

## ZAC de la Butte Cordelle

Le Coudray (28)



## Etude de faisabilité du potentiel de développement des énergies renouvelables

Mars 2021

<b>Date</b>	<b>Indice</b>	<b>Objet de la modification</b>	<b>référence</b>
<b>03/10/2018</b>	<b>A</b>	<b>Sortie du document</b>	<b>22184</b>
<b>15/03/2021</b>	<b>B</b>	<b>Mise à jour de l'étude d'impact</b>	<b>22184</b>

## Sommaire :

<b>1</b>	<b>DEFINITIONS ET RAPPELS REGLEMENTAIRES .....</b>	<b>5</b>
1.1	ENERGIE PRIMAIRE, FINALE, ET UTILE .....	5
1.2	REGLEMENTATION THERMIQUE – RT 2012 .....	6
<b>2</b>	<b>PRESENTATION DU PROJET ET ESTIMATION DE SES BESOINS .....</b>	<b>10</b>
2.1	PRESENTATION DU PROJET.....	10
2.2	ESTIMATION DES BESOINS DU PROJET .....	11
<b>3</b>	<b>POTENTIELS DE PRODUCTION .....</b>	<b>13</b>
3.1	L'ENERGIE SOLAIRE.....	13
3.2	L'ENERGIE EOLIENNE.....	23
3.3	ENERGIE HYDRAULIQUE, GEOTHERMIE ET HYDROTHERMIE.....	32
3.4	LES ENERGIES DE RECUPERATION .....	46
3.5	AEROTHERMIE .....	48
<b>4</b>	<b>LA MISE EN PLACE D'UN RESEAU DE CHALEUR .....</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>TABLEAU RECAPITULATIF .....</b>	<b>51</b>

# 1 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Dans le cadre de la loi Grenelle 1, cette étude vise à préciser le potentiel, propre au site, de production d'énergies d'origine renouvelable et d'exploitation d'énergies de récupération. Les principales sources d'énergie seront abordées pour déterminer en première approche le potentiel de chacune en termes de production d'énergie, électricité et chaleur.

*L'article L.128-4 du code de l'urbanisme stipule que « Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L. 300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération. »*

Le projet d'aménagement de la ZAC de La Butte Cordelle est soumis à étude d'impact, la présente étude a pour objet de répondre à la réglementation.

Elle vise à analyser les atouts et contraintes du projet, pour évaluer les possibilités de la valorisation du potentiel en énergie renouvelable.

Seul le périmètre de l'opération, la programmation globale, et les grandes orientations sont connus à ce jour.

De ce fait, elle comprend principalement un état des lieux des gisements, et un premier tri des possibilités, en fonction du contexte local et des objectifs.

La consommation énergétique globale est estimée, à titre informatif, pour donner un ordre de grandeur des besoins.

**L'étude devra être complétée ultérieurement par une analyse de la faisabilité technico-économique des différentes solutions, sur la base des données d'aménagement plus précises, de mesures sur site et d'expertises spécifiques.**

## 2 DEFINITIONS ET RAPPELS REGLEMENTAIRES

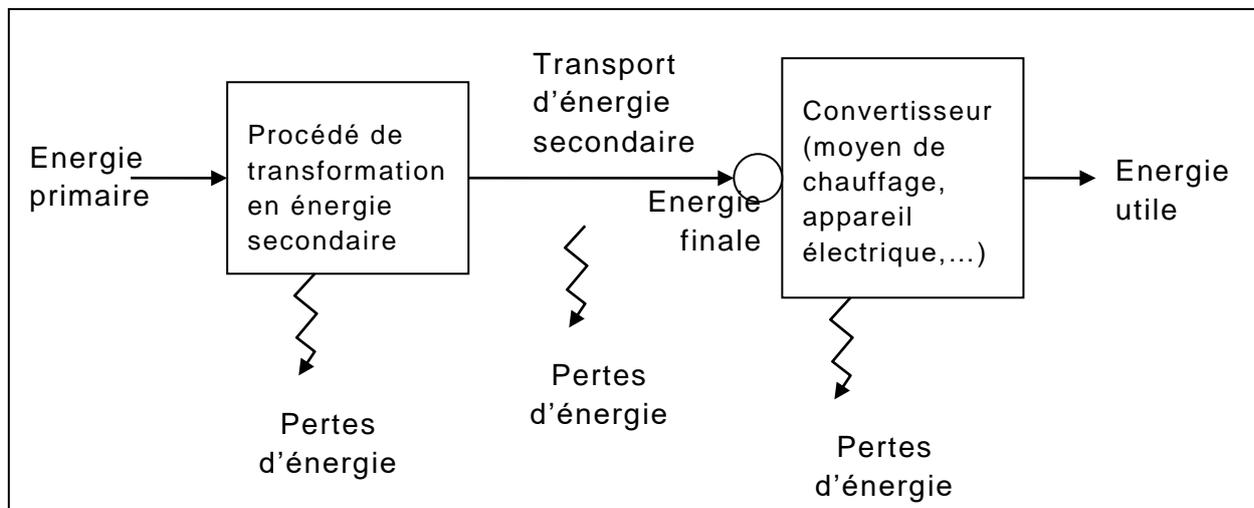
### 2.1 ENERGIE PRIMAIRE, FINALE, ET UTILE

On définit les différents types d'énergie de la façon suivante :

▪ **Energie primaire** : énergie brute, c'est-à-dire non transformée après extraction (houille, lignite, pétrole brut, gaz naturel, électricité primaire).

▪ **Energie finale ou disponible** : énergie livrée au consommateur pour sa consommation finale (essence à la pompe, électricité au foyer,...).

▪ **Energie utile** : énergie dont dispose l'utilisateur final après la dernière conversion par ses appareils (ex : chaleur dégagée par un radiateur).



Le **facteur de conversion** entre énergie primaire et énergie finale est une convention, qui dépend de l'origine de l'énergie. En France, les facteurs sont :

- Pour l'électricité du réseau = 2,58
- Pour les autres sources d'énergie (gaz, réseau de chaleur, énergie renouvelables,...) = 1

On peut également distinguer l'énergie selon son utilisation :

**L'énergie électrique spécifique** correspond à l'électricité nécessaire aux services qui ne peuvent être rendus que par l'usage de l'énergie électrique, tels que l'éclairage et l'électroménager. Elle ne prend pas en compte l'eau chaude, le chauffage et la cuisson, qui peuvent utiliser différents types d'énergie.

## **2.2 RÉGLEMENTATION THERMIQUE – RT 2012**

Face au changement climatique, le gouvernement français s'est engagé à ramener les émissions de gaz à effet de serre (GES) de la période de 2008 à 2012, au niveau de celles de 1990. Le secteur du bâtiment est, parmi les secteurs économiques, le plus gros consommateur en énergie et donc en conséquence, un des leviers d'action.

La nouvelle réglementation thermique concernant la construction neuve s'appuie sur :

- *la directive européenne du 16 décembre 2002 qui demande aux Etats membres de mettre en place des exigences minimales de performance énergétique pour les bâtiments neufs ;*
- *le plan Climat 2004 qui spécifie clairement l'objectif de la réglementation thermique des constructions neuves (une amélioration de la performance de la construction neuve d'au moins 15% pour atteindre au moins 40% en 2020, une limitation du recours à la climatisation et la maîtrise de la demande en électricité) ;*
- *et enfin la loi de programmation du Grenelle de l'Environnement qui donne des objectifs de performance précis pour les bâtiments neufs à horizon 2012 et 2020 grâce notamment à la nouvelle réglementation thermique (RT2012) ;*

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2013, la RT 2012 s'applique à **tous les bâtiments neufs, à l'exclusion :**

- *Des constructions provisoires prévues pour une durée d'utilisation de moins de 2 ans,*
- *Des bâtiments ou parties de bâtiments dont la température normale d'utilisation est inférieure ou égale à 12°C ;*
- *Des bâtiments ou parties de bâtiments destinés à rester ouverts sur l'extérieur en fonctionnement habituel ;*
- *Des bâtiments et parties de bâtiments qui, en raison de contraintes spécifiques liées à leur usage, doivent garantir des conditions particulières de température d'hygrométrie ou de qualité de l'air, et nécessitant de ce fait des règles particulières ;*
- *Des bâtiments ou parties de bâtiment chauffés ou refroidis pour un usage dédié à un procédé industriel*
- *Des bâtiments agricoles ou d'élevage ;*
- *Des bâtiments servant de lieux de culte et utilisés pour des activités religieuses ;*
- *Des bâtiments situés dans les départements d'outre-mer.*

La RT 2012 définit la consommation conventionnelle d'énergie d'un bâtiment neuf par un **coefficient d'énergie primaire** (cep) exprimé en kWh/(m<sup>2</sup>.an).

Il comprend la consommation électrique ou thermique liée au chauffage, au refroidissement, à la production d'eau chaude sanitaire, à la ventilation, à l'éclairage, mais pas aux consommations électriques n'entrant pas dans l'une de ces catégories (matériel informatique, électroménager, etc.).

Il faut aussi déduire de cette consommation la production locale à partir d'énergies renouvelables<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Se référer à l'arrêté du 26 octobre 2010

**La valeur cible de la RT 2012 est un cep maximal de 50 kWh/(m<sup>2</sup>.an)** (niveau de performance énergétique équivalent au label des Bâtiments Basse Consommation BBC) modulable selon différents critères géographiques<sup>1</sup>.

La consommation conventionnelle maximale est alors définie comme suit :

$$\text{Cep max} = 50 \times \text{Mctype} \times (\text{Mcgeo} + \text{Mcalt} + \text{Mcsurf} + \text{Mcges})$$

- Mc type : type de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2 ;
- Mc géo : localisation géographique ;
- Mc alt : altitude ;
- Mc surf : surface moyenne des logements du bâtiment ;
- Mc GES : émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées. Bois (ou biomasse) : 0.30  
Réseaux de chaleur : 0.30/0.20/0.10 respectivement si contenu CO<sub>2</sub> ≤ à 50/100/150 g/kWh

La surface considérée dans le calcul est aussi définie dans l'arrêté de la RT2012 mais sera confondue ici avec la Surface De Plancher (SdP) au regard de la précision des données du projet et de celle voulue par l'étude.

**Pour les bâtiments existants**, les mesures réglementaires sont différentes selon l'importance des travaux entrepris par le maître d'ouvrage :

*- Pour les rénovations très lourdes de bâtiments de plus de 1000 m<sup>2</sup>, achevés après 1948, la réglementation définit un objectif de performance globale pour le bâtiment rénové. Ces bâtiments doivent aussi faire l'objet d'une étude de faisabilité des approvisionnements en énergie préalablement au dépôt de la demande de permis de construire ;*

*- Pour tous les autres cas de rénovation, la réglementation définit une performance minimale pour l'élément remplacé ou installé<sup>2</sup>. « Préalablement au dépôt de permis de construire, le maître d'ouvrage réalise une étude de faisabilité technique et économique des diverses solutions d'approvisionnement en énergie du bâtiment. »<sup>3</sup>*

A l'horizon 2020, il est envisagé la RT 2020, qui mettra en œuvre, le concept de bâtiment à énergie positive (BEPOS<sup>4</sup>). Ces futures réglementations sont des réglementations d'objectifs, elles laissent la liberté de conception tout en limitant la consommation d'énergie.

---

<sup>1</sup> Se référer aux arrêtés du 26 octobre 2010 et du 28 décembre 2012 relatifs aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

<sup>2</sup> <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-Batiments-existants-.html>

<sup>3</sup> Décret n° 2007 – 363 du 19 mars 2007 relatif aux études de faisabilité des approvisionnements en énergie, aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants et à l'affichage du diagnostic de performance énergétique

<sup>4</sup> Des bâtiments qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment.

## **Quelques remarques**

Sur l'utilisation des valeurs seuils de la RT : dans le cadre de la réglementation, il ne s'agit pas d'estimer des consommations, même si le terme sera utilisé de façon abusive, mais plutôt une performance énergétique du bâti. La consommation réelle dépend en effet de trop de paramètres incontrôlables en amont, tels que les comportements des usagers, qui peuvent faire s'éloigner les consommations réelles des prévisions de plusieurs dizaines de pourcents. Ainsi, si l'on prend les normes précédentes comme base de calcul pour estimer des besoins, ils ne reflèteront pas nécessairement les besoins de production, et ces derniers devront être plutôt considérés comme des minima.

Sur la production/consommation électrique : en dehors de zones non raccordées au réseau national, l'électricité produite localement sera de toute façon transmise au réseau, puisque la consommation locale et la production ne coïncident généralement pas à un moment donné, et que l'électricité se stocke très mal. Par conséquent, la consommation « normale » d'électricité par le projet sera assurée par un raccordement au réseau. En résumé, une production locale d'électricité ne se substitue pas localement à la consommation à partir du réseau. Puisque l'électricité produite localement n'est pas à proprement parler consommée sur place, la comparaison entre une production locale et le besoin électrique d'un projet sera limitée à des bilans globaux (annuels, en général) de type « production-besoin » sans considérer la variation des besoins et des capacités de production dans le temps.

Sur la production/consommation locale de chaleur : en revanche, la consommation de chaleur pourra et devra être faite sur place, la chaleur se transportant moins bien mais pouvant se stocker mieux que l'électricité. La distinction entre la chaleur utilisée pour le chauffage et celle utilisée pour l'ECS est importante dans la mesure où les besoins varient différemment dans l'année, le besoin en ECS étant moins soumis au cycle des saisons. Toutefois, nous ne tiendrons pas compte de ces variations en 1<sup>ère</sup> approche, et nous considérerons donc les besoins de chaleur dans leur ensemble.

## **2.3 LA RÉGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE FUTURE - LA RE 2020**

Les ambitions de la nouvelle réglementation environnementale (RE 2020), **qui s'appliquera à partir de janvier 2022 à tous les bâtiments neufs**, sont définies ainsi : lutter contre le changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment, y compris lors de sa construction, diminuer les consommations énergétiques, et mieux conserver de la fraîcheur dans les bâtiments lors des vagues de chaleur. Au total, il s'agit de modifier en profondeur la façon de concevoir et de construire les bâtiments de demain.

Elle intègre donc à la fois un volet énergie et un volet carbone, dans la droite ligne de l'expérimentation du label E+C-

Les textes réglementaires ne sont pas encore parus au jour de la rédaction de la présente étude, cependant, le principe affiché est d'avoir une réglementation d'objectif, laissant une liberté totale de conception, limitant simplement la consommation d'énergie. En particulier, les nouveaux bâtiments devront être à énergie positive ("BEPOS"),

Les bâtiments à énergie positive sont des bâtiments qui produisent plus d'énergie (chaleur, électricité) qu'ils n'en consomment. Ce sont en général des bâtiments passifs très performants et fortement équipés en moyens de production énergétique par rapport à leurs besoins en énergie. Les murs, toits, voire fenêtres peuvent être mis à profit dans l'accumulation et la restitution de la chaleur ou dans la production d'électricité. L'excédent en énergie se fait grâce à des principes bioclimatiques et constructifs mais aussi par le comportement des usagers qui limitent leur consommation. Une consommation moyenne de l'ordre de 50 kWh/m<sup>2</sup>/an est généralement constatée.

## 3 PRESENTATION DU PROJET ET ESTIMATION DE SES BESOINS

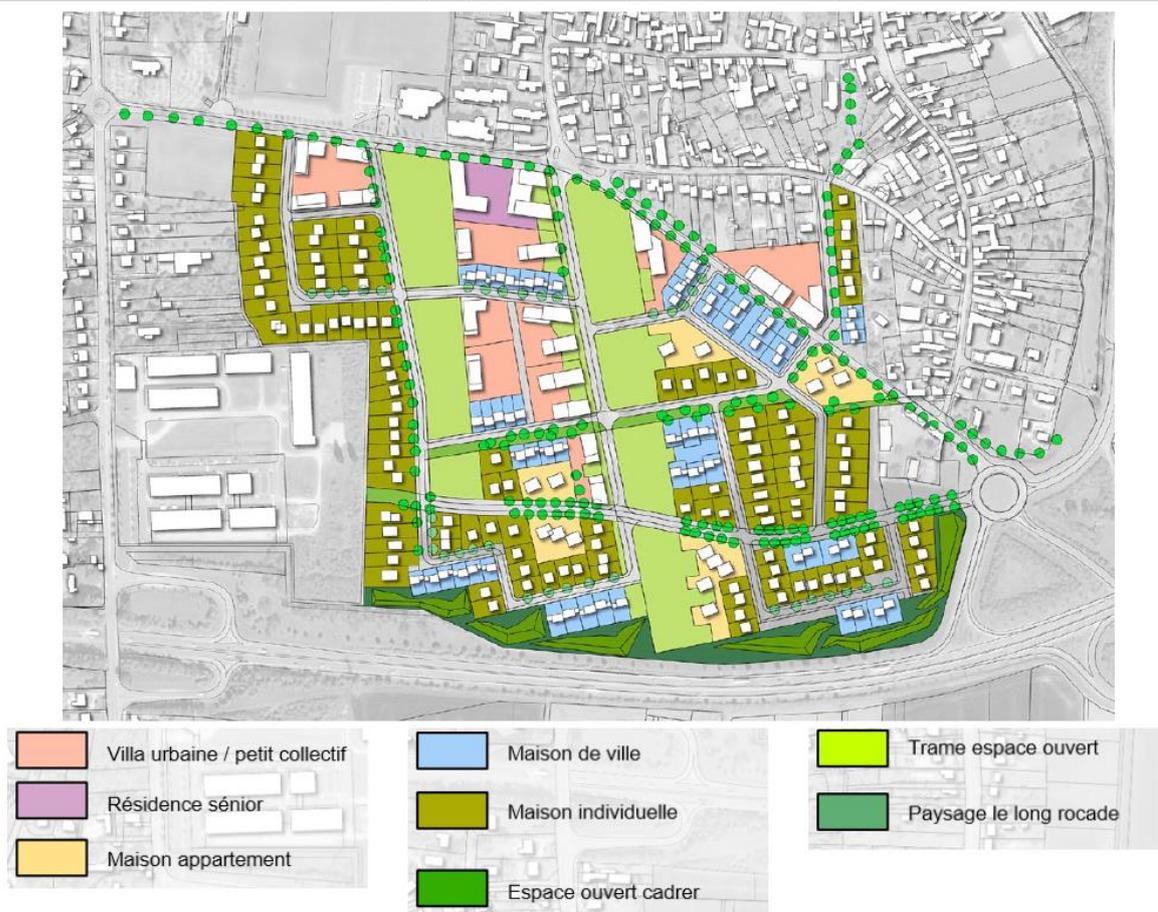
### 3.1 PRÉSENTATION DU PROJET

La zone d'Aménagement Concertée (ZAC) de la Butte Cordelle est destinée à accueillir environ 750 logements mixtes soit, des maisons individuelles, maisons de ville, maisons appartements, villas urbaines et petits collectifs.

Compte tenu de la diversité des logements, les lots proposés auront des superficies pouvant aller de 350 m<sup>2</sup>, pour les maisons appartement, à 750 m<sup>2</sup>, pour les maisons individuelles, développant ainsi une surface de plancher (SDP) estimée à environ 70 000 m<sup>2</sup> afin de répondre à un maximum de besoins.

#### Plan masse du projet

Source: Définition du projet urbain/ programmation - EAI, Janvier 2021



## **3.2 ESTIMATION DES BESOINS DU PROJET**

En l'état d'avancement du projet, il nous est impossible de définir avec exactitude les consommations futures des bâtiments. Celles-ci dépendent en effet de la réglementation, qui évoluera encore avant que le projet ne soit achevé, et surtout des usages spécifiques des constructions.

Les estimations présentées ci-dessous ont pour objectif de donner un ordre de grandeur.

Les besoins ont été évalués à partir d'hypothèses de consommations énergétiques de bâtiment respectant à minima la réglementation RT 2012.

Les besoins électriques des bâtiments comprennent l'ensemble des besoins des équipements électriques, à savoir les postes réglementaires au sens du calcul thermique (éclairage, ventilation et auxiliaires), ainsi que les consommations engendrées par les autres équipements des bâtiments.

### **Besoins pour les bâtiments neufs à usage de « logements »**

	Logements	
	Par m <sup>2</sup>	Pour 70 000 m <sup>2</sup> SDP
Besoins en eau chaude	20 KWhut/m <sup>2</sup> /an	1 400 MWhut/an
Besoins en chauffage	30 KWhut/m <sup>2</sup> /an	2 100 MWhut/an
Besoins en électricité	35 KWhut/m <sup>2</sup> /an	2 450 MWhut/an
<b>Total</b>	<b>85 KWhut/m<sup>2</sup>/an</b>	<b>5 950 MWhut/an</b>

### **Note sur la relation entre puissance installée et énergie produite/consommée**

La puissance, dite nominale, d'une installation est la quantité d'énergie qu'elle peut produire pendant un temps donné, sous des conditions optimales. Le choix d'un raisonnement en puissance (kW) ou en énergie (kWh) dépendra surtout des ratios de production des différentes techniques, qui s'expriment le plus souvent sous l'une ou l'autre de ces formes. Le passage de l'un à l'autre ne sera toutefois pas forcément pertinent sans hypothèse sur les variations de besoins/production au cours d'une année. En effet, une puissance qui peut sembler élevée au regard des besoins annuels moyens peut juste suffire à assurer les besoins en période de forte demande (hiver). A l'opposé, une

puissance qui paraît correspondre aux besoins peut ne pas suffire en période de forte demande, une puissance d'appoint supplémentaire étant alors nécessaire.

En résumé, pour les ratios précédents, ceux exprimés en puissance auront tendance à surestimer les besoins en énergie, tandis que ceux exprimés en énergie auront tendance à sous estimer les besoins en puissance.

## 4 POTENTIELS DE PRODUCTION

### 4.1 L'ÉNERGIE SOLAIRE

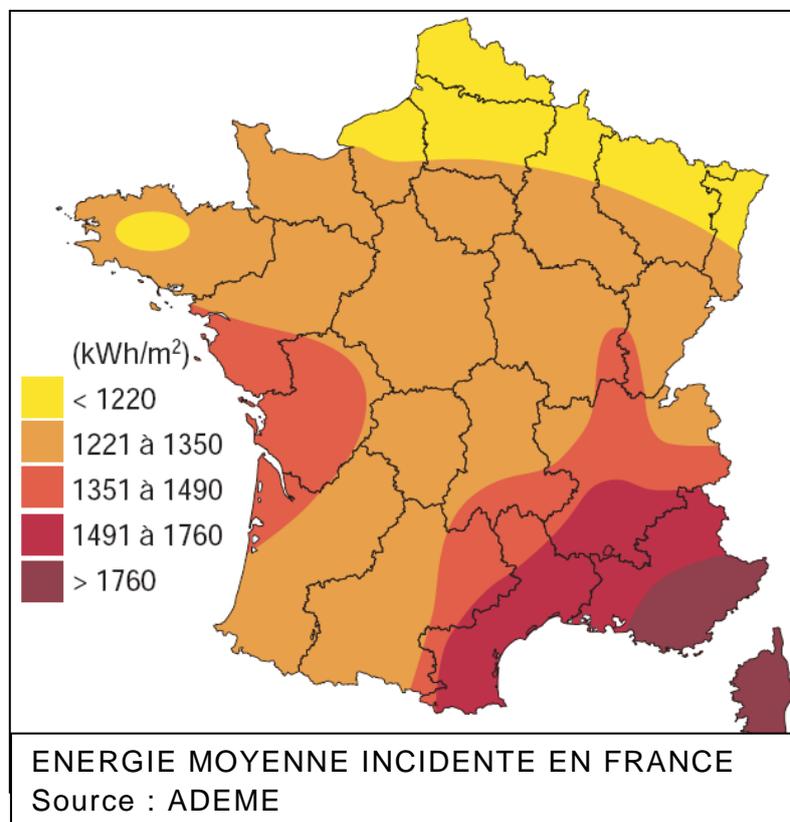
L'utilisation du rayonnement solaire comme source d'énergie a aujourd'hui deux domaines d'application :

- la production de chaleur
- la production d'électricité

La productivité des installations dans ces 2 domaines dépend directement de l'intensité moyenne du rayonnement sur une zone considérée, l'énergie produite ou récupérée étant plus ou moins proportionnelle à l'énergie naturellement reçue. Des cartographies existent pour évaluer ce rayonnement annuel moyen en fonction de la zone géographique, sans tenir compte de paramètres locaux propres à chaque secteur (brouillard, relief, etc.) comme l'illustre celle ci-contre.

L'intérêt de telles cartographies est limité dans la mesure où c'est l'énergie récupérée qui importe, plutôt que l'énergie naturelle incidente. Elles permettent néanmoins d'avoir une idée de l'énergie maximale récupérable (s'il n'y avait pas de pertes entre le captage et l'utilisation finale) et la comparaison entre zones géographiques.

Certaines établissent tout de même une corrélation avec la production d'énergie résultante par des installations standards, en particulier dans le cas de la production d'électricité.



### 4.1.1 La production de chaleur par panneaux solaires thermiques

L'énergie du rayonnement solaire infrarouge est directement captée et stockée, sous forme de chaleur, dans un fluide caloporteur. Ce fluide transmet ensuite sa chaleur à l'eau sanitaire (cas du chauffe eau solaire individuel ou CESI) ou en même temps à l'eau de chauffage (cas des systèmes solaires combinés ou SCC), par un échangeur de chaleur (sorte de plaques ou tuyaux permettant l'échange de chaleur sans contact entre les fluides).

Cette énergie peut aussi servir de source chaude aux systèmes thermodynamiques de climatisation solaire. Différents procédés existent, à absorption, à adsorption ou à dessiccation/évaporation.

Enfin, des installations solaires permettent la concentration des rayons solaires pour chauffer un fluide jusqu'à évaporation, et ensuite entraîner une turbine pour produire de l'électricité. Ces systèmes de fortes puissances sont des projets à part entière, au même titre qu'un parc éolien par exemple, et sauraient difficilement trouver leur place en milieu urbain, indépendamment du potentiel du site. On peut citer pour information :

Les systèmes Dish Sterling à concentrateurs paraboliques et moteur Sterling au foyer (photo : prototype à Odeillo en Espagne)



Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques (photo : centrale LUZ en Californie de 354 MW)

Les tours solaires (photo : centrale à héliostat de 35 MW à Séville en Espagne)



La chaleur devant être consommée localement, elle doit donc être stockée pour être restituée aux moments voulus. La question du stockage de la chaleur inclut aussi la température de l'eau de chauffage désirée et la couverture des besoins en fonction du volume d'eau stockée (en tenant compte des pertes de chaleur de l'installation). Ainsi, pour un même ensoleillement et une même surface de capteurs, la couverture des besoins pourra varier fortement selon le dimensionnement de l'installation en aval.

Quelques exemples de capteurs solaires, variant par leur forme, leur mise en œuvre, leur performance et leur application.

Les capteurs plans vitrés, les plus communs, qui peuvent servir à la production d'ECS et au chauffage avec appoint. Ils peuvent être intégrés à la toiture ou fixés dessus en surimposition.



**Les capteurs sous vides, rigides, qui possèdent en général un rendement meilleur que les capteurs plans pour des températures plus élevées (au-dessus de 30°C), et peut servir au chauffage, à la production d'ECS et dans des systèmes de climatisation solaire.**

Les capteurs à absorbeurs métalliques, non vitrés, semi-rigides et moins souples que les capteurs moquettes, mais avec un meilleur rendement. Ils peuvent par exemple servir au préchauffage de l'ECS. Ils permettent en outre une bonne intégration au bâti, notamment pour des bâtiments existants, mais ne sont pas orientables.





Les capteurs dits « moquette » non vitrés, sont souples mais ont un mauvais rendement. Ils peuvent par exemple servir au chauffage de l'eau d'une piscine, mais pas à la production d'ECS.

### **Application au projet**

Etant donné la densité du projet et les surfaces de toiture potentiellement disponibles, les solutions de récupération de chaleur par panneaux solaires de type capteurs plans ou capteurs sous vide semblent privilégiées **pour le chauffage et la production d'ECS.**

### ***Faisabilité***

Un calcul très simplifié montre que :

- Energie fournie par 1 m<sup>2</sup> de panneau solaire thermique plan sur une année : 500 kWh/m<sup>2</sup>/an<sup>1</sup>.
- Besoins globaux en chauffage et ECS du projet : 3 500 MWh/an

=> surface de panneau correspondant au besoin global : **7 000 m<sup>2</sup>**

Nota : le calcul ci-dessus est très approximatif, puisqu'il est basé sur des besoins annuels en chaleur, alors que la surface de panneaux et le volume de l'élément de stockage de la chaleur doivent être définis en fonction des variations journalières, voire saisonnières, des besoins. En pratique, même si l'énergie récupérée sur une année équivaut aux besoins, l'installation suffit rarement à satisfaire les besoins en chauffage en périodes de pointe journalières ou annuelles (couverture des besoins de l'ordre de 30 à 40% dans le Nord, le reste étant couvert par un chauffage d'appoint).

### **Premières conclusions**

**La technologie solaire thermique est une solution au potentiel a priori intéressante compte tenu des besoins du projet mais dont la rentabilité reste à préciser à l'échelle du bâtiment, en fonction de la forme du bâti et**

---

<sup>1</sup> Des opérations répertoriées par l'ADEME pour du logement collectif dans différentes régions de France donnent des valeurs allant de 430 à 790 kWh/m<sup>2</sup>.an, sans lien direct apparent avec la localisation des projets.

de l'usage (chauffage, ECS ou les 2 à la fois) et de la solution d'appoint choisie.

Les surfaces importantes de toitures développées par rapport à la SdP sont aussi un atout pour cette technologie.

Un travail devra également être fait en parallèle de l'élaboration du plan masse sur les hauteurs et orientations de bâtiments, afin d'accroître les potentialités d'utilisation de l'énergie solaire, et favoriser le chauffage naturel par simple respect de la bioclimatique.

#### 4.1.2 La production d'électricité par panneaux solaires photovoltaïques

L'énergie du rayonnement solaire capté sert à créer un courant électrique – par effet photovoltaïque sur certains matériaux – qui sera ensuite transmis sur le réseau électrique national, un réseau local ou bien stocké dans des batteries.

Différents types de cellules photovoltaïques existent avec des rendements variables (cf. tableau suivant). La puissance d'un module photovoltaïque s'exprime en Watt crête (Wc).

		Rendement en %	Surface en m <sup>2</sup> par kWc	Contrainte de coût/m <sup>2</sup>
TECHNOLOGIES CRISTALLINES	Silicium polycristallin	12 à 15	10	+++
	Silicium monocristallin	15 à 18	8	++++
	Silicium en ruban	12 à 15	10	+++
TECHNOLOGIES COUCHES MINCES	Silicium amorphe (a-Si)	6	16	+
	Tellure de cadmium (CdTe)	7 à 10	12 à 16	++ Source : HESPUL

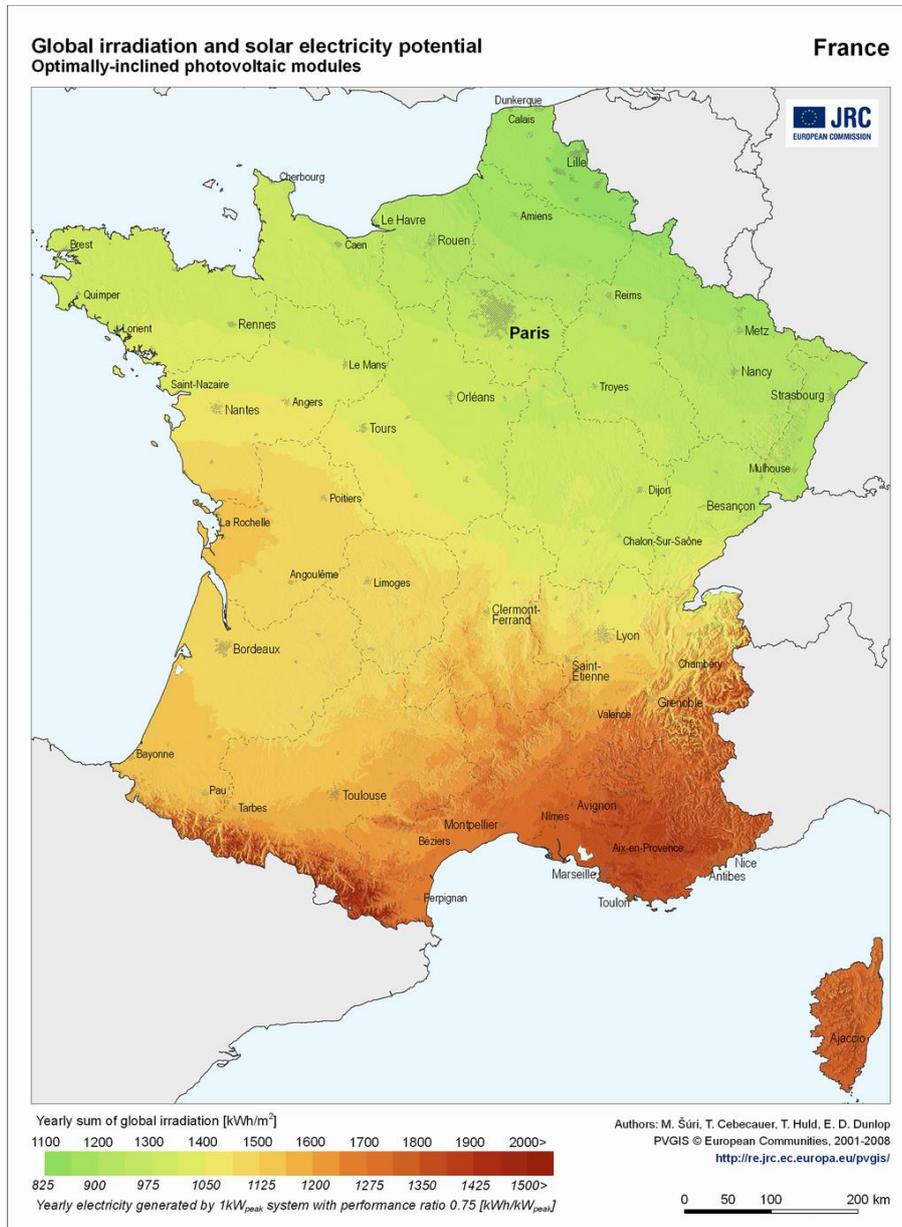
Source : Schéma Régional Solaire

#### ▪ Les possibilités de raccordement au réseau électrique public

Le site est aujourd'hui à proximité de réseaux électriques basse et moyenne tension. Il nécessitera une extension des réseaux existants. Sous réserve de la capacité actuelle du réseau, le raccordement ne semble poser aucune contrainte particulière.

## ▪ Le potentiel de production local d'électricité

L'ensoleillement dans le secteur du Coudray, près de Chartres, se situe, d'après différentes cartes, aux alentours de 1200-1300 kWh/m<sup>2</sup>.an.



Une estimation basée sur le logiciel du PVGIS<sup>1</sup> (PhotoVoltaic Geographical Information System) permet une évaluation rapide du potentiel de production d'installations photovoltaïque standard au kWc de puissance installée<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>

<sup>2</sup> 1 kWc de puissance installé correspond à environ 10 m<sup>2</sup> de panneaux en silicium cristallin.

Les hypothèses sont les suivantes :

- technologie des capteurs : silicium cristallin
- puissance nominale installée : 1 kWc
- pertes du système (câbles, onduleur,...) : 14% (valeur par défaut du logiciel)
- pertes globales du système (calculée par le logiciel en ajoutant les pertes dues à la température, à la réflexion,...) : 19.3 %
- panneaux intégrés au bâti
- inclinaison des panneaux optimisée sur l'année (environ 35° par rapport à la verticale au Coudray)
- orientation plein Sud
- pas de système d'héliostat (pas de suivi de la trajectoire du soleil) – un tel système, que l'on trouve dans les centrales solaires, permet des gains de productivité de l'ordre de 30 %.

<b>Mois</b>	<b>Irradiation journalière moyenne (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Irradiation mensuelle moyenne (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Production mensuelle d'électricité (kWh/kWc)</b>
<b>Janvier</b>	1,64	43.2	36.3
<b>Février</b>	3.05	70.9	60.7
<b>Mars</b>	5.07	125	105
<b>Avril</b>	6.97	157	127
<b>Mai</b>	7.08	162	130
<b>Juin</b>	7.6	163	128
<b>Juillet</b>	7.61	173	134
<b>Août</b>	6.81	162	127
<b>Septembre</b>	6.04	139	111
<b>Octobre</b>	3.69	93.5	77.2
<b>Novembre</b>	1.99	50.2	41.9
<b>Décembre</b>	1.75	44.8	38.2
<b>Moyenne sur l'année</b>	4.93	115.3	100.7
<b>Total sur l'année</b>		<b>1383</b>	<b>1209</b>

Les valeurs de production sont données par une formule du type  $E = k.P.H$ , où :

- E est l'énergie électrique produite par l'installation en kWh/m<sup>2</sup>,
- k est le rendement de l'installation hors pertes des capteurs, appelé aussi facteur de conversion (en pratique de l'ordre de 75%),
- P est la puissance nominale de l'installation,
- H est l'irradiation reçu par le module en kWh/m<sup>2</sup>.

L'estimation ci-dessus donne donc une productivité de 1209 kWh/kWc.an, soit, rapporté au m<sup>2</sup> de panneau installé, de l'ordre de 120 kWh/m<sup>2</sup>.an, en comptant les pertes de l'installation.



**Panneaux photovoltaïques en surimposition sur toiture existante en bacs acier - puissance de 7,35 kW (Lyon, 2006)**



**Membrane photovoltaïque amorphe sur toiture des entrepôts Sisley à Saint-Ouen-l'Aumône (95) - surface de 35000 m<sup>2</sup>, puissance estimée à 848 kWc (source : cahiers techniques du bâtiment n°305 – avril 2011)**

**Panneaux photovoltaïques en 2010 sur la toiture du club house du Golf de Mérignies (59) – puissance de 7,7 kWc**

### Premières conclusions

Comme pour la technologie solaire thermique, le solaire photovoltaïque pourra profiter des surfaces importantes de toitures. Le potentiel de production par rapport aux besoins reste modeste.

Un travail devra également être fait en parallèle de l'élaboration du plan masse sur les hauteurs et orientations de bâtiments, afin d'accroître les potentialités d'utilisation de l'énergie solaire, et favoriser le chauffage naturel par simple respect de la bioclimatique.

## 4.2 L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

### 4.2.1 La production d'électricité par éolienne

Une éolienne est un dispositif visant à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique utilisable soit directement, dans le cas de pompes, soit pour produire de l'électricité dans le cas d'aérogénérateurs.

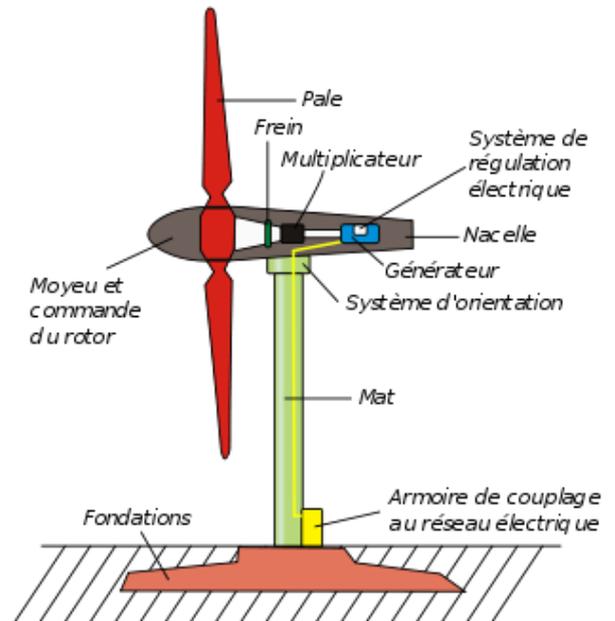
Quelques types d'éoliennes :

- **Les éoliennes à axe horizontale** : les plus répandues, à la conception la plus simple et au rendement globalement meilleur. Elles utilisent l'effet de portance sur leurs pales pour leur mise en mouvement (comme les ailes d'avion). Elles doivent être orientées dans la direction du vent et sont pour cela souvent couplées à un système d'orientation.



**Eolienne de type Darrieus à axe horizontal en toiture à Equihen en France (puissance : 6 kW)**

(source : H2-développement)



Source : wikipediEolienne à axe horizontal du lycée Léonard de Vinci à Calais hauteur 35 m, puissance 132 kW (source : ARENE)

## - Les éoliennes à axe vertical

On peut distinguer 2 grands types :

**Eoliennes de type Savonius** : elles sont constituées de 2 demi-godets légèrement désaxés. Elles sont peu bruyantes, peuvent démarrer à des vitesses de vent faibles et ont un couple important quoique variable au cours de la rotation. L'augmentation rapide du poids avec la puissance fait qu'elles sont peu adaptées à la production de grande puissance. Des variantes à écran ou à voilure existent, ou les pales sont orientées selon la direction du vent. Elles ont un rendement assez faible.



Source : Pcon



Source : Quietrevolution

**Eoliennes de type Darrieus** : elles utilisent l'effet de portance sur des profils dépassant de l'axe du rotor. Leur inconvénient majeur est qu'elle nécessite une force extérieure, comme un moteur, au démarrage.

L'exploitation de l'énergie éolienne pour la production d'électricité peut se faire à petite échelle par des éoliennes de faibles ou moyennes puissances dites « urbaines » de quelques kW à quelques centaines de kW on parle de micro, petit ou moyen éolien), ou à plus grande échelle grâce à des parcs éoliens composés de plusieurs éoliennes de plusieurs MW.

En dehors de l'électrification rurale des zones non reliées au réseau électrique national, la production à petite échelle reste limitée à l'alimentation de particuliers, et nécessitent alors l'emploi de batteries. La connexion au réseau permet d'y injecter l'électricité produite sans recourir aux batteries, mais s'avère

en général d'autant moins rentable que la puissance de l'installation diminue. Elle permet néanmoins une meilleure intégration aux projets d'aménagement, sous réserve de connaître ou d'évaluer les caractéristiques du vent sur chaque projet.

#### **4.2.2 Les documents régionaux d'aide à la décision**

##### **Le Schéma Régional Eolien:**

Le « Schéma Régional Eolien » est annexé au Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE) du Centre adopté en juin 2012. Il comporte une phase d'état des lieux, et l'énonciation des stratégies d'implantations et de recommandations.

La partie « Etat des Lieux » croise les données relatives au gisement éolien avec les contraintes techniques (lignes RTE, servitudes aériennes,...), paysagères, et environnementales (zones sensibles ornithologiques) pour en déduire les zones propices ou non à l'implantation d'éoliennes.

Des zones favorables au développement de l'énergie éolienne sont ainsi définies, elles correspondent aux territoires présentant des enjeux faibles à modérés, ou des enjeux assez forts dans laquelle une vigilance sera nécessaire des cartes précédentes.

**Le site ne fait pas partie des zones favorables au développement de l'énergie éolienne.**



## **Les Zones de Développement de l'Eolien :**

La Zone de Développement de l'Eolien (ZDE) est un outil à disposition des collectivités, communes et EPCI, qui leur permet d'effectuer une demande, auprès du préfet, pour instaurer des périmètres préférentiels d'implantation d'éoliennes et de parcs éoliens, en définissant des seuils et des plafonds de puissances. Les ZDE permettent aux installations de bénéficier de l'obligation d'achat de l'électricité produite, à des tarifs fixés par décret ministériel supérieurs au prix de revente de base.

La loi Brottes, adoptée le 11 mars 2013 a supprimé la procédure de création de ZDE et promulgue que l'autorisation d'exploiter les ICPE doit « tenir compte » des « parties favorables » à l'éolien définies par les schémas régionaux de l'éolien. Elle supprime également la règle des cinq mâts<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Pour bénéficier de l'obligation d'achat, les parcs éoliens devaient constituer des unités de production composées d'au moins 5 éoliennes.

### 4.2.3 Règlements

Jusqu'à la loi POPE de 2005, le seuil au-delà duquel un projet éolien requérait une étude d'impact et une enquête publique était un seuil de puissance installée de 2,5 MW.

Dorénavant, il s'agit d'un seuil portant sur la hauteur des éoliennes :

- **Hauteur de mât inférieure à 12 m** : pas de formalité.
- **Hauteur de mât supérieure à 12 m** : un **permis de construire** est nécessaire (art. L. 421-1-1 du CU) ainsi qu'une **notice d'impact**<sup>1</sup>.
- **Hauteur de mât supérieure à 50 m** : en plus du permis de construire, une étude d'impact<sup>2</sup> et une enquête publique sont demandées<sup>3</sup>.

		SHOB <sup>4</sup> créée		
		< 2 m <sup>2</sup>	Entre 2 et 20 m <sup>2</sup>	> 20 m <sup>2</sup>
Hauteur	< 12 m	Rien	Déclaration préalable	Permis de construire
	> 12 m	Permis de construire	Permis de construire	Permis de construire

Le code de l'urbanisme<sup>5</sup> précise que la hauteur à prendre en compte, pour déterminer si un projet est soumis à permis de construire ou non, correspond à la hauteur du mât de l'éolienne et de la nacelle (sans l'encombrement des pales). Le code de l'environnement<sup>6</sup> prend seulement en compte la hauteur du mât.

---

<sup>1</sup> Code de l'environnement, article R. 122-9

<sup>2</sup> Code de l'environnement, art. R. 122-8

<sup>3</sup> Code de l'environnement, art. R. 123-1, annexe I

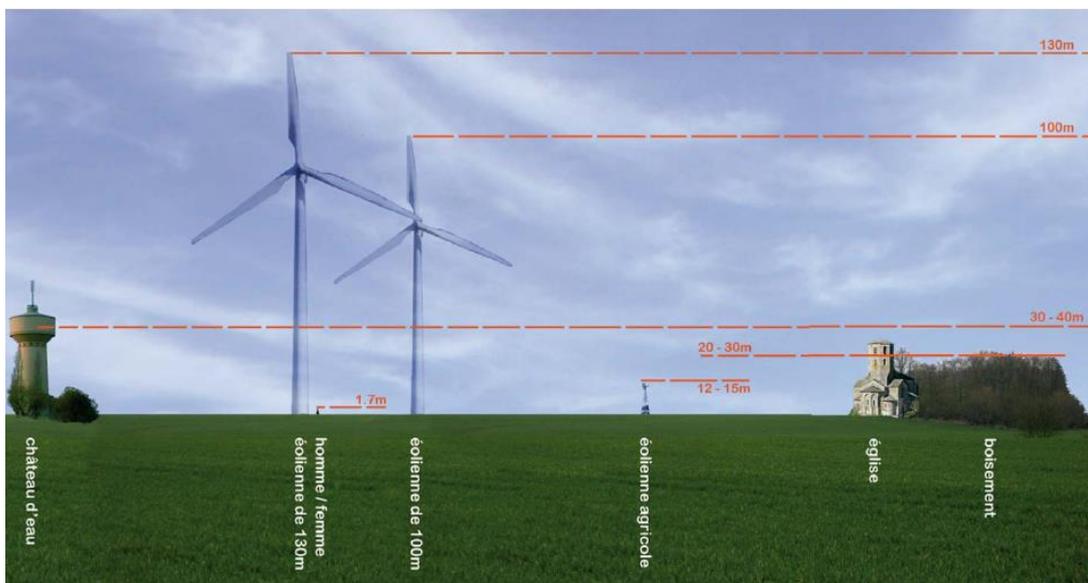
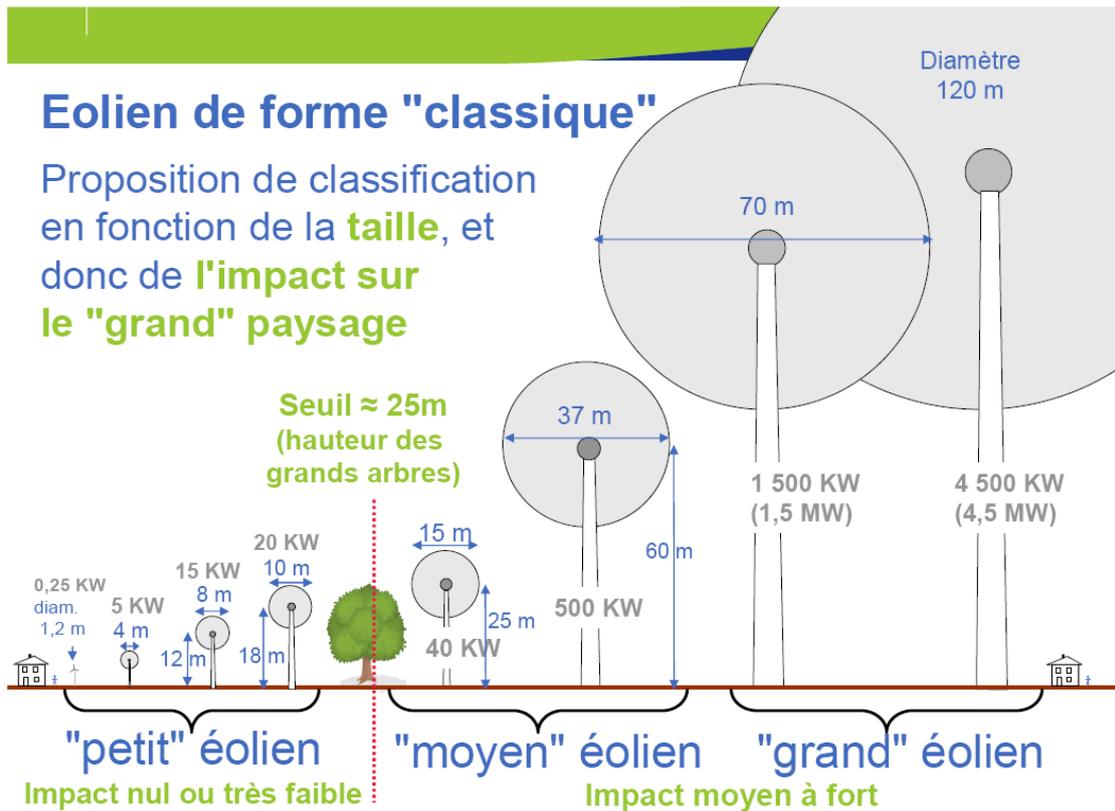
<sup>4</sup> Surface hors œuvre brute (**2008**)

<sup>5</sup> Art. L.421-1-1

<sup>6</sup> Art. L.553-2

## Eolien de forme "classique"

Proposition de classification en fonction de la **taille**, et donc de **l'impact sur le "grand" paysage**



source : agence Bocage

L'autorisation pour les éoliennes de plus de 50m est aussi soumise à l'éloignement des installations d'au moins « 500m par rapport aux constructions à usage d'habitation, aux immeubles habités et aux zones destinées à l'habitation définies dans les documents d'urbanisme en vigueur à la date de publication de la même loi » (loi du 12 juillet 2010)<sup>1</sup>.

### **Le classement des éoliennes comme Installations Classées pour la Protection de l'Environnement**

Depuis la loi « Grenelle 2 » du 12 juillet 2010, les installations éoliennes sont en principe classées sous la nomenclature ICPE. Le décret d'application<sup>2</sup> crée une rubrique au sein de la nomenclature ICPE, soumettant les installations éoliennes aux régimes suivants :

- **Autorisation** : installations ayant :
  - au moins une éolienne avec un mât d'une hauteur de plus de 50m
  - des éoliennes de hauteurs comprises entre 12m et 50m et d'une puissance totale supérieure à 20 MW
- **Déclaration** : installations ayant des éoliennes de hauteurs comprises entre 12m et 50m et d'une puissance totale inférieure à 20 MW

#### **4.2.4 Estimation de production d'électricité par éolienne**

En l'absence de données locales, faisons une estimation au ratio avec des valeurs de référence. La vitesse minimale de fonctionnement d'une éolienne prise comme minimum de référence dans l'établissement d'une Zone de Développement de l'Eolien (circulaire du 19 juin 2006) est de 3 m/s. La puissance nominale des éoliennes est en général obtenue pour une vitesse de vent de l'ordre de 10 m/s. En supposant qu'une éolienne d'une puissance nominale d'1 kW fonctionne 10 % de l'année à puissance nominale (soit 880 heures), la production électrique théorique serait grossièrement de **880 kWh/kW.an**.

En prenant comme hypothèse de garder une éolienne de taille « raisonnable », disons inférieure à 12 m, d'une puissance de 15 kW, celle-ci produirait dans ces conditions **13,2 MWh/an**.

---

<sup>1</sup> Art. L553-1 du Code de l'environnement

<sup>2</sup> Décret n°2011-984 du 23 août 2011

N.B : Cet ordre de grandeur est à moduler en fonction de la taille (donc de la puissance) et du type de l'installation : les grandes éoliennes ont de meilleurs rendements à puissance nominale et leur production électrique au kW installé est plus importante. Certains types d'éoliennes auront un rendement meilleur que les grandes éoliennes classiques à axes horizontal, pour des vitesses de vents « faibles » (< 10 m/s) ou des vents turbulents, ce qui est généralement le cas pour les petites éoliennes en milieu urbain et celles à axe vertical.

Des variations importantes pouvant apparaître au sein d'une même localité, il serait nécessaire, le cas échéant, de réaliser une étude plus précise sur le site d'implantation des éoliennes pour établir un profil de distribution des vents donnant la répartition des caractéristiques du vent dans une année par rapport à sa vitesse et à son orientation.

#### **4.2.5 Application au projet**

**Le Schéma Régional Eolien identifie le site en secteur rédhitoire au développement de l'énergie éolienne** (cf. paragraphe 4.2.2).

Le potentiel des abords du territoire de la ville de Chartres en termes de puissance du vent est assez fort, avec des valeurs de vitesses moyennes de vent à 80m d'altitude comprises entre 4,5 et 5m/s. Cependant, Chartres se situe en zone défavorable à l'implantation d'éoliennes en raison des sensibilités et contraintes suivantes:

- les servitudes de télécommunications et de relations aériennes ;
- des périmètres de protection de monuments historiques, de sites classés ou inscrits ;
- des zones de sensibilités paysagères majeures ;
- des contraintes environnementales liées à la présence de Zone Naturelles d'Intérêt Faunistique et Floristique (ZNIEFF)

#### **Premières conclusions**

**Le cas échéant, la situation en milieu très urbain, et la nature du projet orienterait vers du petit éolien, de faible puissance et de hauteur inférieure à 12m. Néanmoins, les sensibilités et contraintes sont plutôt fortes sur le territoire de l'agglomération chartraine (cône de visibilité avec la cathédrale de Chartres notamment).**

**De plus, le Schéma Régional Eolien identifie la ville du Coudray comme zone défavorable à l'implantation d'éoliennes.**

## **4.3 ENERGIE HYDRAULIQUE, GEOTHERMIE ET HYDROTHERMIE**

### **4.3.1 la ressource en eau de surface**

La ressource en eau superficielle peut être exploitée pour la production d'électricité ou de chaleur.

Dans le premier cas, il s'agit d'utiliser le mouvement de l'eau (courant, variation du niveau d'eau) pour entraîner une turbine et un générateur qui produit de l'électricité.

Dans le second cas, il s'agit d'extraire la chaleur de l'eau et de la transmettre au fluide d'un réseau de chauffage.

Dans les deux cas, la ressource en eau est altérée, et des mesures sont nécessaires pour limiter l'impact des méthodes d'exploitations sur celle-ci.

#### **4.3.1.1 La production d'électricité**

Les techniques de production d'électricité utilisent le courant de la ressource en eau superficielle, qui permet de mettre en mouvement une turbine pour produire un courant électrique. On trouve différentes méthodes :

- La production au fil de l'eau : on utilise le courant « naturel » de l'eau en plaçant un dispositif (comprenant la turbine) au milieu du courant qui l'entraîne en rotation. Le moulin à eau a été la première application du principe, mais n'est plus guère utilisée. Les hydroliennes, sortes d'éoliennes sous-marines placées au fond d'un cours d'eau ou de la mer, reposent aussi sur ce principe et des projets sont aujourd'hui en cours de tests en France, et d'autres déjà en phase de production en Europe du Nord. La productivité de ces méthodes est tributaire du débit des courants exploités et elles sont en général employées pour des cours d'eau à faible dénivelé et à fort débit.

Enfin, le courant de réseaux d'eau artificiels, tels que les réseaux d'eau potable ou d'eaux usées, peuvent aussi servir de source de production.

- La production par retenue d'eau : le courant est créé artificiellement par un barrage qui crée une différence de niveau entre l'eau en amont du barrage et celle en aval, l'eau retenue étant « relâchée » plus bas en continu via des turbines. La hauteur de la retenue conditionne la productivité et peut aller de quelques mètres à plus de cent mètres de hauteur. Cette méthode sert aussi dans le cas des stations marémotrices,

où la différence de niveau vient de la variation du niveau par la marée en aval du barrage. Ces installations occupent la majeure partie de la largeur d'un cours d'eau pour avoir une réserve d'eau suffisante, et des zones de passage sont en général aménagées pour permettre d'autres usages (passage de navires, de canoës) ainsi que des passes à poissons.

D'autres techniques exploitant la houle marine existent, mais ne seront pas évoquées ici.

Parmi les éléments importants à connaître pour établir l'intérêt d'une telle production, on peut citer :

- le débit du cours d'eau
- ses caractéristiques géométriques (largeur, profondeur)
- son usage (transport touristique, commercial,...)
- les écosystèmes associés

### **Règlementation**

Sont soumises à **déclaration** les installations pour lesquelles le prélèvement est compris entre 400 et 1 000 m<sup>3</sup>/h ou entre 2 et 5 % du débit.

Sont soumises à **autorisation** :

- les installations hydroélectriques qui permettent le prélèvement, y compris par dérivation, dans un cours d'eau d'une capacité totale maximale supérieure ou égale à 1 000 m<sup>3</sup>/h ou à 5 % du débit du cours d'eau
- tous les ouvrages fonctionnant par éclusées ou entraînant une différence de niveau de 35 cm de la ligne d'eau entre l'amont et l'aval.

En outre, comme noté plus haut ; les installations hydroélectriques sont soumises à des régimes particuliers au titre de la loi du 16 octobre 1919.

#### 4.3.1.2 La production de chaleur à partir de l'eau de surface

L'eau d'une ressource superficielle (cours d'eau, lac, etc.) est pompée puis sa chaleur est en partie transférée, via une pompe à chaleur (PAC) de type dit « eau/eau », vers le fluide d'un réseau de chauffage ou d'eau chaude sanitaire.

La puissance fournie dépendra en particulier de la différence de température entre l'eau pompée et l'eau de chauffage, qui conditionne la performance de la PAC.

Cette technique est limitée par plusieurs paramètres :

- le débit du cours d'eau puisé, en particulier en période d'étiage, qui limite le débit pompé malgré le fait que l'on restitue l'eau au point de puisage. Sur la Deûle, le maintien d'un niveau minimum pour la navigation limite cet aspect. Toutefois, l'accord du gestionnaire du canal sur un débit acceptable pour son exploitation doit être obtenu.
- la qualité de l'eau pompée, qui exige une filtration préalable.
- la qualité de l'eau rejetée, en termes chimique (pollution de l'eau) et physique (réchauffement/refroidissement) et ses impacts sur le milieu récepteur.
- la température de l'eau qui varie avec la température extérieure et qui réduit l'efficacité de la PAC en période froide (pour la même quantité d'électricité consommée par la PAC, on extrait moins de chaleur de l'eau pompée).

## Règlementation

L'utilisation de la ressource en eau (prélèvement et rejet) est encadrée par le code de l'environnement, qui définit quelles opérations sont soumises à déclaration ou à autorisation. Nous pouvons citer :

- Pour le prélèvement :

**Rubrique 1.2.1.0** : *A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, prélèvements et installations et ouvrages permettant le prélèvement, y compris par dérivation, dans un cours d'eau, dans sa nappe d'accompagnement ou dans un plan d'eau ou canal alimenté par ce cours d'eau ou cette nappe :*

- *D'une capacité totale maximale supérieure ou égale à 1 000 m<sup>3</sup>/heure ou à 5 % du débit du cours d'eau ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau => **autorisation***
- *D'une capacité totale maximale comprise entre 400 et 1 000 m<sup>3</sup>/heure ou entre 2 et 5 % du débit du cours d'eau ou, à défaut, du débit global d'alimentation du canal ou du plan d'eau => **déclaration***

**Rubrique 1.3.1.0** : *A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, ouvrages, installations, travaux permettant un prélèvement total d'eau dans une zone où des mesures permanentes de répartition quantitative instituées, notamment au titre de l'article L. 211-2 du code de l'environnement, ont prévu l'abaissement des seuils :*

- *Capacité supérieure ou égale à 8 m<sup>3</sup>/h => **autorisation***
- *Dans les autres cas => **déclaration***

- Pour le rejet :

**Rubrique 2.2.1.0** : *Rejet dans les eaux douces superficielles susceptible de modifier le régime des eaux, à l'exclusion des rejets visés à la rubrique 2.1.5.0 ainsi que des rejets des ouvrages visés aux rubriques 2.1.1.0 et 2.1.2.0, la capacité totale de rejet de l'ouvrage étant :*

- Supérieure ou égale à 10 000 m<sup>3</sup>/j ou à 25 % du débit moyen interannuel du cours d'eau => **autorisation**
- Supérieure à 2 000 m<sup>3</sup>/j ou à 5 % du débit moyen interannuel du cours d'eau mais inférieure à 10 000 m<sup>3</sup>/j et à 25 % du débit moyen interannuel du cours d'eau => **déclaration**

---

4.3.1.3 Application au projet

**La production d'électricité et le potentiel d'exploitation de la chaleur à partir de la ressource en eau de surface ne peut être développé du fait de l'absence de cours d'eau à proximité immédiate.**

### 4.3.2 la ressource en eau souterraine et la géologie

Les techniques abordées ci-dessous exploitent les propriétés thermiques du sol, qui a la particularité d'avoir une chaleur relativement constante comparé à l'air extérieur, plus chaude que lui en hiver, et plus froide en été. Elles recherchent la chaleur ou la fraîcheur contenue dans le sol à plus ou moins grande profondeur, et la transfère vers le fluide d'un réseau de chauffage (eau ou air), éventuellement au moyen d'une pompe à chaleur (PAC).

Selon la température de la ressource, on parlera de géothermie haute, basse ou très basse énergie. Dans le cas de la très basse énergie, voire de la basse, des pompes à chaleur sont en général utilisées pour extraire la chaleur de la ressource et la transférer au fluide de chauffage, par l'intermédiaire d'un autre fluide qui subit des transformations dites « thermodynamiques ». La haute énergie exploite directement la chaleur, soit pour la transmettre à un réseau de chaleur, soit pour la production d'électricité. Dans le cas de l'étude par exemple, les ressources sous-terraines orienteront vers des solutions de géothermie à très basse énergie.

Parmi les caractéristiques intéressantes pour l'étude d'un potentiel géothermique, on peut citer :

- Pour la géologie : la nature des couches lithographiques au droit du site et leurs caractéristiques physico-chimiques (roches meubles ou cohérentes, humidité, perméabilité, porosité) qui définissent les propriétés thermiques du sol (capacité et conductivité thermiques).
- Pour l'hydrogéologie : la présence et les caractéristiques physico-chimiques d'un aquifère souterrain (volume, débit, position, température, composition chimique).

---

#### 4.3.2.1 Le contexte du site

##### **Contexte réglementaire**

Les travaux en sous-sol sont soumis à une législation visant à contrôler les ouvrages d'une part (code minier), et à contrôler les prélèvements et les rejets d'eau d'autre part (code de l'environnement).

Le code minier impose :

- une **déclaration** par le maître d'ouvrage ou l'entreprise de forage auprès de la préfecture pour des forages d'une profondeur supérieure à 10 m
- une **autorisation** au-delà de 100 m.

Le code de l'environnement définit quelles opérations sont soumises à déclaration ou à autorisation. Nous pouvons citer :

- Pour le prélèvement :

**Rubrique 1.1.1.0** : *Sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau => **déclaration***

**Rubrique 1.1.2.0** : *Prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère, à l'exclusion de nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé, le volume total prélevé étant :*

- Supérieur ou égal à 200 000 m<sup>3</sup>/an => **autorisation**
- Supérieur à 10 000 m<sup>3</sup>/an mais inférieur à 200 000 m<sup>3</sup>/an => **déclaration**

**Rubrique 1.3.1.0** : *A l'exception des prélèvements faisant l'objet d'une convention avec l'attributaire du débit affecté prévu par l'article L. 214-9 du code de l'environnement, ouvrages, installations, travaux permettant un prélèvement total d'eau dans une zone où des mesures permanentes de répartition quantitative instituées, notamment au titre de l'article L. 211-2 du code de l'environnement, ont prévu l'abaissement des seuils :*

- Capacité supérieure ou égale à 8 m<sup>3</sup>/h => **autorisation**
- Dans les autres cas => **déclaration**

- Pour le rejet :

**Rubrique 2.2.1.0** : *Rejet dans les eaux douces superficielles susceptible de modifier le régime des eaux, à l'exclusion des rejets visés à la rubrique 2.1.5.0 ainsi que des rejets des ouvrages visés aux rubriques 2.1.1.0 et 2.1.2.0, la capacité totale de rejet de l'ouvrage étant :*

- Supérieure ou égale à 10 000 m<sup>3</sup>/j ou à 25 % du débit moyen interannuel du cours d'eau => **autorisation**
- Supérieure à 2 000 m<sup>3</sup>/j ou à 5 % du débit moyen interannuel du cours d'eau mais inférieure à 10 000 m<sup>3</sup>/j et à 25 % du débit moyen interannuel du cours d'eau => **déclaration**

**Rubrique 2.3.2.0** : *Recharge artificielle des eaux souterraines => **autorisation***

L'emploi de sondes géothermiques est aussi encadré par le code minier qui impose :

- une **déclaration** par le maître d'ouvrage ou l'entreprise de forage auprès de la préfecture pour des forages d'une profondeur supérieure à 10m (art.131 du décret 78-498 du 28 mars 1978) ou pour les gites de moins de 100m de profondeur (art.17 du même décret).
- une **autorisation** au-delà de 100 m.

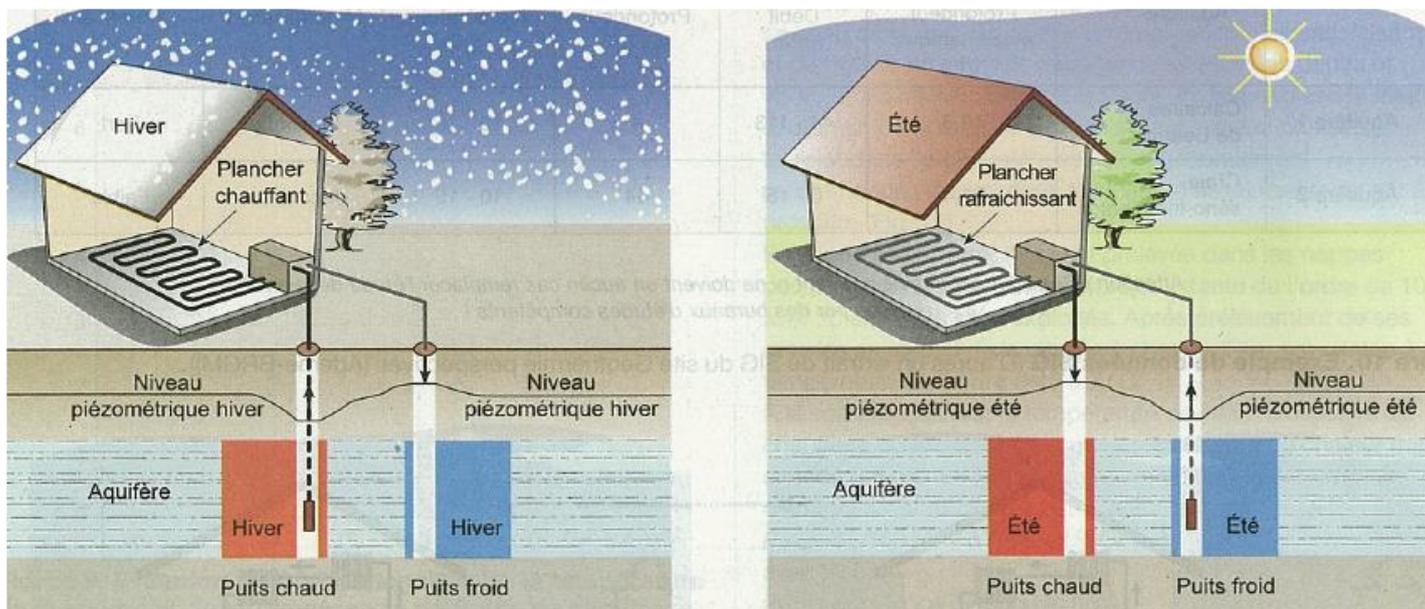
Le code de l'environnement et la loi sur l'eau concernent ce type d'ouvrage dans la mesure où ils dépassent un certain seuil de profondeur (100m) et les soumettent alors à **autorisation** (qui vaut aussi dans le cadre du code minier)

#### 4.3.2.2 Exploitation de la chaleur de l'eau de nappe

L'eau des nappes souterraines est pompée puis sa chaleur est en partie transférée, via une PAC, vers le fluide d'un réseau de chauffage ou d'eau chaude sanitaire. L'eau puisée peut ensuite être rejetée vers un réseau d'eau en surface, ou bien vers son aquifère d'origine.

La 2<sup>ème</sup> solution oblige à réaliser un 2<sup>ème</sup> puits d'injection, en plus du puits de pompage, mais a l'intérêt de réalimenter la nappe et d'éviter l'épuisement de la ressource, ainsi qu'une pollution éventuelle du milieu de surface récepteur. Ce 2<sup>ème</sup> puits doit tout de même rester suffisamment éloigné du point de puisage pour limiter la baisse (ou la hausse) de température de l'aquifère au point de puisage.

Contrairement au pompage d'eau de surface, la température de l'eau puisée, et donc le rendement de la pompe à chaleur, restent assez stables pendant l'année.



Source : Le Moniteur

### Application au projet

Le site du projet se situe dans le secteur de la masse d'eau souterraine des calcaires tertiaires libres de Beauce (FRGG092).

C'est un aquifère libre à dominance sédimentaire et située dans un système multicouche.

Selon les cartes piézométriques, l'écoulement apparaît divergent de part et d'autre de la ligne de partage des eaux entre le bassin de la Seine et le bassin de la Loire. Cette ligne de partage des eaux est fluctuante d'une année à l'autre et peut être différente de la ligne de partage des eaux de surface.

Elle est réalimentée directement par les eaux pluviales qui s'infiltrent dans les sous-sols. De ce fait, une relation de forte dépendance existe entre la nappe et le réseau hydrographique de surface notamment en ce qui concerne sa hauteur d'eau et son débit.

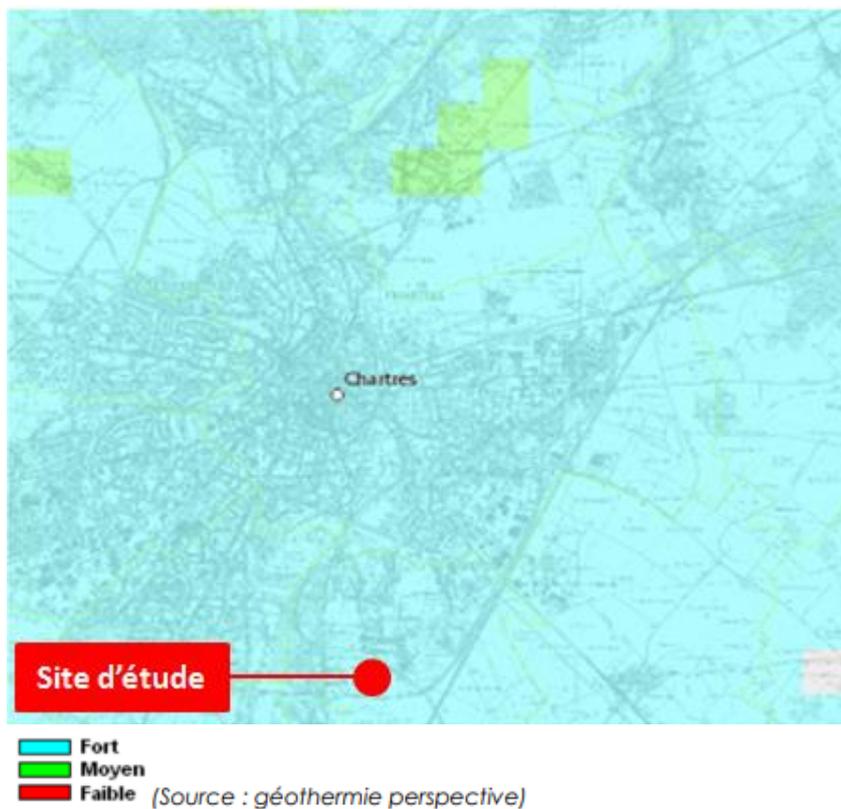
Nous ne disposons d'aucune information sur le potentiel géothermique de cette aquifère.

Pour autant, **étant donné la profondeur de la ressource et l'investissement nécessaires pour les forages, il faudra assurer une consommation et un débit d'eau exploité suffisant pour avoir une rentabilité correcte.**

**La faisabilité doit par ailleurs être étudiée au regard de la pollution existante dans le sol, pour éviter tout risque de propagation vers les nappes.**

La cartographie réalisée par le BRGM en partenariat avec l'ADEME, EDF et la Région Centre montre que la ville du Coudray présente un potentiel très important en géothermie à partir d'un aquifère. Cette technique est par ailleurs aidée via le Fond chaleur en région Centre à hauteur de 40 % de subventions sur la boucle géothermale pour tout projet de géothermie destiné à l'habitat collectif, aux collectivités et aux entreprises (agriculture, industrie, tertiaire). L'ADEME fournit également aux maîtres d'ouvrages des cahiers des charges types pour les guider.

#### Potentiel géothermique du meilleur aquifère



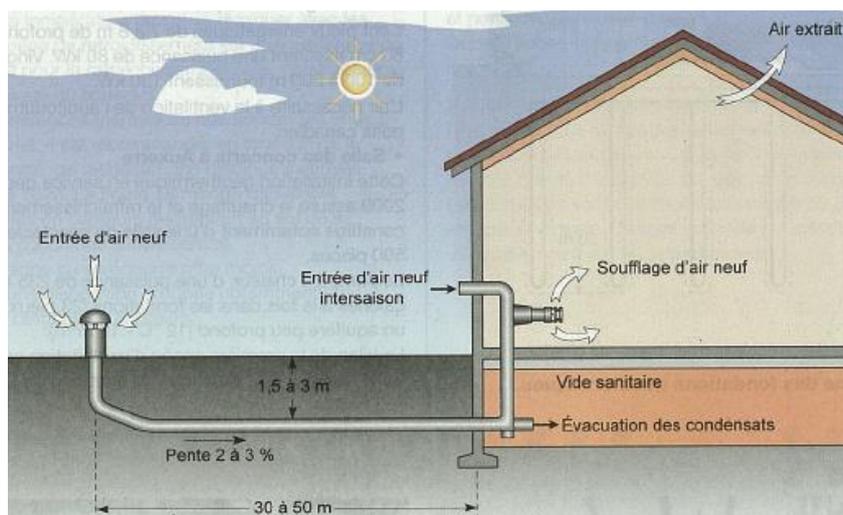
Ce que dit le SAGE Nappe de Beauce (règlement, art. 5) : Les prélèvements en nappe à usage géothermique sont susceptibles d'avoir des impacts cumulés significatifs sur la quantité d'eau. En conséquence, tous les nouveaux projets faisant appel à la géothermie (collectivités, industriels, particuliers...), basés sur des prélèvements en nappe, doivent comprendre un doublet de forages avec ré-injection de l'eau dans le même horizon aquifère que celui dans lequel est effectué le prélèvement

### 4.3.2.3 Exploitation de la chaleur du sol

#### ▪ Les puits canadiens ou provençaux

L'échange de chaleur se fait entre le sol et l'air, au niveau de canalisations enterrées. L'air ainsi réchauffé ou refroidi est ensuite envoyé dans le système de ventilation du bâtiment. Ce procédé n'a pas vocation à la production d'eau chaude sanitaire, le réchauffement restant assez limité.

#### Schéma de principe de puits canadien



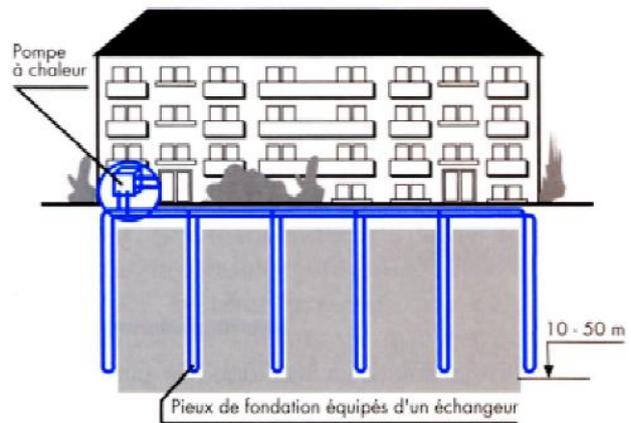
Réseau du puits canadien avant remblaiement (source : Canada Clim)

#### ▪ Les fondations géothermiques

Dans le cas de bâtiments fondés sur pieux, éléments de fondation en béton armé enfoncés dans le sol, on peut intégrer lors de leur fabrication ou de leur mise en place sur site un système de captage de l'énergie (tube en polyéthylène noyé dans le pieu renforcé par une armature en fer et dans lequel il est possible de faire circuler de l'eau). Le système de captage est connecté à une PAC. Il est aussi possible d'utiliser ce procédé de la même manière pour des parois de fondations ou de soutènement.



**Tubes et armatures en tête d'un pieu (source : PREBAT)**



**Schéma de principe de fondations géothermiques (source : PPI chaleur 2009)**

▪  **Les sondes géothermiques horizontales**

Cette technique exploite la chaleur contenue dans la couche superficielle du sol (0,60m à 1,20m de profondeur) par un réseau de tubes enterrés installés en boucles et reliés à une pompe à chaleur. La chaleur est récupérée par conduction par un fluide caloporteur circulant en circuit fermé dans ces tubes. Ce fluide peut être de l'eau additionnée d'antigel (tubes en polyéthylène) ou directement le fluide frigorigène de la pompe à chaleur (tubes de cuivre gainés de polyéthylène, pour la technologie dite de détente directe).



**Capteurs horizontaux Viessmann ©**

L'inconvénient de cette technologie est l'espace qu'elle consomme : il faut compter de 1,5 à 2 fois la surface habitable à chauffer. Elle est donc plus adaptée aux opérations de logements individuels. Parmi les contraintes de pose :

Il faut veiller à rester à distance :

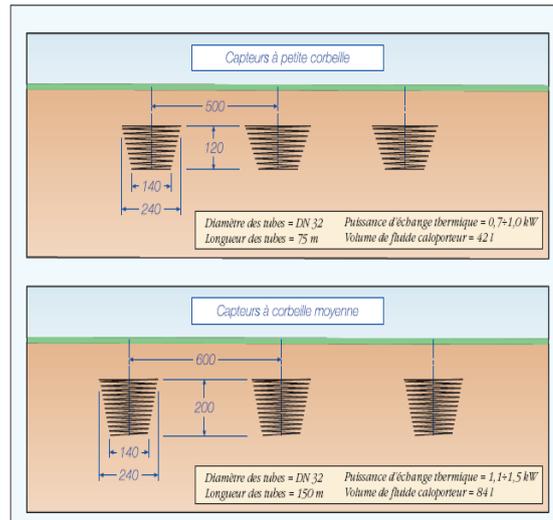
- des arbres (au moins 2m)
- des réseaux enterrés non hydrauliques (au moins 1,50m)
- des fondations de puits, fosses septiques et réseaux d'évacuation (au moins 3m)

La surface au-dessus des capteurs doit rester perméable (pas de construction comme une terrasse)

Le terrain doit être de préférence peu pentu pour éviter les remblais

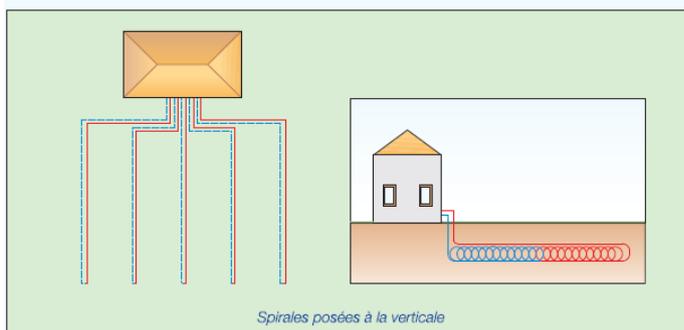
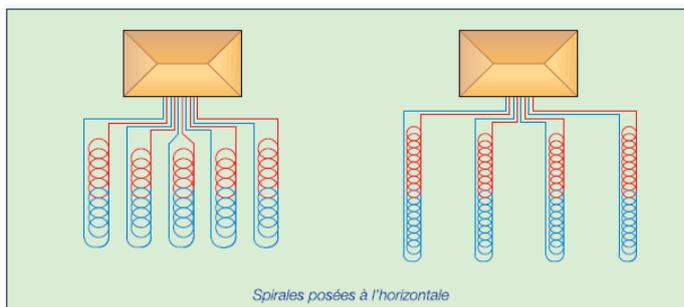
Le sol doit être de préférence meuble.

On peut aussi trouver des capteurs disposés en « corbeilles » ou en « spirales », qui ont pour intérêt de limiter l'emprise au sol tout en gardant un certain linéaire



### Sondes en corbeilles

Source : revue Hydraulique nov. 2010



### Sondes en spirales

Source : revue Hydraulique nov. 2010

### ▪ Les sondes géothermiques verticales

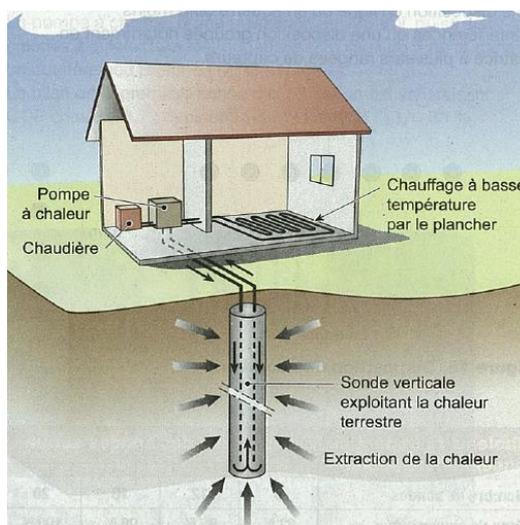
Ces sondes géothermiques sont des capteurs en U placés verticalement à plusieurs dizaines de mètres de profondeur, scellés par une cimentation adaptée, et reliées à une pompe à chaleur. Le fluide caloporteur, de l'eau additionnée d'antigel, y circule en circuit fermé et récupère la chaleur du sous-sol.

Par rapport à des capteurs horizontaux, cette technique a pour avantages de consommer moins de surface de terrain et d'être moins vulnérable aux variations de température et aux racines des arbres grâce à sa plus grande profondeur. En revanche, elle nécessite des forages et l'intervention d'entreprises de forage spécialisées et pose des contraintes administratives supplémentaires, relatives à la protection des sous-sols.

Les sondes doivent être espacées d'une distance minimale les unes des autres pour éviter de perturber les sondes voisines.



**Sonde géothermique – fabricant :  
Geotech**



**Source : Le Moniteur**

La chaleur captée dépend de la longueur des sondes et aussi de la nature du sol. Le transfert de chaleur entre le sol et le capteur se fera d'autant mieux que le sol est meilleur conducteur thermique et que le contact entre le capteur et le sol est important. Un sol humide permet aussi un meilleur stockage de chaleur qu'un sol sec. Le tableau ci-dessous, pris parmi d'autres existants dans la littérature ou des mesures directes, reprend les puissances que l'on peut extraire par mètre de sonde selon la nature du sol.

## Influence de la nature du sol sur le potentiel géothermique très basse énergie

Nature du sous-sol	Conductivité thermique (W/mK)	Puissance d'extraction W/m	Longueur sonde m/kW de puissance COP : 3,5
Gravier, sable, sec	0,4	< 20	> 36
Gravier, sable, aquifère	2	60	11
Argile, limon, humide	1,7	35	19,5
Calcaire massif	2,8	52,5	13
Grès	2,3	60	11
Granite	3,4	62,5	12
Basalte	1,7	45	16,5
Gneiss	2,9	65	13

Source : guide ADEME-BRGM sur les pompes à chaleur géothermique (février 2008)

D'autres paramètres influencent la conductivité, comme le gel, ou encore la rétractation du sol en période de sécheresse pour des sols argileux, qui réduit le contact avec le capteur et donc le transfert de chaleur. Cela peut être compensé par la profondeur à laquelle sont enterrés les capteurs, où l'effet se fait moins sentir. Le débit de la nappe, le cas échéant, influence aussi les performances (recharge thermique du sol).

En prenant une conductivité moyenne de **35 W/m de sonde** pour le sous-sol au droit de la zone d'étude (essentiellement de l'argile et du limon), un hectare de terrain comportant 100 sondes de 100m de profondeur peut produire en théorie une puissance de l'ordre de **350 kW/ha**.

### Premières conclusions

**Les techniques de géothermie sont consommatrices d'espace au sol si l'on excepte les fondations géothermiques profondes, ce qui oblige à forer à de grandes profondeurs pour augmenter la surface de capteurs utile, ce qui accroît d'autant le coût des travaux de forage et rend la technique peu rentable hors subventions.**

## **4.4 LES ÉNERGIES DE RÉCUPÉRATION**

On parle d'énergies fatales pour qualifier les énergies produites incidemment par des activités, le plus souvent industrielles, et qui n'ont pas de vocation initiale à être valorisées dans le cadre de l'activité en question. Ce sont ces énergies que l'on peut chercher à valoriser dans des utilisations qui n'ont pas nécessairement de lien avec l'activité d'origine, et que l'on qualifiera alors d'énergie de récupération.

Cette énergie peut être exploitée pour alimenter un réseau de chaleur qui desservirait, si ce n'est l'endroit de sa production, d'autres points de consommation pour de l'habitat, des bâtiments tertiaires ou d'administration.

La source existante d'énergie de récupération la plus proche du site est **l'unité de traitement et de valorisation énergétique des déchets ménagers, Orisane**, dans la commune de Mainvilliers<sup>1</sup>.

Cette structure ISO 14 001 d'une capacité nominale de 115 000 tonnes/an permet de produire 68 000MWh électrique/an, soit l'équivalent de 367 000 foyers éclairés. Ceci équivaut également à 42 800 barils de pétrole économisés. (Source : Novergie)

L'usine d'incinération Orisane a reçu 28 401 tonnes de déchets en 2010 en provenance de Chartres Métropole. L'électricité produite (14 740 MWh) est revendue. Cette usine produit également des mâchefers (6 030 tonnes) qui sont valorisées en sous-couches routières. L'enfouissement ne concerne que 4 953 tonnes de déchets.

### **4.4.1 La biomasse**

Selon la Directive 2001/77/CE relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables sur le marché intérieur de l'électricité, la biomasse est « *la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture (comprenant les substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux* »<sup>2</sup>.

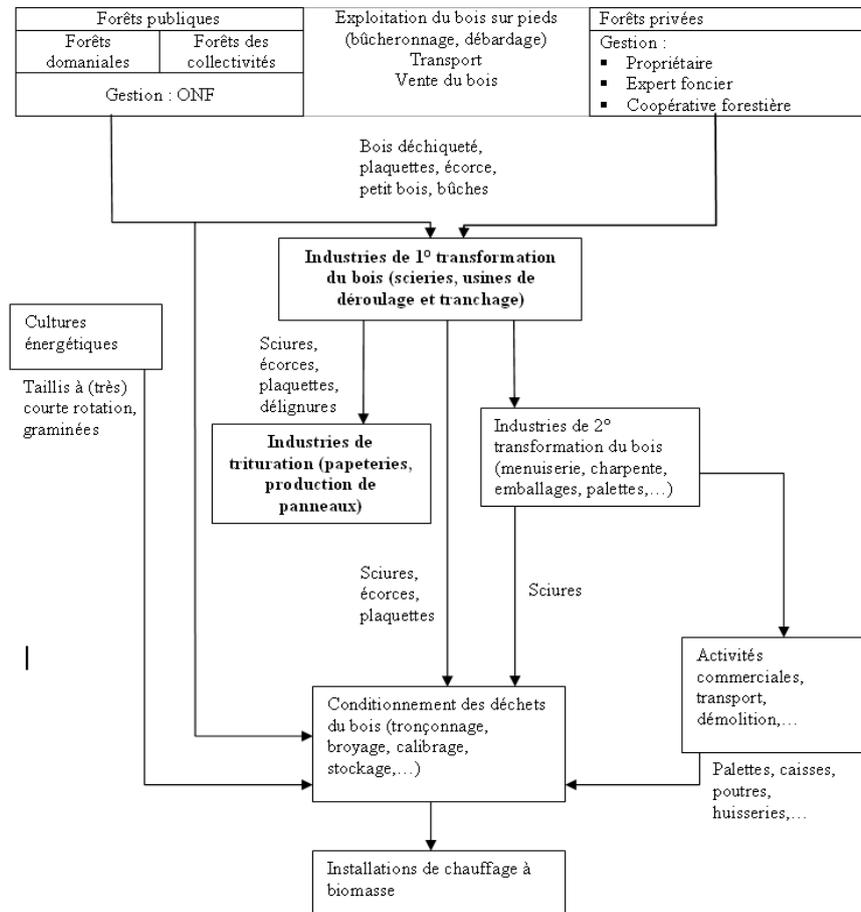
La biomasse peut servir principalement de combustible pour la production de chaleur, soit au niveau d'un bâtiment, soit d'une parcelle ou d'une zone d'aménagement via un réseau de chaleur. Elle peut aussi servir, pour la partie fermentescible, à la production de biogaz.

---

<sup>1</sup> Exploitation par Suez

<sup>2</sup> Source : [http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/biomasse/f1e\\_biom.htm](http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/biomasse/f1e_biom.htm)

Le schéma ci-dessous donne un aperçu des principales filières d'approvisionnement en biomasse.



Les professionnels du combustible bois énergie se sont réunis autour du Conseil régional, de l'Ademe et d'Arbocentre pour signer la "Charte Energie Bois Région Centre" le 7 janvier 2009.

Cette charte a pour objectif de faire la promotion d'un combustible bois énergie de qualité facilitant la mise en place de nouvelles chaufferies bois à alimentation automatique. Chaque fournisseur s'engage sur les caractéristiques techniques des produits (granulométrie, humidité) ainsi que sur la qualité du service.

**L'Ademe et le Conseil régional du Centre soutiennent la Charte en finançant les projets qui auront un contrat d'approvisionnement avec un fournisseur adhérent à la Charte.** La région Centre représente 4.7% de la production nationale d'énergie primaire bois. Elle dispose d'une surface boisée de 900 000ha, en croissance de 2 000ha chaque année, et d'un gisement forestier très important (5 millions de m<sup>3</sup>). La région dispose ainsi de 150MW de puissance installée et une cinquantaine d'installations collectives et industrielles. La filière bois pourrait être considérée à proximité grâce aux forêts domaniales de Montécot et de Senonches, si celles ci sont gérées de manière équilibrée.

## **4.5 AÉROTHERMIE**

L'aérothermie consiste à l'utilisation de l'air extérieur, pour le chauffage et la production d'eau chaude de locaux, au moyen d'une pompe à chaleur (PAC).

La chaleur captée est redistribuée soit par un réseau de chauffage soit par un système de ventilation. Pour la production d'eau chaude, la chaleur est stockée dans un ballon d'eau chaude avec appoint, si nécessaire. (Chauffe eau thermodynamique)

Toutefois, l'efficacité du système est dépendante de la condition suivante : la température extérieure, où l'air est prélevé, doit être plus faible de quelques degrés que celle de l'air intérieur, pour une meilleure efficacité.

*De plus, le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur doit être au minimum de 3,5, pour que le système apporte une diminution réelle de consommation en énergie primaire. Par ailleurs, la pompe à chaleur doit faire l'objet d'une maintenance régulière. (Source ADEME)*

### **Quelques chiffres**

*Investissement entre 60 et 90 € TTC par m<sup>2</sup> chauffé et/ou rafraîchi pour les PAC air/eau et air/air.*

*Pour une puissance installée de 10 à 12 kW, il faut prévoir un investissement de :*

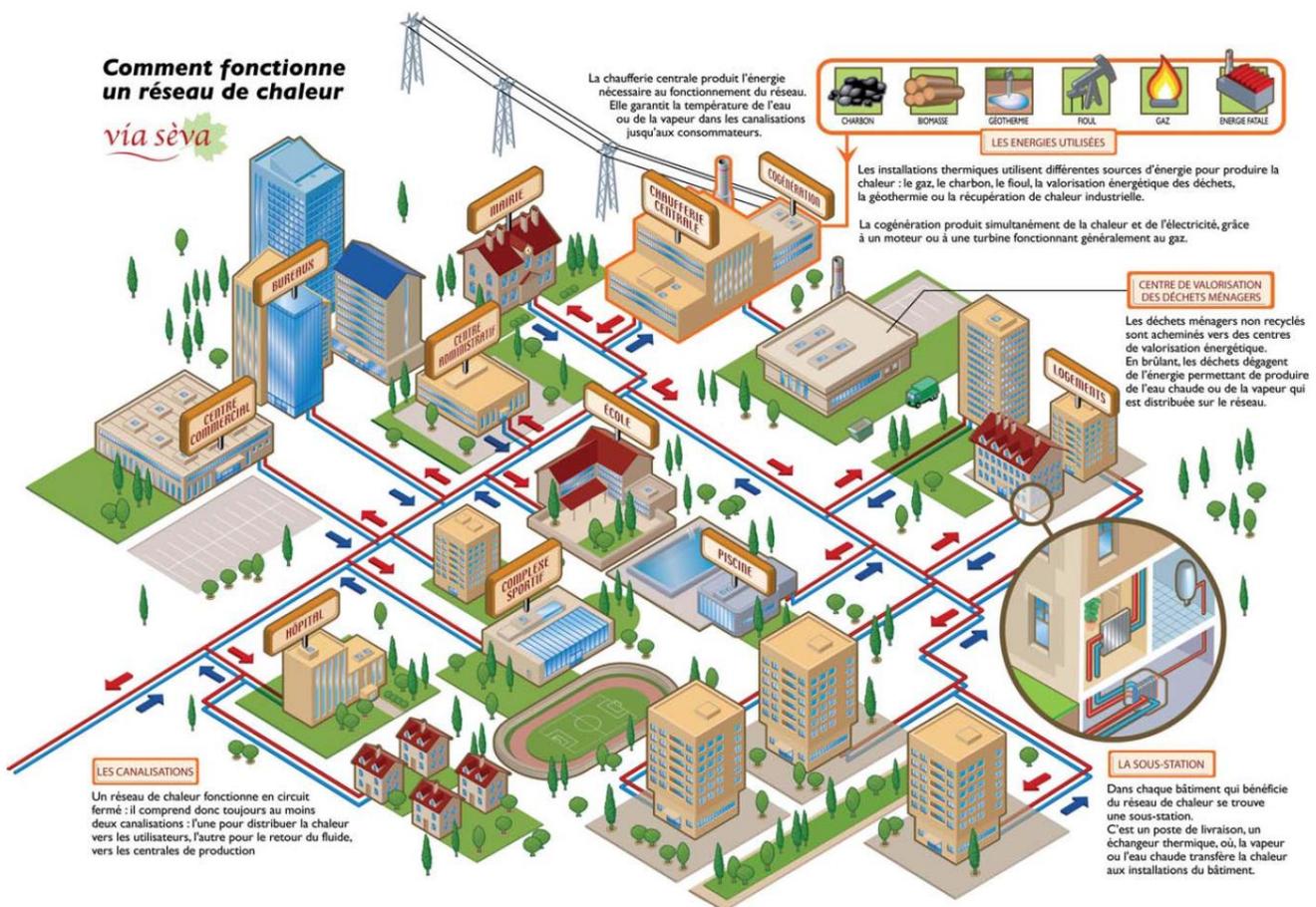
- *8 750 à 9 400 € pour une PAC air/air ;*
- *9 400 à 10 500 € pour une PAC air/eau.*

*(Source : Avis de l'ADEME – Pompes à chaleur - 2007) Coût de fonctionnement : entre 2.3 et 3.7 € TTC par m<sup>2</sup> et par an.*

## 5 LA MISE EN PLACE D'UN RESEAU DE CHALEUR

Le réseau de chaleur est un ensemble constitué d'un réseau primaire de canalisations, empruntant le domaine public ou privé, transportant de la chaleur et aboutissant à des postes de livraison de la chaleur aux utilisateurs et comprenant une ou plusieurs installation(s) de production et/ou un processus de récupération de chaleur à partir d'une source externe à cet ensemble.

- La chaleur est transportée sous forme d'eau chaude, d'eau surchauffée ou de vapeur, dans des canalisations calorifugées, vers plusieurs points de livraison ;
- Les unités de production transforment une ou plusieurs énergies (fossiles, renouvelables, récupérées ou autres) et délivrent la chaleur au réseau ;
- La chaleur livrée fait l'objet d'un comptage à chaque point de livraison desservi ;
- La tarification du réseau de chaleur prend la forme d'une partie proportionnelle à la quantité de chaleur livrée et d'une partie fixe correspondant à un abonnement en relation avec la demande thermique maximale du client.



(source : IGD – AMF – Indicateurs de performance pour les réseaux de chaleur et de froid)

Le territoire métropolitain est desservi par un réseau de chaleur urbain sous gestion de la SPL Chartres Métropole Energie.

Ce réseau est alimenté par une centrale de cogénération (chaleur et électricité) utilisant la biomasse (bois de classe A) et des déchets de bois non dangereux (classe B). Elle est située dans la zone d'activité du Jardin d'entreprises à Gellainville.

Le réseau de chaleur métropolitain dessert environ 4 500 logements du quartier de la Madeleine ainsi que certaines entreprises et équipements du territoire dont notamment l'hôpital Pasteur au Coudray situé à moins d'un kilomètre du périmètre de la future ZAC.

**Aussi, le raccord de certains bâtiments au réseau de chaleur métropolitain existant est envisageable.**

**Une étude de faisabilité technico-économique devra être réalisée afin de statuer sur la pertinence de la desserte du futur quartier.**

## 6 TABLEAU RECAPITULATIF

Le tableau ci-dessous donne une synthèse de l'intérêt des différentes techniques d'exploitation des énergies renouvelables et de récupération abordées au regard des caractéristiques du site et du projet.

<b>Filière</b>	<b>Potentiel de production</b>
<b>Solaire photovoltaïque</b>	Solution envisageable
<b>Solaire thermique</b>	Solution envisageable
<b>Aérothermie</b>	Solution envisageable
<b>Eolien</b>	Solution non adaptée
<b>Hydroélectricité</b>	Solution peu adaptée
<b>Géothermie</b>	Solution envisageable
<b>Biomasse</b>	Solution envisageable Filière bois énergie
<b>Réseaux de chaleur</b>	Raccord au réseau existant envisageable