



Ville de Thorigné-Fouillard

Esplanade des Droits de  
l'homme  
35 235 Thorigné-Fouillard  
02 99 04 54 54  
mairie@thorigne-fouillard.fr

# ZAC multisites Thorigné-Fouillard

## Etude sur le potentiel de développement des énergies renouvelables

*Article L. 128.4 du Code de l'Urbanisme*

Urbaniste : Atelier du canal



---

AGENCE DE RENNES  
H3C-énergies  
2A rue du Patis Tatelin  
35700 RENNES

---

AUTRES AGENCES  
LYON  
MEYLAN  
MARSEILLE  
MONTPELLIER

[www.h3c-energies.fr](http://www.h3c-energies.fr)

*Le sens de la performance énergétique*



**H3C**  
ENERGIES

## Table des matières

<b>1. Synthèse non technique de l'étude .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Les orientations du projet liées à l'énergie .....</b>	<b>9</b>
<b>3. Préambule .....</b>	<b>9</b>
3.1. Contexte de la future zone d'aménagement concertée .....	9
3.2. Principe et méthode de l'étude .....	9
<b>4. Des engagements internationaux à la réglementation des documents d'urbanisme.....</b>	<b>10</b>
4.1. Processus de lutte contre le réchauffement climatique.....	10
4.1.1. <i>Processus international</i> .....	11
4.1.2. <i>Processus européen et national</i> .....	11
4.2. Des engagements internationaux aux PLUi puis permis d'aménager ou construire. ....	11
4.3. Contexte réglementaire .....	13
4.3.1. <i>La RT2012</i> .....	13
4.3.2. <i>La future Réglementation Energétique et Environnementale</i> .....	14
4.4. Contexte local .....	14
4.4.1. <i>La politique énergie climat du territoire breton</i> .....	15
4.4.2. <i>Portrait énergétique du territoire</i> .....	16
4.4.3. <i>La commune de Thorigné-Fouillard</i> .....	17
<b>5. Présentation de la zone d'étude .....</b>	<b>20</b>
5.1. Positionnement géographique de Thorigné-Fouillard .....	20
5.2. Périmètre d'étude.....	20
5.3. Topographie .....	21
5.4. Végétation et bâti existant.....	22
5.5. Programmation et schéma d'aménagement étudié.....	24
<b>6. Phase 1 : Potentiel de mobilisation des énergies renouvelables .....</b>	<b>25</b>
6.1. Energies fossiles disponibles .....	25
6.2. Les énergies renouvelables et de récupération .....	25
6.2.1. <i>Inventaire des énergies renouvelables disponibles et pertinence sur le projet</i> .....	25
6.2.2. <i>L'énergie solaire</i> .....	28
6.2.3. <i>L'énergie bois</i> .....	29
6.2.4. <i>L'énergie éolienne (production d'électricité)</i> .....	32
6.2.5. <i>La géothermie (production de chaleur et d'électricité)</i> .....	35
6.2.6. <i>La récupération d'énergie sur les eaux usées</i> .....	37
6.2.7. <i>Application</i> .....	37
6.3. Innovations liées à la production d'électricité .....	38
6.3.1. <i>L'autoconsommation</i> .....	39
6.3.2. <i>Les smartgrid</i> .....	39
6.4. <b>Synthèse des énergies renouvelables mobilisables sur site .....</b>	<b>41</b>
<b>7. Phase 2 : Détermination des consommations d'énergie du quartier .....</b>	<b>43</b>
7.1. Usages énergétiques attendus .....	43

7.2.	Les usages liés aux bâtiments.....	43
7.2.1.	<i>Cas particulier de l'électricité domestique :</i> .....	44
7.2.2.	<i>L'électricité des parties communes</i> .....	44
7.3.	Les autres usages.....	45
7.3.1.	<i>L'éclairage public</i> .....	45
7.3.2.	<i>Les transports</i> .....	45
7.3.3.	<i>L'énergie grise</i> .....	45
7.4.	Estimations des besoins d'énergie des bâtiments de logements collectifs en fin d'opération .....	45
7.4.1.	<i>Définition des niveaux de performance énergétique par typologie de bâtiment</i> .....	45
7.5.	Hypothèses de calcul.....	46
7.6.	Calcul des besoins énergétiques de l'ilot en fin d'opération .....	47
<b>8.</b>	<b>Phase 3 : Taux de Couverture des besoins de la zone par les ENR</b> .....	<b>49</b>
8.1.	Production d'électricité par micro-éoliennes .....	49
8.2.	Production de chaleur et/ou d'électricité par énergie solaire.....	49
8.3.	Production de chaleur par géothermie .....	50
8.4.	Production de chaleur par Aérothermie .....	50
8.5.	Production de chaleur par Bois énergie .....	50
8.6.	Synthèse .....	52
<b>9.</b>	<b>Phase 4 : Etude de l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables</b> .....	<b>53</b>
9.1.	Comparaison des consommations en énergie finale .....	54
9.2.	Comparaison des coûts de fonctionnement actualisés sur 20 ans .....	55
9.3.	Comparaison des émissions de gaz à effet de serre.....	60
9.4.	Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne.....	60
9.5.	Synthèse de l'analyse des scénarios d'approvisionnement en énergie .....	62
<b>10.</b>	<b>Phase 5 : Etude d'opportunité de création d'un réseau de chaleur alimenté par les ENR</b> .....	<b>63</b>
10.1.	Etude d'opportunité d'un réseau de chaleur sur le secteur .....	63
10.2.	Notion de densité énergétique pour un réseau de chaleur.....	63
10.2.1.	<b>Hypothèses de consommations énergétiques considérées</b> .....	64
10.3.	Etude d'opportunité .....	64
10.3.1.	<i>Analyse qualitative</i> .....	64
10.3.2.	<i>Conclusion :</i> .....	66
<b>11.</b>	<b>Phase 6 : Pistes de mesures compensatoires</b> .....	<b>66</b>
11.1.	Principe de la compensation carbone .....	66
11.2.	Compensation carbone volontaire .....	66
11.3.	Compensation carbone par des actions locales .....	68
11.4.	Proposition de mesures compensatoires : .....	68
11.4.1.	<b>Production locale d'électricité</b> .....	68
11.4.2.	<b>Stockage de carbone : plantation de biomasse</b> .....	70
<b>12.</b>	<b>L'éclairage public</b> .....	<b>72</b>
12.1.	<b>Rôles de l'éclairage public</b> .....	72
12.2.	Enjeux pour un projet d'aménagement .....	72

12.3.	Quelques préconisations .....	73
12.4.	Consommation énergétique attendue pour l'éclairage public .....	75
13.	1ère approche sur les transports et l'énergie grise des matériaux .....	76
13.1.	Transports .....	76
13.2.	Energie grise des matériaux .....	77
13.2.1.	Matériaux de voirie .....	77
13.2.2.	Matériaux de construction .....	77
14.	Synthèse des avantages et contraintes des énergies renouvelables étudiées .....	79
15.	Propositions d'actions spécifiques liées à l'énergie .....	81
16.	Prescriptions règlementaires .....	84
16.1.	Prescriptions techniques liées à la RT 2012 .....	84
16.2.	Prescriptions relatives à la justification des performances .....	85
17.	ANNEXES : FICHES TECHNIQUES sur les énergies renouvelables .....	86
17.1.	FICHE Energie solaire généralités .....	86
17.2.	FICHE Energie solaire thermique .....	92
17.2.1.	Rappel sur le solaire thermique .....	92
17.2.2.	Types d'utilisation .....	92
17.2.3.	Les schémas possibles et ceux qu'il convient d'éviter absolument .....	93
17.2.4.	Préconisations .....	93
17.3.	FICHE Energie solaire photovoltaïque .....	94
17.3.1.	Membranes d'étanchéité photovoltaïques .....	94
17.3.2.	Panneaux de silicium .....	94
17.4.	FICHE Pompes à chaleur .....	95
17.5.	FICHE Energie éolienne .....	96
17.5.1.	Présentation .....	96
17.5.2.	Grand éolien .....	96
17.5.3.	Petit éolien .....	96
17.6.	FICHE Géothermie .....	99
17.6.1.	LA GEOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE (TEMPERATURE INFERIEURE A 30°C) .....	99
17.6.2.	La géothermie basse énergie (30 à 90°C) .....	99
17.6.3.	La géothermie moyenne énergie (90 à 150°C) .....	99
17.6.4.	La géothermie haute énergie (température supérieure à 150°C) .....	99
17.7.	FICHE : Récupération d'énergie sur les eaux usées .....	103
17.8.	FICHE énergie marines renouvelables en Bretagne .....	105
17.9.	FICHE Réglementation pour l'installation d'une petite centrale hydroélectrique .....	108
17.9.1.	Droit d'eau .....	108
17.9.2.	Droit de l'environnement .....	108
17.9.3.	Enquête publique .....	108
17.9.4.	Raccordement au réseau .....	108
17.10.	FICHE Bois énergie : solutions individuelles .....	109
17.11.	FICHE Bois énergie : solutions collectives .....	110

---

17.11.1.	<i>Principe de fonctionnement des chaudières automatiques</i> .....	110
17.11.2.	<i>Combustible</i> .....	110
<b>17.11.3.</b>	<b>Gamme de puissance</b> .....	112
17.11.4.	<b>Chaudières bois et qualité de l'air</b> .....	112
	<b>Principe d'implantation du silo</b> .....	113
	<b>Silo pour bois déchiqueté</b> .....	113
	<b>Silo pour granulés</b> .....	114
<b>17.12.</b>	<b>FICHE réseaux de chaleur</b> .....	115
17.12.1.	<b>Définition</b> .....	115
17.12.2.	<b>Bouquet énergétique</b> .....	115
17.12.3.	<b>Valorisation des réseaux de chaleur ENR dans la RT 2012</b> .....	116

# 1. Synthèse non technique de l'étude

Cette étude a permis de déterminer les sources d'énergies renouvelables pouvant être mobilisées sur la future ZAC.

Le tableau suivant présente une synthèse du potentiel de développement en énergies renouvelables :

Energie	Potentiel sur site	Conditions de mobilisation
Bois	+++	Prévoir stockage et approvisionnement Filière bois énergie régionale en cours de structuration
Solaire passif	++	Orientation Sud des bâtiments Attention à la pente du terrain Conception bioclimatique (maximiser les apports solaires en hiver, s'en protéger en été)
Solaire thermique	+++	ECS solaires thermiques en toiture et/ou brises-soleil (étude approfondie à réaliser). Orientation sud des toitures ou toits terrasses. Réaliser un modèle 3D pour évaluer précisément l'ensoleillement et notamment les ombres portées des bâtiments.
Solaire photovoltaïque	+++	Panneaux photovoltaïques : prévoir une étude de faisabilité pour déterminer la faisabilité technico-économique et les possibilités de positionnement (en toiture, en brise-soleil, en ombrière de parking, sur des candélabres, ...) Orientation Sud des toitures ou toits terrasses
Géothermie très basse température	+	La réalisation d'un forage test et d'une étude de faisabilité est indispensable pour confirmer le potentiel et déterminer les modalités d'exploitation.
Aérothermie	+++	
Chaleur fatale des eaux usées	+++	-Bâtiment de taille significative + évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes -Valorisation possible -Production collective d'ECS
Petit éolien	+	Etude précise des vents à réaliser en phase réalisation et après la construction des bâtiments

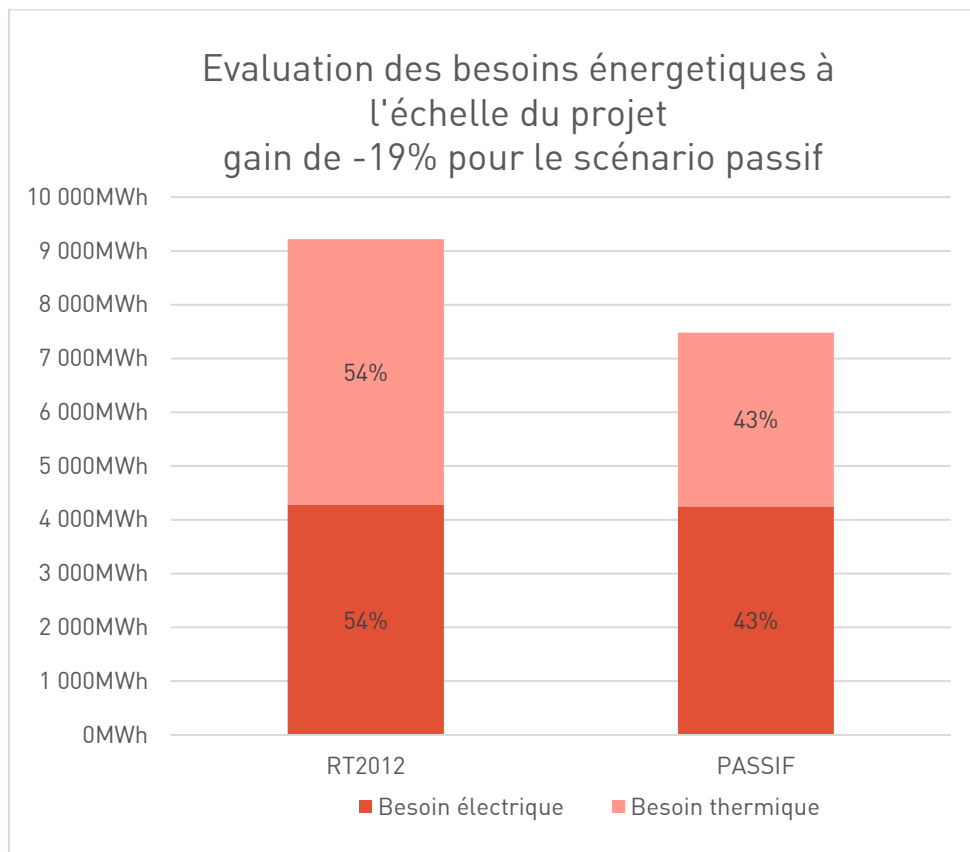
➔ L'énergie solaire passive et active, l'énergie bois, la récupération d'énergie sur les eaux usées ou sur les process présentent un potentiel de développement.

Les hypothèses prises en compte dans l'étude sont les suivantes :

Programmation :

Groupe	Typologie	SDP (m <sup>2</sup> )	Nombre	SDP totale (m <sup>2</sup> )	% Surface totale
Logement	Logement collectif	65	704	45 885	43%
Logement	Logements semi-collectifs	81	267	21 759	20%
Logement	Maisons individuelle	120	321	38 410	36%
Total Logement			1292	106 054	99%
Autre	Commerce et services	159	10	1 587	1%
Total Autre			10	1 587	1%
Total général			1302	107 641	100%

Besoins du site :



Taux de couverture par les ENR

ENR		Taux de couverture moyen par les EnR				Taux de couverture moyen par les EnR PASSIF			
Technologie	Caractéristiques	Productible MWh/an	Chaleur	Electricité	Total Energie	Productible	Chaleur	Electricité	Total Energie
Panneaux Solaire thermique	Inclinaison 30° Orientation: S-E	1165	24%	0%	13%	1017	31%	0%	14%
Panneau Solaire photovoltaïque	Inclinaison 30° Orientation: S-E	4414	0%	103%	48%	4414	0%	104%	59%
Chaufferie bois granulés		4935	100%	0%	54%	3233	100%	0%	43%
Chaufferie bois plaquette		3948	100%	0%	54%	2586	100%	0%	43%
PAC géothermique	COP 3,5	3504	71%	0%	38%	2295	71%	0%	31%
PAC eau	COP 2.7	3109	63%	0%	34%	2037	74%	0%	32%
Micro éolien	P:3KW N:40	90	0%	2%	1%	90	0%	2%	1%

Aucune source d'énergie renouvelable ne permet à elle seule de couvrir la consommation d'électricité totale des bâtiments.

La création d'un quartier à énergie positive au sens [énergie consommée < énergie produite] ne pourrait donc se faire qu'à partir d'un « mix énergétique » combinant des énergies renouvelables qui produisent de la chaleur et d'autres de l'électricité et en réduisant de manière drastique les consommations du quartier.

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

Scénario étudié	Critère	Faible consommation en Energie finale	Coût Global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne	Taux d'utilisation d'ENR
S0 : Gaz individuel		Orange	Rouge	Rouge	Vert	Rouge
S1: Gaz + ECS solaire		Orange	Vert	Rouge	Vert	Orange
S2 : PAC géothermie		Vert	Orange	Vert	Rouge	Vert
S3: Bois granulés		Orange	Vert	Vert	Vert	Vert
S4- PAC air/eau		Vert	Rouge	Vert	Rouge	Vert

LEGENDE Scénario

Réponse Favorable

Réponse mitigée ou adaptée partiellement au critère

Réponse Défavorable ou inadaptée

Figure 1 : Evaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critère environnementaux et économiques

Ainsi, le Scénarios S3 (bois granulés) présente une réponse aux critères d'analyse plus adaptée, mais aucun scénario ne se détache particulièrement par rapport aux autres.

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 (bio climatisme), au solaire actif (production de chaleur ou d'électricité), à la biomasse sont donc des solutions à privilégier.



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

	Consommation énergétique annuelle estimée (MWh/an)		Emissions min de CO2 (T/an)		Surface forestière à planter (ha)		Surface forestière à planter (multiple de la surface de la zone)	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Bâtiments	5259	9357	338	1369	18	74	1	2
Trajets domiciles travail en voiture	4436		1 152		62		2	
Eclairage	50	107	16	7	1	0	0	0
TOTAL	9 746	13 900	1 506	2 529	81	137	2	4

Figure 2: Synthèse des impacts estimés d'un point de vue énergétique et effet de serre

L'écart de consommation entre un bâtiment performant (enveloppe + systèmes) et un bâtiment plus classique peut aller jusqu'à 70%.

Les poids énergie et carbone des déplacements domicile/travail sont du même ordre de grandeur que ceux du bâtiment. Il conviendrait donc d'intégrer les alternatives à la voiture individuelle dans le projet de ZAC.

La compensation carbone des émissions induites par la ZAC (consommation directe d'énergie pour les bâtiments et l'éclairage public, émission de CO2 des déplacements domicile travail) nécessiterait le boisement de 2 à 4 fois la surface de la ZAC.

## 2. Les orientations du projet liées à l'énergie

Les orientations du projet liées à l'énergie sont reprises dans l'étude d'impacts.

## 3. Préambule

### 3.1. Contexte de la future zone d'aménagement concertée

Thorigné-Fouillard est une commune située à 10 kms de Rennes, au nord-est de la Métropole. Au 1er janvier 2017, Thorigné-Fouillard compte 8 296 habitants. Depuis le début des années 1980, avec la fusion de de Thorigné-sur-Vilaine et de Fouillard, la commune connaît un développement urbain constant et conjointement une évolution démographique continue.

Pour répondre aux besoins futurs d'accueil de population, le Programme Local de l'Habitat (PLH) de Rennes Métropole a programmé, pour chaque commune faisant partie de la Métropole entre 2015-2020, un nombre de logements annuel moyen à réaliser. Pour la commune de Thorigné-Fouillard, l'objectif est d'environ 90 logements par an.

### 3.2. Principe et méthode de l'étude

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.

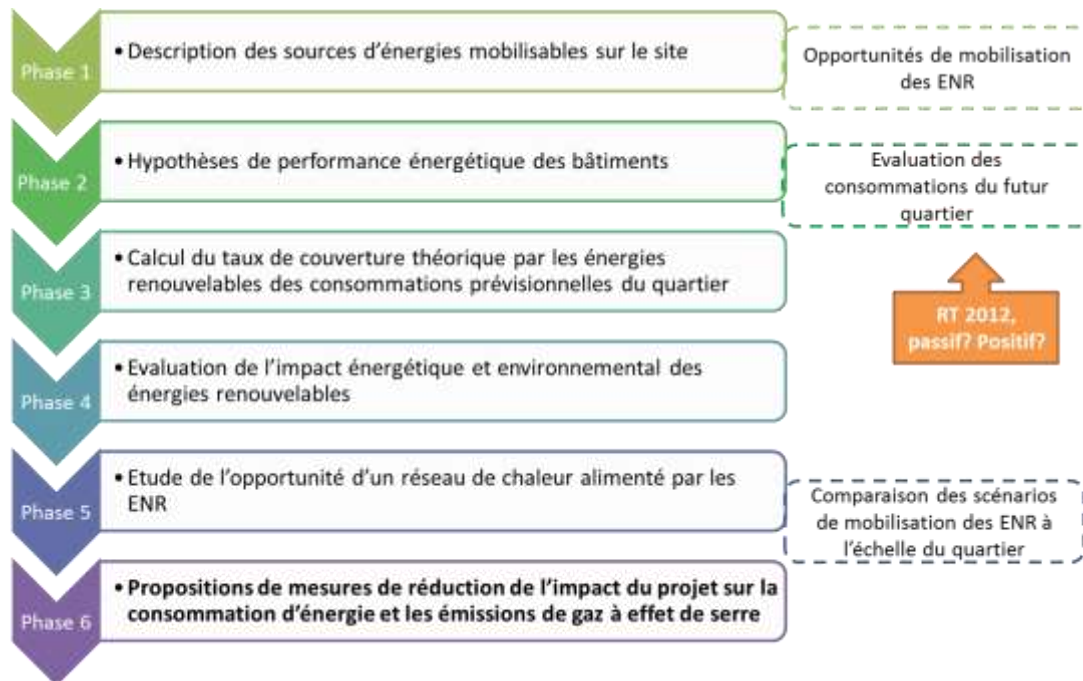
L'article L-300-1 du Code de l'Urbanisme précise que : « Toute action ou opération d'aménagement faisant l'objet d'une évaluation environnementale doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de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

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 relatif aux politiques publiques liées à l'énergie et présenté succinctement le projet d'aménagement, nous étudierons la mobilisation des énergies renouvelables selon les phases d'études suivantes :



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

## 4. Des engagements internationaux à la réglementation des documents d'urbanisme.

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 réflexion s'inscrit.

### 4.1. Processus de lutte contre le réchauffement climatique

### 4.1.1. Processus international

Le **Protocole de Kyoto**, ratifié en 1997 est en vigueur depuis 2005. Il est arrivé à échéance en 2012 et 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 2015, la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques s'est tenue à **Paris**. Cette conférence marque une **étape décisive** dans la négociation du futur accord international qui entrera en vigueur en 2020.

Elle a abouti, le **12 décembre 2015**, à un accord historique et universel pour le climat, approuvé à l'unanimité par les 196 délégations (195 États + l'Union Européenne), dont la signature est prévue le **22 Avril 2016**. L'Accord de Paris se fixe de maintenir l'augmentation de la température mondiale bien en **dessous de 2 degrés**, et, pour la première fois, de **tendre vers un maximum de 1,5 degré** afin de permettre la sauvegarde des Etats insulaires (les plus menacés par la montée des eaux), en prévoyant une clause de révision des engagements. Dans ce cadre et conformément aux recommandations du GIEC, la France s'est engagée, avec la **Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)** à diviser par 4 ses émissions GES à l'horizon 2050 par rapport à 1990 (le Facteur 4).

### 4.1.2. Processus européen et national

Dans le cadre des accords de Kyoto, la communauté européenne a fixé dans le paquet énergie climat dit : **“3 X 20 en 2020”** les objectifs suivants :

- Réduire de 20 % les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2020 par rapport à 1990 ;
- Porter à 20 % la **part d'énergies renouvelables** dans la consommation en Union Européenne en 2020 ;
- Baisser de 20 % la consommation d'énergie par rapport aux projections pour 2020.

En France, la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 ou loi sur la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LETCV) fixe par 167 mesures **réglementaires** (ordonnances et décrets d'application), les grands objectifs et le calendrier de la politique énergétique nationale d'ici à 2050 dont les grandes lignes sont ci-dessous :

- **Réduire de 50% de la part du nucléaire** dans la production totale d'électricité à l'horizon 2025,
- **Réduire de 50% la consommation énergétique finale** entre 2012 et 2050,
- **Réduire de 40% des émissions de gaz à effet de serre** sur la période 1990-2030,
- **Porter à 32% la part d'énergies renouvelables** dans la consommation d'ici 2030 ans.

## 4.2. Des engagements internationaux aux PLUi puis permis d'aménager ou construire.

La LETCV établit la stratégie nationale bas carbone (SNBC) qui décrit la politique d'atténuation du changement climatique comme celle de réduction des émissions de GES et d'augmentation de leur potentiel de séquestration. Les objectifs de la LETCV sont déclinés localement dans les documents de planification de nature stratégique ou réglementaires.

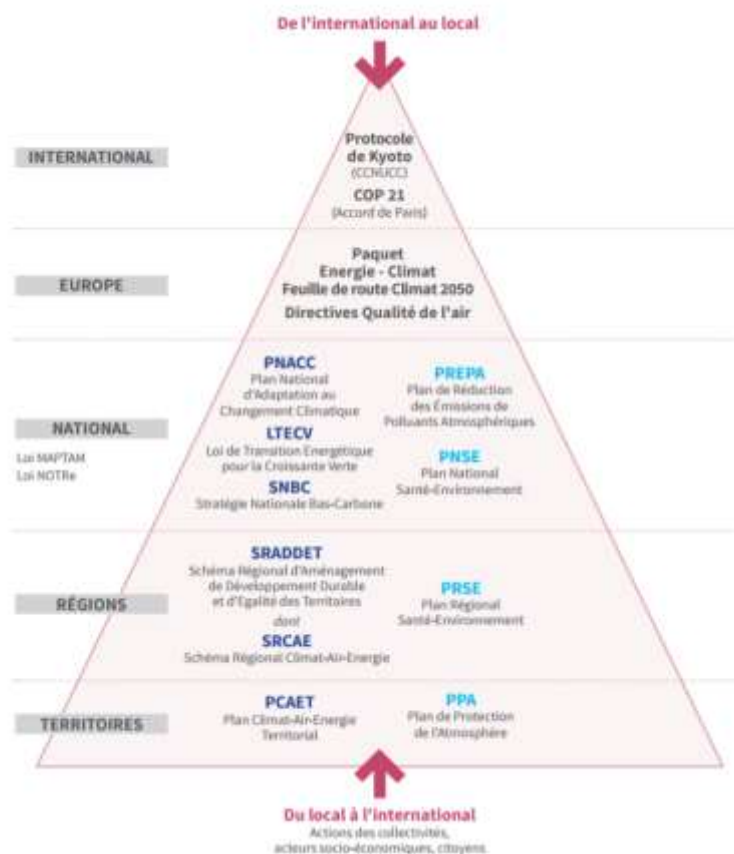


Figure 3: Des engagements internationaux aux objectifs locaux (source ADEME [www.territoires-climat.ademe.fr](http://www.territoires-climat.ademe.fr))

Le Schéma Régional Climat Air Énergie Breton (qui sera remplacé par le SRADDET en cours d'élaboration) 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.

La LETCV impose à tous les EPCI de plus de 20 000 habitants de rédiger avant le 31 décembre 2018 leur PCAET. Comme son prédécesseur le PCET, est un outil de planification qui a pour but d'atténuer le changement climatique, de développer les énergies renouvelables et maîtriser la consommation d'énergie. Contrairement à ce dernier, il impose désormais de traiter de la qualité de l'air.

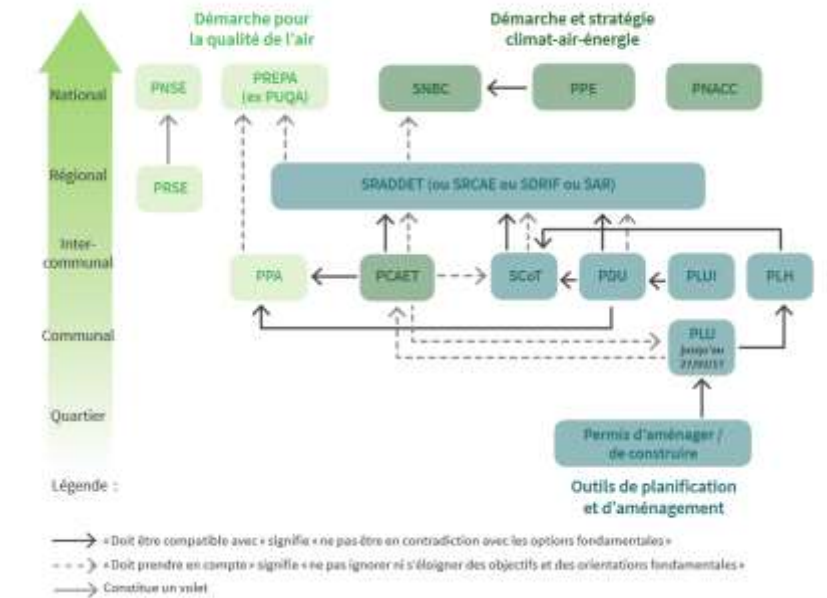


Figure 4: Articulation juridique des documents de planification

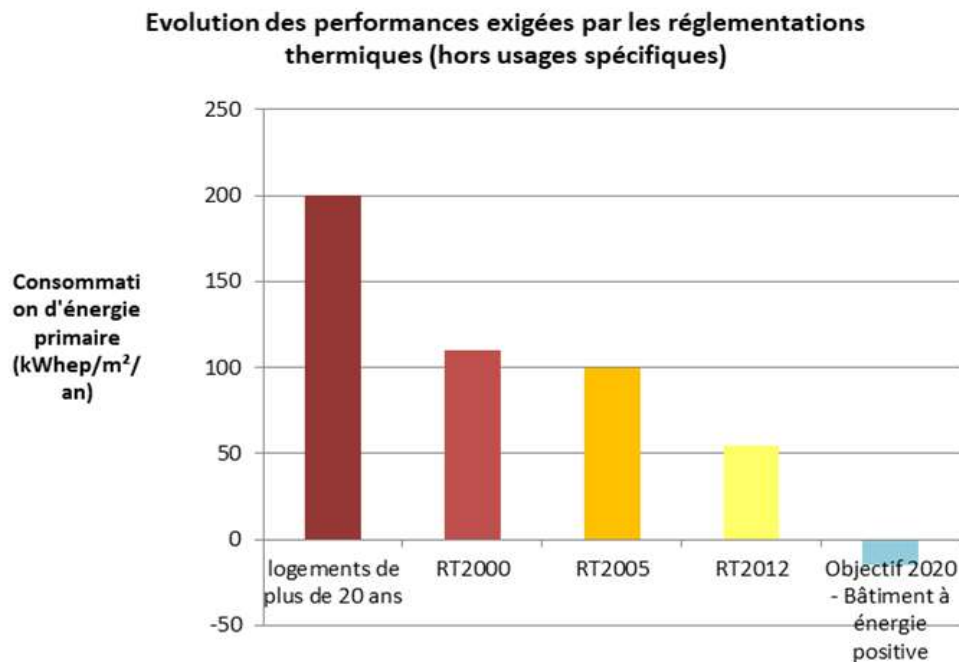
Le permis de construire doit être compatible avec le PLU ou PLUi lequel devant prendre en compte le PCAET ou à défaut les documents de planification supérieurs.

## 4.3. Contexte réglementaire

### 4.3.1. La RT2012

Le Grenelle de l'environnement a accéléré l'évolution des réglementations thermiques, l'objectif annoncé étant d'atteindre le niveau de performance de bâtiments passifs voire à énergie positive à horizon 2020.

Cette évolution est rappelée sur le schéma ci-dessous :



L'objectif fixé est la RT 2012 : les besoins énergétiques couvrant le chauffage et le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire, la ventilation, l'éclairage et les auxiliaires devront être inférieurs à 55 kWh/m<sup>2</sup>SHONRT/an en énergie primaire pour une maison individuelle située en Bretagne.

Afin de satisfaire cette obligation, les constructions doivent profiter au maximum des apports solaires et bénéficier d'une forte isolation thermique et d'une ventilation adaptée.

La RT 2012 introduit des exigences minimales traduisant des volontés publiques fortes : **obligation de recours aux énergies renouvelables** en habitat individuel, obligation de respecter le seuil minimum de surface vitrée égale à 1/6 de la surface habitable, obligation de traitement des ponts thermiques (fuites de chaleur), obligation de traitement de la perméabilité à l'air des logements neufs, etc.

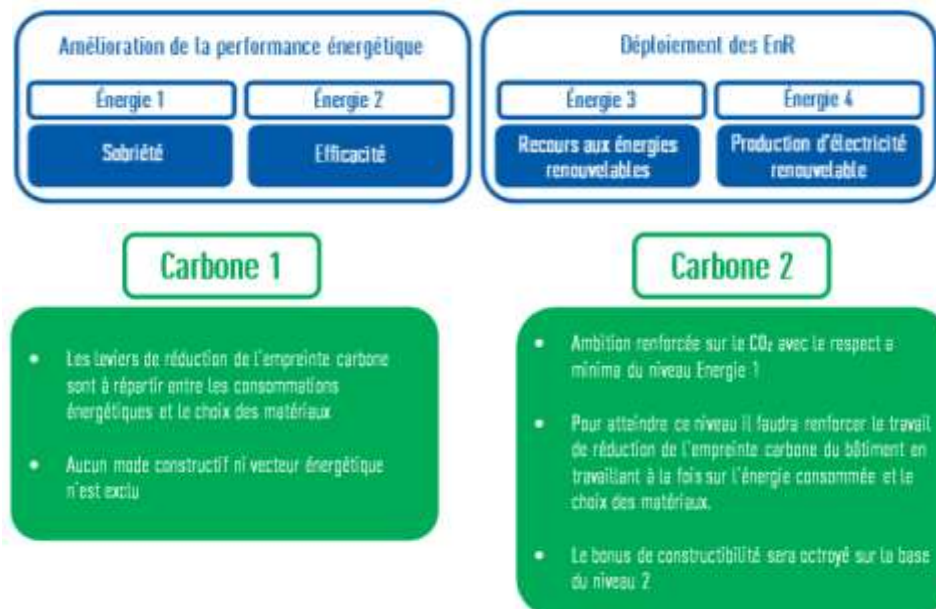
De plus, le décret 2013-979 du 30 octobre 2013 rend obligatoire la réalisation d'une étude d'approvisionnement en énergie pour tous les bâtiments dont la SHON est supérieure à 50m<sup>2</sup>.

### 4.3.2. La future Réglementation Energétique et Environnementale

A l'horizon **2020**, la loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte fixe l'objectif d'une Réglementation Energétique et Environnementale ambitieuse pour les bâtiments neufs qui prévoit, via l'expérimentation du label Energie Carbone E+C-, l'ajout d'exigences sur :

- Le calcul des émissions de gaz à effet de serre,
- Un calcul des consommations d'énergie et de ressources sur l'ensemble du cycle de vie,
- L'incitation à recourir aux énergies renouvelables pour couvrir et compenser les besoins des bâtiments et ainsi la généralisation des bâtiments à énergie positive.

Le label **E+C** préfigure la future réglementation. Il est composé conjointement d'un niveau **Énergie** (évalué par l'indicateur « bilan BEPOS ») et d'un niveau **Carbone** (évalué par l'indicateur « Carbone ») :



## 4.4. Contexte local

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 **blackout**.

- Une faible production électrique : 13% de sa consommation



- Une forte croissance démographique et un dynamisme économique qui augmentent 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).

#### 4.4.1. La politique énergie climat du territoire breton

##### ➤ *Le Schéma Régional Climat Air Energie Breton*

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.

##### ➤ *Le plan éco énergie 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.

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

##### ➤ *Le pacte électrique 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 en proposant 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)

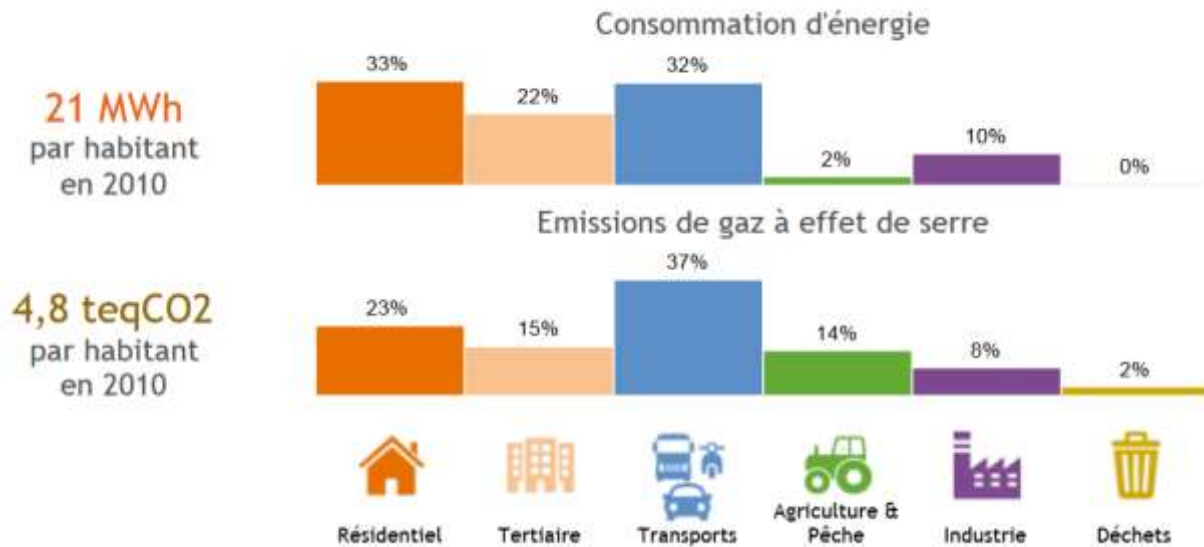
L'ensemble de ces dispositifs montre le dynamisme de la région Bretagne pour réduire sa dépendance énergétique. Tous les nouveaux projets d'aménagement se doivent d'intégrer ces démarches spécifiques dans leurs modalités de mise en œuvre.

## 4.4.2. Portrait énergétique du territoire

### 4.4.2.1) Rennes Métropole

Le secteur du bâtiment (tertiaire et résidentiel) représente **plus de la moitié de la consommation d'énergie du pays de Rennes (55%)** et plus d'1/3 des émissions de gaz à effet de serre (38%) :

Les émissions de GES en TeqCO<sub>2</sub> des transports (37%) sont équivalentes à celles du bâtiment pour une consommation énergétique de 32% (second contributeur).



Rennes Métropole est un territoire sur lequel de nombreuses démarches sur la maîtrise de l'énergie et le climat ont été mises en place. Notamment l'engagement dans un **Agenda 21**, projet qui se décline à travers un **plan climat énergie territorial** (PCET) Les objectifs du PCET s'articulent autour de cinq grands axes :

1. Planifier et aménager le territoire pour réduire la dépendance énergétique
2. Anticiper et accompagner les mutations énergétiques
3. Mobiliser les acteurs du territoire et accompagner les changements sociétaux
4. Renforcer la dimension énergétique dans la politique de l'habitat
5. Offrir des services urbains économes en énergie.

Le **Plan Climat Air Energie (PCAET)** actuellement en cours de consultation et validation (approuvé début 2019), visera à **tripler la part des énergies renouvelables**. Rennes Métropole ambitionne pour 2030 de diviser par deux les émissions de gaz à effet de serre par habitant par rapport à 2010 via 10 objectifs :

1. Rénover 6 000 logements publics et privés par an (contre 1 500 aujourd'hui) : horizon 2024
2. 100% de logements passifs ou à énergie positive dans les opérations publiques : horizon 2030
3. Réduire le trafic routier de 10% : horizon 2030
4. 80% des déplacements en mode décarboné sur le réseau de transports collectifs : horizon 2030 (70% en 2024)
5. Atteindre l'objectif de covoiturer une journée par semaine : horizon 2024
6. 85% de voyages supplémentaires sur le réseau STAR : horizon 2030
7. Rénover 25% des surfaces bâtiments tertiaires (public, privé) : horizon 2030
8. Tripler la part des énergies renouvelables ou de récupération : horizon 2030
9. Viser les 25% d'électricité renouvelable achetée par Rennes Métropole : horizon 2024
10. Atteindre 100% des déchets valorisés : horizon 2024.



Les communes sont accompagnées dans la mise en œuvre de leurs plans d'actions respectifs par l'Agence Locale de l'Énergie et du Climat (ALEC).

Le nouveau PLH de Rennes Métropole, adopté en décembre 2015, fixe l'**apprentissage du bâtiment passif** comme nouvel objectif :

« Pour préparer les acteurs aux futures Règlementations Thermiques, chaque nouvelle opération d'aménagement contractualisée avec Rennes Métropole développera un îlot en label « Passivhaus ». Cette mesure devra être définie dans le cadre de la contractualisation. »

➤ La ZAC intégrera donc la réalisation d'un bâtiment d'habitat collectif certifié Passivhaus.

#### 4.4.3. La commune de Thorigné-Fouillard

Les graphiques suivants présentent les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre à l'échelle de la commune.

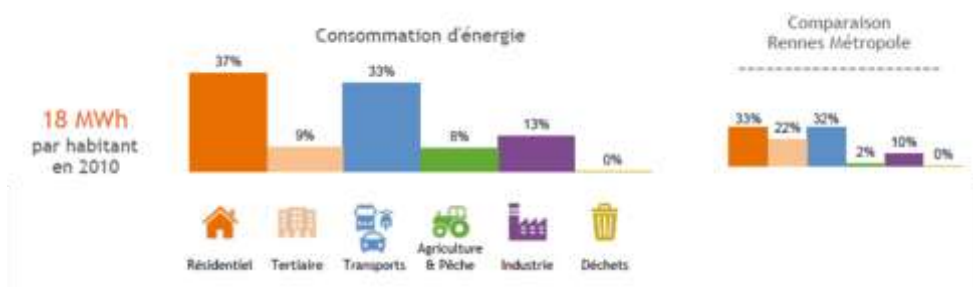


Figure 5: Répartition des consommations d'énergie par secteur d'activité (source bretagne-environnement)

- ➔ Trois grands secteurs d'activité se dégagent. En tête les secteurs du bâtiment (Résidentiel + Tertiaire =46%) et des transports (33%) suivis de l'industrie 13%.
- ➔ La part prépondérante des transports s'explique par l'importance des déplacements en voiture individuelle et pour le transport de marchandise



Figure 6: Répartition par mode des émissions de GES des transport (source bretagne-environnement)

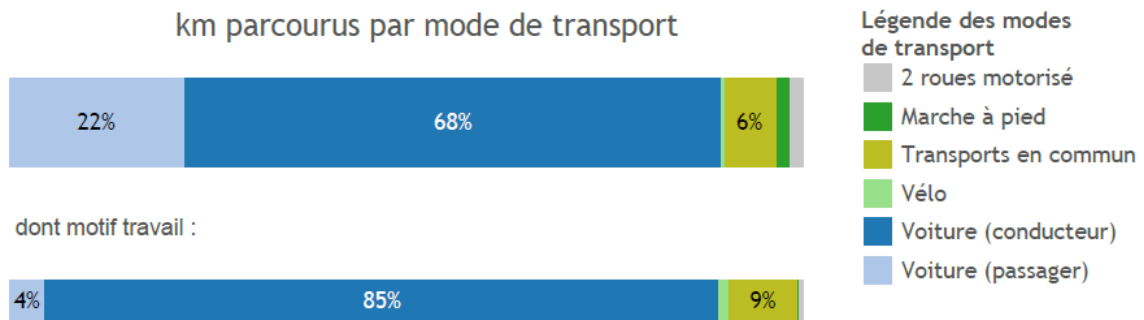
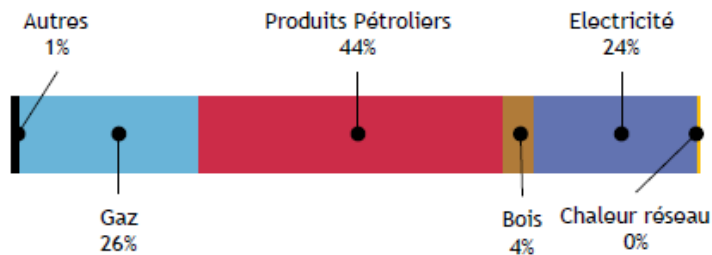


Figure 7: Répartition des déplacements par mode et km parcourus par motif (source ; Bretagne-environnement)

- L'aménagement d'une ZAC influe directement sur les deux premiers postes de consommation énergétique (Bâtiment, Transport). Les choix retenus sur l'aménagement de la ZAC (exigence sur la performance énergétique des bâtiments, développement des énergies renouvelables, ou développement des alternatives de transport à la voiture individuelle)

### Répartition par type d'énergie consommée



### Répartition des consommations énergétiques par secteur d'activités et par type d'énergie

- La principale énergie consommée sur le territoire correspond aux produits pétroliers en raison de la forte part du secteur des transport qui utilise quasi-exclusivement cette énergie. Le développement de solutions de mobilités alternatives pourrait changer cette tendance.

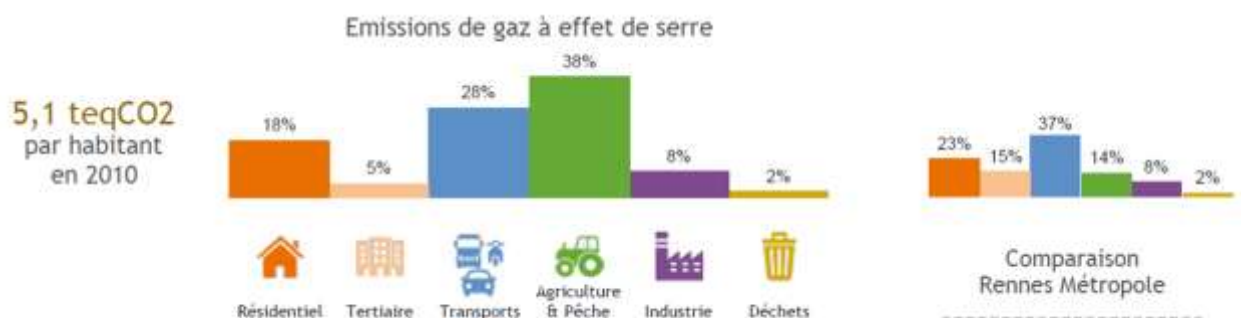


Figure 8: Répartition des émissions de GES par secteur d'activité (source bretagne-environnement)

- L'agriculture représente de loin le 1<sup>er</sup> émetteur de GES ce qui est caractéristique du milieu rural. En effet la dégradation des engrais produits du NO<sub>2</sub> dont le potentiel de réchauffement global (PRG) est 310 fois plus grand que le CO<sub>2</sub>, les bovins quant à eux produisent du CH<sub>4</sub> dont le PRG est 28 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub>.
- Le bâtiment (résidentiel + tertiaire) et les transports, les deux premiers consommateurs d'énergie, arrivent en seconde position avec respectivement 23% et 28% des émissions en raison de leur consommation d'énergie et de leur mix énergétique.

#### 4.4.3.1) Les actions de la Commune

En 2010, la commune de Thorigné-Fouillard a adopté son Plan d'actions pour une énergie durable (PAED) qui réunit plus d'une trentaine de fiche-actions détaillées pour diminuer de plus de 20% les émissions de CO<sub>2</sub> par habitant sur le territoire communal d'ici 2020. Parmi les actions engagées :

##### Patrimoine communal

- Réalisation des travaux de réhabilitation énergétique et thermique sur les bâtiments à enjeux
- Fauchage extensif des bords de route
- Entretien des espaces verts selon la gestion différenciée (code vert)
- Utilisation d'eau pluie pour l'arrosage des espaces verts
- Remplacement progressif des véhicules légers par des véhicules électriques et des vélos

- Réduction des consommations électriques des bâtiments communaux
- Adaptation de la température du chauffage dans les bâtiments communaux

### Eclairage public

- Réduction du temps d'éclairage (extinction de 23h à 6h en semaine et de 20h à 7h le Week End) → **Obtention d'une étoile au concours national villes et villages étoilés.**
- Suppression d'une partie des décorations de Noël et utilisation de lampes basse consommation
- Passage progressif en LED.

### Mobilisation et sensibilisation des habitants

- Mise en place de groupes participatifs
- Un forum habitat énergie a été organisé en 2011
- Création d'une maison du développement durable dédiée à la sensibilisation du grand public.
- Poursuite de la démarche DISPLAY (affichage des consommations énergétiques des bâtiments publics des communes, relayé par un groupe d'ambassadeurs sensibilisant les usagers des bâtiments aux gestes économes)
- Communication à travers les supports de la commune (AMI, site internet)

### Exigences environnementales de la ville dans le cadre de zones d'aménagement

Précédentes opérations d'aménagement (ZAC de La Vigne)

- Exigences de performance énergétique ambitieuses sur la ZAC de la vigne (label BBC pour les bâtiments de la tranche 1 soumis à la RT2005, Bbio -10% et 30 logements sociaux niveau passif pour les tranches en RT2012)
- Collecte des déchets ménagers par apport volontaire sur la ZAC de la Vigne (suppression de la collecte en porte-à-porte pour une partie des habitants)
- Incitation à la fourniture d'un vélo par logement par les promoteurs dans le cadre de la seconde tranche de la ZAC de la Vigne

Opération de la ZAC multisite :

- Elaboration d'une charte de développement durable lors d'une démarche participative parallèle à l'étude urbaine pour la création et la réalisation d'une Zone d'Aménagement Concerté (ZAC) multisites sur la commune de Thorigné-Fouillard.

### Déplacements de proximité

- Incitation à se rendre à l'école en vélo ou à pieds (pédibus...)
- Développement des zones cyclables (pour assurer la continuité du réseau)
- Création en 2010 d'une aire de covoiturage intercommunale avec Acigné (un projet d'extension est à l'étude)
- Mise en place d'un Plan Communal de Déplacements (PCD) dans le cadre du plan local d'urbanisme (PLU)
- Travailler sur la commune ou les communes limitrophes est un des critères pour l'attribution d'un lot libre sur la ZAC de la Vigne

### Commande publique durable

- Favoriser les achats intégrant les critères environnementaux
- Groupement de commandes avec certaines communes de Rennes Métropole

### Agriculture

- Exonération de taxe foncière sur les propriétés non bâties pour les terrains agricoles exploités en bio

### Commerce et artisanat

- Promouvoir les commerces de proximité

- Encourager la mise en œuvre du développement durable (réduction du temps d'éclairage, sensibilisation aux écogestes et aux éco-déplacements)
- Mise en place de prescriptions environnementales sur les zones d'activités

#### Circuits courts alimentaires

- Les circuits courts (favorisant la production et la fabrication locales) sont imposés pour certaines denrées dans le cahier des charges de la restauration scolaire
- Création de jardins familiaux et partagés (pour favoriser la consommation domestique)

#### Energies renouvelables

- Sensibilisation à l'installation de systèmes de production d'énergies renouvelables dans l'habitat individuel
- Utilisation d'énergies renouvelables dans les bâtiments publics (capteurs solaires et cuve à récupération d'eau de pluie sur le complexe sportif de la Vigne et sur la halte-crèche Brindille...)

## 5. Présentation de la zone d'étude

### 5.1. Positionnement géographique de Thorigné-Fouillard



Figure 9 : Localisation de Thorigné-Fouillard (Source : Géo bretagne)

La commune de Thorigné-Fouillard est située à 10 kms au Nord-Est de Rennes et fait partie de Rennes Métropole.

### 5.2. Périmètre d'étude

Le périmètre d'étude de la ZAC multisite se décompose en trois secteurs.

- Le secteur « La Réauté » au SUD EST

- Le secteur « Centre-Ville » au Centre
- Le secteur « Dugesclin » au NORD OUEST

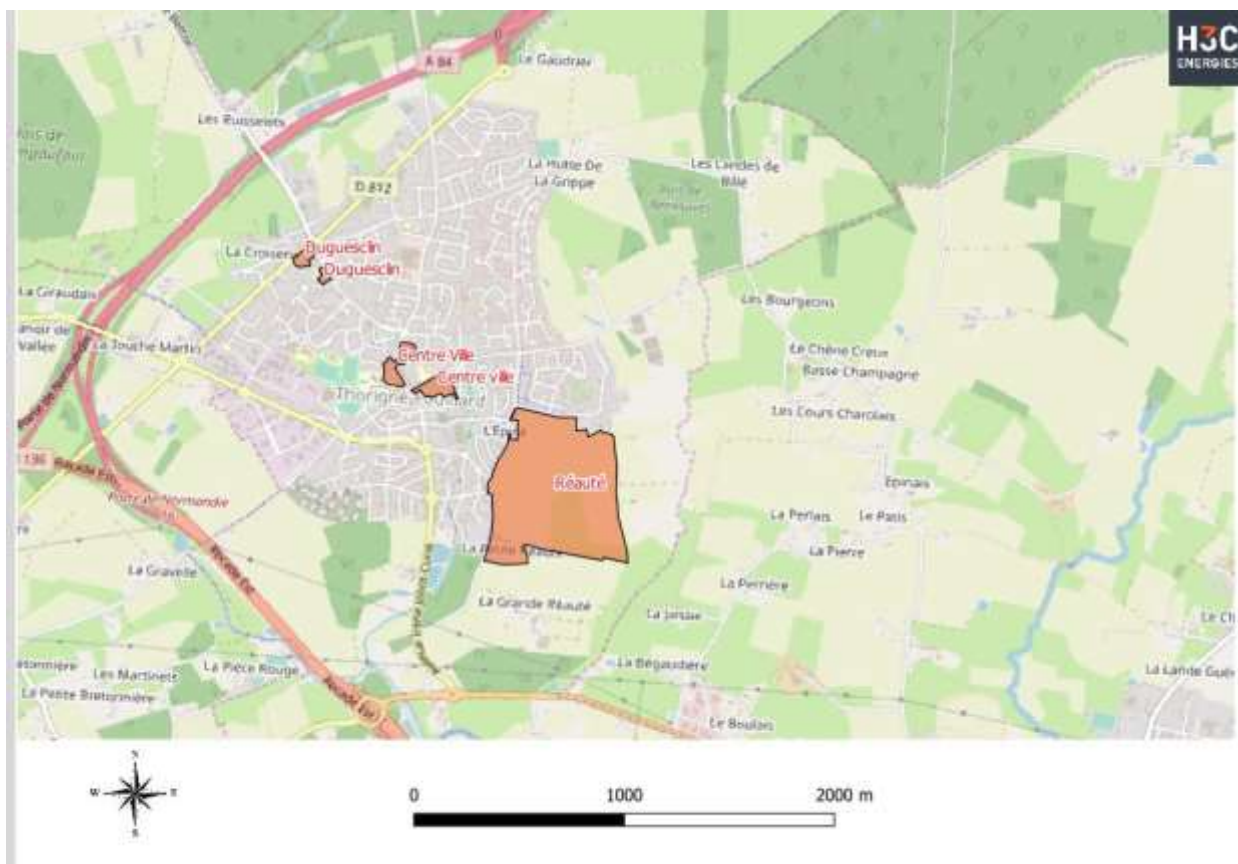


Figure 10: Schéma général de la ZAC source : Atelier du Canal (27/06/2019)

### 5.3. Topographie

Les figures suivantes présentent le plan topographique des zones d'étude :



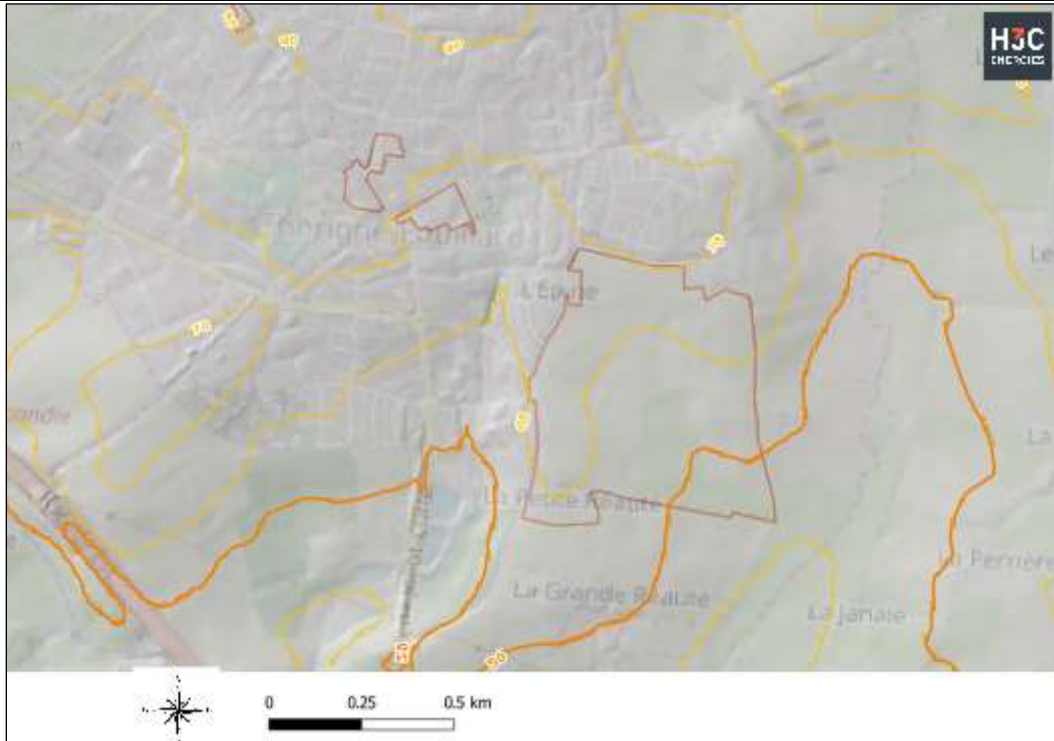


Figure 11: Analyse topographique périmètre ZAC (Source : [GEOBRETAGNE](#))

- Les secteurs Centre et Duguesclin présentent une topographie relativement plane et donc neutre vis-à-vis des apports solaires



Figure 12: Analyse topographique du secteur Réauté (Source : [GEOBRETAGNE](#))

- Le secteur Réauté présente une topographie en amphithéâtre avec une pente Sud à Sud/Ouest favorable aux apports solaires.

#### 5.4. Végétation et bâti existant



Figure 13: Vue Aérienne secteur Réauté

- Le site présente un maillage de haies bocagère dont les ombres portées devront être étudiées



Figure 14: Vue Aérienne secteur centre-ville



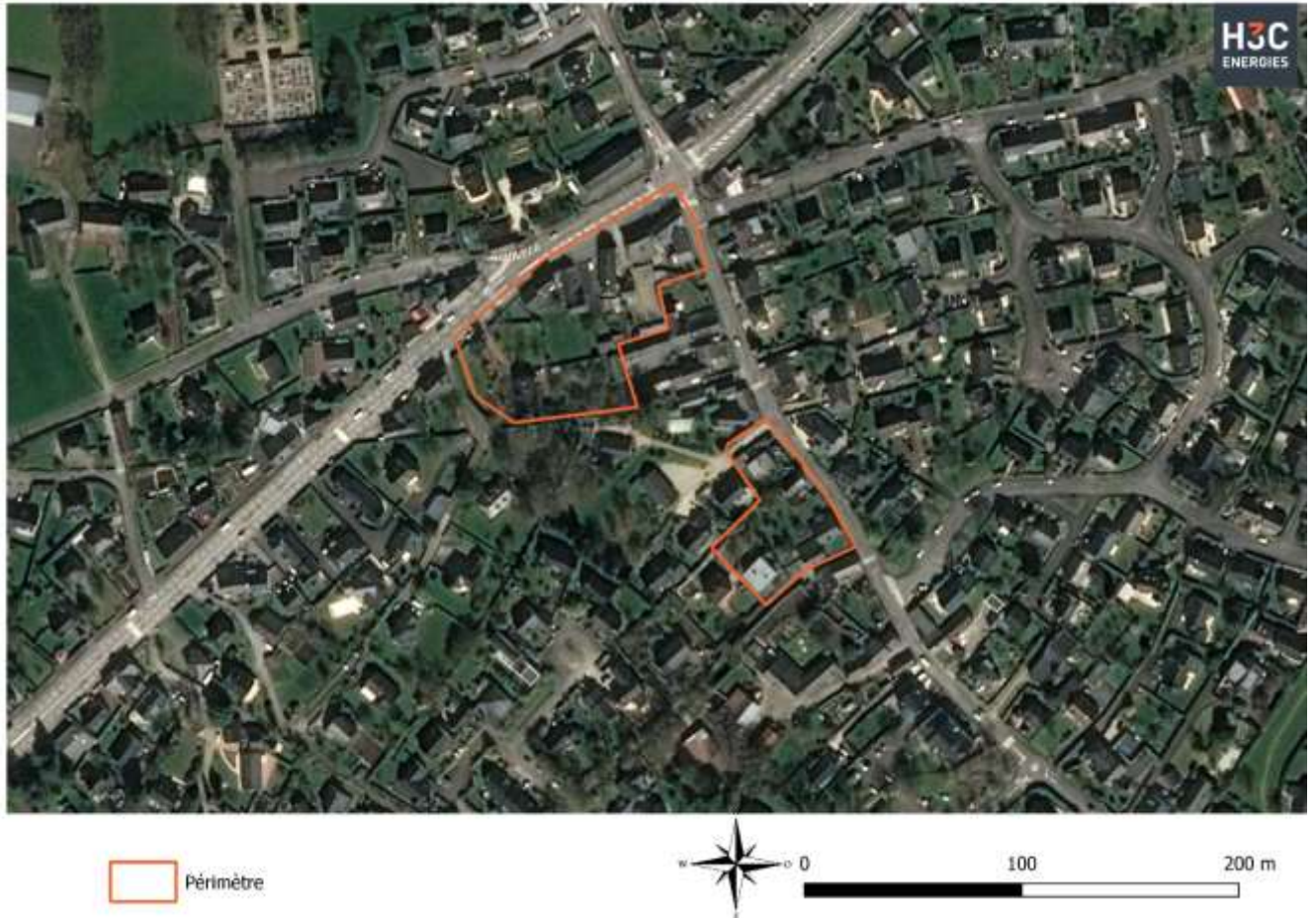


Figure 15: Vue Aérienne secteur Dugesclin

- Les secteur centre-ville et Dugesclin sont urbanisés. Les masques générés par les bâtis existants devront être pris en compte tout comme l'ombre portée qui pourra être créée par les nouvelles constructions, la préservation du droit au soleil de l'existant devra être respectée
- Le site présente également plusieurs arbres dont les ombres portées devront être étudiées

## 5.5. Programmation et schéma d'aménagement étudié

Les figures ci-dessous présentent le schéma d'aménagement du site ; le programme immobilier de la ZAC multisite prévoit **1292 logements** en collectifs, semi-collectifs et maisons individuelles ainsi que 1587m<sup>2</sup> SDP de locaux de commerces et services selon la répartition suivante :



Groupe	Typologie	SDP (m <sup>2</sup> )	Nombre	SDP totale (m <sup>2</sup> )	% Surface totale
Logement	Logement collectif	65	704	45 885	43%
Logement	Logements semi-collectifs	81	267	21 759	20%
Logement	Maisons individuelle	120	321	38 410	36%
Total Logement			1292	106 054	99%
Autre	Commerce et services	159	10	1 587	1%
Total Autre			10	1 587	1%
Total général			1302	107 641	100%

## 6. Phase 1 : Potentiel de mobilisation des énergies renouvelables

### 6.1. Energies fossiles disponibles

ENERGIE	ATOUS/AVANTAGES	CONTRAINTES/INCONVENIENTS	COMMENTAIRES H3C
<b>ELECTRICITE</b>	Disponibilité	Coût élevé Faible rendement global Gestion des déchets nucléaires Contexte tendu en hiver en Bretagne > péninsule électrique avec risque de black-out.	A réserver aux usages spécifiques : éclairage, bureautique, électroménagers
<b>GAZ NATUREL</b>	Ilôt desservi Impact environnemental et économique plus limité que le fioul. Existante d'un réseau est un atout pour le développement du biogaz.	Energie fossile à fort impact environnemental	<b>&gt; Dans la suite de l'étude, l'énergie fossile de référence pour évaluer l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables sera donc le gaz naturel.</b>
<b>FIOUL</b>	-	Très fort impact environnemental	Non envisageable sur l'opération
<b>PROPANE</b>	Impact environnemental plus limité que le fioul	Positionnement des cuves ou réseau gaz	Non envisageable sur le site car présence du gaz naturel.

Synthèse des énergies fossiles disponibles et mobilisables sur le site

### 6.2. Les énergies renouvelables et de récupération

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.

#### 6.2.1. Inventaire des énergies renouvelables disponibles et pertinence sur le projet

L'ensemble des solutions sont répertoriées dans le tableau ci-dessous et présentées succinctement en annexe.



Un code couleur permet de juger de la pertinence sur l'opération :



Probable



Possible



Peu probable

> Les solutions jugées peu probables ne sont pas reprises dans la suite du rapport. Les autres sont étudiées ci-après.

Energie	Utilisation	Principe	Pertinence sur le projet et commentaires H3C
Bois	Chaleur	Granulés	Solution adaptée.
		Plaquettes	Solution adaptée.
		Bûches	Le bois bûche n'est pas adapté pour de l'habitat collectif, au contraire du bois granulé ou de la plaquette.
Solaire	Chaleur	Panneaux solaires Thermiques	Solution adaptée.
	Electricité	Panneaux solaires Photovoltaïque	Solution adaptée.
Eolien	Electricité	Grand	Obligation réglementaire d'éloignement de plus de 500 m des zones d'habitation des éoliennes de plus de 50 mètres de haut : incompatible en site urbain.
		Petit et micro	Il est préférable d'être un site dégagé avec des vents majoritairement unidirectionnels. Le potentiel est donc limité en milieu urbain et nécessite des études précises.
Hydraulique	Electricité	Grand (marine)	Thorigné-Fouillard ne se situe pas en zone côtière.
		Moyen (rivière)	Site en centre urbain, construction D'un ouvrage hydroélectrique inenvisageable. > Potentiel uniquement sur des ouvrages existants (par optimisation ou suréquipement d'installations existantes).
Géothermie	Chaleur/ Froid	Très basse énergie sur aquifère superficiel (nappe)	Solution adaptée au contexte mais nécessitant des forages pour évaluer le potentiel.
		Très basse énergie sur sondes verticales	Solution adaptée au contexte mais nécessitant des forages pour évaluer le potentiel.
		Très basse énergie sur sondes horizontales	En milieu urbain, solution de géothermie la moins adaptée et la moins performante. La densité et l'emprise au sol des bâtiments excluent la faisabilité d'un tel système. Solution plutôt réservée pour l'habitat individuel rural car elle requiert beaucoup de surface au sol.
Aérothermie	Chaleur/ Froid	Pompe à chaleur	Solution adaptée
Méthanisation/ biogaz	Chaleur/ Electricité		Solution adaptée à une plus grande échelle. Pas d'unités existantes à proximité.
Récupération de chaleur fatale sur les eaux usées	Chaleur	Sur les eaux usées de la ville (STEP <sup>1</sup> )	Proximité de la STEP du secteur de « la Vigne » mais, a e jour, la capacité ne satisfait pas aux critères technico-économiques. Dans le cadre d'un réseau de chaleur, cette ressource pourrait être complétée par une autre énergie.
		Sur les eaux usées d'un bâtiment	Solution adaptée.

<sup>1</sup> STEP = Station de Traitement des Eaux Usées



## (b) Sur le site

Sur les 3 secteurs, les masques générés par les bâtis existants devront être pris en compte tout comme l'ombre portée qui pourra être créée par les nouvelles constructions ; la préservation du droit au soleil de l'existant devra être respectée

### 6.2.2.3) Prédiposition du projet vis-à-vis des apports solaires gratuits

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 dus aux surchauffes estivales.**

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)

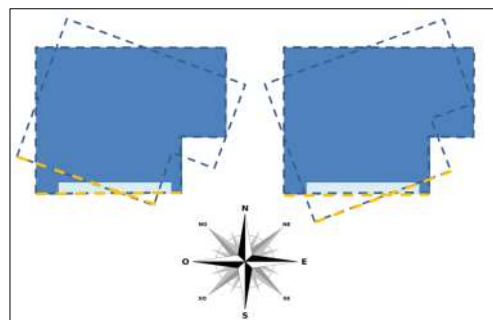


Figure 17 : Orientation optimale des façades principales : Sud +/- 20°

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.

Echelle	Solaire Passif	Solaire thermique	Solaire photovoltaïque
<b>Zone d'étude</b>	- Respect des distances impliquées par les ombres portées		
<b>Bâtiment</b>	- Façades et ouvertures principales au Sud +/- 20° - Protections solaires adaptées	Réserver l'énergie solaire thermique aux bâtiments à fort besoins en ECS	Production d'énergie à considérer après l'optimisation énergétique du bâtiment (par exemple prévoir une structure de toiture adaptée pour recevoir des panneaux ultérieurement)
		- Orientation Sud +/- 25° ; Inclinaison de 45° environ - Limiter les ombres et les masques (bâtiments proches, végétation)	

Figure 18: Préconisation pour l'optimisation des apports solaires

### 6.2.3. L'énergie bois

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.

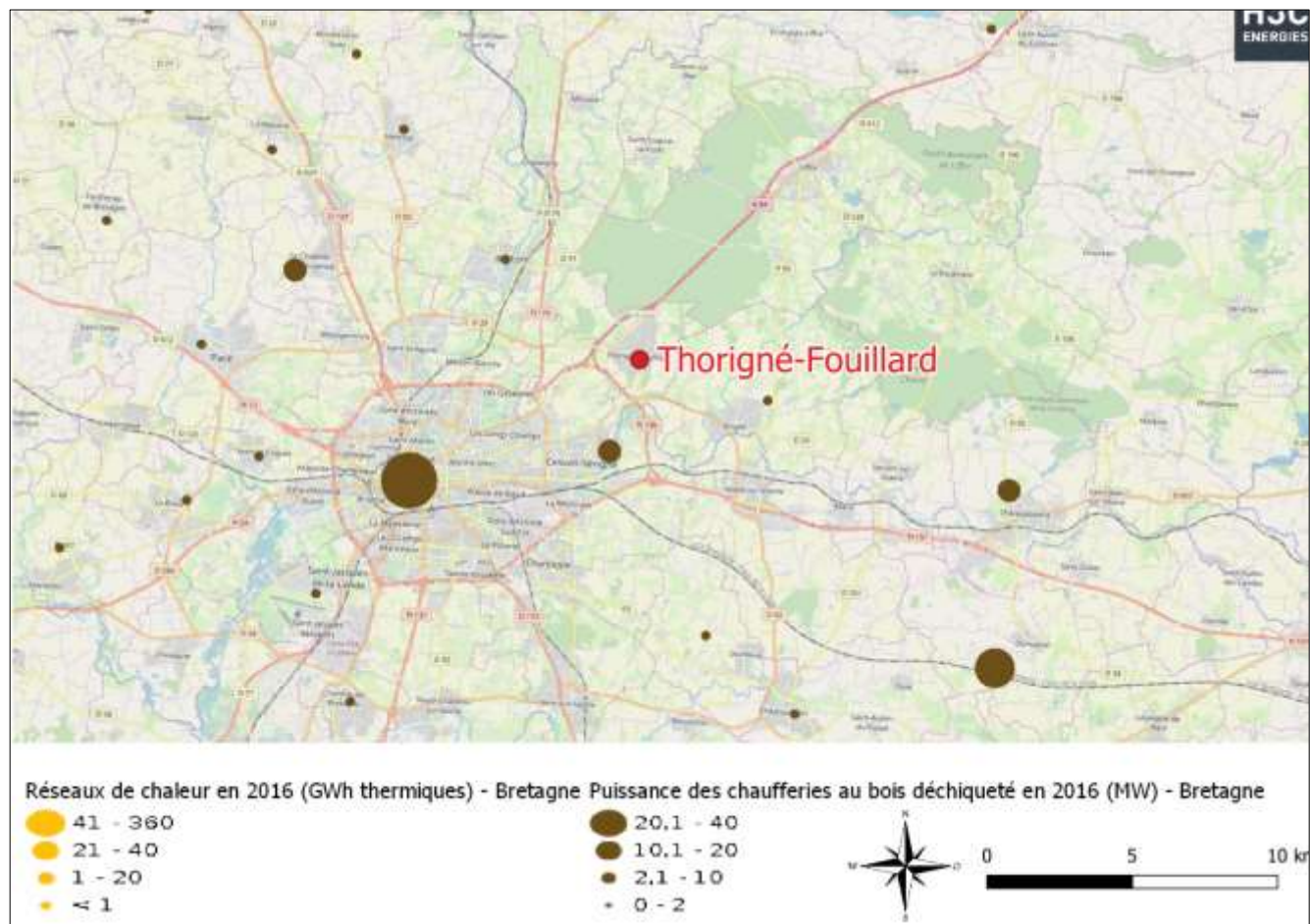
Quelques difficultés peuvent cependant être mises en avant :

**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. Il conviendra cependant de valider la filière de livraison pour s'assurer de la disponibilité du bois sur le moyen terme.

On recense 23 installations de chaudière bois déchiqueté dans le Pays de Rennes en 2016.



Carte des chaufferies bois déchiqueté à proximité de Thorigné-Fouillard  
(Source : geobretagne.fr)

L'énergie bois est disponible sur le territoire sous différentes formes et la filière est en pleine structuration en Bretagne :

### 6.2.3.1) Bois déchiqueté ou plaquettes



Le bois déchiqueté permet d'utiliser des produits non valorisables en bois bûche ou bois d'œuvre. Comme les sous-produits (connexes) des industries du bois, les produits en fin de vie comme le bois d'emballage, les palettes usagées (sorti du statut déchet) mais aussi le bois de forêt (premier éclaircissage, branchage, bois tordus). Le bois déchiqueté sert aussi sur les exploitations agricoles pour valoriser le bois issu de la gestion des bocages



En Bretagne, on compte fin 2015 plus de 420 000 tonnes de bois déchiqueté consommées chaque année. Ce bois provient d'une quarantaine de fournisseurs bretons (95% du bois) ou ligériens.

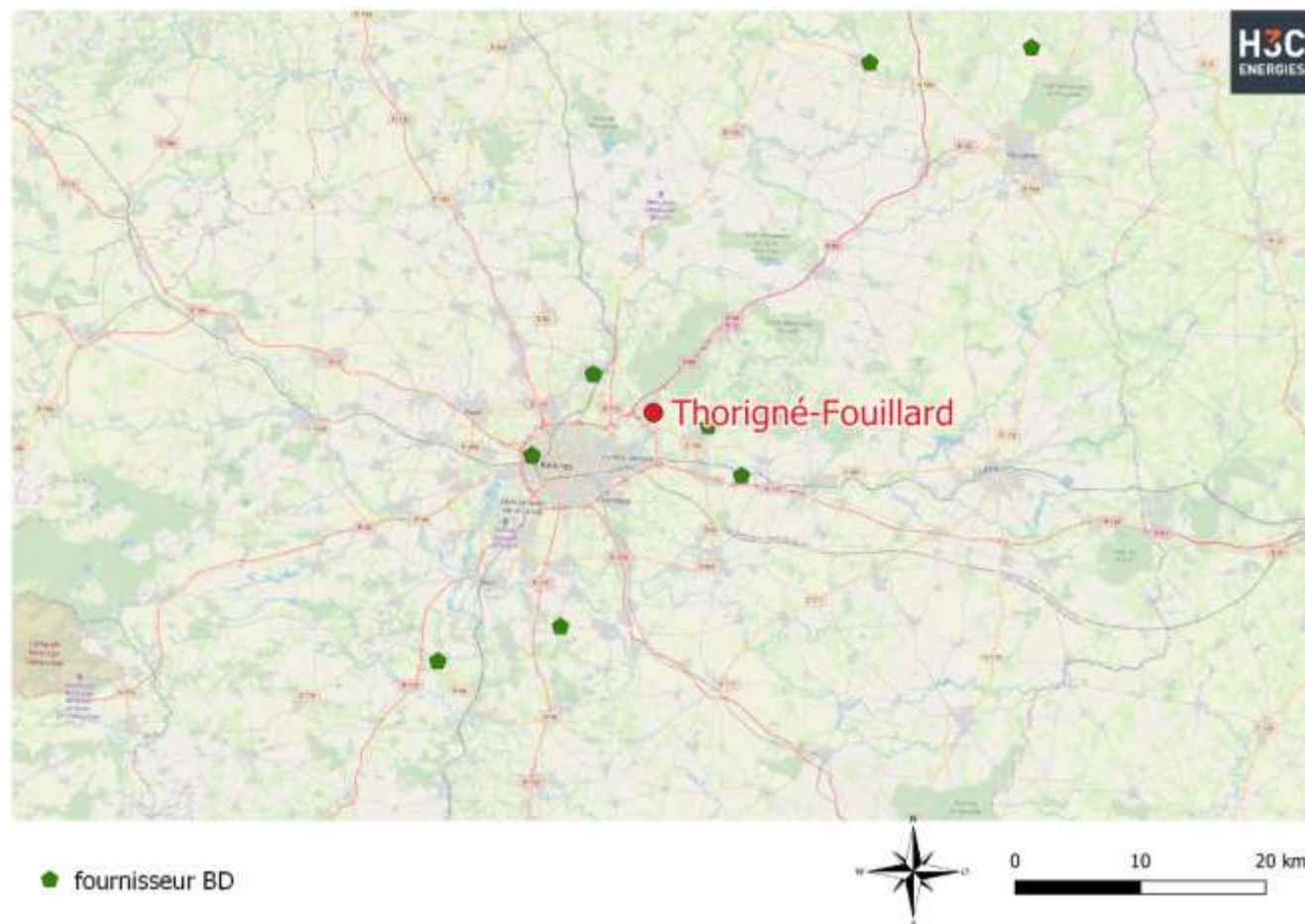


Figure 19: Carte des fournisseurs de bois déchiqueté à proximité de Thorigné-Fouillard source : Plan Bois Bretagne

- Plusieurs prestataires seraient susceptibles d'approvisionner en bois déchiqueté un projet à Thorigné-Fouillard : (plateformes d'exploitants forestiers, plateformes locales agricoles, plateformes industrielles liées à des scieries,) : Ecosys à Orgères, Nass et Wind Bois Energie, Collectif bois bocage 35, ... (Source : Plan Bois Energie Bretagne).

#### 6.2.3.2) Granulés 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).

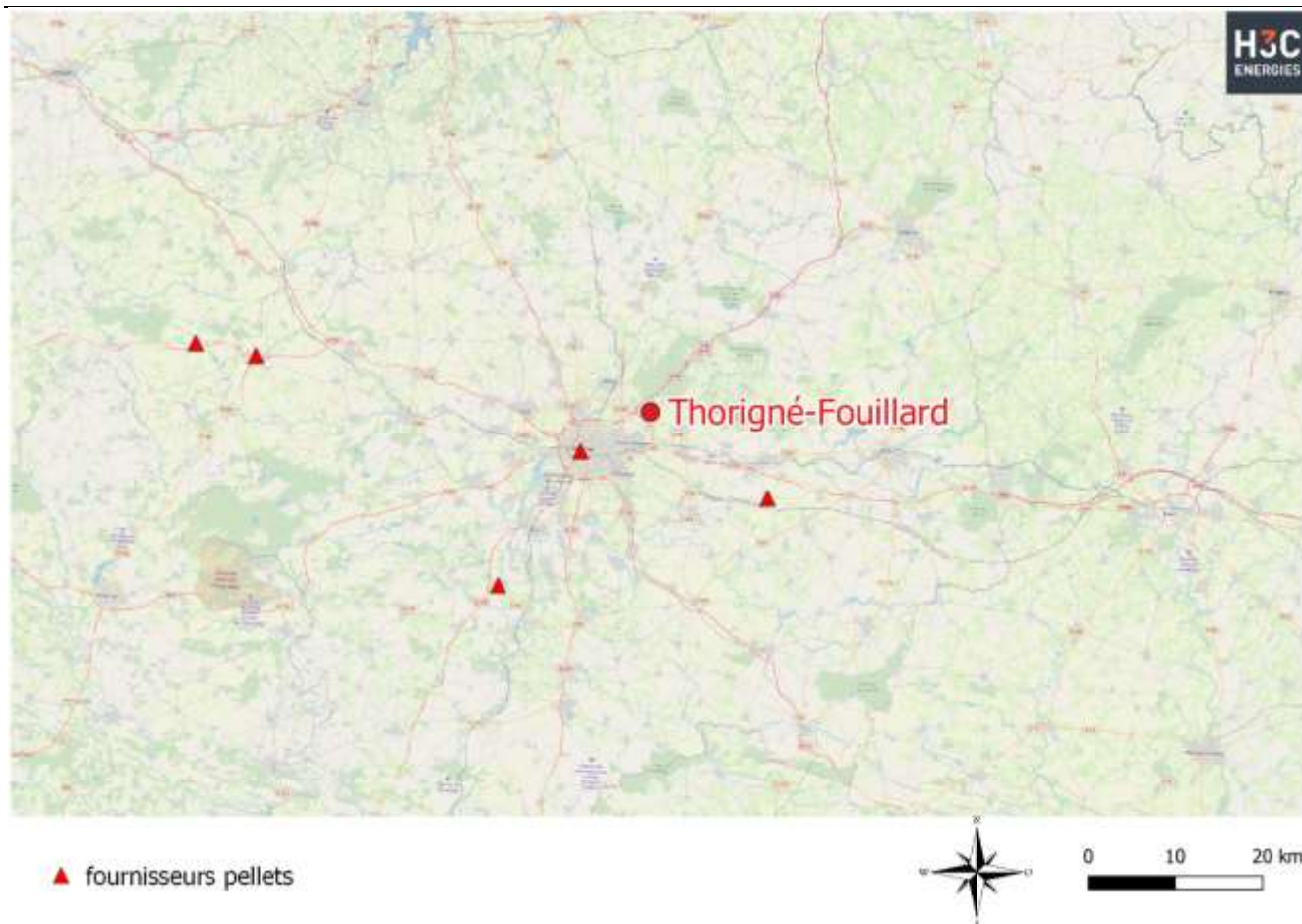


Figure 20: Carte des fournisseurs de granulés de bois en vrac à proximité de Thorigné-Fouillard source : Plan Bois Bretagne

- Plusieurs fournisseurs de granulés en vrac par camion souffleur sont susceptibles d’approvisionner en bois granulés : Coopedom à Domagné, Bois Divers 35 à Saint-Senoux, Bois’Céliande à St Meen Le Grand (Source : Plan Bois Energie Bretagne – Liste mise à jour en janvier 2017).

### 6.2.3.3) Potentiel sur le projet

- Le bois est disponible sur le territoire sous différentes formes et pourrait assurer la production de chauffage.
- Quel que soit le combustible, il sera nécessaire de prévoir un volume de stockage suffisant et accessible pour la livraison.

## 6.2.4. L’énergie éolienne (production d’électricité)

### 6.2.4.1) Présentation

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.

### 6.2.4.2) Gisement

Les figures suivantes montrent la répartition annuelle des directions et les caractéristiques mensuelles du vent sur Rennes (station météo la plus proche du site) :



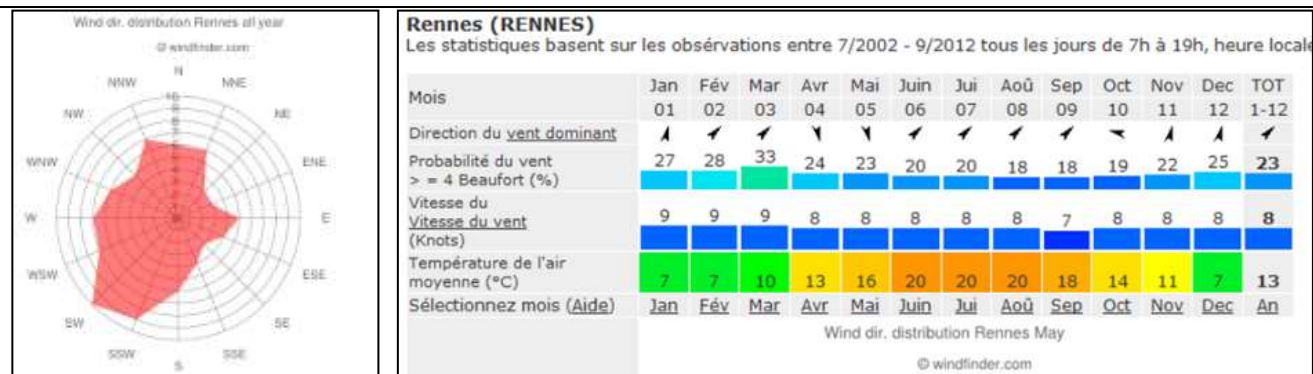
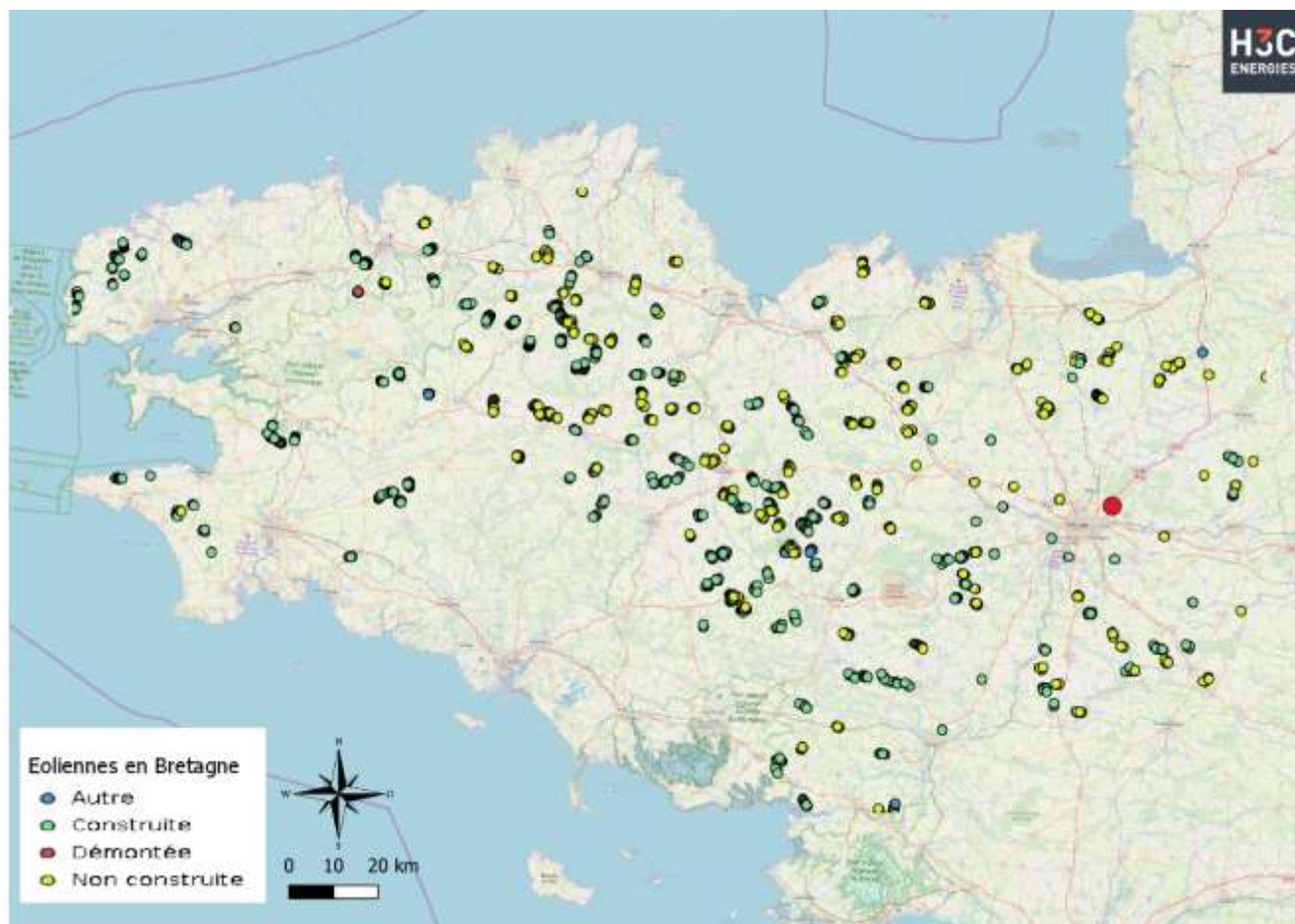


Figure 21: Rose des vents de Rennes (source : windfinder.com) Figure 22: Statistiques des vents à Rennes (Source : windfinder.com)

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



Eolienne en Bretagne (source : geobretagne.fr)

### (a) Grand éolien

L'obligation réglementaire d'éloignement de plus de 500 m des zones d'habitation des éoliennes de plus de 50 mètres de haut réduit à néant le potentiel de développement du grand éolien sur ces sites qui ont vocation à accueillir des habitations.

### (b) Petit éolien

Le petit éolien regroupe les installations de moins de 30 kW.

Deux types d'éoliennes se partagent le marché du petit éolien :

- les éoliennes à axe vertical,
- les éoliennes à axe horizontal.

50 mètres de haut réduit à néant le potentiel de développement du grand éolien sur le site.



> 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 l'opération sera entièrement bâtie.

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

- Physiquement à l'implantation des bâtiments qui influencera 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 mais devra l'être si cette solution est envisagée.

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

Les opérateurs 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).

#### 6.2.4.3) Potentiel de production dans le projet

Il est préférable d'avoir un site dégagé avec des vents majoritairement unidirectionnels. Le potentiel est donc limité en milieu urbain ; Les études des vents locales sont réalisées à de grandes hauteurs et ne sont pas suffisantes pour caractériser le potentiel en milieu urbain.

#### 6.2.4.4) Préconisations

Le micro (<1kw) et le petit éolien (<30kw) sont les plus adaptés pour une opération d'aménagement, en intégration sur des bâtiments d'équipements publics par exemple.

**L'installation de petit éolien est donc techniquement possible mais devra faire l'objet d'études spécifiques** si les opérateurs souhaitent avoir recours à cette source d'énergie.

Puissance nominale	Diamètre de l'éolienne (des pales)	Prix de l'éolienne (installation comprise) (€HT)	Production annuelle
100 à 500 W	0,5 – 2 m	3 000 – 5 000 €	200 – 1000 kW
500 à 1 kW	2 – 3 m	5 000 – 14 000 €	1 000 – 2 000 kW
1 à 5 kW	3 – 6 m	14 000 – 35 000 €	2 000 – 10 000 kW
5 à 10 kW	6 – 8 m	35 000 – 45 000 €	10 000 – 20 000 kW
10 à 20 kW	8 – 12 m	45 000 – 80 000 €	20 000 – 40 000 kW

## 6.2.5. La géothermie (production de chaleur et d'électricité)

### 6.2.5.1) Présentation

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.

Il existe 3 principales technologies de géothermie très basse énergie. Ces technologies peuvent toutes être des solutions réversibles (chaud et froid sur le même système : la pompe à chaleur) :

- Sur nappe :

Les opérations avec pompes à chaleur sur aquifères superficiels permettent de valoriser le potentiel thermique de ressources en eaux souterraines pour le chauffage et/ou le rafraîchissement. L'eau souterraine est prélevée dans un aquifère situé généralement à moins de 200 m de profondeur. L'énergie de cette eau souterraine est valorisée à l'aide d'une pompe à chaleur, puis l'eau est réinjectée dans le même aquifère.

- Sur sondes verticales :

L'eau (ou eau glycolée) circule dans des sondes géothermiques pouvant atteindre jusqu'à 200M de profondeur. Il n'y a pas de contact entre le fluide caloporteur de la sonde et la roche. Le transfert de chaleur se fait à travers les matériaux de la sonde, par conduction. La présence d'une nappe d'eau souterraine est valorisée à l'aide d'une pompe à chaleur, puis l'eau est réinjectée dans le même aquifère.

- Sur sondes horizontales :

Le principe de fonctionnement est le même que la géothermie verticale excepté que les capteurs sont disposés de manière horizontale. La surface de capteurs couvre généralement 2,5 à 3 fois la surface chauffée.

En milieu urbain, cette solution est la moins adaptée et la moins performante parmi les systèmes de géothermie. La densité et l'emprise au sol des bâtiments excluent la faisabilité d'un tel système. Cette solution est plutôt réservée pour de l'habitat individuel rural car elle requiert beaucoup de surface au sol. Elle ne sera pas étudiée dans cette étude.

### 6.2.5.2) Gisement

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

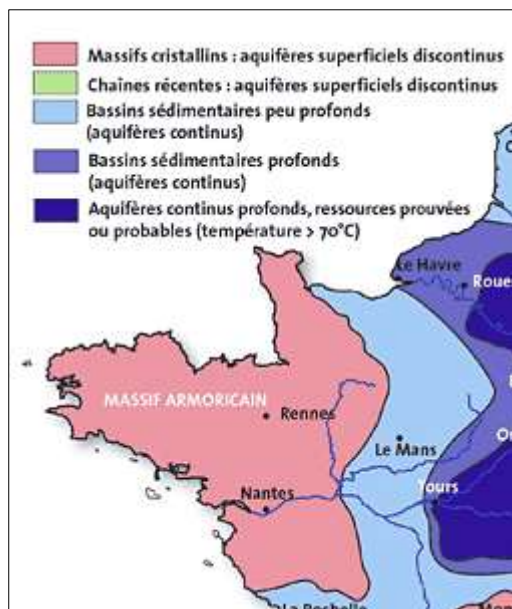


Figure 23: Extrait carte des ressources géothermiques en France (source BRGM)



Le site, 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.

Selon le BRGM Bretagne, la région présente de bonnes potentialités géothermiques pour la très basse énergie et il se fait des centaines, voire milliers de forages de géothermie en Bretagne par an.

Pour avoir des données précises sur le potentiel géothermique du site, **la réalisation de forages serait un préalable obligatoire.**

D'après la base de données Info terre du BRGM. Des forages sont recensés à proximité des secteurs. Cependant, ces forages ne sont pas documentés

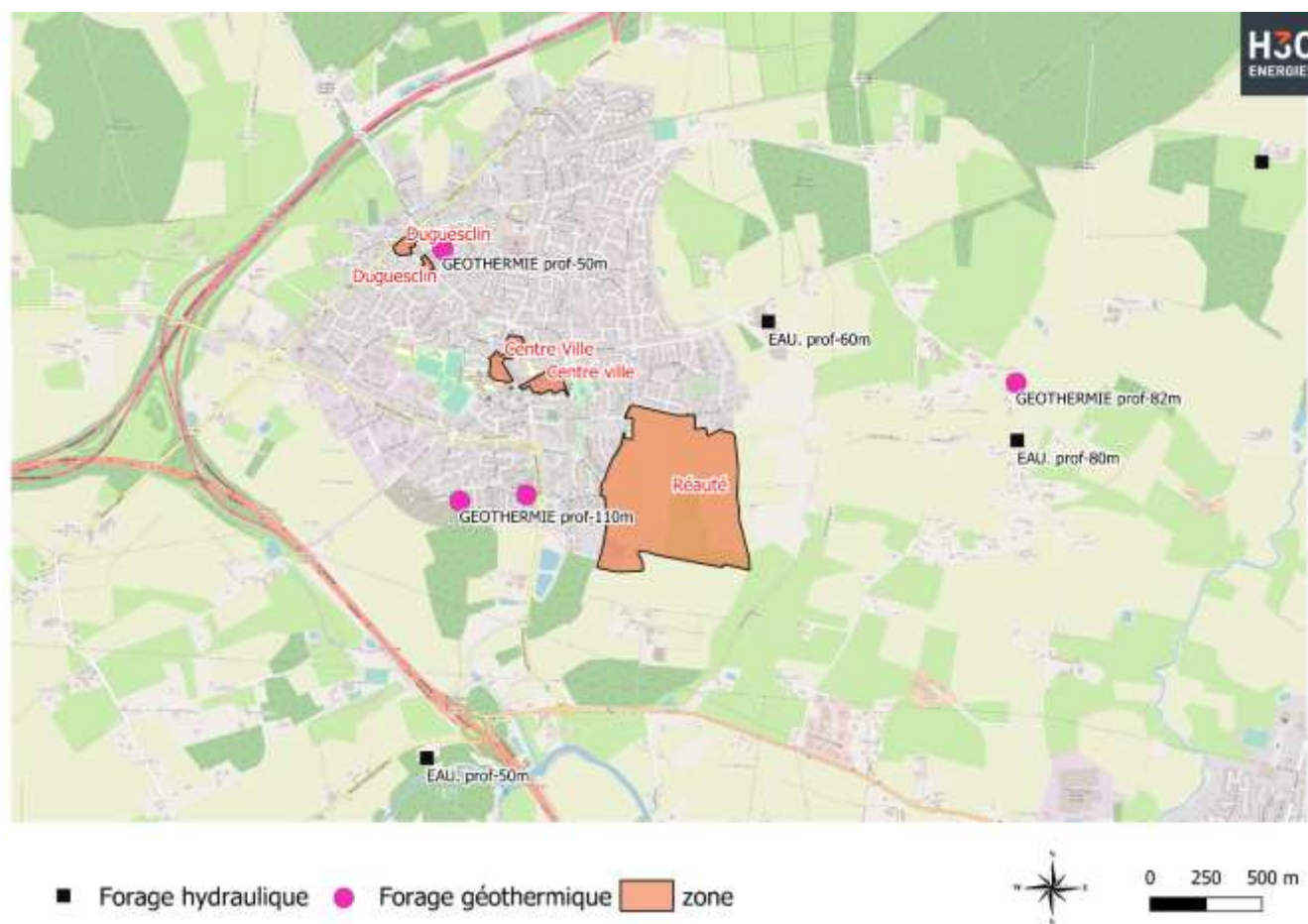


Figure 24: Cartographie des forages à Thorigné-Fouillard » Source : BRGM

→ En l'absence de données plus précises il est délicat de conclure sur le potentiel géothermique des sites.

### 6.2.5.3) Potentiel de production dans le projet

Il existe probablement un potentiel géothermique sur sondes verticales exploitable sur le site mais la réalisation d'un **forage test** ainsi qu'une **étude de faisabilité** sont indispensables.

### 6.2.5.4) Préconisations

Points de vigilance pour l'exploitation de la géothermie sur nappe :

- Les logements doivent être équipés d'un circuit hydraulique en régime basse température (plancher chauffant, radiateurs basse température...).
- Risque de débits faibles ou variables de la nappe d'eau (performance non garantie dans le temps)
- Contraintes de maintenance

- Coûts de forages élevés à l'unité (environ 30 000 €HT par doublet)
- Incidence en termes 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 forages.

## 6.2.6. La récupération d'énergie sur les eaux usées

### 6.2.6.1) Présentation

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** ».

Il existe différentes techniques de récupération, détaillées en annexe.

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.

Technologie	Avantages et contraintes	Potentiel
<b>Dans les collecteurs</b>	S'installe dans le réseau public Nécessite d'avoir de longues conduites droites et un gros diamètre Doit vérifier les effets sur le fonctionnement du process de la STEP (abaissement de la T°) Proximité des preneurs de chaleur	Potentiel de puissance entre <b>10 kW</b> et <b>1 MW</b>
<b>Dans les STEP</b>	Pas de problème de refroidissement Risque d'être éloigné des preneurs de chaleur	Potentiel de puissance jusqu'à 20 MW
<b>Dans les stations de relevage</b>	Solution indépendante de la taille du collecteur Système encore nouveau avec peu de retour d'expérience	Potentiel de puissance jusqu'à 2 MW
<b>Au pied des bâtiments</b>	Solution simple pour l'eau chaude sanitaire, mais qui ne convient pas pour un chauffage à distance Solution individuelle, pour les bâtiments de taille significative (hôtel, hôpital, piscine, industrie)	Potentiel de puissance entre 50 kW et 300 kW
<b>Echangeur de chaleur sur l'eau des douches</b>	Facilité de mise en œuvre et très faible entretien	Potentiel de puissance environ 30% de la puissance de production d'ECS

Figure 25: Avantages et inconvénients des différents systèmes de récupération d'énergie sur les eaux usées

## 6.2.7. Application

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

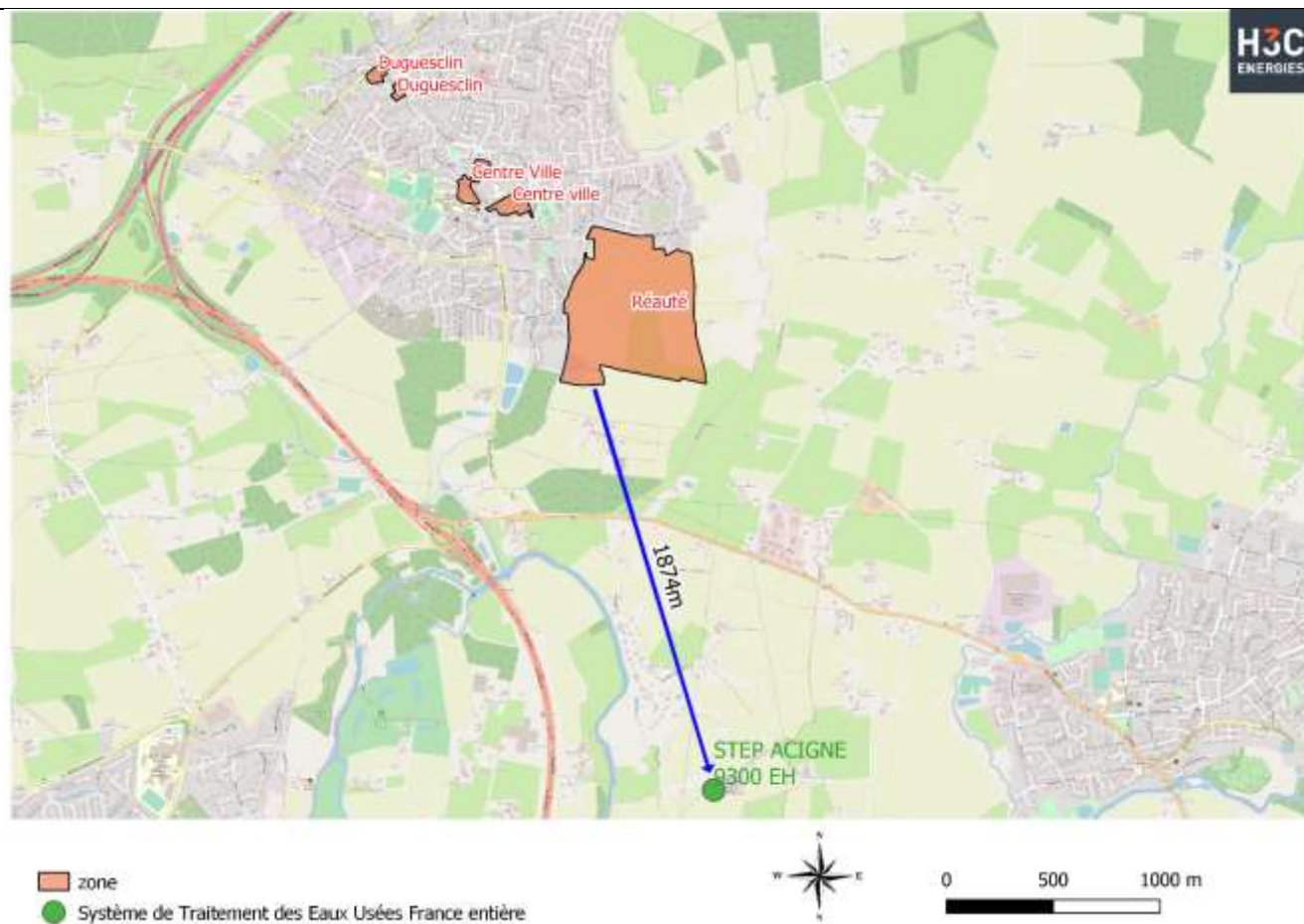


Figure 26: Localisation de la station d'épuration de Thorigné-Fouillard

La station la plus proche (Thorigné-Acigné) est trop éloigné (3km min) de tous les sites de la ZAC. Par ailleurs sa capacité (9 300 EH) est inférieure au seuil de faisabilité technico-économique (20 000 EH).

> La récupération énergie sur les eaux usées est 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.

### 6.2.7.1) Potentiel de production dans le projet

A l'échelle du bâtiment, il existe des technologies de récupération sur les eaux usées pour effectuer du préchauffage. Cette technologie du type « PowerPipe » de Solenove Energie, RecupFloor de Gaïa Green, permettent de réduire de 30 à 40% les besoin d'eau chaude sanitaire pour les douches.



Système RecupFloor® de Gaïa Green sous avis technique CSTB

## 6.3. Innovations liées à la production d'électricité

### 6.3.1. L'autoconsommation

L'ordonnance n°2016-1019 du 27 Juillet 2016 a fixé un cadre, complété depuis par les décrets d'application. Cette ordonnance permet le développement de l'autoconsommation. Elle ouvre, également, la porte à **l'autoconsommation collective locale**.

*L'autoconsommation désigne le fait de consommer tout ou partie de l'électricité produite par son installation de production.*

Les évolutions techniques des systèmes photovoltaïques, la baisse de leur coût de production et l'augmentation de leur rendement, rendent l'autoconsommation de plus en plus intéressante face à l'électricité vendue sur le réseau. De plus, l'autoconsommation permet de réduire les coûts de raccordement au réseau public d'électricité.

Le compteur communicant, aussi appelé Linky, suffit à lui seul pour compter l'électricité produite et consommée par la maison. En parallèle, il permet connaître en temps réel l'état du réseau.

La loi autorise également l'autoconsommation collective qui est définie comme « la fourniture d'électricité effectuée entre un ou plusieurs producteurs et un ou plusieurs consommateurs finals liés entre eux au sein d'une personne morale et dont les points de soutirage et d'injection sont situés en aval d'un même poste » de distribution d'électricité.

Ainsi, un déficit de production d'un bâtiment à un instant donné peut être compensé par un bâtiment situé à proximité et un excédent de production pourrait être valorisé à proximité.

Les opérations d'autoconsommation collective concernent une large variété de situations :



Figure 27: formes d'autoconsommation collective (Source: Enedis)

Ainsi au sein d'un quartier, il peut y avoir de l'autoconsommation collective à l'échelle d'un bâtiment d'habitat collectif où les différents logements se partagent la production d'électricité des panneaux photovoltaïques en toiture, mais également entre deux bâtiments voisins.

### 6.3.2. Les smartgrid

Parallèlement au déploiement de l'autoconsommation, se développe ce que l'on appelle couramment les smartgrid ou réseau intelligent.

Un smartgrid (ou « réseau intelligent ») regroupe un territoire défini, un ensemble d'installations de production d'énergie et de systèmes de pilotage de cette production et de la consommation sur ce territoire.

Un smartgrid permet d'équilibrer en temps réel la consommation d'électricité et la production en agissant, via les systèmes de pilotage, sur la production et/ou sur la consommation, le délestage (notion de flexibilité), voire le stockage.

Il utilise les nouvelles technologies de l'information et de la communication pour optimiser la production, la distribution, la consommation, et éventuellement le stockage de l'énergie afin de mieux coordonner l'ensemble des mailles du réseau électrique, du producteur au consommateur final. Il améliore l'efficacité énergétique de l'ensemble en minimisant les pertes en lignes et en optimisant le rendement des moyens de production utilisés, en rapport avec la consommation instantanée. Une grille tarifaire spécifique peut être associée à un smartgrid.



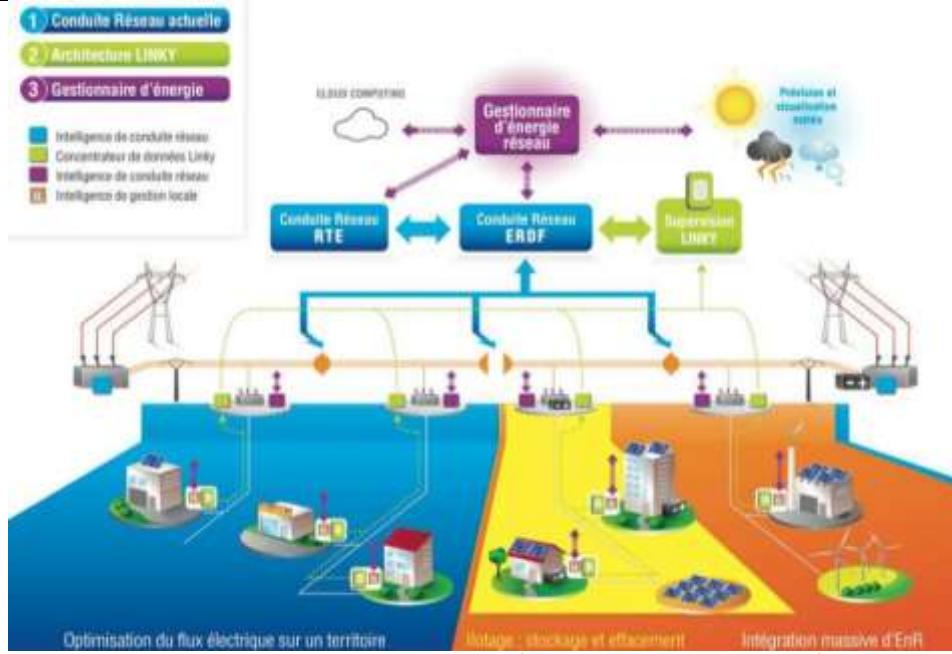


Figure 28: Illustration Smart Grid (Source : [www.enerzine.com](http://www.enerzine.com))




## 6.4. Synthèse des énergies renouvelables mobilisables sur site

Energie	Potentiel sur site	Conditions de mobilisation	Atout/avantages	Contraintes/inconvénients	Avis H3C et pertinence sur le projet
<b>Bois</b>	+++	Prévoir stockage et approvisionnement Filière bois énergie régionale en cours de structuration	Disponibilité de la ressource Filière créatrice d'emplois locaux Chaudière collective possible en habitat collectif Stabilité du prix de la chaleur	Densité énergétique à valider pour la mise en œuvre de réseaux Niveau d'automatisation à adapter en fonction des utilisateurs Nécessité de mettre en place une logistique d'approvisionnement La qualité du combustible doit être maîtrisée afin d'éviter l'émission de substances polluantes Réserver de la place pour implantation des chaufferies + silo de stockage + espace livraison	Solution pertinente : > ressource disponible sur le territoire. > adaptée aux logements collectifs (mutualisation) et individuels.
<b>Solaire passif</b>	++	Orientation Sud des bâtiments Attention à la pente du terrain Conception bioclimatique (maximiser les apports solaires en hiver, s'en protéger en été)	Energie gratuite	Contrainte d'orientation Sud Contraintes liées aux ombres portées (bâtiments)	Le plan d'aménagement doit privilégier l'approche bioclimatique et tenir des ombres portées existantes et créées.
<b>Solaire thermique</b>	+++	ECS solaires thermiques en toiture et/ou brises-soleil (étude approfondie à réaliser). Orientation sud des toitures ou toits terrasses. Réaliser un modèle 3D pour évaluer précisément l'ensoleillement et notamment les ombres portées des bâtiments.	Performante, la technologie du solaire thermique a atteint sa maturité. Le matériel est fiable et a une durée de vie d'au moins 25 ans. Le coût du solaire thermique est très abordable, c'est une énergie consommée sur place. Adapté pour le logement.	Conflit d'usage des toitures (occupation de surface importante par les panneaux solaires)	Solution adaptée pour les logements collectifs.
<b>Solaire photovoltaïque</b>	+++	Panneaux photovoltaïques : prévoir une étude de faisabilité pour déterminer la faisabilité	Photovoltaïque : peut favoriser une intégration au bâti et au	Le coût peut être élevé pour le photovoltaïque.	Solution adaptée :

Energie	Potentiel sur site	Conditions de mobilisation	Atout/avantages	Contraintes/inconvénients	Avis H3C et pertinence sur le projet
		technico-économique et les possibilités de positionnement (en toiture, en brise-soleil, en ombrière de parking, sur des candélabres, ...) Orientation Sud des toitures ou toits terrasses	milieu urbain (verrières, façade, mobilier urbain, ...)		<p>&gt; Peut couvrir une partie des consommations.</p> <p>&gt; compatible avec un smartgrid.</p>
<b>Géothermie très basse température</b>	+	La réalisation d'un forage test et d'une étude de faisabilité est indispensable pour confirmer le potentiel et déterminer les modalités d'exploitation.	Amélioration de l'efficacité d'un chauffage électrique Utilisation d'une part d'énergie gratuite provenant d'une source chaude (sol, eau)	Appel de puissance électrique en hiver Impact sur l'effet de serre du fluide frigorigène	Solution théoriquement envisageable après étude de faisabilité + réalisation de forages tests.
<b>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	Solution possible et adaptée. Système pouvant engendrer des appels de puissance sur le réseau et des nuisances sonores.
<b>Chaleur fatale des eaux usées</b>	+++	-Bâtiment de taille significative + évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes -Valorisation possible -Production collective d'ECS	Energie de récupération Ressource disponible toute l'année Système simple	Ne fonctionne que simultanément à la demande. Contraintes techniques : - débits d'eaux usées >10l/s - Diamètre collecteur >500 mm - Distance bâtiment-collecteur <200 m	Solution pertinente à l'échelle d'un bâtiment de logements collectifs.
<b>Petit éolien</b>	+	Etude précise des vents à réaliser en phase réalisation et après la construction des bâtiments	Energie renouvelable et gratuite Plusieurs formes de technologies existent et peuvent facilement s'intégrer au paysage urbain	Productivité faible Nuisance sonores potentielles « Effet d'abris » du milieu urbain qui limite la productibilité	Solution nécessitant une étude de vent précise et moins recommandée en site urbain.

 Réalisable sous conditions

 Envisageable

---

## 7. Phase 2 : Détermination des consommations d'énergie du quartier

Afin de déterminer le niveau de couverture des consommations énergétiques par les énergies renouvelables, il importe de définir les **niveaux de consommations énergétiques** attendues 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
- La consommation d'électricité des parties communes.

---

### 7.1. Usages énergétiques 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**

---

### 7.2. 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.
- Électricité des parties communes (éclairage, ascenseur...)
- 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 prévues sur l'opération.**

### 7.2.1. 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 :

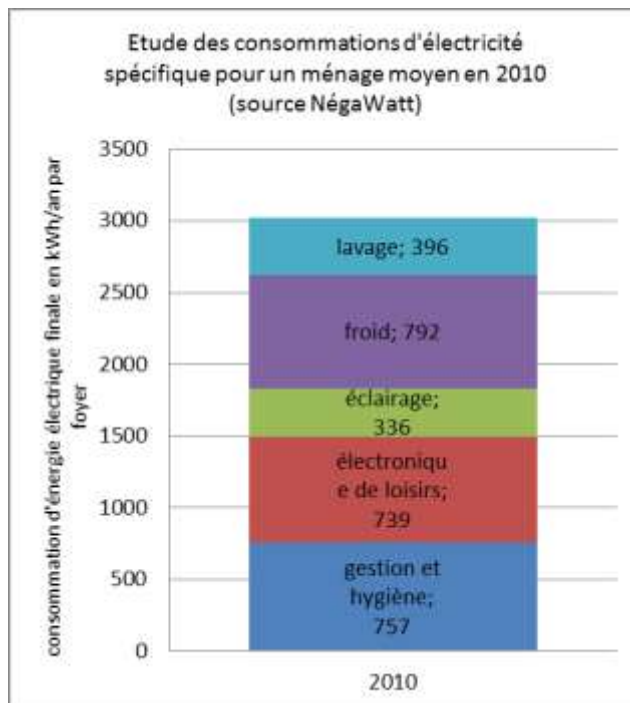


Figure 29 : répartition des consommations électriques pour un ménage moyen en 2010 (Source : NegaWatt)

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

**Dans notre étude, en plus des usages pris en compte par la réglementation thermique (chauffage, ECS, refroidissement, électricité technique : éclairage, circulateurs, pompes, ventilateur...) nous intégrons les usages électrodomestiques suivants :**

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

### 7.2.2. L'électricité des parties communes

Tout comme l'électricité domestique, l'électricité des parties communes des immeubles collectifs, incluant notamment l'éclairage des parkings souterrains, des circulations, l'énergie consommée par les ascenseurs, n'est pas intégrée au calcul thermique réglementaire et représente une consommation d'énergie non

négligeable. Des diagnostics réalisés par Enertech montrent une consommation moyenne d'environ 13 kWh/(m<sup>2</sup>.an.logement).

## 7.3. Les autres usages

---

### 7.3.1. L'éclairage public

Ce poste est supporté directement par les collectivités.

### 7.3.2. 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.

### 7.3.3. 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 de logements 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'intègrera 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**

## 7.4. Estimations des besoins d'énergie des bâtiments de logements collectifs en fin d'opération

---

### 7.4.1. Définition des niveaux de performance énergétique par typologie de bâtiment

#### 7.4.1.1) Consommations réglementaires

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.

D'autre part, la future réglementation thermique RT 2020 devrait imposer un niveau 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.

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)*



### 7.4.1.2) Consommations non réglementaires - Approche négaWatt

Il nous semble important d'aborder ici une approche de **transition énergétique** sous-tendue par les travaux de l'association négaWatt, pilotée par la Compagnie des négaWatt, créée en 2001 :

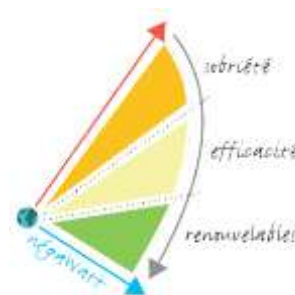
Ces travaux ont été conduits par 24 experts et praticiens de l'énergie, tous impliqués à titre professionnel dans la maîtrise de la demande d'énergie ou le développement des énergies renouvelables. Il s'agit d'une base de travail volontariste mais réaliste.

*"Produire des négaWatt " c'est donc rompre avec nos (mauvaises) habitudes en **préférant la sobriété énergétique au gaspillage**. C'est rechercher la **meilleure utilisation possible de l'énergie**, plutôt que de continuer d'en consommer toujours plus.*

*Loin du "retour à la bougie ou à la lampe à pétrole", cette démarche vise à faire la chasse aux watts inutiles grâce à une utilisation plus efficace de l'énergie, et à recourir judicieusement aux énergies renouvelables.*

Cette approche est fondée sur les principes suivants :

- **SOBRIETE**: interroger nos besoins puis agir à travers les comportements individuels et l'organisation collective sur les différents usages de l'énergie pour privilégier les plus utiles, restreindre les plus extravagants et supprimer les plus nuisibles
- **EFFICACITE**: agir, essentiellement par des choix techniques, sur la quantité d'énergie nécessaire pour satisfaire un service énergétique donné
- **Recours aux ENERGIES RENOUVELABLES**: augmenter la part de services énergétiques satisfaite par les énergies les moins polluantes et les plus soutenables



Le scénario négaWatt, actualisé en 2013, propose un niveau de performance qui va au-delà de la future réglementation thermique de 2020 en poussant à l'extrême les économies d'énergie et notamment sur la consommation d'électricité domestique. Les usagers sont clairement impliqués dans le niveau de performance de leur habitat.

Plus d'informations : <http://www.negawatt.org>

Pour le niveau de performance passif, nous nous sommes inspirés de cette démarche négaWatt en considérant que les habitants étaient sensibilisés à la sobriété énergétique, donc limitaient leurs consommations d'électricité domestique.

## 7.5. Hypothèses de calcul

Nous considérons la programmation suivante :

Groupe	Typologie	SDP (m²)	Nombre	SDP totale (m²)	% Surface totale
Logement	Logement collectif	65	704	45 885	43%
Logement	Logements semi-collectifs	81	267	21 759	20%
Logement	Maisons individuelle	120	321	38 410	36%
<b>Total Logement</b>			<b>1292</b>	<b>106 054</b>	<b>99%</b>
<b>Autre</b>	Commerce et services			1 587	1%
Total Autre				1 587	1%
<b>Total général</b>				<b>107 514</b>	<b>100%</b>

Le graphique suivant présente les hypothèses de consommations en fonction de la performance énergétique par typologie :

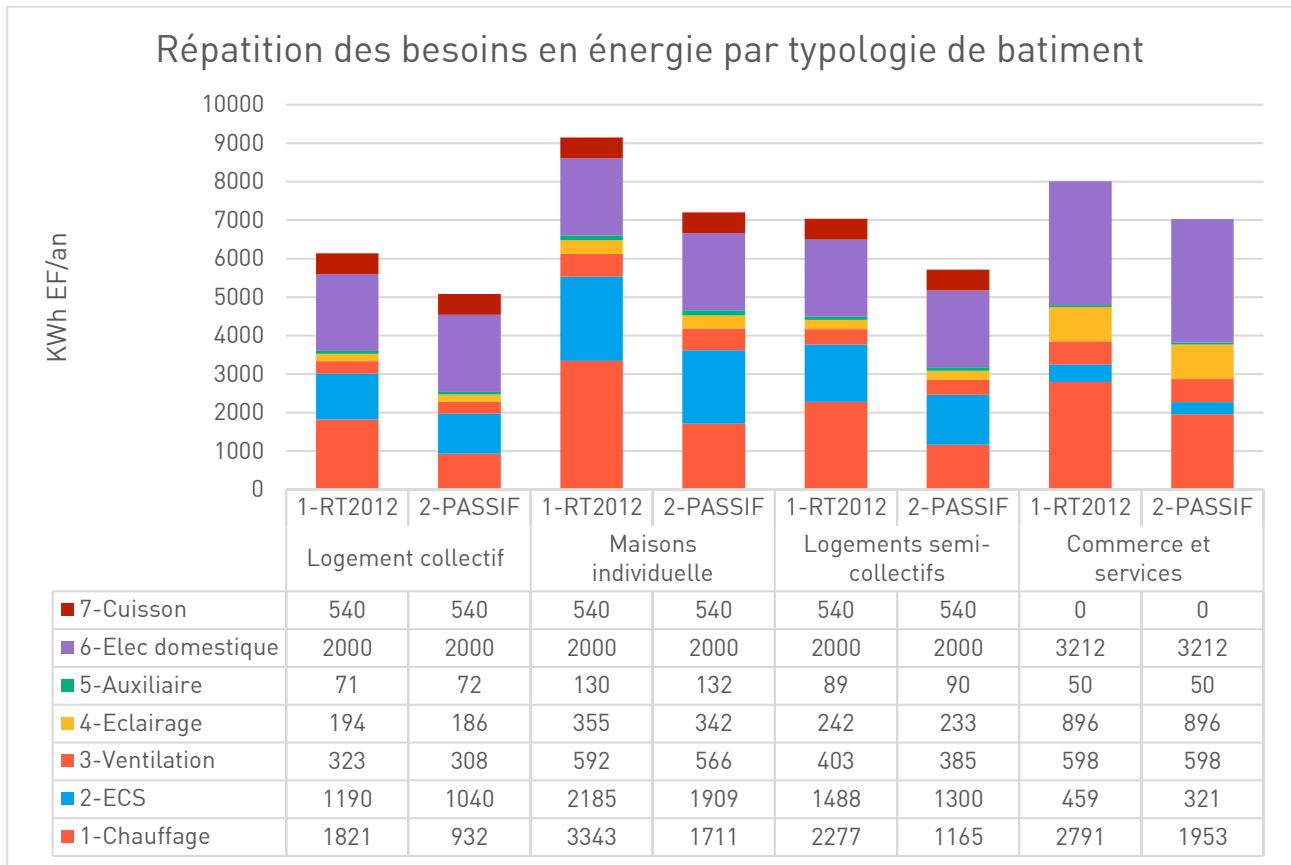
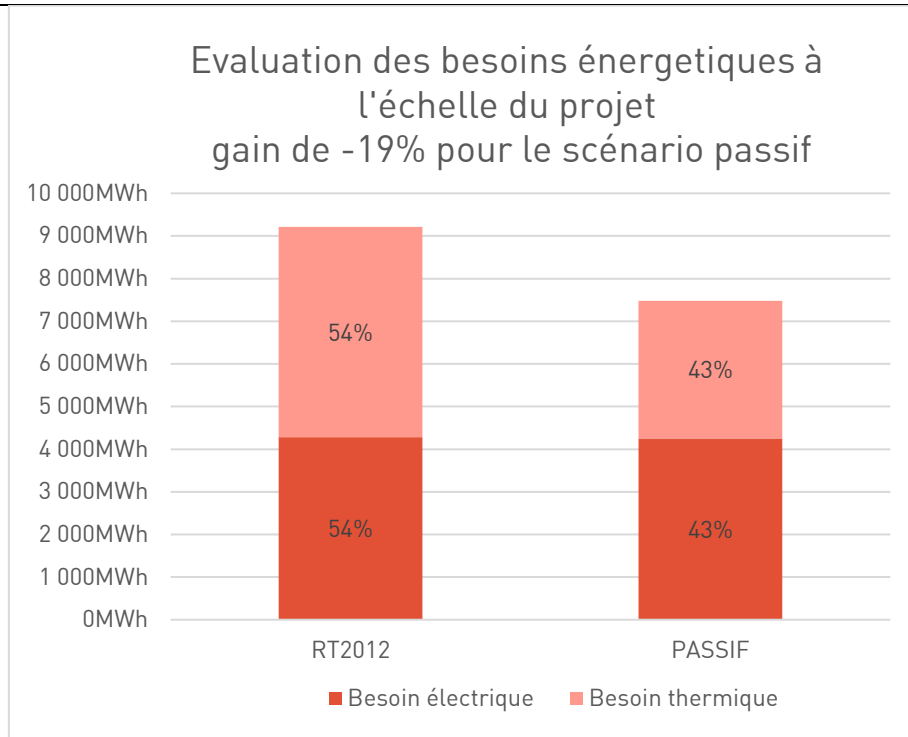


Figure 30 : Hypothèses de consommations prévisionnelles en fonction de la performance énergétique

## 7.6. Calcul des besoins énergétiques de l'ilot en fin d'opération

A partir des hypothèses de programmation et de besoins énergétiques par typologie, nous avons réalisé une évaluation des besoins d'énergie à l'échelle du projet. Le graphique suivant présente la consommation prévisionnelle d'énergie finale par scénario de performance énergétique :



**Figure 31 : Evaluation des besoins énergétiques à l'échelle du projet par scénario de performance énergétique**

Ainsi, la consommation énergétique attendue sur le quartier serait de 9 200 MWh/an pour le scénario RT2012 et 7 480 MWh/an pour le scénario passif.

Le niveau passif permet de réduire de **19%** les consommations grâce à une diminution des consommations de chauffage et d'électricité technique, domestique et des parties communes.

**Figure 32: répartition des consommations entre chaleur et électricité (logements collectifs)**

- ➔ En RT 2012, les besoins électriques sont presque équivalents aux besoins thermiques.
- ➔ En passif, les besoins électriques sont supérieurs aux besoins thermiques.
- ➔ Les réglementations thermiques ont permis d'améliorer la conception énergétique des bâtiments. Les besoins en électricité sont du même ordre que les besoins thermiques. Ainsi, L'expérimentation E+C- (qui préfigure la future réglementation énergétique) considère l'ensemble des besoins énergétiques du bâtiment et de la parcelle.

## 8. Phase 3 : Taux de Couverture des besoins de la zone par les ENR

En considérant les hypothèses de consommations énergétiques déterminées précédemment, nous allons déterminer le taux de couverture théorique de chaque énergie renouvelable, pour répondre aux consommations énergétiques du futur quartier.

### 8.1. Production d'électricité par micro-éoliennes

Le relief ne présente pas d'obstacle majeur au vent (Cf. Figure 9).

#### Ordre de grandeur :

En site urbain, la mise en place d'une petite éolienne de 3 kW permet de produire environ 2 250 kWh/an.

En zone construite, il est préférable de positionner des petites éoliennes en toiture pour minimiser les turbulences liées aux constructions.

Nous considérons que la pose d'une éolienne ne sera effectuée que sur les lots de logements collectifs.

Compte tenu de la configuration du projet, on considère qu'il serait possible d'en implanter **40** à l'échelle de l'ilot, soit une production annuelle potentielle de **90 MWh**, ce qui représente 2% de la consommation électrique (hors chaleur) de la ZAC.

### 8.2. Production de chaleur et/ou d'électricité par énergie solaire

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

La surface de toiture exploitable est évaluée sur la base ratio moyens/typologie de bâtiment issus de l'observatoire BEPOS-Effinergie.

Ainsi on considère :

	Surfaces toiture	Surfaces panneaux solaires
<b>Maison individuelle</b>	70% de la SHONRT	42% de la surface de toiture
<b>Logements collectifs &amp; semi-collectifs</b>	41% de la SHONRT	63% de la surface de toiture
<b>Commerces</b>	41% de la SHONRT	63% de la surface de toiture

**La surface exploitable en toiture est estimée à 3 2465 m<sup>2</sup> pour l'ensemble de l'opération.**

La possibilité de pose en brises soleil sur les bâtiments est techniquement possible mais devra être étudiée au cas par cas pour prendre en compte les ombres portées.

Le tableau suivant donne la productivité annuelle des différentes implantations :

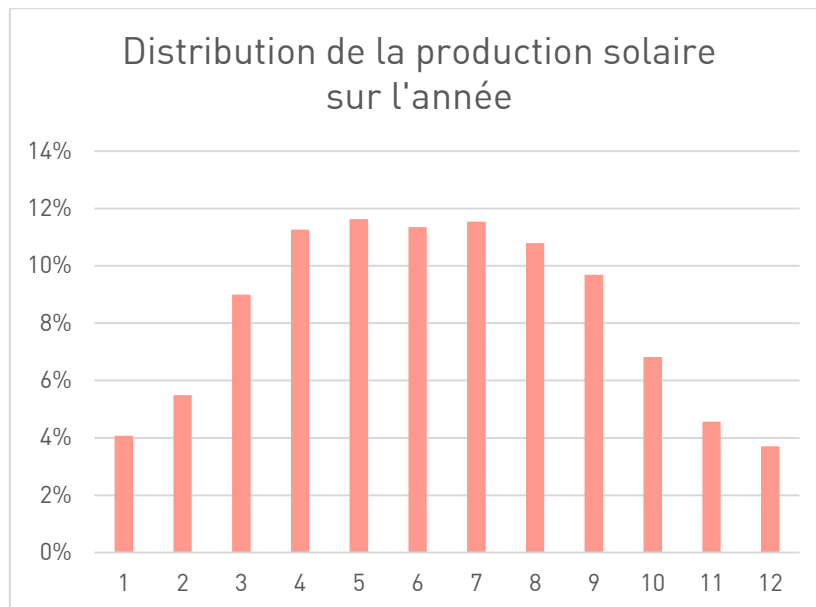
Productibilité annuelle	Electricité (KWh/kWc)	Chaleur (KWh/m <sup>2</sup> )
Capteurs en toiture	970	350

La production photovoltaïque (maximale théorique en toiture) est estimée à 4 405 MWh/an

#### Point de vigilance :

Le stockage inter saisonnier de l'énergie thermique pour des logements n'est pas encore viable sur le plan technico-économique. Si la production journalière excède la consommation journalière de chaleur, il y a un risque de surchauffe du fluide caloporteur et donc de dégradation de l'installation.

La production solaire annuelle suit la répartition suivante. :



La production solaire est maximale en juillet. En supposant que l'installation soit dimensionnée afin d'obtenir un taux de couverture de 100% des besoins ECS en juillet, le taux de couverture global annuel serait de 60%.

Dans nos calculs, nous plafonnerons donc la production solaire à 60% des besoins en ECS soit **1 165 MWh/an** à l'échelle de la ZAC.

### 8.3. Production de chaleur par géothermie

Pour avoir des données précises sur le potentiel géothermique du site, la réalisation de forages est nécessaire.

L'exploitation de l'énergie géothermique fait appel à une pompe à chaleur (PAC) sur sol ou sur nappe. Le coefficient de performance de ce type de système est d'environ 3,5 c'est-à-dire que pour 1 kWh consommé, 3,5 sont restitués.

### 8.4. Production de chaleur par Aérothermie

L'aérothermie exploite la chaleur contenue dans l'air et implique le recours à une pompe à chaleur air/eau. Le coefficient de performance de ce type de système est d'environ 2,7 c'est-à-dire que pour 1 kWh consommé, 2,7 sont restitués.

### 8.5. Production de chaleur par Bois énergie



---

Suivant la technologie utilisée (poêle à bois, chaudière) et le type de combustible la couverture des besoins varie.

Le dimensionnement des chaufferies en cascade (répartition de la puissance maximale nécessaire sur plusieurs chaudières) permet d'atteindre un taux de couverture de 100% pour toute chaufferie biomasse bien que pour une chaufferie bois déchiqueté, l'optimum technico-économique se situe autour de 80% en associant une chaudière bois déchiqueté (base) et une chaudière gaz (appoint et secours).

## 8.6. Synthèse

Le tableau suivant présente les taux de couverture atteignables par les ENR étudiées pour les niveaux RT 2012 et passif :

ENR		Taux de couverture moyen par les EnR				Taux de couverture moyen par les EnR PASSIF			
Technologie	Caractéristiques	Productible MWh/an	Chaleur	Electricité	Total Energie	Productible	Chaleur	Electricité	Total Energie
Panneaux Solaire thermique	Inclinaison 30° Orientation: S-E	1165	24%	0%	13%	1017	31%	0%	14%
Panneau Solaire photovoltaïque	Inclinaison 30° Orientation: S-E	4414	0%	103%	48%	4414	0%	104%	59%
Chaudière bois granulés		4935	100%	0%	54%	3233	100%	0%	43%
Chaudière bois plaquette		3948	100%	0%	54%	2586	100%	0%	43%
PAC géothermique	COP 3,5	3504	71%	0%	38%	2295	71%	0%	31%
PAC eau	COP 2.7	3109	63%	0%	34%	2037	74%	0%	32%
Micro éolien	P:3KW N:40	90	0%	2%	1%	90	0%	2%	1%

- Aucune source d'énergie renouvelable ne permet à elle seule de couvrir la consommation totale d'énergie des bâtiments. La création d'un quartier à énergie positive au sens [énergie consommée < énergie produite] ne pourra donc se faire qu'à partir d'un mixte énergétique ou en réduisant de manière drastique les consommations du quartier.
- Les productions solaires et photovoltaïques considèrent que tous les capteurs sont orientés Sud avec une inclinaison de 30° ce qui ne sera probablement pas le cas à l'échelle de la ZAC en fonction du découpage parcellaire et de l'implantation des maisons.
- Le bilan **annuel** de la production photovoltaïque >100% ne signifie pas que la zone peut s'affranchir du réseau électrique (autonomie). En effet il s'agit d'un bilan production/consommation annuel (voir prospective → production locale d'électricité). La production solaire thermique est inégalement répartie sur l'année (plus forte production en été qu'en hiver).

Pour réduire considérablement les consommations, il faudra fixer un cahier des charges contraignant pour les concepteurs, sensibiliser et accompagner des habitants.

## 9. Phase 4 : Etude de l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables

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.

Ces scénarios sont pragmatiques et s'appuient sur des solutions techniques éprouvées.

Le tableau suivant décrit les scénarios étudiés :

	Chauffage	Production d'ECS	Remarque
S0 : Gaz	Gaz naturel	Solaire/Gaz Naturel	Afin de satisfaire les exigences de la RT2012, les maisons sont équipées d'un mini kit PV permettant de produire 5kwh EP/m <sup>2</sup> .an
S1 : Gaz + solaire thermique	Gaz naturel	Solaire (couvrant 40% des besoins)	
S3 : Bois granulés	Bois	Bois (collectifs) Electrique (individuels)	Chaufferie collective granulés Maisons individuelles : Poêle à bois (70%) + appoint électrique 30%
S3 : Géothermie	Géothermie	Géothermie	
S4 : PAC air/eau	Pompe à chaleur air/eau	Pompe à chaleur air/eau	

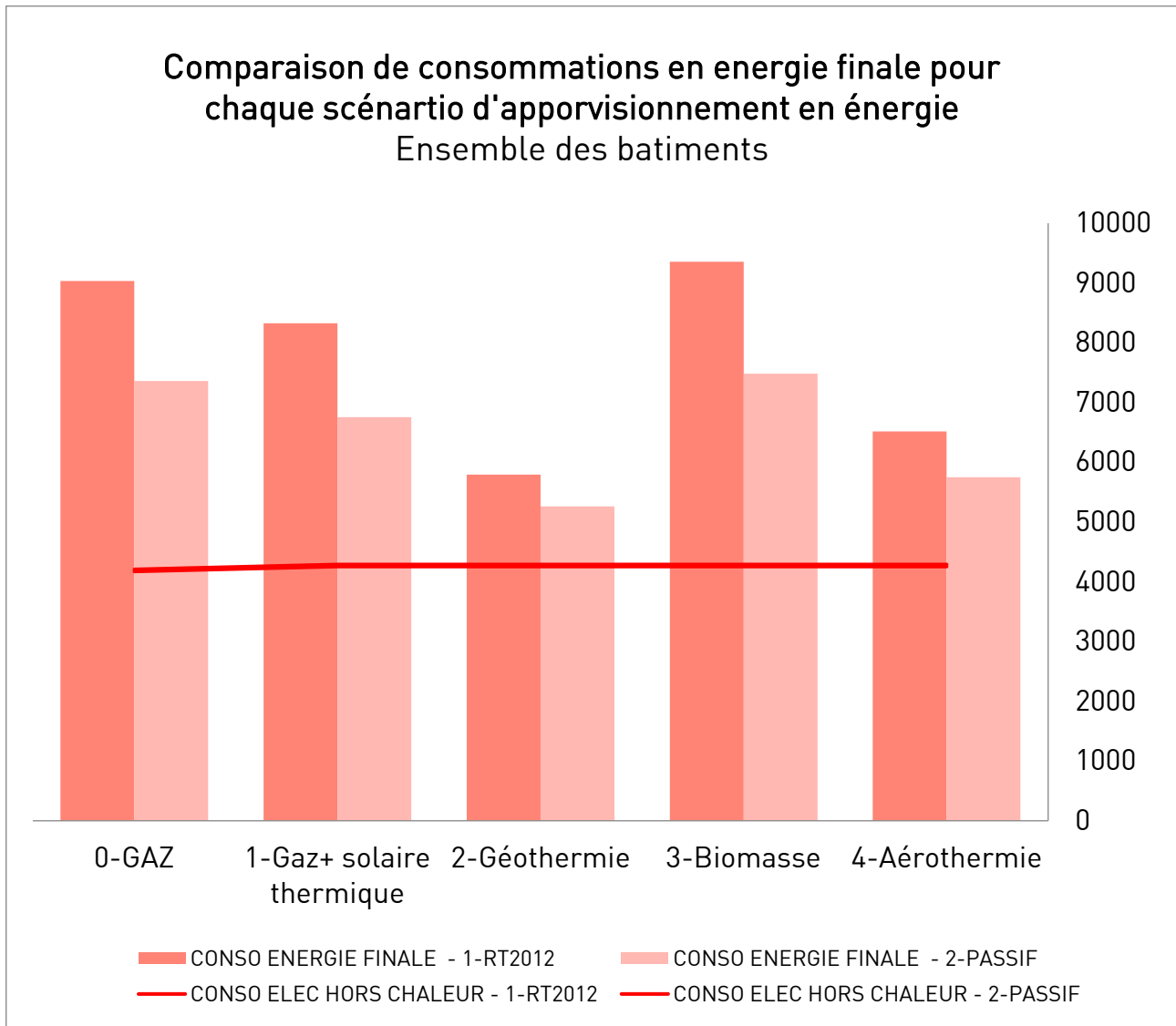
*NB : pour les bâtiments de logements collectifs les solutions étudiées sont systématiquement en chaufferie collective.*

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.

## 9.1. Comparaison des consommations en énergie finale

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



**Figure 33 : Comparaison de la consommation d'énergie finale du projet par scénario d'approvisionnement énergétique**

Cette consommation d'énergie est modulée par rapport aux besoins **9 217MWh/an (RT2012)** et **7 482 MWh/an (Passif)** calculées en Phase 1. En effet, ces scénarios d'approvisionnement en énergie intègrent de l'énergie gratuite (solaire, énergie du sol), des notions de rendement ou d'appoint.

Les scénarios S2-PAC géothermique et S4-Pac air/eau présentent les meilleurs bilans de consommation en énergie finale car ils utilisent l'énergie gratuite du sol ou de l'air pour la production de chauffage et d'ECS.

Le scénarios 1 utilise le solaire à hauteur de 40% des besoins pour la production d'ECS mais le chauffage ne bénéficie d'aucune contribution gratuite. Ce bilan est meilleur que le scénario de base 100% gaz (-6%).

Le scénario Bois granulé ne bénéficie d'aucun apport « gratuit » et le rendement des chaudières bois granulé (90%) est moins bon que celui des chaudières gaz (105%). Ainsi le bilan de consommation en énergie finale est le plus élevé (5%). Toutefois il s'agit d'une énergie locale et renouvelable à la différence du gaz.

Ces comparaisons montrent qu'à niveau de besoin identique, **les bilans énergétiques annuels peuvent varier jusqu'à moins 36% en fonction des systèmes énergétiques installés.**

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.**

## 9.2. Comparaison des coûts de fonctionnement actualisés sur 20 ans

L'étude des coûts de fonctionnement la première année ne reflète pas les évolutions futures du prix des énergies, 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.

Les différents systèmes énergétiques présentés ci-dessus se caractérisent par des coûts d'investissement, de maintenance et d'énergie très hétérogènes. Il convient donc d'avoir une approche économique en cout global.

*Avertissement : l'objet de ce paragraphe n'est pas de permettre d'obtenir une indication précise du coût réel mais de faciliter l'appréhension d'un ordre de grandeur de l'écart de coût entre chaque scénario d'approvisionnement en amont d'un projet. Le coût réel dépend de nombreux paramètres propres à chaque situation. Les résultats sont à interpréter avec la plus grande prudence.*

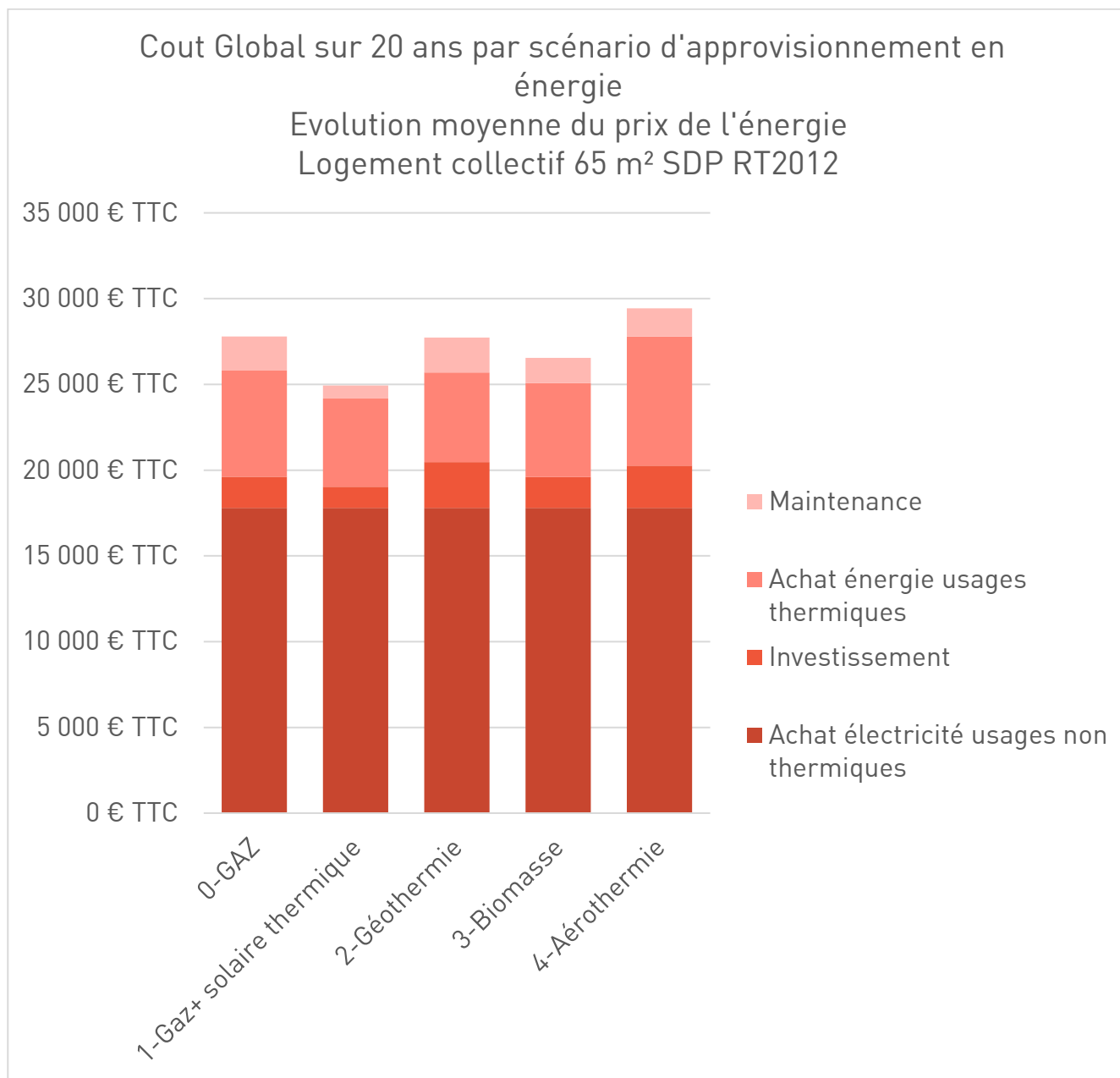
- Hypothèse de taux d'inflation :

Taux d'inflation	
Énergie fossile	8%
Électricité	6%
Bois	4%
Maintenance	2%



- **Logement collectif**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement initial, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour un logement collectif de 65 m<sup>2</sup> SDP en moyenne :

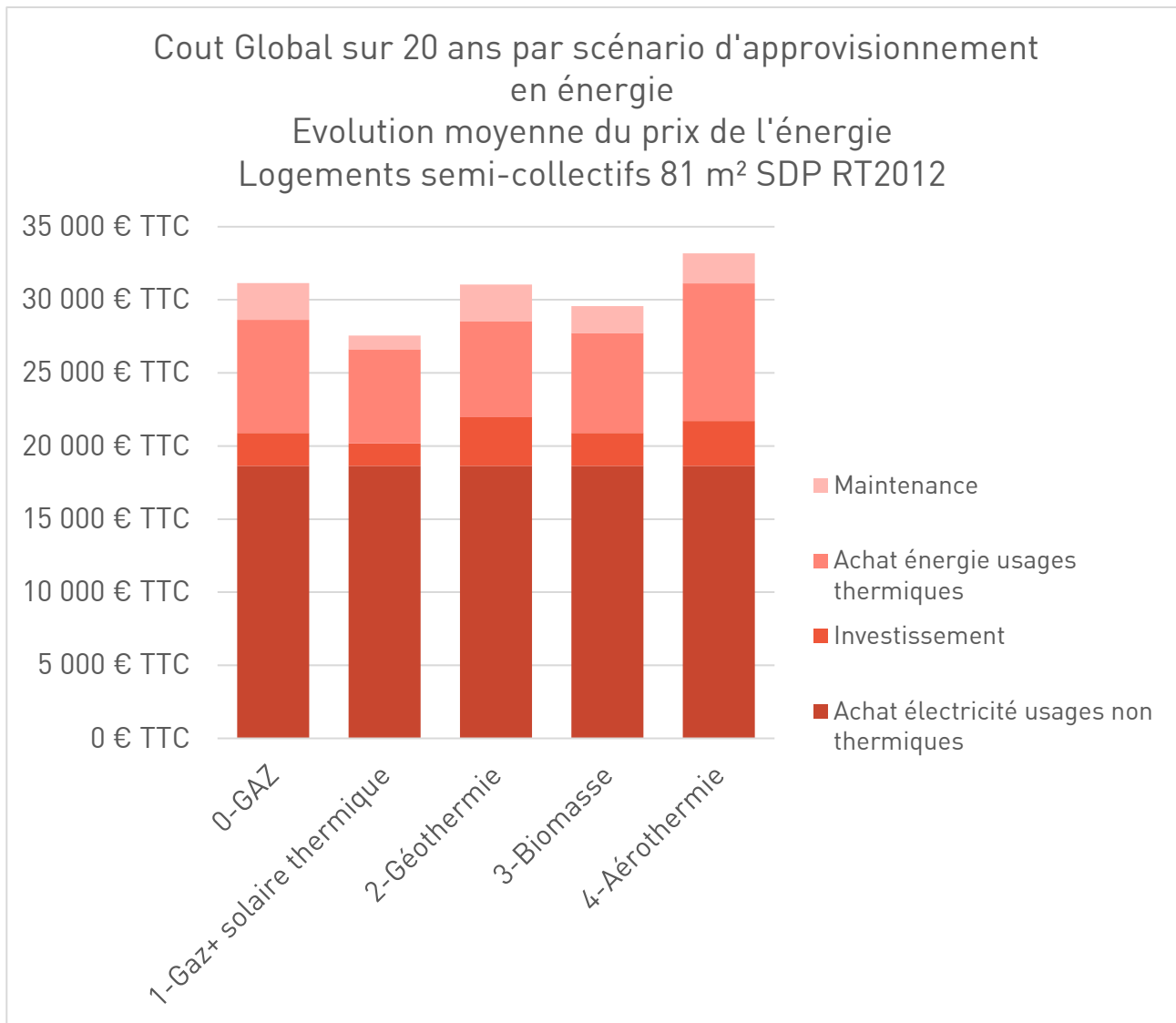


- L'électricité représente la part la plus importante des coûts des fonctionnements.
- Le scénario GAZ + solaire thermique présente le meilleur bilan économique
- Le scénario bois granulé présente ensuite le deuxième meilleur bilan économique.
- Les scénarios utilisant des pompes à chaleur sont pénalisés par les coûts d'investissements du matériel.
- La solution chaudière gaz individuelle ne permet pas de réaliser des économies d'échelles. Chaque logement doit payer son abonnement au réseau de gaz, l'investissement et la maintenance de sa chaudière.

NB: les taux d'inflation considérés peuvent changer les conclusions. Un taux d'inflation plus important de l'électricité pénaliserait les scénarios 100% électriques des PAC.

- **Logement semi-collectif**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement initial, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour un logement semi-collectif de 81 m<sup>2</sup> SDP en moyenne :

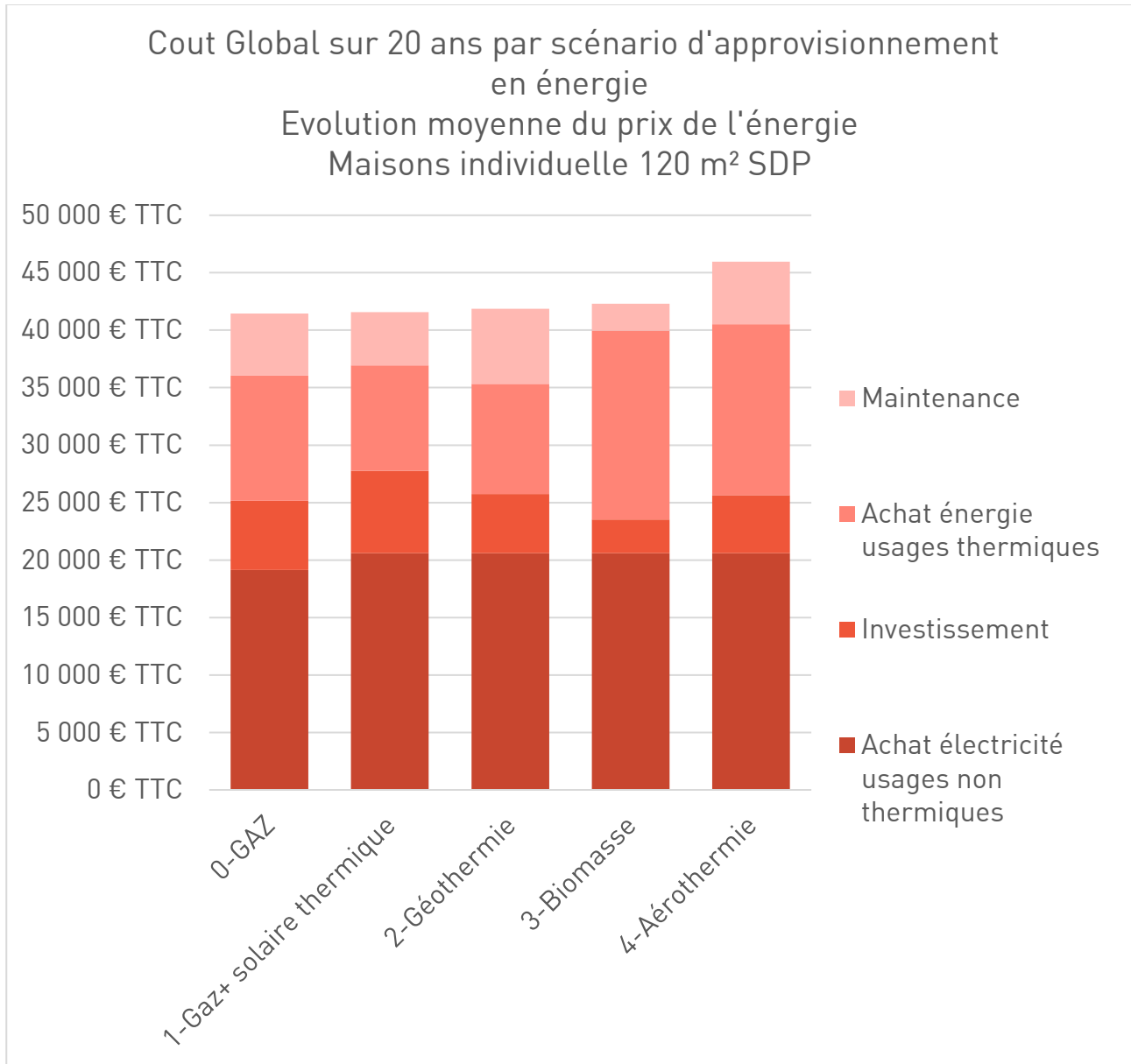


- L'électricité représente la part la plus importante des coûts des fonctionnements.
- Le scénario GAZ + solaire thermique présente le meilleur bilan économique
- Le scénario bois granulé présente ensuite le deuxième meilleur bilan économique.
- Les scénarios utilisant des pompes à chaleur sont pénalisés par les coûts d'investissements du matériel.
- La solution chaudière gaz individuelle ne permet pas de réaliser des économies d'échelles. Chaque logement doit payer son abonnement au réseau de gaz, l'investissement et la maintenance de sa chaudière.

NB: les taux d'inflation considérés peuvent changer les conclusions. Un taux d'inflation plus important de l'électricité pénaliserait les scénarios 100% électriques des PAC.

- Maison individuelles.

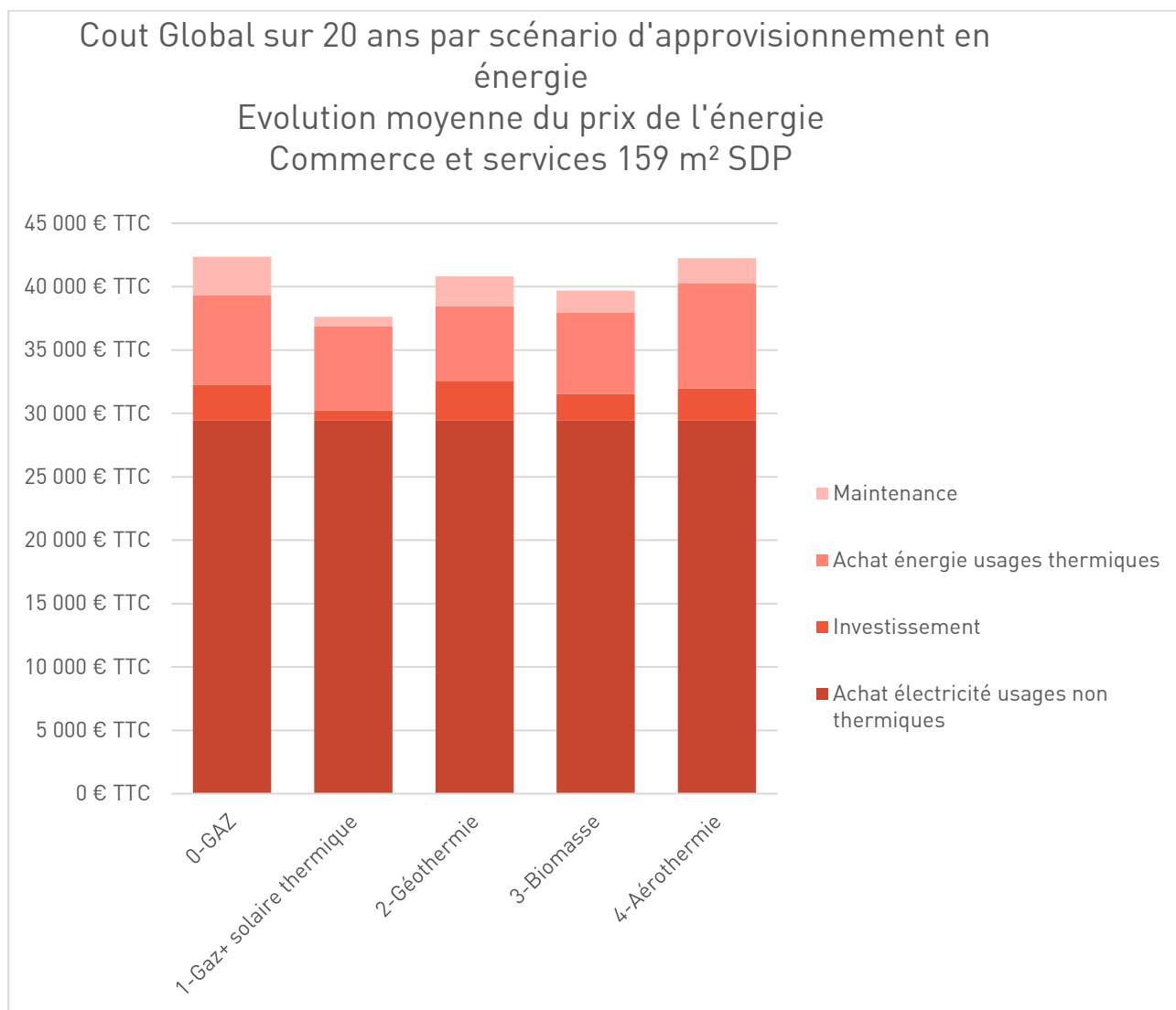
Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour une maison de 120 m<sup>2</sup> SDP :



- Les solutions GAZ, GAZ+solaire thermique, Géothermie et Biomasse sont sensiblement équivalentes.
- La solution biomasse utilisant un poêle à bois est pénalisée car on considère conformément à la RT2012 une énergie appoint (ici des radiateurs électriques). Dans la pratique, en fonction de la conception de leur habitation (exposition, isolation, inertie, diffusion de la chaleur) et de leur sensibilité (profil économe) certains habitants pourraient se passer d'énergie d'appoint et ainsi réaliser des économies significatives.
- La solution PAC aérothermie est la plus défavorable en raison d'un investissement élevé et d'une énergie onéreuse.

- Commerce & services

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement, sur 20 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour un commerce de 159m<sup>2</sup> SDP :



- L'électricité représente la part la plus importante des coûts des fonctionnements.
- Le scénario GAZ + solaire thermique présente le meilleur bilan économique
- Le scénario bois granulé présente ensuite le deuxième meilleur bilan économique.
- Les scénarios utilisant des pompes à chaleur sont pénalisés par les coûts d'investissements du matériel.
- La solution chaudière gaz individuelle ne permet pas de réaliser des économies d'échelles. Chaque usager doit payer son abonnement au réseau de gaz, l'investissement et la maintenance de sa chaudière.

NB: les taux d'inflation considérés peuvent changer les conclusions. Un taux d'inflation plus important de l'électricité pénaliserait les scénarios 100% électriques des PAC.

### 9.3. Comparaison des émissions de gaz à 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 de la ZAC :

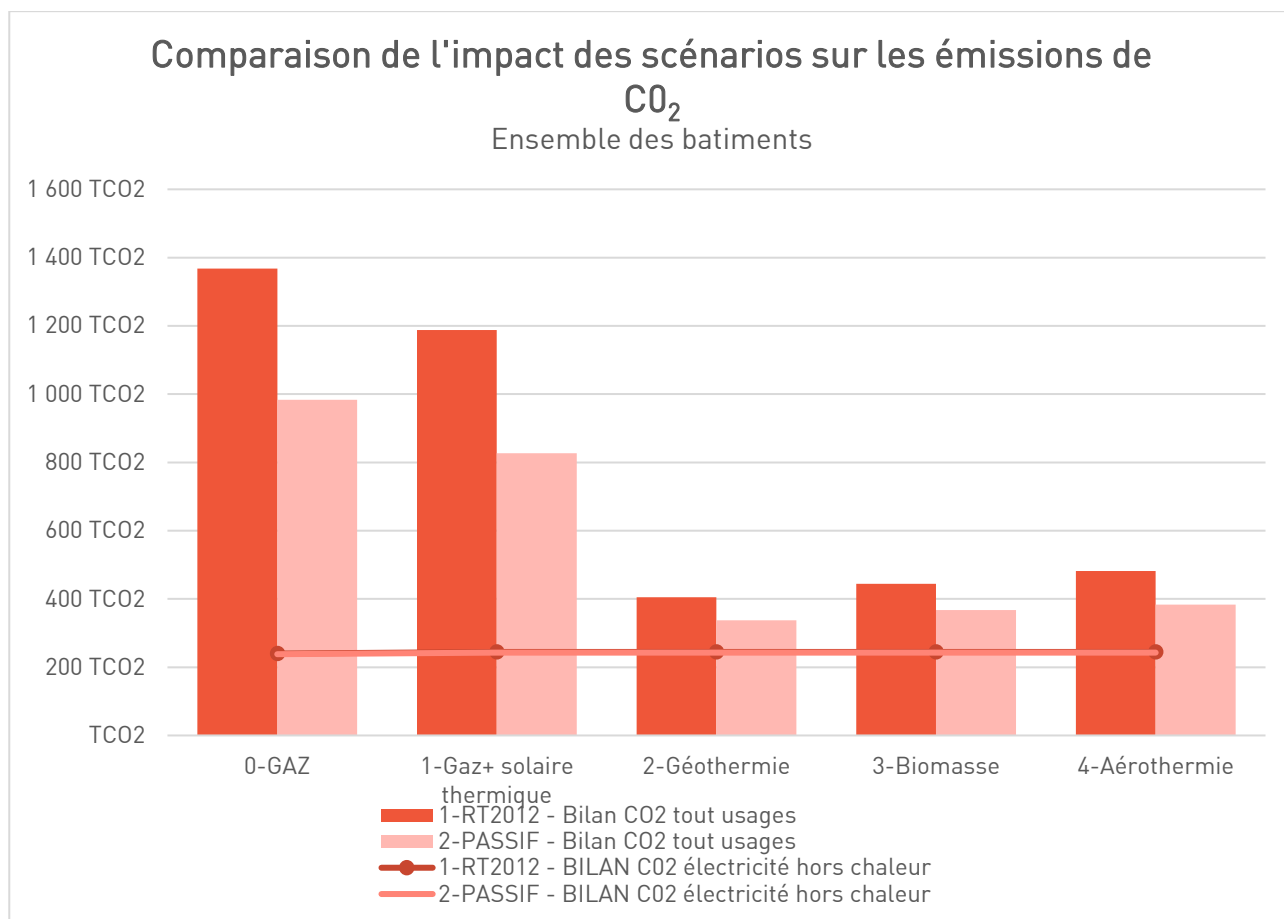


Figure 34: Emissions de CO<sub>2</sub> du projet

Le scénario de référence au gaz émettrait **1368t de CO<sub>2</sub>/an** pour un niveau RT 2012 et **983t de CO<sub>2</sub>/an** pour un niveau passif pour l'ensemble des logements du quartier et l'hostellerie selon nos hypothèses.

Les scénarios S2, S3 et S4 sont très performants du point de vue de la réduction des émissions de gaz à effet de serre en permettant de réduire les émissions jusqu'à **70%** par rapport à la référence.

*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 supérieure à celui du CO<sub>2</sub> !*

### 9.4. Compatibilité avec la dépendance électrique 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.



## 9.5. Synthèse de l'analyse des scénarios d'approvisionnement en énergie

Les résultats des approches énergétiques, économiques environnementales et en lien avec le contexte régional sont synthétisés de manière qualitative dans le tableau ci-dessous.

Le code couleur traduit la réponse du scénario aux critères proposés

Aucune source d'énergie renouvelable ne permet à elle seule de couvrir la consommation d'électricité totale des bâtiments.

Ainsi, le Scénarios S3 (bois granulés) présentent une réponse aux critères d'analyse plus adaptée, mais aucun scénario ne se détache particulièrement par rapport aux autres.

Scénario étudié	Critère Faible consommation en Energie finale	Coût Global sur 20 ans	Impact sur l'effet de serre	Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne	Taux d'utilisation d'ENR
S0 : Gaz individuel	Orange	Rouge	Rouge	Vert	Rouge
S1: Gaz + ECS solaire	Orange	Vert	Rouge	Vert	Orange
S2 : PAC géothermie	Vert	Orange	Vert	Rouge	Vert
S3: Bois granulés	Orange	Vert	Vert	Vert	Vert
S4- PAC air/eau	Vert	Rouge	Vert	Rouge	Vert

Figure 35 : Evaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critères environnementaux et économiques

LEGENDE Scénario

Réponse Favorable

Réponse mitigée ou adaptée partiellement au critère

Réponse Défavorable ou inadaptée

## 10. Phase 5 : 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, nous remplaçons 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 inexistants, aucun réseau de froid ne sera intégré dans l'étude.**

La fiche réseau de chaleur en annexe 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.

### 10.1. Etude d'opportunité d'un réseau 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 de la ZAC

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.

### 10.2. Notion de densité énergétique pour un réseau 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.**

### 10.2.1. Hypothèses de consommations énergétiques considérées

Les hypothèses de consommations énergétiques sont issues de l'étude d'approvisionnement en énergie réalisée au paragraphe VII.2 p. 45.

## 10.3. Etude d'opportunité

### 10.3.1. Analyse qualitative

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.**

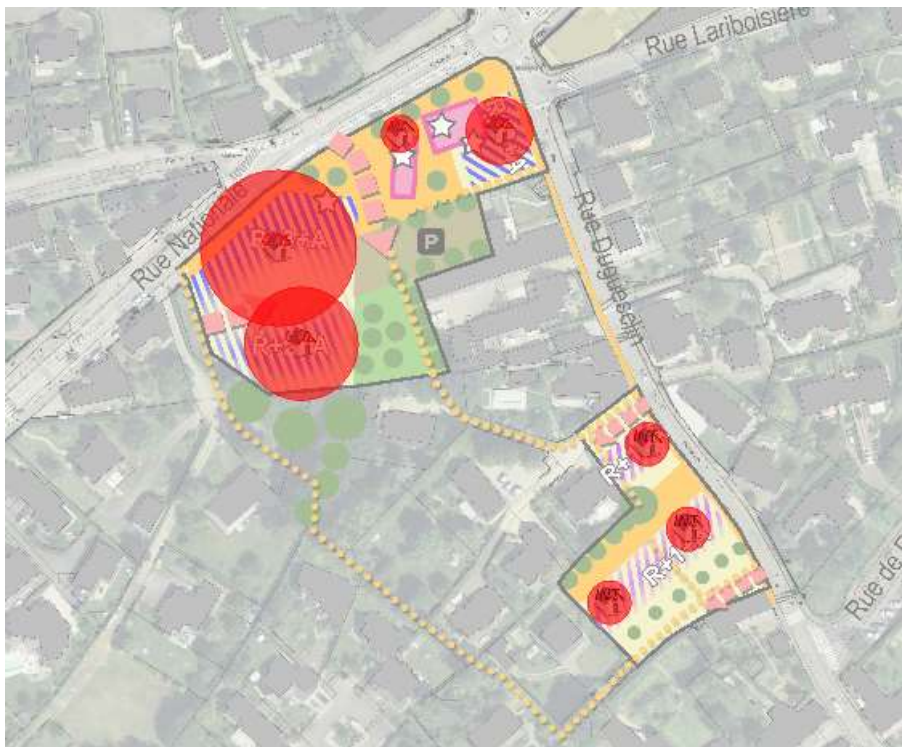


Figure 36: Analyse qualitative de la densité énergétique secteur Duguesclin (source : H3C Energies)

- Sur ce site, la création d'une chaufferie centralisée pour alimenter les deux blocs de bâtiments collectifs serait justifiée.
- La création d'un réseau de chaleur plus étendu ne serait pas pertinente en raison de la faible densité thermique.



Figure 37: Analyse qualitative de la densité énergétique secteur centre (source : H3C Energies)

- Ce site ne présente pas de densité thermique suffisante pour la création de micro-réseaux de chaleur



Figure 38: Analyse qualitative de la densité énergétique secteur Reaute (source : H3C Energies)

- A ce stade des étude la pertinence de créer des micro-réseaux de chaleur sur ce site est incertaine.
- Les maisons en mitoyennes pourraient se prêter à l'intégration d'une production de chaleur centralisée.



### 10.3.2. Conclusion :

La pertinence de création de micro-réseaux de chaleur est incertaine en raison des faibles besoins liés aux exigences de performances énergétique et à la densité des habitations. Toutefois pour les logements collectifs et semi-collectifs, la pertinence économique d'une production centralisée de chaleur se vérifie et permet une évolutivité de la gestion énergétique (smartgrid/ évolution vers des solution plus performantes ...) à l'échelle des secteurs. A contrario, l'installation de chaudières gaz individuelles enferme les logements dans cette logique de production de chaleur.

## 11. Phase 6 : Pistes de mesures compensatoires

### 11.1. 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.**

H3C 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

### 11.2. 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.



### 11.3. 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.

### 11.4. Proposition de mesures compensatoires :

#### 11.4.1. Production locale d'électricité

La consommation prévisionnelle d'électricité a été calculée dans la partie « Estimations des consommations d'énergie des bâtiments en fin d'opération ». **Nous avons vu que l'énergie relative à l'électricité représente une part importante des consommations prévisionnelles en énergie finale.**

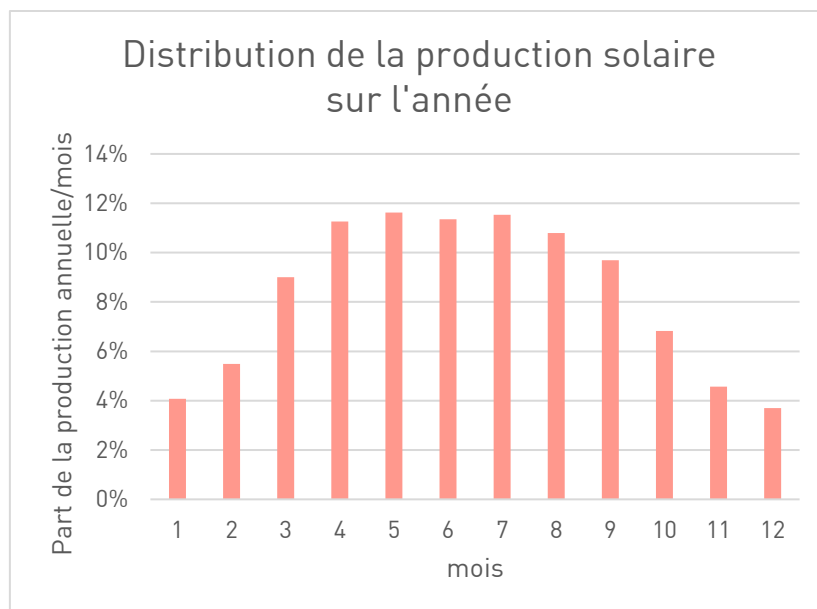
De fait, envisager une production locale d'électricité est cohérent avec l'objectif de compenser les impacts environnementaux de l'opération.

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

Les besoins en électricité (hors chaleurs) sont estimés à **4 285 MWH/an.**

La surface de panneaux à installer pour que la production annuelle compense la consommation annuelle d'électricité (hors chaleur) est de **31 551m<sup>2</sup>** pour une réduction de 46% des émissions de CO2 des bâtiments.

On rappelle que la production solaire varie en fonction de la date selon la répartition typique suivante :



Ainsi la surface de panneaux pour que le bilan sur le mois de décembre soit positif est de 117319m<sup>2</sup>

Périmètre du bilan		Unité	% de la surface de toiture estimée	T CO2 EVITEE	% EGES BATIMENT
Consommation électricité (hors chaleur annuelle)	4 285	MWh			
Surface panneaux PV pour Bilan électrique annuel >0	31 551	m <sup>2</sup>	53%	630	46%
Surface panneaux PV pour Bilan électrique >0 en décembre	117 319	m <sup>2</sup>	196%	2 342	171%

Pour que la production locale d'électricité en décembre excède la consommation en décembre et ainsi soulager le réseau électrique en hivers, il faudrait installer de l'ordre de 118 000 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques (réduction de 171% des émissions de CO2 des bâtiments). Soit près de 2 fois la surface de toiture estimée. Il faudrait alors installer des panneaux photovoltaïques en ombrières de parking, en façade et en brise-soleil.



Figure 39: Ombrière photovoltaïque

## 11.4.2. Stockage de carbone : plantation de biomasse

### 11.4.2.1) Préambule

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.**

### 11.4.2.2) Hypothèses 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.

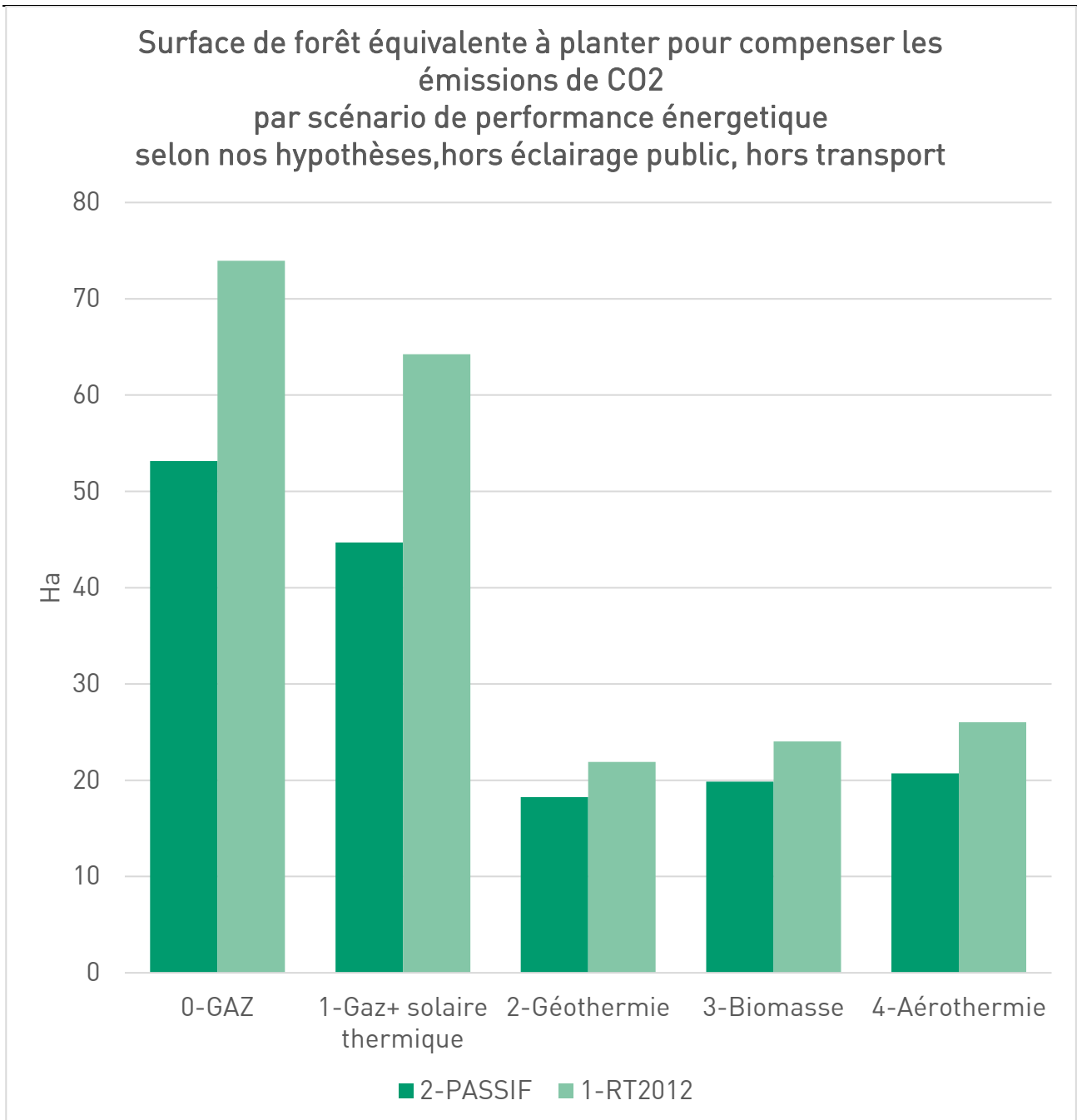
Nous considérerons **1 ha de forêt à croissance normale comme unité de référence sur sa durée de vie avec un objectif de valorisation en bois d'œuvre et bois énergie**. Le nombre de tiges à l'hectare est donc variable en fonction des opérations d'éclaircie que les forestiers sont amenés à réaliser pour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

### 11.4.2.3) Simulation de la surface boisée 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 40 : Calcul de la surface boisée nécessaire en mesure compensatoire**

Le scénario de référence nécessiterait donc, selon nos hypothèses, de 74 à 22 ha de forêt en mesure compensatoire pour le niveau RT 2012, de 53 à 18 ha pour le niveau PASSIF.

## 12. L'éclairage public

### 12.1. Rôles de l'éclairage public

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

- Paysager : perception de l'espace, continuité visuelle, esthétique, mise en valeur du patrimoine ;
- Ambiance lumineuse ;
- Guidage et confort visuel ;
- Sécurité des piétons, des automobilistes, des cyclistes et des biens

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'annexe 6 répertorie les textes qui régissent l'éclairage public ainsi que les grandeurs caractéristiques de l'éclairage et les différents types de lampe.

### 12.2. Enjeux pour un projet d'aménagement

Quatre grands enjeux peuvent être dégagés pour l'éclairage public :

- Sécurité et confort des usagés
- Réduction des consommations électriques
- Préservation de l'environnement et du ciel nocturne
- Réduction de la facture énergétique

En effet, l'utilisation excessive de la lumière artificielle pourra d'une part être importune (gêne visuelle à laquelle on ne peut se soustraire, halos lumineux, lumière intrusive dans les propriétés privées), 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.

L'éclairage public constitue un poste important dans le budget énergie d'une commune. En effet, selon l'ADEME, il représente, en moyenne :

- 48 % des kWh d'électricité consommés,
- 38 % de la facture totale d'électricité,
- 23 % de l'ensemble des dépenses énergétiques.

**De plus, les charges de fonctionnement, de maintenance et d'entretien seront assurées par la collectivité.**

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

Faire le choix de matériels performants, respectueux de l'environnement (une consommation énergétique et un flux lumineux maîtrisés) tout en apportant le niveau de service attendu, est devenu un enjeu majeur pour les communes.

## 12.3. Quelques préconisations

La qualité d'éclairage dépend plus de l'homogénéité (uniformité) que du niveau d'éclairement. Ainsi, une mauvaise uniformité de l'éclairage entraîne de l'inconfort visuel (zones d'ombres, moindre éclairement).

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 de l'opération relatif à l'éclairage public (impact visuel et impact énergétique) soit le plus faible possible.

L'objectif est d'éclairer juste, en maîtrisant la consommation d'énergie et limitant la pollution lumineuse.

### 1. Etat des lieux

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

- Définir la nécessité d'éclairer ou non les différents types de voies
- Repérer les secteurs sensibles à la pollution lumineuse (fort impact sur la biodiversité)
- Hiérarchiser les voies en fonction du besoin d'éclairage
- Définir le niveau d'éclairement nécessaire par type de voie
- Définir les horaires d'allumage et/ou de réduction de puissance

### 2. Points lumineux

Déterminer le nombre de points lumineux et la hauteur de mat adaptés au classement des voies et au contexte urbain

Augmenter de l'interdistance entre les mâts grâce à des optiques adaptées tout en conservant une bonne uniformité d'éclairage.

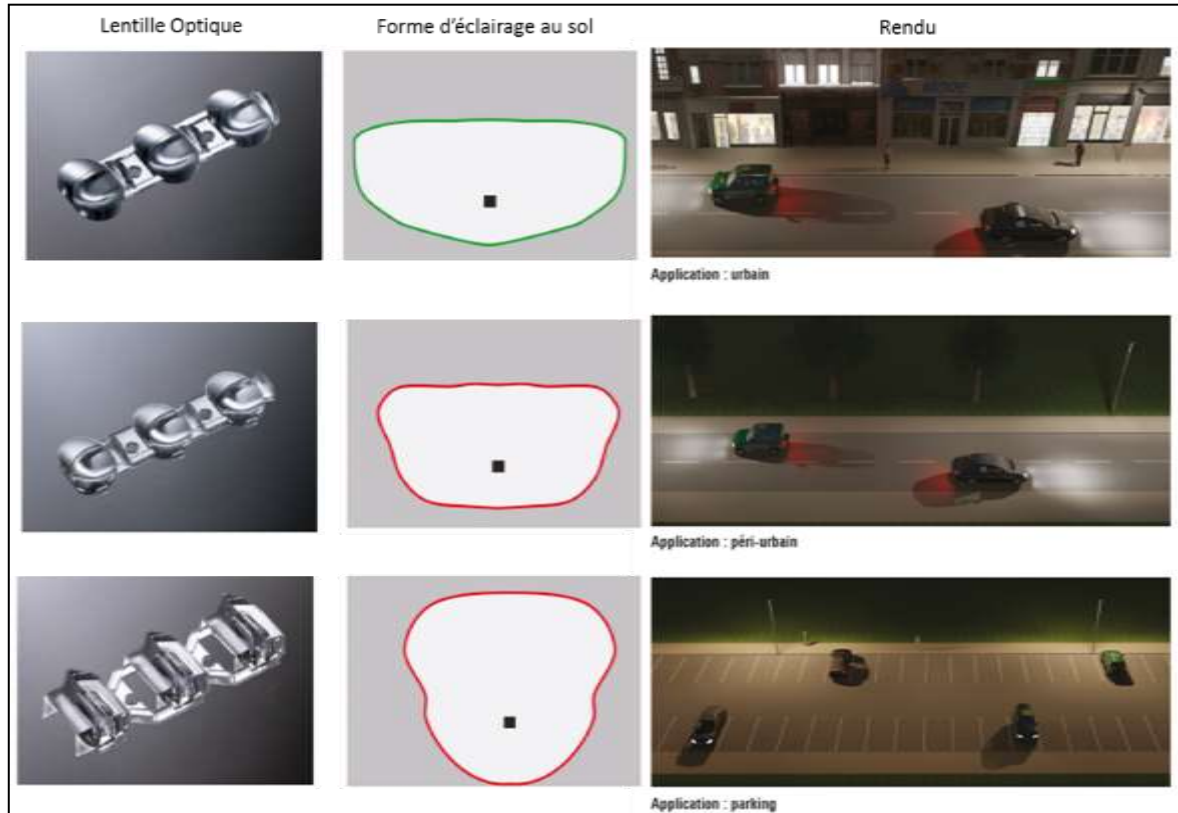


Figure 41: Exemple d'optiques (Source We-ef)

NB : le choix de l'optique permet également de limiter la lumière intrusive dans les propriétés privées

### 3. Type de lampe



Choisir des lampes adaptées au besoin (Indice de rendu couleur, rendement, etc.). 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 des LED.

#### 4. Luminaire

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

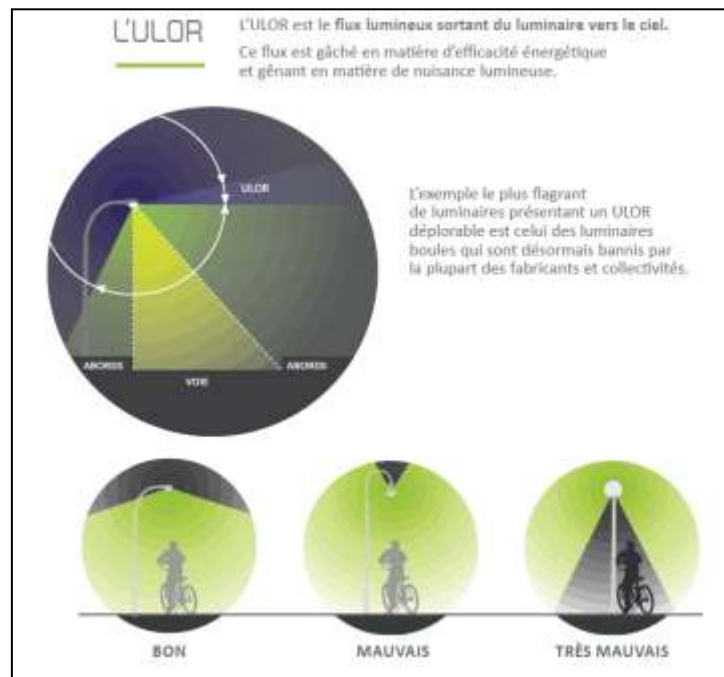


Figure 42: Illustration de l'ULOR (Source: Charte EP SDE35)

#### 5. Lanternes

Choisir des type de lanterne qui facilité la maintenance (accessibilité) et préférer des lanternes recyclables

#### 6. Ballasts d'allumage

Préférer les ballasts électroniques à longue durée de vie.

#### 7. 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.

#### 8. Heures de fonctionnement

Pose d'horloges astronomiques permettant l'extinction au cœur de la nuit (23h-6h) et l'allumage automatiques en fonction du lever et coucher du soleil.

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

Etude de dispositifs permettant la réduction de puissance de 22h-23h et 6h-7h : réduction de l'intensité lumineuse la nuit si une extinction n'est pas possible (variation de la puissance lumineuse ou extinction partielle).

#### 9. 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).

#### 10. 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.

#### 11. Etablir un plan de maintenance

#### 12. Faire réaliser une étude d'éclairage

## 12.4. Consommation énergétique attendue pour l'éclairage public

Deux hypothèses sont étudiées par rapport à l'éclairage public, la première avec un éclairage permanent (nuit complète) et la seconde avec une extinction nocturne de 22h30 à 6h.

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 :

	Eclairage nuit complète	Extinction nocturne 22h30/6h
Linéaire de voirie (m)	8700	8700
Puissance KW	26,1	26,1
Temps de fonctionnement/an (h)	4100	1910
Consommation électrique MWh	<b>107,0</b>	<b>50,0</b>
Coût	13224	8265
Emission kg CO2	<b>15,7</b>	<b>7,4</b>

Pour un linéaire total estimé à **8 700 m** de voiries éclairées, la consommation énergétique prévisionnelle serait de **107 MWh/an** en éclairage permanent et **50 MWh/an** avec une extinction nocturne.

**L'extinction nocturne permet par ailleurs à la collectivité d'économiser environ 5000 euros/an.**

*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.*

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>

## 13. 1ère approche sur les transports et l'énergie grise des matériaux

### 13.1. Transports

L'implantation du projet 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.**

#### 13.1.1.1) Pollution liée aux véhicules à 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.).

Les caractéristiques des principaux polluants et quelques-uns de leurs effets sur la santé sont décrit en annexe.

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.

#### 13.1.1.2) 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 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 de manière à limiter la circulation à l'intérieur du périmètre projet.
- 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.

#### 13.1.1.3) Estimation des émissions annuelles domicile-travail

Le nombre de véhicule par logement collectif et les maisons individuelles groupées a été fixé à 1,5 et à 2 pour les maisons individuelles soit un total de **2099** véhicules.

Les hypothèses de distances parcourues domicile-travail, issues de bretagne environnement, sont estimées à 12 kms.

(<http://www.bretagne-environnement.org/Media/Atlas/Cartes/Distance-domicile-travail-en-Bretagne>).

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

Hypothèses		
	Hypothèse	unité
Nombre de voitures	2099	Voitures
Distance moyenne domicile travail	12	Km
Jours travaillés/an	220	Jours
Part des trajets en voiture individuelle	80%	1
Emission CO2 du parc	130	gCO2/km
Consommation moyenne du parc	5,5	l/100km
Résultats		
Km parcours /an	8 864 064	km
Emission CO2	1 152	Tonnes
Consommation d'énergie MWh	4 436	MWh

Figure 43: Emissions CO2 du parc automobile de l'opération

Pour un nombre total de **2099 véhicules particuliers**, les émissions annuelles dues aux transports seraient de **1 152 tonnes de CO<sub>2</sub>**.

## 13.2. Energie grise des matériaux

L'énergie grise des matériaux représente l'énergie nécessaire à leur production, à leur transport, à leur mise en place et à leur recyclage ou destruction en fin de vie.

Les analyses de cycle de Vie (ACV) permettent de travailler sur ce paramètre. Ce chapitre a pour objectif de donner des pistes de réflexion au maître d'ouvrage pour favoriser l'usage de matériaux ou de procédés à faible énergie grise.

### 13.2.1. Matériaux de voirie

Il est difficile d'envisager de réduire l'énergie grise des matériaux de voirie puisque les solutions techniques font généralement appel à des liants :

- Hydrauliques, à base de ciment (nécessitant de la cuisson à haute température)
- Hydrocarbonés, issus du pétrole

Deux stratégies complémentaires peuvent néanmoins être engagées :

- **Réduire les surfaces de voirie** : en réalisant des voiries plus étroites, en réduisant le linéaire tout en favorisant les cheminements piétons moins exigeants en termes de matériaux (profondeur, densité)
- **Opter pour le traitement en place** : ce procédé permet, grâce à l'adjonction de chaux et de ciment suivis d'un compactage et de nivelage, de donner au sol existant des caractéristiques de voirie « classique ». Ce procédé permet d'éviter de terrasser et d'apporter des matériaux de carrière : ainsi, les déplacements des engins de chantier sont considérablement réduits, et par voie de conséquence la consommation de carburant fossile du chantier est fortement diminuée. Les sols limoneux et argileux se prêtent particulièrement bien à ces procédés. Une étude de sol pourrait permettre de confirmer l'intérêt pour le site.

Ces solutions sont à mettre en lien avec les préconisations relatives à la perméabilité des revêtements de sol pour favoriser l'infiltration des eaux pluviales.

### 13.2.2. Matériaux de construction

Les matériaux de construction à faible énergie grise ou bio-sourcés pourraient être privilégiés : cela implique la mise en place de prescriptions particulières dans le Cahier de Prescriptions architecturales, paysagères et environnementales. La provenance des matériaux peut également être un critère avec l'objectif de privilégier des matériaux locaux (nécessitant un moindre transport) ou d'éviter la déforestation des forêts primaires.

<b>Lots de construction</b>	<b>Propositions</b>
<b>Couverture</b>	Ardoises naturelles produites en France
<b>Bois de charpente</b>	Bois européen (pas de bois exotiques)
<b>Isolant</b>	Fibre de bois, fibres de chanvre, ouate de cellulose, fibres textiles recyclées, liège
<b>Gros œuvre</b>	Ossature bois ou maçonnerie à faible énergie grise, terre crue, paille
<b>Menuiseries extérieures</b>	Bois ou mixte bois/alu
<b>Revêtements de sol</b>	Caoutchouc, linoléum naturel, terre cuite

**Figure 44 : Propositions pour le recours à des matériaux à faible énergie grise dans les bâtiments**

Ces préconisations permettent généralement d'aller dans le sens d'une meilleure qualité de l'air intérieur si des prescriptions sur les niveaux de COV pour les colles, les solvants, les peintures y sont associées.

Il est possible de faire des choix objectifs grâce aux indications contenues dans les fiches FDES des matériaux disponibles sur la base de l'INIES ([www.inies.fr](http://www.inies.fr)).

## 14. Synthèse des avantages et contraintes des énergies renouvelables étudiées

Préconisations	Avantages	Contraintes	Impact environnemental
0- Solaire passif	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).
1 - Solaire thermique	Permet de réduire la consommation d'énergie fossile de manière efficace. Positionnement clair 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).
2- Récupération d'énergie sur les eaux usées	Faible coût, installation simple	Production d'ECS collective	Bilan comptable « négatif » sur la concentration en CO <sub>2</sub> de l'atmosphère (au sens où la récupération de chaleur « retire » du carbone – le bilan environnemental est donc positif).
3- Chaufferie bois collective	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).
4 - Réseau de chaleur bois	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).
5 - Solaire photovoltaïque	Production d'énergie verte locale. Positionnement clair vis-à-vis de l'extérieur (le solaire photovoltaïque se voit !).	Investissement important. Attention à ne pas négliger la performance énergétique des	Réduction de l'impact environnemental de l'ensemble de l'opération par la production d'électricité verte.



	Rentabilisation par le rachat de l'énergie.	bâtiments au profit de l'investissement en photovoltaïque.	
6- PAC Géothermie	Récupération d'énergie dans le sol	Investissement important, forages	Réduction de l'impact environnemental de l'ensemble de l'opération par la récupération d'énergie. Impact négatif des fuites de fluides frigorigènes sur l'effet de serre Impact négatif sur la pointe de puissance électrique
7- PAC eau	Récupération d'énergie dans l'eau		Réduction de l'impact environnemental de l'ensemble de l'opération par la récupération d'énergie. Impact négatif des fuites de fluides frigorigènes sur l'effet de serre Impact négatif sur la pointe de puissance électrique
8- Micro éolien	Production d'électricité verte Visibilité	Investissement important, productivité dépendante du régime de vent et de l'exposition au vent, souvent faible en milieu urbanisé	Réduction de l'impact environnemental lié à la consommation d'électricité Diminution du Pic électrique

## 15. Propositions d'actions spécifiques liées à l'énergie

Ce paragraphe propose des actions spécifiques liées à l'énergie.

Elles pourront par exemple être intégrées aux critères de sélection de l'aménageur ou des promoteurs, au cahier des prescriptions architecturales, urbaines, paysagères et environnementales.

Au stade création, le niveau de précision du projet ne permet pas encore de se positionner concrètement sur tous les points. De plus, le projet s'étalera sur un certain nombre d'années et devra de ce fait s'adapter aux évolutions du contexte, notamment réglementaire par rapport à l'énergie.

Le Tableau suivant décrit l'ensemble des mesures par degré de volontarisme croissant qui pourraient être mise en œuvre et détaille celles mise en place (en vert) ou prévues (en bleu) sur le projet :

Objectif	Mesure proposée	Volontarisme	Modalité de suivi
<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	+	Vérification du plan d'aménagement Accompagnement de la collectivité par un bureau d'étude spécialisé en énergie
	Plan de composition favorable aux apports solaires : permettant que les ouvertures principales soient orientées au Sud (+/- 20°) et limitant les ombres portées	+	Accompagnement de la collectivité par un bureau d'étude spécialisé en énergie Vérification du plan d'aménagement (nombre de lots orientés Nord-Sud) et cahier des prescriptions
	Définir un niveau de performance énergétique, par exemple : <ul style="list-style-type: none"> <li>Exigence réglementaire : la RT 2012 l'impose</li> <li>Niveau RT 2012-XX% progressif par phase de l'opération</li> <li>Niveau passif sur les collectifs et intermédiaires</li> <li>Niveau passif sur un ilot</li> <li>Niveaux passif sur tous les bâtiments collectifs</li> <li>Niveau positif sur un ilot</li> </ul>	- + ++ ++ +++	Accompagnement de la collectivité par un bureau d'étude spécialisé en énergie Attestation RT 2012 Etude RT 2012 Etudes spécifiques (PHPP , etc.) Labels (Effinergie +, BEPOS, etc.) Réaliser un bilan énergétique conventionnel de la ZAC à partir des études thermiques réglementaires des bâtiments construits
<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) -pour les logements collectifs : étude d'approvisionnement en énergie qui devra au minimum étudier la production d'eau chaude solaire centralisée et la production centralisé du chauffage au bois énergie ou -Logements collectifs: imposer une ENR, solaire ou bois.	- - + ++	Vérification à l'instruction du PC Etude de faisabilité
	-Développer l'autoconsommation électricité renouvelable -Mettre en place un smart-grid ou réseau intelligent	++ ++++	Cahier des prescriptions Suivi énergétique (consommation et production)

<b>3-Minimiser les appels de puissance sur le réseau électrique en hiver pour le chauffage</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informer sur le Pacte électrique breton</li> <li>- Pompes à chaleur autorisées uniquement en relève de chaudière.</li> <li>- Interdire les PAC air/air et air/eau</li> <li>- 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</li> <li>- Mise en place d'un smart grid</li> </ul>	<p style="text-align: center;">-</p> <p style="text-align: center;">+</p> <p style="text-align: center;">++</p> <p style="text-align: center;">+++</p>	<p>Vérification du plan d'aménagement et cahier des prescriptions</p> <p>Vérification à l'instruction du PC</p>
<b>4- Réduire l'énergie grise des matériaux utilisés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energie grise: recommander sans imposer ou interdire</li> <li>- Conseiller l'usage de matériaux biosourcés</li> <li>- Interdire l'usage du PVC pour les menuiseries</li> <li>- Imposer l'usage de matériaux biosourcés pour l'isolation/les menuiseries</li> <li>- Imposer un label bas carbone (BBCA, E+C)</li> </ul>	<p style="text-align: center;">-</p> <p style="text-align: center;">+</p> <p style="text-align: center;">++</p> <p style="text-align: center;">+++</p>	<p>Vérification du plan d'aménagement et cahier des prescriptions</p>
<b>TRANSPORTS ET VOIRIES</b>			
<b>5-Faciliter l'usage des transports en commun et transport doux</b>	<p>Prévoir des arrêts de bus au cœur ou à proximité immédiate du projet sur les voies principales</p> <p>Prévoir des cheminements doux (piétons et vélos) identifiés, accessibles et en trajets directs pour relier les points entre eux et au centre-ville</p>		<p>Vérification du plan d'aménagement</p> <p>Réalisation ou actualisation d'un plan des déplacements doux à l'échelle de la commune</p> <p>Réalisation d'une enquête sur le mode de transports, quelques années après la fin de son aménagement</p>
<b>6-Limiter la circulation des véhicules à moteur</b>	<p>Concevoir des voies partagées</p> <p>Créer des poches de stationnement regroupées en périphérie.</p>		<p>Vérification du plan d'aménagement</p>
<b>7-Anticiper la transition vers les véhicules électriques</b>	<p>Donner la possibilité d'installation de bornes de recharges pour véhicules électriques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-dans les parkings de stationnements collectifs</li> <li>-sur les ombrières photovoltaïques</li> </ul>		<p>Recensement des bornes de recharge</p> <p>Etude sur le taux d'utilisation des bornes</p>
<b>8-Optimiser l'éclairage public</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Réaliser une étude d'éclairage public secteur par secteur en phase réalisation</li> <li>-Faire réaliser une étude de faisabilité éclairage LED</li> <li>-Extinction nocturne de l'éclairage public et pilotage par horloges astronomiques</li> <li>-Favoriser l'éclairage des cheminements piétons plutôt que celui des routes</li> </ul>	<p style="text-align: center;">-</p> <p style="text-align: center;">+</p> <p style="text-align: center;">+</p> <p style="text-align: center;">++</p>	<p>Bilan énergétique de l'éclairage</p>
<b>ADAPTATION A LA TRANSITION ENERGETIQUE</b>			
<b>9-Accompagner les futurs habitants dans la démarche de sobriété énergétique</b>	<p>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</p>	<p style="text-align: center;">+</p>	<p>Mise en place d'un plan d'action</p> <p>Compte rendu des actions menées et synthèse à la fin</p> <p>Etc.</p>
<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>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>	<p style="text-align: center;">+</p> <p style="text-align: center;">++</p> <p style="text-align: center;">+++</p>	<p>Mise en place d'un plan d'action</p> <p>Compte rendu des actions menées et synthèse à la fin</p> <p>Etc.</p>

<b>11-Faciliter le financement de la construction performante</b>	Réduire le prix du foncier pour les projets qui s'inscrivent dans une démarche de performance énergétique élevée	+++	
	Participer au financement de l'isolation des bâtiments et/ou de la production locale d'énergie	+++	
	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	++++	

## 16. Prescriptions réglementaires

### 16.1. Prescriptions techniques liées à 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	Recours à une énergie renouvelable obligatoire	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> ;
		OU 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).
		OU 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 ;
		OU 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
		OU 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 de bâtiments logements collectifs	Garantir l'accès à l'éclairage naturel	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.

## 16.2. Prescriptions relatives à 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
<b>Bâtiments soumis à la RT 2012</b>	<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	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 : « - la prescription concernant le besoin conventionnel en énergie d'un bâtiment pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage [...] « - les prescriptions sur les caractéristiques thermiques intervenant dans la performance énergétique du bâtiment [...] « Cette attestation est établie sur un formulaire conforme à des prescriptions fixées par arrêté. Elle est jointe à la demande de permis de construire [...].
	<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	A l'achèvement des travaux portant sur des bâtiments neufs ou des parties nouvelles de bâtiment existant soumis à permis de construire [...] : « - [...] le maître d'ouvrage fournit [...] un document attestant la prise en compte par le maître d'œuvre de la réglementation thermique OU « - [...] le maître d'ouvrage fournit [...] un document attestant qu'il a pris en compte la réglementation thermique. « Le document ainsi établi doit attester la prise en compte : « - 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 [...] « - de la prescription concernant le besoin conventionnel en énergie d'un bâtiment pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage [...] « - pour certains types de bâtiments, de la prescription concernant la température intérieure conventionnelle atteinte en été [...] « - des prescriptions sur les caractéristiques thermiques intervenant dans la performance énergétique du bâtiment [...] « Cette attestation est établie sur un formulaire conforme à des prescriptions fixées par arrêté. Elle est jointe à la déclaration d'achèvement des travaux [...].

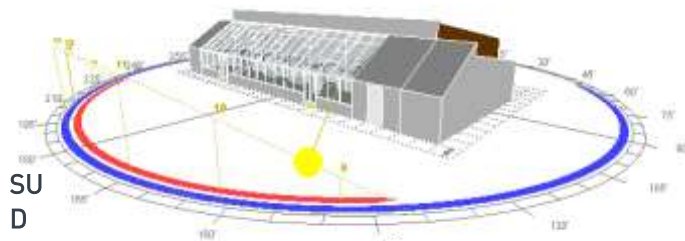


# 17. ANNEXES : FICHES TECHNIQUES sur les énergies renouvelables

## 17.1. FICHE Energie solaire généralités

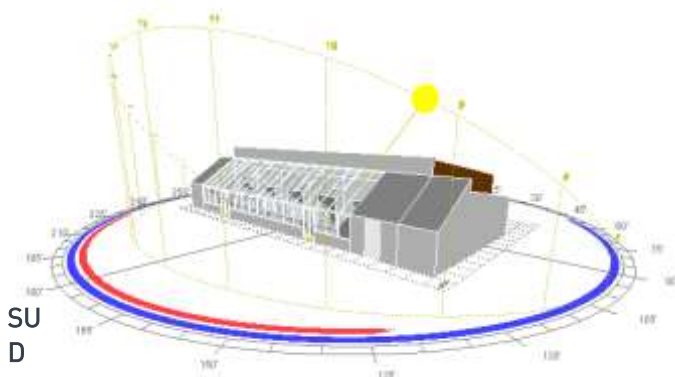
### (a) Trajectoire du soleil au cours de l'année

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.



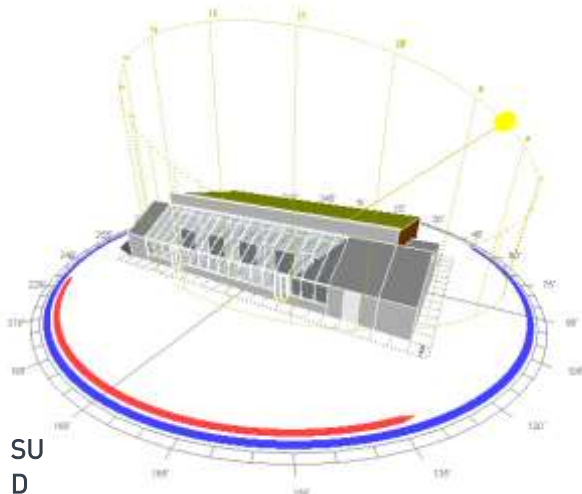
#### Hiver

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.

### (b) Conséquences pour les apports 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.

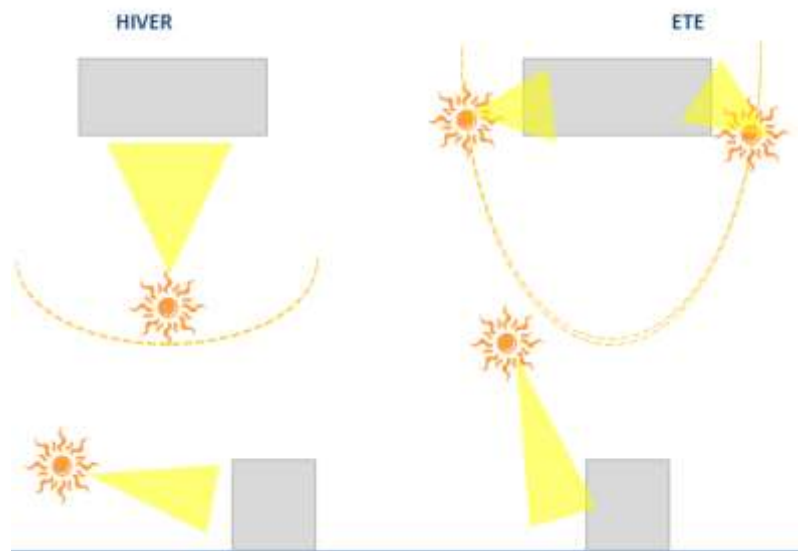
Il est évident que la réalité est toujours plus nuancée car l'architecte ne conçoit pas des bâtiments uniquement parallélépipédiques, ni orientés strictement Nord-Sud ou Est-Ouest.

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 :

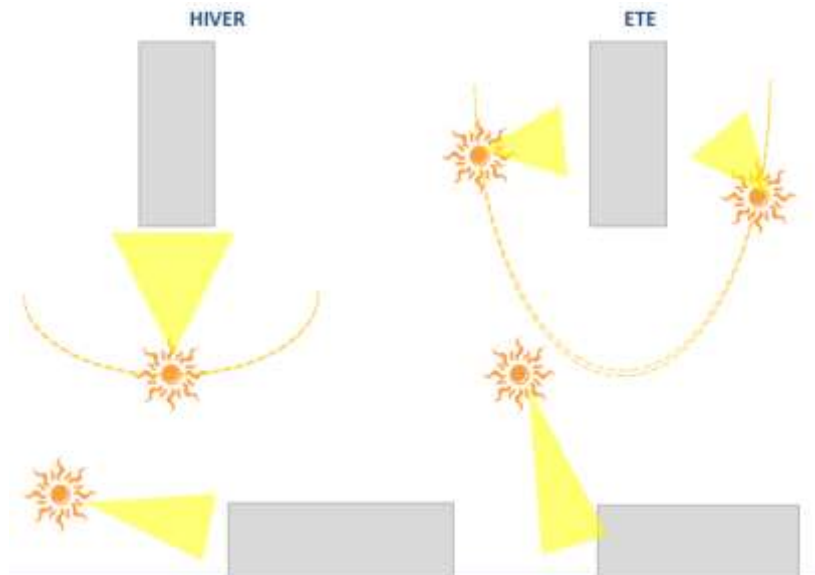
- en hiver : le bâtiment **profite d'apports solaires gratuits**, car le **soleil est bas sur l'horizon** avec un rayonnement incident proche de l'horizontal, qui pénètre donc facilement par les vitrages ;
- en été : **les apports solaires directs au Sud sont limités** car le soleil est très haut dans 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 développement 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 risques de surchauffes.



### (c) Préconisations d'ordre général

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.

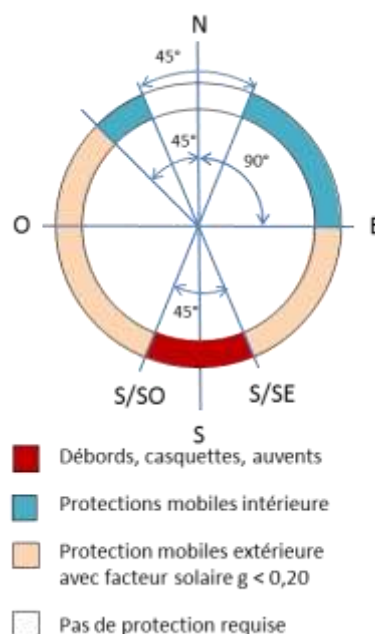


Figure 45: Protections solaires adaptées selon l'orientation (Source : La conception bioclimatique, Terre vivante)

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  $18^\circ$ . 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.*

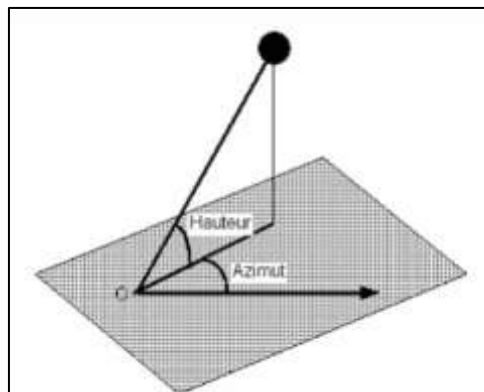


Figure 46: hauteur angulaire (source ENSTIB)

Sur un secteur accidenté, 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 :

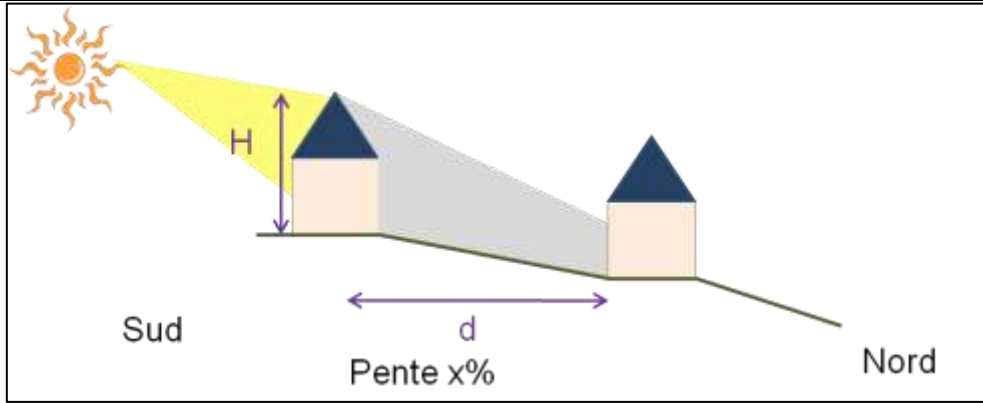


Figure 47: Paramètres à prendre en compte pour le calcul des marges de recul

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.

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



## 17.2. FICHE Energie solaire thermique

### 17.2.1. 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.

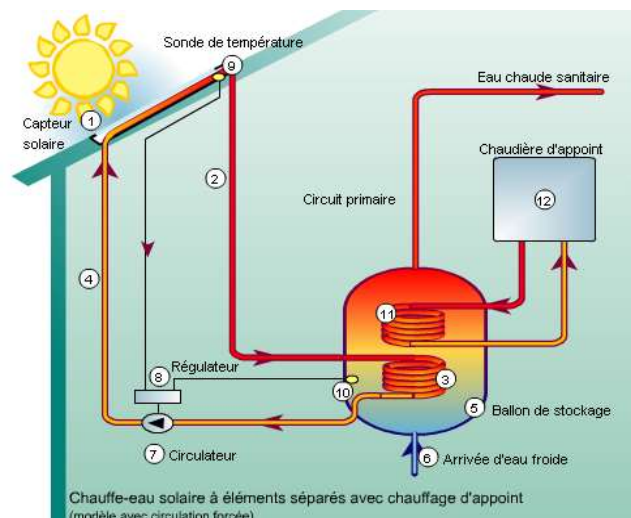


Figure 48 : principe de fonctionnement d'un' installation solaire thermique

### 17.2.2. 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.

### 17.2.3. Les schémas 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 légionnelles, 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.**

### 17.2.4. Préconisations

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 réglementation thermique (RT2012), en vigueur dans les bâtiments d'habitation impose, 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.**

## 17.3. 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, en fonction de la configuration et de l'architecture des constructions.

### 17.3.1. Membranes d'étanchéité 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 49 : exemple de membranes d'étanchéité installées sur un bâtiment industriel

### 17.3.2. 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 50 : modules Photowatt

## 17.4. FICHE Pompes à 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 51 : 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).

## 17.5. FICHE Energie éolienne

### 17.5.1. Présentation

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.

### 17.5.2. Grand éolien

#### 17.5.2.1) Définition

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.

#### 17.5.2.2) 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 52: Source Schéma éolien terrestre en Bretagne

### 17.5.3. Petit éolien

#### 17.5.3.1) Définition

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.



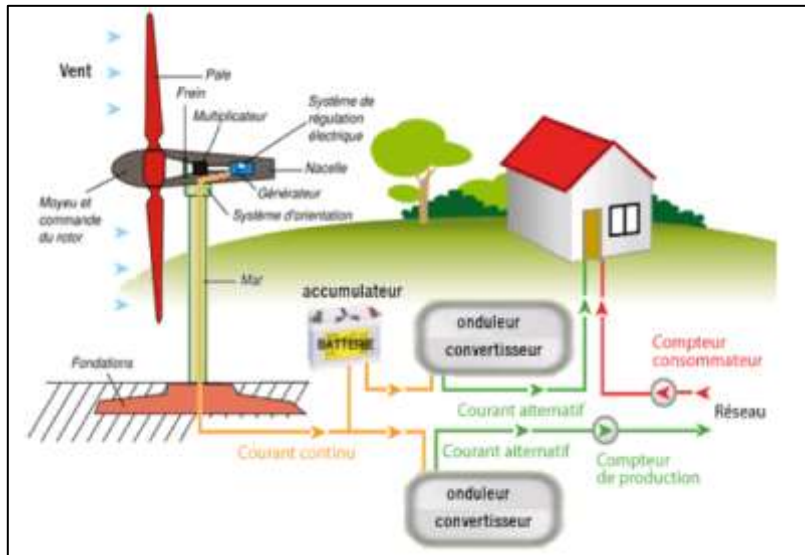


Figure 53: Source Synagri

Figure 54: Schéma de principe d'une installation éolienne (Source: Fiche pratique DDTM35)

### 17.5.3.2) Productibilité

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).



### 17.5.3.3) Réglementation

#### (a) 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	<i>Article R.421-2 du code de l'urbanisme</i>
> 50 m	Enquête publique Assujetties à la <b>législation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Elles doivent être situées à <b>plus de 500 mètres des zones destinées à l'habitation</b> ;</li> <li>✓ - Elles doivent se conformer à de <b>nouvelles prescriptions réglementaires</b> encadrant leur implantation et leur exploitation</li> </ul>	<i>Articles L. 553-2 et R. 122-9 du code de l'environnement</i> <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 55: Exigences et références réglementaires relatives à l'éolien (Source : [www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr))

#### (b) Suppression des Zones de développement éolien

La loi Brottes (n° 2013-312), promulguée 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>

## 17.6. FICHE Géothermie

### 17.6.1. LA GEOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE (TEMPERATURE INFÉRIEURE A 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 56 © ADEME - BRGM



### 17.6.2. La géothermie basse énergie (30 à 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 57 : © ADEME - BRGM

### 17.6.3. La géothermie moyenne énergie (90 à 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.

### 17.6.4. 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 58 : © ADEME - BRGM

#### 17.6.4.1) La géothermie profonde des roches chaudes fracturées (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 :

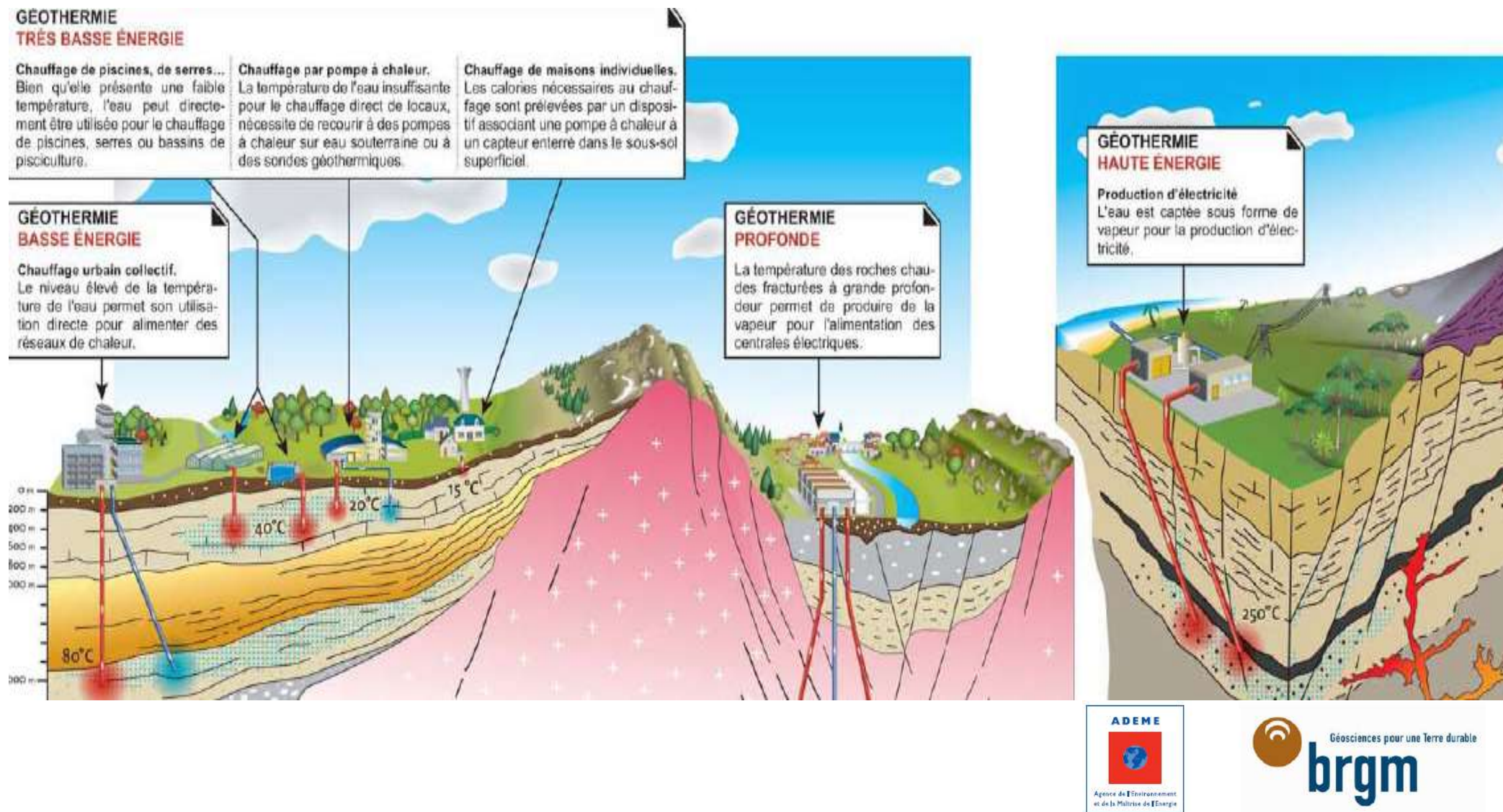


Figure 59 : Synthèse des techniques de géothermie © ADEME - BRGM



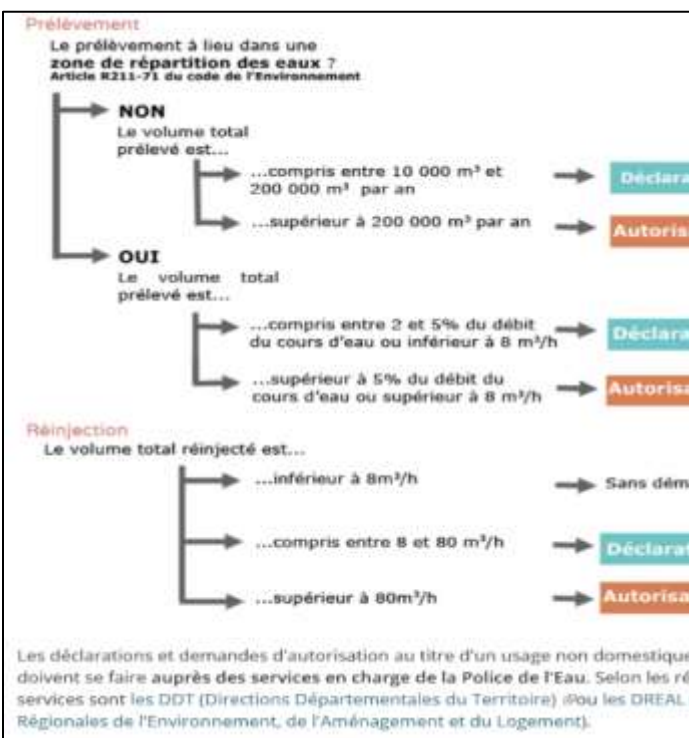
## 17.6.4.2) Réglementation



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

## 17.7. FICHE : Récupération d'énergie sur les eaux usées

Ils existent différentes techniques de récupération d'énergie sur les eaux usées :

### 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 process 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 capacité 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)

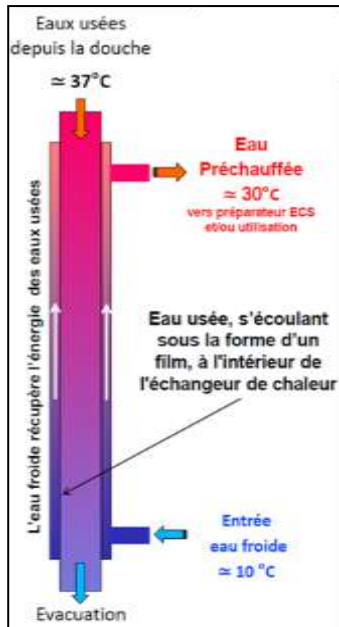
Cette solution nécessite obligatoirement une évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes. Elle peut permettre l'utilisation de matériel non spécifique aux eaux usées (échangeurs standards, PAC) et nécessite généralement des systèmes sophistiqués de filtrations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



## 17.8. FICHE énergie 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 ;
- un transformateur ;


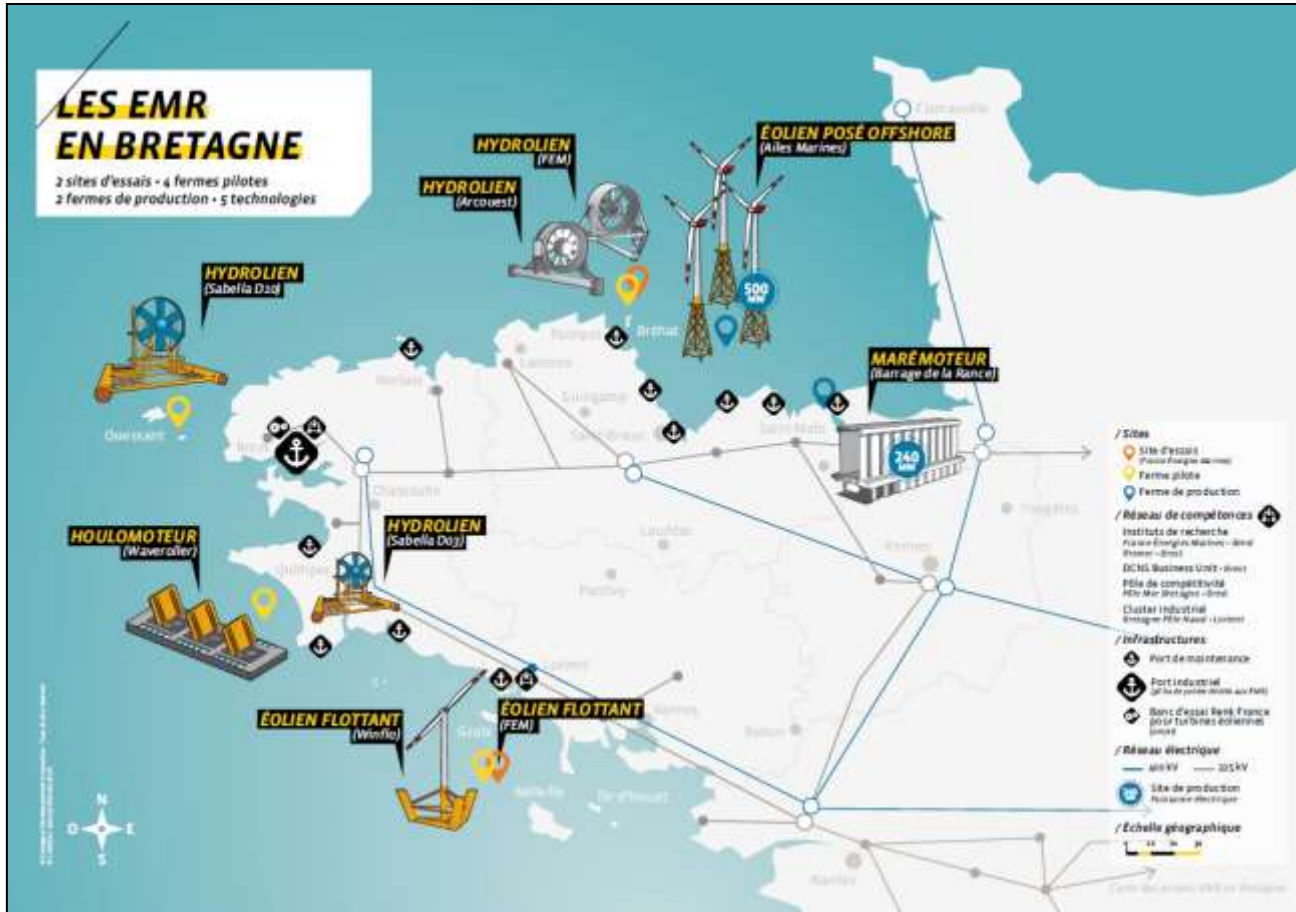
	<p>- les câbles sous-marins assurant la collecte et le transport de l'énergie jusqu'à la côte.</p>
<p><b>Eolien Flottant Offshore</b></p> 	<p>L'éolien maritime flottant utilise la force des vents en pleine mer, sur des sites qui peuvent - contrairement à l'éolien posé - dépasser 40m de profondeur.</p> <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><b>Barrage de la Rance</b></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 60: Panorama des technologies d'exploitation des EMR (<http://energies-marines.bretagne.fr/>)

La figure suivante présente les énergies marines renouvelables en Bretagne :



### 2 sites d'essais (FEM)

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.

En Bretagne, France Énergies Marines (FEM) permet l'accès à deux sites d'essais : Paimpol-Brehat et Groix. Ils sont tous les deux adossés à des fermes pilotes pour mutualiser les coûts d'investissement.

#### Le site hydrolien de Paimpol-Brehat

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.

#### Le site éolien de Groix

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.

### 4 fermes pilotes

Une ferme pilote est un site d'expérimentation EMR dédié à un seul projet.

#### HYDROLIEN / Arcouest

/ **Enjeu** : tester les principaux éléments d'hydroliennes de grande puissance (faisabilité technique, économique, environnementale et administrative)

/ **Porteurs du projet & technologie** : le 1<sup>er</sup> prototype d'hydrolienne Arcouest d'EDF a été conçu par DCNS/Openhydro.

/ **Dimensions & 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)

#### HYDROLIEN / Sabella D10

/ **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

/ **Technologie** : 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.

#### HOULOMOTEUR / Waveroller

/ **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

### EOLIEN FLOTTANT / WinFlo

/ **Enjeu** : réaliser la première éolienne flottante multi-MW française

/ **Porteur(s) du projet** : Winacelle (consortium Nass&Wind et DCNS) et Vergnet

/ **Centres R&D** : Ifremer, ENSTA Bretagne, LBMS Brest

/ **Technologie** : Free Floating Platform (FFP), éolienne offshore flottante en eaux profondes

sur plate-forme semi-submersible à ancres caténaires (facilité de maintenance)

/ **Dimensions & 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

### 2 fermes de production

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)

Figure 61: Carte des EMR en Bretagne (Bretagne développement Innovation)

---

## 17.9. FICHE Réglementation pour l'installation d'une petite centrale hydroélectrique

---

### 17.9.1. 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.

### 17.9.2. 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.

### 17.9.3. Enquête publique

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

### 17.9.4. Raccordement au réseau

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.

## 17.10. FICHE Bois énergie : 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
<b>Foyer fermé</b>	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
<b>Poêle à bois bûche</b>	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
<b>Poêle à granulés</b>	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
<b>Chaudière granulés</b>	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 décendrage. **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.



Comme pour le chauffage collectif au fioul ou au gaz, il est possible d'installer une chaudière granulée 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 décendrage et l'entretien annuel de la chaufferie. La valorisation des cendres doit également être prévue.

### 17.11.1. Principe de fonctionnement des chaudières 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.

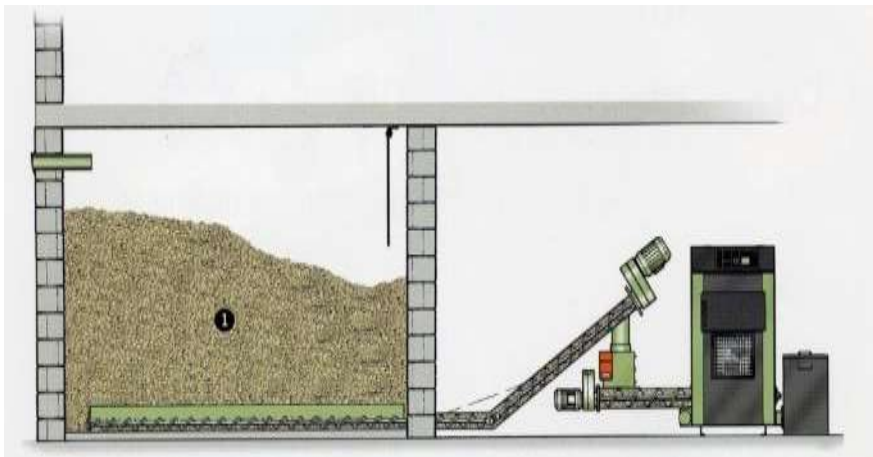


Schéma de principe d'une chaufferie bois.

### 17.11.2. Combustible

#### A 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> :
- de bois

Ces différentes  
et calibrées sur des  
conditionnement qui assurent l'approvisionnement des chaufferies.



palettes ou cageots en fin de vie  
d'éclaircies forestières

ressources sont regroupées, mélangées  
plateformes de stockage et de

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.

### 17.11.2.1) 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.

---

<sup>2</sup> DIB : déchets industriels banals



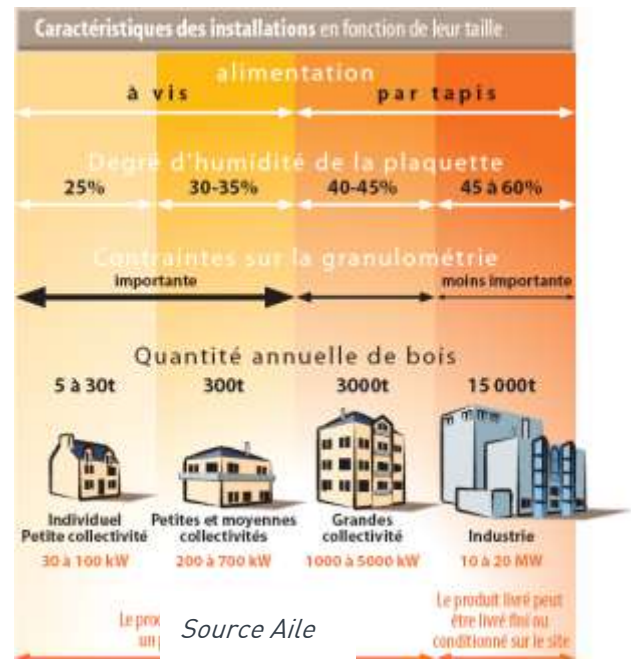
**Gestion des stocks :** le bois déchiqueté en hiver doit sécher 6 mois à 1 an. La production de l'année suivante devra être stockée séparément de manière à ne pas ré-humidifier de la plaquette sèche. Le hangar devra se prêter à ce type de gestion des stocks.

### 17.11.3. 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 ».



### 17.11.4. 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 (COVNM) : 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 ;

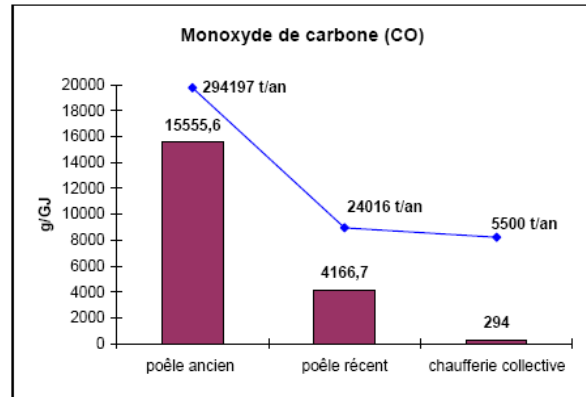
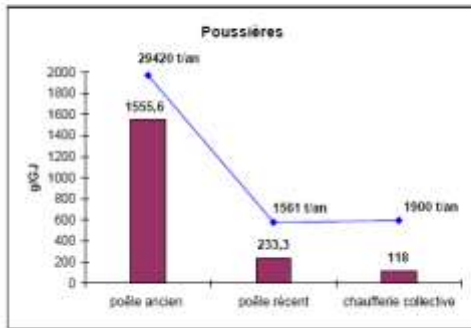
Le combustible utilisé est de qualité très variable ce qui impact considérablement la qualité de la combustion ;

- 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 déchiqueté

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 coulissante. 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 granulés

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

### 17.12.1. Définition

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.*

### 17.12.2. Bouquet énergétique

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
	Valorisation de chaleur fatale	Chaleur produite par un site, un process et non valorisée sur le site	Utilisation d'une ressource existante
<b>Energies fossiles</b>	Gaz naturel, fioul, charbon	Energies fossiles valorisées par combustion	Aucun en dehors de la cogénération Impact fort sur l'effet de serre

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.
<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 62 : 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 des opérations de construction..

### 17.12.3. Valorisation des réseaux 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
<b>Modulation du Cepmax</b>	+30%	+20%	+10%	0%

Figure 63 : 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

Bretagne	Cepmax	Cepmax avec bois énergie	<50 g/kWh	Entre 50 et 100 g/kWh	Entre 100 et 150 g/kWh	>150 g/kWh
<b>Maisons individuelles</b>	55	70	70	65	60	55
<b>Logements collectifs</b>	55	70	70	65	60	55
<b>Logements collectifs jusqu'au 31/12/2014</b>	63.25	80.5	80.5	74.75	69	63.25