



## **3J PROMOTION**

A stylized graphic in light gray showing a house with a large, leafy tree in front of it. The text 'PROJET D'AMENAGEMENT A MOULT-CHICHEBOVILLE' is overlaid on the tree.

### **PROJET D'AMENAGEMENT A MOULT-CHICHEBOVILLE**

**ARTEMIS**

### **ÉTUDE D'IMPACT**

## **ANNEXE 7 : ÉTUDE SUR LE POTENTIEL DES ENERGIES RENOUVELABLES - AFCE, 2024**



23-021 // Mai 2025

## - ETUDE DU POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES -



*Etude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables pour le projet d'aménagement de quartier d'habitat ARTEMIS sur la commune de Moulton(14).*

# SOMMAIRE

<b>OBJECTIF ET CONTEXTE DE L'ETUDE .....</b>	<b>2</b>
<b>CHAPITRE I : PROGRAMME ET BESOINS ENERGETIQUES .....</b>	<b>3</b>
1. Périmètre de l'étude .....	3
a) <i>Présentation de la zone d'aménagement.....</i>	<i>3</i>
b) <i>Eléments de Programmation .....</i>	<i>4</i>
2. Contexte réglementaire & Orientations énergétiques .....	5
a) <i>Réaliser des bâtiments économes en énergies.....</i>	<i>5</i>
b) <i>Intégrer les énergies renouvelables .....</i>	<i>6</i>
c) <i>Réduire l'impact environnemental des bâtiments.....</i>	<i>6</i>
<b>CHAPITRE II : ENERGIES MOBILISABLES SUR LE SITE .....</b>	<b>8</b>
1. Energies Fossiles .....	9
a) <i>L'électricité .....</i>	<i>9</i>
b) <i>Le Gaz.....</i>	<i>9</i>
2. Energies Renouvelables .....	9
a) <i>La Filière Solaire.....</i>	<i>9</i>
b) <i>La Filière Biomasse.....</i>	<i>13</i>
c) <i>La Filière Géothermie.....</i>	<i>17</i>
d) <i>La Filière Eolienne .....</i>	<i>19</i>
3. Synthèse du potentiel de développement des énergies renouvelables de la zone d'aménagement	21
<b>CHAPITRE III : BILAN ENERGETIQUE DU PROJET DE LOTISSEMENTS.....</b>	<b>22</b>
1. Hypothèses de consommations des bâtiments.....	22
2. Répartition des besoins thermiques et électriques du projet.....	24
<b>CHAPITRE IV : POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES - THERMIQUES.....</b>	<b>25</b>
1. Approvisionnement en Energie des Logements.....	25
a) <i>Présentation des mixtes énergétiques.....</i>	<i>27</i>
b) <i>Comparaison des consommations en énergie finale par scénario .....</i>	<i>37</i>
c) <i>Comparaison des coûts de fonctionnement actualisés sur 10 ans .....</i>	<i>38</i>
d) <i>Comparaison des émissions de gaz à effet de serre .....</i>	<i>41</i>
2. Synthèse de l'analyse des scénarios d'approvisionnement en énergie .....	43

## OBJECTIF ET CONTEXTE DE L'ETUDE

**La loi « Grenelle 1 » du 03 août 2009** impose, pour toutes les nouvelles zones d'aménagement urbain, zones d'aménagement concerté ou zones industrielles dès les études préalables une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables.

Cette obligation est retranscrite au sein de l'article L128-4 du Code de l'urbanisme :

*« 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... ».*

La présente étude du potentiel en énergies renouvelables s'inscrit dans le cadre de l'étude d'impact réalisée pour le projet d'aménagement du nouveau quartier d'habitat ARTEMIS sur la Commune de Moulton (14). Ce projet est porté par JSD MOULT.

# CHAPITRE I : PROGRAMME ET BESOINS ENERGETIQUES

## 1. PERIMETRE DE L'ETUDE

### a) PRESENTATION DE LA ZONE D'AMENAGEMENT

Le projet d'aménagement d'un futur quartier d'habitation, à Moul, commune située dans le Calvados en Normandie à 15 Km au SUD-EST de Caen prévoit la création de 364 logements sur une surface de 16 hectares dont :

- 214 parcelles individuelles
- 15 parcelles de 10 logements (soit 150 logements collectifs)



Localisation Commune de Moul



Projet lotissement de ARTEMIS - MOULT – Quarante Deux - Plan masse– Juin 2024

## b) ELEMENTS DE PROGRAMMATION

---

Les hypothèses de programmation du futurs lotissement intégrés dans l'étude sont issues des éléments de programmation de l'opération suivant :

- Projet lotissement de ARTEMIS – MOULT – Quarante Deux – Plan masse– Juin 2024
- Projet Moulton Chicheboville – 3J PROMOTION – Indice B

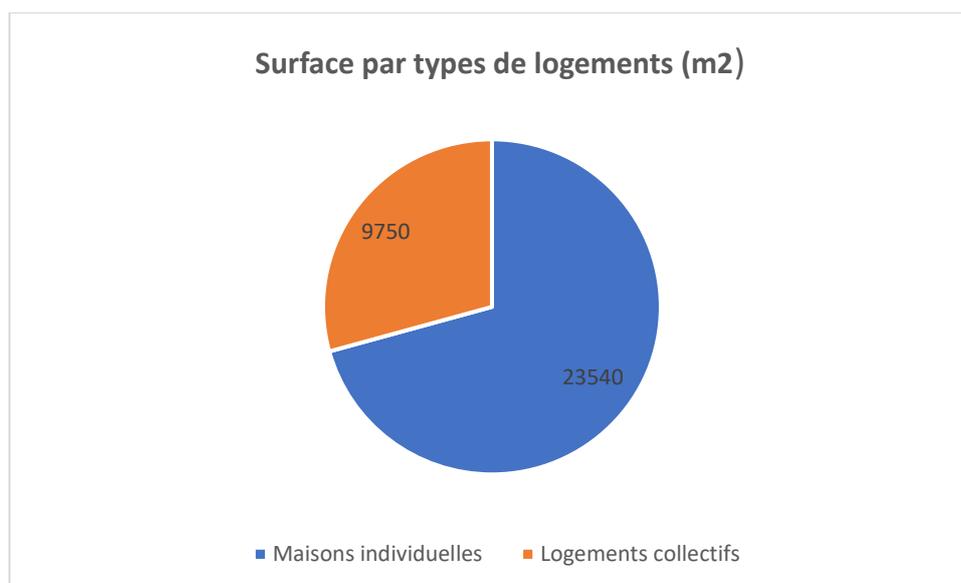
Le futur quartier d'habitat est réparti en 2 typologies de logements :

- 214 parcelles individuelles réparties sur 74 686 m<sup>2</sup> ;
- 15 parcelles collectives de 1669 m<sup>2</sup> pouvant accueillir 10 logements en moyenne ;

➔ **Au total, la parcelle comprend donc : 214 terrains à bâtir et 150 logements collectifs.**

Les Hypothèses de calculs des surfaces habitables sont les suivantes :

- *Logement individuel terrain moyen de 349 m<sup>2</sup> = surface habitable moyenne de 110 m<sup>2</sup> ;*
- *Logements collectifs = surface habitable moyenne 65 m<sup>2</sup> ;*



## 2. CONTEXTE REGLEMENTAIRE & ORIENTATIONS ENERGETIQUES

L'étude est réalisée en amont des projets de construction afin d'intégrer le volet énergie au plus tôt et de permettre d'identifier d'éventuelles orientations pour le projet.

### a) REALISER DES BATIMENTS ECONOMES EN ENERGIES

Le niveau de performance réglementaire pour les usages d'habitations sont soumis à la nouvelle réglementation thermique en vigueur, la RE-2020.

La réglementation environnementale RE2020 introduite par la Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC), et la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) fixent des orientations pour les filières afin d'[atteindre la neutralité carbone en 2050](#).

Les projets de construction de maisons individuelles et de logements collectifs faisant l'objet d'une demande de Permis de Construire déposée à compter du 1<sup>er</sup> Janvier 2022 sont désormais soumis à la RE2020.

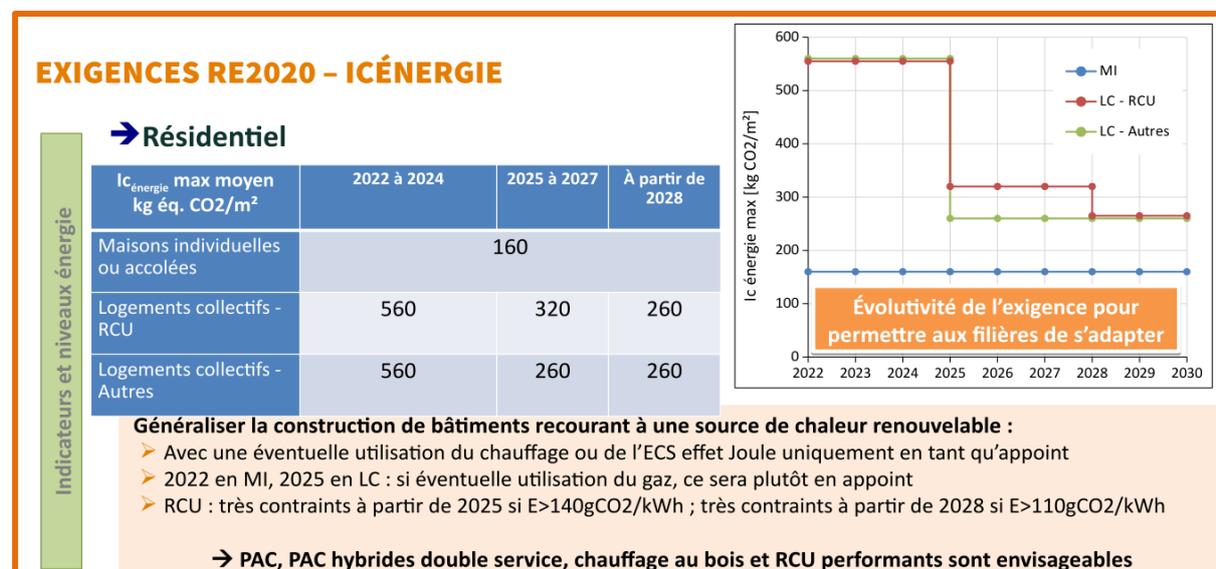
La RE2020 s'articule autour des indicateurs suivants :

Energie	Bbio [points]	Besoins bioclimatiques	Evaluation des besoins de chaud, de froid (que le bâtiment soit climatisé ou pas) et d'éclairage.
	Cep [kWhep/(m <sup>2</sup> .an)]	Consommations d'énergie primaire totale	Evaluation des consommations d'énergie renouvelable et non renouvelable des 5 usages RT 2012 : chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire, éclairage, ventilation et auxiliaires +
	Cep,nr [kWhep/(m <sup>2</sup> .an)]	Consommations d'énergie primaire non renouvelable	1. éclairage et/ou de ventilation des parkings 2. éclairage des circulations en collectif 3. électricité ascenseurs et/ou escalators
Carbone	Ic <sub>énergie</sub> [kg eq. CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	Impact sur le changement climatique associé aux consommations d'énergie primaire	Introduction de la méthode d'analyse du cycle de vie pour l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des énergies consommées pendant le fonctionnement du bâtiment, soit 50 ans.
	Ic <sub>construction</sub> [kg eq. CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	Impact sur le changement climatique associé aux « composants » + « chantier »	Généralisation de la méthode d'analyse du cycle de vie pour l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des produits de construction et équipements et leur mise en œuvre : l'impact des contributions « Composants » et « Chantier ».
Confort d'été	DH [°C.h]	Degré-heure d'inconfort : niveau d'inconfort perçu par les occupants sur l'ensemble de la saison chaude	Évaluation des écarts entre température du bâtiment et température de confort (température adaptée en fonction des températures des jours précédents, elle varie entre 26 et 28°C).

L'atteinte de ces 6 indicateurs imposés par la RE2020 visent à la construction de logements plus sobres en énergie, plus confortables et avec un impact environnemental réduit en termes de construction et de consommations énergétiques.

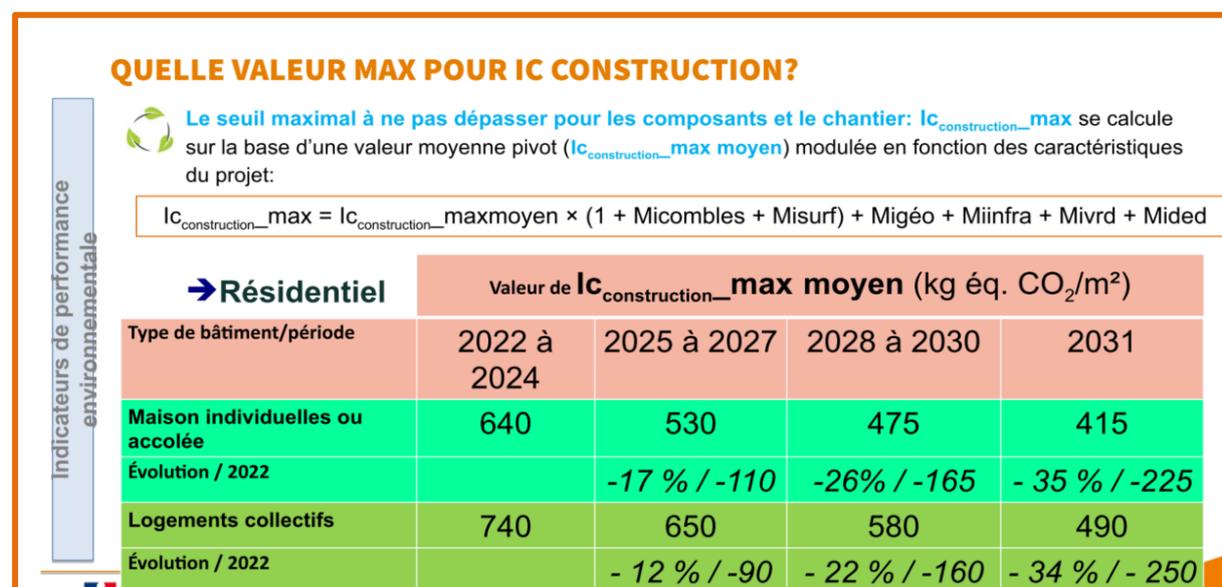
## b) INTEGRER LES ENERGIES RENOUVELABLES

Les études montrent que le choix d'une énergie renouvelable pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire permet de réduire jusqu'à 80% les émissions de CO2 d'un projet d'aménagement de zone. L'application de la RE2020 va progressivement obliger à recourir à des énergies renouvelables pour tous les types de bâtiments, étant obligatoire aujourd'hui uniquement pour les maisons individuelles :

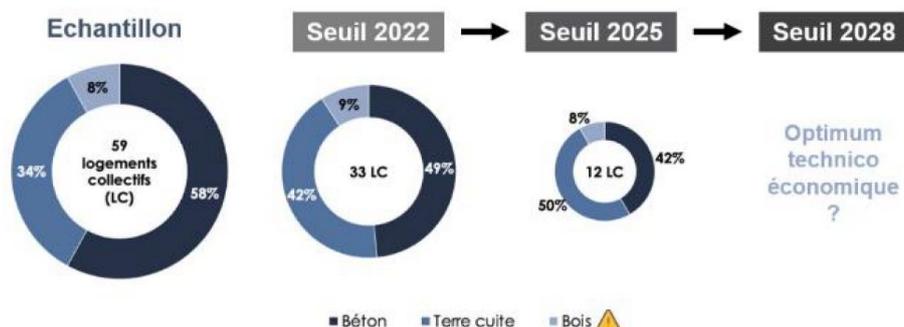


## c) REDUIRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES BATIMENTS

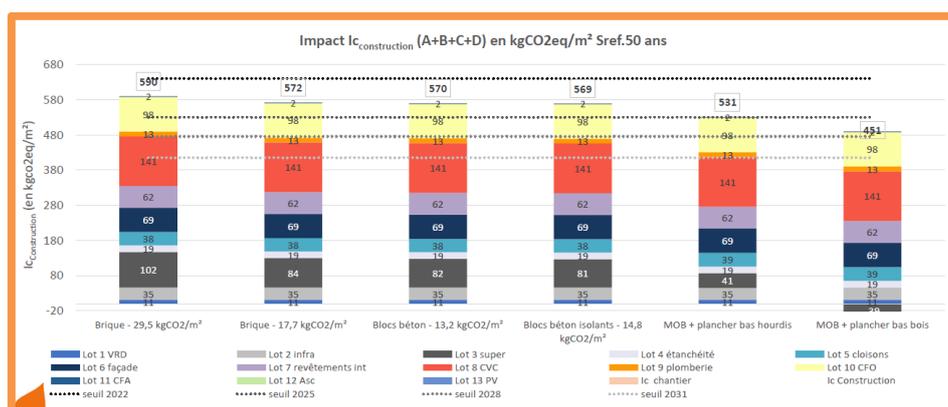
Avec des bâtiments plus économes en énergie, la part d'énergie grise embarquée dans les matériaux de construction devient prépondérante. Les orientations préconisées pour les futures constructions privilégient **l'usage de matériaux biosourcés à faible énergie grise**.



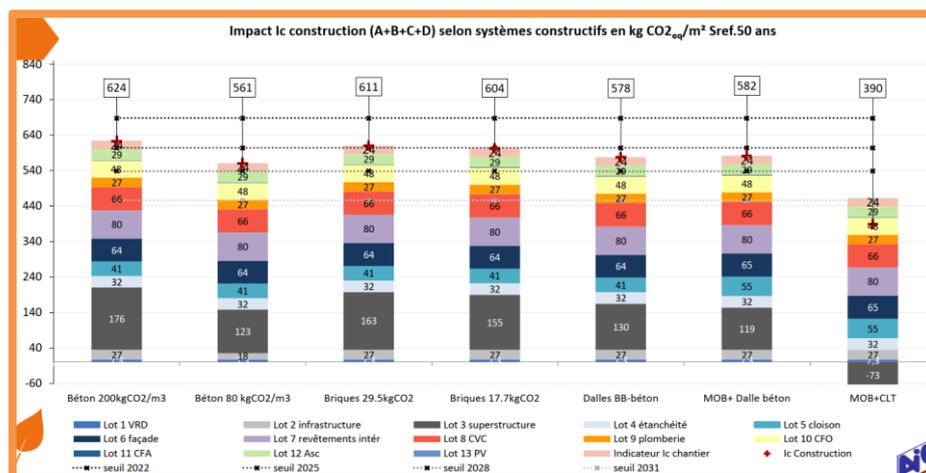
L'évolutivité de la réglementation environnementale implique dès aujourd'hui d'intégrer des matériaux à faible impact environnemental, bas carbone, pour le gros œuvre et dans une deuxième phase pour le second œuvre, obligatoire à l'horizon 2031.



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.**



Quelques variantes de systèmes constructifs d'une maison individuelle



Quelques variantes de systèmes constructifs d'un immeuble collectif de 57 logements

## CHAPITRE II : ENERGIES MOBILISABLES SUR LE SITE

L'état des lieux des ressources locales est établi afin d'identifier les potentiels exploitables sur le site d'implantation du projet et associer les technologies disponibles pour répondre aux besoins énergétiques de la future zone d'aménagement.

Les alternatives énergétiques sont multiples et doivent intégrer les principaux besoins du futur projet, à savoir la production de chaleur (pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire) et la production d'électricité.

Production d'énergie électrique : A l'échelle du site, une solution globale d'approvisionnement en électricité semble compromise compte tenu de la surface totale de la zone d'aménagement et de la surface totale de bâti, il s'agira dès lors de solution locale à l'échelle d'un logement ou d'un bâtiment. *L'implantation de structure de production électrique collective, type éolienne ou centrale solaire photovoltaïque, sont compromises au regard de l'emprise et de la configuration du projet.*

Production d'énergie thermique : **L'opportunité du réseau de chaleur\* à l'échelle du quartier a été écartée compte tenu de la configuration du projet (densité du bâti faible).** Les potentielles sources d'énergies renouvelables identifiées pour la production de chaleur, telles que le solaire thermique, la thermodynamique, ... seront prioritairement développées à l'échelle du logement ou de la résidence.

*\*Quelques repères technico-économiques pour la réalisation d'un réseau de chaleur :*

**- Indicateur de faisabilité d'un réseau de chaleur = Densité thermique, c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'énergie distribuée par le réseau et la longueur de réseau créé (987 ml) ;**

**- Valeur clé = 1,5 MWh/ml ;**

**- Critère ADEME pour le fonds chaleur = 3 MWh/ml ;**

**→ Estimation projet de l'ordre de 0.79 MWh/ml : la densité thermique du projet n'est pas suffisante.**

## 1. ENERGIES FOSSILES

---

Localement le site est desservi par les principaux réseaux énergétiques :

- a) Électricité ;
- b) Gaz naturel ;

### a) L'ELECTRICITE

---

Cette énergie a l'avantage d'être simple à utiliser et très polyvalente, néanmoins elle est difficilement stockable et peu compatible avec une approche écologique de l'énergie. Son impact sur l'environnement est essentiellement lié à son mauvais rendement de production. Seulement un tiers de l'énergie qui entre dans une centrale ressort sous forme d'électricité, ce qui conduit l'électricité à être une grande consommatrice de ressources fossiles comme l'uranium, le gaz, le charbon, le fioul, ... Il convient ainsi de limiter et de réserver l'électricité aux seuls besoins spécifiques d'éclairage, d'électroménager, de bureautique, ...

### b) LE GAZ

---

Le gaz naturel est une énergie fossile comme le fioul néanmoins moins émettrice de CO<sub>2</sub> à énergie produite équivalente.

- ➔ **Le gaz naturel ne sera pas considéré comme une solution de référence pour l'étude compte tenu des évolutions réglementaires et des orientations nationales en cours au vu du contexte énergétique mondial.**

## 2. ENERGIES RENOUVELABLES

---

### a) LA FILIERE SOLAIRE

---

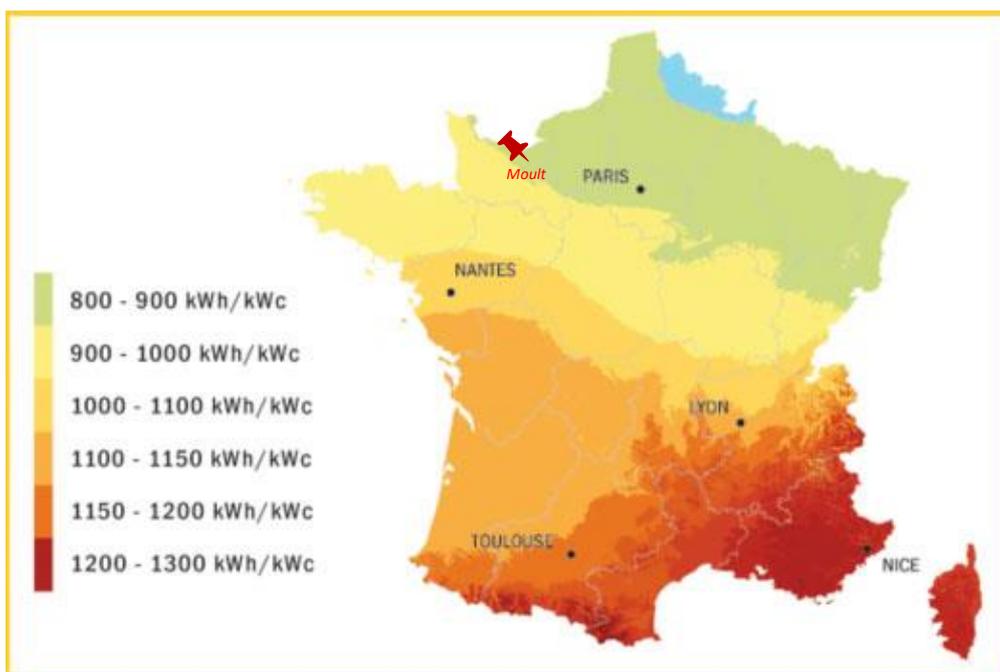
L'ensoleillement est présent partout en France avec des potentiels d'exploitation différents, l'un dit « passif » et l'autre « actif ».

➔ **L'énergie solaire passive** est la moins chère et l'une des plus efficaces. Elle entre directement dans ce que l'on appelle communément l'approche bioclimatique : il s'agit de réaliser le meilleur compromis architectural, entre apports de chaleur gratuits l'hiver, éclairage naturel optimisé et limitation des

surchauffes l'été et en mi-saison. Cette énergie est directement liée au plan masse de la zone d'aménagement et au schéma d'implantation des bâtiments sur celle-ci.

→ **L'énergie solaire active** se décline sous la forme thermique\* (pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire), et sous la forme photovoltaïque\*\* (pour la production d'électricité).

*La ressource solaire est plus ou moins importante selon la localisation du site :*



*Carte de France de la production théorique – Ensoleillement – Arebor-énergie*

L'ensoleillement du territoire analysé est « faible » à « moyen » : un peu plus faible que la moyenne française. Cela ne veut pas dire que les installations solaires ne seront pas pertinentes sur la zone étudiée, mais que les productions seront un peu moins élevées pour une même surface (au minimum 800 à 1000 kWh par kWc installé), et donc la rentabilité un peu plus longue.

\*Le solaire thermique :

La filière solaire thermique s'applique prioritairement à l'approvisionnement en eau chaude des bâtiments. Compte tenu des besoins en eau chaude sanitaire du projet d'aménagement pour les logements, cette source d'énergie semble pertinente à l'échelle du projet et à l'échelle de la construction.

→ **L'exploitation du solaire thermique peut permettre de couvrir une partie des besoins en Eau Chaude Sanitaire des logements ;**

### \*\*Le solaire photovoltaïque :

La filière solaire photovoltaïque peut être intéressante à l'échelle du logement compte tenu de la part importante de logements individuels et de la part des besoins en électricité croissante au regard de la réduction des besoins thermiques du bâti liée aux exigences de la réglementation thermique.

- ➔ **L'exploitation du solaire photovoltaïque à l'échelle des logements individuels présente une alternative intéressante pour les besoins en électricité du projet ;**
- ➔ **L'exploitation du solaire thermique peut permettre de couvrir une partie des besoins en Eau chaude sanitaire des logements ;**

### \*\*\* Orientation des parcelles :



*Projet lotissement de ARTEMIS - MOULT – Quarante Deux - Plan masse– Juin 2024*

Une bonne partie des lots bénéficie d'orientation solaire favorables : Nord-Ouest/Sud-Est ou Nord-Est/Sud-Ouest.

➔ **Contraintes réglementaires : Non concerné**

Le projet n'est pas situé dans une zone de protection relative à la préservation de l'architecture, du patrimoine historique ou paysager.



Patrimoine remarquable -atlas.patrimoines.culture.fr

***La filière solaire présente un gisement intéressant et indéfiniment renouvelable qui pourrait permettre de satisfaire d'une part les besoins thermiques des futurs logements pour les besoins prépondérants en eau chaude sanitaire, et les besoins électriques d'autre part ;***

## b) LA FILIERE BIOMASSE

---

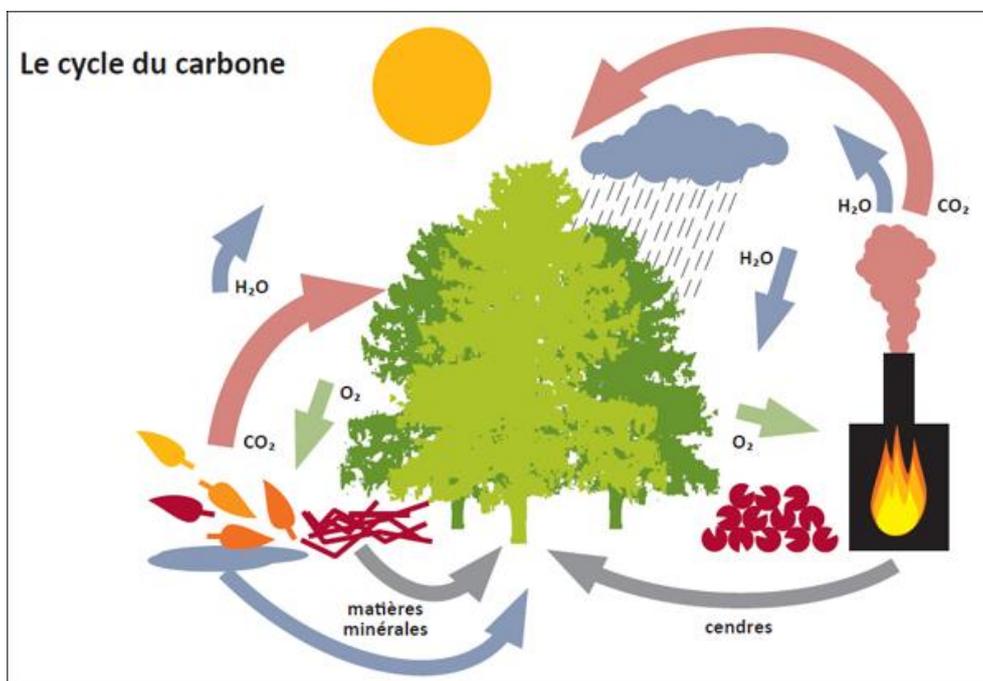
En énergétique, le terme de « biomasse » regroupe toutes les matières organiques qui peuvent dégager de l'énergie soit par combustion directe ou suite à une étape de transformation. La biomasse est la fraction biodégradable des produits, des déchets et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture (y compris les substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes, y compris la pêche et l'aquaculture, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux.

Les ressources biomasse utilisées directement ou indirectement pour la production d'électricité peuvent être classées en plusieurs catégories, selon leur origine :

- le bois-énergie (plaquettes forestières et connexes de l'exploitation forestière dans leur ensemble, broyats de bois d'emballage, broyat de bois usagés, granulés, plaquettes bocagères...)
- les sous-produits de l'industrie tels que les boues issues de la pâte à papier (liqueur noire) et les déchets des industries agroalimentaires (marcs de raisin et de café, pulpes et pépins de raisin etc.) ;
- les produits issus de l'agriculture traditionnelle (céréales, oléagineux), résidus tels que la paille, la bagasse (résidus ligneux de la canne à sucre) et les nouvelles plantations à vocation énergétique telles que les taillis à courte rotation (saules, miscanthus,...) ;
- les déchets organiques tels que les déchets urbains comprenant les boues d'épuration, les ordures ménagères, et les déchets en provenance de l'agriculture tels que les effluents agricoles.

## LE BOIS ENERGIE :

→ Actuellement le Bois Energie est l'une des ressources les plus intéressantes de par son caractère Renouvelable, Neutre pour l'effet de serre (dans le cadre des forêts éco-gérées), Bon marché et Performant.

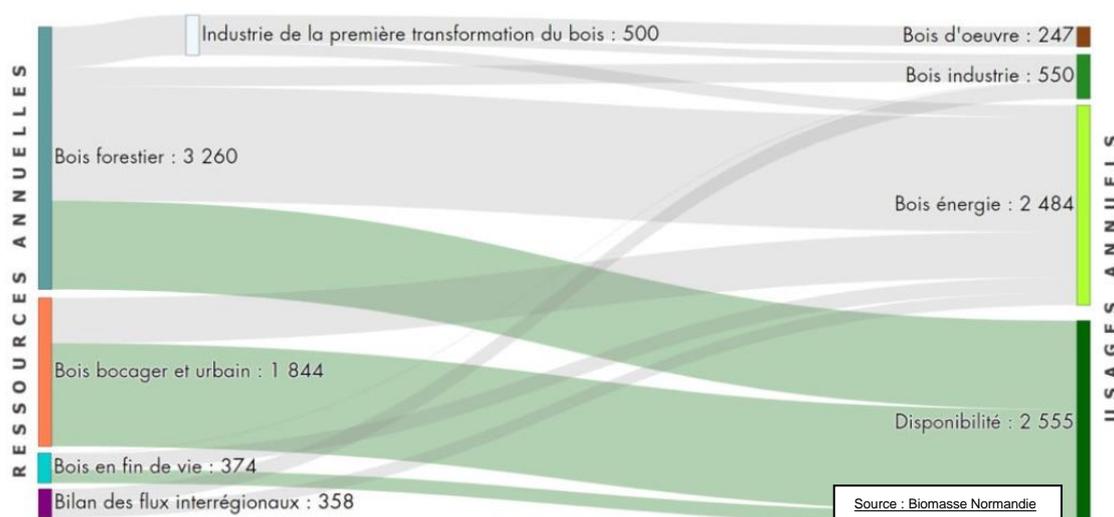


*Cycle du Bois-Energie – Impact neutre sur l'effet de serre*

Le gisement disponible est constitué de la ressource forestière, du bois de taille issu de l'entretien des haies, ... des sous-produits des industries du bois et des bois de rebut non souillés garantissant la disponibilité de la ressource.

L'étude « *Animation de la filière bois-énergie en Normandie : synthèse du bilan réalisé fin 2017* », réalisée par Biomasse Normandie pour la région Normandie donne un aperçu de la ressource Bois sur le territoire Normand et la disponibilité de la ressource. 79% du volume de bois-énergie consommé en Normandie provient du territoire normand.

### Ressources et usages du bois en Normandie (milliers de tonnes)



#### Encart 1 : Le chauffage domestique au bois

Biomasse Normandie a réalisé un bilan sur les consommations de bois de feu en Normandie sur la base de deux travaux :

- Basse-Normandie : enquêtes réalisées début 2013 auprès de 879 ménages, en partenariat avec BVA et pour le compte de la DRAAF Basse-Normandie,
- Haute-Normandie : enquêtes réalisées début 2015 auprès de 900 ménages avec FPC, cabinet d'enquêtes régional, pour la DRAAF Haute-Normandie. L'exploitation des résultats a été faite en collaboration avec l'Université de Caen.

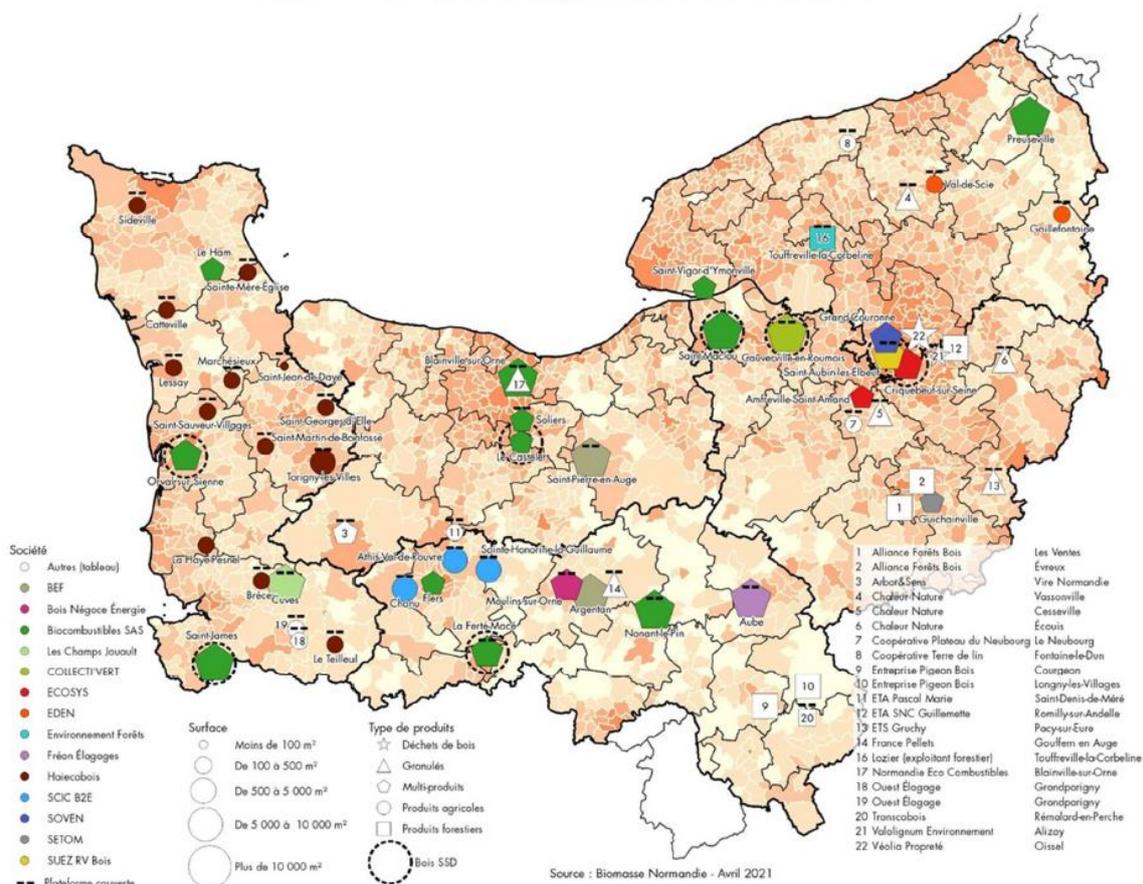
Ainsi en Normandie, 475 000 ménages, soit 48 % des résidences principales de type maison individuelle, utilisent du bois de chauffage sous forme de bûches pour 95 % d'entre eux et de granulés pour 5 %, que ce soit à titre principal, en appoint d'une autre énergie ou encore pour le plaisir. **La consommation régionale de bûches est de 2,9 millions de stères par an à climat normal, soit de l'ordre de 4 640 GWh/an.**

Depuis 2006, il est constaté, d'une part l'apparition de l'utilisation des granulés de bois et, d'autre part une stabilité de la consommation régionale de bûches malgré l'augmentation de 17 % des ménages y ayant recours : l'arrêt d'équipements anciens de faibles rendements, la mise en service de matériels neufs performants, l'amélioration de l'efficacité énergétique du bâti (logements neufs et rénovés), la conversion d'appareils existants d'un usage principal vers l'appoint ont en commun de diminuer, en moyenne et la consommation de bois par ménage.

**L'objectif inscrit dans les SRCAE en matière de consommation de bois-énergie pour les ménages normands vise à atteindre un niveau de 5 336 GWh/an (2 100 k t/an), soit + 696 GWh d'ici 2020.**

En repartant du ratio obtenu lors de l'enquête pour la consommation moyenne d'un ménage (0,84 tep/an), pour un nombre total d'utilisateurs ménagers en résidence principale de type maison individuelle, il faudrait *a minima* environ 14 000 ménages supplémentaires par an pendant 5 ans (2016 à 2020) faisant le choix de l'utilisation du bois-énergie. Cette estimation est valable si l'on considère que la performance "moyenne" des matériels installés croît et que les besoins moyens des habitations sont en diminution.

Carte 6 : Localisation des plates-formes en Normandie



La lecture de ces données permet de mettre en avant la disponibilité de la ressource bois-énergie sur le territoire Normand.

La ressource en bois n'est donc pas un facteur limitant pour développer les projets de chauffage collectif ou individuel au bois. Localement un accord entre l'ONF, Coforouest, Biocombustibles SA, ... garantit l'alimentation en commun des chaufferies collectives et industrielles en plaquettes forestières. De plus, une garantie de la valorisation du bois local peut être demandée par le maître d'ouvrage.

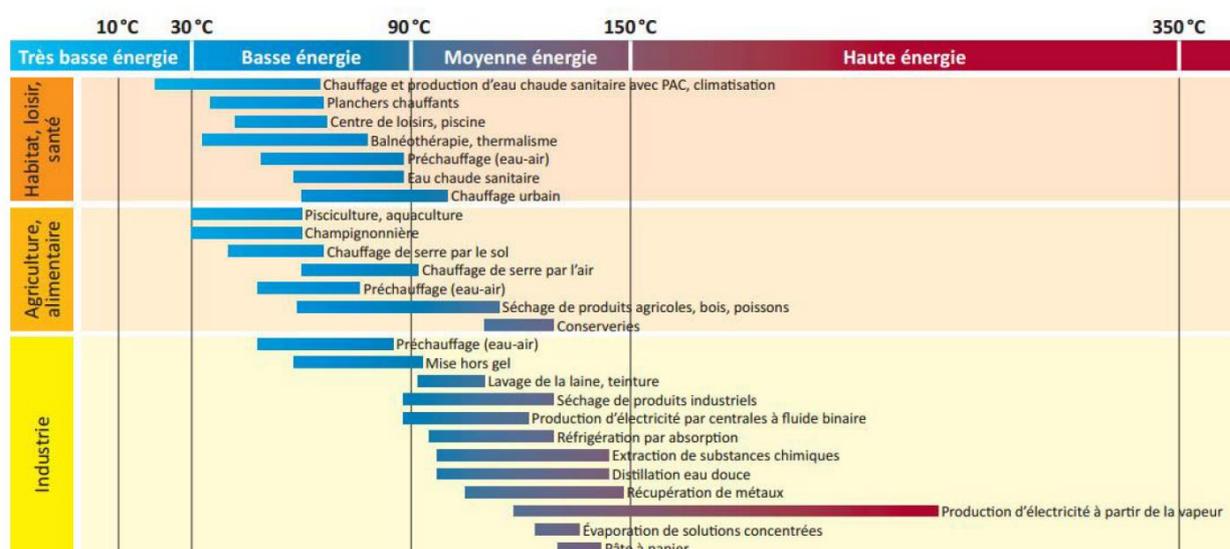
**La ressource Biomasse locale peut effectivement permettre de répondre entièrement aux besoins thermiques du futur quartier sur les moyens et longs termes.**

**L'alternative Bois sera plutôt retenue comme une solution d'approvisionnement individuelle déployée à l'échelle de chaque logement (poêle à bois ou à granulés, chaudière granulée à condensation).**

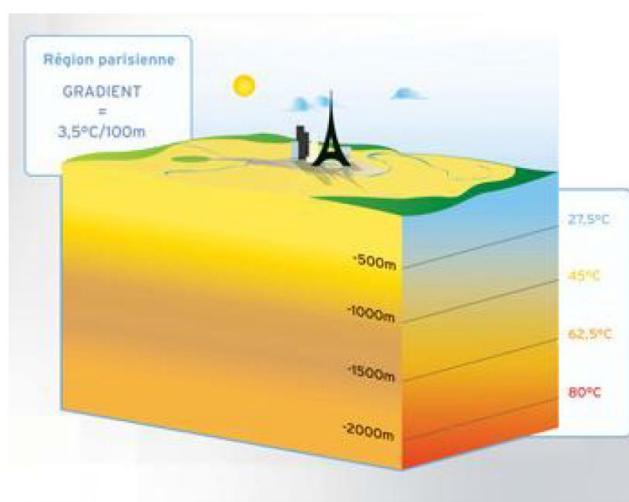
## c) LA FILIERE GEOTHERMIE

La géothermie est l'exploitation de la chaleur du sous-sol. Elle couvre l'ensemble des applications permettant de récupérer la chaleur contenue dans le sous-sol ou dans les nappes d'eau souterraines (la température de la terre et de l'eau souterraine est d'autant plus élevée que l'on se rapproche du centre de la terre). Le « gradient géothermal », c'est-à-dire l'accroissement de la température en fonction de la profondeur, est en moyenne sur notre planète de 3,3°C par 100 mètres.

Les gisements géothermiques sont qualifiés en fonction de leur température de haute à très basse énergie et en fonction de l'application, les calories ainsi récupérées peuvent servir à la production de chaleur et/ou de froid :



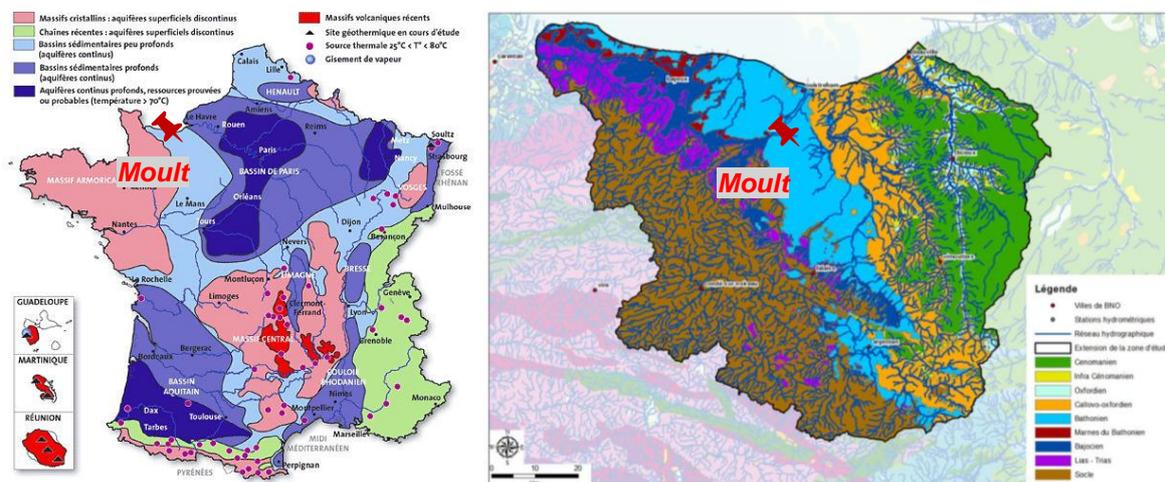
Les principales utilisations de la géothermie en fonction des températures – Géothermie Perspectives



- Géothermie très basse énergie = à la surface de la terre ;
- Géothermie basse énergie = de 1000 à 2500m de profondeur ;
- Géothermie moyenne énergie = de 2500 à 4000m de profondeur ;
- Géothermie haute énergie = jusqu'à 4000m de profondeur ;

Le territoire d'implantation de la future zone d'aménagement sur la commune de Moul (14) est caractérisé par des aquifères peu profonds où la température sera inférieure à 30°C, température très basse, qui peut cependant être utilisée pour le chauffage et le refroidissement adjoint à une pompe à chaleur :

### Nature de la nappe phréatique – Données BRGM :



Extrait du rapport du BRGM/RP-62002-FR de Juin 2013

**Seul un potentiel de géothermie très basse énergie sera exploitable sur le site (aquifère du Bathonien) à de faibles profondeurs. L'exploitation de cette alternative très sollicitée aujourd'hui, peut-être une opportunité à l'échelle individuelle.**

## d) LA FILIERE EOLIENNE

Le principe de l'éolien est de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique puis en énergie électrique. Synthétiquement, une éolienne se compose d'un mât, d'un rotor équipé de pales et d'une génératrice produisant l'électricité. Ainsi, on distingue 2 catégories d'éoliennes :

- Le micro-éolien : puissance de quelques dizaines de kilowatts et inférieure à 12m ;
- Le petit éolien : puissance comprise entre quelques dizaines et quelques centaines de kilowatts et inférieure à 50m ;
- Le grand éolien : puissance comprise entre quelques centaines de kilowatts et quelques mégawatts et supérieure à 50m ;

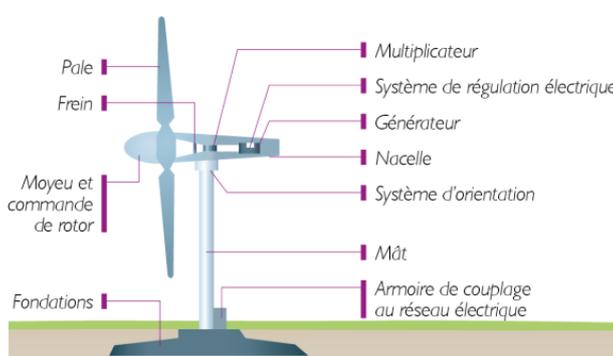
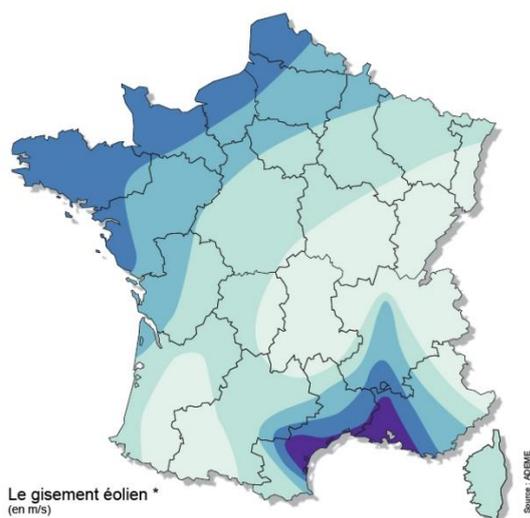


Schéma de principe d'une éolienne (source ADEME – guide pratique éolien)

La Basse-Normandie possède un potentiel de développement éolien favorable au regard l'exposition du département aux vents dominants (Voir Rose des vents pour le site ci-dessous) :

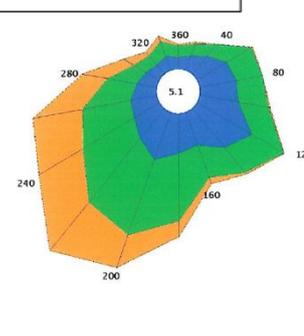


Le gisement éolien\* (en m/s)

	Bocage dense, bois, banlieue	Rase campagne, obstacles épars	Prairies plates, quelques buissons	Lacs, mer	Crêtes** collines
Zone 1	< 3,5	< 4,5	< 5,0	< 5,5	< 7,0
Zone 2	3,5 - 4,5	4,5 - 5,5	5,0 - 6,0	5,5 - 7,0	7,0 - 8,5
Zone 3	4,5 - 5,0	5,5 - 6,5	6,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,5 - 10
Zone 4	5,0 - 6,0	6,5 - 7,5	7,0 - 8,5	8,0 - 9,0	10 - 11,5
Zone 5	> 6,0	> 7,5	> 8,5	> 9,0	> 11,5

\* Vitesse du vent à 50 mètres au dessus du sol en fonction de la topographie  
 \*\* Les zones montagneuses nécessitent une étude de gisement spécifique.

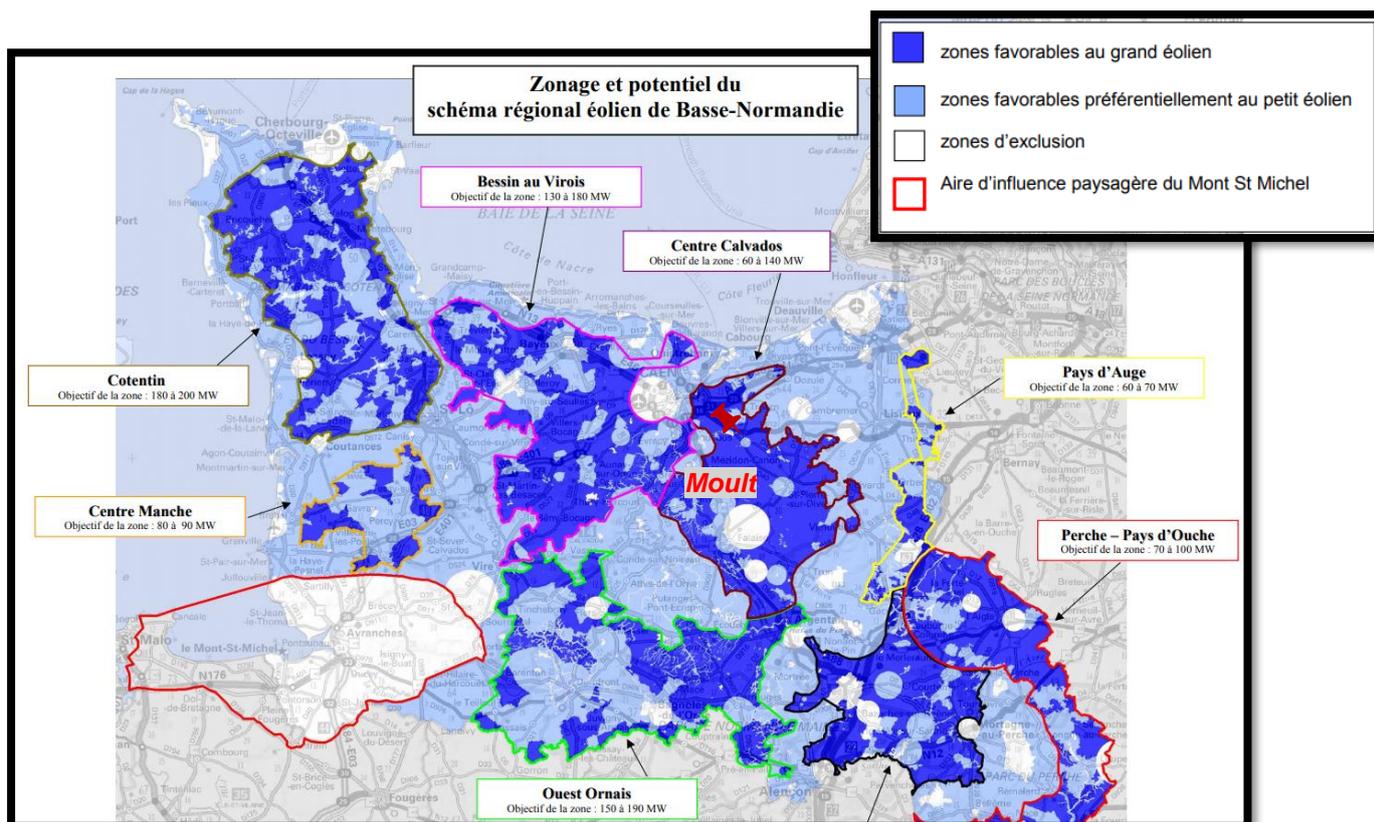
La vitesse moyenne de vent observée dans la région est donc au minimum de 4,5 m/s à 50m et dans la majeure partie des cas, elle est bien supérieure. Au titre des ZDE (circulaire du 19 juin 2006), on considère qu'un minimum de 4m/s à 50m est requis. Sur ce seul critère, l'ensemble de la région est donc éligible à l'accueil de ZDE.



Dir.	110-135°	145-180°	> 200°	Total
20	1,0	0,8	0,1	1,9
40	1,5	1,0	+	2,5
60	2,2	1,5	+	4,2
80	2,4	1,7	+	4,2
100	2,6	2,0	+	4,7
120	4,1	2,4	+	6,5
140	3,3	2,1	0,1	5,4
160	2,2	2,2	0,4	4,8
180	2,5	4,3	1,6	7,8
200	3,2	5,0	2,2	10,4
220	2,5	5,2	4,6	11,7
240	1,9	3,6	3,3	9,1
260	1,8	3,2	3,0	8,2
280	1,4	1,8	1,7	5,0
300	1,0	0,9	0,8	2,7
320	0,8	0,8	0,3	1,9
340	1,0	1,0	0,4	2,3
360	0,8	0,7	0,1	1,6
Total	36,0	40,9	18,0	94,9
[0,1,5]				5,1



Rose des vents – Station Météo France Caen-Carpiquet (14)



*Document SRE Basse-Normandie-Vfinale-18-10-2012*

**Situation de la Commune :** La Commune de Moulton apparaît dans le Schéma régional éolien (SRE) de Basse-Normandie dans les zones favorables au développement du grand éolien.

Malgré le potentiel régional et local favorable pour le développement de l'éolien la proportion et la densité du bâti à l'échelle de la parcelle du projet apparaît inadapté au grand éolien comme au petit éolien. Seul le micro éolien reste une alternative exploitable individuellement mais à ce jour encore très expérimentale.

### 3. SYNTHÈSE DU POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DE LA ZONE D'AMÉNAGEMENT

<i>Energie</i>	<i>Mobilisation sur le site</i>	<i>Atouts / Avantages</i>	<i>Contraintes / Inconvénients</i>
<i>Electricité</i>	<i>Disponible sur le site</i>	<i>Disponibilité</i>	<i>Coût élevé Faible rendement global Gestion des déchets nucléaires</i>
<i>Gaz</i>	<i>Disponible sur le site</i>	<i>Disponibilité</i>	<i>Dépendance à la Russie et autres états Energie fossile à fort impact environnemental</i>
<i>Solaire thermique</i>	<i>Etude d'implantation à réaliser → orientation Sud-Ouest des toitures et inclinaison</i>	<i>Energie renouvelable et gratuite</i>	<i>Ombres portées liées à l'environnement et orientation des logements</i>
<i>Solaire photovoltaïque</i>	<i>Etude technico-économique à l'échelle individuelle à réaliser (autoconsommation) → orientation Sud-Ouest des toitures et inclinaison</i>	<i>Energie renouvelable et gratuite</i>	<i>Ombres portées liées à l'environnement et orientation des logements</i>
<i>Bois</i>	<i>Filière bois locale structurée</i>	<i>Disponibilité de la ressource localement Impact carbone réduit</i>	<i>Densité thermique du réseau de chaleur faible pour l'ensemble du projet</i>
<i>Thermodynamique</i>	<i>Potentiel d'exploitation et disponibilité de :</i> <ul style="list-style-type: none"><li>- L'Air</li><li>- L'Eau</li><li>- Le Sol</li></ul>	<i>Amélioration de l'efficacité d'une solution de chauffage électrique Part d'énergie gratuite provenant d'une source chaude ou froide naturelle</i>	<i>Impact sur l'effet de serre du fluide frigorigène Solution électrique améliorée</i>
<i>Micro éolien</i>	<i>Zone favorable aux vents</i>	<i>Energie renouvelable et gratuite</i>	<i>Micro éolien à titre expérimental</i>
<i>Grand éolien/ Petit éolien</i>	<i>Zone favorable aux vents</i>	<i>Energie renouvelable et gratuite</i>	<i>Site non adapté</i>
<i>Réseau de chaleur urbain</i>	<i>Indisponible sur le site</i>	<i>Quartier non desservi</i>	<i>Proximité Coût d'installation Engagement à long terme Déperdition de transit</i>

## CHAPITRE III : BILAN ENERGETIQUE DU PROJET DE LOTISSEMENTS

Afin de déterminer le niveau de couverture des consommations énergétiques du projet d'aménagement par les énergies renouvelables, il est important de définir les niveaux de consommations énergétiques attendues sur le quartier de manière exhaustive.

Il s'agit dans cette partie :

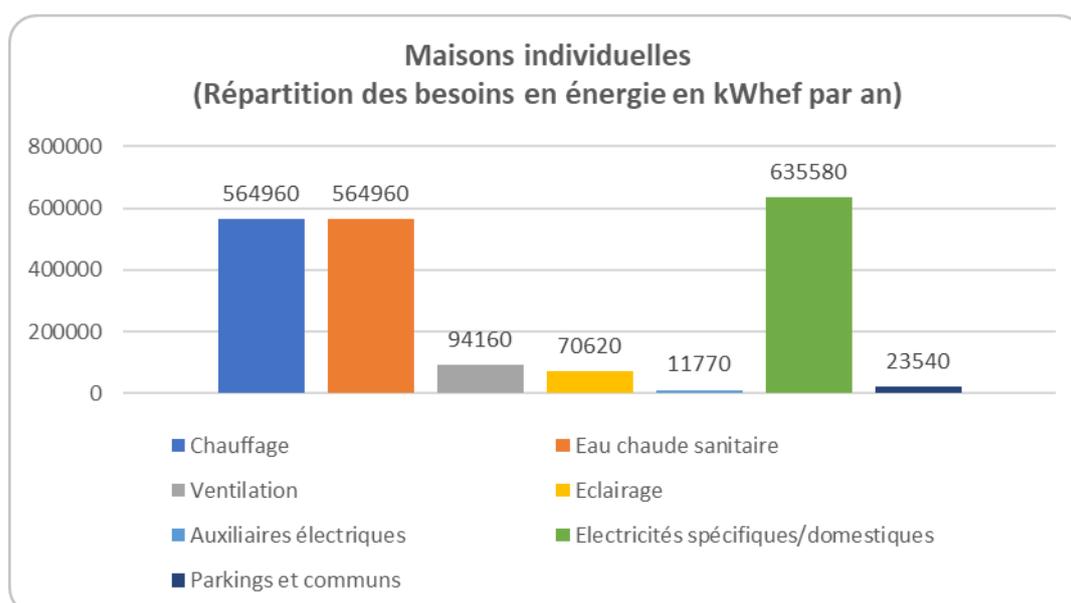
- D'évaluer les principales consommations énergétiques du futur quartier en fin d'opération, sur la base de la nouvelle réglementation environnementale RE2020 ;
- De définir des scénarios d'approvisionnement en énergie mobilisant les énergies renouvelables pour répondre à ces besoins et répondre au cadre réglementaire de la RE2020 ;
- D'évaluer l'impact environnemental de ces scénarios ;
- D'évaluer l'impact économique de ces scénarios ;

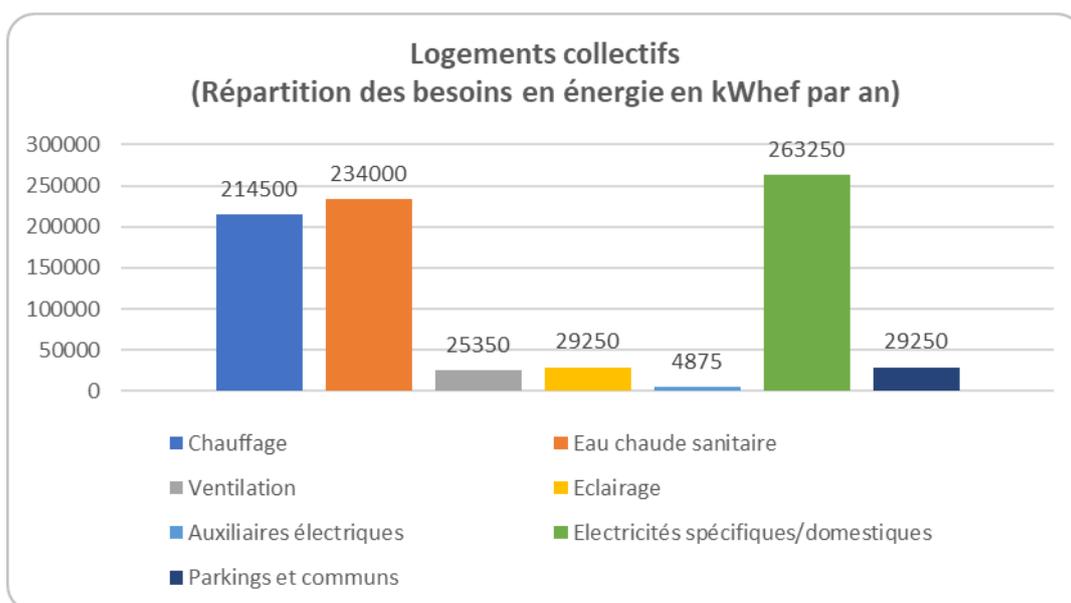
### 1. HYPOTHESES DE CONSOMMATIONS DES BATIMENTS

Pour estimer les consommations prévisionnelles en énergie finale en fonction du niveau de performance des bâtiments, nous appliquons des ratios de consommations conventionnels déterminés sur la base des études internes : Calculs thermiques réglementaires RE2020 + Expérimentations Energie/Carbone (E+/C-).

\* Pour rappel : les Hypothèses de calculs des surfaces habitables sont les suivantes :

- Logement individuel terrain moyen de 349 m<sup>2</sup> = surface habitable moyenne de 110 m<sup>2</sup> ;
- Logements collectifs = surface habitable moyenne 65 m<sup>2</sup> ;



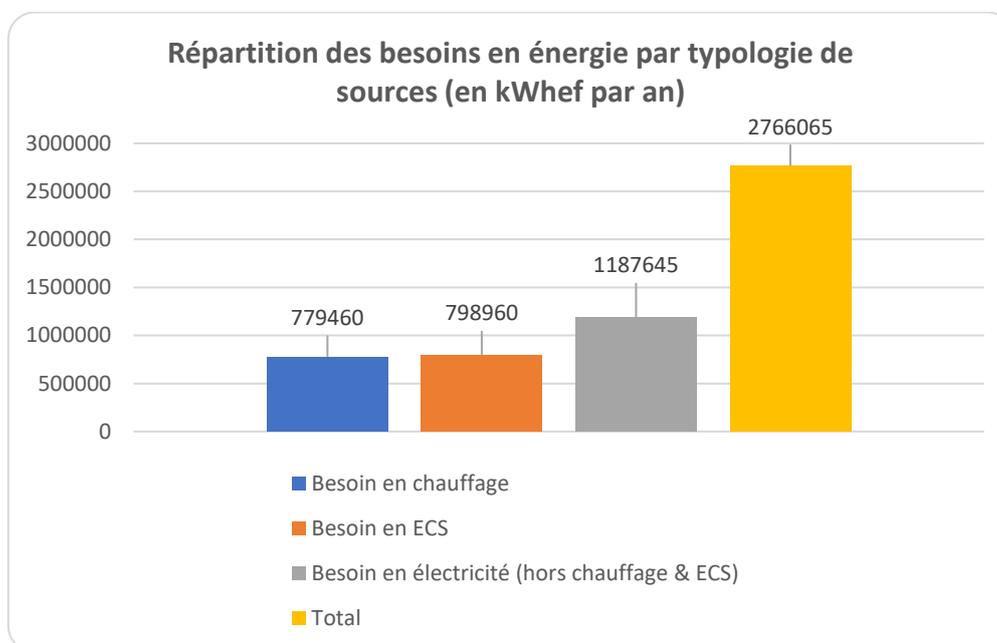


En complément, les consommations non réglementaires sont inspirées des scénarios de consommations NégaWatt pour les ménages, qui va au-delà de la nouvelle réglementation environnementale, où les usagers sont impliqués dans le niveau de performance de leur habitat notamment sur la consommation d'électricité domestique.



## 2. REPARTITION DES BESOINS THERMIQUES ET ELECTRIQUES DU PROJET

A partir des hypothèses de programmation et de consommations, le graphique suivant présente la consommation prévisionnelle d'énergie finale par typologie de sources d'énergie : thermique et électrique :



Au fil de l'évolution des réglementations thermiques, les besoins thermiques encore prépondérants en RT2012, tendent à se réduire et devenir minoritaires en RE2020, comme c'est le cas pour le passif qui laisse entrevoir la part non négligeable des « autres » consommations d'un bâtiment.

***Nota :** Il est important de préciser que les valeurs indiquées sont issues d'hypothèses de surface liées aux éléments de programmation fournis.*

*A ce stade, elles ne peuvent être interprétées comme des valeurs de référence de la consommation du site mais comme une cartographie, un indicateur, des valeurs relatives pour les usages énergétiques considérés permettant de définir le poids relatif de chacun.*

*Elles ne peuvent être assimilées à un estimatif de consommation ou à un calcul réglementaire.*

## CHAPITRE IV : POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES - THERMIQUES

Après avoir estimé les niveaux de consommations énergétiques du site, en première partie de l'étude, et analysé les ressources énergétiques locales disponibles. Nous allons étudier les solutions d'approvisionnement en énergie et les mixtes énergétiques qui pourraient permettre de répondre aux besoins spécifiques du projet.

Au vu des plans, les logements intermédiaires sont des maisons individuelles mitoyennes et donc les solutions pour maisons individuelles s'appliquent au mieux.

### 1. APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE DES LOGEMENTS

Nous avons donc étudié 7 scénarios pour le projet, pour les logements individuels :

<i>Solutions techniques</i>	<i>Chauffage</i>	<i>Eau chaude sanitaire</i>	<i>Energie d'appoint</i>
<i>S0 : Aérothermie</i>	<i>Pompe à chaleur Air/Eau COP moyen annuel = 2</i>	<i>Pompe à chaleur Air/Eau COP moyen annuel = 2</i>	<i>Electricité</i>
<i>S1 : Bois</i>	<i>Bois</i>	<i>Bois</i>	<i>Electricité</i>
<i>S2 : Bois – ECS Solaire thermique</i>	<i>Bois</i>	<i>Solaire (couverture de 40% des besoins)</i>	<i>Electricité</i>
<i>S3 : Bois + Ballon thermodynamique + Solaire photovoltaïque</i>	<i>Bois</i>	<i>Ballon ECS thermodynamique COP moyen annuel = 2</i>	<i>Electricité – Solaire photovoltaïque</i>
<i>S4 : Aérothermie – Solaire photovoltaïque</i>	<i>Pompe à chaleur Air/Eau COP moyen annuel = 2</i>	<i>Pompe à chaleur Air/Eau COP moyen annuel = 2</i>	<i>Electricité – Solaire photovoltaïque</i>
<i>S5 : Géothermie</i>	<i>Pompe à chaleur Eau/Eau COP moyen annuel = 4</i>	<i>Pompe à chaleur Eau/Eau COP moyen annuel = 4</i>	<i>Electricité</i>
<i>S6 : Géothermie – Solaire photovoltaïque</i>	<i>Pompe à chaleur Eau/Eau COP moyen annuel = 4</i>	<i>Pompe à chaleur Eau/Eau COP moyen annuel = 4</i>	<i>Electricité – Solaire photovoltaïque</i>

Nous avons donc étudié 6 scénarios pour le projet, pour les logements collectifs :

<i>Solutions techniques</i>	<i>Chauffage</i>	<i>Eau chaude sanitaire</i>	<i>Energie d'appoint</i>
<i>S0 : Bois</i>	<i>Bois</i>	<i>Bois</i>	<i>Electricité</i>
<i>S1 : Bois – Solaire photovoltaïque</i>	<i>Bois</i>	<i>Solaire (couverture de 40% des besoins)</i>	<i>Electricité</i>
<i>S2 : Pompe à chaleur aérothermie sans unité extérieure</i>	<i>Pompe à chaleur Air/Eau COP moyen annuel = 3,3</i>	<i>Pompe à chaleur Air/Eau COP moyen annuel = 3,3</i>	<i>Electricité</i>
<i>S3 : Pompe à chaleur aérothermie sans unité extérieure - Solaire photovoltaïque</i>	<i>Pompe à chaleur Air/Eau COP moyen annuel = 3,3</i>	<i>Pompe à chaleur Air/Eau COP moyen annuel = 3,3</i>	<i>Electricité – Solaire photovoltaïque</i>
<i>S4 : Pompe à chaleur aérothermie centralisée avec unité intérieure par logement</i>	<i>Pompe à chaleur Air/Eau COP moyen annuel = 2</i>	<i>Pompe à chaleur Air/Eau COP moyen annuel = 2</i>	<i>Electricité</i>
<i>S5 : Pompe à chaleur aérothermie centralisée avec unité intérieure par logement - Solaire photovoltaïque</i>	<i>Pompe à chaleur Air/Eau COP moyen annuel = 2</i>	<i>Pompe à chaleur Air/Eau COP moyen annuel = 2</i>	<i>Electricité – Solaire photovoltaïque</i>

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

- **Des consommations en énergie finale ;**
- **De l'impact environnemental (émission de CO2) ;**
- **Du coût de fonctionnement ;**

## a) PRESENTATION DES MIXTES ENERGETIQUES

### Introduction de la centrale solaire photovoltaïque :

La centrale photovoltaïque via les cellules photovoltaïques installées sur les panneaux solaires, transforme l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique.

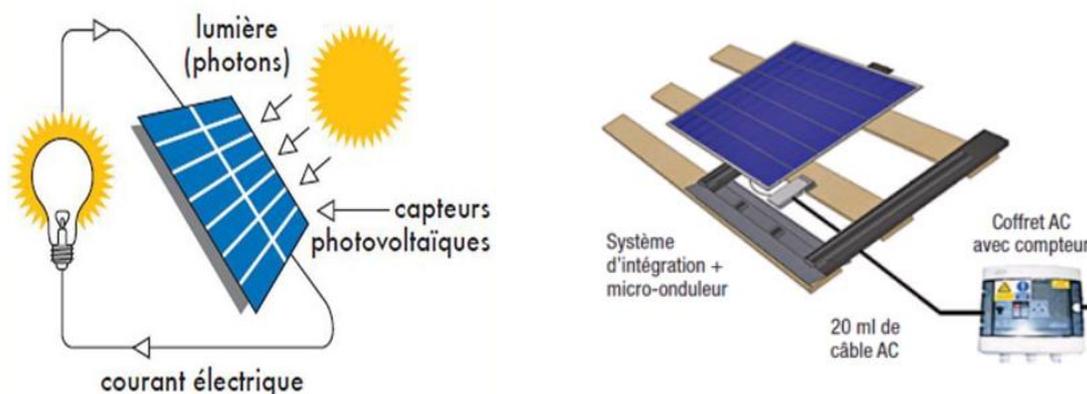


Schéma de principe de production d'électricité par panneaux photovoltaïques / Schéma des éléments constitutifs d'un kit PV

Le kit se compose :

- De panneaux ou tuiles photovoltaïques : dans le cas de panneaux, l'électricité continue est transformée en courant alternatif par des micro-onduleurs directement intégrés aux panneaux ; dans le cas de tuiles PV, un unique onduleur central permet de transformer l'électricité ;
- D'un compteur pour visualiser la production électrique ;
- D'un parafoudre et d'un disjoncteur ;
- D'une connectique onduleur-tableau électrique (câble AC) ;

La carte géographique nous montre la production annuelle en kWh pouvant être réalisée par les kits de capteurs photovoltaïques pour l'autoconsommation.

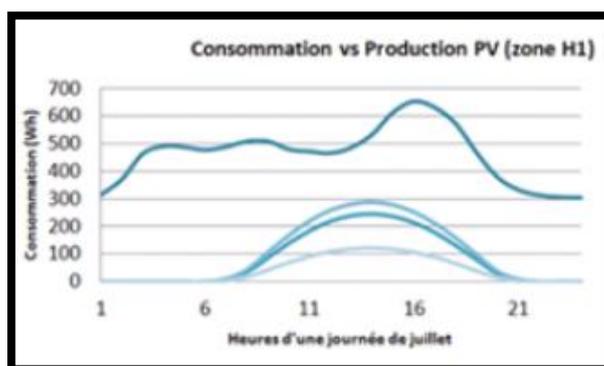
Selon la zone géographique du projet, le tableau indique la production d'électricité de chaque panneau :

Zone	1	2	3	4	
<b>1 Panneau</b>	245	260	290	340	kWh/an
<b>2 Panneaux</b>	490	520	580	690	kWh/an
<b>4 Panneaux</b>	980	1040	1160	1380	kWh/an

(Panneaux de 250Wc en position idéale)



L'installation d'un kit photovoltaïque de 1 à 4 panneaux permettra dans la plupart des cas une autoconsommation totale de l'électricité produite : en effet, la production photovoltaïque sera le plus souvent inférieure au talon de consommation d'électricité domestique du logement (Voir Courbes ci-dessous) :



Profil de consommation d'électricité et de production des panneaux solaires pour la zone H1

→ Il sera considéré dans la présente étude :

- Pour les logements individuels : 750 kWh/KWc d'efficacité de production, pour une installation de puissance 3 kWc (environ 7 panneaux de 2 m<sup>2</sup>) sur chaque maison individuelle soit une production totale de 481 500 kWh par an
- Pour les logements collectifs : 750 kWh/KWc d'efficacité de production, pour des installations de puissance 15 kWc (soit environ 33 panneaux de 2 m<sup>2</sup> sur les 15 bâtiments soit une production totale de 168 750 kWh par an pour l'ensemble des logements collectifs.

## Solutions pour maisons individuelles et logements intermédiaires

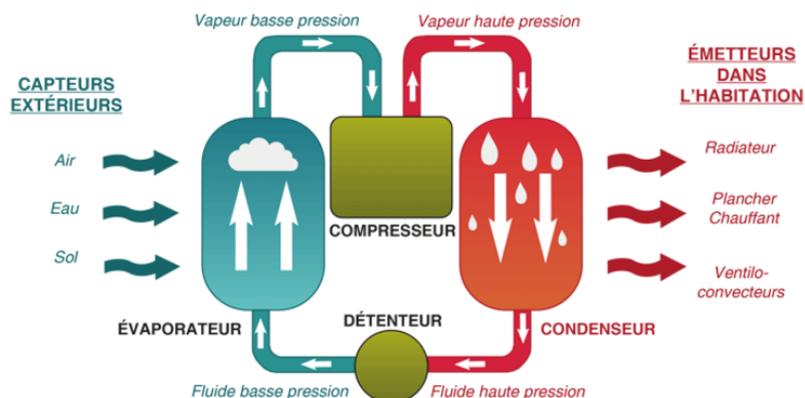
Scénario SC0 : Pompe à chaleur Air/Eau pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire.



Modèle Intégré    Groupe extérieur

*Solution thermodynamique - Pompe à chaleur individuelle*

Principe de fonctionnement de la pompe à chaleur (cycle thermodynamique) :



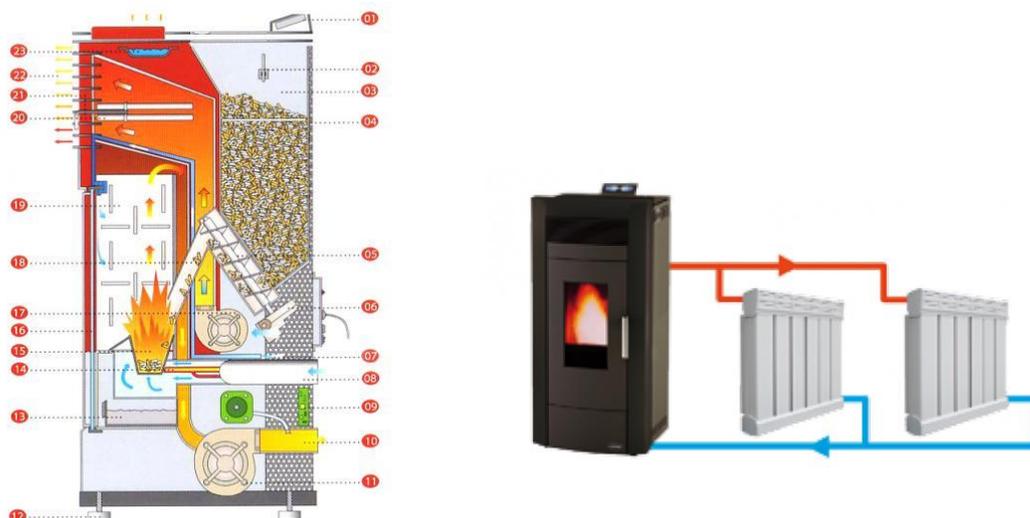
*Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur*

La pompe à chaleur air-eau est un système aérothermique qui utilise les calories de l'air extérieur pour les restituer dans l'eau de chauffage. Cette transformation est rendue possible en utilisant le fluide frigorigène (un gaz). En passant successivement de l'état liquide à l'état gazeux, le fluide frigorigène va transmettre l'énergie contenue dans l'air extérieur à l'eau du système de chauffage central. Cette transformation se compose de quatre phases :

1. Le fluide frigorigène, à l'état liquide, récupère les calories de l'air extérieur. La température du fluide augmente grâce à l'énergie captée. Le fluide se transforme alors en gaz, il s'évapore ;
2. Le compresseur, alimenté par un moteur électrique, aspire et comprime ensuite le fluide frigorigène. A la fin de cette phase, le fluide gazeux est chaud et sous haute pression ;

3. La condensation du fluide frigorigène, alors à l'état de vapeur haute pression permet de transmettre la chaleur à l'eau de chauffage. Le gaz repasse à l'état liquide ;
4. Le détendeur fait chuter la pression du fluide frigorigène et prépare le fluide liquide avant la phase d'évaporation.

### **Scénario SC1 : Chaudière bois-granulés pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire.**

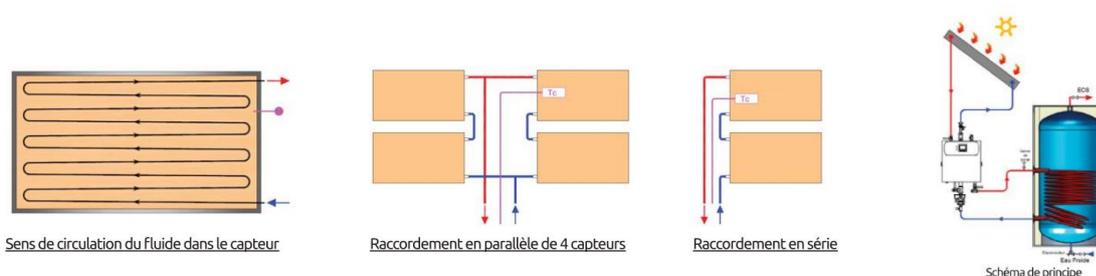


*Solution Chaudière Bois – Granulés (Individuels)*

### **Scénario SC2 : Chauffage bois-granulés pour la production de chauffage et solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire.**



*Solution Poêle à Granulés (Logements Individuels)*

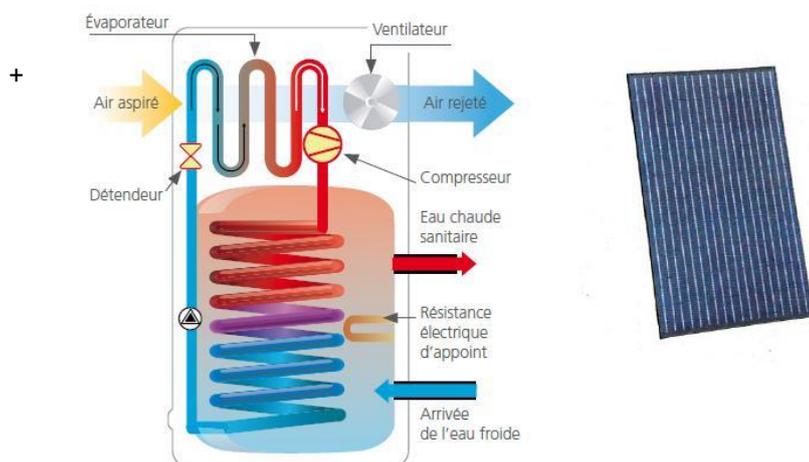


*Solution Solaire thermique (Logements Individuels)*

L'installation solaire comprend les éléments suivants :

- Un réseau de capteurs solaires en toiture qui permet de transférer l'énergie solaire au fluide qui le traverse au moyen de l'absorbeur ;
- Un circuit primaire qui permet de transporter et transférer l'énergie solaire vers l'eau du ballon de stockage à travers un échangeur ;
- Un ballon de stockage solaire qui permet d'accumuler l'eau chaude → **capacité de 300 litres à prévoir par logement** ;
- Une **station solaire** et les organes de régulation et de circulation ;

**Scénario SC3 : Chauffage bois-granulés pour la production de chauffage, ballon ECS thermodynamique individuel pour la production d'eau chaude sanitaire et solaire photovoltaïque pour la production d'électricité.**



*Solution Ballon thermodynamique*

L'installation d'un kit photovoltaïque de 1 à 7 panneaux permettra dans la plupart des cas une autoconsommation totale de l'électricité produite. Cf **Introduction au Kit solaire photovoltaïque p.28.**

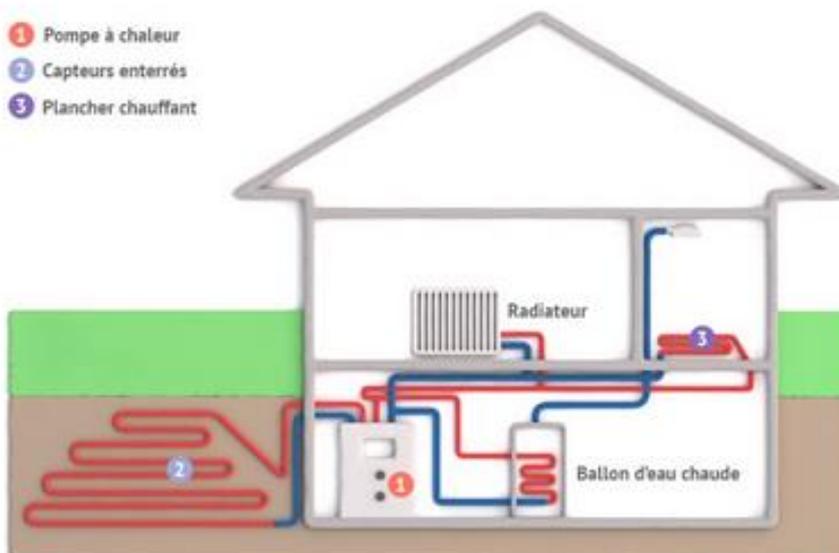
**Scénario SC4 : Pompe à chaleur Air/Eau pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire et solaire photovoltaïque pour la production d'électricité.**



*Combinaison Pompe à chaleur / Panneaux solaires photovoltaïques PV*

L'installation d'un kit photovoltaïque de 1 à 7 panneaux permettra dans la plupart des cas une autoconsommation totale de l'électricité produite. Cf **Introduction au Kit solaire photovoltaïque p.28.**

**Scénario SC5 : Pompe à chaleur Eau/Eau pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire.**



Le circuit du système de captage d'une pompe à chaleur géothermique est parcouru par un fluide caloporteur.

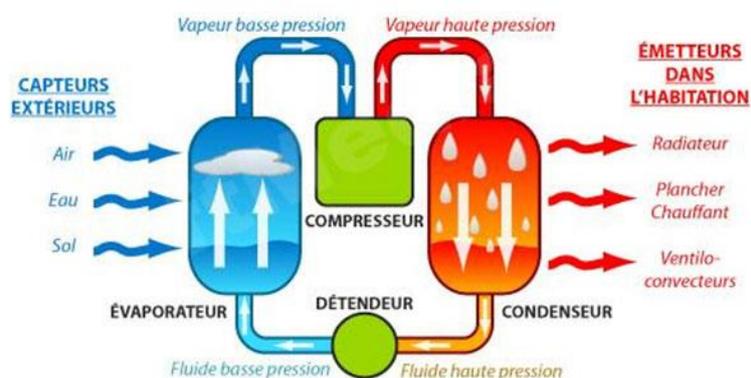
Ce fluide, composé généralement d'eau glycolée afin d'éviter le gel, **récupère les calories du sol afin de les transmettre à la pompe à chaleur.**

La pompe à chaleur géothermique utilise un fluide frigorigène pour transmettre les calories récupérées dans le sol à l'eau du système de chauffage.

Ce fonctionnement se compose de quatre phases :

1. Le fluide frigorigène, à l'état liquide, **récupère les calories** transmises par le sol via le liquide caloporteur. La température du fluide augmente grâce à l'énergie captée. Le fluide se transforme alors en gaz et s'évapore.

2. Le compresseur, alimenté par un moteur électrique, **aspire et compresse** le fluide frigorigène. À la fin de cette phase, le fluide gazeux est chaud et sous haute pression.
3. La condensation du fluide frigorigène, alors à l'état de vapeur haute pression, permet de **transmettre la chaleur** à l'eau de chauffage. Le gaz repasse à l'état liquide.
4. Le détendeur **fait chuter la pression** du fluide frigorigène et prépare le fluide liquide avant la phase d'évaporation.



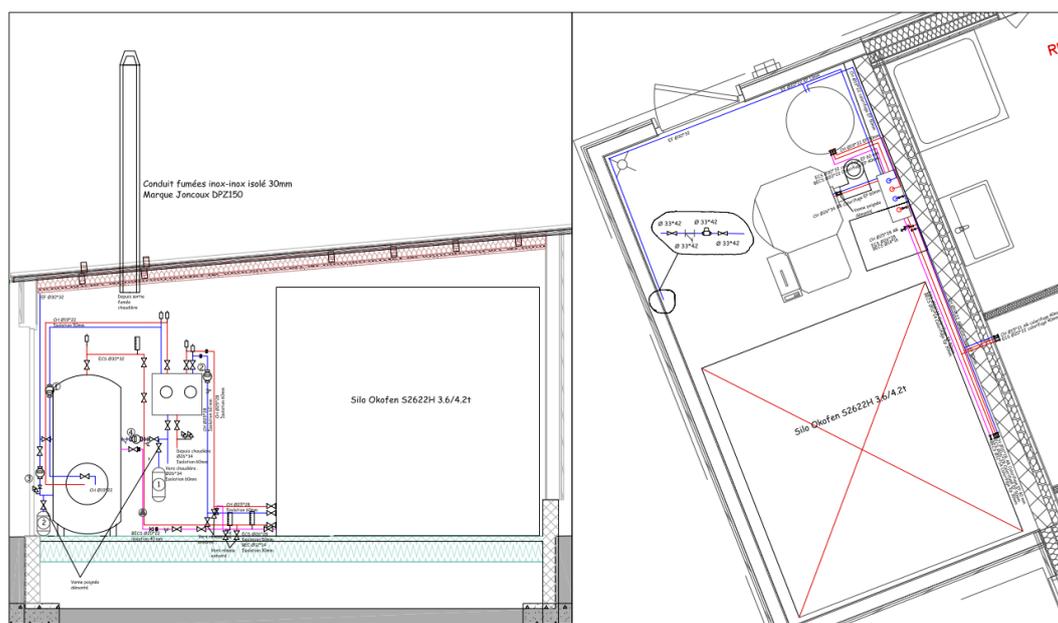
**Scénario SC6 : Pompe à chaleur Eau/Eau pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire + Solaire photovoltaïque.**

L'installation d'un kit photovoltaïque de 1 à 7 panneaux permettra dans la plupart des cas une autoconsommation totale de l'électricité produite. Cf **Introduction au Kit solaire photovoltaïque p.28.**

## Solutions pour logements collectifs

### Scénario SC1 : Chaudière bois-granulés pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

Une chaudière bois nécessite la mise en place d'un local permettant le stockage du combustible bois. La construction adaptée au stockage est indispensable pour la conservation du produit et pour la sûreté de l'installation. Le bois doit être installé dans un lieu sec et étanche, sans conduit d'installation électrique et sans passage de conduite d'eau.



*Solution Mini-chaufferie Bois – Granulés (Collectifs)*

### Scénario SC2 : Chaudière bois-granulés pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire + Solaire photovoltaïque

L'installation d'un kit photovoltaïque permettra dans la plupart des cas une autoconsommation totale de l'électricité produite. Cf **Introduction au Kit solaire photovoltaïque p.28.**

### **Scénario SC3 : Pompe à chaleur aérothermie sans unité extérieure**

Une pompe à chaleur sur air extrait recycle et utilise l'énergie perdue. Elle collecte l'air chaud qui est évacué vers l'extérieur par le système de ventilation et réutilise cette chaleur pour le chauffage du bâtiment et la production d'eau chaude sanitaire.

Tout en assurant la ventilation de l'habitation, la pompe à chaleur répond aux besoins de chauffage en hiver, de rafraîchissement en été (par sur ventilation) et produit l'eau chaude sanitaire tout au long de l'année. Équipée d'un ventilateur basse consommation et de la technologie Inverter permettant de s'adapter au plus près du besoin.



Il est possible d'intégrer ces unités pour du logements collectifs. En effet, le rejet de ces unités peut se raccorder sur un réseau collectif double peau avec rejet en toiture

### **Scénario SC4 : Pompe à chaleur aérothermie sans unité extérieure + Solaire photovoltaïque**

L'installation d'un kit photovoltaïque permettra dans la plupart des cas une autoconsommation totale de l'électricité produite. Cf **Introduction au Kit solaire photovoltaïque p.29.**

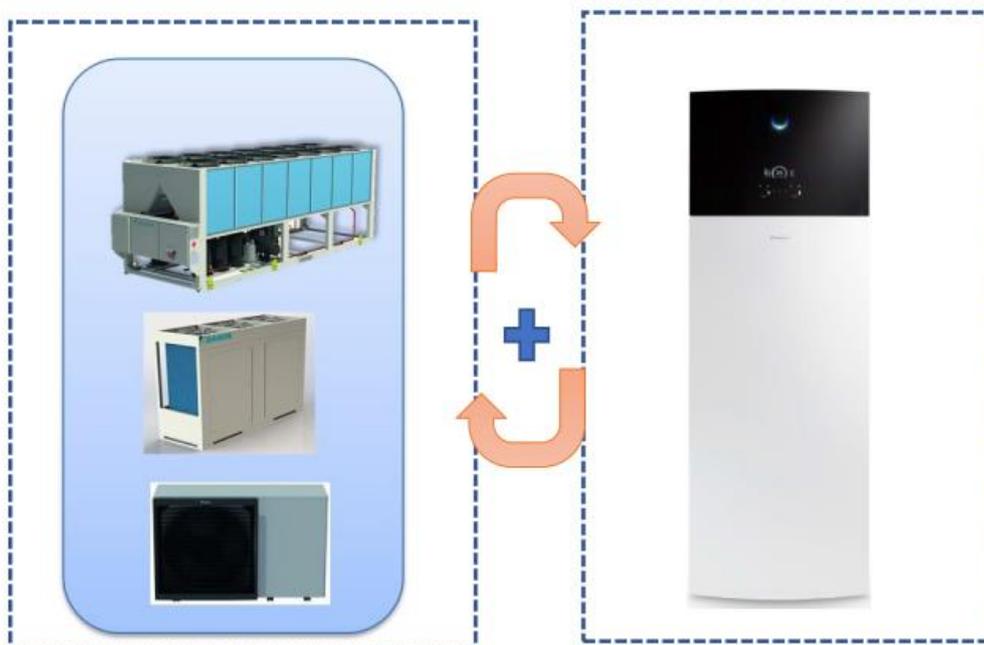
### **Scénario SC5 : Pompe à chaleur centralisée avec unité intérieure dans chaque logement**

Chaque logement sera équipé d'une pompe à chaleur individuelle sur boucle d'eau tempérée. Cette pompe à chaleur sera équipée d'un ballon d'eau chaude sanitaire intégré. Elle assurera les fonctions suivantes :

- Chauffage via tout type d'émetteurs à eau (radiateurs, plancher chauffant, ventilo-convecteurs, gainables à eau, etc.)
- Production ECS via un ballon d'eau chaude intégré

Il sera prévu une boucle d'eau centrale réchauffée jusqu'à une température maximale de 30°C par une pompe à chaleur air/eau installée à l'extérieur de l'immeuble (en toiture, sous-sol, dans une cour, etc.).

- Schéma de principe / Emplacement unité dans un cellier / Grille donnant sur l'extérieur -

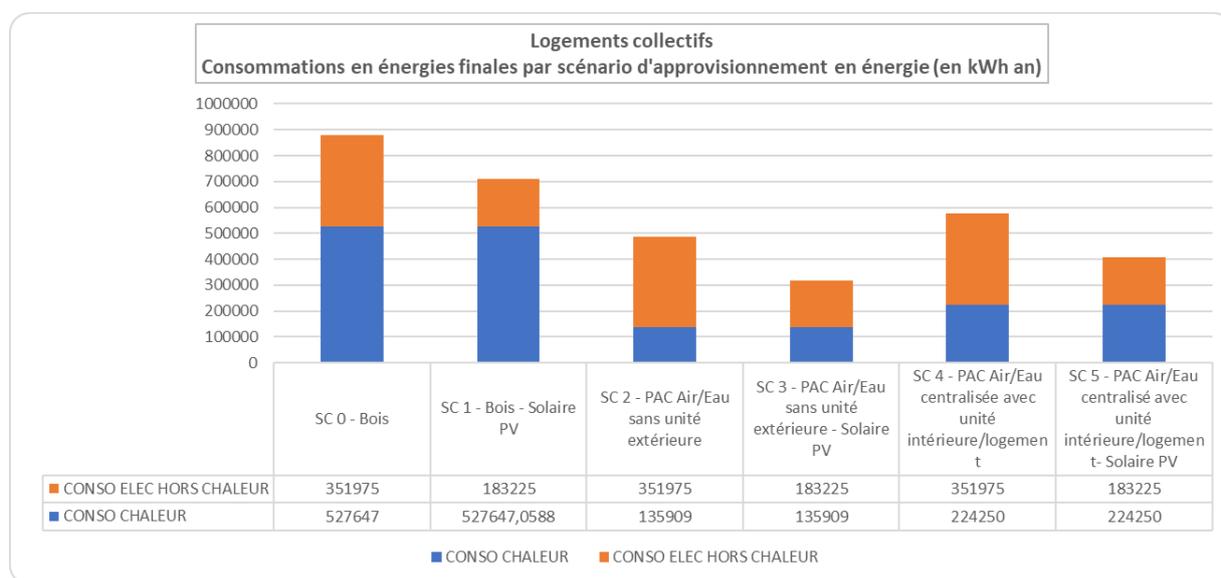
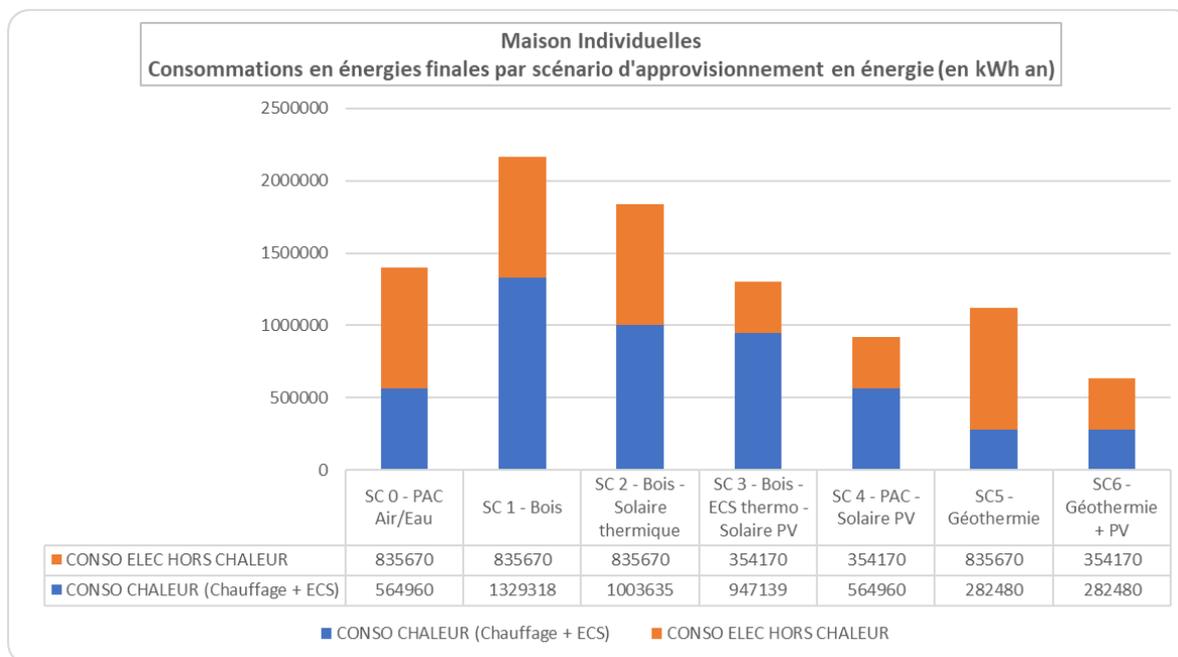


### **Scénario SC6 : Pompe à chaleur centralisée avec unité intérieure dans chaque logement + solaire photovoltaïque**

L'installation d'un kit photovoltaïque permettra dans la plupart des cas une autoconsommation totale de l'électricité produite. Cf **Introduction au Kit solaire photovoltaïque p.28.**

## b) COMPARAISON DES CONSOMMATIONS EN ENERGIE FINALE PAR SCENARIO

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



Ces comparaisons montrent qu'à un niveau de besoin identique, les consommations énergétiques peuvent varier jusqu'à moins 71% (écart entre la solution géothermie et la solution bois des maisons individuelles) en fonction du type d'énergie et la technologie choisie pour approvisionner les bâtiments.

Les scénarios les moins énergivores sont ceux qui ont recours :

- A des technologies qui permettent de traiter une part de l'eau chaude sanitaire et le chauffage, telles que la technologie pompe à chaleur pour les besoins thermiques du projet, qui utilise en

effet l'énergie gratuite de l'air ou du sol pour la production de l'eau chaude sanitaire et du chauffage.

- Au solaire photovoltaïque pour les besoins électriques, qui utilise en effet l'énergie gratuite du soleil pour la production de l'électricité.

Au-delà des consommations en 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 et l'impact environnemental des scénarii.

### c) COMPARAISON DES COÛTS DE FONCTIONNEMENT ACTUALISÉS SUR 10 ANS

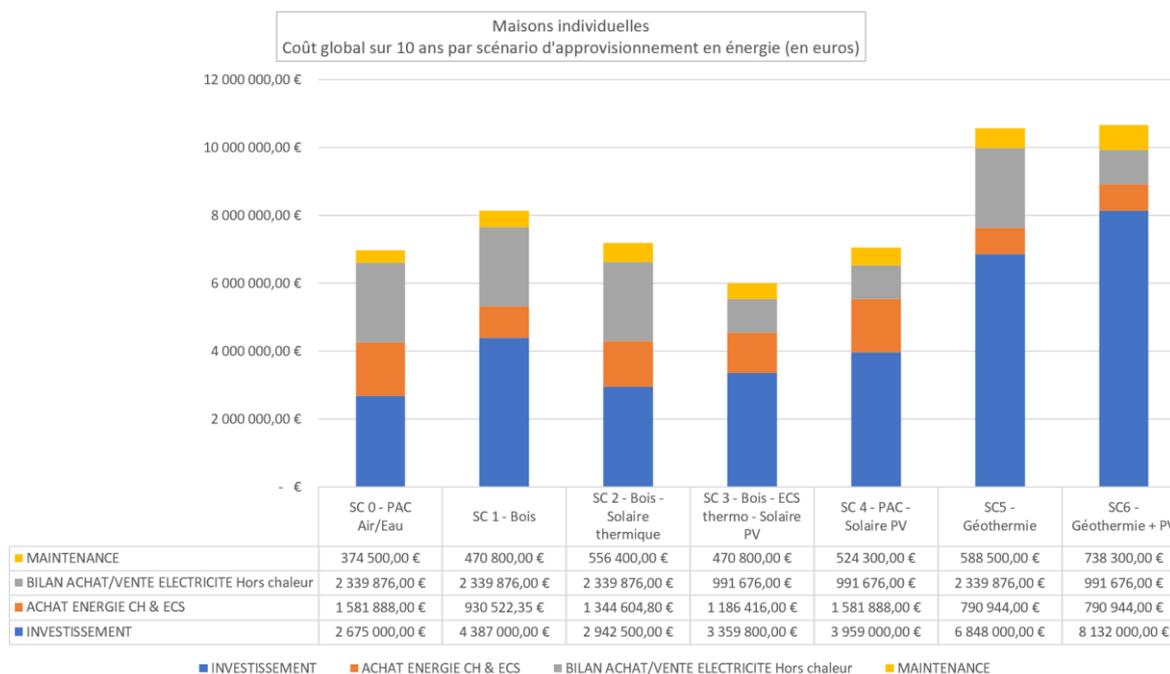
---

L'étude des coûts de fonctionnement la première année ne reflète pas les évolutions futures du prix des énergies, notamment dans le contexte actuel qui induit une forte inflation des énergies fossiles. C'est pourquoi nous allons étudier les coûts de fonctionnement sur 10 ans, en intégrant l'évolution des prix de l'énergie via la plateforme « **Enerprix** » et en intégrant les coûts de maintenance annuels.

*\*Hypothèses de prix :*

- 0,28 € /kWhTTC pour l'électricité
- 0,07 € /kWhTTC pour le bois

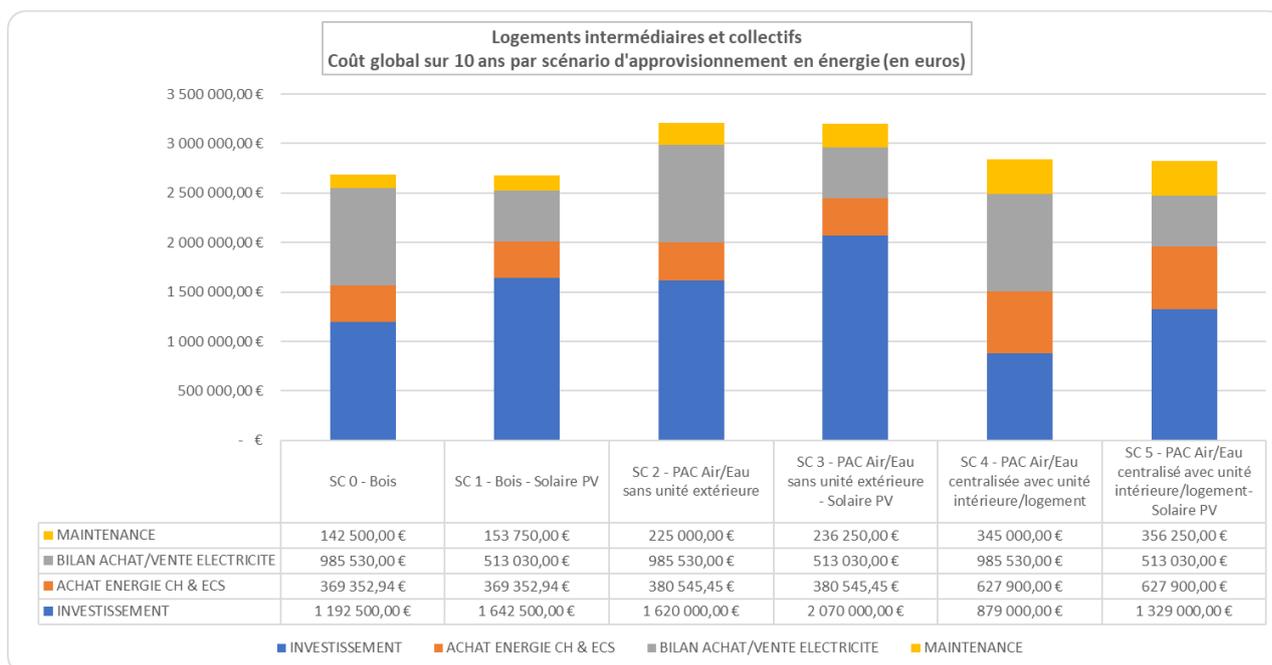
## Maisons individuelles :



**Sur 10 ans, l'étude du coût global, avec intégration estimative (base « Enerprix ») des hausses du coût de l'énergie montre que les scénarios bois + énergies renouvelables, et association pompe à chaleur (hors géothermie) + PV sont les plus intéressants pour le lotissement. Ils permettent de réduire la facture énergétique (achat énergie chauffage & eau chaude sanitaire).**

Les solutions qui utilisent la géothermie sont très intéressantes d'un point de vue consommation néanmoins, elles sont principalement pénalisées par les coûts d'investissement puis de maintenance. Ajouter des panneaux photovoltaïques permet de réduire de façon significative le coût de l'énergie électrique ainsi, les solutions avec installation photovoltaïque présentent les plus faibles coûts globaux. La solution tout bois oblige les particuliers à installer une chaudière à granulés pour la production du chauffage et de l'eau chaude sanitaire (SC1) ce qui demande un investissement conséquent. La solution (SC3) qui combine le poêle à granulé, le ballon ECS thermodynamique et la production photovoltaïque d'électricité apparaît être un bon compromis entre coût d'investissement, de maintenance et coût d'achat énergétique.

## Logements collectifs :



Sur 10 ans, l'étude du coût global, avec intégration estimative (base « Enerprix ») des hausses du coût de l'énergie montre que, malgré leur faible consommation d'énergie destinée au chauffage grâce à un COP avantageux, les systèmes utilisant les pompes à chaleur sans unités extérieures sont pénalisés par le coût de l'électricité. De même ils requièrent principalement des coûts d'investissement, puis de maintenance, plus élevés. La multiplication des systèmes pénalise aussi les coûts d'investissement et de maintenance.

Les solutions bois sont intéressantes d'un point de vue environnemental et économique (faible coût du kWh, impact carbone modéré).

Au regard des faibles consommations énergétiques, les solutions pompes à chaleur sont également intéressantes. Cependant, compte tenu du coût d'investissement élevé et des faibles besoins énergétiques des logements, le temps de retour sur investissement des solutions PAC est plus long.

#### d) COMPARAISON DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

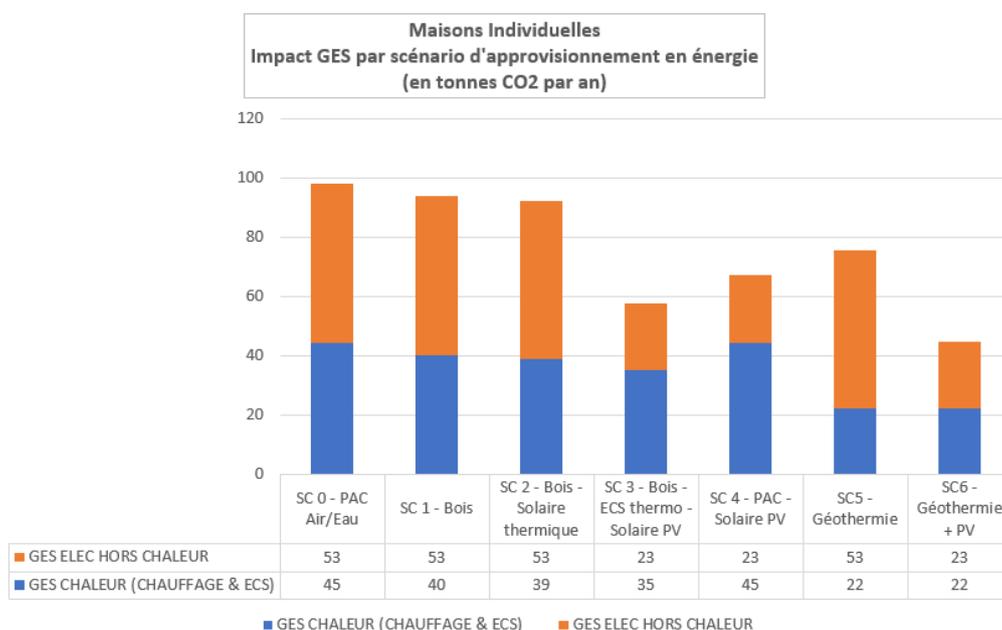
L'impact sur l'effet de serre de l'opération sera déterminé en calculant les quantités équivalentes de CO2 émises par les bâtiments en fonction des énergies utilisées.

Les hypothèses prises pour le calcul sont les suivantes :

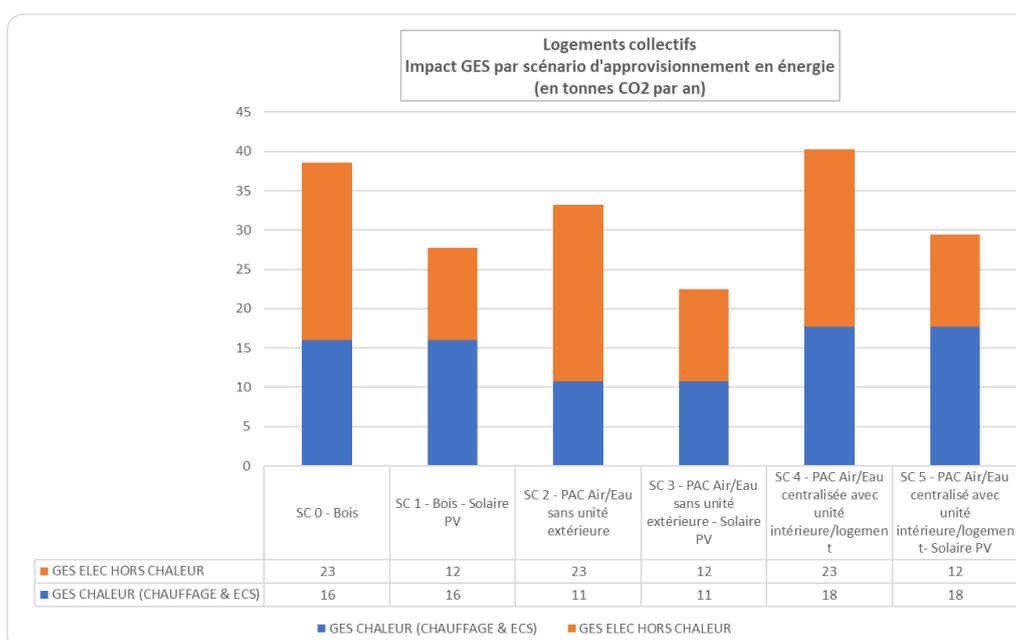
Électricité, usage chauffage *	0,079
Électricité, autres usages *	0,064
Électricité d'origine renouvelable utilisé en autoconsommation	0
Gaz méthane (naturel) issu des réseaux	0,227
Gaz butane ou propane	0,273
Fioul domestique	0,324
Charbon (anthracite)	0,387
Bois, biomasse - Plaquettes forestières (25% humidité)	0,0244
Bois, biomasse - Granulés (pellets) ou briquettes (8 % humidité)	0,0304
Bois, biomasse - Buche (20 % humidité)	0,0295
Autres combustibles fossiles	0,324
Réseaux de chaleur	Valeur fixée dans l'arrêté annuel modifiant l'annexe 7 de l'arrêté du 15 septembre 2006 relatif au DPE

*Contenu des énergies en kg équivalent CO2 par kilowattheure PCI d'énergie finale (Base ADEME) :*

## Logements :



## Logements collectifs



Les mixtes énergétiques étudiés en réponse à réglementation thermique RE2020, à laquelle est soumis le projet de lotissement, permettent de réduire l'impact carbone du point de vue des consommations énergétiques, avec au maximum 98 tonnes de CO2 émises par an pour les consommations énergétiques du lotissement pour les logements individuels et 41 pour les logements collectifs.

Les scénarii les plus sobres (moins de consommations énergétiques) et les scénarii ayant recours au solaire photovoltaïque sont les plus performants sur les aspects impact carbone.

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

Parmi les 7 scénarios étudiés pour le projet, le bilan multicritère est le suivant :

### Logements individuels :

<i>Solutions techniques</i>	<i>Faible Consommation en énergie finale</i>	<i>Coût global sur 10 ans</i>	<i>Impact environnemental</i>	<i>Taux d'utilisation ENR</i>
<i>S0 : Aérothermie</i>				
<i>S1 : Chaudière bois- granulés</i>				
<i>S2 : Poêle à granulés – Solaire thermique</i>				
<i>S3 : Poêle à granulés + Ballon thermo – Solaire PV</i>				
<i>S4 : Aérothermie – Solaire photovoltaïque</i>				
<i>S5 : Géothermie</i>				
<i>S6 : Géothermie – Solaire photovoltaïque</i>				

### Légende :

<i>Scénario</i>	<i>Réponse favorable</i>	<i>Réponse partiellement adaptée</i>	<i>Réponse défavorable</i>
-----------------	--------------------------	--	----------------------------

Aucune source d'énergie renouvelable ne permet à elle seule de couvrir la consommation totale des bâtiments (électrique et thermique).

### NOTA :

La solution « Géothermie » présente des performances (COP) intéressantes, néanmoins compte tenu de la réduction des besoins thermiques en RE2020 et du coût élevé de la solution, les temps de retour sur investissement seront très longs. La technologie géothermie semble plus adaptée pour les projets présentant de forts besoins thermiques.

**La solution sera de tendre vers un mixte énergétique pour répondre de manière favorable à une approche multicritère : impact environnemental, réduction de la consommation énergétique finale et réduction de la facture finale.**

### Logements collectifs

<i>Solutions techniques</i>	<i>Faible Consommation en énergie finale</i>	<i>Coût global sur 10 ans</i>	<i>Impact environnemental</i>	<i>Taux d'utilisation ENR</i>
<i>S0 : Bois</i>				
<i>S1 : Bois – Solaire PV</i>				
<i>S2 : PAC Air/Eau sans unité extérieure</i>				
<i>S3 : PAC Air/Eau sans unité extérieure – Solaire PV</i>				
<i>S4 : PAC Air/Eau centralisée avec unité intérieure par logement</i>				
<i>S5 : PAC Air/Eau centralisée avec unité intérieure par logement- Solaire PV</i>				

Aucune source d'énergie renouvelable ne permet à elle seule de couvrir la consommation totale des bâtiments (électrique et thermique).

#### NOTA :

*Les solutions « pompe à chaleur » présentent des performances (COP) intéressantes, néanmoins compte tenu de la réduction des besoins thermiques en RE2020 et du coût élevé de la solution, les temps de retour sur investissement seront plus longs.*

**La solution sera de tendre vers un mixte énergétique pour répondre de manière favorable à une approche multicritère : impact environnemental, réduction de la consommation énergétique finale et réduction de la facture finale.**