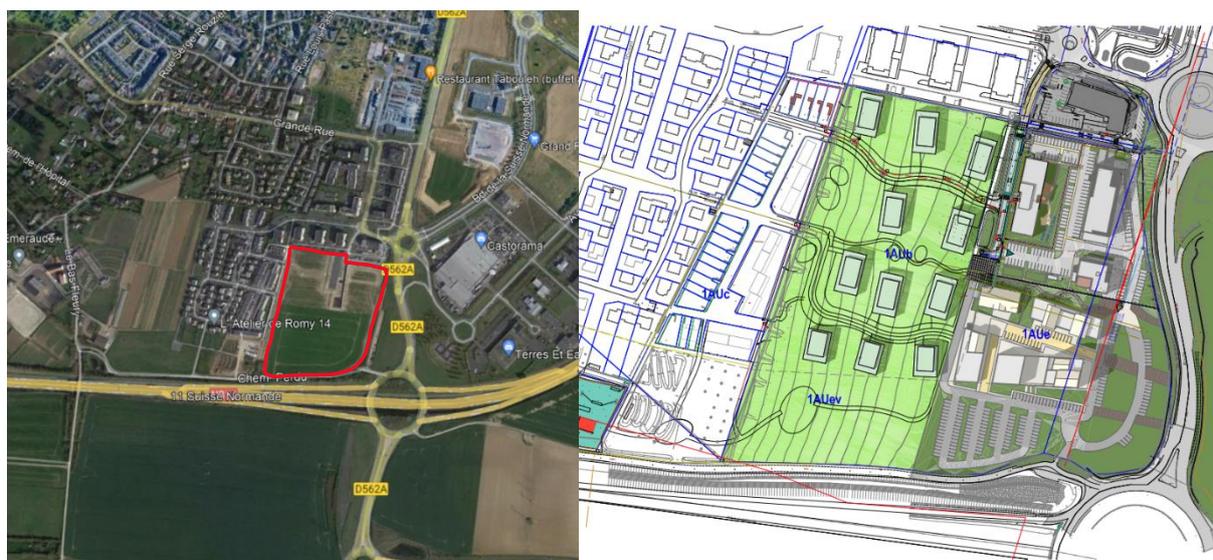


- ETUDE DU POTENTIEL EN ENERGIES RENOUVELABLES -



Etude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables pour le projet d'aménagement d'un quartier d'habitat sur la commune de Fleury-sur-Orne (14).

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| OBJECTIF ET CONTEXTE DE L'ETUDE | 2 |
| CHAPITRE I : PROGRAMME ET BESOINS ENERGETIQUES..... | 3 |
| 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..... | 4 |
| a) <i>Réaliser des bâtiments économes en énergies.....</i> | <i>4</i> |
| b) <i>Intégrer les énergies renouvelables.....</i> | <i>6</i> |
| c) <i>Réduire l'impact environnemental des bâtiments.....</i> | <i>6</i> |
| CHAPITRE II : ENERGIES MOBILISABLES SUR LE SITE..... | 9 |
| 1. Energies Fossiles | 10 |
| a) <i>L'électricité</i> | <i>10</i> |
| b) <i>Le Gaz.....</i> | <i>10</i> |
| 2. Energies Renouvelables..... | 11 |
| a) <i>La Filière Solaire.....</i> | <i>11</i> |
| b) <i>La Filière Biomasse.....</i> | <i>14</i> |
| c) <i>La Filière Géothermie.....</i> | <i>18</i> |
| d) <i>La Filière Eolienne</i> | <i>20</i> |
| e) <i>réseau de chaleur urbain.....</i> | <i>22</i> |
| 3. Synthèse du potentiel de développement des énergies renouvelables de la zone d'aménagement | 24 |
| CHAPITRE III : BILAN ENERGETIQUE DU PROJET DE QUARTIER..... | 25 |
| 1. Hypothèses de consommations des bâtiments..... | 25 |
| 2. Répartition des besoins thermiques et électriques du projet..... | 28 |
| CHAPITRE IV : POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES - THERMIQUES.. | 29 |
| 1. Approvisionnement en Energie..... | 29 |
| a) <i>Présentation des mixtes énergétiques.....</i> | <i>30</i> |
| b) <i>Comparaison des consommations en énergie finale par scénario.....</i> | <i>35</i> |
| c) <i>Comparaison des coûts de fonctionnement actualisés sur 10 ans.....</i> | <i>36</i> |
| d) <i>Comparaison des émissions de gaz à effet de serre</i> | <i>38</i> |
| 2. Synthèse de l'analyse des scénarios d'approvisionnement en énergie | 40 |

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 d'un nouveau quartier d'habitat et d'activités tertiaires sur la Commune de Fleury-sur-Orne (14). Ce projet est porté par FONCIM.

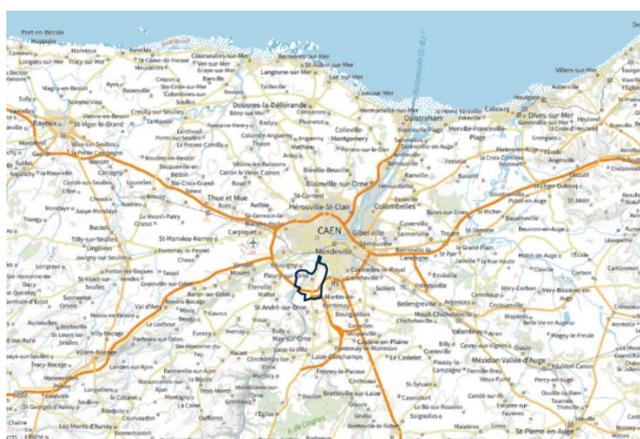
CHAPITRE I : PROGRAMME ET BESOINS ENERGETIQUES

1. PERIMETRE DE L'ETUDE

a) PRESENTATION DE LA ZONE D'AMENAGEMENT

Le projet d'aménagement d'un futur quartier d'habitation et d'activités tertiaires, à Fleury-sur-Orne, commune située dans le Calvados en Normandie en périphérie SUD de Caen prévoit la création de 9172 m² de bureaux et 192 logements dont :

- 43 lots individuels
- 99 logements collectifs
- 50 lots intermédiaires



Localisation Commune de Fleur-sur-Orne



Projet Quartier des Terrasses Fleury-sur-Orne – Plan masse – Juillet 2024

b) ELEMENTS DE PROGRAMMATION

Les hypothèses de programmation des futurs lotissements intégrées dans l'étude sont issues des éléments de programmation de l'opération suivant :

- *Echanges FONCIM / DIAGRAME architectes - Juillet 2024*
- *Plan masse – DIAGRAME architectes - Juillet 2024*
- *Tableau des surfaces de plancher – FLEURY CALCUL SDP – DIAGRAME architectes – Juillet 2024*

Le futur quartier d'habitat de 12 647 m² de surface de plancher est réparti de la manière suivante :

- 43 lots individuels implantés selon 4 blocs à l'Ouest de la parcelle ;
- 99 logements collectifs répartis sur 4 bâtiments à l'Est de la parcelle ;
- 50 lots intermédiaires composant 3 îlots au centre de la parcelle d'habitat ;

Les Hypothèses de calculs des surfaces habitables sont les suivantes :

- *Maisons individuelles = surface habitable moyenne de 85 m² ;*
- *Logements intermédiaires = surface habitable moyenne 65 m² ;*
- *Logements collectifs = surface habitable moyenne 58 m² ;*

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^{er} Janvier 2022 sont désormais soumis à la RE2020.

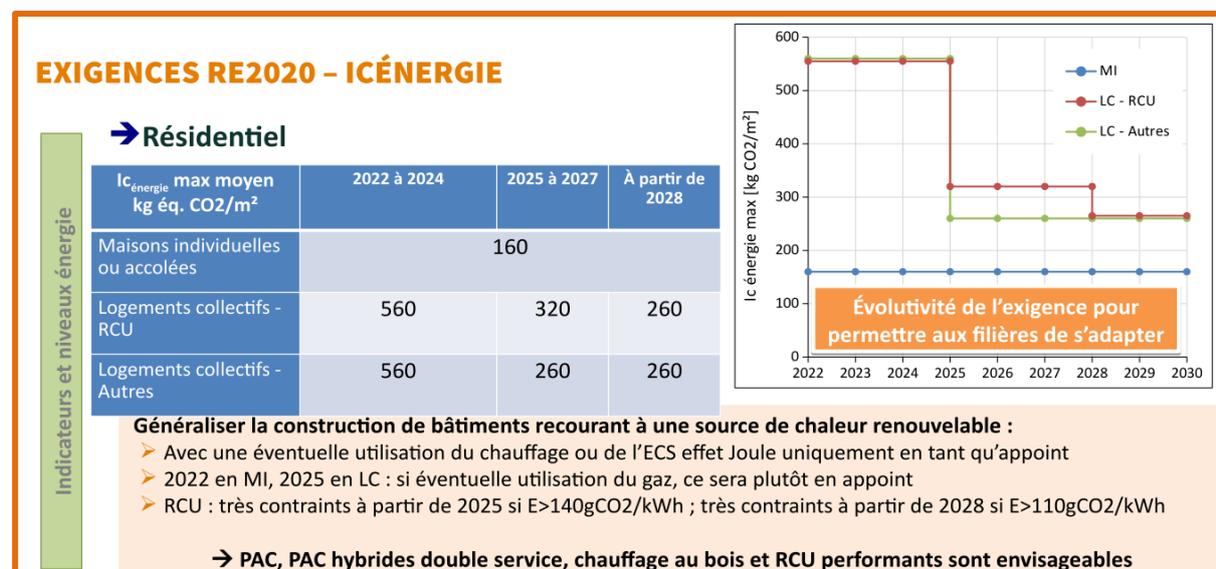
La RE2020 s'articule autour des indicateurs suivants :

| | | | |
|---------------|---|--|---|
| Energie | Bbio [points] | Besoins bioclimatiques | Evaluation des besoins de chaud, de froid (que le bâtiment soit climatisé ou pas) et d'éclairage. |
| | Cep [kWh _{ep} /(m ² .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 [kWh _{ep} /(m ² .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_{énergie} [kg eq. CO ₂ /m ²] | 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_{construction} [kg eq. CO ₂ /m ²] | 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.

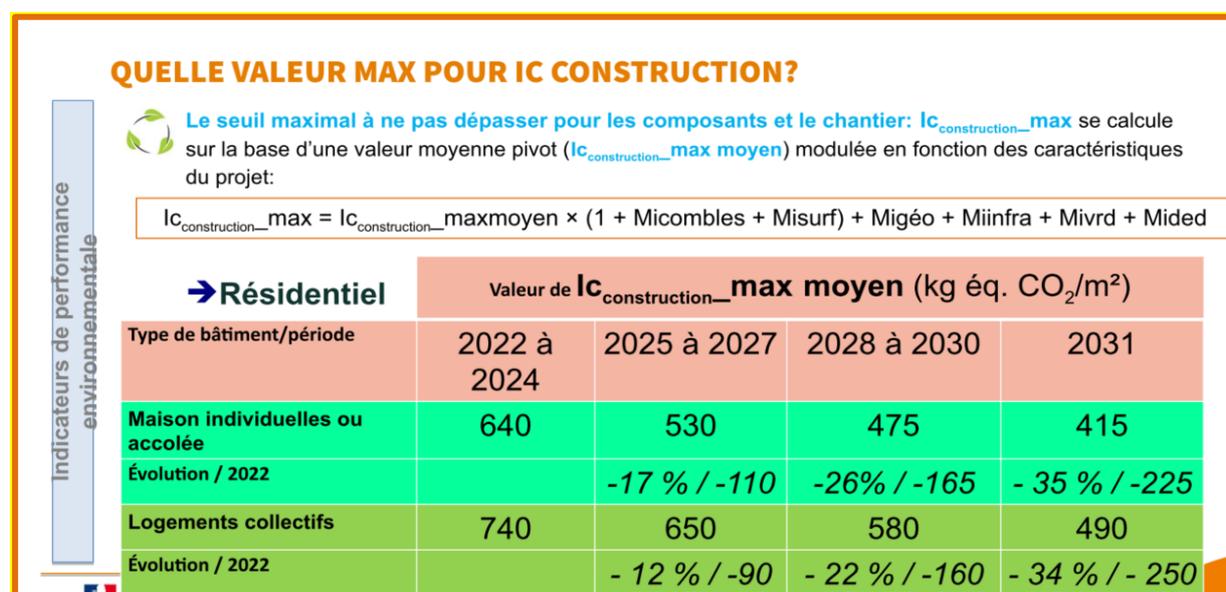
b) INTEGRER LES ENERGIES RENOUVELABLES

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 :

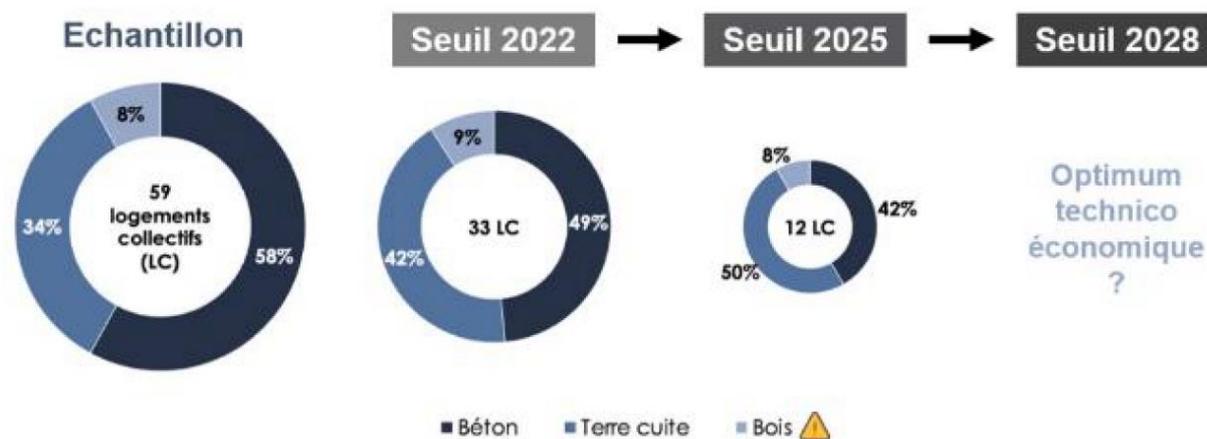


c) REDUIRE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES BATIMENTS

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**.

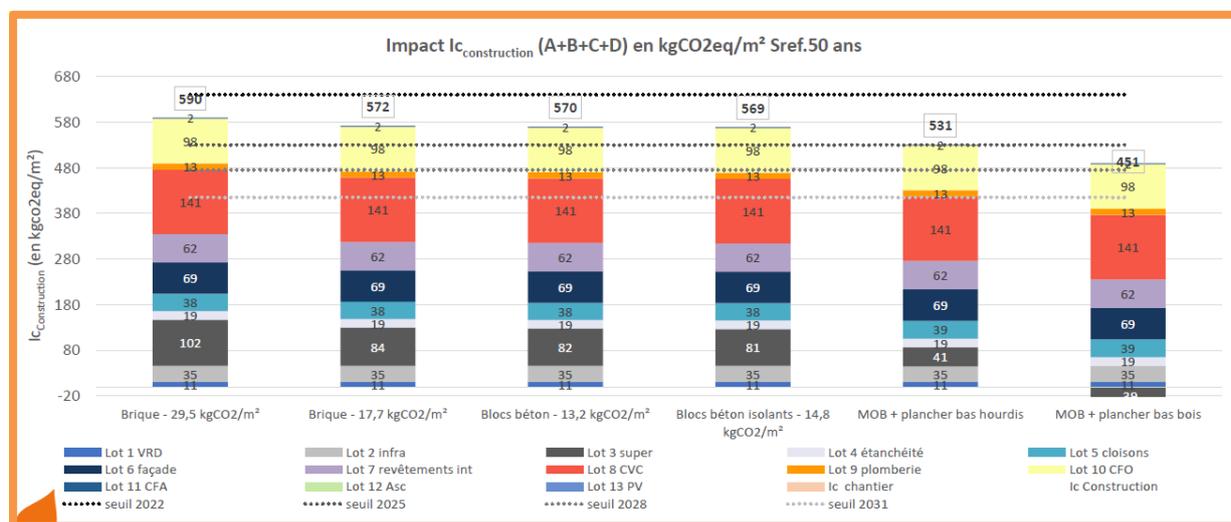


L'évolutivité de la réglementation environnementale implique dès aujourd'hui d'intégrer des matériaux à faible impact environnemental, bas carbone, pour le gros œuvre et dans une deuxième phase pour le second œuvre, obligatoire à l'horizon 2031.

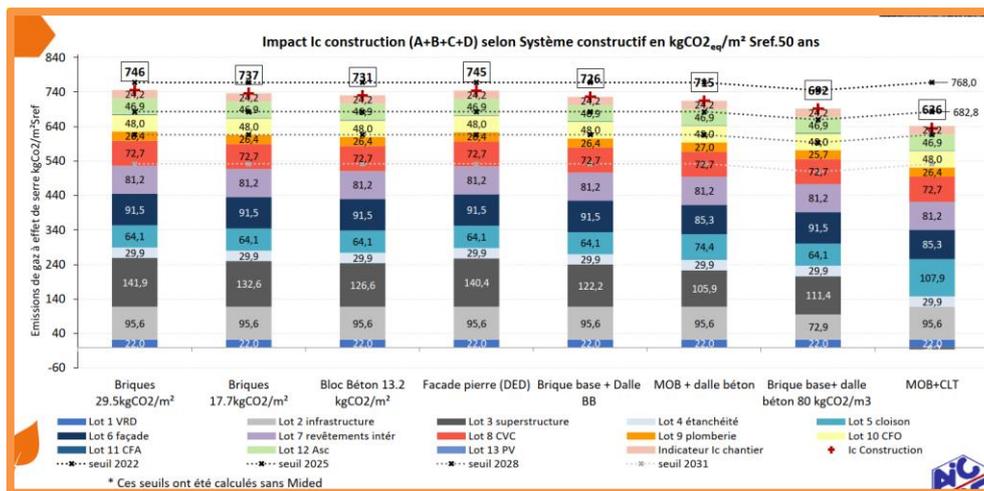


Dans le cadre de la réalisation d'un quartier de logements et bureaux qui va nécessiter une forte mobilisation des métiers du bâtiment, il peut être intéressant d'encourager l'usage de matériaux à faible énergie grise et dont la mise en œuvre limite les risques sur la santé des ouvriers et des utilisateurs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

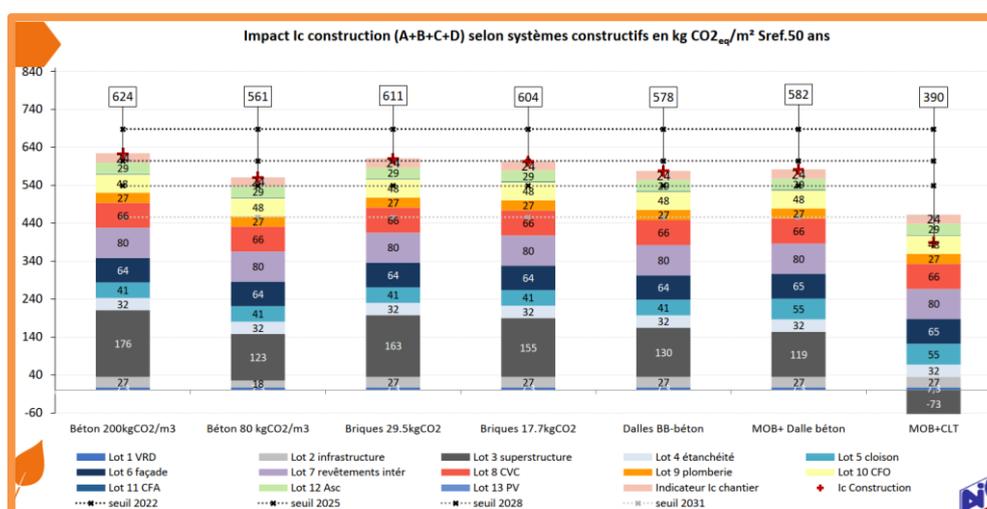
Par exemple : Favoriser des solutions alternatives aux laines minérales pour l'isolation des bâtiments.



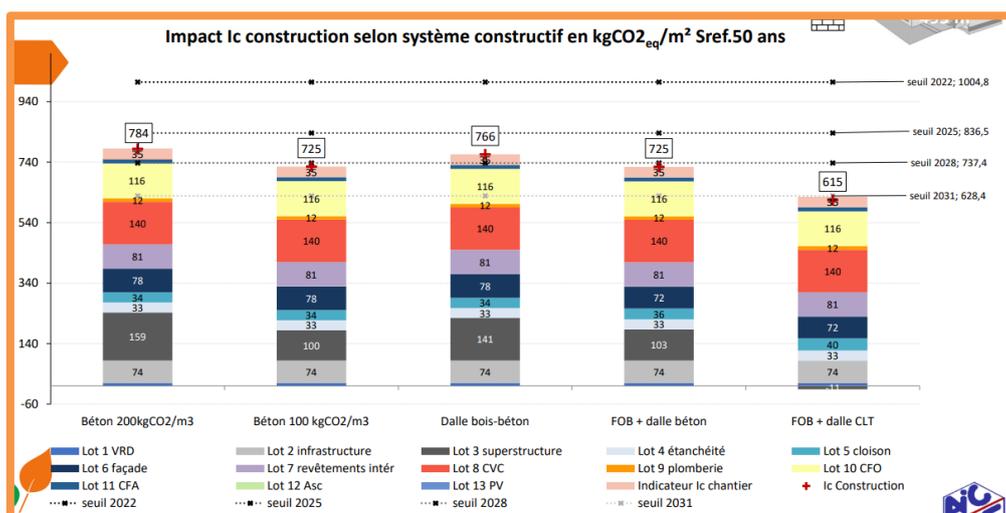
Quelques variantes de systèmes constructifs d'une maison individuelle



Quelques variantes de systèmes constructifs d'un immeuble collectif de 14 logements



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



Quelques variantes de systèmes constructifs pour 493 m² de bureau

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 retenue compte tenu de la configuration du projet (densité du bâti forte). La production de chaleur se fera via le réseau de chaleur urbain CAEN SUD desservi par Dalkia.**

**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 (845m ou 1000m avec 1AUev) ;

- Valeur clé = 1,5 MWh/ml ;

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

→ Estimation projet de l'ordre de 1,56 MWh/ml.

1. ENERGIES FOSSILES

Localement le site est desservi par les principaux réseaux énergétiques :

- a) Électricité ;
- b) Gaz naturel ;



a) L'ÉLECTRICITÉ

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 CO₂ 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

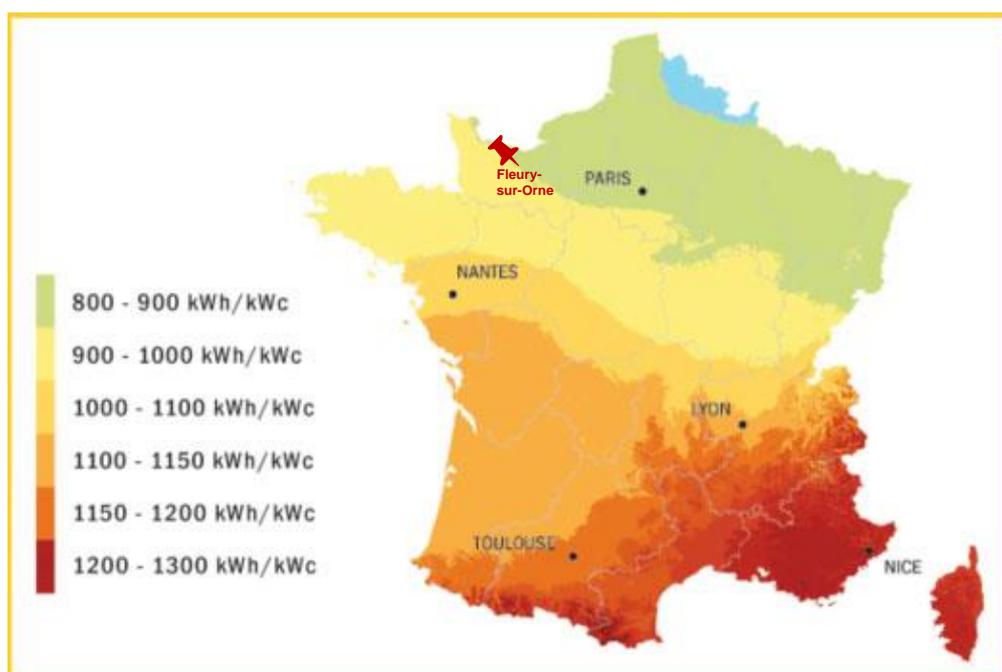
a) LA FILIERE SOLAIRE

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.

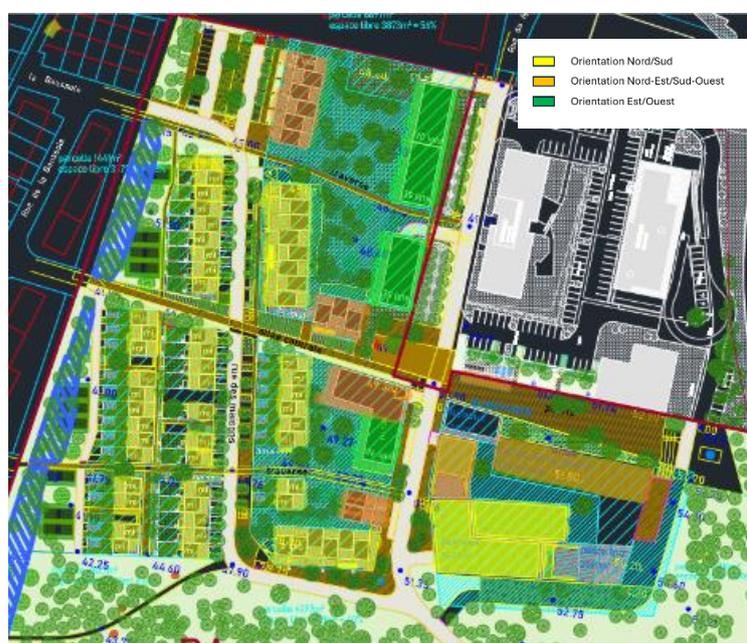
L'exploitation du solaire thermique pourrait permettre de couvrir une partie des besoins en Eau Chaude Sanitaire des logements ; Cependant, la production de chaleur (chauffage et ECS) est déjà assurée par le réseau de chaleur urbain CAEN SUD desservi par Dalkia.

**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 ;**

*** Orientation des parcelles :



Projet de Quartier d'habitat LES TERRASSES – FONCIM - Plan général annoté AFCE –
DIAGRAMME ARCHITECTES – Juillet 2024

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

➔ Contraintes réglementaires : Non Concerné.

L'instruction aux préfets de région du 9 décembre 2022 indique la nécessité d'autorisation préalable de l'architecte des Bâtiments de France (ABF) dans le cadre de travaux susceptibles de modifier les abords des bâtiments historiques.

Le projet est situé à la limite de la zone MH de la rue de Saint-André. Ainsi, il n'est pas soumis à validation de l'ABF.

Au regard de la proximité avec la zone MH, dans le cas où l'implantation de la parcelle serait modifiée, il sera nécessaire de vérifier que celle-ci ne rentre pas dans celui-ci.



La filière solaire présente un gisement intéressant et indéfiniment renouvelable qui pourrait permettre de satisfaire une part des besoins électriques de la zone ;

b) LA FILIERE BIOMASSE

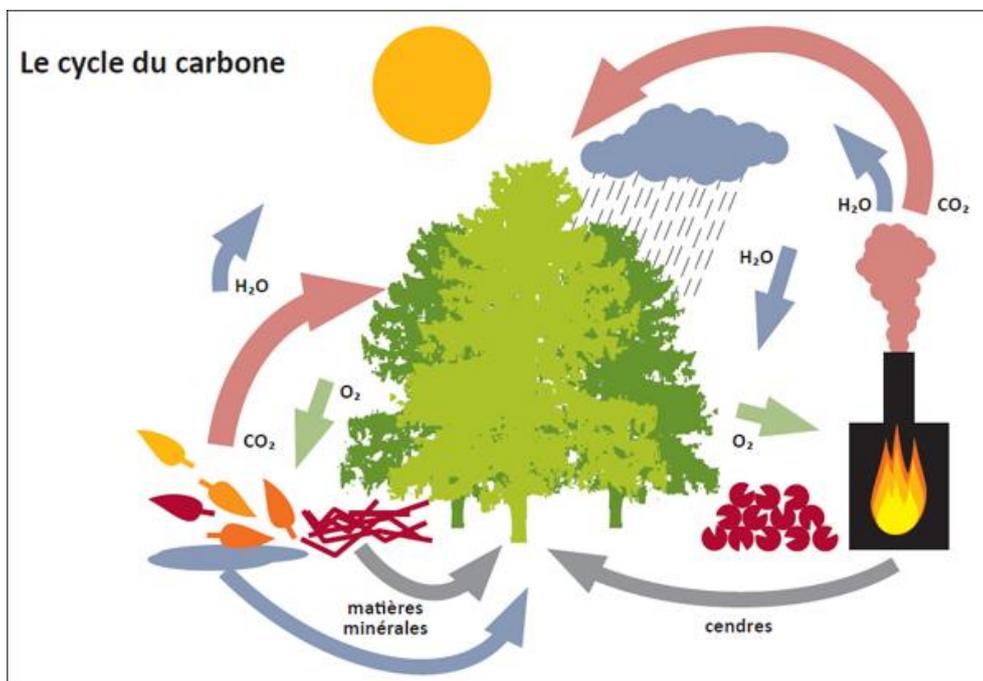
En énergétique, le terme de « biomasse » regroupe toutes les matières organiques qui peuvent dégager de l'énergie soit par combustion directe ou suite à une étape de transformation. La biomasse est la fraction biodégradable des produits, des déchets et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture (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.

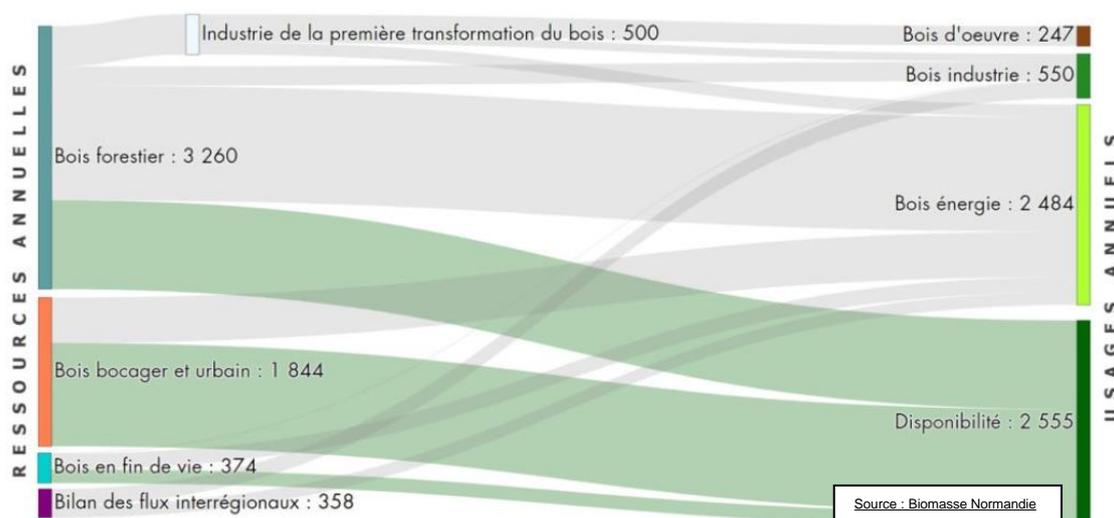


Cycle du Bois-Energie – Impact neutre sur l'effet de serre

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.

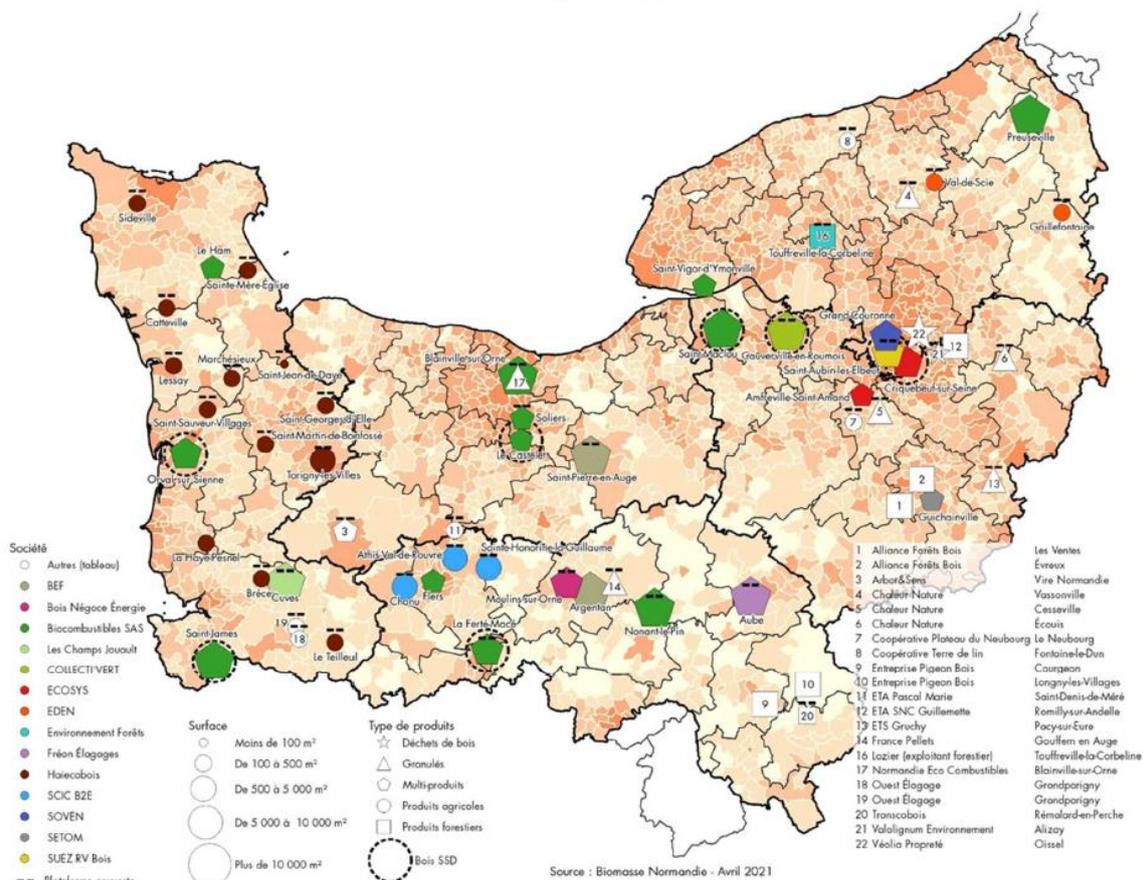
Ainsi en Normandie, 475 000 ménages, soit 48 % des résidences principales de type maison individuelle, utilisent du bois de chauffage sous forme de bûches pour 95 % d'entre eux et de granulés pour 5 %, que ce soit à titre principal, en appoint d'une autre énergie ou encore pour le plaisir. **La consommation 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.

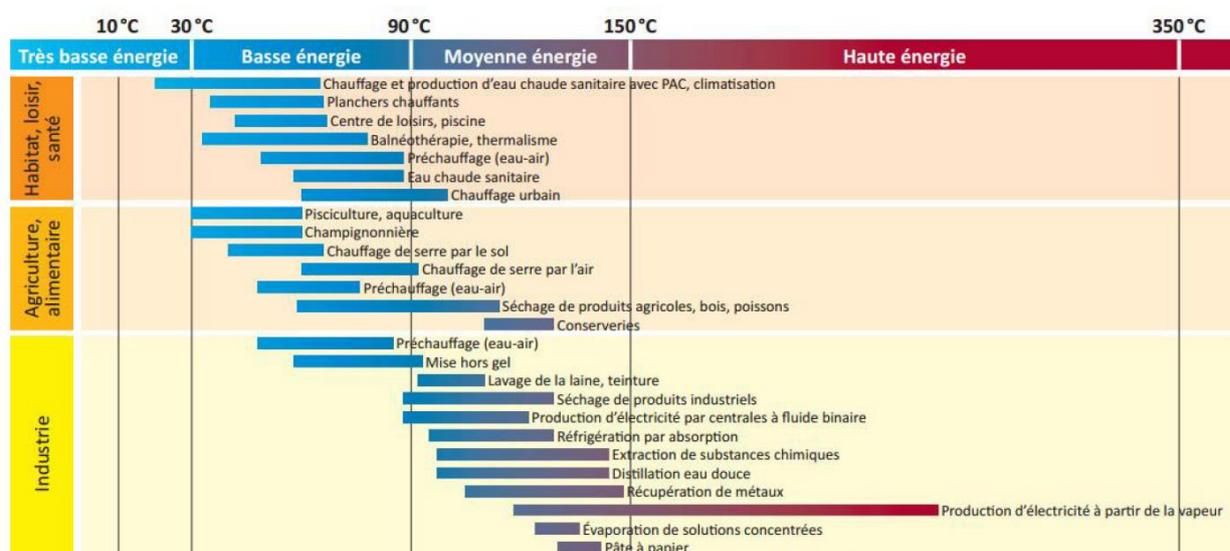
La ressource Biomasse locale peut effectivement permettre de répondre entièrement aux besoins thermiques du futur quartier sur les moyens et longs termes.

Cependant, la production de chaleur (chauffage et ECS) est déjà assurée par le réseau de chaleur urbain CAEN SUD desservi par Dalkia.

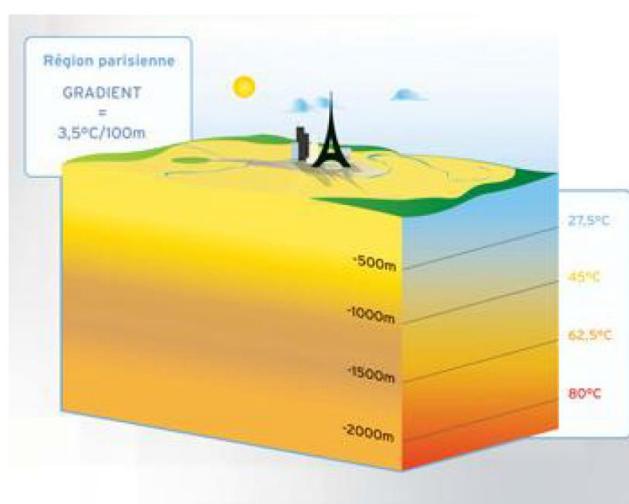
c) LA FILIERE GEOTHERMIE

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 :



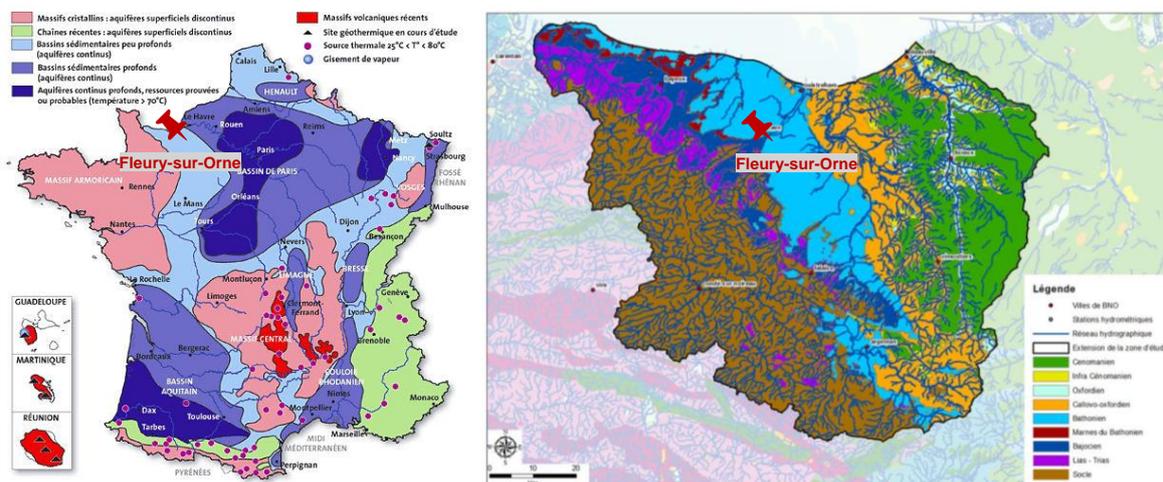
Les principales utilisations de la géothermie en fonction des températures – Géothermie Perspectives



- 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 Fleury-sur-Orne (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, pourrait être une opportunité à l’échelle individuelle.

Cependant, la production de chaleur (chauffage et ECS) est déjà assurée par le réseau de chaleur urbain CAEN SUD desservi par Dalkia.

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 ;

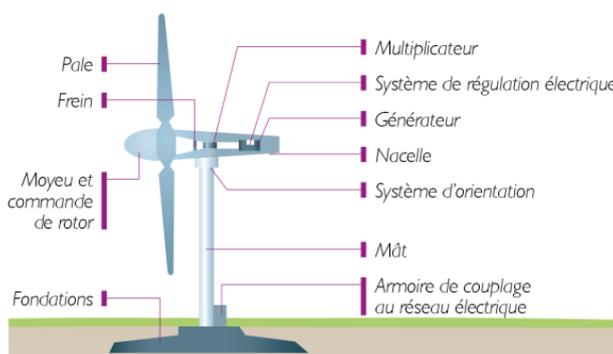
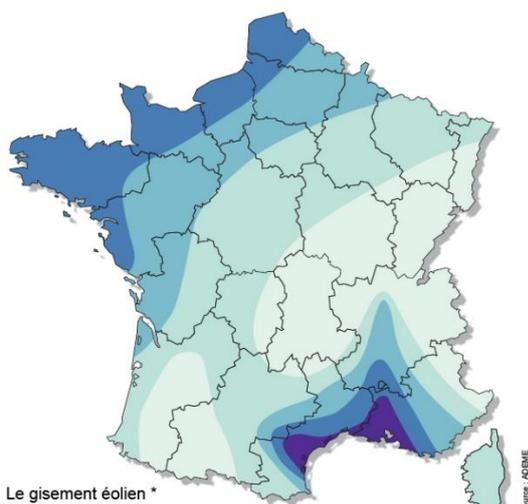


Schéma de principe d'une éolienne (source ADEME – guide pratique éolien)

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) :

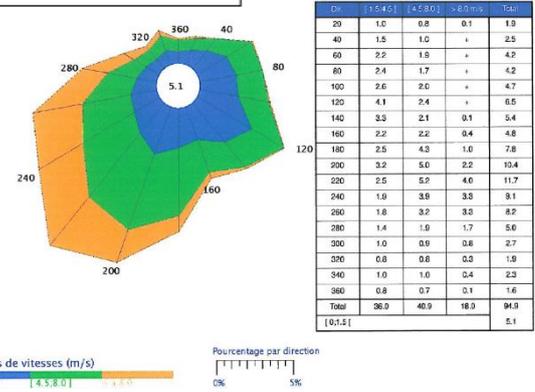


Le gisement éolien* (en m/s)

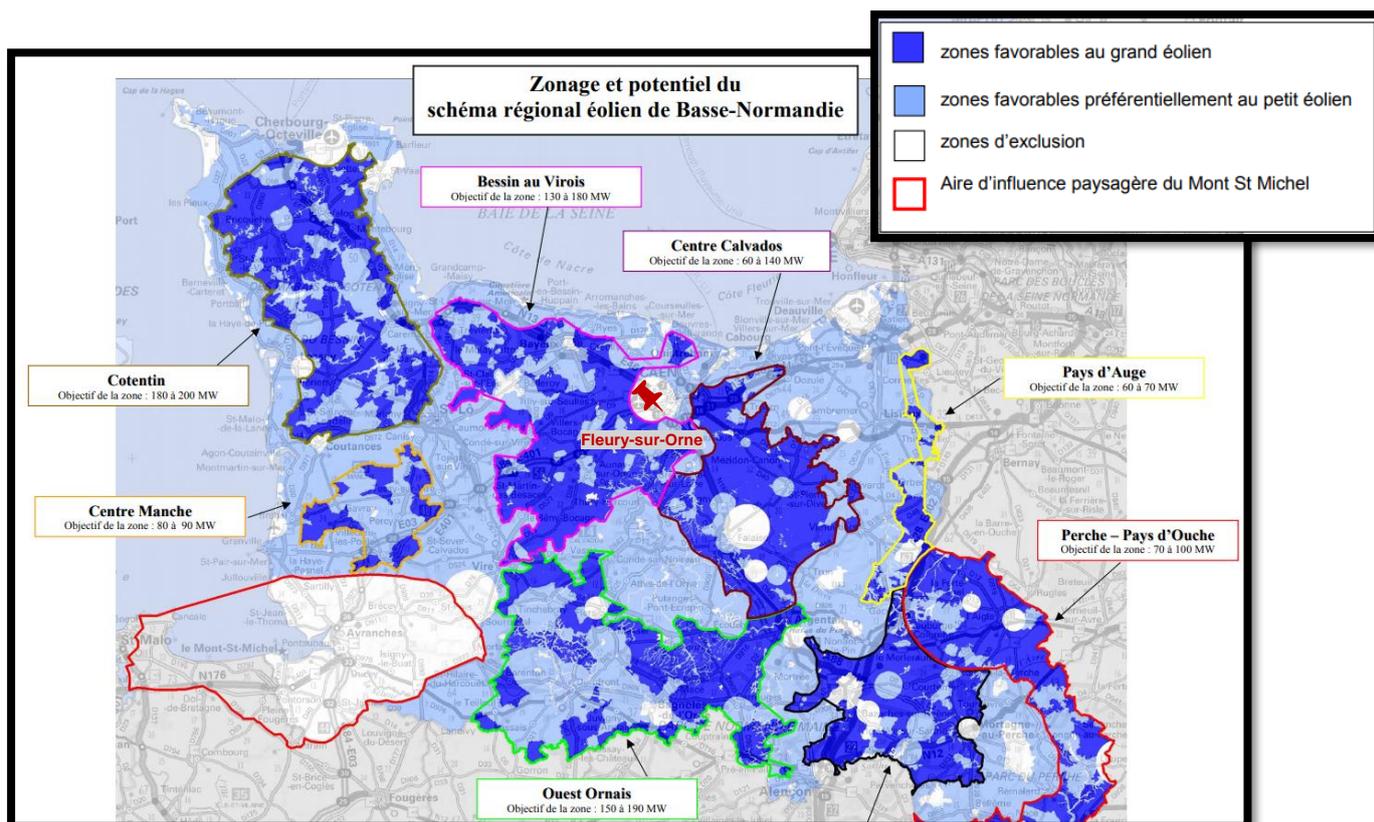
| | Bocage dense, bois, banlieue | Rase campagne, obstacles épars | Prairies plates, quelques buissons | Lacs, mer | Crêtes** collines |
|--------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------|-------------------|
| Zone 1 | < 3,5 | < 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.



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



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

Situation de la Commune : La Commune de Fleury-sur-Orne apparaît dans le Schéma régional éolien (SRE) de Basse-Normandie dans les zones d'exclusion de l'éolien.

Malgré le potentiel régional et local favorable pour le développement de l'éolien dû au vent, la ville de Fleury-sur-Orne se situe dans la zone d'exclusion des éoliennes. Seul le micro-éolien reste une alternative exploitable individuellement mais reste, à ce jour encore très expérimentale.

E) RESEAU DE CHALEUR URBAIN

Un réseau de chaleur urbain distribue la chaleur produite par une source centrale à plusieurs bâtiments via des canalisations isolées. Les sous-stations de transfert adaptent la température de chauffage à chaque point de livraison. A l'intérieur des bâtiments, des échangeurs de chaleur transfèrent la chaleur du réseau aux systèmes de chauffage intérieurs. Ce système centralisé offre une solution efficace pour le chauffage urbain, réduisant les émissions de gaz à effet de serre et favorisant l'utilisation de source d'énergie renouvelable comme ici la biomasse complétée par du gaz naturel.

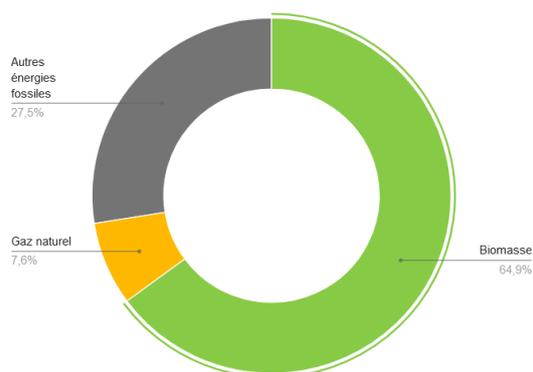


Ministère de la Transition écologique



Carte du réseau de chaleur Caen SUD (1413C) – France Chaleur Urbaine

Mix énergétique



Caractéristiques techniques

| | |
|---------------------------------|---------------|
| Livraisons totales de chaleur | 45.77 GWh |
| dont résidentiel | 36.16 GWh |
| dont tertiaire | 9.61 GWh |
| Points de livraison | 91 |
| Longueur réseau | 12 km |
| Rendement ⓘ | 87 % |
| Année de création du réseau | 2017 |
| Fluide caloporteur - eau chaude | 100 % |
| Taux d'EnR&R | 64,9% |
| Contenu CO2 ACV ⓘ | 109 g CO2/kWh |

Caractéristique technique du réseau de chaleur urbain Caen SUD Géré par DALKIA - France Chaleur Urbaine

Le quartier des Terrasses à Fleury-sur-Orne est intégré au réseau de chaleur urbain. Les nouveaux bâtis peuvent donc être raccordés à celui-ci pour offrir une solution de chauffage fiable et efficace tout en minimisant l'impact environnementale grâce au mix énergétique utilisant 65% de biomasse.

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>Commune desservie</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 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 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 moyenne pour les lots individuels Surface d'installation</i> |
| <i>Thermodynamique</i> | <i>Potentiel d'exploitation et disponibilité de :</i> <ul style="list-style-type: none">- L'Air- L'Eau- Le Sol | <i>Amélioration de l'efficacité d'une solution de chauffage électrique Part d'énergie gratuite provenant d'une source chaude 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>Zone d'exclusion</i> |
| <i>Réseau de chaleur urbain</i> | <i>Disponible sur le site</i> | <i>Quartier desservi Proximité Maintenance Continuité de service</i> | <i>Cout d'installation Engagement à long terme Déperdition de transit</i> |

CHAPITRE III : BILAN ENERGETIQUE DU PROJET DE QUARTIER

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 :

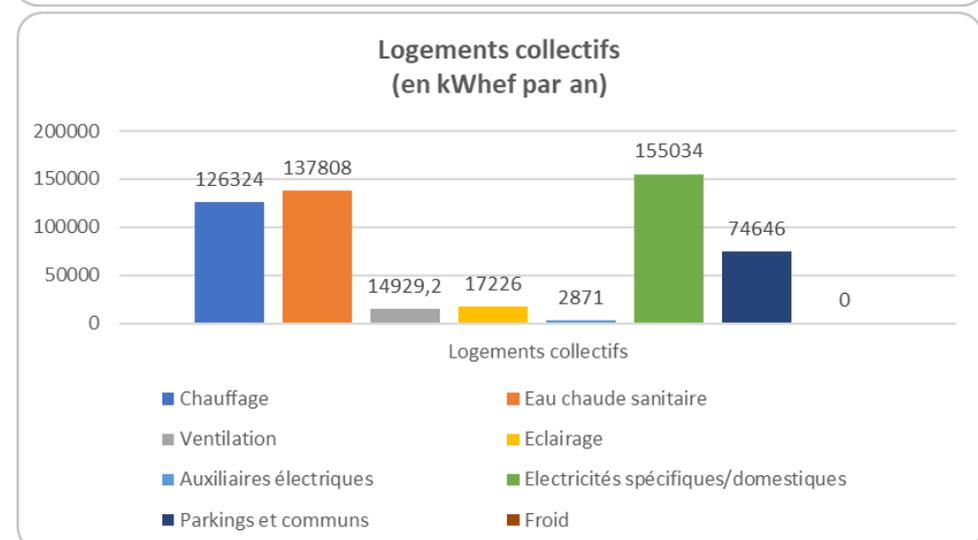
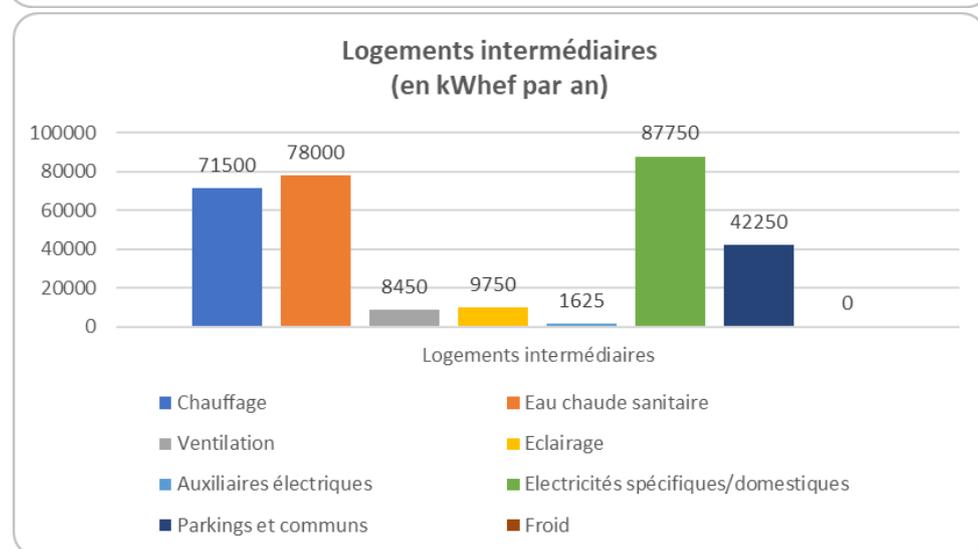
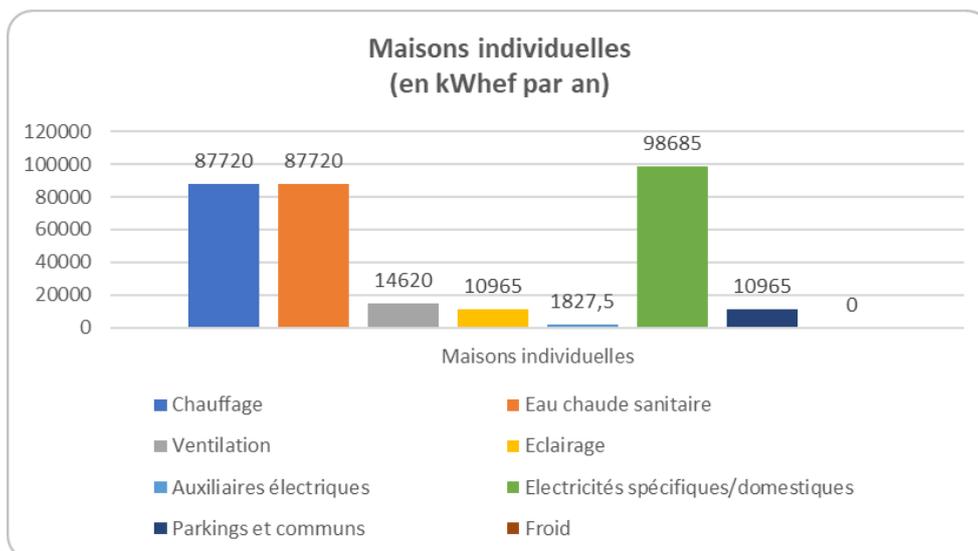
- D'évaluer les principales consommations énergétiques du futur quartier en fin d'opération, sur la base de la nouvelle réglementation environnementale RE2020 ;
- De définir des scénarios d'approvisionnement en énergie mobilisant les énergies renouvelables pour répondre à ces besoins et répondre au cadre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

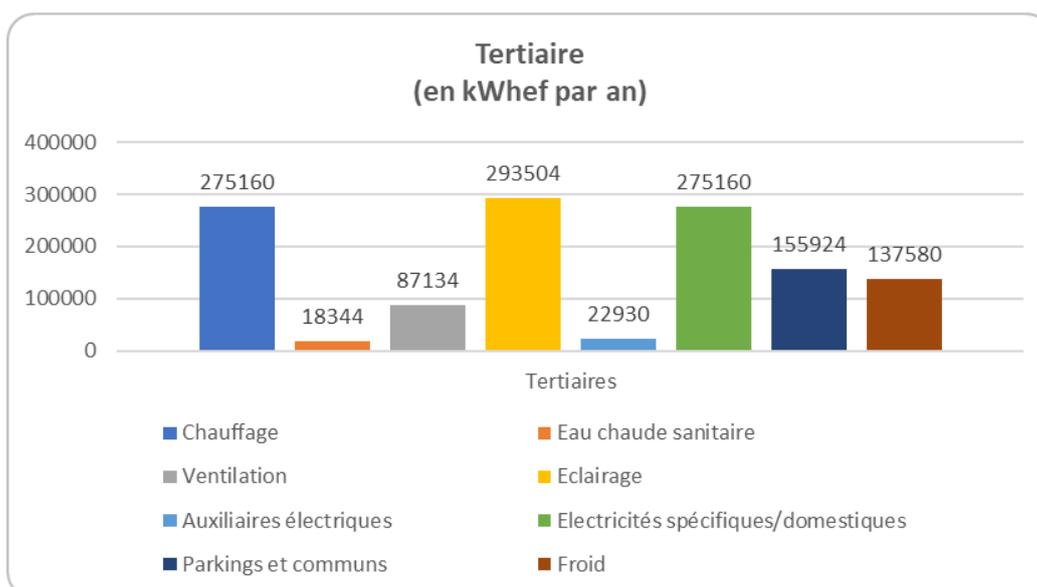
1. HYPOTHESES DE CONSOMMATIONS DES BATIMENTS

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-).

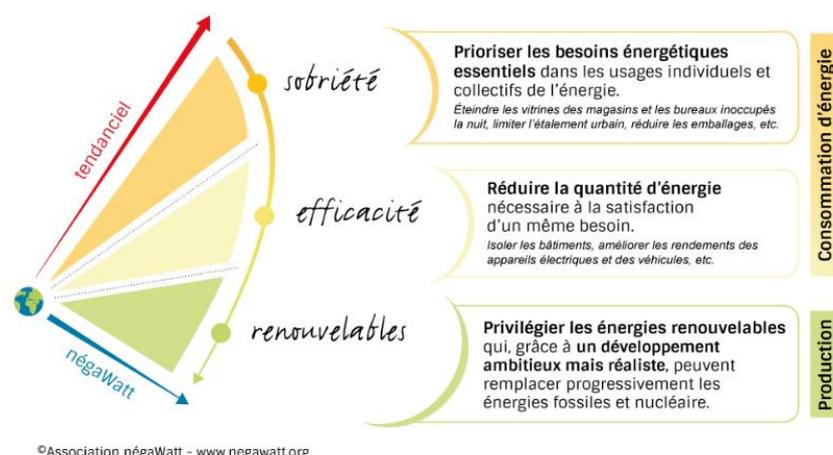
**Les Hypothèses de calculs des surfaces habitables sont les suivantes :*

- *Maisons individuelles = surface habitable moyenne de 85 m² ;*
- *Logements intermédiaires = surface habitable moyenne 65 m² ;*
- *Logements collectifs = surface habitable moyenne 58 m² ;*



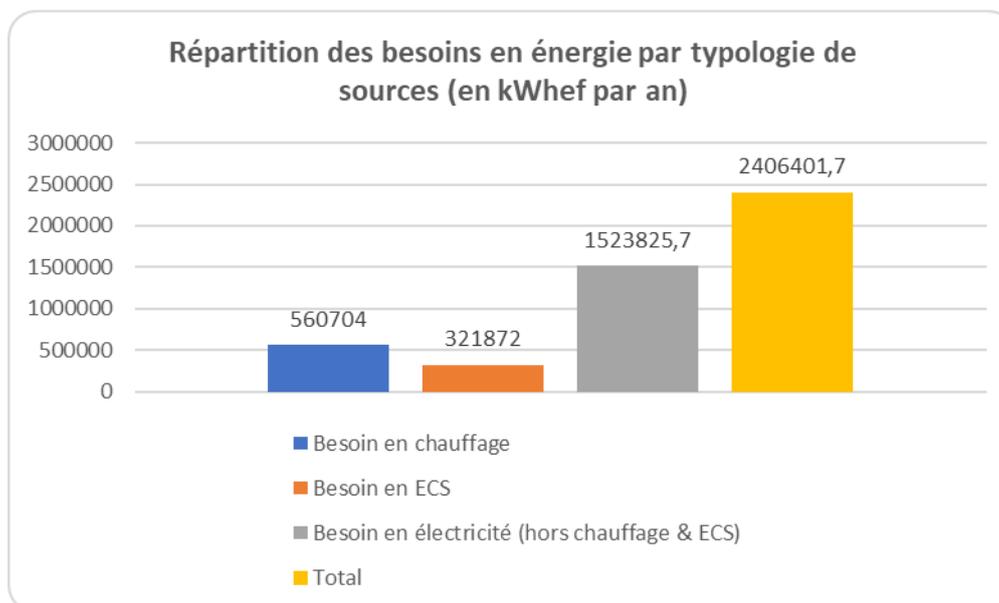


En complément, les consommations non réglementaires sont inspirées des scénarios de consommations NégaWatt pour les ménages, qui va au-delà de la nouvelle réglementation environnementale, où les usagers sont impliqués dans le niveau de performance de leur habitat notamment sur la consommation d'électricité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

1. APPROVISIONNEMENT EN ENERGIE

Les éléments de programmation indiquent **la sélection du réseau de chaleur urbain CAEN SUD pour la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire pour l'ensemble du quartier**. Ainsi, il s'agira de coupler ce choix avec d'autres alternatives en énergies renouvelables.

Nous avons donc étudié 3 scénarios pour le projet :

| <i>Solutions techniques</i> | <i>Chauffage</i> | <i>Eau chaude sanitaire</i> | <i>Energie d'appoint</i> |
|--|------------------|-----------------------------|--|
| <i>S0 : RCU</i> | <i>RCU</i> | <i>RCU</i> | <i>Biomasse 64%</i> |
| <i>S1 : RCU – Solaire photovoltaïque</i> | <i>RCU</i> | <i>RCU</i> | <i>Biomasse 64% – Solaire photovoltaïque</i> |
| <i>S2 : RCU – Baies photovoltaïque</i> | <i>RCU</i> | <i>RCU</i> | <i>Biomasse 64% – Solaire photovoltaïque</i> |

NOTA : Pour rappel, le gaz naturel n'est 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.

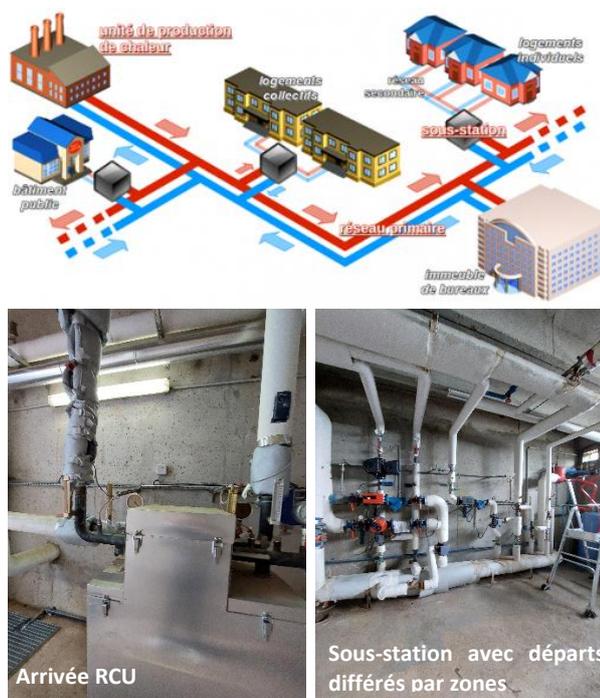
L'étude de ces scénarios à l'échelle du lotissement va permettre de les comparer sous l'angle :

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

a) PRESENTATION DES MIXTES ENERGETIQUES

Scénario SC0 : Production de chaleur via réseau de chaleur urbain CAEN SUD.

Le présent scénario vise à produire le chauffage et l'eau chaude sanitaire de l'ensemble des bâtiments via le raccordement au réseau de chaleur urbain CAEN SUD. Plusieurs sous-stations seront créées pour desservir les différentes zones du site.



Exemple d'installation de raccordement au réseau de chaleur urbain

Scénario SC1 : Production de chaleur via réseau de chaleur urbain CAEN SUD + production d'électricité via panneaux photovoltaïques

Comme présentée dans la solution SC0, la production de chauffage et de d'eau chaude sanitaire se fait via le réseau de chaleur urbain Caen Sud. Le présent scénario vise à y ajouter un production d'énergie photovoltaïque pour subvenir aux besoins électriques du quartier.

Le kit PV, via les cellules photovoltaïques installées sur les panneaux solaires, transforme l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique.

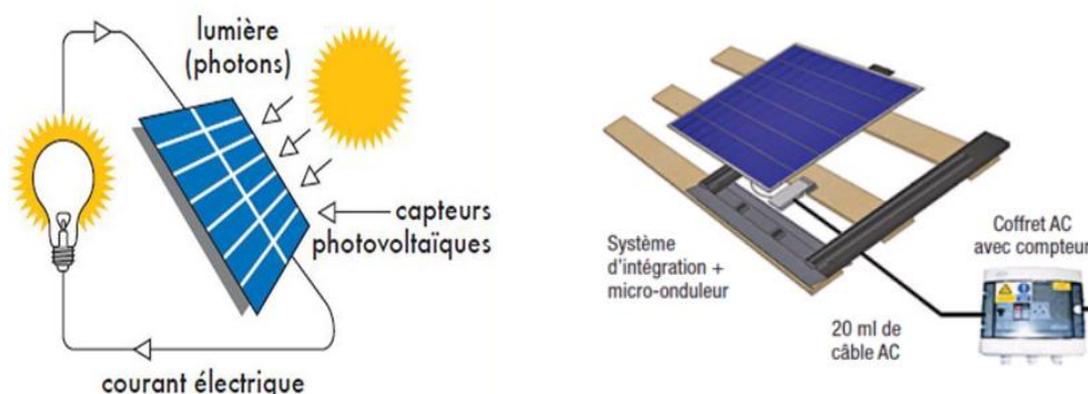


Schéma de principe de production d'électricité par panneaux photovoltaïques / Schéma des éléments constitutifs d'un kit PV

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

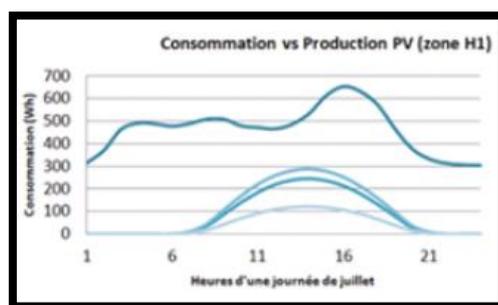
Selon la zone géographique du projet, le tableau indique la production d'électricité de chaque panneau :

| Zone | 1 | 2 | 3 | 4 | |
|-------------------|-----|------|------|------|--------|
| 1 Panneau | 245 | 260 | 290 | 340 | kWh/an |
| 2 Panneaux | 490 | 520 | 580 | 690 | kWh/an |
| 4 Panneaux | 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

Estimation de la production par typologie :

| | | | Surface baie vitrée moyenne [m ²] | 4,6 |
|-----------|-----------------------------------|--------|---|-----------------------------------|
| | SURFACE TOITURE [m ²] | NB LGT | LOGEMENT EXPOSE SUD | SURFACE SOLAIRE [m ²] |
| A | 270 | 20 | 2 | 9,2 |
| B | 270 | 20 | | 0 |
| C | 309 | 20 | 2 | 9,2 |
| D | 548 | 36 | 14 | 64,4 |
| E | 278 | 12 | 7 | 32,2 |
| F | 507 | 22 | 12 | 55,2 |
| G | 374 | 16 | 8 | 36,8 |
| TERTIAIRE | 1665 | 49 | 245 | 245 |

Logements individuels :

- ➔ **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 6 panneaux de 2 m²) sur chaque maison individuelle soit une production totale de 96 750 kWh par an**

Logements collectifs et intermédiaires :

- ➔ **Il sera considéré dans la présente étude, pour les logements collectifs et intermédiaires, : 750 kWh/KWc d'efficacité de production, pour des installations occupant 30% des surfaces de toiture. Ainsi la puissance moyenne des 7 bâtiments s'élève à 18 kWc (soit environ 40 panneaux de 2 m² sur les 7 bâtiments) donnant une production totale de 132 273 kWh par an pour l'ensemble des logements collectifs.**

Surface tertiaire :

- ➔ **Il sera considéré dans la présente étude, pour la partie tertiaire, : 750 kWh/KWc d'efficacité de production, pour une installation occupante 30% de la surface de toiture. Ainsi la puissance moyenne de la zone s'élève à 114 kWc (soit environ 253 panneaux de 2 m²) donnant une production totale de 86 163 kWh par an.**

Scénario SC2 : Production de chaleur via réseau de chaleur urbain CAEN SUD + production d'électricité via fenêtres photovoltaïques

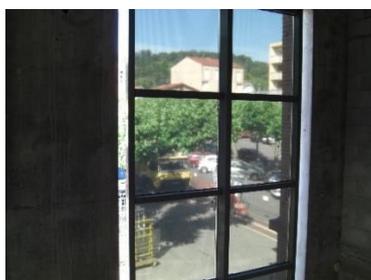
Comme présenté dans la solution SC0, la production de chauffage et de d'eau chaude sanitaire se fait via le réseau de chaleur urbain Caen Sud. Le présent scénario vise à y ajouter un production d'énergie photovoltaïque pour subvenir aux besoins électriques des logements individuels.

La solution de vitrage photovoltaïque peut être installée sur n'importe qu'elle surface vitrée bien exposée. L'introduction d'un film photovoltaïque entre 2 plaques de verre permet d'obtenir un rendu invisible à l'œil nu. Le film capte la lumière pour la transformer en électricité à la manière d'un panneau photovoltaïque classique.

Nota : Aujourd'hui ce type de solution reste expérimental. Le rapport entre le coût d'investissement et la production d'énergie reste très faible. De plus, la production d'énergie entraine une opacité des vitrages impactant le confort et l'esthétique des logements.

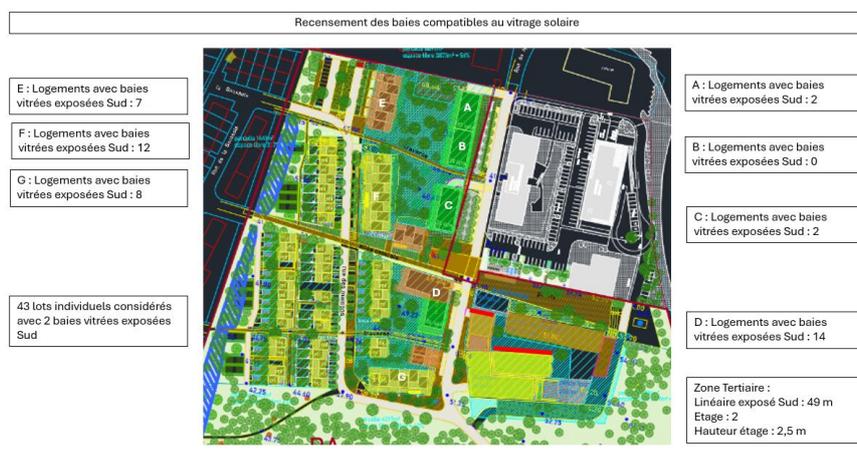
La présente étude considère les hypothèses suivantes :

- Dimension menuiserie photovoltaïque type SunEwat ou VisioGlass : 2 x 1,15 m soit 2,33 m²
- Surface disponible sur le lot individuel : 200 m² (2 baies vitrées de 2,33 m² exposées Sud)
- Une production moyenne de 87,5 Wc/m²
- Une efficacité de production de 750 kWh/KWc



Exemple d'implantation de fenêtre Visioglass sur la mairie de Ramonville

Estimation de la production par typologie :



Logements individuels :

- *Il sera considéré dans la présente étude, pour les logements individuels, 750 kWh/KWc d'efficacité de production, pour une installation de puissance 0,4 kWc (environ 2 baies de 2,33 m²) sur chaque maison individuelle soit une production totale de 12 981 kWh par an*

Logements collectifs et intermédiaires :

- *Il sera considéré dans la présente étude, pour les logements collectifs et intermédiaires, 750 kWh/KWc d'efficacité de production, soit une production totale de 13 584 kWh par an*

| | | | Surface baie vitrée moyenne [m ²] | 4,6 |
|-----------|-----------------------------------|--------|---|-----------------------------------|
| | SURFACE TOITURE [m ²] | NB LGT | LOGEMENT EXPOSE SUD | SURFACE SOLAIRE [m ²] |
| A | 270 | 20 | 2 | 9,2 |
| B | 270 | 20 | | 0 |
| C | 309 | 20 | 2 | 9,2 |
| D | 548 | 36 | 14 | 64,4 |
| E | 278 | 12 | 7 | 32,2 |
| F | 507 | 22 | 12 | 55,2 |
| G | 374 | 16 | 8 | 36,8 |
| TERTIAIRE | 1665 | 49 | 245 | 245 |

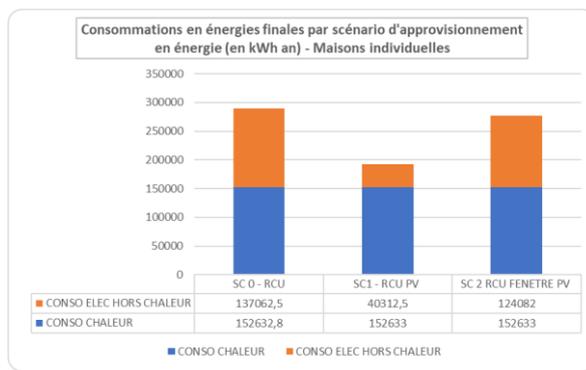
Surface tertiaire :

- *Il sera considéré dans la présente étude, pour la surface tertiaire, 750 kWh/KWc d'efficacité de production, pour une installation de puissance 21 kWc (environ 49 mL de menuiseries sur 2 niveaux) soit une production totale de 16 078 kWh par an.*

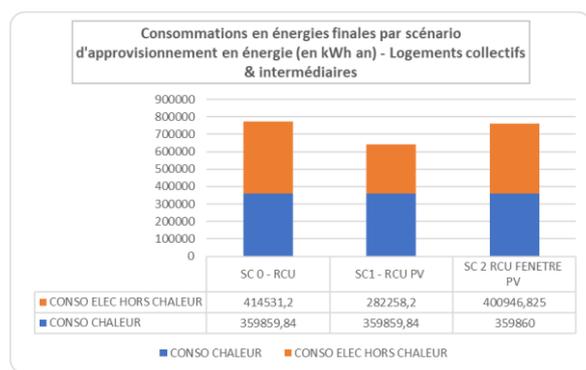
b) COMPARAISON DES CONSOMMATIONS EN ENERGIE FINALE PAR SCENARIO

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

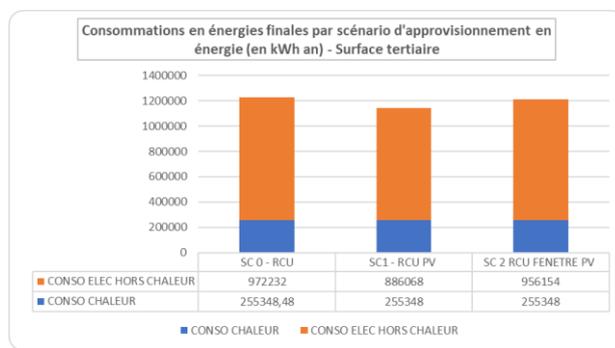
Logements individuels :



Logements intermédiaires et collectifs



Surface tertiaire



Ces comparaisons montrent qu'à un niveau de besoin identique, le solaire photovoltaïque en toiture permet de réduire de :

- 34% les consommations totales des logements individuels ;
- 17% les consommations total des logements collectifs et intermédiaires ;
- 7% les consommations énergétique de la surface tertiaire ;

Le scénario 2 (baies photovoltaïques) permet de gagner entre 2 et 5% de consommations électrique ce qui est faible vis-à-vis de l'investissement que demande la mise en œuvre de cette solution. En effet, la technologie présentée reste de l'ordre de l'expérimentation.

Ainsi, le scénario le moins énergivores est celui qui a recours au solaire photovoltaïque en toiture 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.

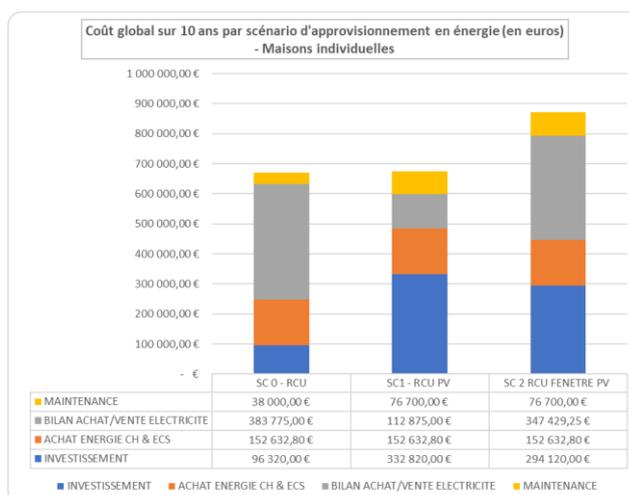
**Hypothèses de prix :*

- 0,28 € /kWhTTC pour l'électricité
- 0,11 € /kWhTTC pour le réseau de chaleur urbain ;

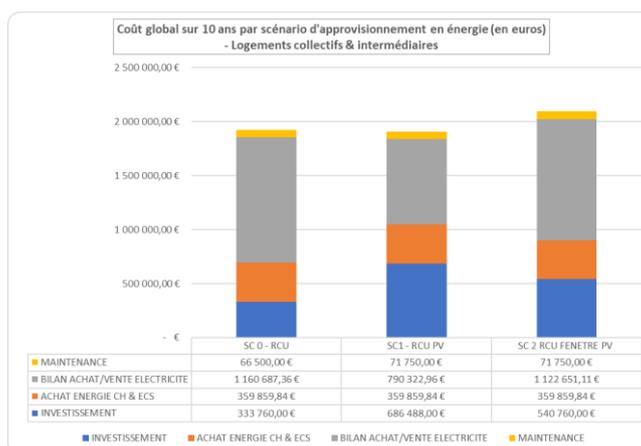
*** Le coût d'investissement du raccordement au RCU est établi sur la base d'un Devis – Dalkia pour le raccordement d'une résidence pour un échangeur de 180 kW à lfs.*

- 280 € / kW installé
- 8 kW/logements
- 0,4 kW/m² pour le tertiaire

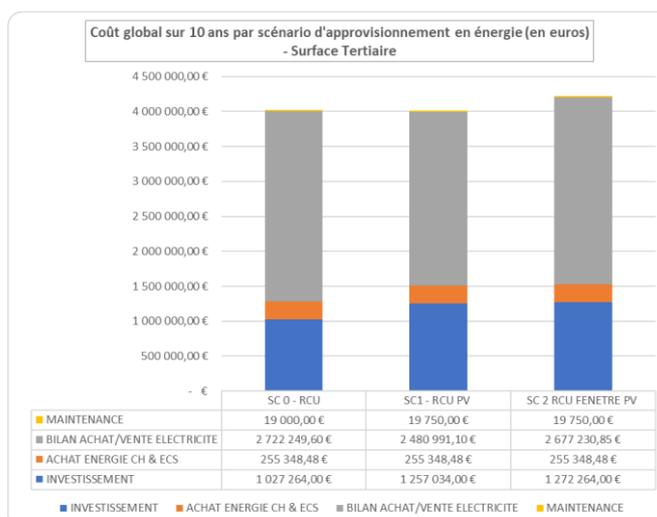
Logements individuels :



Logements intermédiaires et collectifs :



Surface tertiaire



Par rapport à un système individuel par logement, l'usage du RCU collectif permet de diminuer de façon significative les temps et coûts de maintenance.

Sur 10 ans, l'étude du coût global, avec intégration estimative (base « Enerprix ») des hausses du coût de l'énergie montre que les deux premiers scénarios sont relativement équivalent sur le coût total. Le coût d'investissement des panneaux solaires en toiture est atténué par la réduction de la facture d'énergie.

Comme énoncé en amont, la solution des baies photovoltaïques est très peu performante : le coût d'investissement total est grandement impacté par l'ajout de cette technologie. Or la production d'énergie électrique n'est pas suffisante pour atténuer les coûts d'investissement et de maintenance.

d) COMPARAISON DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

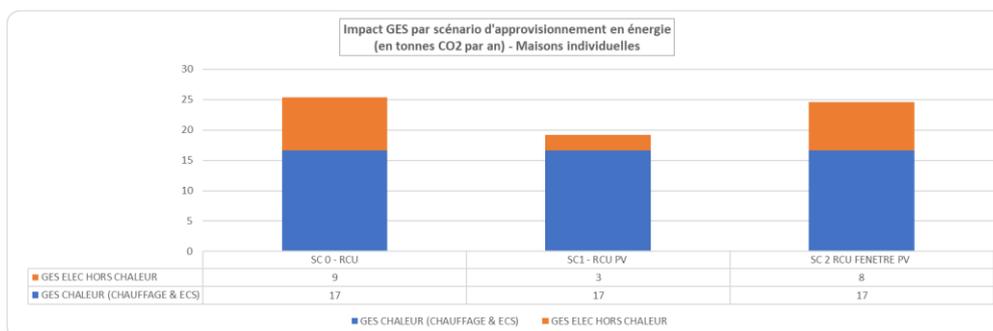
L'impact sur l'effet de serre de l'opération sera déterminé en calculant les quantités équivalentes de CO2 émises par les bâtiments en fonction des énergies utilisées.

Les hypothèses prises pour le calcul sont les suivantes :

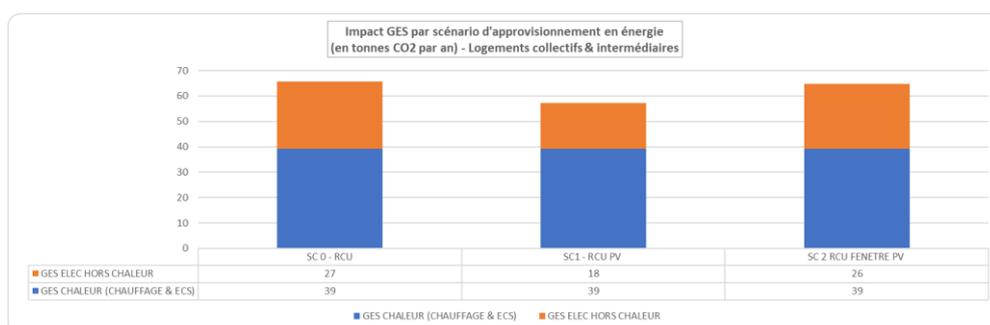
Contenu des énergies en kg équivalent CO2 par kilowattheure PCI d'énergie finale (Base ADEME) :

| | |
|--|--|
| 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 |

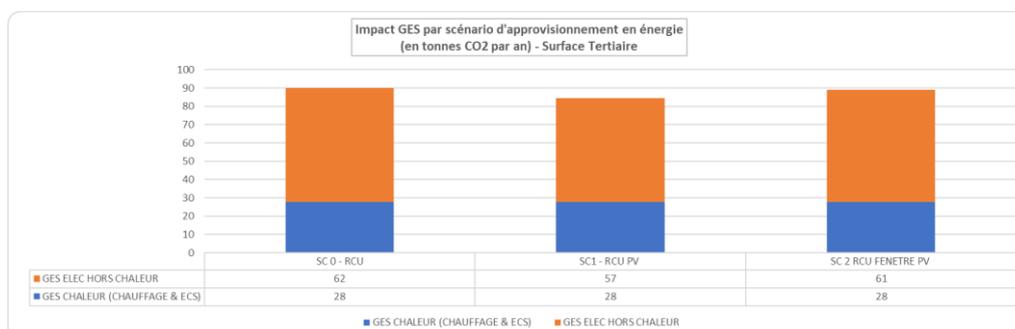
Logements individuels :



Logements intermédiaires et collectifs



Surface tertiaire



Les mixtes énergétiques étudiés en réponse à la future réglementation thermique RE2020, à laquelle sera soumis le projet de lotissement, permettent de réduire l'impact carbone du point de vue des consommations énergétiques, avec au maximum :

- 25 tonnes de CO2 émises par an pour les consommations énergétiques du lotissement pour les logements individuels
- 66 tonnes de CO2 émises par an pour les logements collectifs.
- 90 tonnes de CO2 émises par an pour les logements collectifs.

Les scénarios ayant recours au solaire photovoltaïque en toiture sont les plus performants sur les aspects impact carbone.

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

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

| <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 : RCU</i> | | | | |
| <i>S1 : RCU + PV TOITURE</i> | | | | |
| <i>S2 : RCU + BAIES PV</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). Le réseau de chaleur urbain est un système de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire vertueux qui permet de limiter les émissions de gaz à effet de serre par rapport à des solutions plus classiques à base d'énergies fossiles (gaz, fioul ...). De plus, il permet d'atténuer l'impact de la maintenance sur les usagers et gestionnaires (temps de maintenance, coût, nombre d'interventions).

Le scénario qui combine le réseau de chaleur urbain et les panneaux photovoltaïques en toiture répond **de manière favorable à une approche multicritère : impact environnemental, réduction de la consommation énergétique finale et réduction de la facture finale.** En effet les coûts supplémentaires d'investissement nécessaires à la mise en place de centrales photovoltaïques sont atténués par la production énergie électrique engendrée.