaux et économiques- logement collectif

Ainsi, pour un logement collectif, les S1 et S2 présentent une réponse aux critères d'analyse plus adaptée que le scénario 3, mais aucun scénario ne se détache particulièrement par rapport aux autres.

Scénario étudié	Critère	Faible consommation en Energie finale	Coût d'investissement	Coût de fonctionnement la 1ère année	Coût Global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne
S0 : Gaz (+ ballon thermodynamique)		Jaune	Jaune	Rouge	Jaune	Rouge	Jaune
S1: Gaz + ECS solaire		Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Jaune	Vert
S2: Bois granulés (+ ballon thermodynamique)		Jaune	Vert	Jaune	Vert	Vert	Vert
S3 : PAC géothermie		Vert	Rouge	Vert	Jaune	Vert	Rouge
S4- PAC air/eau		Vert	Jaune	Vert	Vert	Vert	Rouge

Figure 38 : Evaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critère environnementaux et économiques- logement individuel

**LEGENDE** Scénario

Réponse Favorable	Réponse mitigée ou adaptée partiellement au critère	Réponse Défavorable ou inadaptée
-------------------	---	----------------------------------

En logement individuel, les S0 et S3 présentent une réponse aux critères d'analyse moins adaptée que le scénario 3.

**La production locale d'électricité a été envisagée dans la partie VI-Prospective : pistes de mesures compensatoires.**



### V.3. Phase 3 : Etude d'opportunité de création d'un réseau de chaleur alimenté par les ENR

L'un des objectifs de l'étude est de vérifier la possibilité de création ou de raccordement à un réseau de chaleur ou de froid.

Dans le cas où aucun réseau de chaleur ou de froid n'existe à proximité du site d'étude, Polenn remplace systématiquement ce volet par une **étude d'opportunité sur la création de réseaux de chaleur biomasse, à l'échelle de l'opération ou en micro-réseaux localisés.**

**Aucun réseau n'existe actuellement sur le site, il ne s'agira donc pas d'un potentiel de raccordement mais d'une création. De même, les besoins de froid étant inexistant, aucun réseau de froid ne sera intégré dans l'étude.**

La fiche réseau de chaleur en annexe p. 114, rappelle la définition du réseau de chaleur, ses avantages et sa prise en compte dans le calcul thermique réglementaire (RT 2012).

Un réseau de chaleur est un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur à plusieurs bâtiments pour répondre aux besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire.

#### **Intérêts en milieu rural et en milieu urbain peu dense :**

De plus en plus de collectivités souhaitent développer ces réseaux de chaleur, même dans un contexte urbain peu dense.

L'optimisation énergétique n'est alors pas le premier facteur décisionnel.

L'aménagement du territoire, la mobilisation de ressources locales comme le bois énergie, la mise en place de filières économiques locales créatrices d'emploi de proximité et non délocalisables sont quelques-uns de ces facteurs.

Outre la mobilisation d'énergies renouvelables, un autre avantage technique peut être identifié : la mise en place d'un système centralisé évite la dispersion de générateurs de chaleur dont l'entretien, la fiabilité, et donc l'impact environnemental sont toujours moins maîtrisés qu'un système centralisé.

La mise en œuvre de systèmes centralisés permet également d'envisager plus sereinement une mutation énergétique.

#### V.3.1. ETUDE D'OPPORTUNITE D'UN RESEAU DE CHALEUR SUR LE SECTEUR

L'un des objectifs de l'étude d'opportunité est de vérifier la possibilité de création ou de raccordement à un réseau de chaleur ou de froid, notamment bois.

Les objectifs de cette étude d'opportunité sont donc les suivants :

- ✓ définir les zones où une étude de faisabilité technico-économique serait à mettre en œuvre pour confirmer l'opportunité identifiée ;
- ✓ définir d'éventuelles incitations ou obligations de mise en œuvre de l'énergie bois dans le règlement du permis d'aménager

**Pour cette étude, nous n'avons considéré que l'opportunité d'un réseau de chaleur fonctionnant au bois car cette filière est bien structurée en Bretagne.**

### C. NOTION DE DENSITE ENERGETIQUE POUR UN RESEAU DE CHALEUR

Cette étude d'opportunité repose sur l'analyse de la **densité énergétique** des scénarios.

**Elle correspond à la quantité d'énergie consommée par les bâtiments par unité de longueur du réseau (longueur de tranchée).**

Le critère généralement admis pour évaluer en première approche l'intérêt d'un réseau de chaleur bois est le coefficient qui représente la quantité d'énergie transportée par un mètre de réseau sur une année, exprimé en kWh/m de réseau de chaleur.

En milieu rural, on considère généralement qu'un **réseau de chaleur peut avoir de l'intérêt à partir de 1 500 kWh/m de réseau et par an**. Par comparaison, la densité minimum des réseaux urbains se situe autour de 8 000 kWh/m et par an.

L'implantation d'un réseau est principalement liée à cette densité énergétique : les zones proches de « gros consommateurs » seront susceptibles d'être plus adaptées à un réseau de chaleur et donc à une chaufferie centralisée que les zones peu consommatrices et diffuses. **L'implantation d'une éventuelle chaufferie n'étant pas définie, nous étudions ce réseau non pas à partir de la chaufferie, mais à partir de chaque bâtiment.**

### D. HYPOTHESES DE CONSOMMATIONS ENERGETIQUES CONSIDEREES

Les hypothèses de consommations énergétiques sont issues de l'étude d'approvisionnement en énergie réalisée au paragraphe V.1 p.43.

### E. ETUDE D'OPPORTUNITE

La figure suivante représente la valeur seuil des 1 500 kWh/ml/an pour un exemple d'implantation de bâtiments. **Les bâtiments potentiellement « raccordables » au réseau sont ceux dont les cercles se chevauchent.**



Figure 39: Analyse qualitative du critère de densité énergétique pour un exemple d'implantation

Les cercles ne se chevauchant pas tous, en particulier sur les zones d'habitat individuel. La création d'un réseau de chaleur à l'échelle du quartier n'est donc pas envisageable.

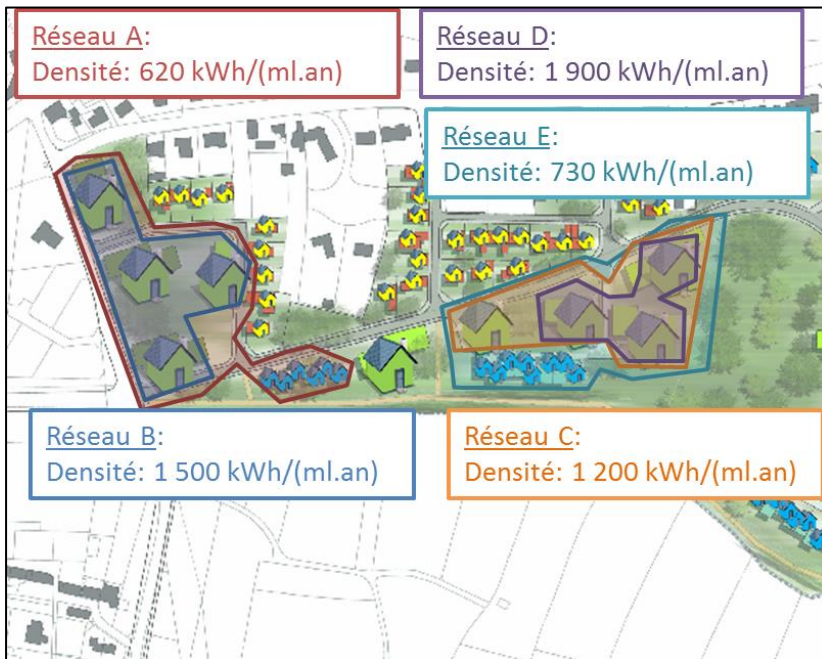
En revanche, plusieurs pôles se distinguent par leur forte densité énergétique : autour des bâtiments de logements collectifs et intermédiaires.

Plusieurs configurations de micro-réseau autour de ces pôles de densité énergétique sont étudiées.

Etude de micro réseaux à l'échelle d'îlots

- Secteur Pont-Bas Chemin

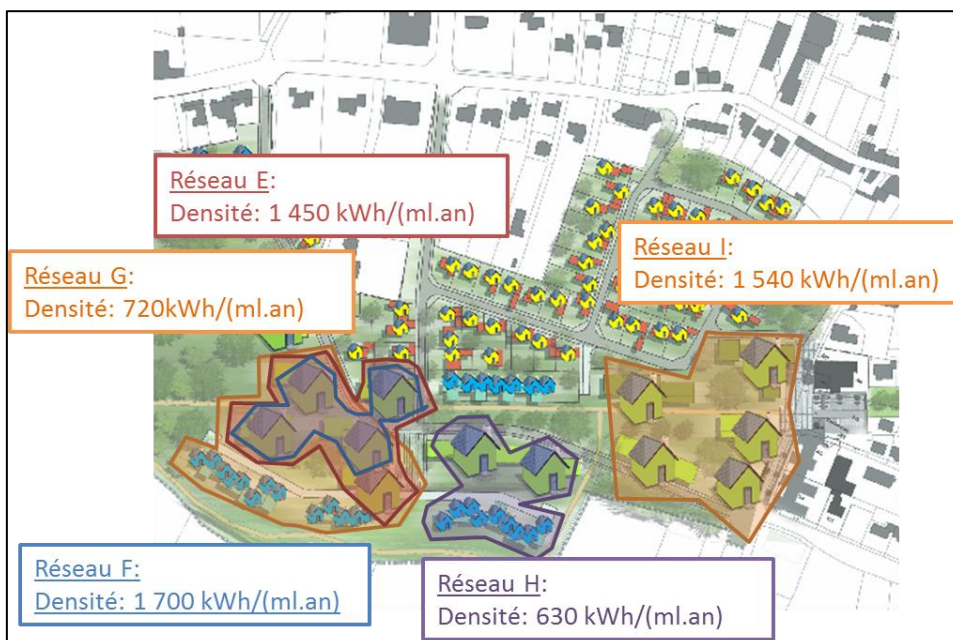
Trois configurations sont étudiées autour des bâtiments de logements collectifs. La figure suivante présente les résultats :



Le premier réseau entre les 4 bâtiments de logements collectifs et les MIG-Intermédiaires à l'ouest du quartier montre une densité de **620 kWh/ml/an**, trop faible pour envisager la création d'un micro-réseau. En revanche, la configuration B, sans les MIG-intermédiaires, atteint **1 500 kWh/ml/an** assez favorable pour la création d'un micro-réseau de chaleur. La création d'un micro-réseau (configuration C – 1 200 kWh/(ml.an) et configuration E – 730 kWh/(ml.an)) reliant quatre bâtiments de logements collectifs trop faible pour justifier la création d'un réseau d'un point de vue énergétique.

Au contraire, la densité énergétique des réseaux en configuration C plus importante et justifie la création d'un micro réseau.

- Secteur Bas Chemin-II Cheminées



Les densité énergétiques des 3 configurations autour de bâtiment de logements collectifs (E, F et I) étudiée sont proches du critère limite de 1 500 kWh/(ml.an) et justifient ainsi la création de micro-réseaux.

En revanche l'intégration des MIG-Intermédiaires (configurations G et H) fait nettement diminuer la densité énergétique, et réduit à néant l'opportunité de créer un ou micro-réseaux à cette échelle.



Ainsi, l'intérêt de créer des chaufferies mutualisées autour de bâtiments collectifs est confirmé. Plusieurs micro-réseaux pourraient être créés à l'échelle d'îlot de bâtiments de logements collectifs (une chaufferie mutualisée dans un bâtiment, desservant des sous-stations dans les bâtiments voisins). En revanche le raccordement de logements individuels n'est pas possible.

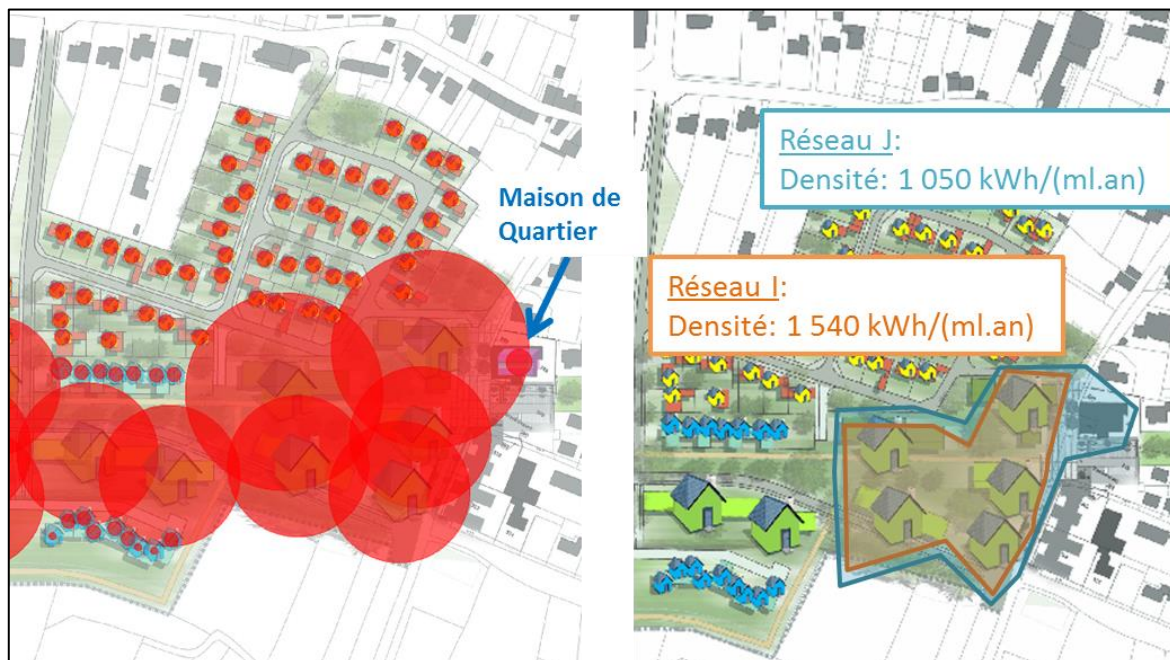
Ce nouveau quartier constitué de logements répondant au minimum aux critères exigeants de la RT 2012, présente une trop faible densité énergétique pour justifier la création d'un réseau de chaleur à l'échelle du quartier.

Néanmoins, le raccordement de gros consommateurs d'énergie comme le sont souvent les équipements existants (groupe scolaire, salles polyvalentes...) pourrait montrer un intérêt à la création d'un réseau de chaleur.

La Maison de quartier de Rothéneuf est proche du site d'étude, nous l'intégrons donc à l'étude d'opportunité.

Le bâtiment a été rénové récemment en BBC rénovation, le Cep issu du calcul réglementaire s'élève à 42 kWh/m<sup>2</sup>/an. Le suivi des consommations du bâtiment est en cours par le Cerema, mais les données ne sont pas encore disponibles nous nous servons donc du calcul réglementaire pour l'étude.

La figure suivante présente les résultats :



La maison de quartier de Rothéneuf est un bâtiment performant, son raccordement à un micro-réseau alimentant les bâtiments d'habitat collectif voisins, fait baisser la densité énergétique à 1 050 kWh/(ml.an) ce qui n'encourage pas à envisager la création d'un micro réseau pour l'alimenter.

## VI. PROSPECTIVE : PISTES DE MESURES COMPENSATOIRES

### VI.1. PRINCIPE DE LA COMPENSATION CARBONE

L'usage des énergies renouvelables en substitution des énergies fossiles, parallèlement à l'effort collectif de réduction de la consommation énergétique, contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le recours aux énergies renouvelables est une des solutions permettant de réduire l'impact sur l'effet de serre des besoins en énergie : **la réduction drastique de ces besoins en énergie reste néanmoins prioritaire.**

Polenn propose ici une démarche parallèle à la réduction des consommations énergétiques et au développement des énergies renouvelables : le principe de compensation. **Ces pistes ont vocation à faire avancer la réflexion et ne doivent pas être considérées comme des prescriptions.**

**Cette démarche est présentée ici comme une piste permettant de compenser partiellement une pollution résultante d'une nouvelle opération urbaine : elle ne doit pas être considérée comme un droit à polluer ni comme une compensation permettant de se « donner bonne conscience ».**

Cette démarche, peut s'envisager de deux manières :

- Compensation via un mécanisme financier
- Compensation via des actions locales

#### VI.1.1. COMPENSATION CARBONE VOLONTAIRE

Une démarche parallèle à la réduction des consommations énergétiques et au développement des énergies renouvelables est la **compensation carbone volontaire**.

L'Ademe a mis en place un site internet qui développe de manière complète le mécanisme de compensation carbone volontaire <http://www.compensationco2.fr>. La définition suivante est extraite de ce site :

*La compensation volontaire est un mécanisme de financement par lequel une entité (administration, entreprise, particulier) **substitue**, de manière partielle ou totale, une réduction à la source de ses propres émissions de gaz à effet de serre une quantité équivalente de « **crédits carbone** », en les achetant auprès d'un tiers.*

*Concrètement, la compensation consiste à **mesurer** les émissions de gaz à effet de serre générées par une activité (transport, chauffage, etc.) puis, après avoir cherché à **réduire** ces émissions, à **financer** un projet de réduction des émissions de gaz à effet de serre ou de séquestration du carbone : énergie renouvelable, efficacité énergétique ou de reboisement, qui permettra de réduire, dans un autre lieu, un même volume de gaz à effet de serre. Le principe sous-jacent étant qu'une quantité donnée de CO<sub>2</sub> émise dans un endroit peut être « compensée » par la réduction ou la séquestration d'une quantité équivalente de CO<sub>2</sub> en un autre lieu. Ce principe de « **neutralité géographique** » est au cœur des mécanismes mis en place par le Protocole de Kyoto.*

*Il est important de souligner que la compensation volontaire doit s'inscrire dans une **logique de neutralité carbone** : elle doit toujours accompagner ou suivre la mise en œuvre de solutions énergétiques alternatives ou d'efforts de **réduction des émissions**.*

**Ainsi, la municipalité, l'aménageur, les promoteurs et maîtres d'ouvrages des opérations prévues, pourraient entrer dans ce processus.**

#### VI.1.2. COMPENSATION CARBONE PAR DES ACTIONS LOCALES

Une piste complémentaire est d'envisager la mise en œuvre d'actions locales, permettant de prendre conscience du poids de mesures compensatoires locales telles que l'implantation de nouveaux boisements ou la mise en œuvre de capteurs photovoltaïques.

Ce sont ces actions que nous nous proposons de développer dans la partie suivante.

## VI.2. PROPOSITION DE MESURES COMPENSATOIRES A L'ECHELLE DU PROJET

## VI.2.1. PRODUCTION LOCALE D'ELECTRICITE

La consommation prévisionnelle d'électricité a été calculée dans la partie «Phase 1 : évaluation de la consommation énergétique du futur quartier ». **Nous avons vu que l'énergie relative à l'électricité représente une part importante des consommations prévisionnelles en énergie finale.**

De fait, envisager une production locale d'électricité est cohérent avec l'objectif de compenser les impacts environnementaux de l'opération.

La production locale d'électricité est envisageable en ayant recours à l'installation de capteurs solaires photovoltaïques.

Nous avons envisagé deux scénarios concernant la couverture des besoins en électricité des **logements** :

- scénario 50% : couverture de **50% des besoins en électricité** de l'ensemble des logements (hors éclairage public).
- scénario 100% : couverture de **100% des besoins en électricité** de l'ensemble des logements (hors éclairage public).

Ces deux scénarios photovoltaïques ont été déclinés pour chacun des 4 scénarios étudiés dans la partie relative aux choix énergétiques.

Ces scénarios ont été étudiés à partir de nos hypothèses de travail et ont pour objectif de donner des ordres de grandeur de surfaces de capteurs photovoltaïques par logement. **Ces scénarios sont considérés sous l'angle de l'impact environnemental et n'ont pas fait l'objet d'une étude technico-économique détaillée. Afin d'approfondir le sujet, une étude bâtiment par bâtiment devra être mise en œuvre pour prendre en compte les spécificités d'orientation et d'environnement proche (ombres portées notamment).**

Les tableaux suivants présentent le résultat de ces projections :

Production photovoltaïque ZAC RT 2012 - Scénario couverture 50%					
Performance BBC RT 2012	Sc. 0 - Gaz (+ Ballon thermo COP=2)	Sc. 1 - Gaz + solaire	Sc. 2 - Bois granulés( + Ballon thermo COP=2)	S3 - PAC géoth	Sc. 4 - PAC air/eau
consommation énergie électrique finale MWh/an	3 380	2 788	2 356	3 096	2 427
Consommation d'énergie à couvrir (MWh/an)	1 690	1 394	1 178	1 548	1 213
Surface totale de capteurs nécessaire (m <sup>2</sup> )	12 519 m <sup>2</sup>	10 327 m <sup>2</sup>	8 728 m <sup>2</sup>	11 466 m <sup>2</sup>	8 988 m <sup>2</sup>
Soit par logement	16 m <sup>2</sup>	13 m <sup>2</sup>	11 m <sup>2</sup>	14 m <sup>2</sup>	11 m <sup>2</sup>
surface disponible sur les bâtiments (m <sup>2</sup> )	6 800 m <sup>2</sup>	6 800 m <sup>2</sup>	6 800 m <sup>2</sup>	6 800 m <sup>2</sup>	6 800 m <sup>2</sup>
production par les bâtiments (MWh/an)	918	918	918	918	918
surface manquante (m <sup>2</sup> )	5 719 m <sup>2</sup>	3 527 m <sup>2</sup>	1 928 m <sup>2</sup>	4 666 m <sup>2</sup>	2 188 m <sup>2</sup>

Figure 40: Projection des surfaces de capteurs photovoltaïques à installer pour une couverture de 50% des consommations d'électricité

Production photovoltaïque ZAC RT 2012 - Scénario couverture 100%					
Performance BBC RT 2012	Sc. 0 - Gaz (+ Ballon thermo COP=2)	Sc. 1 - Gaz + solaire	Sc. 2 - Bois granulés( + Ballon thermo COP=2)	S3 - PAC géoth	Sc. 4 - PAC air/eau
consommation énergie électrique finale MWh/an	3 380	2 788	2 356	3 096	2 427
Consommation d'énergie à couvrir (MWh/an)	3 380	2 788	2 356	3 096	2 427
Surface de capteurs nécessaire (m <sup>2</sup> )	25 038 m <sup>2</sup>	20 653 m <sup>2</sup>	17 455 m <sup>2</sup>	22 932 m <sup>2</sup>	17 975 m <sup>2</sup>
Soit par logement	31 m <sup>2</sup>	26 m <sup>2</sup>	22 m <sup>2</sup>	29 m <sup>2</sup>	22 m <sup>2</sup>
surface disponible sur les bâtiments (m <sup>2</sup> )	6 800 m <sup>2</sup>	6 800 m <sup>2</sup>	6 800 m <sup>2</sup>	6 800 m <sup>2</sup>	6 800 m <sup>2</sup>
production par les bâtiments (MWh/an)	918	918	918	918	918
surface manquante (m <sup>2</sup> )	18 238 m <sup>2</sup>	13 853 m <sup>2</sup>	10 655 m <sup>2</sup>	16 132 m <sup>2</sup>	11 175 m <sup>2</sup>

Figure 41: Projection des surfaces de capteurs photovoltaïques à installer pour une couverture de 100% des consommations d'électricité

*La surface de capteur nécessaire représente une moyenne et non une surface technique viable à mettre en œuvre (4 m<sup>2</sup> représenterait 500W de panneaux installés – peu viable techniquement et économiquement).*

Ainsi, selon nos hypothèses, pour le SO Gaz Naturel + Ballon thermodynamique, l'installation d'environ **16 m<sup>2</sup> de capteurs photovoltaïques en moyenne par logement** permettrait de couvrir 50% des besoins en électricité de l'opération (hors éclairage public) et il faudrait donc trouver 5 720 m<sup>2</sup> de surface à couvrir de panneaux photovoltaïques en dehors des bâtiments.

Quel que soit le scénario d'approvisionnement en énergie, la surface disponible par bâtiment ne sera pas suffisante à couvrir 100% des consommations électriques de l'opération. Il faudrait donc envisager une production hors bâtiment, par exemple sur des ombrières de parking.



Figure 42: Ombrière photovoltaïque



**Impact sur les émissions de gaz à effet de serre :**

Le graphique suivant présente les émissions de CO<sub>2</sub> calculées pour les scénarios photovoltaïques. Le trait pointillé indique le niveau d'émissions de la référence ayant le plus d'impact sur l'effet de serre (S1).

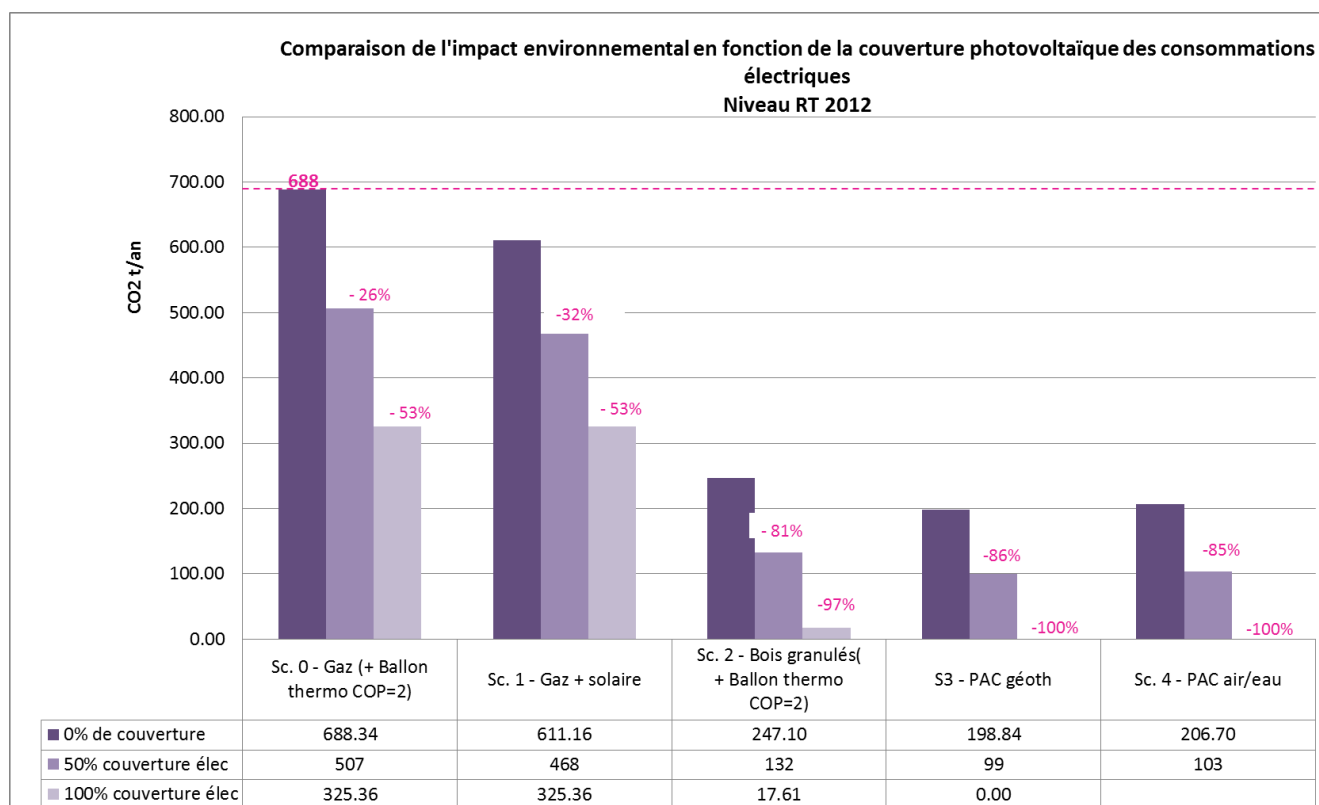


Figure 43 : Comparaison des émissions de CO<sub>2</sub> par scénario (les pourcentages représentent l'écart avec la référence GAZ 0% de PV)

La couverture de 100% des consommations électriques par une production photovoltaïque permettrait de réduire à néant les émissions de CO<sub>2</sub> pour les scénarios 3 et 4, en effet ces scénarios ont un approvisionnement tout électrique contrairement aux autres scénarios qui exploitent un combustible (fossile ou renouvelable).

L'étude de ces scénarios incluant des capteurs solaires photovoltaïques permet de donner les orientations suivantes : la production locale d'électricité grâce à des capteurs solaires permettrait, selon nos hypothèses :

- de diminuer la consommation d'énergie finale ;
- de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 100% avec le scénario3 (PAC)

Les détails techniques relatifs à l'installation de capteurs photovoltaïques sont présentés dans la fiche spécifique en annexe.

Si l'installation de capteurs solaires photovoltaïques sur chaque maison individuelle peut sembler difficile à imposer, la municipalité pourrait envisager les alternatives suivantes :

- **imposer une étude d'implantation de capteurs photovoltaïques pour les logements collectifs ;**
- promouvoir le recours à des **fournisseurs d'électricité verte**. (cf. Annexe);
- faire réaliser une **étude de faisabilité photovoltaïque sur ses propres bâtiments** en l'envisageant comme une mesure compensatoire locale.

## VI.2.2. STOCKAGE DE CARBONE : PLANTATION DE BIOMASSE

### F. PREAMBULE

Le cycle du carbone implique la biomasse comme capteur de carbone par excellence : en effet, la photosynthèse permet aux plantes de capter du CO<sub>2</sub> le jour pour assurer leur croissance. De fait, la plantation de biomasse et notamment d'arbres est une piste permettant de stocker du carbone :

- **à long terme à l'échelle d'une vie humaine** puisque les arbres ont une durée de vie d'environ 80 ans dans le cadre d'une exploitation forestière ;
- **à très court terme à l'échelle de la planète** puisque la décomposition de la biomasse réalimente le cycle du carbone en libérant le CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ou en le restockant dans le sol.

Cette piste de réflexion, mise en avant par bon nombre d'organisations est même à l'origine d'une nouvelle activité économique : les entreprises de compensation carbone.

**De nombreuses questions restent en suspens concernant le réel impact de telles solutions sur l'effet de serre :**

- incertitudes sur les valeurs considérées pour le stockage de carbone en fonction des latitudes, des types de peuplement, des circonstances climatiques ;
- risque de stockage de CO<sub>2</sub> en cas de canicule par exemple ;
- adéquation des essences d'arbres à planter avec le contexte local (pas d'arbres très demandeurs en eau en Afrique par exemple).

**Nous proposons donc une piste de compensation locale : plantation de biomasse géographiquement proche de l'opération concernée.**

### G. HYPOTHESES DE CALCUL

Comme précisé plus haut, les données concernant la capacité de stockage de carbone diffèrent de manière importante en fonction des sources.

Nous nous sommes donc appuyés sur le projet CARBOFOR – Séquestration de carbone dans les écosystèmes forestiers en France-Quantification, spatialisation, vulnérabilité et impacts de différents scénarios climatiques et sylvicoles- publié en 2004.

Nous considérerons **1 ha de forêt à croissance normale comme unité de référence sur sa durée de vie avec un objectif de valorisation en bois d'œuvre et bois énergie**. Le nombre de tiges à l'hectare est donc variable en fonction des opérations d'éclaircie que les forestiers sont amenés à réaliser pour conduire le peuplement dans de bonnes conditions.

La quantité de carbone stockable par un ha de forêt décrit ci-dessus s'échelonne de **1 à 10 tC/ha/an, soit de 3,6 à 36 tCO<sub>2</sub>/ha/an**.

Nous avons considéré dans cette étude un **potentiel de stockage de 5 tC/ha/an soit 18,5 tCO<sub>2</sub>/ha/an**.

## H. SIMULATION DE LA SURFACE BOISEE CORRESPONDANTE

Le graphique ci-dessous présente, pour chacun des trois scénarios, la surface boisée permettant de compenser les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> générées par les logements de l'opération.

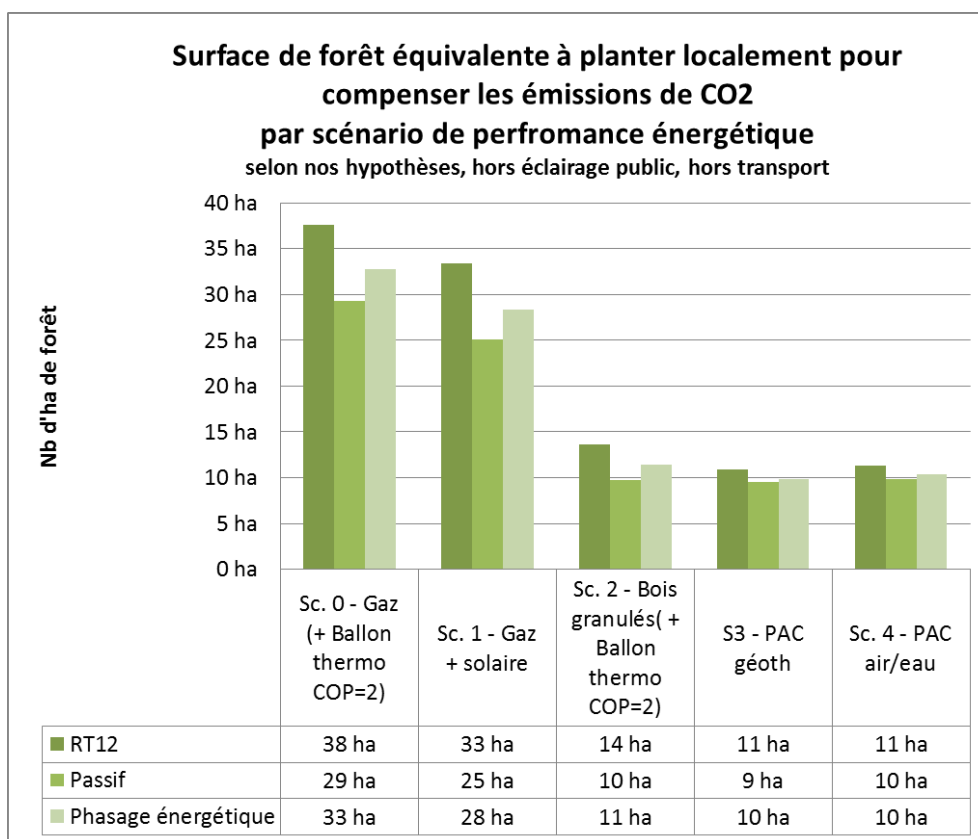


Figure 44 : Calcul de la surface boisée nécessaire en mesure compensatoire

Le scénario de référence nécessiterait donc, selon nos hypothèses, près de 38 ha de forêt en mesure compensatoire pour le niveau RT 2012, soit plus de 2 fois la superficie du site, et 29 ha pour le niveau PASSIF.

Le scénario intégrant le bois nécessiterait la plantation de 14 ha, soit une diminution de 63%.

## VII. 1<sup>ÈRE</sup> APPROCHE SUR L'ECLAIRAGE PUBLIC ET LES TRANSPORTS

### VII.1.1. ECLAIRAGE PUBLIC

#### I. ROLES DE L'ECLAIRAGE PUBLIC

En milieu urbain, l'éclairage public a plusieurs rôles :

- paysager : perception de l'espace, continuité visuelle, esthétique ;
- ambiance lumineuse ;
- guidage et confort visuel.

D'une manière plus générale, l'amélioration de la visibilité nocturne permet :

- de favoriser la sécurité des déplacements (piétons, cyclistes, véhicules à moteur) ;
- de diminuer l'éblouissement dû aux feux de véhicules ;
- d'améliorer l'estimation des distances ;
- de favoriser la sécurité des personnes et des biens ;
- de valoriser les espaces publics.

L'utilisation excessive de la lumière artificielle pourra d'une part être importune (gêne visuelle à laquelle on ne peut se soustraire, halos lumineux), d'autre part représenter une perte d'énergie que l'on peut facilement traduire en termes d'équivalents CO<sub>2</sub> consommés, et donc d'impact sur l'effet de serre.

Il importe donc d'anticiper les besoins et de réfléchir aux modalités d'éclairage public en amont de la création d'un nouveau quartier : cela contribuera également à limiter les coûts de fonctionnement pour les collectivités.

#### J. LES QUESTIONS A SE POSER

Vouloir une installation d'éclairage public performante implique la mise en œuvre, à toutes les étapes de la vie d'un ouvrage, d'une démarche réfléchie et calculée :

##### 1. Au moment de la définition de l'ouvrage :

Eclairer : Oui ou non ? Si oui : Quoi ? Quand ? Comment ?

##### 2. Au moment de la prescription :

Quels dispositifs de commande ? Quels dispositifs de régulation ? Quels réseaux d'alimentation ? Quelles implantations ? Quelles sources et quels appareillages ? Quelles caractéristiques photométriques pour les lanternes ? Quelles caractéristiques mécaniques pour les lanternes ?

*NB : La technologie LED pour l'éclairage public est en constante innovation. Afin de suivre le rythme rapide de l'évolution, il est souhaitable d'exiger des possibilités de perfectionnement des luminaires, par exemple, de sorte que les modules DEL puissent être remplacés par des modules plus performants.*

##### 3. Au moment de la réalisation :

Les matériels proposés par les fabricants et l'entreprise répondent-ils bien au cahier des charges ? Les implantations sont-elles respectées ? La mise en œuvre est-elle conforme aux prescriptions générales et en particulier à celles du fabricant ? Les réglages sont-ils satisfaisants ?

##### 4. Au moment de la mise en service

Les essais ont-ils été réalisés (mesures photométriques, contrôle de stabilité) ?

##### 5. Au moment de l'exploitation des ouvrages

Les opérations de maintenance sont-elles effectuées ? Une évaluation de la maintenance est-elle faite ? En cas de dérive, quelles actions correctives ? Quand deviendra-t-il profitable d'investir dans une réhabilitation totale ou partielle de l'ouvrage ?

## K. QUELQUES PRECONISATIONS

Les préconisations qui suivent n'ont pas vocation à être exhaustives mais à donner des pistes de réflexion que l'aménageur devra intégrer à son projet urbain afin que l'impact environnemental du quartier relatif à l'éclairage public (impact visuel et impact énergétique) soit le plus faible possible.

### 1. Etat des lieux

Clarifier les besoins en matière d'éclairage des rues. Toutes les rues ne doivent pas forcément être éclairées selon les mêmes modalités.

### 2. Type de lampe

Utiliser des lampes basse consommation (à vapeur de sodium – de type Sodium HP ou d'autres lampes ayant un rendement d'éclairage aussi performant) ou LED.

### 3. Luminaire

Utiliser des réflecteurs à haut rendement. Eviter toute émission lumineuse au-dessus de l'horizon (pollution lumineuse).

### 4. Ballasts d'allumage

Préférer les ballasts électroniques à longue durée de vie.

### 5. Puissance électrique spécifique

Définir des puissances limites en fonction de la largeur des rues et de leur importance, par exemple (à titre indicatif) :

- pour les rues d'une largeur de < 10 mètres : valeur cible: 2 W/m valeur limite : 3 W/m ;
- pour les rues d'une largeur de > 10 mètres : valeur cible: 4 W/m valeur limite: 6 W/m.

### 6. Heures de fonctionnement

Allumage le soir: quand la luminosité descend au-dessous de 40 lux pendant plus de 5 minutes.

Extinction durant la nuit (par exemple 23h30–05h30).

Réduction de l'intensité lumineuse la nuit si une extinction n'est pas possible (variation de la puissance lumineuse ou extinction partielle).

Commande par horloges astronomiques afin d'adapter les horaires d'éclairage aux levés et couchers du soleil de manière automatique.

### 7. Consommation d'énergie

Définir une valeur cible, par exemple : 8 kWh/m/an et une valeur limite haute, par exemple 12 kWh/m/an (kWh par mètre de rue et par an).

### 8. Electricité renouvelable

Couvrir avec de l'écocourant certifié une part à définir du besoin en électricité pour l'éclairage public.

Assurer avec des lampadaires solaires l'éclairage de rues non électrifiées ou difficilement électrifiables.

## L. CONSOMMATION ENERGETIQUE ATTENDUE POUR L'ECLAIRAGE PUBLIC

Deux hypothèses sont étudiées par rapport à l'éclairage public, la première avec un équipement de base, la seconde avec des systèmes à LED.

Les tableaux ci-dessous détaillent les consommations énergétiques d'éclairage public attendues ainsi que les émissions de CO<sub>2</sub> qui y sont liées pour chaque hypothèse :

Equipement de base			Systèmes LED		
<b>Linéaire de réseau d'éclairage public (ml)</b>			<b>Linéaire de réseau d'éclairage public (ml)</b>		
Voie principale		931	Voie principale		931
voie secondaire		2178	voie secondaire		2178
<b>Total</b>		<b>3 110</b>	<b>Total</b>		<b>3 110</b>
<b>Consommations estimées kWh</b>			<b>Consommations estimées kWh</b>		
Voie principale		12 250	Voie principale		4 500
voie secondaire		14 300	voie secondaire		8 500
<b>Total</b>		<b>26 550</b>	<b>Total</b>		<b>12 950</b>
<b>Emissions de CO2 (tCO2/an)</b>			<b>Emissions de CO2 (tCO2/an)</b>		
Voie principale	2.20	46%	Voie principale	0.81	35%
voie secondaire	2.58	54%	voie secondaire	1.53	65%
<b>Total</b>	<b>4.8</b>		<b>Total</b>	<b>2.3</b>	

Pour un linéaire Total de **3 110 m** de voiries éclairées, la consommation énergétique prévisionnelle serait de **26 550 kWh/an** en équipement de base et **12 950 kWh/an** en LED. Ce qui correspond à un coût annuel estimé entre **4 000 et 1 900 € TTC** pour la collectivité. Les systèmes LED permettent une économie d'énergie de **63 %** par rapport à un équipement de base.

*NB : l'approche économique est délicate. Les systèmes évoluent très rapidement et il y a encore assez peu de retour d'expérience. Aujourd'hui, il est raisonnable de considérer une durée de vie supérieure à 50 000 heures, les opérations de remplacement sont donc moins fréquentes qu'avec des lampes traditionnelles. De plus, les nouvelles technologies de lampadaires à LED permettent d'espacer d'avantage les mâts par rapport aux systèmes classiques.*

Les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> estimées seraient de **4,8 t/an** en équipement de base et **2,3 t/an** en LED.

Pour plus d'informations :

**Eclairons les villes : Accélérer le déploiement de l'éclairage innovant dans les villes européennes** ; rapport de la commission Européenne téléchargeable sur le site <http://www.clusterlumiere.com>

## VII.1.2. TRANSPORTS

L'implantation du quartier par rapport au centre-bourg, aux zones d'activités commerciales, aux services (écoles, administrations), ou aux arrêts de transport en commun, va conditionner l'impact énergétique lié à l'usage de véhicules à moteur. De même, la facilité de relier les points d'activité cités plus haut grâce à des modes de déplacement doux (à pied, à vélo) aura une incidence sur l'usage de la voiture.

**Le rôle de l'urbaniste est donc primordial pour optimiser les itinéraires des usagers afin de favoriser des modes de déplacement non polluants.**

La situation du quartier e à proximité immédiate du centre bourg est un véritable atout pour faciliter les déplacements doux.

## M. POLLUTION LIEE AUX VEHICULES A MOTEUR

Les véhicules motorisés sont sources d'émissions polluantes telles que des gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CO...), du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), des oxydes d'azote, des hydrocarbures et des particules.

Ces émissions entraînent des effets nocifs sur la qualité de l'air (pollution, effet de serre) et sur la santé (maladies respiratoires, allergies etc.).

Le tableau suivant décrit les caractéristiques des principaux polluants et quelques-uns de leurs effets sur la santé :

Polluant	Sources	Effets sur la santé
<b>Le monoxyde de carbone (CO)</b>	Le monoxyde de carbone résulte d'une combustion incomplète et rapide du carburant, notamment lors des arrêts dus aux embouteillages	anoxie (manque d'oxygène), troubles cardio-vasculaires, migraine, vertiges, troubles de la vision
<b>Les oxydes d'azote (NOx)</b>	Les oxydes d'azote sont issus de la réaction de l'oxygène et de l'azote de l'air sous l'effet de l'élévation de la température du moteur	irritations, diminution des défenses immunitaires et altération des fonctions pulmonaires
<b>Les hydrocarbures (HC)</b>	Les hydrocarbures proviennent d'une combustion incomplète du carburant et de l'huile du moteur	irritations oculaires, toux
<b>Les particules fines</b>	Les particules fines sont émises principalement par les moteurs diesel. Elles sont composées de carbone, d'hydrocarbures, de composés soufrés et de composés minéraux variés	irritations des bronches et des muqueuses nasales, problèmes respiratoires
<b>Résidus de plomb</b>	Les résidus de plomb sont liés à la présence d'additifs en plomb dans certains carburants	intoxications, anémie, troubles de la croissance, insuffisance rénale
<b>Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Le dioxyde de soufre est émis par les moteurs diesel	altération des fonctions pulmonaires
<b>L'ozone (O<sub>3</sub>)</b>	Il ne faut pas confondre l'ozone de la « couche d'ozone » et l'ozone de surface : l'ozone de surface est un polluant toxique qui se forme au sol. Elle apparaît quand les oxydes d'azote et les composés organiques volatils, issus des véhicules et des usines, se transforment sous l'action des rayons solaires et de la chaleur. L'ozone est l'une des principales composantes du smog qui est un brouillard jaunâtre causée par un cocktail de polluants atmosphériques (ozone + particules fines). L'ozone peut se retrouver jusqu'à 800 km de son point d'origine et est donc un des principaux « produit » exportés dans le monde (sic) ! L'ozone apparaît lors de la réaction de certains des polluants sous l'effet du rayonnement solaire	migraine, irritations oculaires, altération des fonctions pulmonaires, toux

Figure 45 : Description des principaux polluants dus aux véhicules à moteur (source : [www.encyclo-ecolo.com](http://www.encyclo-ecolo.com))



De plus, les transports motorisés sont responsables de nuisances sonores et de danger qu'il est également important de réduire pour le confort des futurs habitants et des riverains.

## N. PROPOSITIONS POUR LIMITER L'IMPACT DES TRANSPORTS

L'impact des transports peut être limité grâce aux mesures suivantes :

- Favoriser les liaisons douces pour permettre un usage de la marche à pied et du vélo dans les trajets quotidiens
- Favoriser la desserte du quartier par les transports en commun : position des arrêts, fréquence de passage adaptée aux besoins quotidiens
- Favoriser le co-voiturage ou l'acquisition de véhicules partagés
- Rapprocher les lieux d'habitat des lieux de travail
- Rapprocher les commerces et les services des lieux d'habitat
- Implanter les zones de stationnement collectif en périphérie du quartier de manière à limiter la circulation à l'intérieur du quartier
- Limiter la circulation : zone piétons prioritaires, limiter les places de stationnement, création d'axes non traversants afin de ne pas inciter les non riverains à circuler dans la zone, limiter la vitesse.

## O. EVALUATION DE L'IMPACT DES TRANSPORTS

Les hypothèses relatives aux émissions polluantes des véhicules particuliers sont détaillées en annexe

### HYPOTHESES DE COMPOSITION DU PARC AUTOMOBILES DU FUTUR QUARTIER :

Hypothèses retenues - parc voitures			
Norme	Diesel	Essence	Total
EURO1	0,00%	0,00%	0,00%
EURO2	19,50%	11%	30,00%
EURO3	20,15%	11%	31,00%
EURO4	24,70%	13%	38,00%
EURO5	0,65%	0,35%	1,00%
EURO6	0,00%	0,00%	0,00%
<b>TOTAL</b>	<b>65,00%</b>	<b>35,00%</b>	<b>100 %</b>

### HYPOTHESES RELATIVES AUX DISTANCES PARCOURUES

Le nombre de véhicule par logement a été fixé de la manière suivante :

- Collectifs et intermédiaires : 1.5 véhicule par logement
- Individuels groupés et lots libres : 2 véhicules par logement

Le tableau suivant présente les hypothèses relatives au nombre de véhicules liés aux habitants du futur quartier :

Typologie des logements	superficie (ha)	Nombre de logements	Nombre de voiture par logement	Total véhicules individuels
<b>Secteur Pont/ III cheminées</b>	<b>18</b>	<b>799</b>		<b>1298</b>
<i>Collectifs &amp; semi-collectifs</i>		<i>600</i>	<i>1.5</i>	<i>900</i>
<i>individuels denses &amp; intermédiaires</i>		<i>105</i>	<i>2.0</i>	<i>210</i>
<i>Individuels-grands lots</i>		<i>94</i>	<i>2.0</i>	<i>188</i>

Les hypothèses de distances parcourues sont les suivantes :

- 25% des trajets quotidiens correspondent à 20 km aller-retour vers le centre-ville en voiture
- 25% des trajets quotidiens correspondent à 1,7 km aller-retour vers le bourg de Rothéneuf à pied ou à vélo
- 50% des trajets quotidiens sont vers le lieu de travail avec en moyenne 14 km aller-retour (d'après l'Observatoire Régional des Transports de Bretagne, la distance moyenne domicile travail en Bretagne est de 7 km)

#### ESTIMATION DES EMISSIONS ANNUELLES

Dans ces conditions, les émissions annuelles polluantes du parc automobile du quartier seraient les suivantes:

Polluant	Unité	Emissions
Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> )	kg	<b>1 720</b>
Monoxyde de carbone (CO)	kg	<b>9 510</b>
Hydrocarbures (HC)	kg	<b>320</b>
HC + NO <sub>x</sub>	kg	<b>3 280</b>
Particules (PM)	kg	<b>320</b>
Particules (P)*	kg	<b>0</b>
Hydrocarbures non méthaniques (HCNM)	kg	<b>2</b>
Dioxyde de carbone CO <sub>2</sub>	t	<b>1 390</b>

Pour un nombre total de 1 300 véhicules particuliers, les émissions annuelles dues aux transports seraient de 1 720 kg d'oxyde d'azote, 9 510 kg de monoxyde de carbone, 320 kg d'hydrocarbures, 3 280 kg de (particules et oxydes d'azotes), 320 kg de particules et 1 390 tonnes de CO<sub>2</sub>.

## VIII. SYNTHÈSE DES AVANTAGES ET CONTRAINTES DES ENERGIES RENOUVELABLES ETUDIÉES

Préconisations	Avantages	Contraintes	Impact environnemental
<b>0- Solaire passif</b>	Faible coût car intégré à la conception du bâtiment.	Favoriser une orientation nord/sud et prendre en compte les ombres portées.	Impact environnemental le plus faible : pas de technique, simplicité des principes, durabilité optimale car directement liée au bâti. Bilan comptable « négatif » sur la concentration en CO <sub>2</sub> de l'atmosphère (au sens où l'utilisation de solaire « retire » du carbone – le bilan environnemental est donc positif).
<b>1 - Solaire thermique</b>	Permet de réduire la consommation d'énergie fossile de manière efficace. Positionnement clair du quartier vis-à-vis de l'extérieur (le solaire thermique se voit !).	Investissement parfois élevé, notamment sur les lots individuels. Etude spécifique sur les collectifs pour assurer un dimensionnement optimal.	Impact environnemental très faible de cette solution. Peu de consommation énergétique pour son fonctionnement, peu d'impact lié à la production des composants du système, durée de vie importante, proche de la durée de vie du bâtiment. Bilan comptable « négatif » sur la concentration en CO <sub>2</sub> de l'atmosphère (au sens où l'utilisation de solaire « retire » du carbone – le bilan environnemental est donc positif).
<b>2 – Solution bois individuelle (poêle, insert, chaudière)</b>	Solution simple, investissement limité, bien adaptée au milieu rural. Prix du bois moins inflationniste que celui du gaz.	Poêle et insert : maintenance plus importante qu'une solution « tout automatique », notamment pour les personnes âgées. Chaudière : chaufferie nécessaire.	Bilan comptable « neutre » sur la concentration en CO <sub>2</sub> de l'atmosphère (la combustion du bois n'ajoute pas de carbone lorsque les forêts sont replantées et bien gérées ?, ce qui est le cas en France). La combustion en poêle ou insert est cependant moins complète qu'en chaudière.
<b>3- Chaufferie bois collective</b>	Chaufferie collective par bâtiment : fonctionnement et gestion mutualisés. Prix du bois moins inflationniste que celui du gaz. <u>Modulation du Cepmax de la RT 2012</u>	Surface nécessaire pour une chaufferie collective. Frais de maintenance plus élevés que le gaz.	Bilan comptable « neutre » sur la concentration en CO <sub>2</sub> de l'atmosphère (la combustion du bois n'ajoute pas de carbone lorsque les forêts sont replantées, ce qui est le cas en France).
<b>4 - Réseau de chaleur bois</b>	Solution qui permet de produire la quasi-totalité des besoins en chauffage et ECS des bâtiments collectifs à partir d'énergies renouvelables. Prix du bois moins inflationniste que celui du gaz. <u>Modulation du Cepmax de la RT 2012</u>	Investissement plus lourd, organisation juridique à mettre en œuvre pour la répartition ou la revente de chaleur. Rentabilité à calculer dans le cadre d'une étude d'approvisionnement en énergie.	Bilan comptable « neutre » sur la concentration en CO <sub>2</sub> de l'atmosphère (la combustion du bois n'ajoute pas de carbone lorsque les forêts sont replantées, ce qui est le cas en France).
<b>5 - Solaire photovoltaïque</b>	Production d'énergie verte locale. Positionnement clair du quartier vis-à-vis de l'extérieur (le solaire photovoltaïque se voit !). Rentabilisation par le rachat de l'énergie.	Investissement important. Attention à ne pas négliger la performance énergétique des bâtiments au profit de l'investissement en photovoltaïque.	Réduction de l'impact environnemental de l'ensemble du quartier par la production d'électricité verte.

**IX. PROPOSITIONS D' ACTIONS SPECIFIQUES LIEES A L'ENERGIE**

Objectif	Mesure proposée	Remarque
<b>BATIMENTS</b>		
<b>1-Réaliser des Bâtiments économes en énergie</b>	Information et sensibilisation des acteurs du projet pour aboutir à un plan d'aménagement en cohérence avec les objectifs énergétiques	
	Plan de composition favorable aux apports solaires : permettant que les ouvertures principales soient orientées au Sud (+/- 20°) et limitant les ombres portées	A préciser en phase réalisation
	Déterminer et imposer les emprises constructibles obligatoires pour tirer parti du plan de composition pour les maisons individuelles	A préciser en phase réalisation
	Conserver une bande non construite le long des haies bocagères existantes afin de favoriser leur entretien mais aussi de limiter les ombres portées	
	Contrôle de la performance énergétique au niveau du dépôt de permis de construire : <ul style="list-style-type: none"> <li>Exigence réglementaire : la RT 2012 l'impose</li> </ul>	Les services instructeurs doivent contrôler la conformité au dépôt de PC et à l'achèvement des travaux.
<b>2-Encourager l'usage des énergies renouvelables</b>	Recours à une énergie renouvelable obligatoire pour la production du chauffage ou de l'eau chaude sanitaire: -pour les maisons individuelles ou accolées (cf RT 2012)	Rappel : Exigence RT 2012 pour les maisons individuelles ou accolées (5 solutions qui incluent le solaire photovoltaïque) : l'idée est de privilégier l'usage des ENR pour les besoins en chauffage et en ECS avant la production d'électricité  Etude d'approvisionnement en énergie pour SHON > 50m <sup>2</sup> : cf. décret 2013-979 du 30 octobre 2013
	Choisir de ne pas raccorder le futur quartier au gaz naturel pour favoriser le recours à des énergies renouvelables et limiter l'impact environnemental lié à une énergie fossile	Cette mesure encourage les futurs acquéreurs à mener une réflexion sur l'alimentation en énergie de leur foyer. Alors que lorsque le réseau gaz naturel est présent « la question ne se pose pas ». Or notre étude montre que le scénario de référence Gaz + ECS Solaire à un coût de fonctionnement supérieur aux autres scénarios et un impact sr l'effet de serre au moins 3,7 fois supérieur à celui des autres scénarios

Objectif	Mesure proposée	Remarque
	Faire réaliser des sondages pour mettre en évidence la présence d'éventuelles nappes en sous-sol et la possibilité de développer un système de PAC sur nappe phréatiques ou sur sondes géothermiques	
	Promouvoir le recours à des fournisseurs d'électricité issue de ressources renouvelables	Sensibilisation et information des futurs habitants en partenariat avec l'agence locale de l'énergie (ALEC)
	Prévoir la possibilité d'utiliser du bois (bûches ou granulés) dans les maisons individuelles ou groupées : accès, espace de stockage.	
<b>3-Minimiser les appels de puissance sur le réseau électrique en hiver pour le chauffage</b>	Pompes à chaleur autorisées uniquement en relève de chaudière. Chauffage électrique comme solution de chauffage interdit sauf si la consommation conventionnelle en <u>énergie finale</u> est inférieure à 15 kWh/m <sup>2</sup> /an	Les solutions utilisant uniquement l'électricité comme énergie pour le chauffage et la production d'ECS contribuent à fragiliser le réseau de distribution d'électricité breton
<b>TRANSPORTS ET VOIRIES</b>		
<b>4-Faciliter l'usage des transports en commun et des modes de transport doux</b>	Prévoir des arrêts de bus au cœur ou à proximité immédiate du nouveau quartier sur les voies principales Prévoir des cheminements piétons identifiés, accessibles et en trajets directs pour relier les points du quartier entre eux et au centre-ville	
<b>5-Limiter la circulation des véhicules à moteur dans le nouveau quartier</b>	Concevoir des voies partagées Créer des poches de stationnement regroupées en limite du nouveau quartier	
<b>6-Anticiper la transition vers les véhicules électriques</b>	Donner la possibilité d'installation de bornes de recharges pour véhicules électriques : -dans les parkings de stationnements collectifs -sur les ombrières photovoltaïques	Obligation pour tous les PC de logements collectifs ou bureaux neufs déposés à compter du 1 <sup>er</sup> juillet 2012 <i>Arrêté du 20 février 2012 relatif à l'application des articles R. 111-14-2 à R. 111-14-5 du code de la construction et de l'habitation</i>
<b>7-Optimiser l'éclairage public</b>	Réaliser une étude d'éclairage public secteur par secteur en phase réalisation Extinction nocturne de l'éclairage public et pilotage par horloges astronomiques Favoriser l'éclairage des cheminements piétons plutôt que celui des routes	
<b>ADAPTATION A LA TRANSITION ENERGETIQUE</b>		
<b>8-Prévoir l'évolution vertueuse des consommations</b>	Adapter le dimensionnement du réseau de distribution d'électricité à un contexte de bâtiments peu énergivores, non chauffés à l'électricité, pour faire des économies	Discussion à initier avec le concessionnaire du réseau et le SDE35 en phase de réalisation : concerne le dimensionnement des réseaux et des

Objectif	Mesure proposée	Remarque
	d'investissement.	transformateurs.
<b>9-Accompagner les futurs habitants dans la démarche de sobriété énergétique</b>	Informier les futurs habitants des objectifs fixés sur l'opération au travers de réunions d'information et de supports de communication, en amont de leur acquisition	
<b>10-Créer les conditions d'une conception performante</b>	<p>Informations spécifiques des futurs acquéreurs sur les enjeux énergétiques, les objectifs à atteindre et comment y arriver.</p> <p>Mettre en place de démarches d'accompagnement aux projets individuels et collectifs</p> <p>Mettre en place une mutualisation de la conception pour les maisons individuelles :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Définition d'un partenariat privilégié avec des architectes et/ou constructeurs de maisons individuelles souhaitant s'impliquer dans l'opération</li> <li>○ Accompagnement de groupes d'acquéreurs permettant un phasage concomitant de plusieurs opérations et permettant des appels d'offre conjoints (matériaux, matériels etc.)</li> </ul> <p>Accompagner les maîtres d'ouvrage dans leur démarche de conception grâce à un conseil spécifique pendant la conception</p> <p>Réserver un lot à de l'autopromotion performante (logement individuel ou intermédiaire)</p>	
<b>11-Faciliter le financement de la construction performante</b>	<p>Réduire le prix du foncier pour les projets qui s'inscrivent dans une démarche de performance énergétique élevée</p> <p>Participer au financement de l'isolation des bâtiments et/ou de la production locale d'énergie</p>	
	Proposer des aides financières sur des bâtiments passifs. Par exemple, passer des accords avec une banque afin que la faiblesse des charges de chauffage sur un bâtiment passif soit prise en compte pour obtenir une mensualité de remboursement de prêt plus élevée	

**X. PRESCRIPTIONS REGLEMENTAIRES****X.1. PRESCRIPTIONS TECHNIQUES LIEES A LA RT 2012**

Bâtiment concerné	Orientation	Prescriptions de la RT 2012	Détail issu de l'arrêté du 26 octobre 2010
Maisons individuelles et maisons accolées	<b>Recours à une énergie renouvelable obligatoire</b>	Recours au solaire thermique pour la production d'ECS	Produire l'eau chaude sanitaire à partir d'un système de production d'eau chaude sanitaire solaire thermique [...] Le logement est équipé a minima de 2 m <sup>2</sup> de capteurs solaires permettant d'assurer la production d'eau chaude sanitaire, <u>d'orientation sud et d'inclinaison entre 20° et 60°</u> ;
		<b>OU</b> contribution des énergies renouvelables > 5 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> /an	OU démontrer que la contribution des énergies renouvelables au Cep du bâtiment [...] est supérieure ou égale à 5 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .an).
		<b>OU</b> raccordement à un réseau de chaleur alimenté à + de 50% par une énergie renouvelable	OU être raccordé à un réseau de chaleur alimenté à plus de 50 % par une énergie renouvelable ou de récupération ;
		<b>OU</b> recours à une production d'eau chaude sanitaire thermodynamique	OU recourir à une production d'eau chaude sanitaire assurée par un appareil électrique individuel de production d'eau chaude sanitaire thermodynamique, ayant un coefficient de performance supérieur à 2, selon le référentiel de la norme d'essai prEN 16147
		<b>OU</b> recours à un système de micro-cogénération	OU recourir à une production de chauffage et/ou d'eau chaude sanitaire assurée par une chaudière à micro-cogénération à combustible liquide ou gazeux, dont le rendement thermique à pleine charge est supérieur à 90 % sur PCI, le rendement thermique à charge partielle est supérieur à 90 % sur PCI et dont le rendement électrique est supérieur à 10 % sur PCI.
Maisons individuelles, accolées et bâtiments de logements collectifs	<b>Garantir l'accès à l'éclairage naturel</b>	Garantir une surface de parois vitrées minimale	Pour les maisons individuelles ou accolées et les bâtiments collectifs d'habitation, la surface totale des baies, mesurée en tableau, est supérieure ou égale à 1/6 de la surface habitable.



## X.2. PRESCRIPTIONS RELATIVES A LA JUSTIFICATION DES PERFORMANCES

Bâtiment concerné	Orientation	Prescriptions de la RT 2012	Décret n°2011-544 du 18 mai 2011 relatif aux attestations de prise en compte de la réglementation thermique et de réalisation d'une étude de faisabilité relative aux approvisionnements en énergie pour les bâtiments neufs ou les parties nouvelles de bâtiments
Bâtiments soumis à la RT 2012	<b>Justifier de la prise en compte des prescriptions de la RT 2012 en phase conception</b>	Dépôt d'une attestation au dépôt du permis de construire	<p>Le maître d'ouvrage de tout bâtiment neuf ou de partie nouvelle de bâtiment existant [...] établit [...] un document attestant qu'il a pris en compte ou fait prendre en compte par le maître d'œuvre [...] la réglementation thermique [...] et en particulier :</p> <p>« – la prescription concernant le besoin conventionnel en énergie d'un bâtiment pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage [...]</p> <p>« – les prescriptions sur les caractéristiques thermiques intervenant dans la performance énergétique du bâtiment [...]</p> <p>« Cette attestation est établie sur un formulaire conforme à des prescriptions fixées par arrêté. Elle est jointe à la demande de permis de construire [...].</p>
	<b>Justifier de la prise en compte des prescriptions de la RT 2012 à l'achèvement du chantier</b>	Dépôt d'une attestation à l'achèvement du chantier	<p>A l'achèvement des travaux portant sur des bâtiments neufs ou des parties nouvelles de bâtiment existant soumis à permis de construire [...] :</p> <p>« – [...] le maître d'ouvrage fournit [...] un document attestant la prise en compte par le maître d'œuvre de la réglementation thermique OU</p> <p>« – [...] le maître d'ouvrage fournit [...] un document attestant qu'il a pris en compte la réglementation thermique.</p> <p>« Le document ainsi établi doit attester la prise en compte :</p> <p>« – de la prescription concernant la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage, les auxiliaires de chauffage, de refroidissement, d'eau chaude sanitaire et de ventilation [...]</p> <p>« – de la prescription concernant le besoin conventionnel en énergie d'un bâtiment pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage [...]</p> <p>« – pour certains types de bâtiments, de la prescription concernant la température intérieure conventionnelle atteinte en été [...]</p> <p>« – des prescriptions sur les caractéristiques thermiques intervenant dans la performance énergétique du bâtiment [...]</p> <p>« Cette attestation est établie sur un formulaire conforme à des prescriptions fixées par arrêté. Elle est jointe à la déclaration d'achèvement des travaux [...].</p>

## XI. SYNTHÈSE

Cette étude de faisabilité sur le potentiel de développement des énergies renouvelables met en évidence :

- La disponibilité immédiate de plusieurs énergies renouvelables (solaire passif, solaire actif, énergie bois, géothermie peu profonde)
- Les conditions de mobilisation de ces énergies
- La disponibilité locale du bois énergie
- L'intérêt économique sur les coûts d'exploitation sur 20 ans du recours aux énergies renouvelables
- L'impact environnemental réduit par rapport aux énergies fossiles de l'utilisation des énergies renouvelables

Plusieurs scénarios d'approvisionnement en énergie mobilisant les énergies renouvelables ont été étudiés : le tableau suivant propose une synthèse qualitative des résultats obtenus :

Le code couleur traduit la réponse du scénario aux critères proposés.

Scénario étudié	Critère	Faible consommation en Energie finale	Coût d'investissement	Coût de fonctionnement la 1ère année	Coût Global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne
Sc. 0 : Gaz (+ ballon thermodynamique)		Orange	Vert	Orange	Vert	Rouge	Vert
Sc. 1: Gaz + ECS solaire		Orange	Vert	Vert	Vert	Orange	Vert
Sc. 2: Bois granulés (+ ballon thermodynamique)		Orange	Vert	Orange	Vert	Vert	Vert
Sc. 3 : PAC géothermie		Vert	Orange	Vert	Orange	Vert	Rouge
Sc. 4- PAC air/eau		Vert	Vert	Vert	Vert	Vert	Rouge

Figure 46 : Evaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critère environnementaux et économiques- logement collectif

Ainsi, pour un logement collectif, les S1 et S2 présentent une réponse aux critères d'analyse plus adaptée que le scénario 3, mais aucun scénario ne se détache particulièrement par rapport aux autres.

Scénario étudié	Critère	Faible consommation en Energie finale	Coût d'investissement	Coût de fonctionnement la 1ère année	Coût Global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne
Sc. 0 : Gaz (+ ballon thermodynamique)		Orange	Orange	Rouge	Orange	Rouge	Orange
Sc. 1: Gaz + ECS solaire		Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Vert
Sc. 2: Bois granulés (+ ballon thermodynamique)		Orange	Vert	Orange	Vert	Vert	Vert
Sc. 3 : PAC géothermie		Vert	Rouge	Vert	Orange	Vert	Rouge
Sc.4- PAC air/eau		Vert	Orange	Vert	Vert	Vert	Rouge

Figure 47 : Evaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critère environnementaux et économiques- logement individuel

LEGENDE Scénario

Réponse Favorable

Réponse mitigée ou adaptée partiellement au critère

Réponse Défavorable ou inadaptée

En logement individuel, les S0 et S3 présentent une réponse aux critères d'analyse moins adaptée que le scénario 3.

Le recours aux énergies renouvelables permettrait de réduire certains besoins énergétiques mais surtout les émissions de gaz à effet de serre.

Le recours au solaire passif (bioclimatisme), au solaire actif (production de chaleur ou d'électricité), à la biomasse sont donc des solutions à privilégier.

La densité énergétique du quartier est trop faible pour créer un réseau de chaleur unique. Des solutions de chaufferies collectives par îlot pourraient être intéressantes à étudier opération par opération : sur la base de bâtiments très performants, le seul critère de densité énergétique n'est pas forcément favorable, mais une étude économique détaillée pourra montrer un intérêt.

L'ensemble des propositions permettant d'atteindre les objectifs est présentée dans le tableau « **SYNTHESE DES OBJECTIFS ET DES MESURES ASSOCIEES** ».

Le tableau suivant présente la synthèse des impacts estimés pour les 3 grands types de consommations énergétique :

	Consommation énergétique annuelle estimée	Emissions de CO <sub>2</sub> t/an
<b>Bâtiments (tous usages)</b>	2 900 à 4 550 MWh <sub>ef</sub> /an	180 à 600 t/an (RT 2012)
<b>Consommation conventionnelles</b>	<i>en fonction du type d'énergie utilisé</i>	<i>en fonction du type d'énergie utilisé</i>
<b>Transports</b>	-	1 390 t/an <i>selon nos hypothèses</i>
<b>Eclairage public LED</b>	13 à 27 MWh <sub>ef</sub> /an	2,3 à 4,8 t/an <i>selon nos hypothèses</i>

Figure 48: Synthèse des impacts estimés d'un point de vue énergétique et effet de serre

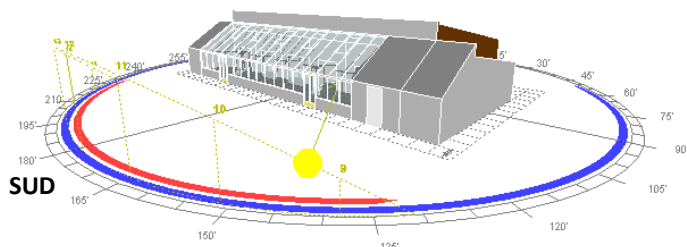
Enfin, il sera nécessaire d'informer et d'accompagner les futurs habitants sur la mise en place des solutions mobilisant les énergies renouvelables pour leur permettre de faire un choix pertinent.

**ANNEXES : FICHES TECHNIQUES SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES**

**FICHE ENERGIE SOLAIRE GENERALITES**

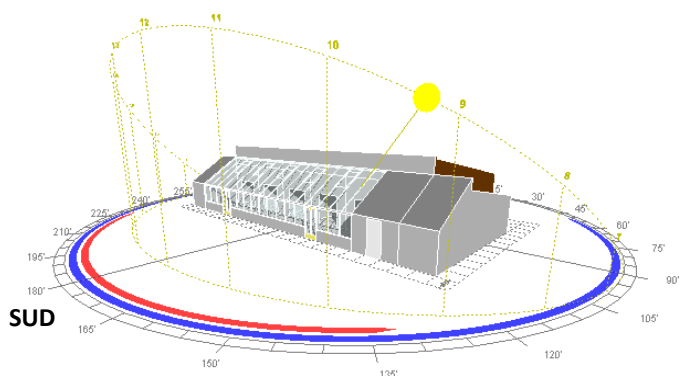
TRAJECTOIRE DU SOLEIL AU COURS DE L'ANNEE

La démarche d'optimisation des apports solaires nécessite la compréhension de la trajectoire du soleil dans le ciel, en fonction des saisons. Les figures suivantes illustrent 3 trajectoires correspondant à l'hiver à la mi-saison et l'été.



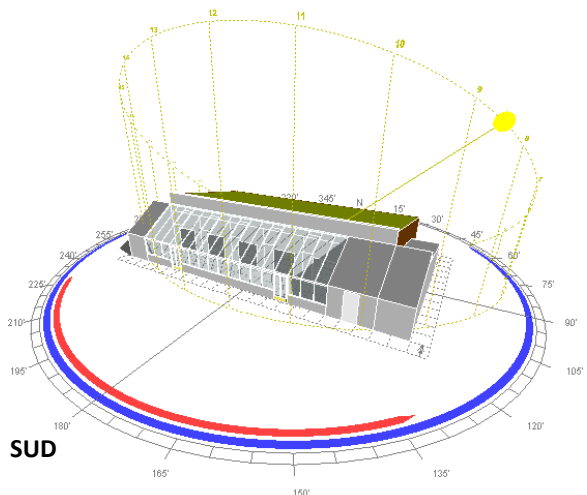
**Hiver**

Trajectoire courte et basse sur l'horizon.  
Le soleil se lève au Sud-Est, se couche au sud-ouest



**Mi-saison**

Trajectoire longue et plus haute dans le ciel: le soleil se lève à l'Est, se couche à l'Ouest



**Eté**

Trajectoire longue et très haute dans le ciel: le soleil se lève au Nord-Est, se couche au Nord-Ouest.

CONSEQUENCES POUR LES APPOINT SOLAIRES

Ces conséquences sont étudiées du point de vue d'un exemple très simple de bâtiment parallélépipédique, pour illustrer l'impact de l'orientation des façades principales sur les apports solaires dont va bénéficier le bâtiment.

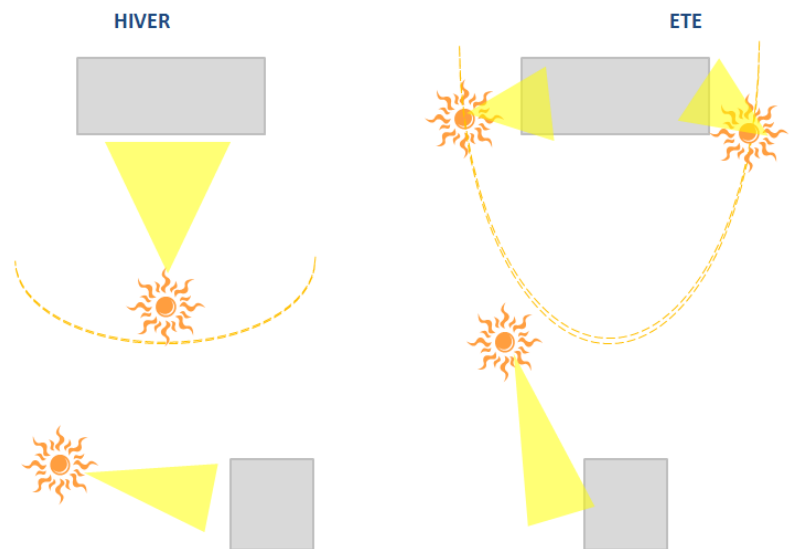
Il est évident que la réalité est toujours plus nuancée car l'architecte ne conçoit pas des bâtiments uniquement parallélépipédiques, ni orientés strictement Nord-Sud ou Est-Ouest.

Mais il est important de garder à l'esprit les grands principes présentés ci-dessous dès la phase de conception d'une opération d'aménagement.

## BATIMENT DONT LES FAÇADES PRINCIPALES SONT ORIENTEES AU SUD

Les schémas ci-dessous montrent qu'avec des façades principales orientées au Sud :

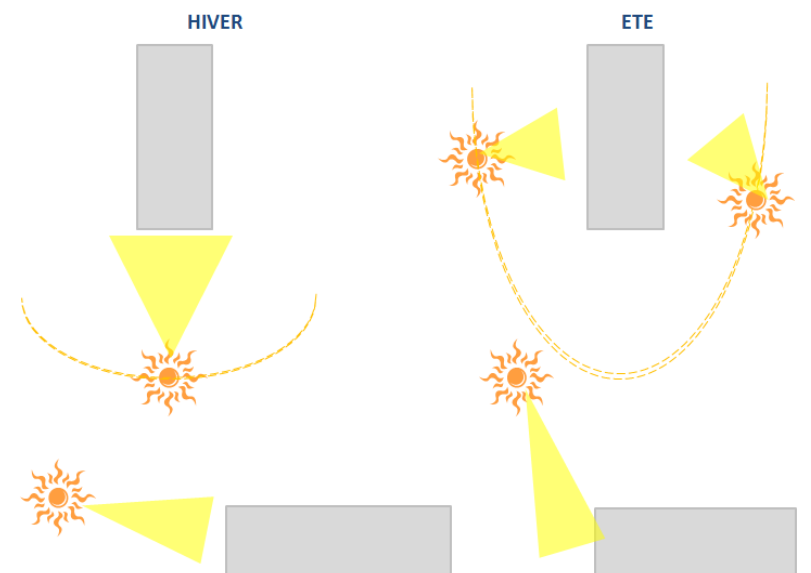
- en hiver : le bâtiment **profite d'apports solaires gratuits**, car le **soleil est bas sur l'horizon** avec un rayonnement incident proche de l'horizontal, qui pénètre donc facilement par les vitrages ;
- en été : **les apports solaires directs au Sud sont limités** car le soleil est très haut dans le ciel, une simple casquette horizontale permet de s'en protéger complètement ;
- en été : **le bâtiment évite les apports solaires trop importants par les façades Ouest et Est**, lorsque le développé de ces façades n'est pas trop important, ce qui limite les risques de surchauffe.



## BATIMENT DONT LES FAÇADES PRINCIPALES SONT ORIENTEES EST OU OUEST

Les schémas ci-dessous montrent qu'avec des façades principales orientées à l'Est ou à l'Ouest

- en hiver : le bâtiment ne profite pas d'apports solaires gratuits, car **le rayonnement solaire provient d'un cadran Sud-Est à Sud-Ouest**, les façades principales ne sont donc pas impactées ;
- en été : le bâtiment bénéficie d'apports solaires importants le matin à l'est (de 6h à 12h) et l'après-midi à l'Ouest (de 14h à 21h) ce qui favorise les risque de surchauffes.



### PRECONISATIONS D'ORDRE GENERAL

La démarche d'optimisation énergétique peut donc être décrite en plusieurs étapes.

## ORIENTATION DES BATIMENTS

### A l'échelle du bâtiment :

- prévoir les façades principales au Sud : une orientation Sud-Ouest à Sud-Est reste pertinente. Les façades principales s'entendent la plupart du temps « côté jardin » pour les maisons individuelles ;
- assurer un recul suffisant entre les bâtiments pour permettre un accès au soleil au Sud dans les conditions les plus défavorables (solstice d'hiver).
- Prévoir des protections solaires adaptées pour éviter le risque de surchauffe et donc les consommations énergétiques liées à la climatisation.

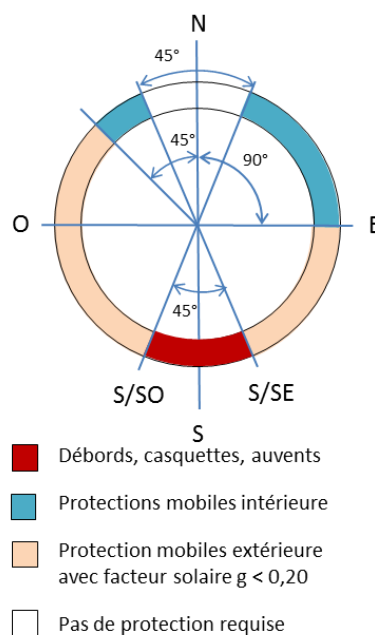


Figure 49: Protections solaires adaptées selon l'orientation (Source : La conception bioclimatique, Terre vivante)

**Cette démarche mise en œuvre à l'échelle du Plan Masse permet également de favoriser l'implantation de capteurs solaires, qu'ils soient thermiques ou photovoltaïques.**

Dans une optique uniquement axée sur l'accès au soleil pour la production d'énergie solaire thermique ou photovoltaïque, il convient donc de respecter au mieux ce recul pour optimiser la production.

### A l'échelle des logements :

- Préférer une orientation des logements Nord-Sud : espaces tampons au Nord, espaces de vie au Sud
- Eviter les logements mono-orientés à l'Est ou à l'Ouest : des logements traversants permettent de minimiser l'impact d'une orientation défavorable
- Proscrire les logements mono-orientés au Nord, qui ne bénéficieront d'apports solaires que tôt le matin et tard le soir en été.

## IMPACT DU RELIEF

Le relief a un impact fort sur les apports solaires. En effet, en terrain plat (pente=0%), l'optimisation des apports solaires devrait permettre, dans l'idéal, aux façades principales de bénéficier d'apports solaires gratuits en hiver, lorsque :

- le soleil est bas sur l'horizon
- les besoins en chauffage sont les plus importants

Dans ces conditions, la hauteur angulaire du soleil, le 21 décembre à midi (solstice d'hiver) est de 18°. Aucun obstacle ne devrait donc se trouver dans le champ de cette hauteur angulaire pour éviter les masques et les ombres résultantes. *Sur une surface plane, cet angle impose ainsi un recul de 3.1 fois la hauteur des bâtiments situés juste au sud du bâtiment étudié.*

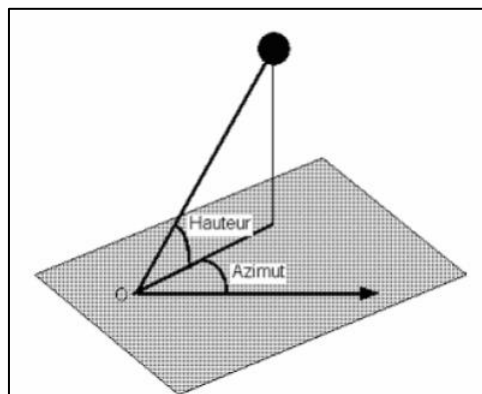


Figure 50: hauteur angulaire (source ENSTIB)

Sur un secteur accidenté, plus la plus la pente est forte vers le Nord, plus les marges de recul devront augmenter. Le schéma suivant présente les paramètres à prendre en compte pour le calcul des marges de recul entre 2 bâtiments :

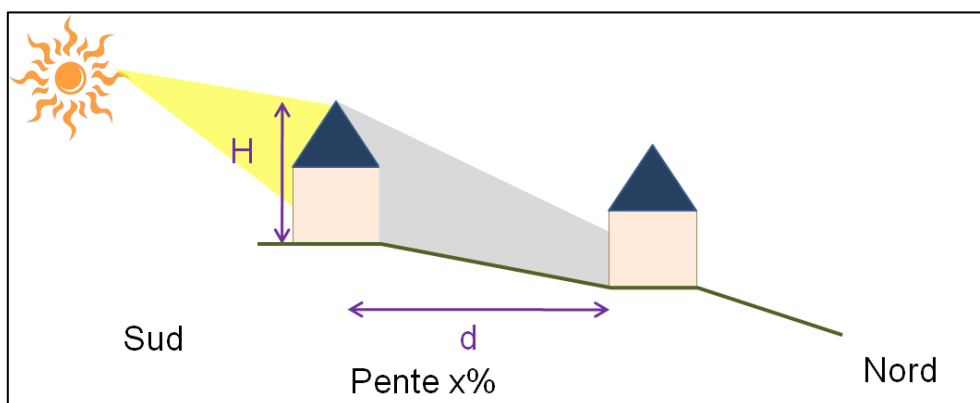


Figure 51: Paramètres à prendre en compte pour le calcul des marges de recul



Le tableau suivant présente un exemple de calcul de marge de recul entre un bâtiment de hauteur  $H = 9$  m situé au Sud d'un bâtiment à créer pour des pentes allant de 0 à 6%. La ratio  $d/H$  peut être utilisé dans tous les cas de figure.

pente du terrain	ratio $d/H$	Avec $H = 9$ m
6.0%	$d = 4.33 \times H$	$d = 39.0$ m
5.5%	$d = 4.24 \times H$	$d = 38.2$ m
5.0%	$d = 4.15 \times H$	$d = 37.4$ m
4.5%	$d = 4.05 \times H$	$d = 36.5$ m
4.0%	$d = 3.96 \times H$	$d = 35.6$ m
3.5%	$d = 3.86 \times H$	$d = 34.7$ m
3.0%	$d = 3.76 \times H$	$d = 33.8$ m
2.0%	$d = 3.54 \times H$	$d = 31.9$ m
0.0%	$d = 3.08 \times H$	$d = 27.7$ m

Ces marges de recul ne peuvent pas toujours être mises en œuvre, car elles rentrent en interaction avec d'autres enjeux (densité, voirie, formes urbaines etc.). Cependant, plus elles seront optimisées, plus les bâtiments pourront profiter d'apports solaires gratuits.

## MASQUES SOLAIRES

Le maintien de haies bocagères est important puisqu'elles ont un rôle à jouer sur le maintien de la qualité de l'eau, peuvent servir de corridor écologique lorsque qu'un réel maillage existe ou a été reconstitué.

Il conviendra donc de prendre en compte les arbres qui seront conservés dans le projet de manière à ce que leur ombre portée ne limite pas trop les apports solaires. **Dans l'ombre d'une haie de grande taille, un espace de jeux ou un parking collectif pourrait être aménagé par exemple.**

## FORMES URBAINES

En ce qui concerne les **formes urbaines**, la prise en compte de la performance énergétique peut se traduire par les priorités suivantes :

- privilégier la **densité des logements** : des maisons groupées avec deux parois mitoyennes sont moins déperditives que des maisons isolées ;
- privilégier des **formes architecturales compactes** : des logements semi-collectifs (en R+1 ou R+2) permettent souvent d'aboutir à une meilleure compacité que des maisons groupées ;
- privilégier des **logements traversants** : les maisons individuelles sont généralement traversantes. Pour des petits collectifs, cet objectif permet souvent d'organiser les espaces de vie au Sud et les espaces fonctionnels (entrée, buanderie, coursives d'accès extérieur) au Nord. Les logements traversants ont l'avantage de permettre une ventilation naturelle estivale pour éviter les surchauffes. Cette organisation permet aussi d'éviter la plupart du temps les logements défavorisés d'un point de vue de l'orientation (orientation principale au Nord ou Nord-Est par exemple).

## FICHE ENERGIE SOLAIRE THERMIQUE

## P. RAPPEL SUR LE SOLAIRE THERMIQUE

L'énergie solaire est une énergie gratuite, abondante et renouvelable. C'est l'énergie renouvelable de prédilection pour la production d'eau chaude, notamment celle à basse température.

Un rayonnement global d'environ 1500 kWh/m<sup>2</sup> « tombe » par an sur les départements de l'Ouest de la France, cela correspond à peu près à 150 litres de fioul par m<sup>2</sup>.

Cette énergie arrive sous deux formes, le rayonnement direct provenant directement du soleil et le rayonnement diffus lorsque le ciel est nuageux. Le rayonnement diffus représente plus de la moitié du rayonnement annuel dans nos régions.

**Une installation solaire thermique permet de récupérer environ 40 à 60% du rayonnement global provenant du soleil pour chauffer de l'eau, destinée à la production d'eau chaude sanitaire ou à du chauffage.**

Le schéma suivant présente une installation simplifiée de type solaire collectif pour la production d'eau chaude sanitaire.

Une installation solaire comprend les éléments suivants :

- un **réseau de capteurs solaires** qui permet de transférer l'énergie solaire au fluide qui le traverse au moyen de l'absorbeur ;
- le circuit primaire qui permet de transporter et de transférer l'énergie solaire vers l'eau à travers un échangeur externe ou interne ;
- le **ballon de stockage solaire** qui permet d'accumuler l'eau chaude pour une utilisation ultérieure ;
- une **source d'énergie d'appoint**, instantanée ou couplée à un stockage d'eau chaude ;
- différents organes en fonction des systèmes : circulateurs primaires et secondaires, régulateurs, sondes, etc.

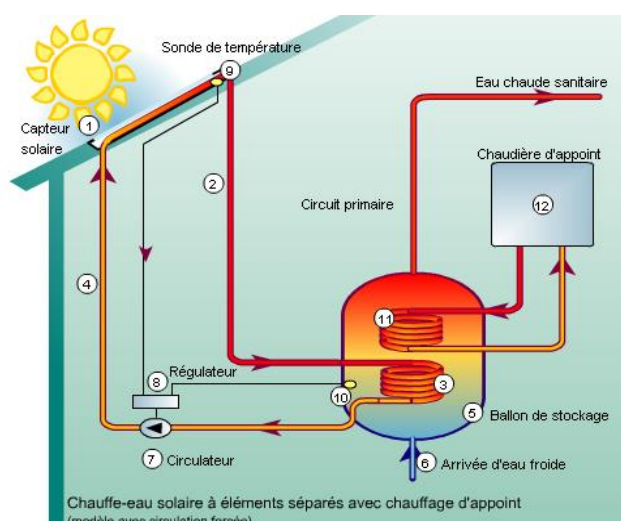


Figure 52 : principe de fonctionnement d'un' installation solaire thermique

## Q. TYPES D'UTILISATION

L'énergie solaire thermique peut être utilisée dans l'Ouest de la France sans restriction particulière, autant dans les logements individuels que les logements collectifs.

Les établissements recevant des personnes âgées de type **EHPAD** sont eux aussi de bon candidats à l'utilisation du solaire thermique car les **besoins en eau chaude sanitaire sont importants toute l'année**.

En revanche, les **locaux tertiaires et les commerces** ont généralement de faibles besoins en eau chaude. Il n'est donc **pas judicieux de le prévoir pour ces bâtiments** (en dehors de commerces spécifiques avec des forts besoins d'eau chaude).

**Le solaire thermique est généralement utilisé pour la production d'eau chaude sanitaire. Il est important de rappeler que les systèmes solaires thermiques peuvent également participer à réduire de manière globale les besoins thermiques des bâtiments en produisant également une partie du chauffage.**

Les installations solaires thermiques permettent de faire des économies d'énergie qui représentent environ :

- 40 à 50% des besoins d'eau chaude sanitaire lorsque le solaire est uniquement dimensionné pour la production d'eau chaude,
- 30% environ sur le chauffage et 60 à 65% sur l'eau chaude lorsque le système est dimensionné pour assurer une part des besoins de chauffage en complément de l'eau chaude.

## R. LES SCHEMAS POSSIBLES ET CEUX QU'IL CONVIENT D'ÉVITER ABSOLUMENT

Plusieurs éléments sont à retenir pour l'installation d'énergie solaire pour la production d'eau chaude :

- **environ 4 à 5 m<sup>2</sup> pour les maisons individuelles ;**
- **environ 1 à 1,5 m<sup>2</sup> pour les logements collectifs ;**
- **éviter tout surdimensionnement** : en effet, il est toujours préférable de sous dimensionner une installation solaire :
  - o l'investissement d'une installation solaire « sous dimensionnée » sera toujours mieux rentabilisé ;
  - o les risques de surchauffe (en mi-saison et en été) du liquide caloporteur de l'installation seront réduits ce qui augmentera la pérennité de l'installation (pas de risque de corrosion des tuyaux) ;
  - o les subventions de l'Ademe (logements collectifs notamment) sont liées à un rendement minimum de 400 kWh/m<sup>2</sup>/an ce qui conduit à limiter le nombre de capteurs ;
- **incliner les panneaux solaires à 45° environ ;**
- **maintenir une orientation au sud à plus ou moins 25° maximum ;**
- **limiter les ombres et les masques (bâtiments proches, végétation) ;**
- ne pas installer autant d'installations solaires que de logements dans un bâtiment collectif. Ce principe est parfois préconisé mais il n'est jamais rentable d'un point de vue technique ou économique ;
- dans une installation solaire collective, il convient de limiter au mieux la longueur de tuyauterie de distribution et d'isoler ces tuyauteries au maximum. En effet, afin de réduire les risques de légionelles, l'eau chaude devra généralement circuler en continu dans l'ensemble des logements (notion de bouclage), 24h/24 7j/7 toute l'année. Les pertes de bouclage peuvent ainsi être très importantes et limiter d'autant le gain des installations solaires.

**L'utilisation du solaire en combinaison chauffage + eau chaude, est généralement privilégiée pour les maisons individuelles avec un plancher chauffant de type PSD (plancher solaire direct). Ce principe peut néanmoins être étudié dans le cas de bâtiments collectifs, une étude spécifique doit permettre de dimensionner au mieux les composants pour limiter les surchauffes et optimiser économiquement l'ensemble.**

## S. PRECONISATIONS

L'intégration d'énergie solaire a été prise en compte lors de la modélisation initiale (niveau BBC). Sans cette utilisation, les consommations en énergie pour l'eau chaude pourraient se trouver doublées.

**Nous vous conseillons donc de préconiser l'utilisation de ce type d'énergie pour tous les bâtiments dont les besoins d'eau chaude sont importants en imposant une étude de faisabilité au minimum pour les bâtiments collectifs.**

**Il est nécessaire de rappeler que la future réglementation thermique (RT2012), en vigueur dans les bâtiments d'habitation au 1<sup>er</sup> janvier 2013 imposera, pour les logements individuels et assimilés, l'utilisation d'énergie renouvelable pour la production d'eau chaude sanitaire. Le solaire est, à ce titre, l'une des sources privilégiées pour répondre à ce principe.**

## FICHE ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

**L'énergie solaire photovoltaïque est une solution de production d'énergie électrique décentralisée** qui peut être avantageusement étudiée lors de la construction de bâtiments neufs, par exemple.

En revanche, même si l'intégration de tels systèmes doit être réfléchi le plus en amont dans les projets de construction, notamment pour assurer une intégration réussie, **il est toujours préférable de considérer le photovoltaïque en dehors de la phase d'optimisation énergétique du bâtiment. Un bâtiment doit d'abord être performant à l'aide d'une bonne orientation (démarche bio-climatique), d'une bonne enveloppe (isolation, vitrage), avant d'être performant par l'intégration de systèmes énergétiques complexes.**

L'installation de panneaux photovoltaïques pourrait être envisagée afin de produire de l'énergie électrique localement et de revendre la production à EDF.

Ce type de production décentralisée est actuellement aidé, il est donc intéressant d'en étudier l'opportunité. Cependant, afin de bénéficier d'un tarif de rachat optimal, il est nécessaire d'intégrer le générateur photovoltaïque au bâtiment : remplacement de bardage vertical, membrane d'étanchéité, casquettes solaires, etc. En effet, dans le cas d'une production à partir d'un système intégré, le tarif de rachat est majoré.

Plusieurs solutions pourraient être envisagées sur les bâtiments du quartier, en fonction de la configuration et de l'architecture des constructions.

### T. MEMBRANES D'ETANCHEITE PHOTOVOLTAÏQUES

Pour les bâtiments collectifs par exemple, il pourrait être envisagé d'intégrer des panneaux tout en assurant l'étanchéité des toitures. Des modules photovoltaïques sont directement intégrés, en usine, sur une membrane d'étanchéité, ainsi que l'ensemble des connectiques.

Pour une surface équivalente, ces modules sont moins performants que des modules classiques mais le coût de ces solutions et l'intérêt technique de mutualiser l'étanchéité avec une production photovoltaïque rendent ce produit aujourd'hui adapté à certains projets.



Figure 53 : exemple de membranes d'étanchéité installées sur un bâtiment industriel

### U. PANNEAUX DE SILICIUM

La seconde solution repose sur des modules plus classiques à base de silicium polycristallin. Généralement adaptés pour la maison individuelle, ces systèmes peuvent être posés sur quasiment tous les types de support.

Les modules polycristallins offrent une puissance située autour de **130 W à 140 W par m<sup>2</sup>**. La performance de ces capteurs est donc supérieure à celle des membranes. En revanche, l'intégration dans les bâtiments nécessite des structures spécifiques plus difficiles et coûteuses à mettre en œuvre que les modules membranes.



Figure 54 : modules Photowatt

### V. PRECONISATIONS

**Afin de bénéficier des avantages de la production photovoltaïque, nous vous proposons d'imposer une étude de faisabilité d'intégration de solaire photovoltaïque pour les bâtiments collectifs. Cette préconisation a l'avantage de ne pas imposer l'implantation de modules mais favorise la prise de conscience des possibilités et de l'intérêt de ces solutions.**

## FICHE POMPES A CHALEUR

Les pompes à chaleur sont souvent également considérées comme utilisant de l'énergie renouvelable. Ces équipements spécifiques utilisent en effet généralement de l'énergie solaire (« aérothermie », « géothermie » horizontales ou verticales) car elles puisent une partie de l'énergie de l'atmosphère ou du sol, eux-mêmes chauffés par le soleil. **En revanche, nous considérons que ces équipements ne peuvent être classés parmi les énergies renouvelables au même titre que les précédentes car :**

- les pompes à chaleur fonctionnent grâce à l'électricité, une énergie qui nécessite pour sa production environ 3 fois plus d'énergie fossile (gaz, uranium, fioul, etc.) ;
- le rendement de ces équipements (COP : coefficient de performance, ratio entre l'énergie produite et l'énergie utilisée) atteint pour le moment des niveaux généralement inférieurs à 3 (en moyenne annuelle). Un rapide calcul au regard du bilan de l'énergie électrique, permet ainsi de montrer que ces équipements, malgré l'utilisation technique d'énergie solaire, consomment autant d'énergie fossile qu'une chaudière traditionnelle ;
- leur fonctionnement nécessite l'usage d'un fluide frigorigène dont l'impact sur l'effet de serre est important (équivalent de 1300 à 1900 kg de CO<sub>2</sub> par kg de fluide frigorigène) : en effet, toutes les pompes à chaleur ont un taux de fuite qui va de 3% à 10% par an ;
- **les pompes à chaleur sont donc plutôt de bons systèmes de chauffage électrique. Elles deviendront des énergies renouvelables lorsque le COP dépassera en moyenne annuelle le rendement des centrales électriques actuelles et/ou lorsque l'énergie électrique utilisée sera d'origine renouvelable.**



Figure 55 : principe de fonctionnement des pompes à chaleur (source [www.airclim-concept.com](http://www.airclim-concept.com))

Il est important de noter que les pompes à chaleurs Air-Eau, couramment appelées « aérothermie », nécessitent l'implantation d'un groupe extérieur muni d'un ventilateur qui peut générer des **nuisances acoustiques non négligeables, surtout dans le cas d'un habitat dense.**

**Enfin, il est important de préciser que l'installation massive de pompes à chaleur contribue à affaiblir le réseau de distribution d'électricité à cause des appels de puissance importants les jours de grand froid.**

**Extrait du Pacte électrique breton :**

**L'orientation des choix d'investissements et d'équipements**

Les signataires s'engagent à 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. Les collectivités seront sollicitées pour moduler les critères d'attribution de leurs aides (éco-conditionnalité).

## FICHE ENERGIE EOLIENNE

### PRESENTATION

L'énergie éolienne est en fort développement en France depuis plusieurs années maintenant.

L'ensemble de l'électricité produite par les sites d'éoliennes est généralement revendu à EDF. En revanche, de par la nature même de l'électricité, elle profite principalement aux consommateurs proches du site éolien. Cette production décentralisée a ainsi plusieurs avantages :

- produire une partie de l'énergie électrique à partir d'énergies renouvelables et donc limiter le recours aux énergies fossiles ;
- limiter les pertes sur le réseau de transport et de distribution en assurant une production locale ;
- permettre aux utilisateurs proches de limiter leur impact sur l'environnement par l'utilisation de cette électricité ;
- participer à la vie locale et au rayonnement de la commune.

L'une des spécificités de l'énergie éolienne est son **caractère variable**, lié aux variations de l'intensité du vent.

### W. GRAND EOLIEN

#### DEFINITION

On distingue les types d'éoliennes en fonction de leur puissance et de leur taille :

- le "moyen éolien", pour les machines entre 36 kW et 350 kW
- le "grand éolien" (puissance supérieure à 350 kW), pour lequel on utilise des machines à axe horizontal munies, dans la plupart des applications, d'un rotor tripale.

#### RESTRICTIONS

L'obligation réglementaire d'éloignement de plus de 500 m des zones d'habitation des éoliennes de plus de 50 mètres de haut et les restrictions dues au plafond aérien militaire réduisent à néant le potentiel de développement du grand éolien sur la plupart des projets d'aménagement. Le développement de tel projet se fait à l'échelle départemental voir régional.

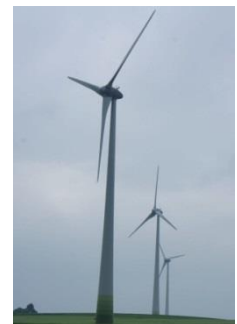


Figure 56: Source Schéma éolien terrestre en Bretagne

### X. PETIT EOLIEN

#### DEFINITION

Selon l'Ademe, le « petit éolien » désigne les éoliennes dont la hauteur du mât est inférieure à 35 mètres et dont la puissance varie de 0,1 à 36 kW.

En France, le petit éolien reste peu développé : notamment car il n'y a pas d'obligation de rachat de l'électricité produite.



Figure 57: Source Synagri



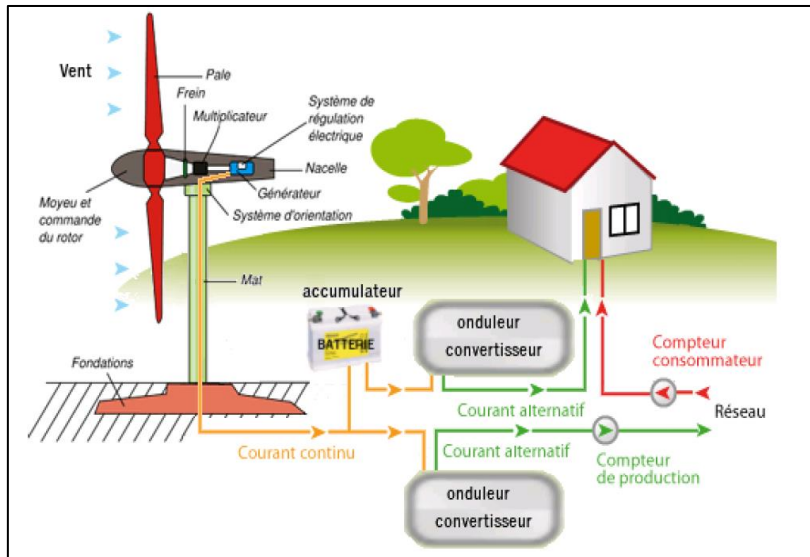


Figure 58: Schéma de principe d'une installation éolienne (Source: Fiche pratique DDTM35)

## Y. PRODUCTIBILITE

La figure suivante extraite de la fiche technique éolien réalisée par la DDTM 35 donne un ordre d'idée de l'énergie produite en fonction du type d'éolienne :

Type	Utilisation	Puissance (KW)	Hauteur (nacelle) (m)	Production annuelle (MWh)	Nombre de ménages (5 MWh/an)
Micro	Domestique	0,5 - 5	< 12m	1 - 10 ⚠	0.25 - 2 ⚠
Petite	Domestique/ agriculteurs	5 - 50	12 - 30	10 - 100 ⚠	2 - 20 ⚠
Moyenne	PME/industrie	50 - 250	30 - 50	100 - 500 ⚠	20 - 100 ⚠
Grande	Production en masse	> 250	> 50	> 500 ⚠	> 100 ⚠
Valeurs pour les grandes éoliennes actuelles		1 000 kW (1 MW)	60-80	1 200-2 300	240-460
		2 000 kW (2 MW) (évolution 3MW)	80-120	2 900- 5 500	580-1 100

Données EDF Enbrin et DDTM35

⚠ : Les valeurs indicatives du tableau ci-dessus sont dans l'hypothèse de production de 1000 à 2000 heures/an de production. La viabilité économique de l'éolienne impose une production minimum de 1000 heures. Elles nécessitent une étude détaillée du site et de la recherche de l'éolienne la plus adaptée (type, puissance, hauteurs).



## REGLEMENTATION

## Z. OCCUPATION DU SOL

Le tableau suivant présente les exigences et références réglementaires relatives à l'occupation du sol et aux obligations d'études d'impact.

Hauteur d'éolienne	Exigences réglementaire	Référence Réglementaire
< 12 m	Aucune exigence	Aucune
> 12 m	Permis de construire	Article R.421-2 du code de l'urbanisme
> 50 m	Enquête publique Assujetties à la <b>législation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)</b> ✓ Elles doivent être situées à <b>plus de 500 mètres des zones destinées à l'habitation</b> ; ✓ - Elles doivent se conformer à de <b>nouvelles prescriptions réglementaires</b> encadrant leur implantation et leur exploitation	Articles L. 553-2 et R. 122-9 du code de l'environnement <i>Le décret de nomenclature et les arrêtés de prescription seront établis dans le cadre de la réglementation des installations classées (au plus tard le 12 juillet 2011).</i> <i>Sauf pour les installations dont la demande de permis de construire a été déposée avant la publication de la loi Grenelle 2, et pour celles constituées d'une éolienne dont la puissance est inférieure ou égale à 250 kilowatts et dont la hauteur est inférieure à 30 mètres.</i>
Parc éolien	<b>Evaluation préalable des conséquences sur l'environnement</b>  Les installations éoliennes doivent comporter <b>plus de 5 mâts</b>	<i>Etude d'impact pour les éoliennes de plus de 50 mètres, notice d'impact pour les éoliennes de moins de 50 mètres.</i>  <i>Sauf pour les installations dont la demande de permis de construire a été déposée avant la publication de la loi Grenelle 2, et pour celles constituées d'une éolienne dont la puissance est inférieure ou égale à 250 kilowatts et dont la hauteur est inférieure à 30 mètres.</i>

Figure 59: Exigences et références réglementaires relatives à l'éolien (Source : [www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr))

## AA. SUPPRESSION DES ZONES DE DEVELOPPEMENT EOLIEN

La loi Brottes (n° 2013-312), promulguées par le président de la république le 15 Avril 2013 prévoit plusieurs mesures de simplification :

- suppression des ZDE (Zones de Développement de l'Eolien) qui se superposaient avec les Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE),
- suppression de la règle des cinq mâts minimum,
- dérogation à la Loi Littoral pour les territoires ultramarins facilitant l'implantation de parcs éoliens en bord de mer,
- Enfin, le texte va permettre le raccordement à terre des énergies marines renouvelables qui, jusqu'alors, s'avérait complexe, voire impossible à réaliser.

**Plus d'information** : la DDTM 35 a réalisé une fiche pratique éolien téléchargeable sur le site suivant : <http://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/petit-et-moyen-eolien-a2279.html>

## FICHE GEOTHERMIE

**BB. La géothermie très basse énergie (température inférieure à 30°C)**

Elle concerne les aquifères peu profonds d'une température inférieure à 30°C, température très basse, qui peut cependant être utilisée pour le chauffage et la climatisation si l'on adjoint une pompe à chaleur.

Elle concerne également la captation d'énergie solaire stockée dans sous-sol superficiel à l'aide de PAC sur sondes géothermiques.

**Ce type de géothermie est exploitable en Bretagne, la nature du sol et la profondeur de l'aquifère influenceront l'efficacité du système mis en place.**



Figure 60 © ADEME - BRGM

**CC. LA GEOTHERMIE BASSE ENERGIE (30 A 90°C)**

Appelée également basse température ou basse enthalpie, elle consiste en l'extraction d'une eau à moins de 90°C dans des gisements situés entre 1 500 et 2 500 mètres de profondeur.

L'essentiel des réservoirs exploités se trouve dans les bassins sédimentaires de la planète car ces bassins recèlent généralement des roches poreuses (grès, conglomérats, sables) imprégnées d'eau.

**Le niveau de chaleur est insuffisant pour produire de l'électricité mais parfait pour le chauffage des habitations et certaines applications industrielles.**



Figure 61 : © ADEME - BRGM

**DD. LA GEOTHERMIE MOYENNE ENERGIE (90 A 150°C)**

La géothermie de moyenne température ou moyenne enthalpie se présente sous forme d'eau chaude ou de vapeur humide à une température comprise entre 90 et 150°C.

Elle se retrouve dans les zones propices à la géothermie haute énergie, mais à une profondeur inférieure à 1 000 m.

Elle se situe également dans les bassins sédimentaires, à des profondeurs allant de 2 000 à 4 000 mètres.

Pour produire de l'électricité, une technologie nécessitant l'utilisation d'un fluide intermédiaire est nécessaire.

**EE. La géothermie haute énergie (température supérieure à 150°C)**

La géothermie haute enthalpie ou haute température concerne les fluides qui atteignent des températures supérieures à 150°C.

Les réservoirs, généralement localisés entre 1 500 et 3 000 mètres de profondeur, se situent dans des zones de gradient géothermal anormalement élevé.

Lorsqu'il existe un réservoir, le fluide peut être capté sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité.



Figure 62 : © ADEME - BRGM

**FF. LA GEOTHERMIE PROFONDE DES ROCHES CHAUDES FRACTUREES (HOT DRY ROCK)**

Elle s'apparente à la création artificielle d'un gisement géothermique dans un massif cristallin. A trois, quatre ou cinq kilomètres de profondeur, de l'eau est injectée sous pression dans la roche. Elle se réchauffe en circulant dans les failles et la vapeur qui s'en dégage est pompée jusqu'à un échangeur de chaleur permettant la production d'électricité. Plusieurs expérimentations de cette technique sont en cours dans le monde, notamment sur le site de Soultz-sous-Forêts en Alsace.

La figure suivante résume les différents types de géothermie présentés ci-dessus :

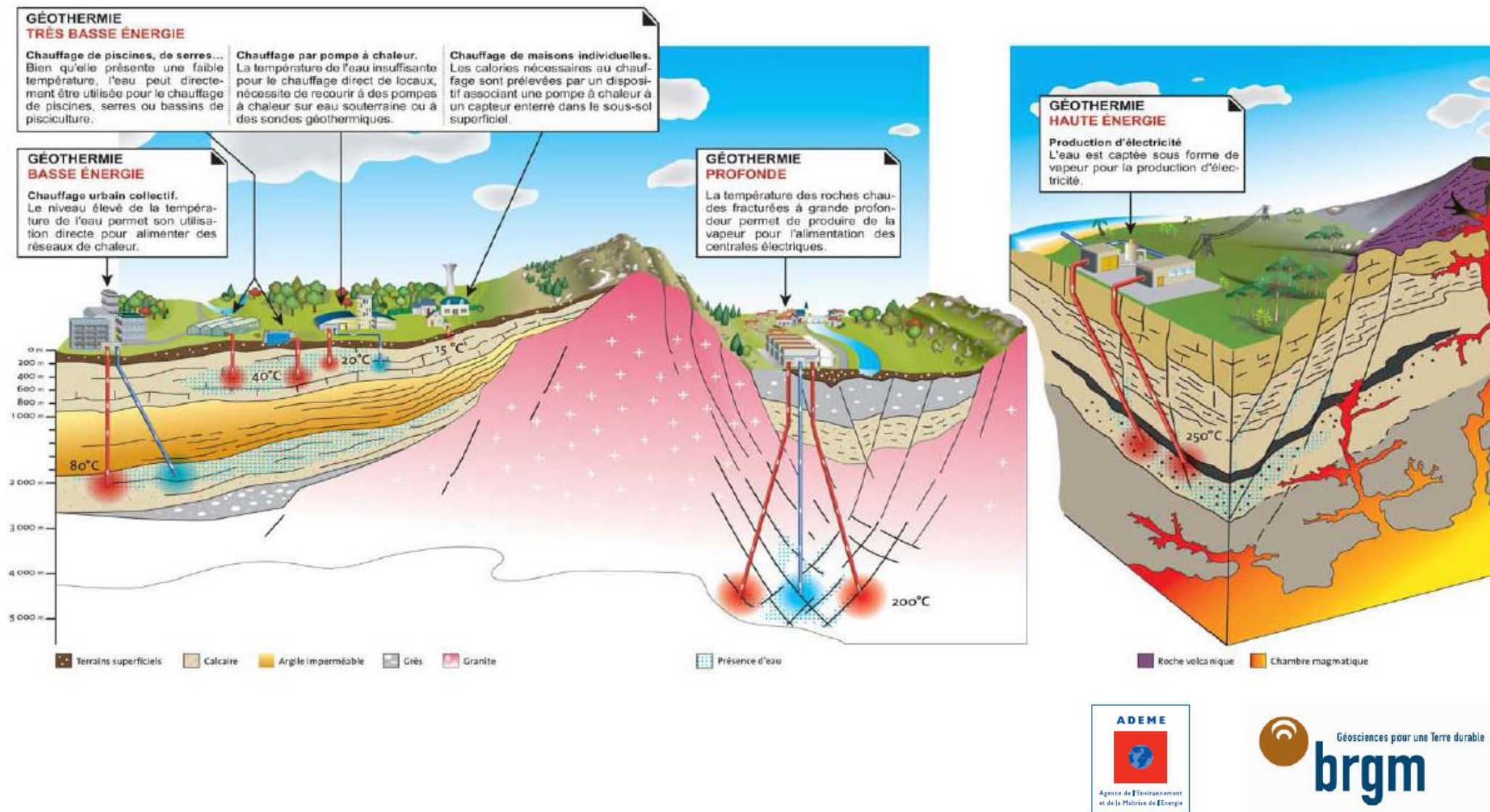
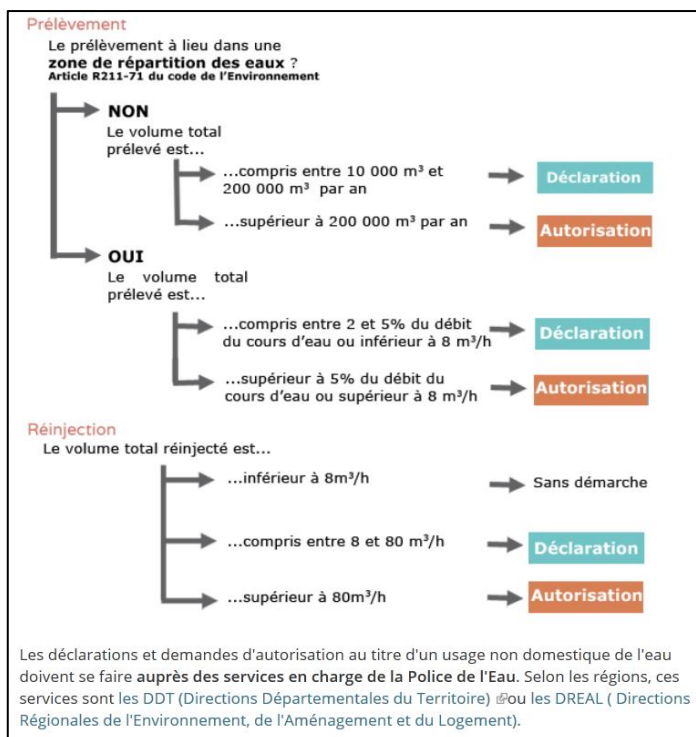
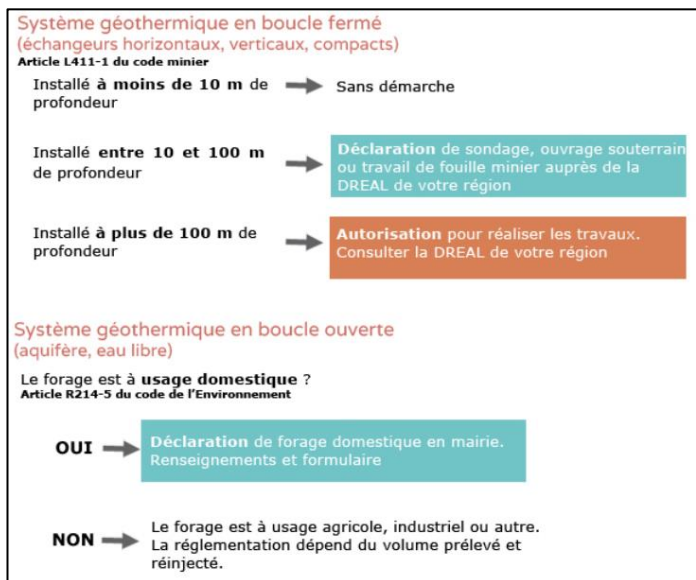


Figure 63 : Synthèse des techniques de géothermie © ADEME - BRGM

GG. REGLEMENTATION



**Le code minier, le code de la santé publique, le code général des collectivités territoriales peuvent régir les opérations de géothermie.** La géothermie est régie par le code minier en vertu de son article L.112-2 (ancien article 3) qui donne une définition de la géothermie et du régime juridique qui lui est applicable. Ainsi, « les gîtes renfermés dans le sein de la terre dont on peut extraire de l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et des vapeurs souterraines qu'ils contiennent », sont considérés comme des mines. Une substance minière appartient à l'Etat et non au propriétaire du sol. L'exploitation d'une ressource minière nécessite donc des autorisations accordées par l'Etat. Outre le code minier, les opérations de géothermie entrent dans le champ d'application du code de l'environnement pour les prélèvements et les réinjections en nappe, le code de la santé publique et le code général des collectivités territoriales qui peuvent s'appliquer dans certains cas particuliers.

**Les opérations géothermiques peuvent être soumises à différents régimes d'autorisation ou de déclaration** qui supposent le montage de dossier administratifs plus ou moins approfondis selon les cas et des circuits d'approbation administrative plus ou moins long. Les opérations de moins de 100 m de profondeur et de moins de 232 KW de puissance thermique sont considérées comme des opérations de minime importance et ne sont soumises qu'à déclaration. Dans les autres cas, elles sont soumises à autorisation. A cette réglementation nationale, s'appliquent des réglementations territorialisées et spécifiques. En effet, certaines portions du territoire, du fait de particularités naturelles, font l'objet de mesures de protection susceptibles d'impacter le dimensionnement d'un projet de géothermie, voire de l'interdire.

Source BRGM

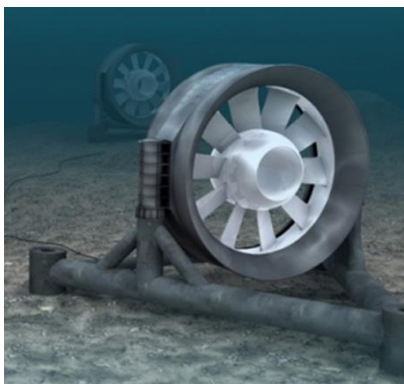


FICHE ENERGIE MARINES RENOUVELABLES EN BRETAGNE

Avec ses 2 730 km de côtes, la Bretagne dispose d'atouts naturels favorables au développement des énergies marines renouvelables à partir de différentes sources : les courants, les marées, les vagues, la houle, la différence de salinité et le vent

La région Bretagne ainsi que de grands acteurs industriels sont engagés dans le développement des énergies renouvelables marines. Avec, 50% des compétences R&D maritimes françaises concentrées en Bretagne, la filière est en plein essor. C'est le premier pilier du **pacte électrique breton**.

**Hydrolien**

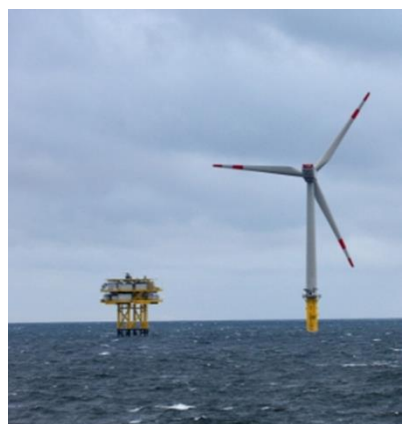


Cette énergie nécessite la mise en place d'une turbine sous-marine qui utilise l'énergie cinétique des courants marins pour créer une énergie mécanique transformée ensuite en électricité par un alternateur.

Un courant de marée de 5 nœuds, soit 9,25 km/h, renferme plus d'énergie qu'un vent soufflant à 80 km/h.

Relativement peu encombrante (en comparaison avec une éolienne), l'hydrolienne tire parti du caractère renouvelable et surtout prédictible de sa source.

**Eolien offshore**



Cette technologie reprend le système de l'éolienne terrestre par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique puis électrique, à l'aide de turbines. Cette technologie est la plus mature des EMR.

Les éoliennes posées, regroupées en parcs en pleine mer (offshore), sont implantées sur des fondations directement fixées au plateau continental à une profondeur maximum de 40 m.

La mer est un emplacement n'offrant aucun obstacle aux vents. Ainsi, même à basse altitude, ceux-ci ont une vitesse plus importante et sont moins turbulents.

La partie « marine » du parc comprend :

- les aérogénérateurs (fondations + mâts + turbines). Les mâts peuvent atteindre une centaine de mètres au-dessus du niveau de la mer et chaque pale peut dépasser 50 m de long ;
- un module pour les équipes d'intervention ;




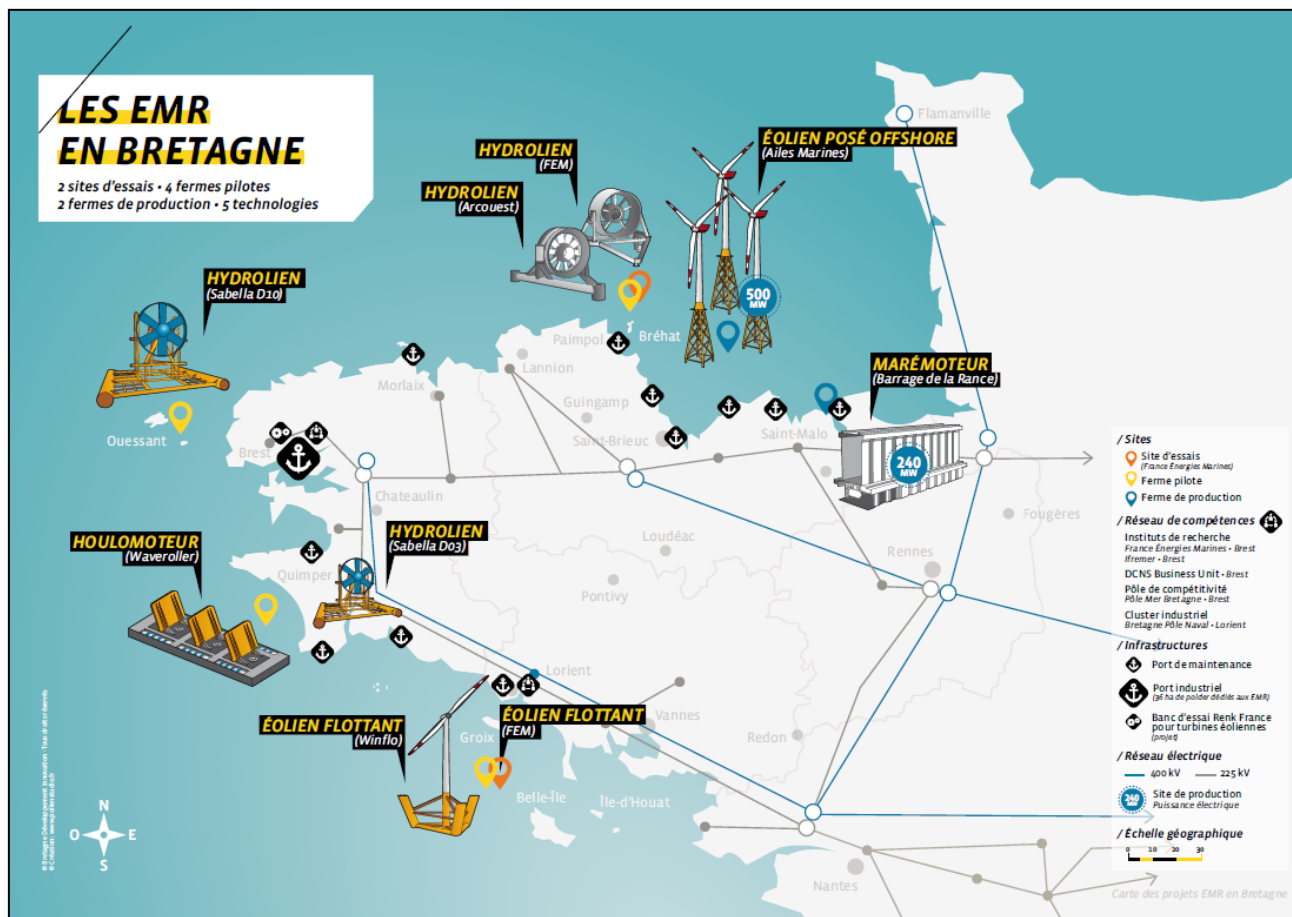
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- un transformateur ;</li> <li>- les câbles sous-marins assurant la collecte et le transport de l'énergie jusqu'à la côte.</li> </ul>
<p><b>Eolien Flottant Offshore</b></p> 	<p>L'éolien maritime flottant utilise la force des vents en pleine mer, sur des sites qui peuvent - contrairement à l'éolien posé - dépasser 40m de profondeur.</p> <p>La mer est un emplacement de choix pour l'énergie éolienne: il n'y a aucun obstacle aux vents. Ainsi, même à basse altitude, les vents ont une vitesse plus importante et sont moins turbulents. En repoussant la limite maximum de la profondeur de 40m à 300m, les éoliennes flottantes peuvent être installées plus loin des côtes que les éoliennes posées, limitant ainsi les conflits d'usage et permettant de tirer parti d'une ressource en vent plus importante et plus stable.</p>
<p><b>Marée moteur</b></p>  <p>Barrage de la Rance</p>	<p>A la différence des hydroliennes posées au fond de la mer et utilisant l'énergie cinétique (mouvement) de l'eau, les usines marémotrices utilisent l'énergie potentielle (différence de niveau entre les masses d'eau).</p> <p>Le phénomène de marée est dû au différentiel de temps de rotation entre la Terre (24 heures) et la Lune (28 jours). Il s'ensuit que le globe terrestre tourne à l'intérieur d'une "coque" d'eau de mer déformée par l'attraction lunaire.</p> <p>Par rapport à la plupart des autres énergies naturelles, l'énergie marémotrice présente l'avantage d'être parfaitement prédictible : en un point donné, l'énergie disponible ne dépend que de la position relative des astres et de la Terre.</p>
<p><b>Houlomoteur</b></p> 	<p>Cette technologie s'apparente à un dispositif mécanique qui utilise le mouvement des vagues - la houle - pour articuler un ensemble de cylindres et produire de l'électricité via un vérin hydraulique et une turbine.</p> <p>L'intérêt de l'énergie houlomotrice repose sur sa simplicité d'installation ne nécessitant pas de fondation.</p>

Figure 64: Panorama des technologies d'exploitation des EMR (<http://energies-marines.bretagne.fr/>)

La figure suivante présente les énergies marines renouvelables en Bretagne :



<p><b>2 sites d'essais (FEM)</b></p> <p>Un site d'essais en mer a vocation à tester en conditions réelles les technologies d'exploitation des ressources énergétiques marines. Un site d'essais est ouvert aux différentes technologies.</p> <p>En Bretagne, France Énergies Marines (FEM) permet l'accès à deux sites d'essais : Paimpol-Bréhat et Groix. Ils sont tous les deux adossés à des fermes pilotes pour mutualiser les coûts d'investissement.</p> <p><b>Le site hydrolien de Paimpol-Bréhat</b> Le site d'essais hydrolien de FEM pourrait accueillir prochainement pour des tests le projet d'hydrolienne de grande puissance ORCA. Piloté par Alstom, ce projet est labellisé par le Pôle Mer Bretagne et bénéficie des fonds Investissements d'avenir.</p> <p><b>Le site éolien de Groix</b> Prévu au sud de l'île de Groix, le site d'essais FEM est dédié à l'éolien offshore flottant. La ferme pilote du projet WinFlo est située à proximité de ce site d'essais.</p>	<p><b>4 fermes pilotes</b></p> <p>Une ferme pilote est un site d'expérimentation EMR dédié à un seul projet.</p> <p><b>HYDROLIEN / Arcouest</b> / Enjeu : tester les principaux éléments d'hydroliennes de grande puissance (faisabilité technique, économique, environnementale et administrative) / Porteurs du projet &amp; technologie : le 1<sup>er</sup> prototype d'hydrolienne Arcouest d'EDF a été conçu par DCNS/Openhydro. / Dimensions &amp; positionnement : Parc de 4 hydroliennes. Turbines de 16 m de diamètre. Immersion à 35 m de profondeur / Puissance électrique : 2MW à 2,5 m/s / Budget global : de l'ordre de 40 M€ (dont 7,2 M€ d'aides publiques)</p> <p><b>HYDROLIEN / Sabella D10</b> / Enjeu : proposer une hydrolienne simple et robuste, gage de fiabilité et de moindre maintenance. / Porteur(s) du projet : Sabella, associée à GDF Suez et CDK technologies / Puissance électrique : 4 hydroliennes de 1,1 MW.</p>	<p><b>Technologie</b> : Sabella, écran de turbine posé sur le fond marin. Maintien en conditions opérationnelles pendant 10 ans. / Dimensions : Hydrolienne équipée d'un rotor de 10 m de diamètre. / Budget global : 10,3 M€. Ce projet bénéficie des fonds des Investissements d'avenir, du soutien de l'Europe et de la Région Bretagne.</p> <p><b>HOULOMOTEUR / Waveroller</b> / Enjeu : récupération de l'énergie des vagues / Porteur(s) du projet : DCNS (France) et Fortum (Finlande). Projet en phase d'étude de faisabilité. / Technologie : DCNS évalue plusieurs technologies dont le Waveroller, un battant qui repose sur le fond de la mer. Le mouvement de va-et-vient que lui imprime la houle crée de l'énergie. / Puissance électrique : le site de la future ferme expérimentale aura une puissance de 1,5 MW</p>	<p><b>ÉOLIEN FLOTTANT / Winflo</b> / Enjeu : réaliser la première éolienne flottante multi-MW française / Porteur(s) du projet : Winacelle (consortium Nass&amp;Wind et DCNS) et Vergnet / Centres R&amp;D : Ifremer, ENSTA Bretagne, LBMS Brest / Technologie : Free Floating Platform (FFP), éolienne offshore flottante en eaux profondes sur plate-forme semi-submersible à ancrages caténaires (facilité de maintenance) / Dimensions &amp; positionnement : Hauteur du démonstrateur : 100 m. Positionnement au-dessus de fonds allant de 50 à 200 m / Puissance électrique : multi-MW / Budget global : 40 M€. Ce projet bénéficie des fonds investissements d'avenir</p> <p><b>2 fermes de production</b></p> <p>Une ferme de production est un site de production d'électricité connecté au réseau. / L'énergie des courants marins (barrage de la Rance géré par EDF) / L'énergie des éoliennes posées (parc éolien offshore de St-Brieuc porté par le consortium Ailes Marines)</p>
--	---	---	--

Figure 65: Carte des EMR en Bretagne (Bretagne développement Innovation)



## FICHE REGLEMENTATION POUR L'INSTALLATION D'UNE PETITE CENTRALE HYDROELECTRIQUE

### HH. DROIT D'EAU

Avant d'engager des démarches pour une **petite centrale hydroélectrique**, il est nécessaire d'être détenteur du droit d'eau.

- Droit fondé en titre

Un droit d'usage de l'eau exonère d'une demande d'autorisation ou de renouvellement. Sur les cours d'eau domaniaux (appartenant à l'Etat) ce droit doit être acquis avant l'édit royal de Moulins de 1566. Sur les cours d'eau non domaniaux, ce droit doit être acquis avant l'abolition du régime féodal, le 4 août 1789. Il est impératif d'être en mesure d'apporter la preuve de ce droit !

- Absence de droit

Il est nécessaire de formuler une demande pour produire de l'électricité. L'installation d'une **petite centrale hydroélectrique** est soumise à la loi du 16 octobre 1919 relative à l'énergie hydraulique.

Selon la réglementation en vigueur, une **petite centrale hydroélectrique** dont la puissance maximale brute est inférieure à 4 500 kW nécessite une autorisation délivrée en préfecture. Cette autorisation est renouvelable une seule fois pour 30 ans.

Les projets de plus de 4 500 kW nécessitent une concession délivrée par le Conseil d'Etat. Le concessionnaire doit présenter sa demande de renouvellement onze ans au moins avant l'expiration de la concession.

### II. DROIT DE L'ENVIRONNEMENT

L'installation d'une **petite centrale hydroélectrique** est soumise au respect de la législation sur l'eau détaillée dans le code de l'environnement et la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006

- Une étude d'impact est nécessaire pour les centrales supérieures à 500 kW,
- Il est nécessaire de maintenir un débit minimum de 10% du débit moyen annuel pour la vie et la circulation des poissons,
- Il existe des contraintes potentielles liées aux zones Natura 2000, non présente sur le site, ou au (projet de) classement projeté ou en cours sur la rivière, ou à d'éventuelles servitudes.

### JJ. ENQUETE PUBLIQUE

Une enquête publique est demandée pour les installations dont la puissance sera supérieure à 500 kW.

### KK. RACCORDEMENT AU RESEAU

Un dossier est à déposer en préfecture au titre de la demande de raccordement. La Loi du 10 février 2000 et ses arrêtés sur l'obligation d'achat pour centrale d'une puissance maximale brute inférieure à 12 MW, oblige EDF, ou les Entreprises Locales de Distributions (ELD) appelée également Distributeurs Non Nationalisés, à acheter l'électricité produite par certaines installations de production raccordées au réseau dont l'Etat souhaite encourager le développement.

## FICHE BOIS ENERGIE : SOLUTIONS INDIVIDUELLES

Par biomasse, nous entendons dans cette étude l'ensemble de la filière « bois énergie ».

L'utilisation du bois dans les logements individuels ou intermédiaires se développe assez fortement depuis quelques années. Les solutions disponibles permettent généralement de chauffer l'ensemble du logement avec un système simple et performant.



Celui-ci pourrait être de quatre types :

Type	Avantages	Inconvénients	Remarque
Foyer fermé	Facilité d'installation Alimentation à partir de bûches Possibilité de récupération de chaleur pour l'étage Coût de la bûche	Faible autonomie Impossibilité de réguler finement la diffusion de chaleur Rendement moyen Temps d'entretien important	Pas de dispositif de chauffage central
Poêle à bois bûche	Facilité d'installation Alimentation à partir de bûches Coût de la bûche	Faible autonomie Impossibilité de réguler la diffusion de chaleur Rendement supérieur à celui du foyer fermé Temps d'entretien important	Pas de dispositif de chauffage central
Poêle à granulés	Autonomie pouvant être importante Possibilité de régulation Stockage en format sac ou vrac Bon rendement Temps d'entretien limité	Bruit généré (parfois) Coût du granulé Nécessite un branchement électrique	Pas de dispositif de chauffage central
Chaudière granulés	Automatisation équivalente à une chaudière fioul ou gaz Rendement très bon Autonomie très importante Temps d'entretien limité	Installation nécessitant une chaufferie et de l'espace de stockage Coût de la chaufferie au regard de besoins faibles en BBC	Chauffage central, couplage possible avec du solaire Vigilance sur la puissance à installer

Toutes ces solutions sont envisageables.

En maison individuelle, les systèmes de chauffage divisé type poêles, ou foyer fermé sont très bien adaptés : le **logement doit être conçu de manière à ce que la chaleur puisse facilement desservir toutes les pièces**. Les particuliers feront leur choix en fonction de leurs volonté de passer du temps à la manipulation du bois bûche et du déchargement. **L'automatisation des poêles à granulés permet d'améliorer le niveau de confort des usagers en limitant la manutention et en offrant la possibilité de programmer des plages de chauffage.**

Les chaudières à granulés sont adaptées en maison individuelle à condition :

- d'avoir de la place pour la chaufferie : chaudière+silo de stockage, **environ 10 m<sup>2</sup>** ;
- d'installer un système de chauffage central ;
- d'adapter la puissance à installer aux besoins de la maison.

En effet, la réglementation thermique 2012 imposera un standard BBC en termes de besoins : le coût d'un système de chauffage central pourra apparaître trop important au vu de faibles besoins en chaleur. La puissance nécessaire sera elle aussi assez faible, il est donc important que les chaudières installées présentent des petites puissances (6-8-10 kW). C'est dans cette optique que de plus en plus de constructeurs se penchent sur des matériels de faible puissance adaptés aux maisons performantes.

## FICHE BOIS ENERGIE : SOLUTIONS COLLECTIVES

Comme pour le chauffage collectif au fioul ou au gaz, il est possible d'installer une chaudière granulés pour desservir des logements collectifs. Il s'agit de réaliser une chaufferie collective qui dessert les logements avec comptage de chaleur ou non (tout dépend des modalités de gestion du bâtiment) : **une étude de faisabilité peut être imposée pour préciser l'intérêt de cette solution dans les logements collectifs.**

**Il est dans ce cas nécessaire de prévoir une chaufferie dédiée avec un silo de stockage dimensionné en fonction des besoins, un accès pour le camion de livraison. En termes de maintenance, le contrat de maintenance doit prévoir le passage régulier d'un agent pour le déchargement et l'entretien annuel de la chaufferie. La valorisation des cendres doit également être prévue.**

## PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES CHAUDIERES AUTOMATIQUES

Les chaudières automatiques à bois sont des générateurs de chaleur qui sont très différents des chaudières bûches traditionnelles. Elles utilisent du bois déchiqueté (ou des granulés de bois).

Le combustible est convoyé **automatiquement** dans le foyer grâce à un système de convoyage (vis sans fin ou tapis convoyeur), ce qui supprime complètement les manipulations quotidiennes de bois nécessaires avec une chaudière à bûches. La combustion est complètement maîtrisée grâce à la maîtrise des arrivées d'air comburant et de la quantité de combustible apportée au foyer. Le rendement atteint 80 à 90% ce qui a plusieurs conséquences : températures de fumée très basses (110°C), cendres très fines produites en faible quantité (1 à 2% en volume), peu de dégagements de poussières et de produits de combustion incomplète dans les fumées.

Le bois est stocké dans un silo attenant à la chaufferie, dimensionné en fonction de la consommation prévisionnelle de l'installation.

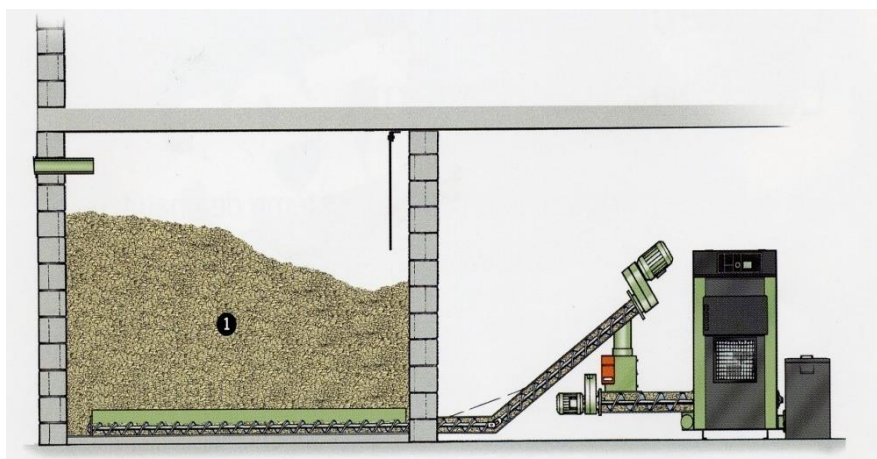


Schéma de principe d'une chaufferie bois.

## COMBUSTIBLE

## LL. ORIGINE DU BOIS

Le **bois déchiqueté** consommé par les chaufferies bretonnes peut être d'origine industrielle ou agricole.

Le **bois déchiqueté d'origine industrielle** provient :

- de connexes d'industrie du bois
- de DIB<sup>2</sup> : palettes ou cageots en fin de vie
- de bois d'éclaircies forestières



<sup>2</sup> DIB : déchets industriels banals

Ces différentes ressources sont regroupées, mélangées et calibrées sur des plateformes de stockage et de conditionnement qui assurent l'approvisionnement des chaufferies.

Le **bois déchiqueté d'origine agricole** provient de la valorisation des branchages issus de l'entretien des haies et des talus : il est produit et vendu par des groupes d'agriculteurs structurés localement.

Les **granulés de bois** sont fabriqués avec de la sciure issue de l'industrie du bois : ces sciures sont transformées en granulés par pressage si elles sont sèches, elles sont préalablement séchées avant compression si elles sont humides. Dans les deux cas, les granulés ne comportent pas d'additifs. Le granulé de bois est un produit beaucoup plus homogène que la plaquette, donc plus facilement utilisable, mais il nécessite plus d'énergie pour sa fabrication.

## MM. CONDITIONS DE PRODUCTION ET DE STOCKAGE

Quelle que soit l'origine du bois, le maître d'ouvrage devra être vigilant sur les caractéristiques techniques suivantes :

- **granulométrie** maximale tolérée par la chaudière ;
- **taux d'humidité** maximum toléré par la chaudière ;
- taux de **poussières** (ou taux de « fines ») ;
- absence de **terre ou de sable** (produit du mâchefer dans la chaudière) ;
- absence de **corps étrangers** (morceaux de métal, plastique ou autres d'origines diverses).

Ces caractéristiques étant variables en fonction des gammes de puissance et des constructeurs de chaudière, le maître d'ouvrage devra exiger un **engagement du fournisseur** sur la base de la qualité du bois préconisée par le constructeur de la chaudière.

Une attention particulière devra être portée à la **production de bois d'origine agricole** :

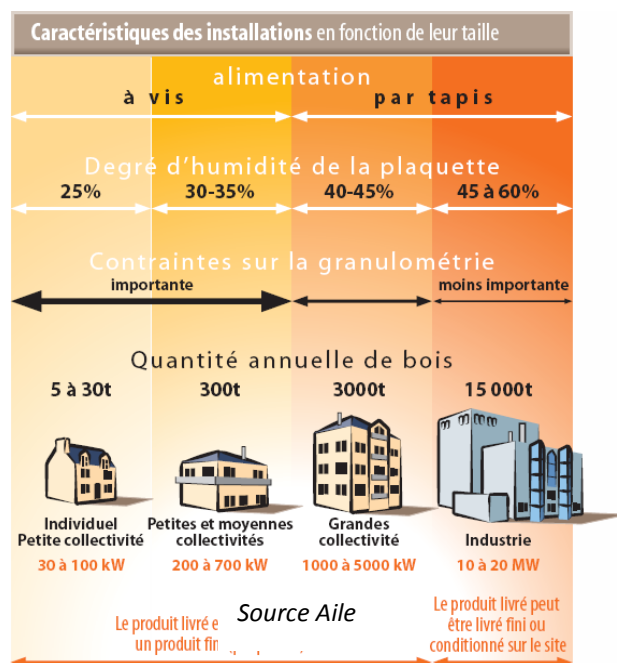
- **Chantier de déchiquetage** : éviter le déchiquetage de branches terreuses. La terre reste dans le bois déchiqueté et provoque la production de mâchefer. De la même manière, le déchiquetage de branches vertes avec feuilles provoque au séchage la production de poussière en grande quantité. Il est donc préférable de déchiqueter du bois d'hiver, sans feuilles ; ou de laisser sécher les feuilles avant le chantier de déchiquetage en cas d'abatage estival obligatoire (prairies humides).
- **Stockage du bois** : le bois déchiqueté doit être stocké sur dalle, sous hangar couvert et aéré, au moins 6 mois après déchiquetage, pour permettre le séchage. L'aération du hangar ne nécessite pas forcément de ventilation mécanique : des ouvertures latérales ou zénithales doivent permettre l'évacuation de la vapeur d'eau produite par la fermentation du bois.
- **Corps étrangers** : le lieu de stockage et la manutention du bois doivent permettre de limiter au maximum l'introduction accidentelle de corps étrangers (outils, pièces métalliques, ficelles etc.) susceptibles de bloquer les vis de convoyage du bois dans la chaudière.
- **Gestion des stocks** : le bois déchiqueté en hiver doit sécher 6 mois à 1 an. La production de l'année suivante devra être stockée séparément de manière à ne pas ré-humidifier de la plaquette sèche. Le hangar devra se prêter à ce type de gestion des stocks.

## GAMME DE PUISSANCE

La gamme de puissance couverte par les chaudières automatiques est très étendue : de 20 kW (chauffage d'une maison), à plusieurs MW pour les usages industriels.

A chaque gamme de puissance correspond un système de convoyage de bois déchiqueté. Plus la puissance augmente, plus la granulométrie du bois peut être grossière et plus le taux d'humidité acceptable est élevé.

Le granulé est plus adapté aux chaudières de petites à moyennes puissances : de 8 kW à 300 kW lorsque plusieurs chaudières sont installées « en cascade ».



## CHAUDIÈRES BOIS ET QUALITÉ DE L'AIR

Une note de synthèse ADEME-MEEDDAT "Le bois énergie et la qualité de l'air" a été rendue publique en mars 2009.

### Principaux enseignements :

1-le bois énergie contribue pour une très faible part aux émissions nationales de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) (2% environ) et contribue à hauteur de 10% environ aux émissions de dioxines et de poussières totales ;

2-le bois énergie contribue de manière significative aux émissions nationales de :

- composés organiques volatils non méthaniques (COVM) : 22%,
- de monoxyde de carbone (CO) : 31%,
- d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (77% pour la somme des 4 HAP),
- de particules : 27% pour les PM10 et 40% pour particules les plus fines (PM2,5).

**En résumé**, le bois-énergie ne constitue pas actuellement au niveau national et en termes de bilan d'émissions, une source majeure de pollution par le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les dioxines. Par contre sa contribution, en l'état actuel des technologies ou des pratiques, est notable vis-à-vis des poussières fines, des composés organiques volatils, du monoxyde de carbone, et des hydrocarbures aromatiques polycycliques, et **en raison surtout de la combustion du bois en maison individuelle dans de mauvaises conditions**.

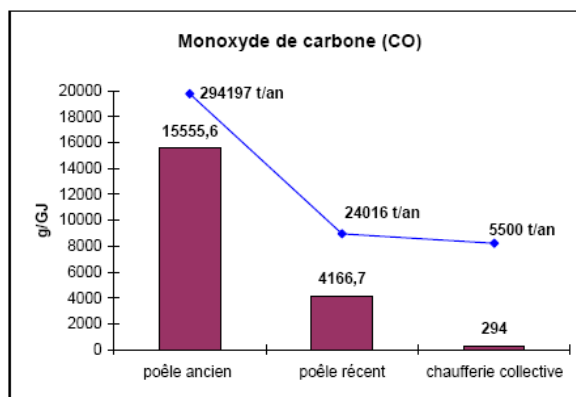
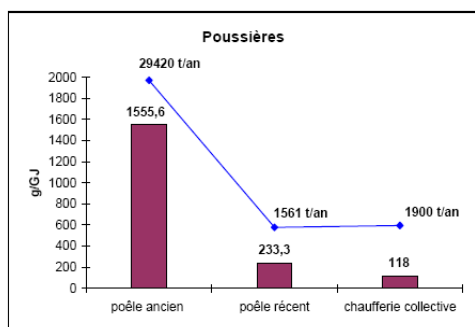
Le secteur domestique est responsable en grande partie des émissions de polluants atmosphériques liés à la combustion du bois :

- 81% du bois consommé en France l'est par le secteur domestique ;
- Le combustible utilisé est de qualité très variable ce qui impacte considérablement la qualité de la combustion ;
- Le parc d'appareils de chauffage au bois est ancien et la combustion y est mal maîtrisée.

Les graphiques suivants (source note Ademe-MEEDDAT, 2009) illustrent les différences d'émissions de polluants entre des appareils anciens, des appareils récents et des chaufferies collectives, par unité d'énergie produite (pour 1 GJoule produit).

Comme le montre la figure 4, pour une même quantité d'énergie produite, les poêles anciens émettent environ 4 à 7 fois plus de polluants atmosphériques (poussières, CO) que les poêles récents et 13 à 53 fois plus que les chaufferies collectives (à noter que la tendance est similaire pour les autres polluants).

Figure 4. Facteurs d'émission de poussières et de monoxyde de carbone, corrigés du rendement (en g/GJ sortant) pour un poêle ancien, un poêle récent et une chaufferie collective (Sources : ADEME, 2005c et CITEPA, 2003)



Ainsi, la combustion du bois dans des appareils neufs et *a fortiori* dans des chaudières automatiques permet de réduire considérablement l'impact de la combustion sur la qualité de l'air.

### PRINCIPE D'IMPLANTATION DU SILO

L'un des **points clé de la réussite d'une installation de chaufferie bois est l'implantation du silo d'approvisionnement en bois**. Ce silo doit être facilement accessible pour les livraisons de combustible : il doit permettre un remplissage aisé au moment de la livraison et dimensionné pour assurer une autonomie suffisante en chauffage.

La chaudière pourra être installée au même niveau que le silo. Si ce n'est pas le cas, un système de convoyage spécifique devra être prévu pour amener le combustible au niveau du corps de chauffe.

### SILO POUR BOIS DECHIQUETE

La livraison de bois déchiqueté en vrac s'effectue grâce à des camions de livraison ou des attelages tracteurs remorque : ce type de livraison par bennage nécessite une **réflexion en amont sur l'accès à la parcelle et les manœuvres réalisables sur le site (rayon de courbure du véhicule)**.



Livraison par camion benne (source Aile)



Livraison par tracteur+remorque agricole (source Aile)

Si le site présente un dénivelé naturel, le silo pourra être conçu en aérien ou semi-enterré afin de limiter les frais de génie civil.

Dans le cas contraire, un silo enterré est incontournable (sauf dans le cas de chaudières de grosse puissance avec désilage par échelles carrossables).

Les silos doivent être étanches à l'eau et disposer d'un système d'aération du bois, souvent raccordé à la chaufferie

Le dispositif de fermeture du silo peut prendre plusieurs formes : trappes carrossables, trappe coulissante latéralement, trappe à ouverture verticale. Dans tous les cas, le dispositif devra être adapté aux dimensions du véhicule de livraison des plaquettes, et assurer la sécurité des intervenants autour de la livraison ainsi que l'étanchéité du silo.





Trappe coulissante



Trappe sur vérins hydrauliques  
(source Compte.R)



Trappe coulissante latéralement

## SILO POUR GRANULES

L'approvisionnement en granulés étant plus simple à assurer que l'approvisionnement en plaquettes, la conception des silos est plus facile. La livraison du granulé est réalisée par camion souffleur. Cet approvisionnement se fait en aérien grâce à l'utilisation d'un tuyau flexible de soufflage, raccordé au silo par un raccord pompier. De fait, la chaufferie et le silo peuvent être :

- de plain-pied avec raccord pompier à hauteur accessible ;
- en sous-sol, avec raccord pompier rapporté au niveau du Rdc.



Pièce de réserve avec alimentation par vis  
(source ÖkoFEN)



Livraison par camion souffleur



## FICHE RESEAUX DE CHALEUR

## DEFINITION

Un réseau de chaleur est un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur à plusieurs bâtiments pour répondre aux besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire.

Cette définition technique doit être complétée par une définition juridique qui distingue deux types de réseaux :

- **Chaufferie dédiée** qui utilise un réseau pour distribuer de la chaleur à des bâtiments appartenant au même maître d'ouvrage :  
*ex1 : chaudière communale qui dessert les écoles publiques, la mairie, la cantine et la médiathèque.*
- Le producteur de chaleur qui exploite la chaufferie est juridiquement distinct des usagers consommateurs de la chaleur (au moins 2 usagers distincts) : c'est le **réseau de chaleur au sens juridique**.  
*ex2 : réseau qui dessert les écoles, le collège, le lycée et son internat, des logements sociaux.*

## BOUQUET ENERGETIQUE

Les réseaux de chaleur ont l'avantage de pouvoir mettre en œuvre un « bouquet énergétique » en tête de réseau : il est donc possible de mobiliser différentes ressources énergétiques permettant de garantir une stabilité des prix, une sécurité d'approvisionnement et d'assurer une certaine flexibilité (saisonniers notamment).

Les possibilités d'approvisionnement sont décrites dans le tableau suivant, surtout valable pour les « grands » réseaux urbains :

	Définition	Intérêt environnemental	
<b>Energies renouvelables et de récupération</b>	Bois énergie	Valorisation par combustion de produits bois	Impact neutre sur l'effet de serre
	Biogaz	Produit à partir de matières organiques ou de digesteurs de stations d'épuration	Valorisation d'une ressource énergétique locale non fossile
	Chaleur issue de cogénération	Production simultanée de chaleur et d'électricité	Amélioration du rendement et réduction des émissions de CO <sub>2</sub> par rapport à la production dissociée
	Géothermie profonde	Exploitations d'aquifères profonds, adaptée à de grosses installations, concentrées aujourd'hui dans le Bassin Parisien	Récupération de chaleur
	Usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM)	Valorisation de la chaleur produite par la combustion des déchets	Valorisation d'une ressource énergétique locale non fossile
<b>Energies fossiles</b>	Valorisation de chaleur fatale	Chaleur produite par un site, un process et non valorisée sur le site	Utilisation d'une ressource existante
	Gaz naturel, fioul, charbon	Energies fossiles valorisées par combustion	Aucun en dehors de la cogénération Impact fort sur l'effet de serre

## AVANTAGES DES RESEAUX DE CHALEUR

Les avantages des réseaux de chaleur sont de plusieurs types et résumés dans le tableau suivant :

<b>Environnementaux</b>	Réduction des émissions de polluants par la plus grande maîtrise de la combustion de systèmes centralisés et performants.  Mobilisation des énergies renouvelables et notamment la biomasse : réduction de l'utilisation d'énergies fossiles et donc des émissions de gaz à effet de serre.
<b>Optimisation énergétique</b>	Les réseaux permettent d'utiliser de la chaleur non valorisée et optimisent donc le bilan énergétique de sites ou de quartiers
<b>Service aux usagers</b>	Distribution d'une chaleur dont le prix et la disponibilité sont attractifs par rapport à des systèmes indépendants peu maîtrisés ; exploitation centralisée indépendante des usagers.
<b>Aménagement urbain</b>	Dans le cadre d'aménagements de nouveaux quartiers ou de réhabilitations de quartiers existants, ce type d'installation apparaît comme un outil pertinent face à l'augmentation des prix des énergies fossiles et à la nécessaire démarche d'optimisation énergétique des territoires pour réduire l'impact environnemental et la dépendance liée aux énergies fossiles.

Figure 66 : Avantages des réseaux de chaleur

Les principales difficultés relèvent :

- de l'investissement : un investissement spécifique au réseau, à la chaufferie et au stockage du combustible ;
- de la difficulté du dimensionnement, notamment lié au phasage d'opérations sur un quartier neuf.

## VALORISATION DES RESEAUX DE CHALEUR ENR DANS LA RT 2012

La RT 2012 valorise les réseaux de chaleur vertueux c'est-à-dire, entre autres, émettant peu de CO<sub>2</sub> par kWh distribué. Ces réseaux doivent pour ce faire mobiliser des énergies renouvelables et de récupération dans leur mix énergétique.

Le tableau suivant présente les coefficients applicables pour moduler le Cepmax en fonction du contenu CO<sub>2</sub> du réseau, dans le cas de bâtiments raccordés à un réseau de chaleur :

Contenu CO <sub>2</sub> du réseau en g/kWh	<50	Entre 50 et 100	Entre 100 et 150	>150
Modulation du Cepmax	+30%	+20%	+10%	0%

Figure 67 : Modulations applicables au Cepmax en fonction du contenu CO<sub>2</sub> du réseau.

La conséquence directe est une modulation favorable de la limite haute de consommation d'énergie primaire pour les bâtiments raccordés à un réseau. Le tableau suivant présente un exemple de modulation :

	Cep max modulé en fonction du contenu CO <sub>2</sub> du réseau de chaleur					
	Cepmax	Cepmax avec bois énergie	<50 g/kWh	Entre 50 et 100 g/kWh	Entre 100 et 150 g/kWh	>150 g/kWh
<b>Bretagne</b>						
Maisons individuelles	55	70	70	65	60	55
Logements collectifs	55	70	70	65	60	55
Logements collectifs jusqu'au 31/12/2014	63.25	80.5	80.5	74.75	69	63.25

Figure 68 : Impact de la modulation du Cepmax pour un bâtiment raccordé à un réseau de chaleur.

## FICHE FOURNISSEURS D'ÉLECTRICITÉ VERTE

L'électricité verte désigne dans son sens courant une **électricité respectueuse de l'environnement**. On l'assimile souvent à l'électricité renouvelable, définie dans la directive électricité renouvelable 2001 comme l'électricité produite à partir de "**sources d'énergie non fossiles renouvelables**" :

- énergie éolienne ;
- solaire ;
- géothermique ;
- houlomotrice ;
- marémotrice et hydroélectrique ;
- biomasse : la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture (comprenant les substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux ;
- gaz de décharge ;
- gaz des stations d'épuration d'eaux usées ;
- biogaz.

L'Union européenne s'est engagée à ce que 21 % de sa consommation brute d'électricité soit produite à partir de sources renouvelables en 2010. Chaque état membre s'est vu attribuer des objectifs indicatifs ; il est de 21 % pour la France.

Différents systèmes permettent de soutenir l'électricité verte, ce sont principalement **les tarifs d'achat** (le producteur vend son électricité à un prix fixé à l'avance) et les **certificats verts** (obligation d'une part d'électricité verte dans le mix avec la création d'un marché). D'autres instruments viennent compléter ce marché : les appels d'offre, les incitations fiscales et le marché volontaire de l'électricité verte. Ce dernier concerne les consommateurs souhaitant une certaine quantité d'électricité verte dans le mix qu'ils reçoivent.

Pour y apporter des réponses, aider le consommateur à choisir et améliorer les offres vertes présentes sur le marché, **un label est en cours de création par le CLER et le WWF**. En France, la plupart des fournisseurs d'électricité proposent des offres vertes. **Le consommateur a ainsi la possibilité de faire le choix de consommer une électricité provenant de sources d'énergie renouvelables.**

Plusieurs de nos voisins ont d'avantage de recul sur ce type de produits car la libéralisation du marché de l'électricité est antérieure. Dans ces pays, des labels ont été créés pour indiquer au consommateur la qualité des offres vertes (Ok Power, Naturemade Star, etc...).

**Ainsi dans une démarche volontariste de réduction du bilan carbone des consommations énergétiques du site, l'aménageur pourrait inciter les futurs usagers de l'électricité à consulter les différents fournisseurs d'électricité verte. Les fournisseurs proposent différents tarifs avec des taux d'électricité verte variant de 25 à 100 %.**

Parmi les fournisseurs les plus connus nous trouvons : EDF, GDF-Suez, Poweo, Direct Energie ou Enercoop.

L'ensemble des fournisseurs d'énergie est référencé sur le site internet [www.energie-info.fr](http://www.energie-info.fr)

## ANNEXE 2 : REGLEMENTATION THERMIQUE 2012



Issue de la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement du 03/08/09 (Art.4), dite loi Grenelle1, la réglementation thermique 2012 fixe comme objectif de consommation énergétique une valeur maximale de 50kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.an). Ce niveau, équivalent au niveau BBC actuel, permettra de diminuer par trois les consommations énergétiques par rapport à la réglementation thermique 2005. La performance énergétique du bâtiment sera également mesurée en fonction de son adéquation avec une conception bioclimatique. Le coefficient Bbio et la température intérieure conventionnelle seront les outils de mesure de cette exigence. Cette réglementation préfigure l'objectif du Grenelle de généraliser en 2020 la conception de bâtiments passifs.

### LES NIVEAUX DE REFERENCE

Les exigences de performance énergétique portent sur les trois facteurs suivants :

- le coefficient **Cep** (coefficient de consommation en énergie primaire) qui doit être **inférieur au niveau imposé dans l'arrêté (Cepmax)**, à savoir **50 kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.an)**, modulé en fonction de la localisation géographique, l'altitude, la surface moyenne, le type d'usage de bâtiment et les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées,
- le coefficient **Bbio** (coefficient prenant en compte la conception bioclimatique du bâtiment) qui doit être **inférieur au niveau imposé dans l'arrêté, à savoir 60** (valeur sans unité), modulé en fonction de la localisation géographique, l'altitude et la surface moyenne,
- la température intérieure conventionnelle qui doit être inférieure à une température intérieure conventionnelle de référence pour le projet.

L'intégration de l'impact des émissions de gaz à effet de serre dans le calcul du Cepmax offre une marge supplémentaire dans les cas suivants :

- les bâtiments à usages d'habitation équipés de production de chauffage et/ou d'eau chaude sanitaire alimentée en bois énergie,
- tous les bâtiments raccordés à un réseau de chaleur et/ou de froid faiblement émetteur de CO<sub>2</sub>.

En conséquence, sur la région Bretagne et pour ces configurations, le coefficient de modulation des émissions de gaz à effet amènerait à une valeur de consommation de référence de 70 kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.an) au lieu des 55 kWh<sub>ep</sub>/(m<sup>2</sup>.an) exigés sur cette zone géographique.

Bretagne	Cepmax cas général	Cepmax bois énergie
Maisons individuelles	55	70
Logements collectifs	55	70
Logements collectifs jusqu'au 31/12/2014	63.25	80.5

Tableau 1 : modulation du Cep max en fonction du type de logement et de l'énergie utilisée (cep max en kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>shonRT.an</sub>)

### EXIGENCES DE MOYENS

Les critères de performance énergétique nouvellement définis dans la réglementation thermique sont accompagnés **d'exigences de moyens**.

Les maisons individuelles ou accolées **devront obligatoirement avoir recours aux énergies renouvelables**. Plusieurs solutions sont possibles :

- un équipement de production d'eau chaude sanitaire solaire comprenant au moins 2m<sup>2</sup> de capteurs orientés au Sud et inclinés entre 20° et 60°,
- le raccordement à un réseau de chaleur alimenté à plus de 50% par une énergie renouvelable ou de récupération,
- une contribution des énergies renouvelables au Cep au moins supérieure à 5kWhep/(m<sup>2</sup>.an),
- un équipement thermodynamique pour la production d'eau chaude sanitaire ayant un COP supérieur à 2,
- le recours à une production de chauffage et/ou d'eau chaude sanitaire assuré par une chaudière à micro-cogénération respectant des rendements minimum.

Les valeurs maximales attendues de perméabilité à l'air pour les bâtiments à usage d'habitation seront celles imposées dans le cadre du label BBC Effinergie actuel.

Dans un objectif de diminution des consommations électriques, les bâtiments à usage d'habitation devront avoir un accès favorisé à la lumière naturelle. **La surface totale des baies devra être supérieure ou égale à 1/6 de la surface habitable.**

Tous les bâtiments seront équipés de sous-comptages énergétiques pour déterminer la répartition des consommations énergétiques (chauffage, eau chaude sanitaire, électricité) et permettre aux usagers de faire un suivi de leurs consommations énergétiques. Ces installations ont pour objectif de créer des conditions propices à la responsabilisation des usagers et aux économies d'énergie.

## APPLICATION

La réglementation thermique 2012 entre en vigueur aux échéances suivantes :

- le 28 octobre 2011 pour les logements situés en zone ANRU et pour les bâtiments à usage de bureau, les bâtiments d'enseignement et les établissements d'accueil de la petite enfance,
- un an après la publication de l'arrêté, soit fin 2012, pour les autres bâtiments à usage autre que d'habitation,
- le 1<sup>er</sup> janvier 2013 pour les autres bâtiments à usage d'habitation.

## ANNEXE 3 : COUT DE L'ENERGIE

Le tableau suivant présente les hypothèses, selon les valeurs 2014, qui ont permis d'évaluer les coûts de fonctionnement la 1<sup>ère</sup> année pour chaque scénario.

	Montant € HT	Montant € TTC
<b><u>électricité 6kVA-tarif bleu</u></b>		
abonnement 6kVA	66.72 € HT	70.39 €/an TTC
prix du kWh unique	0.0883 € HT	<b>0.1313 €/kWh TTC</b>
<b><u>électricité 9kVA-tarif bleu</u></b>		
abonnement 9kVA	86.76 € HT	94.70 € TTC
prix du kWh unique	0.0883 € HT	<b>0.1313 €/kWh TTC</b>
<b><u>électricité 12kVA-tarif bleu</u></b>		
abonnement 12kVA	135.00 € HT	142.43 € TTC
prix du kWh unique	0.0883 € HT	<b>0.1313 €/kWh TTC</b>
<b><u>Taxes</u></b>		
		<i>montant €/kWh</i>
<i>taxe sur la conso finale d'élec</i>		<i>0.00917 € HT</i>
<i>CSPE</i>		<i>0.01650 € HT</i>
<b><u>Granulé bois</u></b>		
	0.0553 €/kWh HT	<b>0.0592 €/kWh TTC</b>
prix de la tonne livrée en vrac	260 € HT	
PCI	4700 kWh/t	
<b><u>Gaz naturel- B0</u></b>		
abonnement	66.58 € HT	<b>70.24 € TTC</b>
prix du kWh unique	0.0723 € HT	<b>0.0867 €/kWh TTC</b>
<b><u>Gaz naturel- B1</u></b>		
abonnement	203.78 € HT	<b>214.99 € TTC</b>
prix du kWh unique	0.0478 € HT	<b>0.0574 €/kWh TTC</b>

Figure 69 : Hypothèses de tarifs considérées

## ANNEXE 4 : FRAIS DE MAINTENANCE PRIX EN COMPTE

Les coûts de maintenance annuels par logement pris en compte sont les suivants :

- Solutions individuelles :

Scénario	Opération de maintenance	Coût annuel de maintenance
Sc. 0- Chaudière gaz condensation et ballon thermodynamique	Visite annuelle de contrôle	150 € TTC
Sc. 1- Chaudière gaz condensation et ECS solaire	Visite annuelle de contrôle +contrôle CET	175 € TTC
Sc. 2 Poêle granulés Bois + CET	Ramonage + contrôle installation solaire tous les 2 ans	75 € TTC
Sc.3-PAC sur sondes géothermiques	Visite annuelle de contrôle PAC	250 € TTC
Sc. 4 PAC Air/eau	Visite annuelle de contrôle PAC	120 € TTC

Figure 70: Coût de maintenance pour chaque scénario – solutions individuelles

- Solutions collectives :

Scénario	Opération de maintenance	Coût annuel de maintenance
Sc. 0- Chaudière gaz condensation	Visite annuelle de contrôle	110 € TTC
Sc. 1- Chaudière gaz condensation et ECS solaire	Visite annuelle de contrôle +contrôle installation solaire tous les 2 ans	130 € TTC
Sc. 2 Chaufferie bois granulés	Ramonage + contrôle installation solaire tous les 2 ans	130 € TTC
Sc.3-PAC sur sondes géothermiques	Visite annuelle de contrôle PAC	100 € TTC
Sc. 4 PAC Air/eau	Visite annuelle de contrôle PAC	70 € TTC

Figure 71: Coût de maintenance pour chaque scénario – solutions collectives



ANNEXE 5 : EMISSIONS DE CO<sub>2</sub>

Les coefficients utilisés sont issus de l'Arrêté du 15/09/06 relatif au Diagnostic de Performance Energétique et d'une publication de l'Ademe sur les émissions de gaz à effet de serre des kWh électriques en fonction de l'usage de l'électricité :

Facteurs de conversion des kilowattheures finaux en émission de gaz à effet de serre (kgCO <sub>2</sub> /kWh <sub>PCI<sub>ef</sub></sub> ou tCO <sub>2</sub> /MWh <sub>PCI<sub>ef</sub></sub> )		
ENERGIE	CHAUFFAGE	PRODUCTION ECS
Bois, biomasse	0,013	0,013
Gaz naturel	0,234	0,234
Fioul domestique	0,3	0,3
Charbon	0,342	0,384
Gaz propane ou butane	0,274	0,274
Autres combustibles fossiles	0,32	0,32
Electricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment	0	0
Electricité (hors électricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment)	0,18	0,04

Figure 72: Extrait de l'annexe 4 de l'arrêté du 15 Septembre 2006 relatif au DPE

Emissions CO <sub>2</sub> de l'électricité selon note Ademe 2005 (kgCO <sub>2</sub> /kWh <sub>PCI<sub>ef</sub></sub> ou tCO <sub>2</sub> /MWh <sub>PCI<sub>ef</sub></sub> )	
Chauffage	0,18
Eclairage	0,1
Cuisson, lavage	0,06
autres usages résidentiels	0,04

Figure 73: Extrait de la note de cadrage sur le contenu en CO<sub>2</sub> du kWh électrique par usage en France (Source : Ademe 2005)

Nous avons considéré dans cette étude pour l'électricité un coefficient de 0,18 pour le chauffage, de 0,06 pour la cuisson et de 0,04 pour les autres usages.

## ANNEXE 6 : HYPOTHESES RELATIVES AUX EMISSIONS POLLUANTES

Pour évaluer les émissions polluantes des transports dans le futur quartier, nous partons des normes Euro qui fixent des limites d'émissions en fonction du type de véhicule et du carburant utilisé.

Depuis 1993, les normes Euro fixent successivement des seuils d'émission de plus en plus contraignants.

Récapitulatif des normes EURO pour les véhicules Diesel en mg/km								
Norme	Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> )	Monoxyde de carbone (CO)	Hydrocarbures (HC)	HC + NO <sub>x</sub>	Particules (PM)	Particules (P)*	Hydrocarbures non méthaniques (HCNM)	Dioxyde de carbone CO <sub>2</sub>
Euro 1		2720		970	140			175500
Euro 2		1000		900	100			168500
Euro 3	500	640		560	50			154200
Euro 4	250	500		300	25			142750
Euro 5	180	500		230	5			127000
Euro 6	80	500		170	5			110000

(\*) Uniquement pour les voitures à essence à injection directe fonctionnant en mélange pauvre (combustion stratifiée).

(\*\*) Nombre de particules. Une valeur limite doit être définie au plus tard pour la date d'entrée en vigueur de la norme Euro 6.

(\*\*\*) Les normes euro ne fixent pas de valeur pour les émissions de CO<sub>2</sub>, celles-ci sont estimées à partir de la publication «Véhicules particuliers vendus en France » édition 2012 de l'Ademe.

Figure 74 : Récapitulatif des normes EUROS pour les véhicules Diesels

Récapitulatif des normes EURO pour les véhicules Essence en mg/km								
Norme	Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> )	Monoxyde de carbone (CO)	Hydrocarbures (HC)	HC + NO <sub>x</sub>	Particules (PM)	Particules (P)**	Hydrocarbures non méthaniques (HCNM)	Dioxyde de carbone CO <sub>2</sub>
Euro 1		2720						175500
Euro 2		2200						168500
Euro 3	150	2200	200					154200
Euro 4	80	1000	100					142750
Euro 5	60	1000	100		5		68	127000
Euro 6	60	1000	100		5		68	110000

Figure 75 : Récapitulatif des normes EUROS pour les véhicules Essence

Le rapport Chiffres Clés 2011 de l'Observatoire Régional des Transports en Bretagne (ORTB) indique la composition du parc automobile Breton :

...l'âge	Bretagne	...la source d'énergie	Bretagne
< 4 ans	18,8%	Essence	34,9%
4 + 5 ans	13,3%	Gazole	64,6%
6 + 7 ans	13,7%	Bicarburant - GPL	0,5%
8 à 10 ans	22,3%	Electricité	0,0%
11 à 15 ans	31,9%	Non dét.	0,0%
Total	100,0%	Total	100,0%

Figure 76: Extrait du Rapport chiffres clés 2011 ORTB

En fonction, de l'âge du véhicule (donc de sa date de mise en circulation) il est possible de retrouver la norme Euro qui s'appliquait à l'époque et d'en déduire les taux d'émission de polluants en estimant qu'ils sont égaux aux valeurs limites de la norme EURO.