



**ETUDE DE POTENTIEL DE  
DEVELOPPEMENT EN ENERGIES  
RENOUVELLABLES**

Version : 1.1

Date : 17/03/2026

**ZAC MULTISITES NOYAL CHATILLON  
SUR SEICHE**



**Mairie de Noyal-Châtillon-sur-Seiche**

3 Rue de la Mairie,  
35230 Noyal-Châtillon-sur-Seiche  
02 99 05 20



**E'NERGYS Rennes**

12A rue du Patis Tatelin  
35000 Rennes

---

## - TABLE DES MATIERES

---

|       |                                                                                      |           |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| -     | <b>SYNTHESE NON TECHNIQUE DE L'ETUDE</b>                                             | <b>5</b>  |
| -     | <b>LES ORIENTATIONS DU PROJET LIEES A L'ENERGIE</b>                                  | <b>9</b>  |
| -     | <b>PREAMBULE</b>                                                                     | <b>10</b> |
| -     | Contexte de la future zone d'aménagement concertée                                   | 10        |
| -     | Principe et méthode de l'étude                                                       | 10        |
| -     | <b>DES ENGAGEMENTS INTERNATIONAUX A LA REGLEMENTATION DES DOCUMENTS D'URBANISME.</b> | <b>11</b> |
| -     | Processus de lutte contre le réchauffement climatique                                | 11        |
| •     | <i>Processus international</i>                                                       | 11        |
| •     | <i>Processus européen et national</i>                                                | 11        |
| -     | Des engagements internationaux aux PLUi puis permis d'aménager ou construire.        | 12        |
| -     | Contexte réglementaire                                                               | 14        |
| -     | Contexte local                                                                       | 15        |
| -     | <b>PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</b>                                               | <b>18</b> |
| -     | Positionnement géographique                                                          | 18        |
| -     | Périmètre d'étude                                                                    | 18        |
| -     | Végétation et bâti existant                                                          | 19        |
| -     | Programmation et schéma d'aménagement étudié                                         | 20        |
| -     | <b>PHASE 1 : POTENTIEL DE MOBILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES</b>                | <b>21</b> |
| -     | Énergies fossiles/fissibles disponibles                                              | 21        |
| -     | Les énergies renouvelables et de récupération                                        | 22        |
| •     | <i>Inventaire des énergies renouvelables disponibles et pertinence sur le projet</i> | 22        |
| •     | <i>L'énergie solaire</i>                                                             | 24        |
| •     | <i>L'énergie bois</i>                                                                | 26        |
| •     | <i>L'énergie éolienne (production d'électricité)</i>                                 | 29        |
| •     | <i>La géothermie (production de chaleur et d'électricité)</i>                        | 32        |
| •     | <i>La récupération d'énergie sur les eaux usées</i>                                  | 34        |
| •     | <i>Application</i>                                                                   | 36        |
| •     | Innovations liées à la production d'électricité                                      | 37        |
| •     | <i>L'autoconsommation</i>                                                            | 37        |
| •     | <i>Les smartgrids</i>                                                                | 38        |
| •     | Synthèse des énergies renouvelables mobilisables sur site                            | 40        |
| -     | <b>PHASE 2 : DETERMINATION DES IMPACTS ENERGIE/CLIMATS LIES AU BATIMENTS</b>         | <b>43</b> |
| -     | Usages énergétiques attendus                                                         | 43        |
| 1.1.2 | <i>Les usages liés aux bâtiments</i>                                                 | 43        |
| 1.1.3 | <i>Cas particulier de l'électricité domestique :</i>                                 | 43        |
| -     | Estimations des impacts énergie/carbone en fin d'opération                           | 44        |
| 1.1.4 | <i>Définition des niveaux de performance énergétique par typologie de bâtiment</i>   | 44        |
| -     | <i>Niveaux d'Impact carbone des produits de construction</i>                         | 44        |
| 1.1.5 | <i>Programmation :</i>                                                               | 44        |
| 1.1.6 | <i>Calcul des besoins énergétiques de l'ilot en fin d'opération</i>                  | 45        |

|        |                                                                                                                                                      |           |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| -      | Calcul des émissions de GES liées aux matériaux en fin d'opération                                                                                   | 45        |
| -      | <b>PHASE 3 : TAUX DE COUVERTURE DES BESOINS DE LA ZONE PAR LES ENR</b>                                                                               | <b>48</b> |
| •      | Production d'électricité par micro-éoliennes                                                                                                         | 48        |
| -      | Production de chaleur et/ou d'électricité par énergie solaire                                                                                        | 48        |
| -      | Production de chaleur par géothermie                                                                                                                 | 49        |
| -      | Production de chaleur par Aérothermie                                                                                                                | 49        |
| -      | Production de chaleur par Bois énergie                                                                                                               | 49        |
| -      | Synthèse                                                                                                                                             | 50        |
| -      | <b>PHASE 4 : ETUDE DE L'IMPACT DE LA MOBILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES</b>                                                                     | <b>51</b> |
| -      | Comparaison des consommations en énergie finale                                                                                                      | 52        |
| -      | Comparaison des consommations en énergie primaire                                                                                                    | 53        |
| -      | Comparaison des coûts de fonctionnement actualisés sur 25 ans                                                                                        | 54        |
| 1.1.7  | <i>Conclusion sur l'analyse économique :</i>                                                                                                         | 57        |
| -      | Comparaison des émissions de gaz à effet de serre                                                                                                    | 57        |
| -      | Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne                                                                                           | 58        |
| -      | Synthèse de l'analyse des scénarios d'approvisionnement en énergie                                                                                   | 59        |
| -      | <b>PHASE 5 : PRISE EN COMPTE DE L'IMPACT CARBONE LIE AUX MATERIAUX DE CONSTRUCTION ET A LA CONSOMMATION D'ENERGIE.</b>                               | <b>60</b> |
| -      | <b>PHASE 6 : ETUDE D'OPPORTUNITE DE CREATION D'UN RESEAU DE CHALEUR ALIMENTE PAR LES ENR</b>                                                         | <b>61</b> |
| -      | Etude d'opportunité d'un réseau de chaleur sur le secteur                                                                                            | 61        |
| -      | Notion de densité énergétique pour un réseau de chaleur                                                                                              | 62        |
| 1.1.8  | <i>Hypothèses de consommations énergétiques considérées</i>                                                                                          | 62        |
| -      | Etude d'opportunité                                                                                                                                  | 62        |
| •      | <i>Analyse qualitative</i>                                                                                                                           | 62        |
| •      | <i>Conclusion :</i>                                                                                                                                  | 67        |
| -      | <b>PHASE 7 : 1ERE APPROCHE ENERGIE CLIMAT SUR LES TRANSPORTS ET L'ECLAIRAGE PUBLIC</b>                                                               | <b>68</b> |
| -      | Transports                                                                                                                                           | 68        |
| 1.1.9  | <i>Propositions pour limiter l'impact des transports</i>                                                                                             | 68        |
| 1.1.10 | <i>Estimation des impacts annuels domicile-travail</i>                                                                                               | 68        |
| -      | Consommation énergétique attendue pour l'éclairage public                                                                                            | 69        |
| -      | <b>SYNTHESE DES IMPACT ENERGIE CLIMAT DE LA ZONE SUR 50ANS.</b>                                                                                      | <b>70</b> |
| -      | <b>PHASE 7 : PISTES DE MESURES COMPENSATION</b>                                                                                                      | <b>70</b> |
| -      | Compensation carbone                                                                                                                                 | 70        |
| 1.1.11 | <i>Compensation carbone volontaire</i>                                                                                                               | 71        |
| -      | Proposition de mesures compensatoires                                                                                                                | 72        |
| 1.1.12 | <i>Production locale d'électricité</i>                                                                                                               | 72        |
| 1.1.13 | <i>Analyse technico économique pour la mise en place de photovoltaïque sur un collectif type R+4+A</i>                                               | 73        |
| 1.1.14 | <i>Analyse technico économique pour la mise en de 1kWc (6m²) de photovoltaïque pour une maison individuelle (orientation +-10°, inclinaison 30°)</i> | 73        |

---

## SYNTHESE NON TECHNIQUE DE L'ETUDE

Cette étude a permis de déterminer les sources d'énergies renouvelables pouvant être mobilisées sur le futur projet.

Compte tenu de la performance énergétique de base des logements induits par la réglementation, le coût d'achat d'énergie est faible quel que soit la technologie de production de chauffage choisie. Ainsi, il convient d'apprécier des éléments secondaires des technologies de chauffage tels que le coût d'investissement, le coût de maintenance, la surface dédiées aux systèmes techniques. Les systèmes plus onéreux sont plus facilement supportables dans le cadre d'un logement collectif.

Par ailleurs, la RE2020, par l'indicateur Ic énergie plafonne les émissions de GES de l'énergie consommée. Les systèmes thermodynamiques (pompe à chaleur aérothermiques et géothermiques) présentant des performances élevées et utilisant de l'électricité dont l'impact carbone est faible en France ce qui réduit l'intérêt d'une surperformance de l'enveloppe visant à réduire les besoins de chauffage.

Ci-dessous une conclusion sur les orientations et systèmes pertinents pour le projet.

| Orientation                       | Potentiel logements collectifs                                                                                                                                                      | Potentiels logements individuels                                                                                                                              |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Enveloppe niveau passif           | Surcoût plus acceptable pour des logements collectifs. Selon les systèmes énergétiques, le gain de consommation à relativiser avec le nouveau standard RE2020 au regard du surcoût. | <b>Surcoût pour un logement individuel non neutre.</b> Selon les systèmes énergétiques, le gain de consommation à relativiser avec le nouveau standard RE2020 |
| Construction biosourcée           | Intéressante sur de multiples aspects mais plus onéreuse. Surcoût plus maîtrisé dans le cadre du collectif.                                                                         | Intéressante sur de multiples aspects mais plus onéreuse.                                                                                                     |
| Bois                              | Pertinent mais nécessite un local chaufferie plus spacieux                                                                                                                          | <b>Poêle à bois pertinent : économique à l'achat, et faibles coûts de maintenance. Encombrement réduit</b>                                                    |
| Solaire passif                    | <b>L'optimisation des apports solaires été/hiver est primordiale pour réduire les besoins et améliorer le confort.</b>                                                              |                                                                                                                                                               |
| Solaire thermique                 | <b>Développement pertinent pour des collectifs</b>                                                                                                                                  | Technologie adaptée mais investissement initial plus important                                                                                                |
| Solaire photovoltaïque            | <b>Développement pertinent en autoconsommation. Installation de 36kWc à considérer</b>                                                                                              | <b>Développement pertinent en autoconsommation pour une installation de 1 kWc (6 m²)</b>                                                                      |
| Géothermie très basse température | <b>Technologie adaptée et éprouvée. Performances élevées. Le surinvestissement est plus pertinent dans le cadre d'un logement collectif.</b>                                        | Technologie adaptée mais investissement initial plus important, maintenance supplémentaire et encombrement de la solution.                                    |
| Aérothermie                       | <b>Technologie adaptée et éprouvée</b>                                                                                                                                              | <b>Technologie adaptée et éprouvée</b>                                                                                                                        |
| Chaleur fatale des eaux usées     | <b>Récupérateur d'énergie sur les douches possible mais un peu onéreux. Faible complexité, faible</b>                                                                               | <b>Récupérateur d'énergie sur les douches possible mais un peu onéreux. Faible complexité, faible encombrement et faible maintenance.</b>                     |

|  |                                            |  |
|--|--------------------------------------------|--|
|  | <b>encombrement et faible maintenance.</b> |  |
|--|--------------------------------------------|--|

Figure 1 : Synthèse des potentiels des différentes énergies étudiées

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

Hypothèse de programmation :

| Type                       | Nombre d'unités | Surface totale par typologie | Somme de Part des surface bâties |
|----------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------------|
| Commerces                  | 10              | 3660                         | 9%                               |
| Logements collectifs Orson | 337             | 28730                        | 68%                              |
| Maisons individuelles      | 87              | 9570                         | 23%                              |
| <b>Total général</b>       | <b>434</b>      | <b>41960</b>                 | <b>100%</b>                      |

Figure 2 : Hypothèse de programmation

Besoins énergétiques des bâtiments :

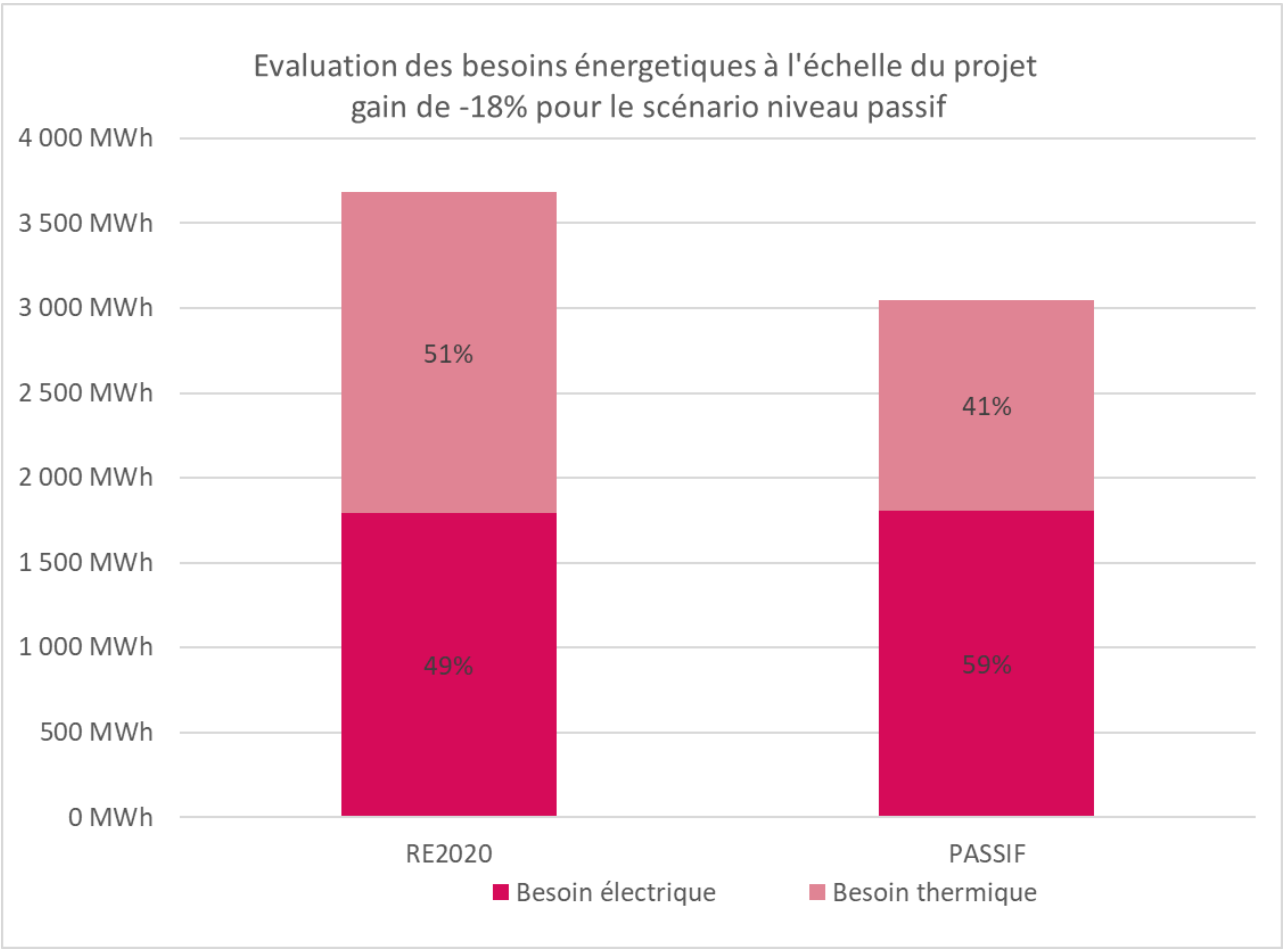
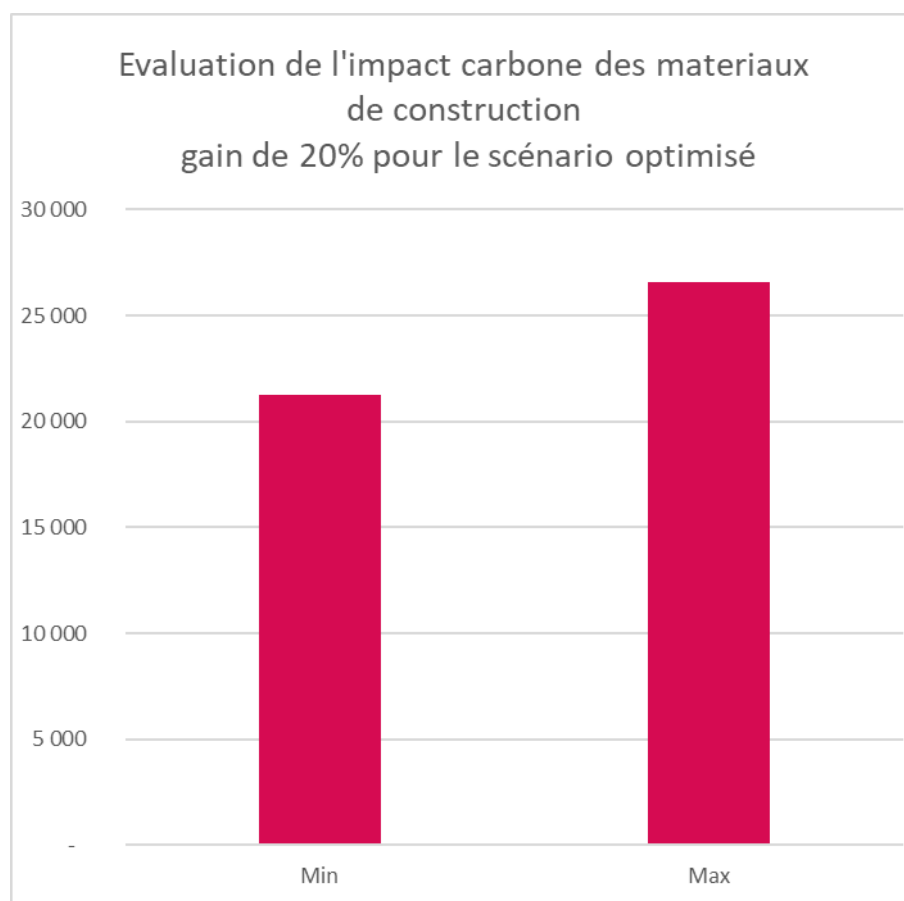


Figure 3 : Besoins énergétiques des bâtiments par performance d'enveloppe

## Impact carbone des produits de construction des bâtiments :



**Figure 4 : Impact carbone des bâtiments par performance d'enveloppe construction traditionnelle (max) vs construction bois et isolation biosourcée (Min)**

## Taux de couverture par les ENR :

| ENR                            |                                     | Taux de couverture théoriques maximum par les ENR<br>Niveau de consommation de base (RE2020-enveloppe de base) |         |             |               | Taux de couverture théoriques maximum par les ENR<br>Niveau de consommation (Passif-enveloppe bas carbone) |         |             |               |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|---------------|
| Technologie                    | Caractéristiques                    | Productible<br>MWh/an                                                                                          | Chaleur | Electricité | Total Energie | Productible                                                                                                | Chaleur | Electricité | Total Energie |
| Panneaux Solaire thermique     | Inclinaison 30°<br>Orientation: S-E | 408                                                                                                            | 22%     | 0%          | 11%           | 408                                                                                                        | 33%     | 0%          | 13%           |
| Panneau Solaire photovoltaïque | Inclinaison 30°<br>Orientation: S-E | 1142                                                                                                           | 0%      | 64%         | 31%           | 1142                                                                                                       | 0%      | 63%         | 37%           |
| Chaudière bois granulés        |                                     | 1889                                                                                                           | 100%    | 0%          | 51%           | 1244                                                                                                       | 100%    | 0%          | 41%           |
| Chaudière bois plaquette       |                                     | 1889                                                                                                           | 100%    | 0%          | 51%           | 995                                                                                                        | 100%    | 0%          | 41%           |
| PAC géothermique               | COP 4                               | 1341                                                                                                           | 75%     | 0%          | 38%           | 883                                                                                                        | 75%     | 0%          | 31%           |
| PAC air/eau                    | COP 2.7                             | 1190                                                                                                           | 63%     | 0%          | 32%           | 784                                                                                                        | 74%     | 0%          | 30%           |
| Micro éolien                   | P:3KW N:13                          | 29                                                                                                             | 0%      | 2%          | 1%            | 29                                                                                                         | 0%      | 2%          | 1%            |

**Figure 5 : Taux de couverture par les différentes ENR**

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

En considérant une orientation optimale des panneaux solaires, la production annuelle d'électricité couvre 62% des besoins annuels d'électricité.

La création d'un quartier à énergie positive au sens [énergie consommée < énergie produite] ne pourrait se faire qu'à partir d'un « mix énergétique » combinant des énergies renouvelables qui produisent de

la chaleur et d'autres de l'électricité et en réduisant de manière drastique les consommations du quartier.

Le tableau suivant présente la synthèse des impacts estimés par les consommations énergétiques :

| Poste                                                                            | Consommation énergétique annuelle estimée (MWh/an) |       | Emissions min de CO2 (T/50 ans) |        |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------|---------------------------------|--------|
|                                                                                  | Min                                                | Max   | Min                             | Max    |
| Consommation énergétique des bâtiments                                           | 2121                                               | 3899  | 6 056                           | 13 493 |
| Matériaux de construction                                                        |                                                    |       | 21 273                          | 26 591 |
| Changement d'affectation des sols et perte de captation carbone par les cultures |                                                    |       | 2 033                           |        |
| Trajets domicile travail en voiture                                              | 2277                                               |       | 29 570                          |        |
| Eclairage                                                                        | 3                                                  | 6,5   | 9                               | 19     |
| Artificialisation des sols                                                       |                                                    |       | 1284                            |        |
| Voiries                                                                          |                                                    |       |                                 |        |
| TOTAL                                                                            | 4 401                                              | 6 182 | 58 941                          | 71 706 |

**Figure 6 : Synthèse des impacts estimés d'un point de vue énergétique et effet de serre**

L'écart de consommation entre un bâtiment performant (enveloppe + systèmes) et un bâtiment plus classique peut aller jusqu'à 45%

L'écart d'impact carbone sur la consommation énergétique des bâtiments et les matériaux de construction en les scénarios Min et Max est de 27%

Les valeurs Min et Max renvoient à la plage d'extrêmes simulés tant sur la performance énergétique de l'enveloppe, celles des systèmes et de l'impact carbone des matériaux. Ainsi, ici :

**Min** : renvoi à une enveloppe de niveau passif en matériaux biosourcés avec une production de chaleur géothermique.

**Max** : renvoi à un bâtiment RE2020 construit en matériaux traditionnels (béton, isolation minérale) avec une production de chaleur par gaz + pompe à chaleur aérothermique.

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

## LES ORIENTATIONS DU PROJET LIEES A L'ENERGIE

Parallèlement à cette étude, la collectivité mène de façon volontaire les études d'aide à la décision du référentiel bas carbone de Rennes Métropole. Ces études sont en cours et la collectivité attend les résultats des études pour traduire les orientations dans le cahier des prescriptions architecturales, paysagères, urbanistique et environnementales.

Par ailleurs, la collectivité doit à minima respecter le PLH et le PLUI de Rennes Métropole selon lesquels l'ensemble de sa programmation de logements aidés (locatifs et en accession à la propriété) doivent satisfaire au référentiel territorialisé NF HQE habitat. Ce dernier impose à minima les objectifs suivants concernant l'énergie :

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 24 | <b>ENERGIE ET ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE</b><br>Justifier les optimisations de conception réalisées suite à une étude STD sur les 10% des logements les plus défavorables, avec un fichier climatique dégradé (2050) et respecter un temps d'inconfort < 3% du temps d'occupation.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Option      |
| 25 | <b>ADAPTATION</b><br>L'indicateur DH ne dépasse pas 250                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Option      |
| 26 | <b>ENERGIE - CHALEUR (ET FROID) RENOUEVELABLES</b><br>Si RCU (déjà existant ou nouvellement créé) : obligation de raccordement au réseau de chaleur.<br>- En l'absence de RCU : Mettre en application le taux de couverture EnR demandé dans l'étude EnR et la fiche de lot, afin d'assurer un minimum de 20% de couverture des besoins de chaleur par des EnR (chauffage et Production d'ECS) (1) et privilégier les systèmes de chauffage/rafraîchissement collectifs répondant aux standards de qualité de régulation et comptage individuels<br>- Raccordement RCU non obligatoire pour les bâtiments certifiés Passif.<br><br>(1) Taux de couverture EnR&R = consommations en énergie finale de chauffage et ECS / Besoin de chaleur en chauffage et ECS estimés en énergie finale par calcul RE2020 sur la base tout électrique à effet joule                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Obligatoire |
| 27 | <b>ENERGIE - ELECTRICITE RENOUEVELABLE LOCALE</b><br>Anticiper la mise en oeuvre de panneaux photovoltaïques en toiture en concevant des toitures PV-ready (compatibles PV), à minima en anticipant :<br>- L'orientation des toitures, leur inclinaison, le désencombrement des surfaces exploitables (ex:acrotère, réseaux et équipements en toiture), et si possible l'absence de masques (bâtiments voisins, végétation...)<br>- Les surcharges en toitures liées à la mise en oeuvre des panneaux,<br>- Des matériaux d'isolation adaptés et compatibles avec la mise en oeuvre de panneaux solaires photovoltaïques : résistance à la compression et au feu(ex:classe C et BROOFT3)<br>- Des matériaux d'étanchéité et de couverture adaptés et compatibles avec les systèmes d'intégration/fixation de panneaux solaires photovoltaïques (la MOE devra proposer un système de fixation des panneaux compatible avec ces matériaux et assurables).<br>- L'accès en toiture sécurisé et intégré à la qualité architecturale du bâtiment pour les interventions d'installations, d'entretien/maintenance, la proximité d'un point d'eau pour les opérations de nettoyage...<br>- La dimension, la position et l'accessibilité du local onduleur,<br>- Les passages de réseaux et la pérennité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe: chemins de câbles en toiture, fourreaux entranchées du local onduleur au coffret Enedis, arrêts d'urgence...<br><br>Nota : cette exigence est sans objet dès lors que des panneaux photovoltaïques ou solaires sont déjà installés ou qu'il est apporté la preuve d'un masque solaire tiers créant une ombre portée permanente ou en cas de choix volontaire d'intégrer une installation PV dans l'opération qui en conformité avec la règle intégrée à la Modification M2 du PLUI en vigueur à partir de 2025 (exigence 29). | Obligatoire |
| 28 | <b>ENERGIE - CHALEUR (ET FROID) RENOUEVELABLE LOCALE</b><br>En l'absence de RCU : respecter le taux de couverture EnR demandé dans l'étude EnR et la fiche de lot, et assurer un minimum de 50% de couverture des besoins de chaleur par des EnR (chauffage et Production d'ECS) (1).<br>- Raccordement RCU non obligatoire pour les bâtiments certifiés Passif.<br><br>(1) Taux de couverture EnR&R = consommations en énergie finale de chauffage et ECS / Besoin de chaleur en chauffage et ECS estimés en énergie finale par calcul RE2020 sur la base tout électrique à effet joule                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Option      |

Figure 7: extrait des exigences du référentiel nf HQE habitat territorialisé sur Rennes Métropole.

## - PREAMBULE

### - Contexte de la future zone d'aménagement concertée

La Ville de Noyal-Châtillon-sur-Seiche envisage la création d'une zone d'habitat de 692 logements qui porte sur une superficie d'environ 15 ha sur les secteurs Orson et Cœur de ville.

### - Principe et méthode de l'étude

La première loi issue du Grenelle de l'Environnement adoptée par l'Assemblée nationale le 29 juillet 2009 définit 13 domaines d'action visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Parmi ces domaines d'action, le recours aux énergies renouvelables est particulièrement mis en avant.

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

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

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

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

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

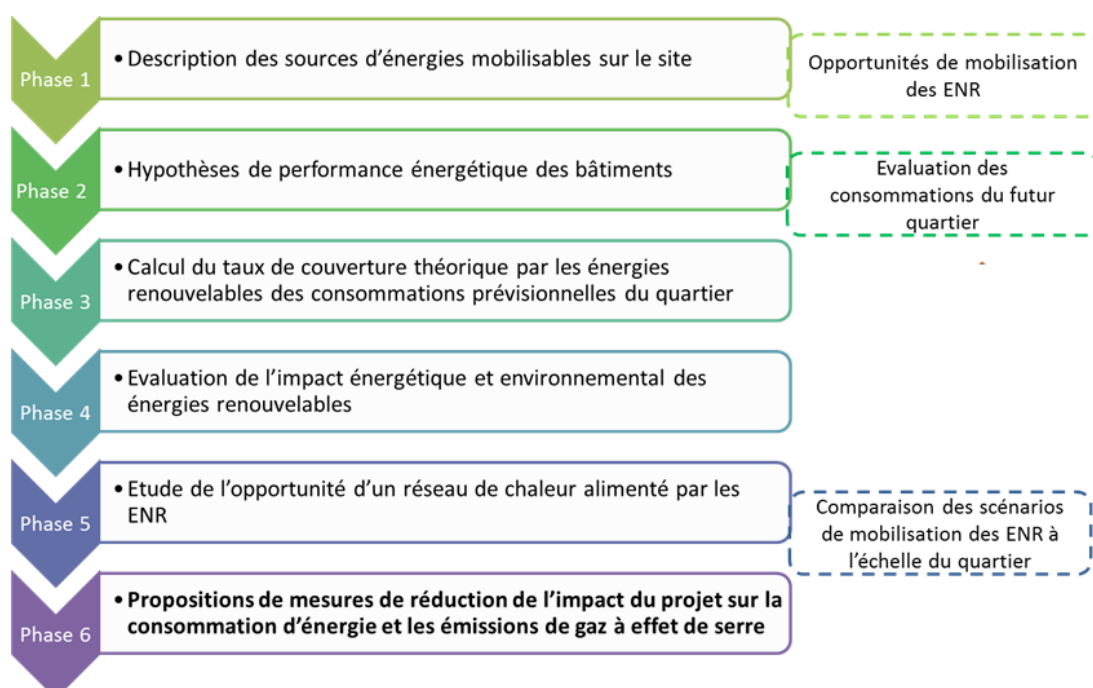


Figure 8 : Phases de l'étude

---

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

## - **DES ENGAGEMENTS INTERNATIONAUX A LA REGLEMENTATION DES DOCUMENTS D'URBANISME.**

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

Lutter contre le réchauffement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre issues de ressources non renouvelables ;

Tendre vers une autonomie énergétique qui se passerait des énergies fossiles.

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

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

### - **Processus de lutte contre le réchauffement climatique**

#### • **Processus international**

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

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

En 2015, la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques s'est tenue à **Paris**. Cette conférence marque une **étape décisive** dans la négociation du futur accord international qui entrera en vigueur en 2020.

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

#### • **Processus européen et national**

Le cadre d'action en matière de climat et d'énergie à l'horizon 2030, adopté par le Conseil européen en octobre 2014 puis révisé en 2018, définit les objectifs suivants à horizon 2030 :

- 1) Réduire de 40 % les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2020 par rapport à 1990 ;
- 2) Porter à 32% la **part d'énergies renouvelables** dans la consommation en Union Européenne en 2020

- 3) Augmenter de 32,5 % l'efficacité énergétique – soit diminuer de 32,5 % la consommation d'énergie par rapport au scénario de référence, le scénario Baseline 2007

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

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

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

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

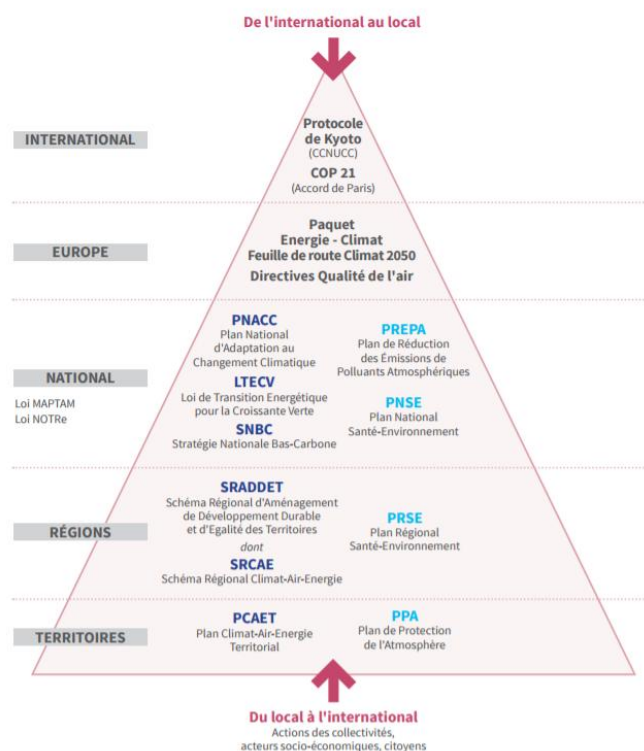


Figure 9 : Des engagements internationaux aux objectifs locaux (source ADEME [www.territoires-climat.ademe.fr](http://www.territoires-climat.ademe.fr))

Le SRCAE de la région Bretagne, voté en décembre 2020 définit les grandes orientations et les objectifs régionaux à l'horizon 2040. Il est notamment question de faire de « Une Bretagne, terre de progrès humains et écologiques pour les générations actuelles et futures ».

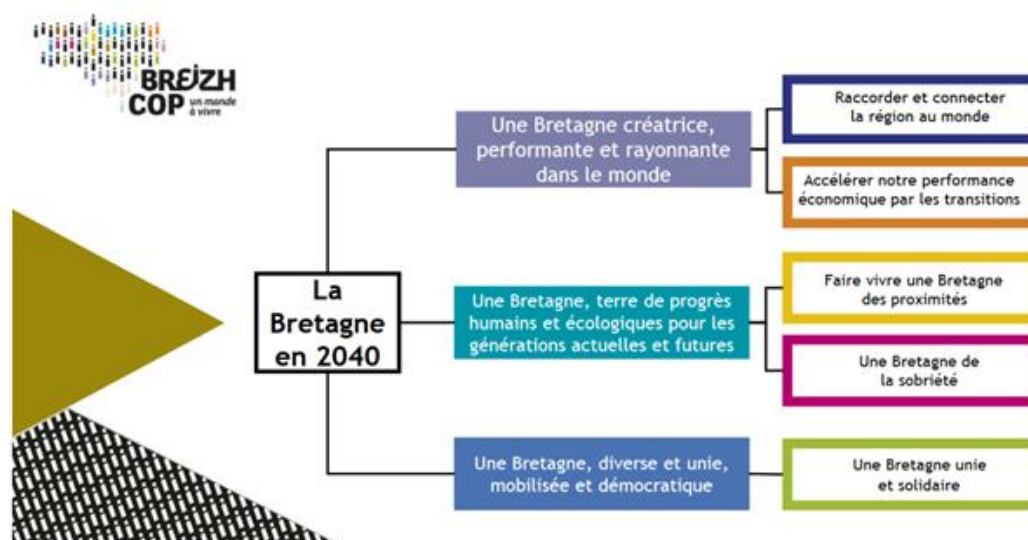


Figure 10 : Objectifs du SRADDET

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

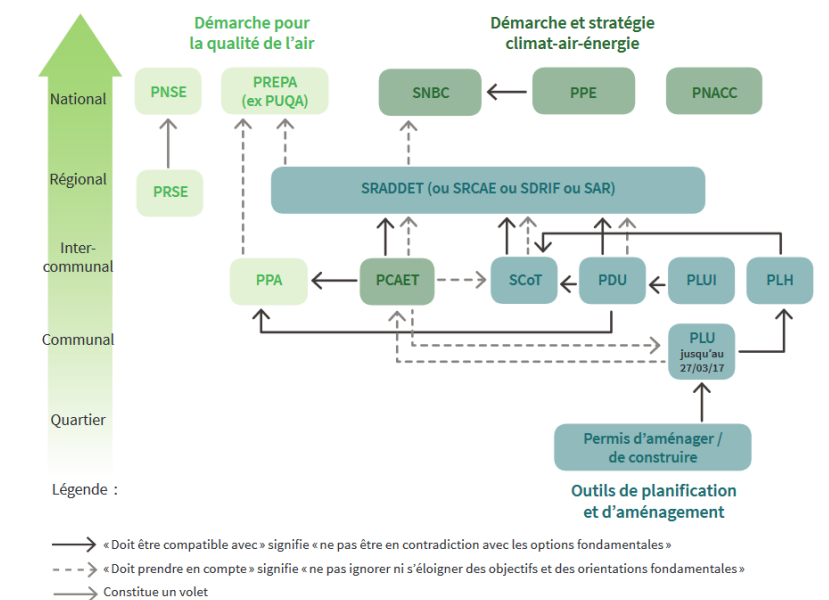
### CHOISSONS UN MODÈLE ÉNERGÉTIQUE DURABLE

Notre objectif en ce domaine est simple - même s'il est très ambitieux : devenir la première région française en matière de transition énergétique. Il passe par la réduction drastique de nos consommations énergétiques et la couverture de nos besoins par des énergies renouvelables. Pour ce faire, nous entendons...

- **Objectif 1 :** Devenir à l'horizon 2050 une région à énergie positive et bas carbone - un tribut essentiel à la lutte contre le changement climatique, puisque 70% des gaz à effet de serre sont d'origine énergétique.
- **Objectif 2 :** Accélérer et amplifier les rénovations énergétiques du bâti (42% des consommations d'énergie), en recherchant systématiquement la sobriété et la performance énergétiques.
- **Objectif 3 :** Rechercher l'efficacité énergétique des entreprises et accompagner l'économie verte, un levier essentiel de développement et d'attractivité.
- **Objectif 4 :** Développer les énergies renouvelables pour diversifier le mix énergétique en développant leur production et leur stockage.
- **Objectif 5 :** Optimiser et adapter les réseaux de transport d'énergie (électricité, gaz, chaleur, froid), en misant sur l'innovation et les complémentarités entre les réseaux.



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



**Figure 11 : Articulation juridique des documents de planification**

Le permis de construire/d'aménager doit être compatible avec le PLU ou PLUi le quel devant prendre en compte le PCAET ou à défaut les documents de planification supérieurs. Le PCAET doit lui-même être compatible avec le SRADDET.

### - Contexte réglementaire

Le respect des engagements pris dans la lutte contre le changement climatique, récemment réaffirmés dans la loi Energie Climat, suppose que la France atteigne la neutralité carbone en 2050. L'un des principaux leviers est d'agir sur les émissions des bâtiments, du secteur résidentiel comme du secteur tertiaire, qui représentent un quart des émissions nationales de gaz à effet de serre. Dans ce cadre, les priorités de la future Réglementation environnementale sont de :

- Diminuer l'impact sur le climat des bâtiments neufs en prenant en compte l'ensemble des émissions du bâtiment sur son cycle de vie, dès la construction. Cela permettra d'une part d'inciter à des modes constructifs qui émettent peu de gaz à effet de serre ou qui permettent d'en stocker tels que le recours aux matériaux biosourcés. D'autre part, la consommation de sources d'énergie décarbonées sera encouragée, notamment la chaleur renouvelable.
- Poursuivre l'amélioration de la performance énergétique et la baisse des consommations des bâtiments neufs. La réglementation ira au-delà de l'exigence de la réglementation actuelle, en insistant en particulier sur la performance de l'isolation quel que soit le mode de chauffage installé, grâce au renforcement de l'indicateur « de besoin bioclimatique » (dit « Bbio »).

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

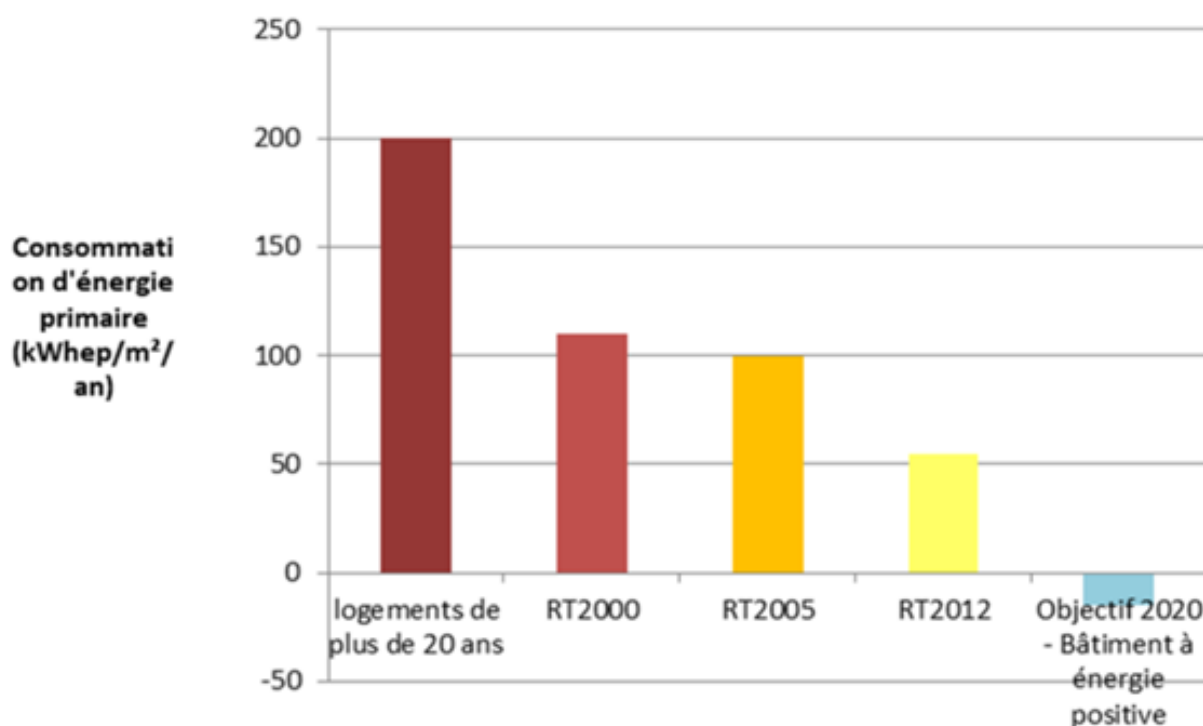


Figure 12 : Graphique de l'évolution des performances exigées par les réglementations thermiques

- Garantir aux habitants que leur logement sera adapté aux conditions climatiques futures en introduisant un objectif de confort en été. Les bâtiments devront mieux résister aux épisodes de canicule, qui seront plus fréquents et intenses du fait du changement climatique.

#### - Contexte local

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

- Une situation péninsulaire :

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

- Une faible production électrique : 13% de sa consommation
- Une forte croissance démographique et un dynamisme économique qui augmentent les besoins en proportion plus importante, malgré une situation actuellement moins énergivore que le reste du territoire français.

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

- **La politique énergie climat du territoire breton**

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

• **Le plan éco énergie pour la Bretagne**

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

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

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

**La pacte électrique Breton**

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

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

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

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

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

- **La sécurisation de l'approvisionnement**

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

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

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

• **Portrait énergétique du territoire**

## Rennes Métropole

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

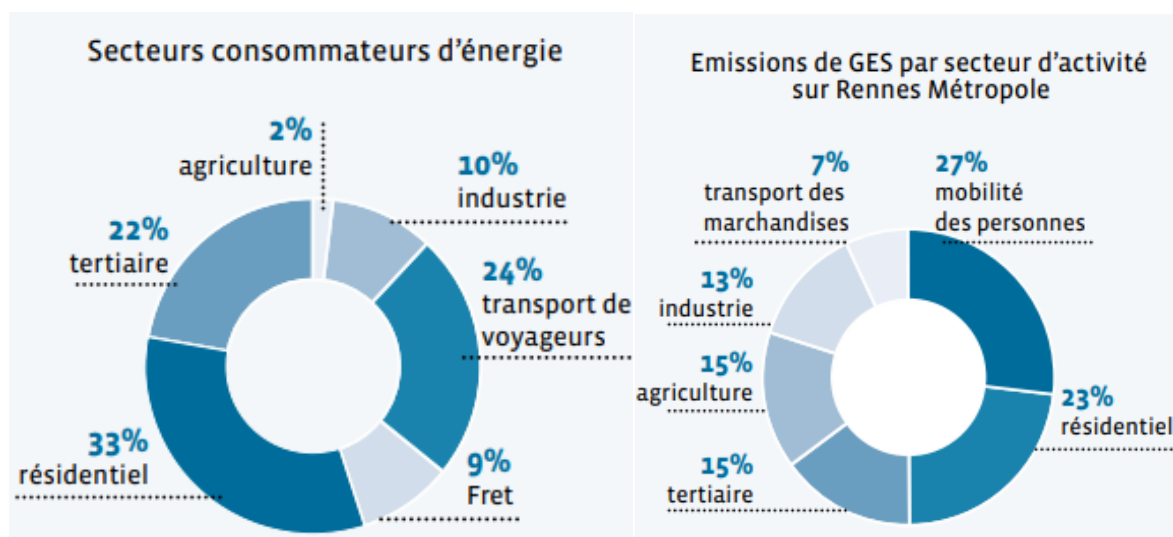


Figure 13 : Répartition des consommations d'énergie et émissions de GES de Rennes Métropole. Source : [https://metropole.rennes.fr/sites/default/files/file-PolPub/PCAET\\_RM\\_2019-24.pdf](https://metropole.rennes.fr/sites/default/files/file-PolPub/PCAET_RM_2019-24.pdf)

- L'aménagement d'un lotissement influe directement sur les deux premiers postes de consommation énergétique et d'émission de GES (Bâtiment, Transport). Les choix retenus sur l'aménagement du projet (exigence sur la performance énergétique des bâtiments, développement des énergies renouvelables, ou développement des alternatives de transport à la voiture individuelle) permettront de limiter ces impacts.

Le PLH de Rennes Metropole :

## Le PLH de Rennes Métropole :

Depuis le PLH de 2005, Rennes Métropole impose une certification environnementale, délivrée par CERQUAL Qualitel Certification, sur l'ensemble de sa programmation de logements aidés (locatifs et en accession à la propriété). Sur la période 2015-2022, cette exigence mise en œuvre au travers de l'application du référentiel NF Habitat HQE élaboré par CERQUAL, en concertation avec l'ensemble des acteurs du logement, a notamment permis à Rennes Métropole de s'assurer de l'atteinte du niveau supérieur à celui de la RT 2012.

Le partenariat entre CERQUAL et Rennes Métropole s'appuie sur une approche territorialisée, avec l'application du référentiel NF Habitat HQE spécifiquement pour les logements aidés. Ce dispositif prévoit un contrôle in situ des bâtiments à leur livraison ainsi qu'une analyse en coût global du système de chauffage, afin de garantir la performance énergétique et la durabilité des constructions. La certification, propre au territoire, implique un suivi rigoureux à chaque étape du projet, de la conception à la livraison, en complément des contrôles réglementaires qui, quant à eux, ne sont ni systématiques ni exhaustifs.

### - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

#### - Positionnement géographique

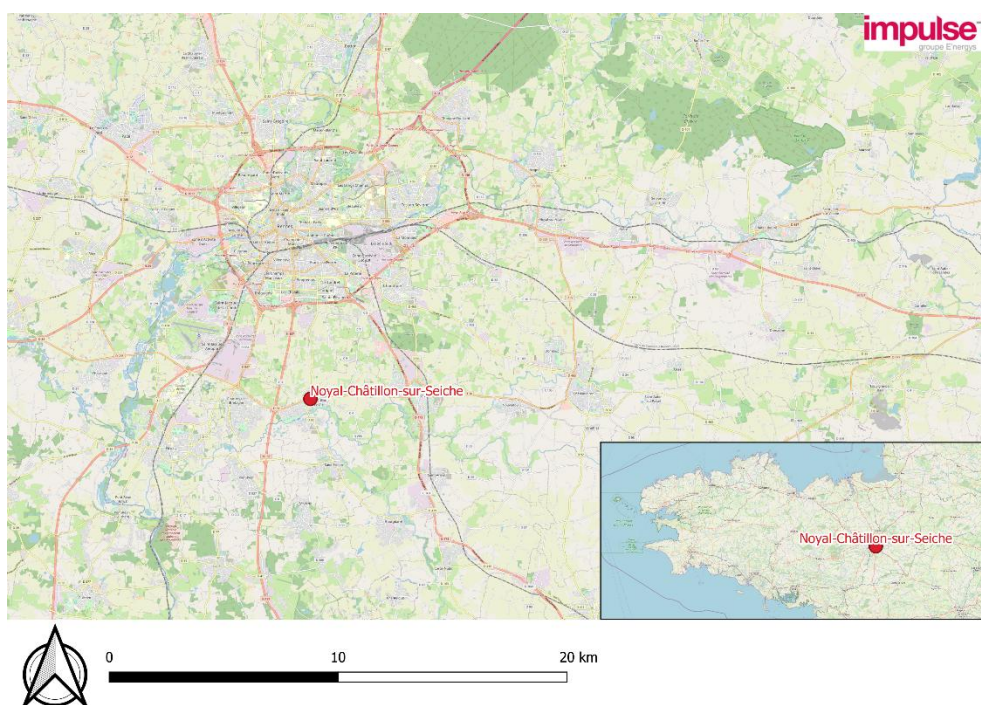


Figure 14 : Localisation du projet

La commune de Noyal-Châtillon-sur-Seiche est située à 7 km au Sud de Rennes.

#### - Périmètre d'étude

Le périmètre d'étude concerne la création d'un lotissement de 692 logements sur le périmètre suivant :



Figure 15 : Périmètre d'étude

## - Végétation et bâti existant



Figure 16 : Vue Aérienne du secteur

Le site et sa périphérie immédiate ne présente pas d'arbres susceptibles de générer des ombres portées.

## - Programmation et schéma d'aménagement étudié

Le projet prévoit la création de 606 logements et 1 320 m<sup>2</sup> de locaux commerciaux sur une superficie de 16 Ha. La programmation prévisionnelle est la suivante :



Figure 17 : Implantation de la ZAC

| Type                       | Nombre d'unités | Surface totale par typologie | Somme de Part des surface bâties |
|----------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------------|
| Commerces                  | 10              | 3660                         | 9%                               |
| Logements collectifs Orson | 337             | 28730                        | 68%                              |
| Maisons individuelles      | 87              | 9570                         | 23%                              |
| <b>Total général</b>       | <b>434</b>      | <b>41960</b>                 | <b>100%</b>                      |

Figure 18 : Hypothèse de programmation

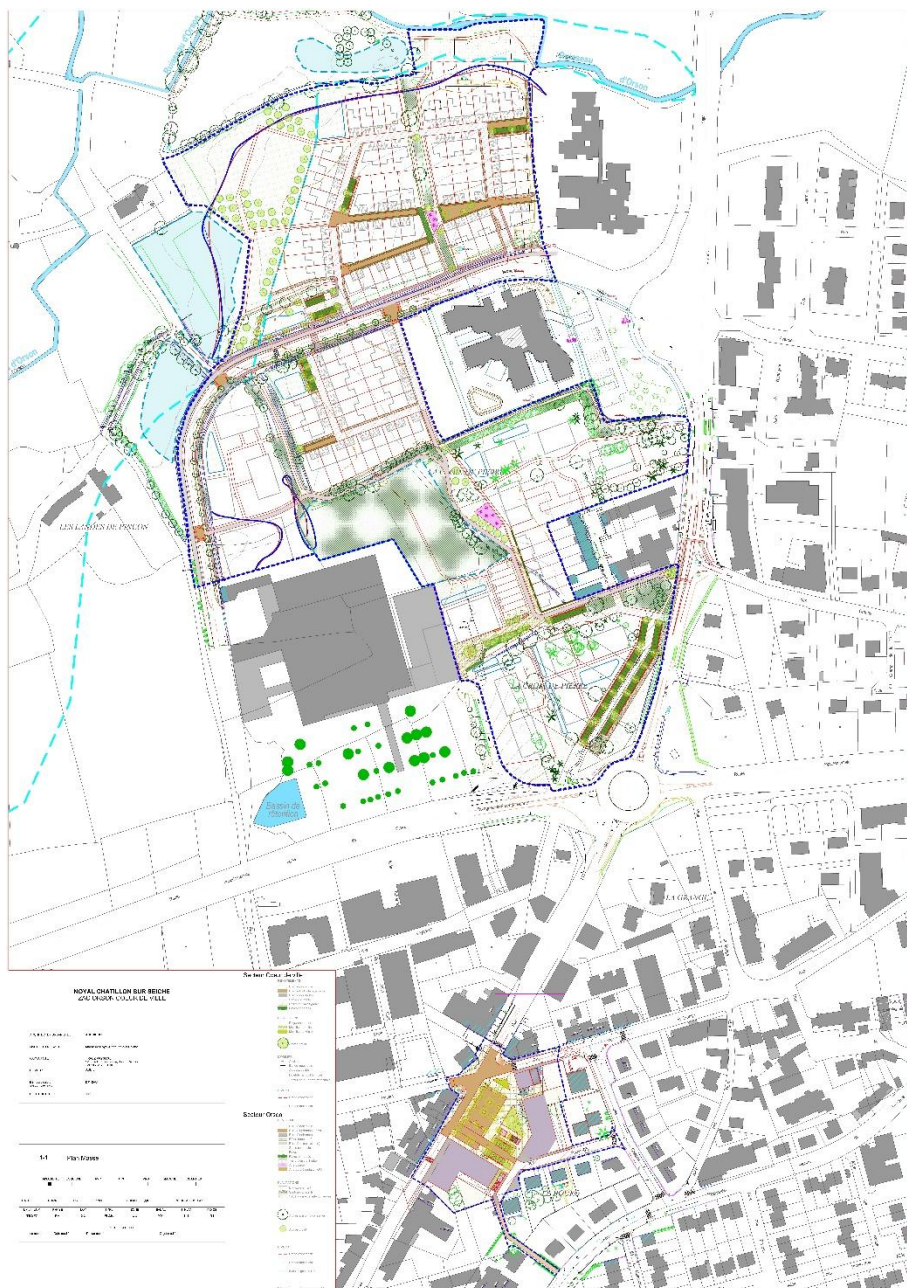


Figure 19: plan de masse de la ZAC multisites

## PHASE 1 : POTENTIEL DE MOBILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES

### - Énergies fossiles/fissibles disponibles

| ENERGIE     | ATOUS/AVANTAGES                                                                                                                                        | CONTRAINTES/INCONVÉNIENTS                                                                                                                            | COMMENTAIRES IMPULSE                                                                                                                                     |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ÉLECTRICITÉ | Disponibilité                                                                                                                                          | Coût élevé<br>Faible rendement global<br>Gestion des déchets nucléaires<br>Tension sur le réseau électrique en hiver<br>Prix volatil sur les marchés | À réserver aux usages spécifiques : éclairage, bureautique, électroménagers                                                                              |
| GAZ NATUREL | Ilot desservi<br>Impact environnemental et économique plus limité que le fioul.<br>Existence d'un réseau est un atout pour le développement du biogaz. | Energie fossile à fort impact environnemental                                                                                                        | > Dans la suite de l'étude, l'énergie fossile de référence pour évaluer l'impact de la mobilisation des énergies renouvelables sera donc le gaz naturel. |
| FILOUL      | -                                                                                                                                                      | Très fort impact environnemental                                                                                                                     | Non envisageable sur l'opération                                                                                                                         |

|                             |                                                 |                                        |                                                           |
|-----------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Incompatible avec la RE2020 |                                                 |                                        |                                                           |
| <b>PROPANE</b>              | Impact environnemental plus limité que le fioul | Positionnement des cuves ou réseau gaz | Non envisageable sur le site car présence du gaz naturel. |

**Figure 20 : Synthèse des énergies fossiles/fissibles disponibles et mobilisables sur le site**

### - Les énergies renouvelables et de récupération

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

- **Inventaire des énergies renouvelables disponibles et pertinence sur le projet**

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

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



Probable



Possible



Peu probable

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

| Energie                                           | Utilisation             | Principe                                            | Pertinence sur le projet et commentaires                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bois                                              | Chaleur                 | Granulés                                            | Solution adaptée.                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                   |                         | Plaquettes                                          | Solution adaptée.                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                   |                         | Bûches                                              | Solution adaptée.                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Solaire                                           | Chaleur                 | Panneaux solaires Thermiques                        | Solution adaptée.                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                                                   | Électricité             | Panneaux solaires Photovoltaïque                    | Solution adaptée.                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Éolien                                            | Électricité             | Grand                                               | Obligation réglementaire d'éloignement de plus de 500 m des zones d'habitation des éoliennes de plus de 50 mètres de haut incompatible en site urbain.                                                                                                                           |
|                                                   |                         | Petit et micro                                      | Il est préférable d'être sur un site dégagé avec des vents majoritairement unidirectionnels. Le potentiel est donc limité en milieu urbain et nécessite des études précises.                                                                                                     |
| Hydraulique                                       | Électricité             | Grand (marine)                                      | Le projet ne se situe pas à proximité immédiate de la mer.                                                                                                                                                                                                                       |
|                                                   |                         | Moyen (rivière)                                     | Site en centre urbain, construction d'un ouvrage hydroélectrique inenvisageable.<br>> Potentiel uniquement sur des ouvrages existants (par optimisation ou suréquipement d'installations existantes).                                                                            |
| Géothermie                                        | Chaleur/<br>Froid       | Très basse énergie sur aquifère superficiel (nappe) | Solution adaptée au contexte mais nécessitant des forages pour évaluer le potentiel.                                                                                                                                                                                             |
|                                                   |                         | Très basse énergie sur sondes verticales            | Solution adaptée au contexte mais nécessitant des forages pour évaluer le potentiel.                                                                                                                                                                                             |
|                                                   |                         | Très basse énergie sur sondes horizontales          | En milieu urbain, solution de géothermie la moins adaptée et la moins performante. La densité et l'emprise au sol des bâtiments excluent la faisabilité d'un tel système. Solution plutôt réservée pour l'habitat individuel rural car elle requiert beaucoup de surface au sol. |
| Aérothermie                                       | Chaleur/<br>Froid       | Pompe à chaleur                                     | Solution adaptée                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Méthanisation/<br>biogaz                          | Chaleur/<br>Électricité |                                                     | <b>Solution non adaptée dans le cadre d'un aménagement de logements.</b>                                                                                                                                                                                                         |
| Biopropane                                        | Chaleur                 | Identique solution propane classique                | Solution techniquement adaptée au projet mais non valorisable en énergie renouvelable dans la RE2020.                                                                                                                                                                            |
| Récupération de chaleur fatale sur les eaux usées | Chaleur                 | Sur les eaux usées de la ville (STEP <sup>1</sup> ) | Vérifier la capacité de la STEP et sa distance au projet                                                                                                                                                                                                                         |
|                                                   |                         | Sur l'assainissement                                | Vérifier le débit moyen en hiver                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                   |                         | Sur les eaux usées d'un bâtiment                    | Solution adaptée.                                                                                                                                                                                                                                                                |

<sup>1</sup> STEP = Station d'épuration des eaux usées

---

- **L'énergie solaire**

- **Présentation**

**L'énergie solaire passive :** Le solaire passif est la moins chère et l'une des plus efficaces. Elle entre directement dans ce que l'on appelle communément l'approche bioclimatique : l'idée simple est d'orienter et d'ouvrir au maximum les façades principales du bâtiment au sud. Il convient cependant d'intégrer des protections solaires (casquettes solaires, volets) pour limiter les apports en mi-saison et en été afin d'éviter les surchauffes. Cette énergie est directement liée au plan masse et à l'organisation des bâtiments sur chaque parcelle.

**L'énergie solaire active :** L'énergie solaire dite « active » se décline sous la forme thermique (production d'eau chaude, chauffage) et photovoltaïque (production d'électricité). Ces deux types d'énergie pourront être utilisés sur le projet.

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

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

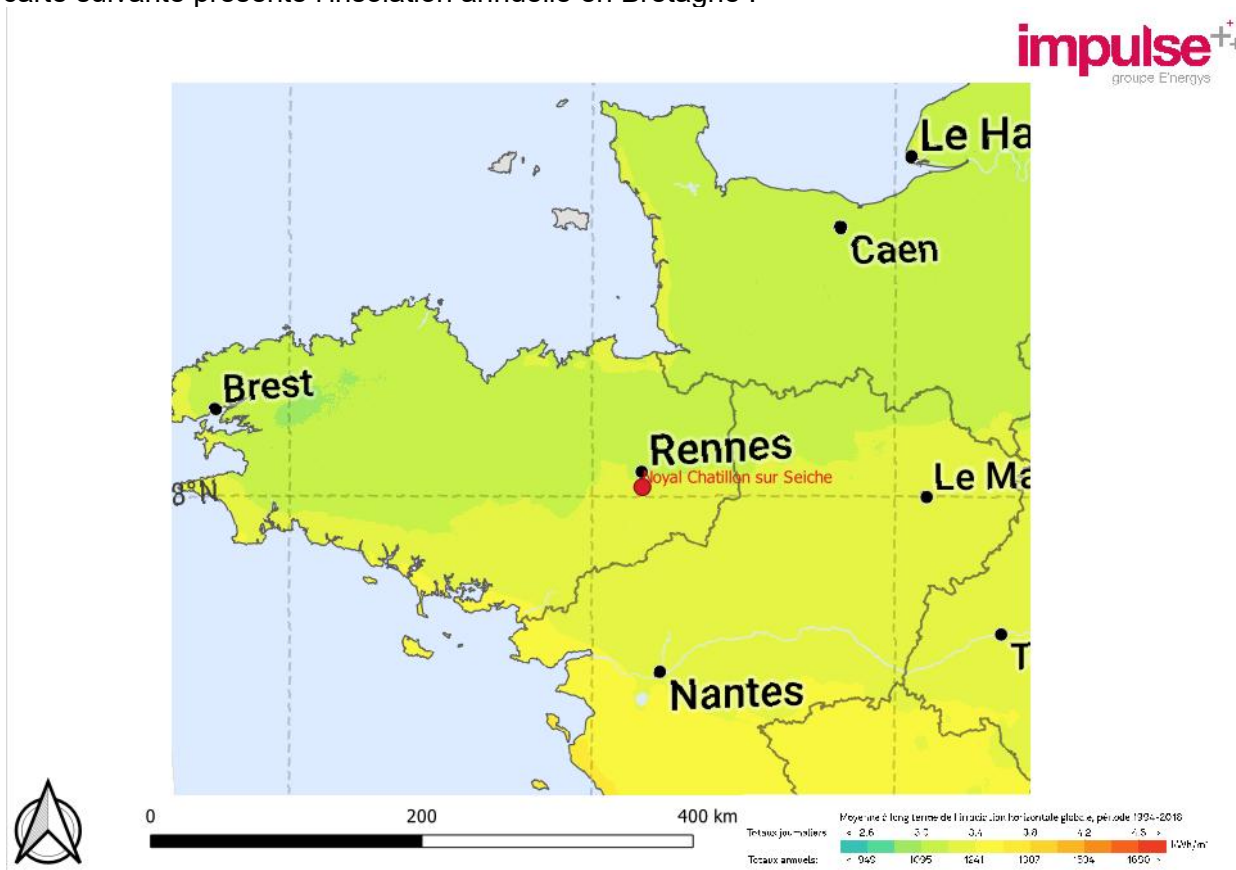
**La mobilisation de l'énergie solaire est possible selon 3 modalités :**

- Apports solaires passifs pour limiter les besoins en chauffage et éclairage ;
- Panneaux solaires thermiques pour la production d'eau chaude sanitaire (ou process) et de chauffage ;
- Panneaux solaires photovoltaïques pour la production d'électricité.

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

- **Gisement**

La carte suivante présente l'insolation annuelle en Bretagne :



**Figure 21 : Insolation annuelle de la Bretagne (Source Bretagne Environnement)**

→ L'insolation annuelle de la commune de Noyal-Châtillon-sur-Seiche est comprise entre **1 100 et 1 300 heures**. L'énergie reçue est d'environ **1 000 kWh/m²/an**.

#### 1.1.1.1.1 Sur le site

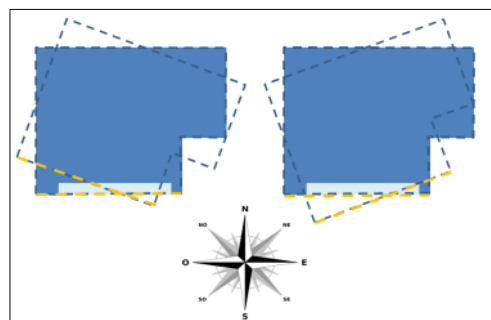
Les ombres portées générées devront être prises en compte.

- **Prédisposition du projet vis-à-vis des apports solaires gratuits**

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

À l'échelle des parcelles :

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



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

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



Éviter les masques et les ombres portées

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

Figure 22 : Préconisation pour l'optimisation des apports solaires

### • L'énergie bois

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

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

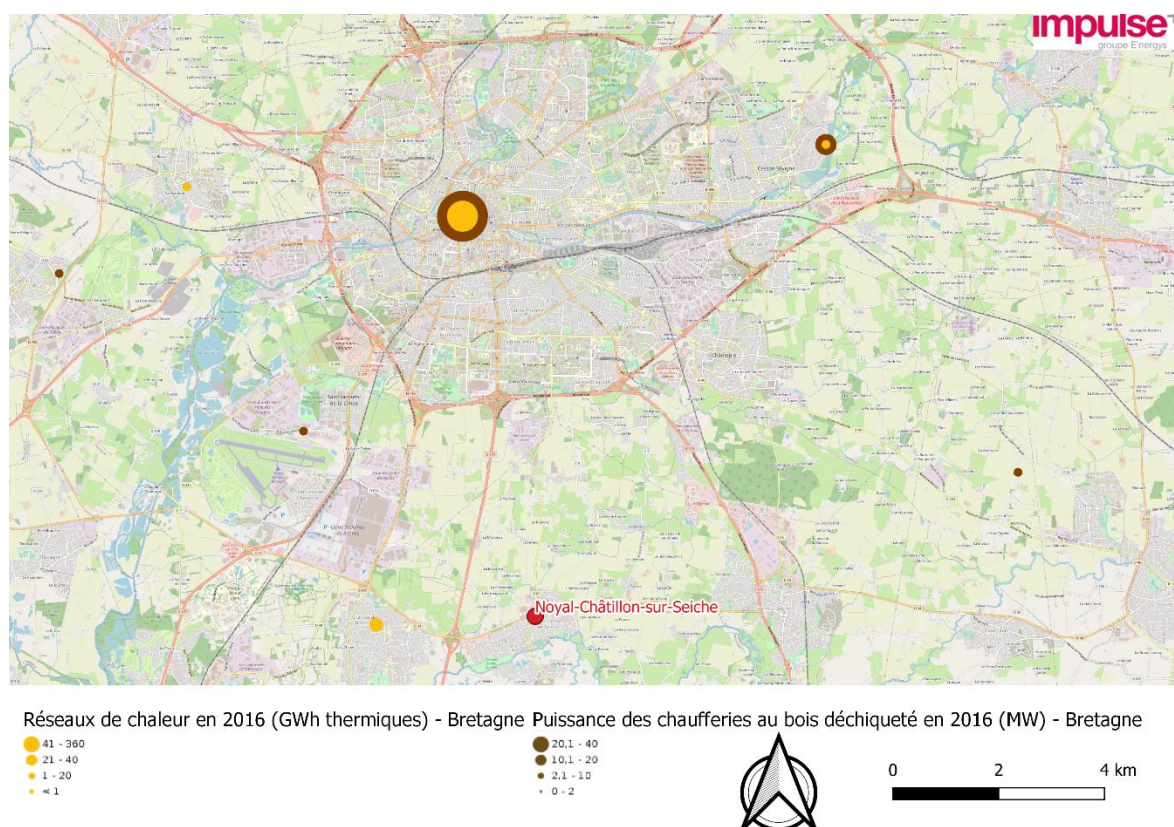
- **Performant** : les équipements actuels (poêles, chaudières) affichent des performances tout à fait intéressantes, et sont de plus en plus automatisés.

Quelques difficultés peuvent cependant être mises en avant :

**Manutention et modes de vie** : il convient de choisir la technique la plus adaptée en fonction du futur utilisateur. En effet, la solution bois bûche nécessite de la manutention.

**Le traitement des fumées** : il est nécessaire de mettre en œuvre des équipements respectant les normes d'émission (30mg/Nm<sup>3</sup> pour les installations a granulés). Les installations plus importantes (ICPE 2910A : installation > 1MW) devront disposer d'équipements spécifiques (électrofiltres, multi cyclones, filtres à manches ...) pour traiter les fumées.

> D'une manière générale, nous sommes favorables à l'utilisation forte du bois énergie sur le secteur. Il conviendra cependant de valider la filière de livraison pour s'assurer de la disponibilité du bois sur le moyen terme.



**Figure 23 : Carte des chaufferies bois déchiqueté à proximité de NOYAL-CHATILLON-SUR-SEICHE**  
(Source : geobretagne.fr)

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

## Bois déchiqueté ou plaquettes



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

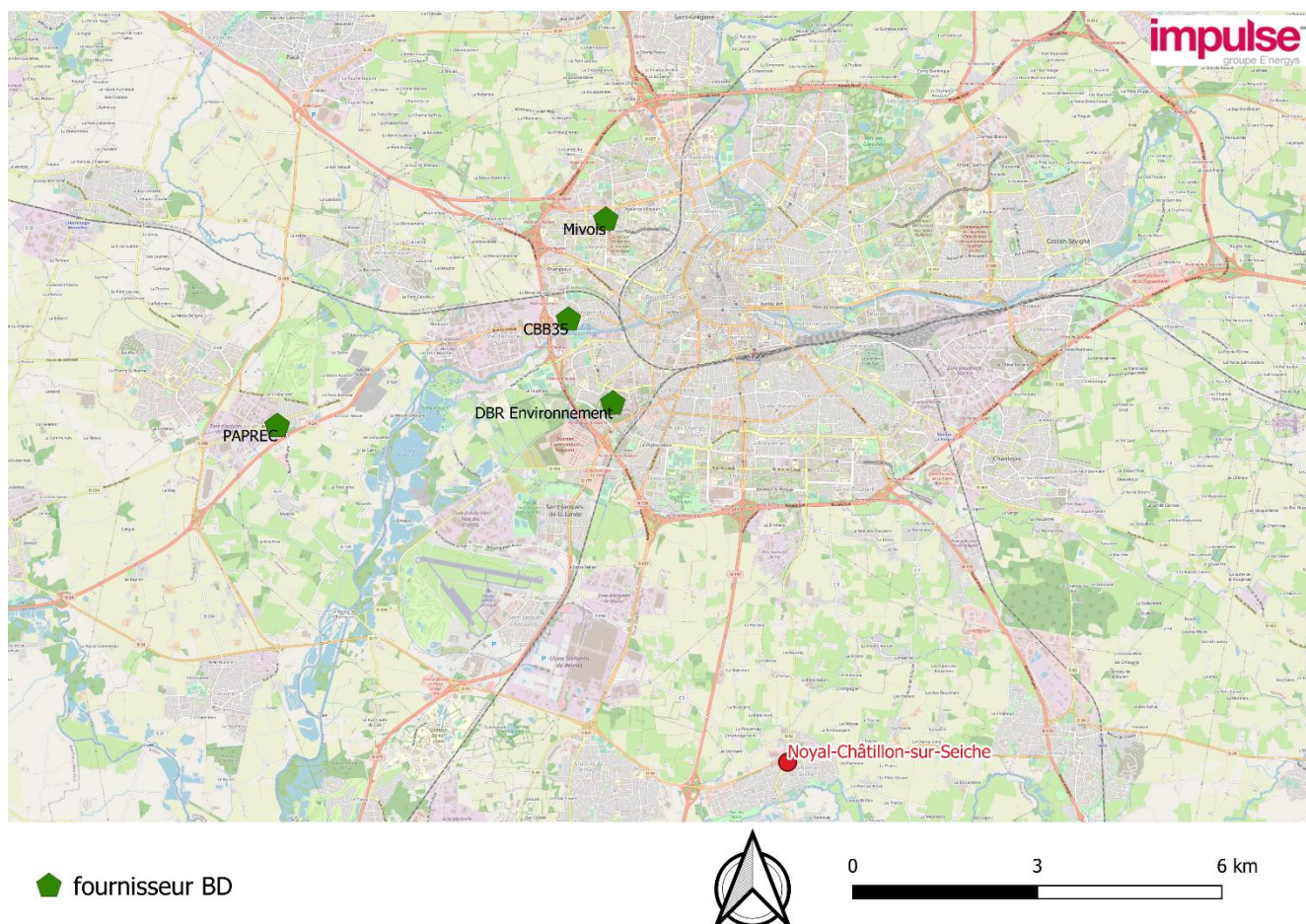


Figure 24 : Carte des fournisseurs de bois déchiqueté à proximité de NOYAL-CHATILLON-SUR-SEICHE source : Plan Bois Bretagne

## Granulés de bois



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

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

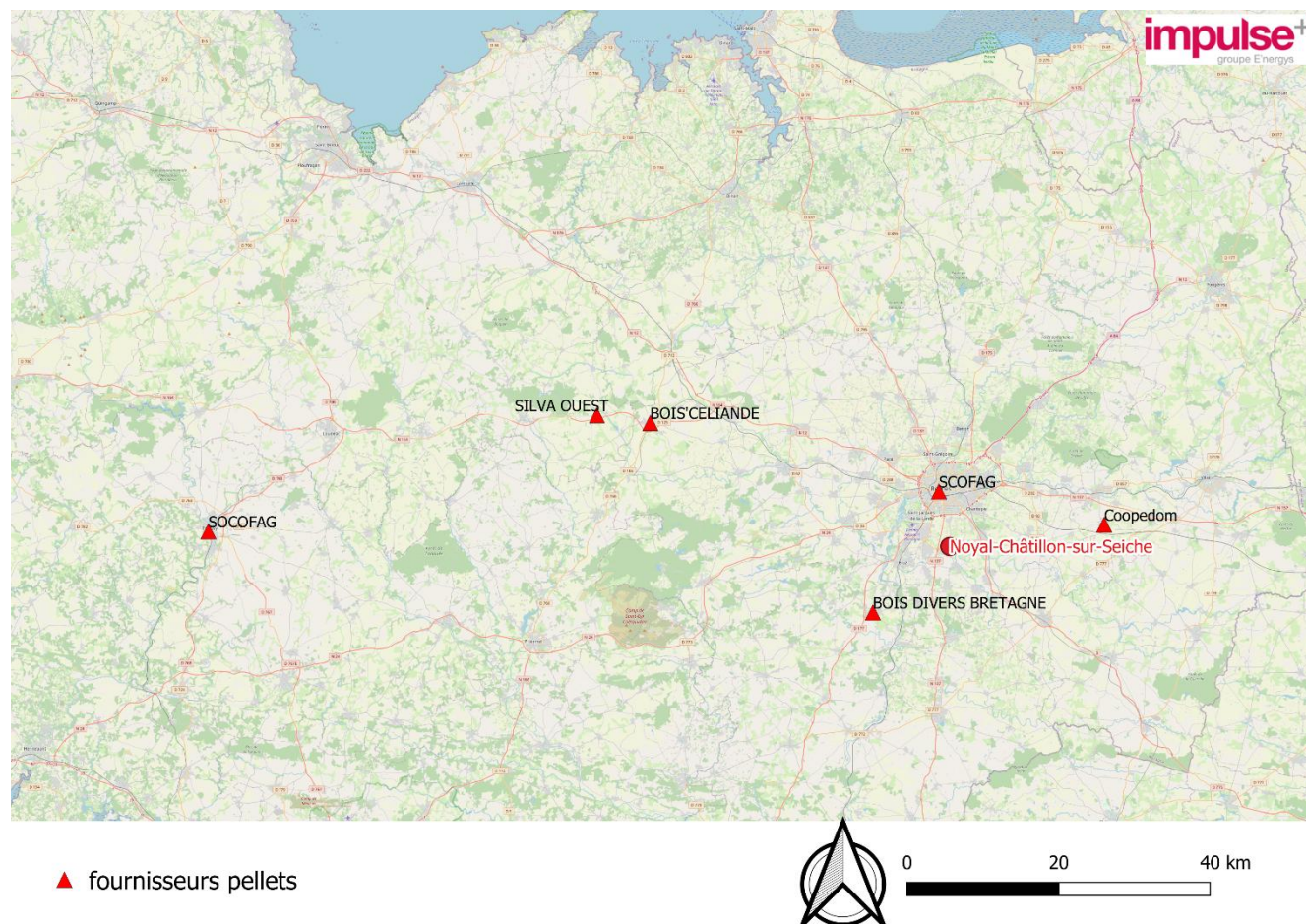


Figure 25 : Carte des fournisseurs de granulés de bois en vrac à proximité de NOYAL-CHATILLON-SUR-SEICHE  
source : Plan Bois Bretagne

- **Potentiel sur le projet**
  - Le bois est disponible sur le territoire sous différentes formes et pourrait assurer la production de chauffage.
  - Quel que soit le combustible, il sera nécessaire de prévoir un volume de stockage suffisant et accessible pour la livraison.
- **L'énergie éolienne (production d'électricité)**

• **Présentation**  
L'énergie éolienne est également une énergie liée indirectement au soleil. En effet, le mouvement des vents et donc l'énergie contenue dans les vents et récupérée par les éoliennes provient directement des différences de températures des zones de l'atmosphère et donc du soleil.

La connaissance du gisement éolien récupérable est l'élément primordial pour s'assurer de l'intérêt économique du projet. En effet le rendement de l'éolienne sera d'autant plus élevé que le site ne génère pas de la turbulence et que le gisement de vent est important. Le rendement de l'aérogénérateur sera donc fonction de la qualité éolienne du site d'implantation.

En effet, la vitesse du vent varie en fonction de la hauteur et de la rugosité du terrain. La rugosité générale par le terrain impose « d'aller chercher » le vent en altitude.

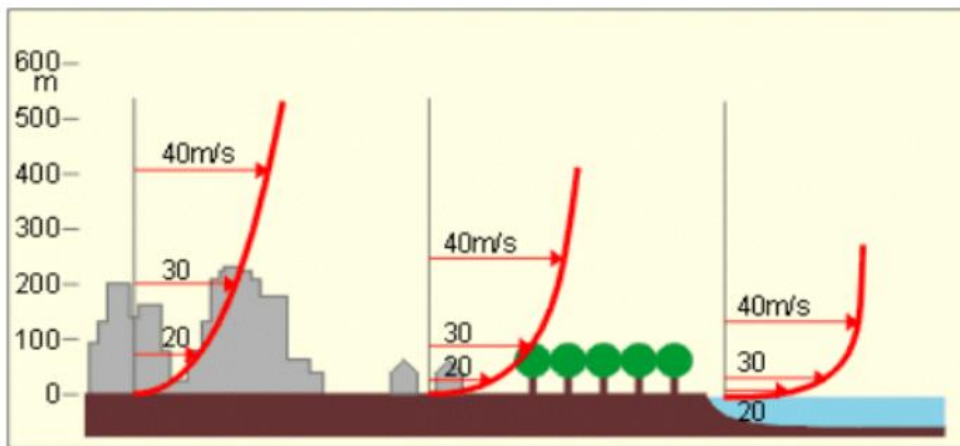


Figure 26 : Évolution de la vitesse du vent en fonction de l'altitude et de la rugosité du terrain

## • **Gisement**

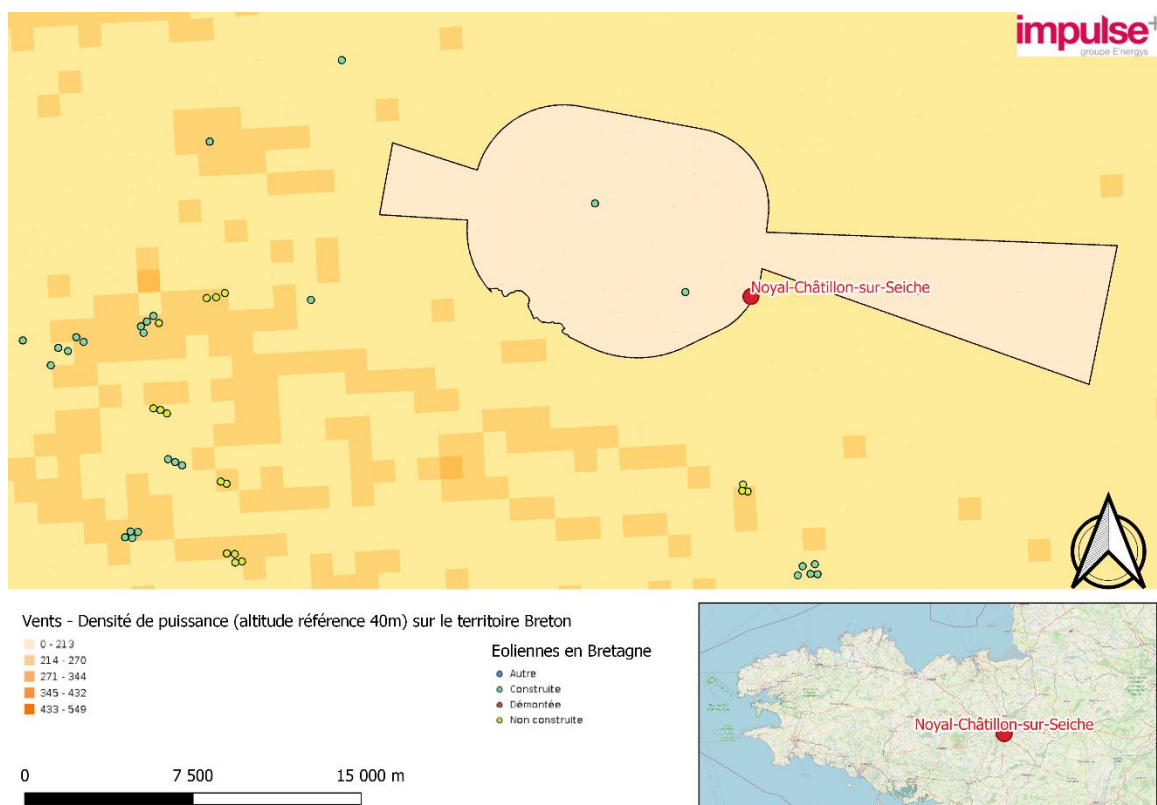


Figure 27 : Schéma régional éolien (source : geobretagne.fr)

Noyal Chatillon sur Seiche est dans la zone de radar de l'aéroport. La construction d'éoliennes de grande hauteur est impossible.

## • **Petit Eolien**

Le petit et moyen éolien regroupe les installations de moins de 45m.

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

- Les éoliennes à axe vertical
- Les éoliennes à axe horizontal.

Les éoliennes à axe verticales sont moins sensibles aux turbulences générées par les constructions et la végétation.

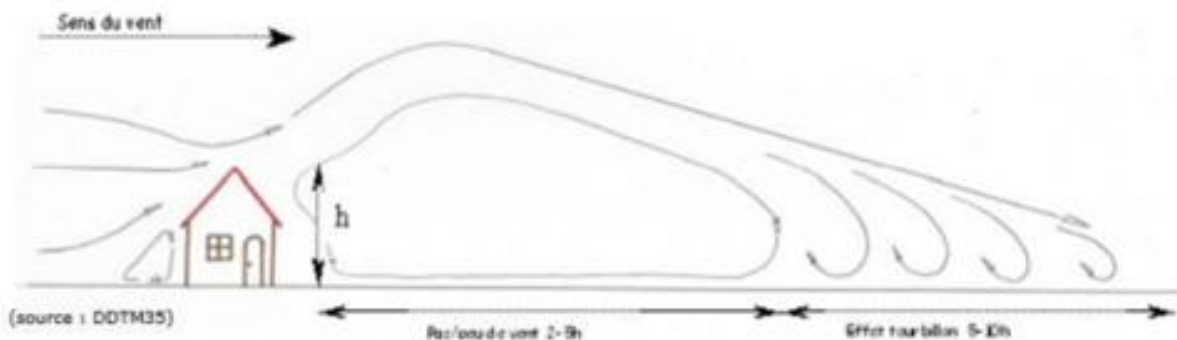


Figure 28 : Turbulences générées par une construction (source DDTM 35)

L'éolien doit par ailleurs respecter une distance minimale d'éloignement aux habitations en fonction de la hauteur de l'éolienne (mat + nacelle). Les procédures administratives à respecter varient également en fonction de la hauteur de l'éolienne.

| Hauteur Des éoliennes | Distance aux habitations |
|-----------------------|--------------------------|
| $12 < HT < 20$        | 40m                      |
| $20 < HT < 30$        | $HT \times 5$            |
| $30 < HT < 45$        | $HT \times 6$            |
| $HT > 45$             | $HT \times 10$           |

Figure 29 : Eloignement aux habitations en fonction de la hauteur (source DDTM 35)

| Type    | Hauteur        | Formalité             | Législation des installations classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) |                              |
|---------|----------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|         |                |                       | Déclaration                                                                         | Autorisation                 |
| Petite  | $0 < HT < 12$  | Déclaration préalable |                                                                                     |                              |
| Moyenne | $12 < HT < 50$ | Permis de construire  | Rubrique 2980 si $P \leq 20$ MW                                                     | Rubrique 2980 si $P > 20$ MW |
| Grande  | $> 50$         | Permis de construire  |                                                                                     | Rubrique 2980                |

Figure 30 : Procédures en fonction de la hauteur (source DDTM 35)

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

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

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

L'impact paysager de ce type de solution en milieu urbanisé n'est pas abordé dans cette étude mais devra l'être si cette solution est envisagée.

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

Les opérateurs souhaitant installer des petites éoliennes de moins de 12m pourront le faire sans demander de permis de construire (obligatoire à plus de 12m de hauteur).

- **Grand éolien**

L'obligation réglementaire d'éloignement de plus de 500 m des zones d'habitation des éoliennes de plus de 50 mètres de haut réduisent à néant le potentiel de développement du grand éolien sur ces sites qui ont vocation à accueillir des habitations. La zone est par ailleurs située dans une zone d'exclusion (radar de l'aéroport).

- **Potentiel de production dans le projet**

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

- **Préconisation**

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

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

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

Figure 31 : Comparaison des types d'éoliennes

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

- **Présentation**

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

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

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

- Sur nappe :

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

- Sur sondes verticales :

L'eau (ou eau glycolée) circule dans des sondes géothermiques pouvant atteindre jusqu'à 200M de profondeur. Il n'y a pas de contact entre le fluide caloporteur de la sonde et la roche. Le transfert de chaleur se fait à travers les matériaux de la sonde, par conduction.

- Sur sondes horizontales :

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

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

- **Gisement**

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



Figure 32 : Extrait carte des ressources géothermiques en France (source BRGM)

Le site, comme l'ensemble du territoire breton, se situe sur un **massif cristallin** contenant des aquifères superficiels discontinus. Ainsi, des nappes d'eau peu profondes (< 1000 m) présentant des températures moyennes forment le potentiel géothermique. La détection de ces aquifères nécessite des **forages** pour évaluer le potentiel de la zone.

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

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

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

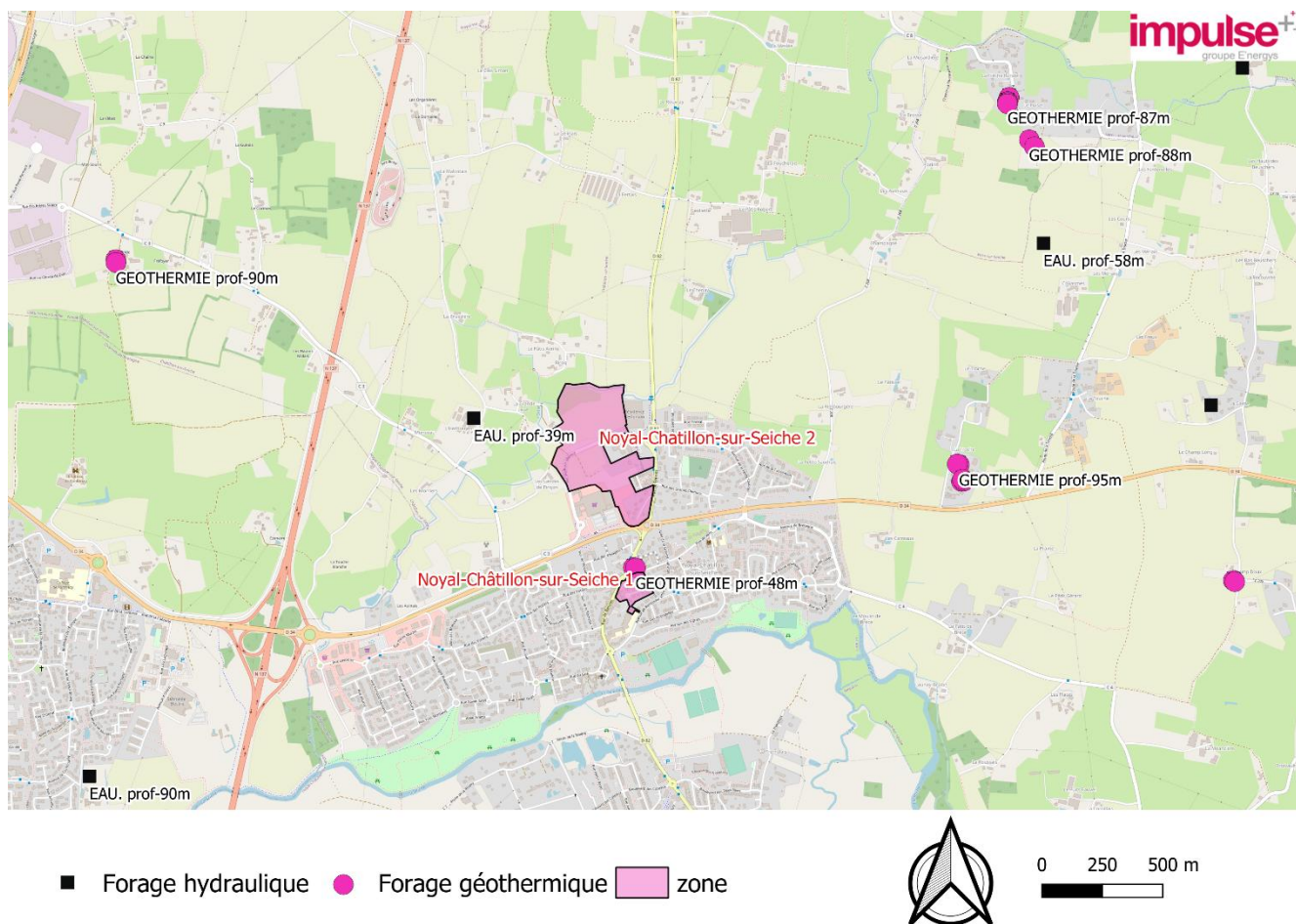


Figure 33 : Forages à proximité du projet (source BRGM)

La commune Noyal Chatillon sur Seiche a par ailleurs développé une installation de géothermie pour son ALSH. Le projet n'est pas encore référencé par le BRGM.

#### • Potentiel de production dans le projet

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

#### • Préconisations

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

Les logements doivent être équipés d'un circuit hydraulique en régime basse température (plancher chauffant, radiateurs basse température...).

Risque de débits faibles ou variables de la nappe d'eau (performance non garantie dans le temps)

Contraintes de maintenance

Coûts de forages élevés à l'unité (environ 30 000 €HT par doublet)

Incidence en termes de bulle thermique à prendre en compte, afin d'éviter les recirculations d'eau souterraines entre forage de réinjection et forage de pompage, qui devient d'autant plus pénalisante, que l'on augmente le nombre de forages.

#### • La récupération d'énergie sur les eaux usées

#### • Présentation

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

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

Il existe différentes techniques de récupération, détaillées en annexe.

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

| Niveaux                                           | Avantages                                                                                                                     | Inconvénient                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Potentiel                                                              |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Échangeur de chaleur sur l'eau des douches</b> | Facilité de mise en œuvre et très faible entretien                                                                            | Investissement significatif (3000 euros/douche)<br>Entretien de l'échangeur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Potentiel de puissance environ 30% de la puissance de production d'ECS |
| <b>Bâtiments</b>                                  | Solution simple pour l'eau chaude sanitaire des bâtiments de taille significative (hôtel, hôpital, piscine, industrie)        | Coût d'un réseau distinct pour les eaux grises. Surcoût d'un calorifugeage.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Potentiel de puissance entre 50 kW et 300 kW                           |
| <b>Collecteurs</b>                                | Proximité des preneurs de chaleur<br><br>Utilise des technologies maîtrisées (échangeurs de chaleur, pompe à chaleur)         | Investissement important.<br><br>Entretien important (nettoyage échangeur)<br><br>Peu de retour d'expérience.<br><br>Possibles effets de l'abaissement de T° sur le process de la STEP.<br><br>Longueur de canalisation et débit suffisants. Potentiel à étudier finement<br><br>Vigilance sur le montage juridique notamment les relations entre maître d'ouvrage du réseau, exploitant du réseau et maître d'ouvrage du bâtiment à étudier. | Potentiel de puissance entre <b>10 kW</b> et <b>1 MW</b>               |
| <b>Stations de relevage</b>                       | Solution indépendante de la taille du collecteur.<br><br>Convergence des réseaux vers la station donc débits plus importants. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Potentiel de puissance jusqu'à 2 MW                                    |
| <b>STEP</b>                                       | Pas de problème de refroidissement<br>Risque d'être éloigné des preneurs de chaleur                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Potentiel de puissance jusqu'à 20 MW                                   |

Figure 34 : Avantages et inconvénients des différents systèmes de récupération d'énergie sur les eaux usées

## Exemple de réalisation :

| Projet                                     | DATE | Niveau     | Puissance | Production MWh   | Investissement | Bâtiment chauffé                            |
|--------------------------------------------|------|------------|-----------|------------------|----------------|---------------------------------------------|
| Batagieres Nord-EST (Mulhouse)             | 2008 | Collecteur | 520kW     | 655              | 600 000 €      | 75% des besoins de chaleur de 108 logements |
| Habitat social (Marseille)                 | 2012 | Collecteur | 530 kW    | 1689             | 1 281 000 €    | 215 logements                               |
| STEP Belleville                            | 2011 | STEP       | 300 kW    | 274 (entrée PAC) | 480 000 €      | 3 bâtiments de logements                    |
| Centre aquatique communauté urbaine d'Aras | 2018 | Collecteur | ?         | 1000             | 600 000 €      | Piscine                                     |

## Application

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

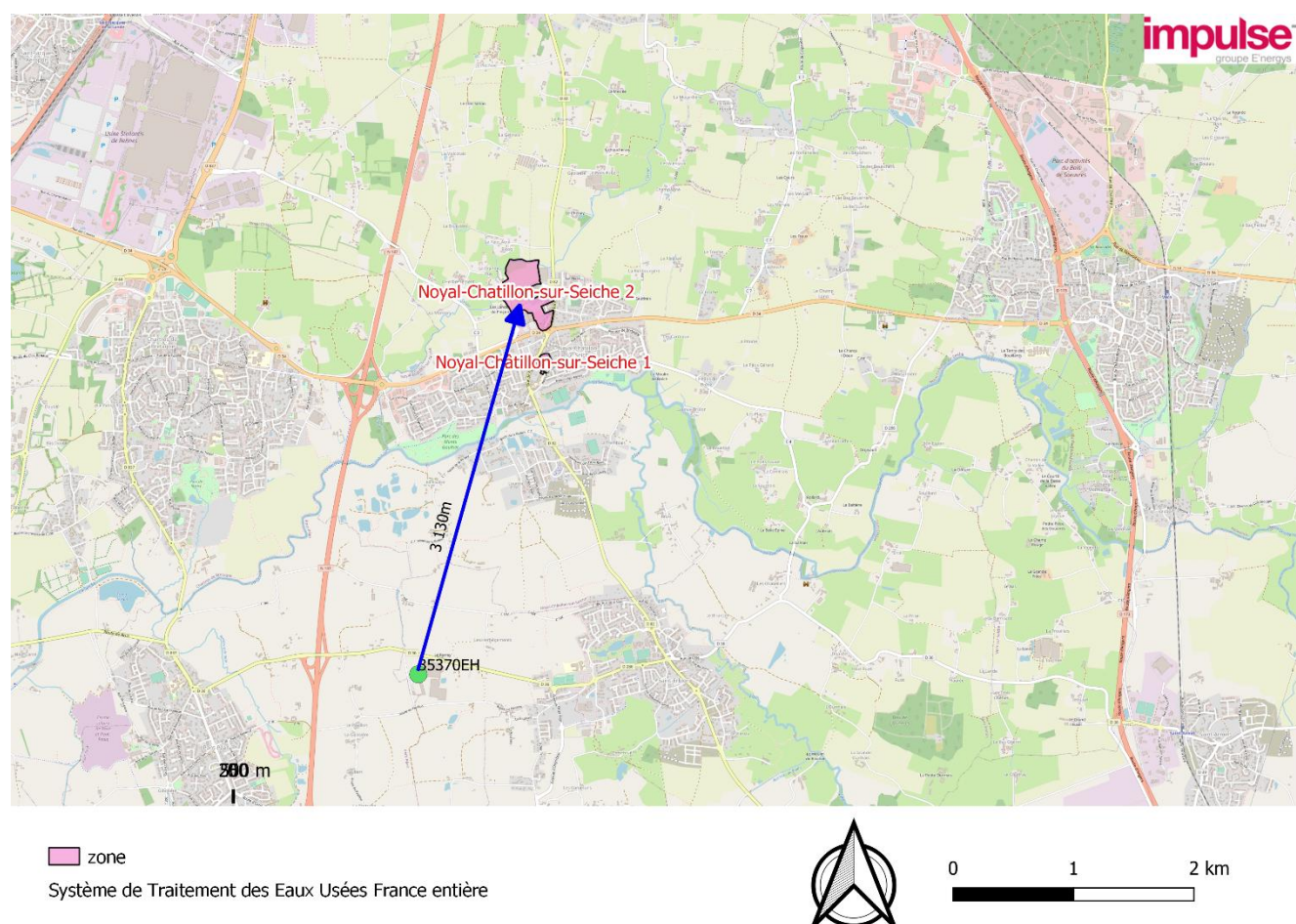


Figure 35 : Localisation de la station d'épuration la plus proche du projet

La STEP la plus proche est trop éloignée et sa capacité insuffisante pour envisager un tel projet.

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

- **Potentiel de production dans le projet**

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



**Figure 36 : Système RecupFloor® de Gaïa Green sous avis technique CSTB**

- **Innovations liées à la production d'électricité**

- **L'autoconsommation**

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

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

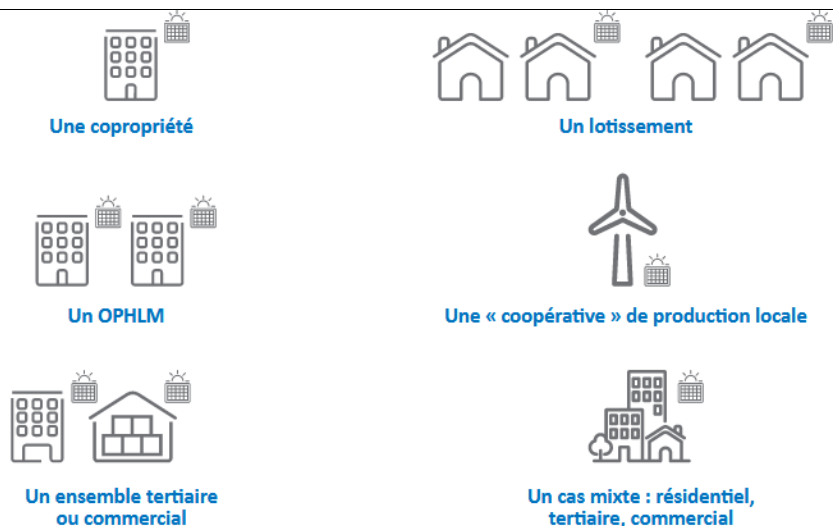
Les évolutions techniques des systèmes photovoltaïques, la baisse de leur cout de production et l'augmentation de leur rendement, rendent l'autoconsommation de plus en plus intéressante face à l'électricité vendue sur le réseau. De plus, l'autoconsommation permet de réduire les coûts de raccordement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

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

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

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

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



**Figure 37 : Formes d'autoconsommation collective (Source : Enedis)**

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

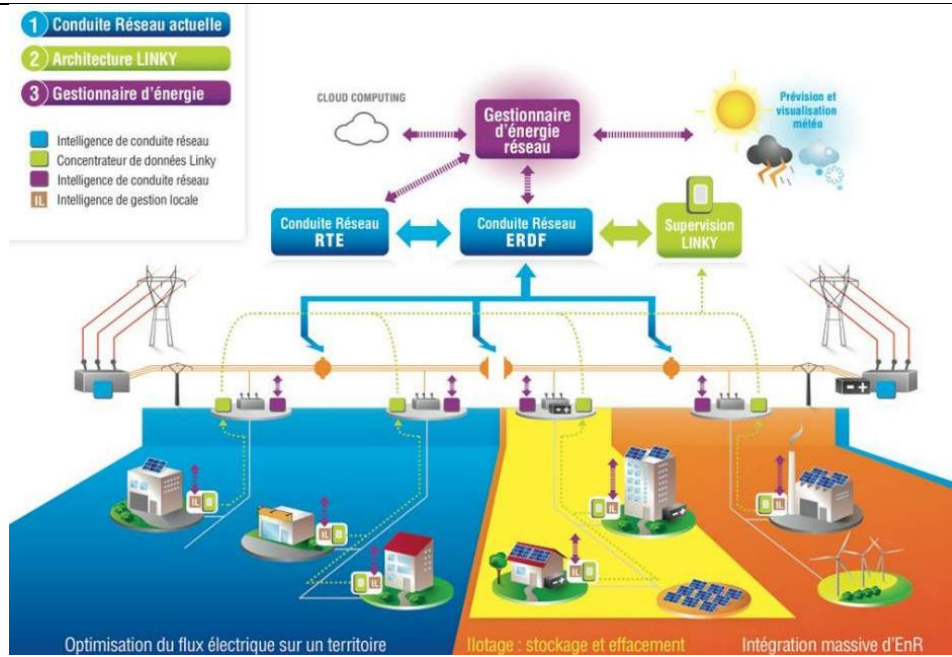
- **Les smartgrids**

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

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

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

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



**Figure 38 : Illustration Smart Grid (Source : [www.enerzine.com](http://www.enerzine.com))**

- Synthèse des énergies renouvelables mobilisables sur site

| Energie           | Potentiel sur site | Conditions de mobilisation                                                                                                                                   | Atout/avantages                                                                                                                                              | Contraintes/inconvénients                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Avis Impulse et pertinence sur le projet                                                                                             |
|-------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bois              | +++                | Prévoir stockage et approvisionnement<br>Filière bois énergie régionale structurée                                                                           | Disponibilité de la ressource<br>Filière créatrice d'emplois locaux<br>Chaudière collective possible en habitat collectif<br>Stabilité du prix de la chaleur | Densité énergétique à valider pour la mise en œuvre de réseaux<br>Niveau d'automatisation à adapter en fonction des utilisateurs<br>Nécessité de mettre en place une logistique d'approvisionnement<br>La qualité du combustible doit être maîtrisée afin d'éviter l'émission de substances polluantes.<br>Réserver de la place pour implantation des chaufferies + silo de stockage + espace livraison | Solution pertinente :<br>> ressource disponible sur le territoire.<br>> Technologie adaptée aux différents profils de consommations. |
| Solaire passif    | ++                 | Orientation Sud des bâtiments<br>Attention à la pente du terrain<br>Conception bioclimatique (maximiser les apports solaires en hiver, s'en protéger en été) | Energie gratuite                                                                                                                                             | Contrainte d'orientation Sud<br>Contraintes liées aux ombres portées (bâtiments)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Le plan d'aménagement doit privilégier l'approche bioclimatique et tenir compte des ombres portées existantes et créées.             |
| Solaire thermique | +++                | ECS solaire thermique en toiture et/ou brise-soleil (étude approfondie à                                                                                     | Performante, la technologie du solaire thermique a atteint sa maturité. Le matériel est                                                                      | Conflit d'usage des toitures (occupation de surface                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Solution adaptée pour les logements collectifs.                                                                                      |

|                                          |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                |
|------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                          |     | réaliser). Orientation sud des toitures ou toits terrasses.<br><br>Réaliser un modèle 3D pour évaluer précisément l'ensoleillement et notamment les ombres portées des bâtiments.                                                                                                    | fiable et a une durée de vie d'au moins 25 ans. Le coût du solaire thermique est très abordable, c'est une énergie consommée sur place.<br><br>Adapté pour le logement | importante par les panneaux solaires)                                                                                                           |                                                                                                                                |
| <b>Solaire photovoltaïque</b>            | +++ | Panneaux photovoltaïques : prévoir une étude de faisabilité pour déterminer la faisabilité technico-économique et les possibilités de positionnement (en toiture, en brise-soleil, en ombrière de parking, sur des candélabres, ...) Orientation Sud des toitures ou toits terrasses | Photovoltaïque : peut favoriser une intégration au bâti et au milieu urbain (verrières, façade, mobilier urbain, ...)                                                  | Le coût peut être élevé pour le photovoltaïque.                                                                                                 | Solution adaptée :<br>> Peut couvrir une partie des consommations.<br>> compatible avec un smartgrid.                          |
| <b>Géothermie très basse température</b> | ++  | La réalisation d'un forage test et d'une étude de faisabilité est indispensable pour confirmer le potentiel et déterminer les modalités d'exploitation.                                                                                                                              | Amélioration de l'efficacité d'un chauffage électrique<br><br>Utilisation d'une part d'énergie gratuite provenant d'une source chaude (sol, eau)                       | Appel de puissance électrique en hiver<br><br>Impact sur l'effet de serre du fluide frigorigène.                                                | Solution théoriquement envisageable après étude de faisabilité + réalisation de forages tests.                                 |
| <b>Aérothermie</b>                       | +++ |                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Amélioration de l'efficacité d'un chauffage électrique<br><br>Utilisation d'une part d'énergie gratuite provenant d'une source chaude (Air)                            | COP moyen annuel faible<br>Appel de puissance électrique en hiver<br><br>Nuisances sonores<br>Impact sur l'effet de serre du fluide frigorigène | Solution possible et adaptée.<br><br>Système pouvant engendrer des appels de puissance sur le réseau et des nuisances sonores. |

|                                                                      |     |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Chaleur fatale des eaux usées en pieds d'immeuble</b>             | ++  | -Bâtiment de taille significative + évacuation séparée des eaux grises (dont la chaleur est utilisée) et des eaux vannes<br>-Valorisation possible<br>-Production collective d'ECS | Energie de récupération<br>Ressource disponible toute l'année<br>Système simple                                                  | Ne fonctionne que simultanément à la demande.<br>Contraintes techniques :<br>Débits d'eaux usées >10l/s<br>Diamètre collecteur >500 mm<br>Distance bâtiment-collecteur <200 m | Solution peu répandue (onéreuse) plutôt adaptée à des bâtiments de logements collectifs avec production de chaleur collective. |
| <b>Chaleur fatale en pied de douche</b>                              | +++ |                                                                                                                                                                                    | Energie de récupération<br>Ressource disponible toute l'année<br>Système simple                                                  | - Investissement relativement important                                                                                                                                       | Adaptée à tout type de logements                                                                                               |
| <b>Chaleur fatale eaux usée (collecteurs et station de relevage)</b> | ?   | Études préalables pour quantifier le gisement                                                                                                                                      | Energie de récupération<br>Ressource disponible toute l'année                                                                    | -Investissement important<br>-Risque juridique<br>-Peu de retour d'expérience<br>-Maintenance significative                                                                   |                                                                                                                                |
| <b>Petit éolien</b>                                                  | +   | Etude précise des vents à réaliser en phase réalisation et après la construction des bâtiments                                                                                     | Energie renouvelable et gratuite<br>Plusieurs formes de technologies existent et peuvent facilement s'intégrer au paysage urbain | Productivité faible<br>Nuisance sonores potentielles<br>« Effet d'abris » du milieu urbain qui limite la productibilité                                                       | Solution nécessitant une étude de vent précise et moins recommandée en site urbain.                                            |



Envisageable



Réalisable sous conditions



Non adapté

---

## - PHASE 2 : DETERMINATION DES IMPACTS ENERGIE/CLIMATS LIES AU BATIMENTS

Afin de déterminer le niveau de couverture des consommations énergétiques par les énergies renouvelables, il importe de définir les **niveaux de consommations énergétiques** attendues sur le secteur de manière exhaustive, afin de comparer l'impact environnemental de ces solutions.

Il s'agit donc :

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

### - Usages énergétiques attendus

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

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

#### 1.1.2 Les usages liés aux bâtiments

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

- Chauffage
- Production d'eau chaude sanitaire
- Climatisation
- Électricité technique : éclairage, ventilation, circulateurs etc.
- Électricité domestique : bureautique, HIFI, électroménager etc.
- Électricité des parties communes (éclairage, ascenseur...)
- Cuisson des aliments

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

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

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

Le calcul réglementaire des consommations énergétiques (RE2020) n'intègre pas les consommations d'électricité domestique ni l'énergie nécessaire à la cuisson des aliments, et pourtant, celles-ci représentent une part importante de la consommation énergétique des ménages. Jusqu'à 40% des consommations pour un bâtiments très performant.

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

- Lave-linge
- Sèche-linge
- Lave-vaisselle
- Froid
- Eclairage
- Audio-visuel
- Informatique/Télécom
- Circulateurs et Communs
- Ventilation
- Nettoyage et Bricolage
- Cuisson
- Parties communes

#### - Estimations des impacts énergie/carbone en fin d'opération

##### 1.1.4 Définition des niveaux de performance énergétique par typologie de bâtiment

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

- **RE2020** : niveau minimal réglementaire depuis janvier 2021 pour tous les logements
- **Passif** : Label attribué à des opérations dont les besoins de chauffages sont inférieurs à 15kWh/m<sup>2</sup> selon le mode de calcul spécifique au label (PHPP). Ce niveau est reconnu comme référence de sobriété énergétique de l'enveloppe. Il dépasse les objectifs règlementaires en matière **de besoins de chauffage**. Les consommations pour les autres poste (ECS, éclairage, électricité domestique sont identiques au scénario précédent).

#### - Niveaux d'Impact carbone des produits de construction

Dans un bâtiment sobre en énergie, l'impact sur le climat de la consommation d'énergie du bâtiment est du même ordre que l'impact climatique lié au cycle de vie des matériaux de construction. Ainsi, la RE2020 vise à progressivement réduire l'impact carbone lié aux produits de construction mis en œuvre notamment via l'indicateur IC composant. Afin de laisser le temps à la filière de s'adapter aux nouveaux matériaux et techniques de mise en œuvre, différents seuils ont été fixés pour différentes échéances. Nous avons considéré dans cette étude le seuil 2028 et le seuil 2030.

##### 1.1.5 Programmation :

Nous considérons la programmation suivante :

| Type                  | Nombre d'unités | Surface totale par typologie | Somme de Part des surface bâties |
|-----------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------------|
| Commerces             | 10              | 3660                         | 9%                               |
| Logements collectifs  |                 |                              |                                  |
| Orson                 | 337             | 28730                        | 68%                              |
| Maisons individuelles | 87              | 9570                         | 23%                              |
| <b>Total général</b>  | <b>434</b>      | <b>41960</b>                 | <b>100%</b>                      |

Figure 39 : Programmation de la ZAC

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

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

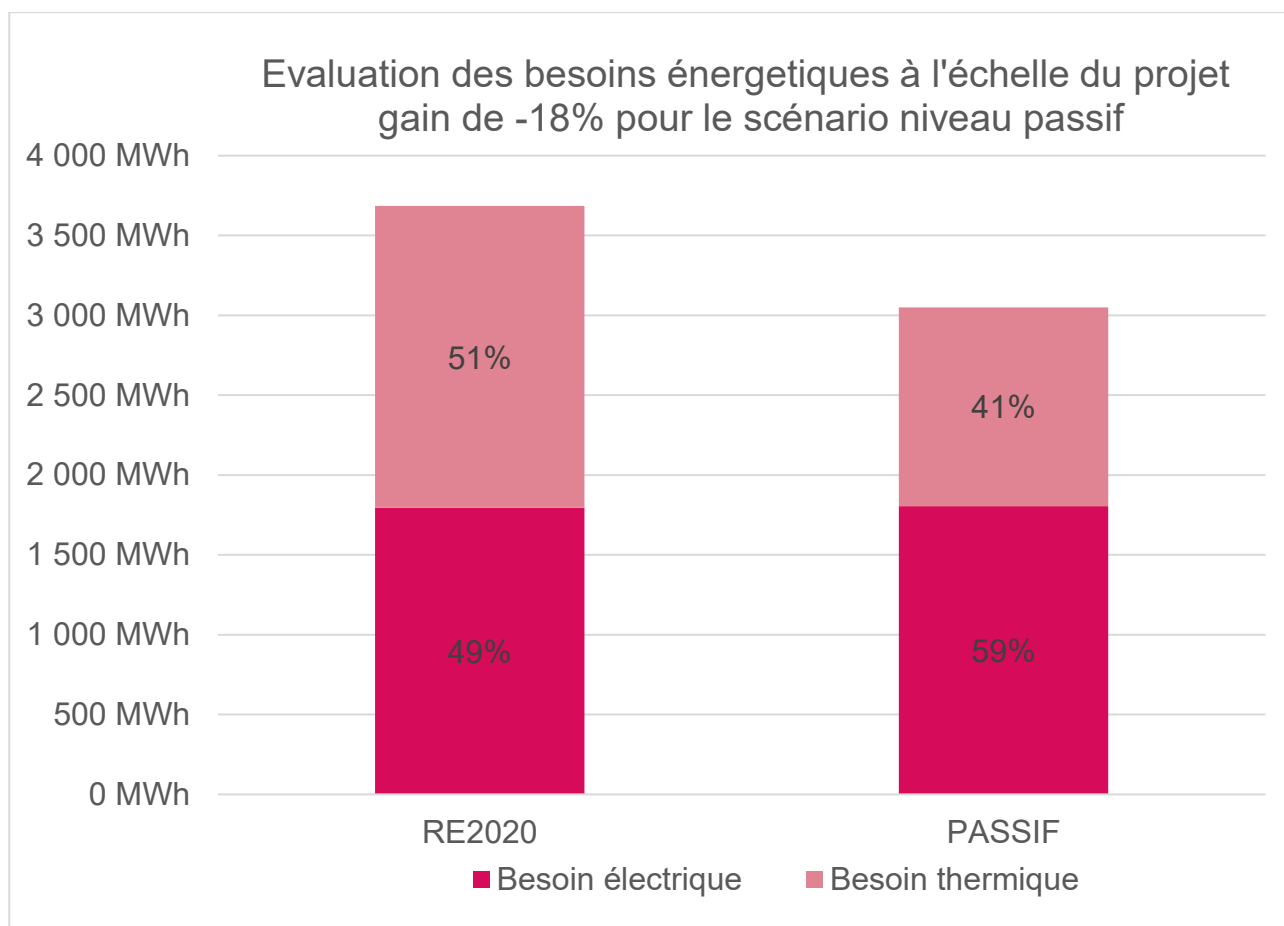


Figure 40 : Evaluation des besoins énergétiques à l'échelle du projet par scénario de performance énergétique

Le niveau passif permet de réduire de 15% les besoins totaux grâce à une diminution des besoins de chauffage et d'électricité technique, domestique et des parties communes.

- ➔ En RE2020, les besoins électriques sont équivalents aux besoins thermiques.
- ➔ En passif, les besoins électriques sont supérieurs aux besoins thermiques.
- ➔ Les réglementations thermiques ont permis d'améliorer la conception énergétique des bâtiments.

#### - Calcul des émissions de GES liées aux matériaux en fin d'opération

La construction des bâtiments génère des émissions de GES pour la fabrication des matériaux, leur acheminement et par la consommation de carburants sur le chantier. Le parallèle peut être fait avec "l'énergie grise" du bâtiment. Les émissions équivalentes de Gaz à Effet de Serres (GES) intègre l'ensemble de la vie du bâtiment, de l'extraction des matières premières à la fin de vie des matériaux. Nous intégrons également les émissions de GES liées à la consommation d'énergie des bâtiments en fonction du scénario énergétique.

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

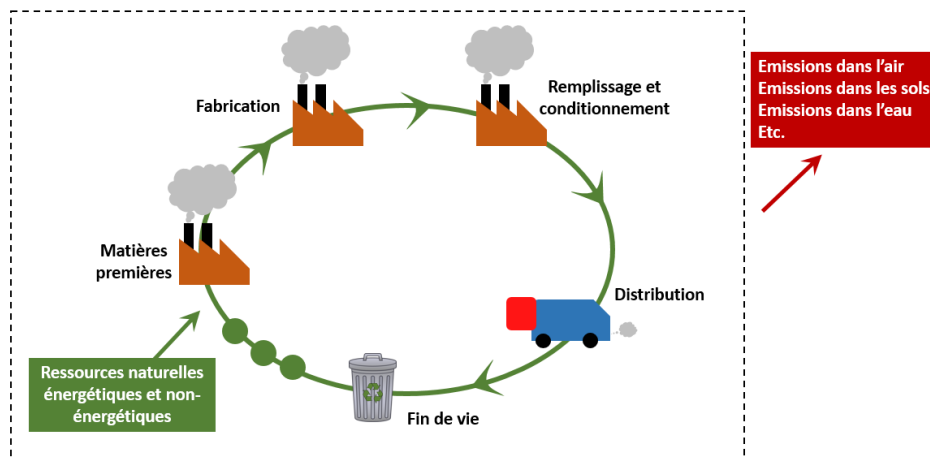


Figure 41 : Cycle de vie des matériaux

L'impact carbone des matériaux de construction est estimé à partir des niveaux règlementaires de la RE2020 et de retours d'expérience.

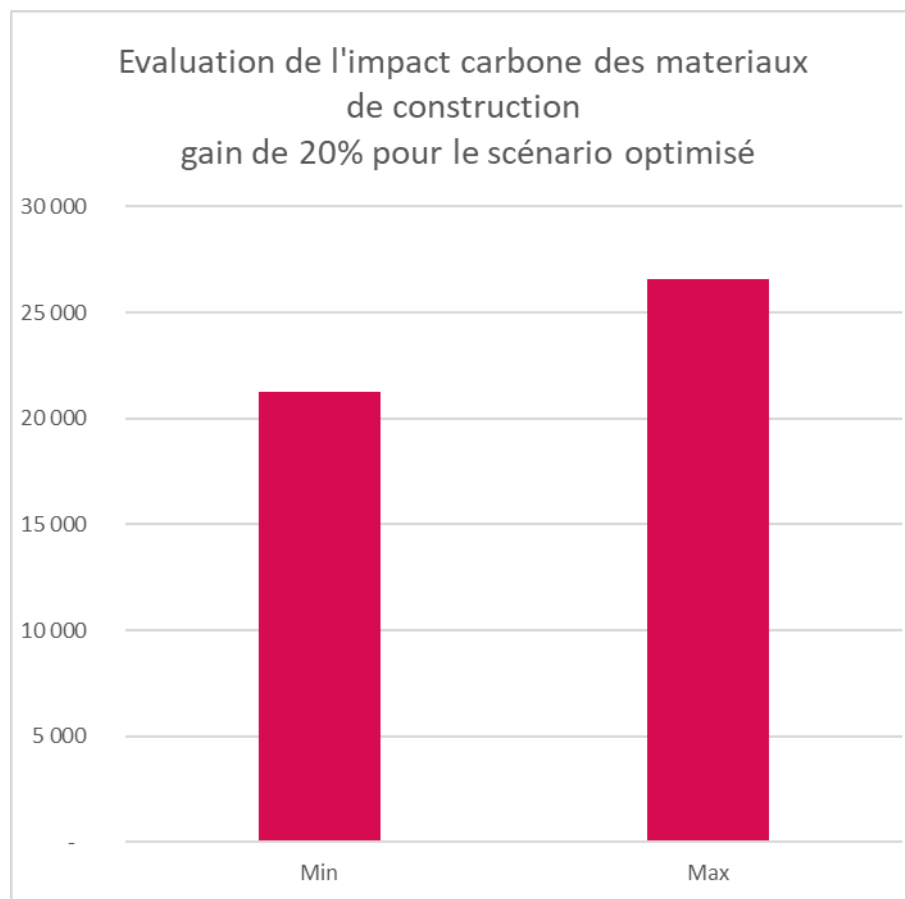


Figure 42 : Comparaison des émissions de CO<sub>2</sub> liées aux matériaux de construction en fonction du niveau de performance visé

Une construction biosourcée permet un gain d'environ 20% sur une construction niveau règlementaire.

Les matériaux de construction à faible empreinte carbone ou biosourcés pourraient être privilégiés. Cela implique la mise en place de prescriptions particulières dans le Cahier de Prescriptions Architecturales, Paysagères et Environnementales. La provenance des matériaux peut également être un critère avec l'objectif de privilégier des matériaux locaux (nécessitant un moindre transport) ou d'éviter la déforestation des forêts primaires.

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

**Figure 43 : Évaluation des besoins énergétiques à l'échelle du projet par scénario de performance énergétique**

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

### - PHASE 3 : TAUX DE COUVERTURE DES BESOINS DE LA ZONE PAR LES ENR

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

#### • Production d'électricité par micro-éoliennes

##### Ordre de grandeur :

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

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

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

Compte tenu de la configuration du projet, on considère qu'il serait possible d'en implanter **13** à l'échelle de la ZAC, soit une production annuelle potentielle de **29 000 kWh**.

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

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

La surface potentiellement exploitable est déterminée en première approximation à partir du plan de masse typique en considérant une toiture plate ou monoptote.

**La surface exploitable en toiture est ainsi estimée à 8400 m<sup>2</sup> pour l'ensemble de l'opération.**

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

Le tableau suivant donne la productibilité annuelle des différentes implantations :

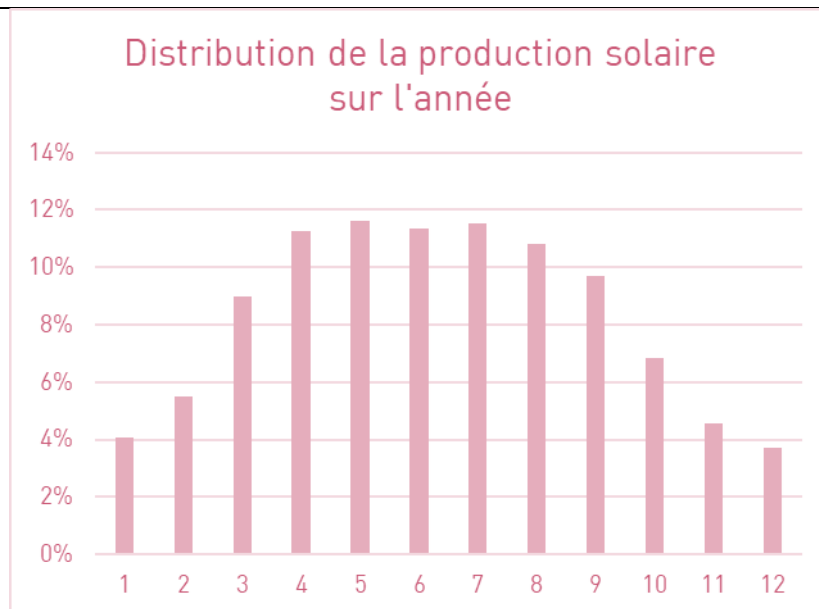
|                                                                             | Photovoltaïque | Thermique |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|
| Productible en kWh/m <sup>2</sup> .an<br>orientation sud/inclinaison<br>30° | 136            | 585       |

**La production photovoltaïque (maximale théorique en toiture) est estimée à 1 257 MWh/an**

##### Point de vigilance :

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

La production solaire annuelle suit la répartition suivante :



**Figure 44 : Distribution annuelle de la production solaire**

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

Étant donné que les besoins en ECS (ou chaleur pour process) de la zone sont incertains, nous écarterons l'évaluation de ce potentiel.

#### **- Production de chaleur par géothermie**

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

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

#### **- Production de chaleur par Aérothermie**

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

#### **- Production de chaleur par Bois énergie**

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

## - Synthèse

Le tableau suivant présente les taux de couverture atteignables par les ENR étudiées pour les niveaux RE2020 et passif :

| ENR                            |                                     | Taux de couverture théoriques maximum par les ENR<br>Niveau de consommation de base (RE2020-enveloppe de base) |         |             |               | Taux de couverture théoriques maximum par les ENR<br>Niveau de consommation (Passif-enveloppe bas carbone) |         |             |               |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|---------------|
| Technologie                    | Caractéristiques                    | Productible<br>MWh/an                                                                                          | Chaleur | Electricité | Total Energie | Productible                                                                                                | Chaleur | Electricité | Total Energie |
| Panneaux Solaire thermique     | Inclinaison 30°<br>Orientation: S-E | 408                                                                                                            | 22%     | 0%          | 11%           | 408                                                                                                        | 33%     | 0%          | 13%           |
| Panneau Solaire photovoltaïque | Inclinaison 30°<br>Orientation: S-E | 1142                                                                                                           | 0%      | 64%         | 31%           | 1142                                                                                                       | 0%      | 63%         | 37%           |
| Chaudière bois granulés        |                                     | 1889                                                                                                           | 100%    | 0%          | 51%           | 1244                                                                                                       | 100%    | 0%          | 41%           |
| Chaudière bois plaquette       |                                     | 1889                                                                                                           | 100%    | 0%          | 51%           | 995                                                                                                        | 100%    | 0%          | 41%           |
| PAC géothermique               | COP 4                               | 1341                                                                                                           | 75%     | 0%          | 38%           | 883                                                                                                        | 75%     | 0%          | 31%           |
| PAC air/eau                    | COP 2.7                             | 1190                                                                                                           | 63%     | 0%          | 32%           | 784                                                                                                        | 74%     | 0%          | 30%           |
| Micro éolien                   | P:3KW N:13                          | 29                                                                                                             | 0%      | 2%          | 1%            | 29                                                                                                         | 0%      | 2%          | 1%            |

Figure 45 : Taux de couverture par les différentes ENR

- ➔ Aucune source d'énergie renouvelable ne permet à elle seule de couvrir la consommation totale d'énergie des bâtiments. La création d'un quartier à énergie positive au sens [énergie consommée < énergie produite] ne pourra donc se faire qu'à partir d'un mix énergétique ou en réduisant de manière drastique les consommations du quartier.
- ➔ Les productions solaires et photovoltaïques considèrent que tous les capteurs sont orientés Sud avec une inclinaison de 30° ce qui ne sera probablement pas le cas à l'échelle du projet en fonction du découpage parcellaire et de l'implantation des maisons.
- ➔ Le bilan **annuel** de la production photovoltaïque est de 64%. Cependant, il s'agit d'un bilan production/consommation annuel (voir prospective → production locale d'électricité). La production solaire est inégalement répartie sur l'année (plus forte production en été qu'en hiver).

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

## - PHASE 4 : ETUDE DE L'IMPACT DE LA MOBILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES

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

Nous avons donc étudié 4 scénarios d'approvisionnement, pour chaque niveau de performance énergétique.

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

**Le scénario GAZ+PAC est le scénario de référence servant de base de comparaison avec les autres solutions de production de chaleur renouvelable. Avant la RE2020, le scénario de comparaison de base était 100% GAZ mais ce scénario n'est plus cohérent avec la RE2020.**

Le tableau suivant décrit les scénarios étudiés :

|                          | Chauffage                          | Production d'ECS                                   | Remarque                                                                                                                  |
|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S1 : Hybride (GAZ + PAC) | Gaz naturel + PAC<br>Aérothermique | Gaz naturel + PAC<br>Aérothermique                 | La PAC couvre 85% des besoins énergétiques.<br>L'investissement en maison individuel est similaire à la solution 100% PAC |
| S2 : Bois granulés       | Bois                               | Bois (collectifs)<br>Thermodynamique (individuels) | Chaufferie collective granulés<br>Maisons individuelles : Poêle à bois (70%)                                              |
| S3 : Géothermie          | Géothermie                         | Géothermie                                         |                                                                                                                           |
| S4 : PAC air/eau         | Pompe à chaleur air/eau            | Pompe à chaleur air/eau                            |                                                                                                                           |

**Figure 46 : Tableau des différents scénarios étudiés**

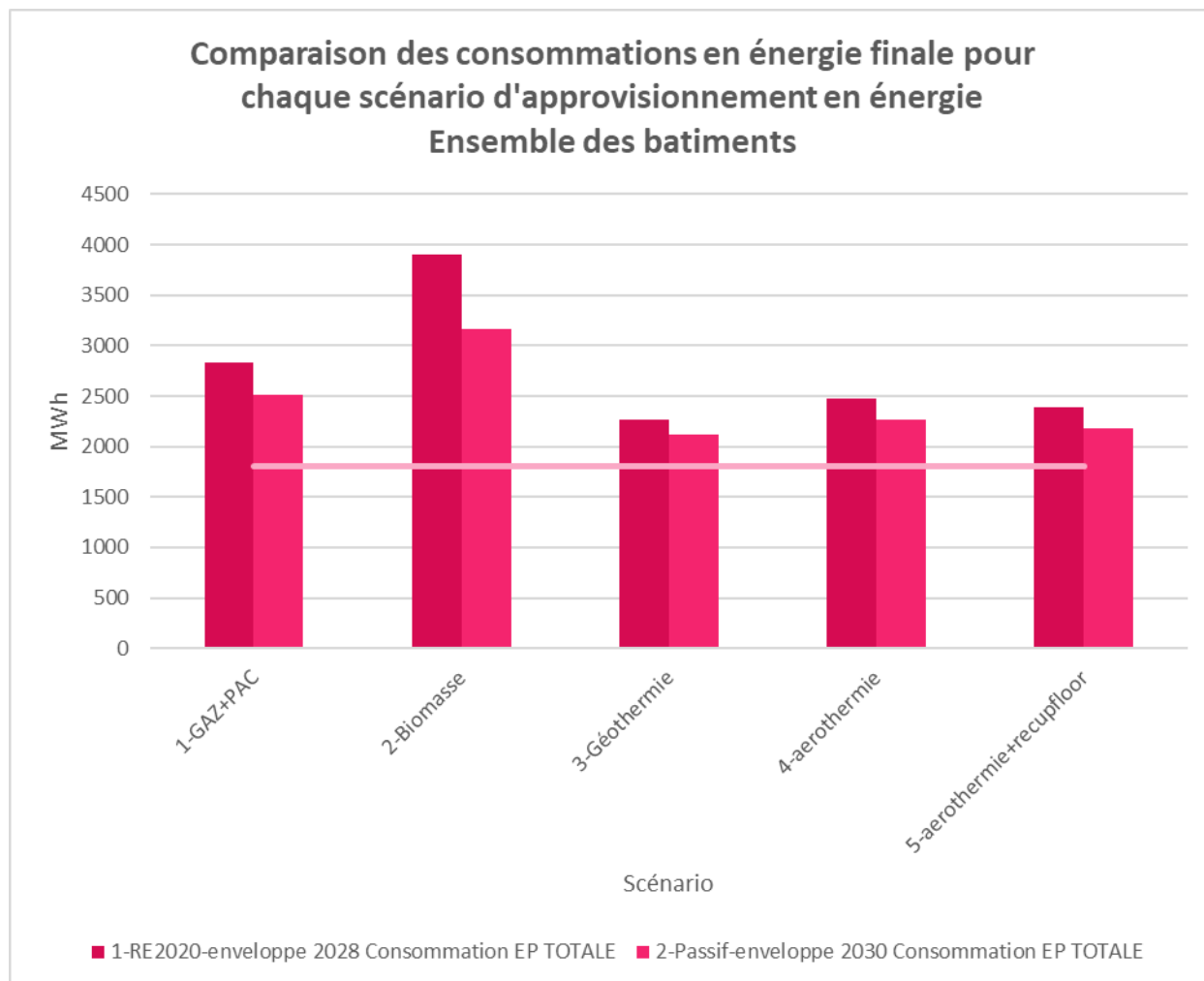
*NB : pour les bâtiments de logements collectifs les solutions étudiées sont systématiquement en chaufferie collective*

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

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

## - Comparaison des consommations en énergie finale

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



**Figure 47 : Comparaison de la consommation d'énergie finale annuelle du projet par scénario d'approvisionnement énergétique**

Cette consommation d'énergie est modulée par rapport aux besoins de **3684 MWh/an (RE2020)** et **3050 MWh/an (Passif)** calculés en Phase 1. En effet, ces scénarios d'approvisionnement en énergie intègrent de l'énergie gratuite (solaire, énergie du sol), des notions de rendement ou d'appoint.

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

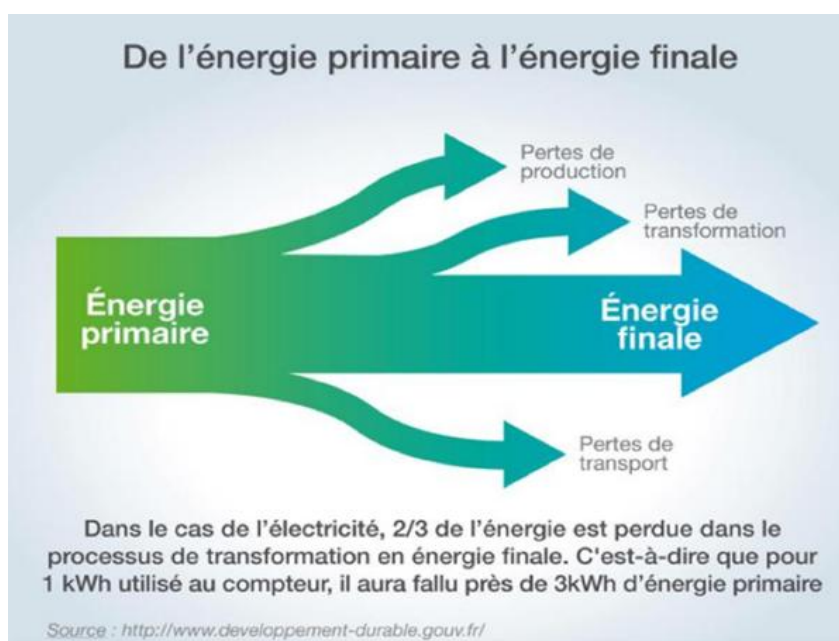
Le scénario GAZ + PAC privilégie le fonctionnement de la chaudière gaz par basse température afin d'utiliser la PAC lorsque son COP sera le meilleur. La PAC couvre alors 85% des besoins thermiques.

Le scénario Bois granulé ne bénéficie d'aucun apport « gratuit » et le rendement des chaudières bois granulé (95%) est légèrement supérieur à celui des chaudières gaz (105%)  
Ces comparaisons montrent qu'à niveau de besoin identique, **les bilans énergétiques annuels peuvent varier jusqu'à moins 62% en fonction des systèmes énergétiques installés.**

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

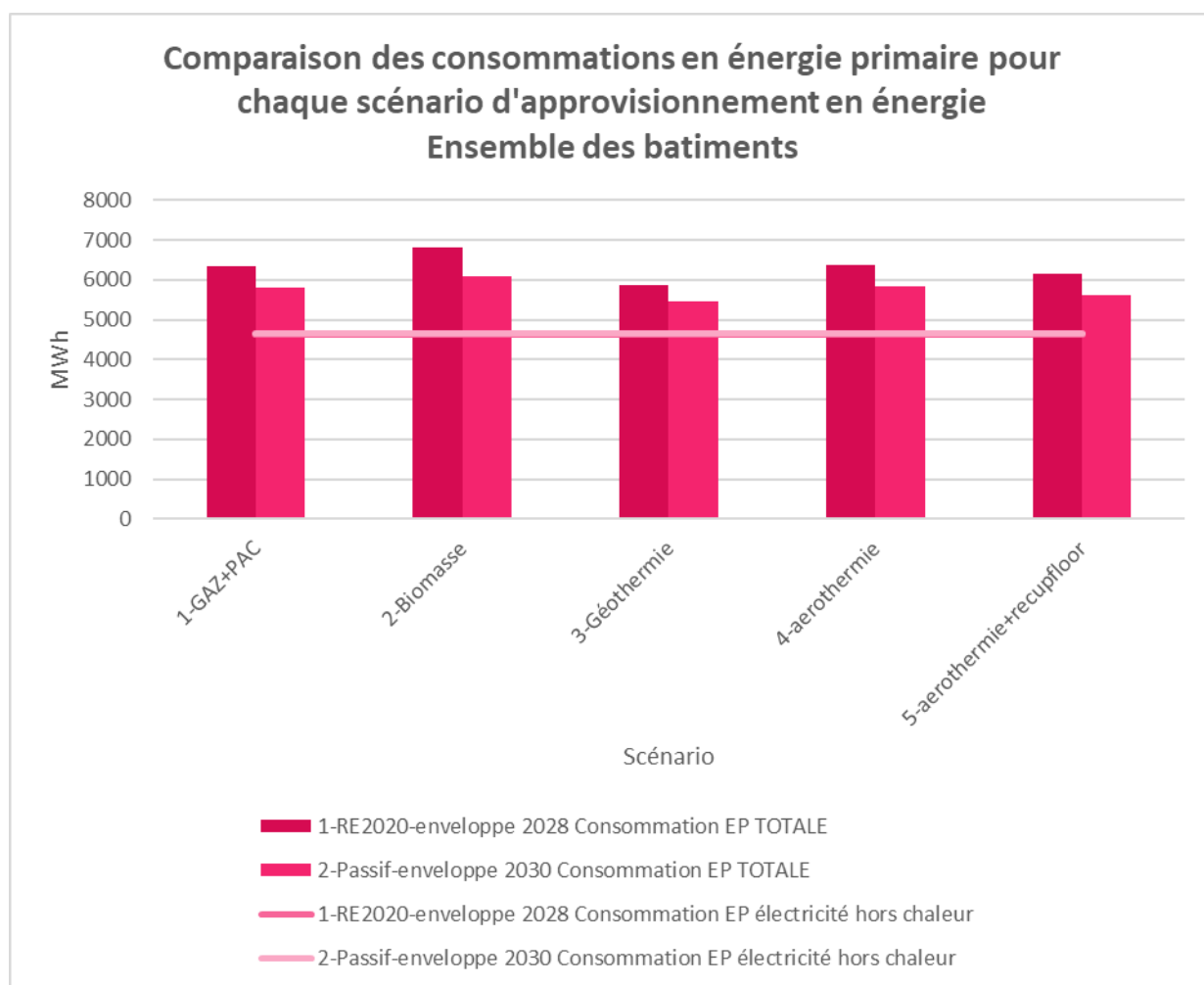
#### - Comparaison des consommations en énergie primaire

La consommation en énergie finale (énergie compteur) des systèmes thermodynamiques est avantageuse. Or ces systèmes utilisent de l'électricité laquelle est produite par des centrales ayant un certain rendement. Ainsi, il convient de comparer également la consommation en énergie primaire des systèmes.



**Figure 48 : De l'énergie primaire à l'énergie finale**

En raison du mix énergétique, du rendement des centrales et du réseau électrique, 1 kWh d'énergie finale électrique correspond à 2,58 kWh d'énergie primaire.



**Figure 49 : Comparaison de la consommation d'énergie primaire annuelle du projet par scénario d'approvisionnement énergétique**

En intégrant la notion d'énergie primaire, l'intérêt des systèmes thermodynamiques est moins évident en opposition aux systèmes utilisant du gaz ou du bois comme combustible.

### - Comparaison des coûts de fonctionnement actualisés sur 25 ans

L'étude des coûts de fonctionnement la première année ne reflète pas les évolutions futures du prix des énergies, notamment la forte inflation des énergies fossiles. C'est pourquoi nous étudions les coûts de fonctionnement sur 50 ans (durée de vie moyenne des systèmes de production de chauffage et d'ECS) en intégrant les coûts de maintenance annuels et en appliquant des taux d'inflation.

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

**P1 : Achat d'énergie**

**P2 : Cout de maintenance**

**P3 : Gros entretien**

**P4 : Investissement.**

*Avertissement : l'objet de ce paragraphe n'est pas de permettre d'obtenir une indication précise du coût réel mais de faciliter l'appréhension d'un ordre de grandeur de l'écart de coût entre chaque scénario*

---

*d'approvisionnement en amont d'un projet. Le coût réel dépend de nombreux paramètres propres à chaque situation. Les résultats sont à interpréter avec la plus grande prudence.*

- Hypothèse de taux d'inflation :

| Energie         | Taux inflation (%) |
|-----------------|--------------------|
| Bois granulés   | 2                  |
| Bois plaquettes | 2                  |
| Electricité     | 3                  |
| Gaz             | 3                  |

Figure 50 : Hypothèse de taux d'inflation en fonction du type d'énergie

- **Maison individuelle**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement initial, sur 25 ans, des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour une maison individuelle de 110 m² SDP en moyenne :

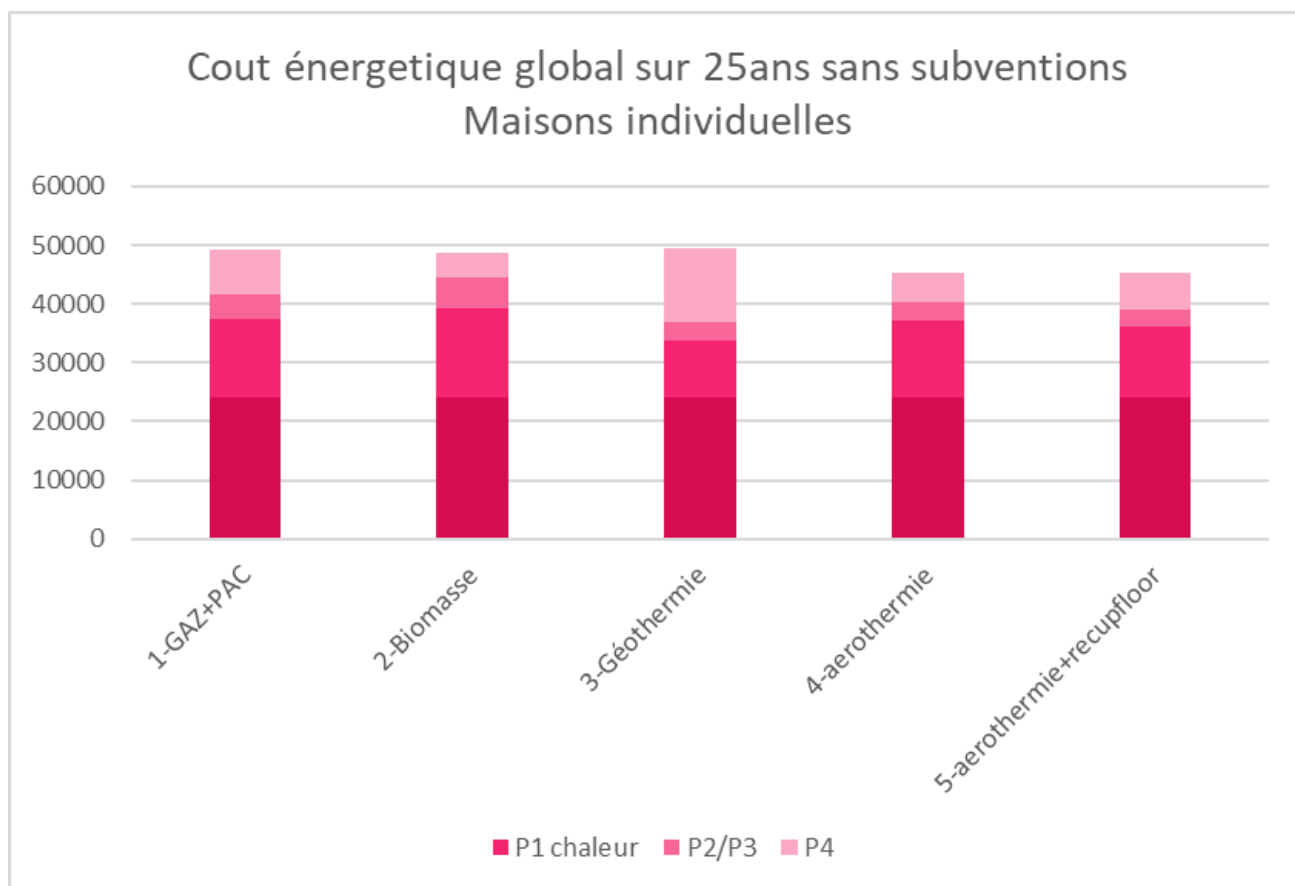


Figure 51 : Coût global sur 20 ans par scénario d'approvisionnement en énergie pour les maisons individuelles

- **Logement collectif**

Le graphique suivant présente les résultats de l'analyse en coût global, incluant l'investissement initial, sur 25 ans des différents scénarios d'approvisionnement en énergie pour un logement en collectif de 85 m<sup>2</sup> SDP en moyenne :

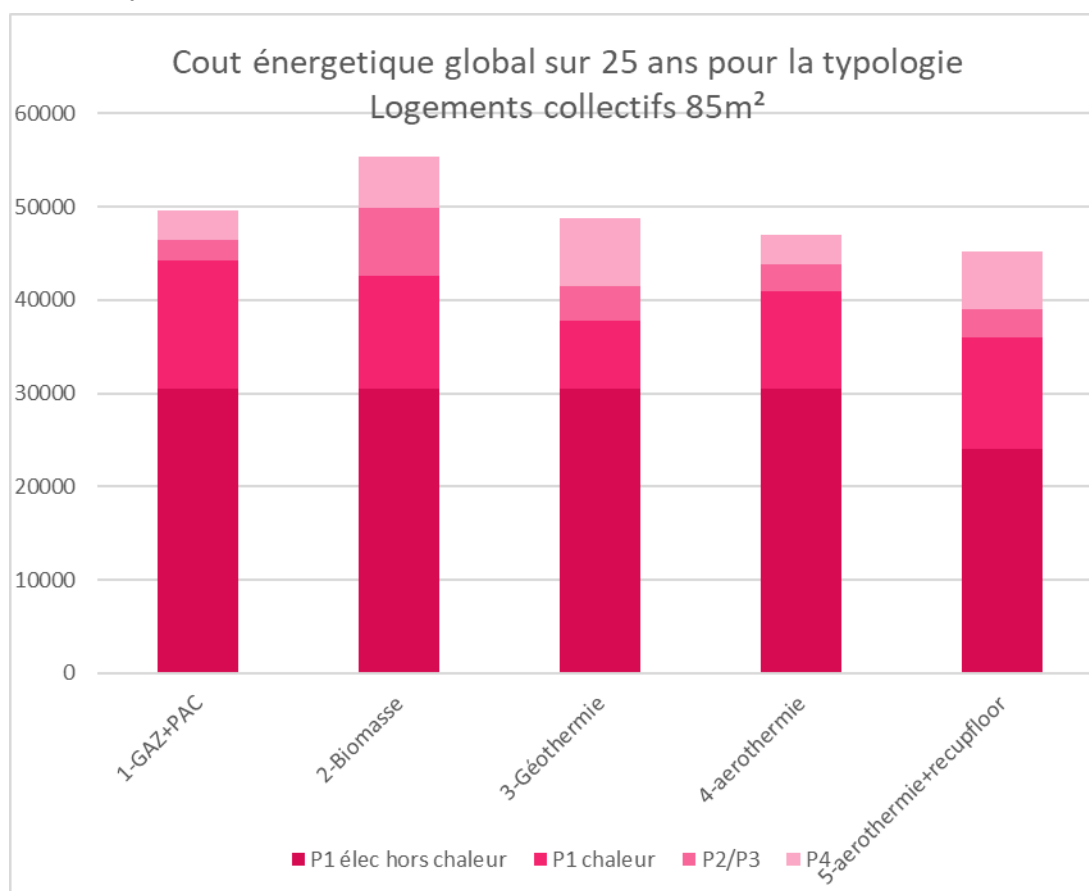


Figure 52 : Coût global sur 25 ans par scénario d'approvisionnement en énergie pour un logement en collectif

### 1.1.7 Conclusion sur l'analyse économique :

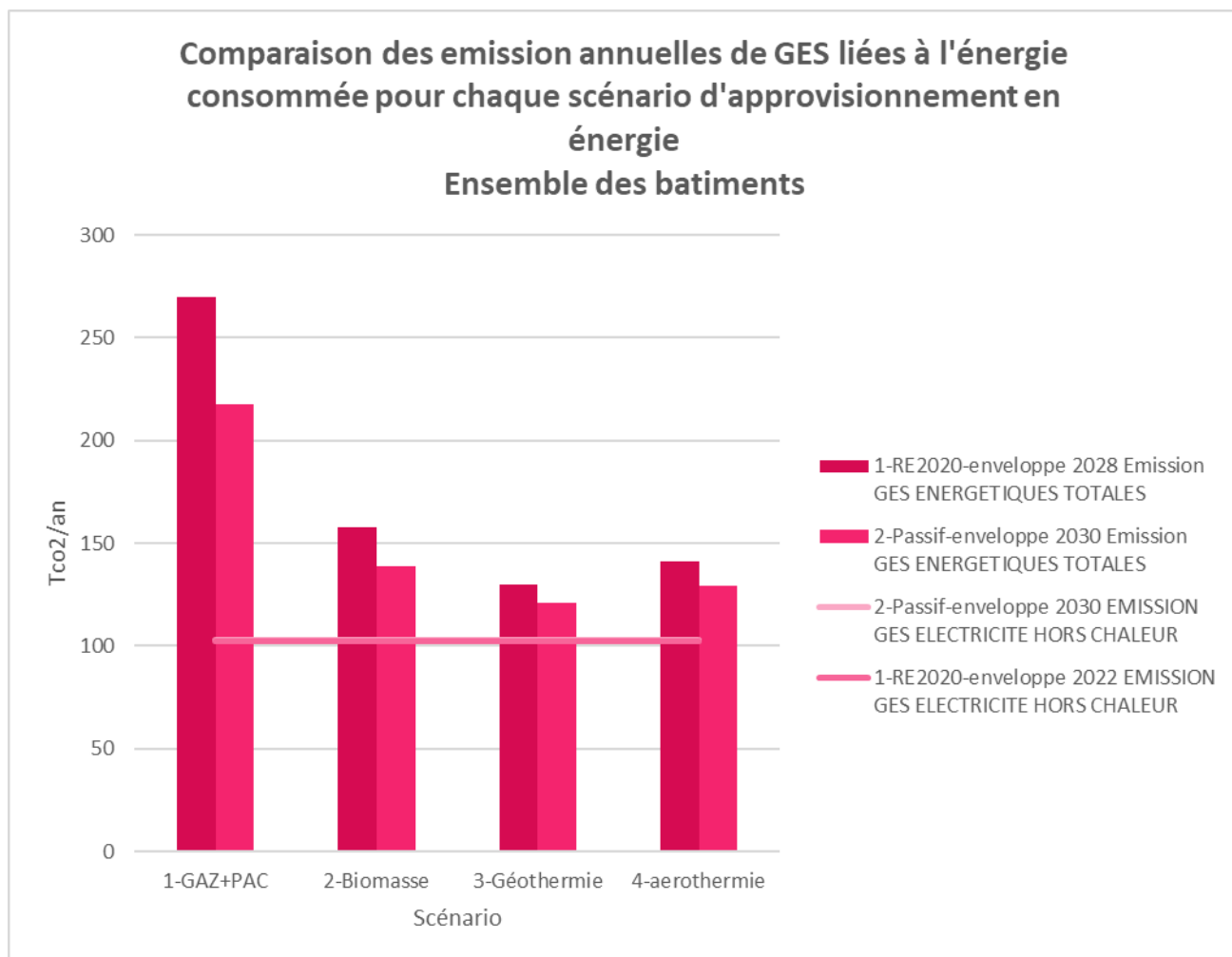
- L'électricité représente la part la plus importante des coûts de fonctionnement.
- Aucun scénario ne se démarque vraiment sur le plan économique.
- Les résultats varient légèrement en fonction de la typologie de local.
- Le scénario hybride gaz + PAC semble le moins intéressant financièrement.

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

### - Comparaison des émissions de gaz à effet de serre

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

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



**Figure 53 : Émissions de CO<sub>2</sub> du projet en fonction de la performance de l'enveloppe et des systèmes**

Le scénario de référence émettrait **270 t de CO<sub>2</sub>/an** pour un niveau RE2020 et **175 t de CO<sub>2</sub>/an** pour un niveau passif.

Les scénarios biomasse, aérothermie et géothermie sont plus performants du point de vue des émissions de gaz à effet de serre en permettant de réduire les émissions jusqu'à **60%** par rapport à la référence.

Il est à noter que la RE2020 impose un seuil en kgeqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> d'émissions de GES liée aux consommations énergétiques ce qui tend à lisser les écarts entre les solutions avec biomasse ou pompe à chaleur.

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

### - Compatibilité avec la dépendance électrique de la Bretagne

Le dernier élément de comparaison concerne la compatibilité des systèmes étudiés avec la situation de péninsule électrique de la Bretagne. Le contexte a été décrit dans la première partie de ce rapport. Le pacte électrique breton fait une recommandation sur l'utilisation de l'électricité :

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

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

Les signataires s'engagent à assurer une information sur les avantages et inconvénients au regard du système électrique de l'équipement en pompes à chaleur ou en convecteurs aux fins de privilégier d'autres systèmes de chauffage moins consommateurs d'électricité. Les collectivités seront sollicitées pour moduler les critères d'attribution de leurs aides (éco-conditionnalité).

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

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

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

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

Le code couleur traduit la réponse du scénario aux critères proposés

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

Ainsi, les scénarios basés sur l'utilisation de PAC (géothermie ou aérothermie) présentent les meilleurs résultats en termes de consommations d'énergie, d'émissions de GES et de coût global. Ils sont en revanche peu compatibles avec la dépendance électrique actuelle de la Bretagne, à l'inverse des scénarios gaz + PAC et biomasse.

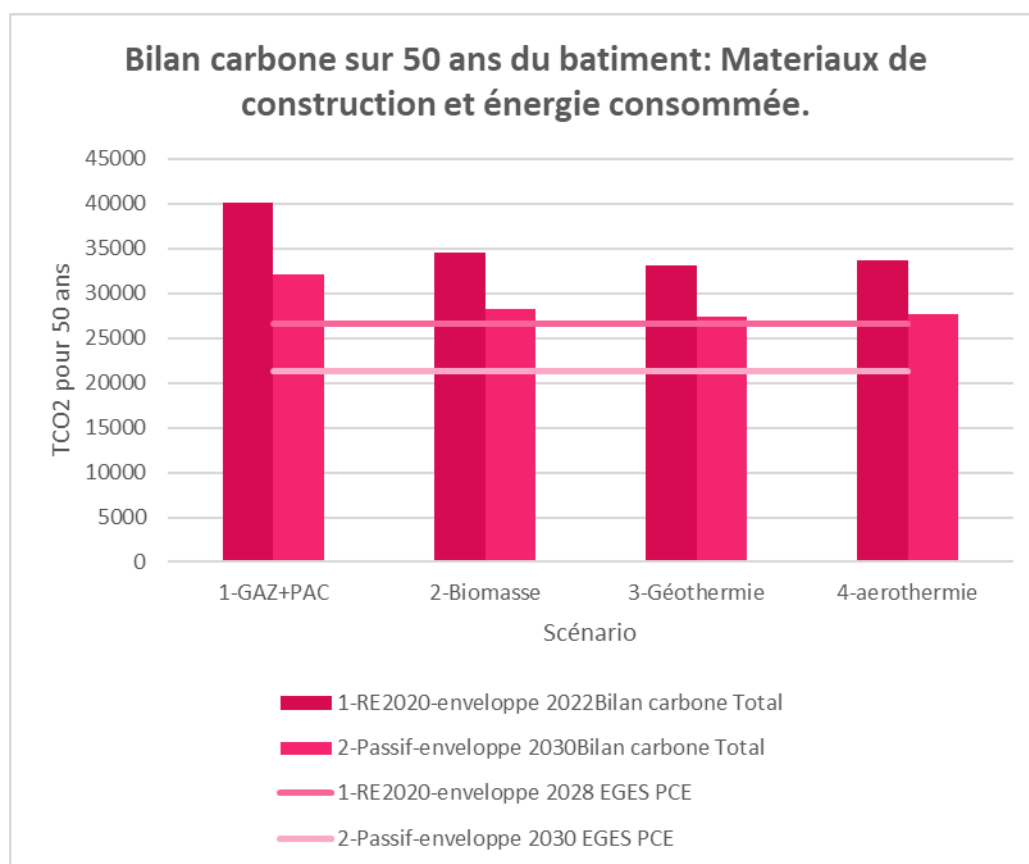
|                      | Faible consommation en<br>Energie Primaire | Faible<br>consommation en<br>Energie finale | Impact sur<br>l'effet de serre | Coût Global<br>sur 20 ans | Taux<br>d'utilisation<br>d'ENR | Compatibilité avec la<br>dépendance électrique de la<br>Bretagne |
|----------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>2-Biomasse</b>    |                                            |                                             |                                |                           |                                |                                                                  |
| <b>3-Géothermie</b>  |                                            |                                             |                                |                           |                                |                                                                  |
| <b>4-aérothermie</b> |                                            |                                             |                                |                           |                                |                                                                  |
| <b>1-GAZ+PAC</b>     |                                            |                                             |                                |                           |                                |                                                                  |

**Figure 54 : Évaluation des scénarios d'approvisionnement étudiés au regard de critères environnementaux et économiques**

#### **LÉGENDE** Scénario

|                   |                                                           |                                     |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Réponse Favorable | Réponse mitigée ou<br>adaptée partiellement au<br>critère | Réponse Défavorable ou<br>inadaptée |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|

- **PHASE 5 : PRISE EN COMPTE DE L'IMPACT CARBONE LIE AUX MATERIAUX DE CONSTRUCTION ET A LA CONSOMMATION D'ENERGIE.**



**Figure 55 : Emissions de CO<sub>2</sub> du projet sur 50 ans**

L'analyse du bilan carbone de l'aménagement met en évidence la prépondérance de l'impact carbone lié aux matériaux de construction en comparaison avec les émissions totales (produits de construction + émissions induites par l'énergie consommée au sein des bâtiments). Au-delà des questions liées à la raréfaction des ressources, la réduction des surfaces artificialisées et la mise en œuvre de matériaux renouvelables et/ou recyclés serait à envisager.

Le graphique ci-dessus représente les émissions de GES liées à l'énergie du bâtiment pour les deux « extrêmes » performance énergétique et enveloppe réglementaire (néanmoins qualitative) et un niveau de performance « passif » avec une enveloppe à impact climatique plus faible.

L'impact des produits de construction représente de l'ordre de 60 à 80% des impacts climatiques du bâtiment sur 50 ans. Les mesures visant à réduire l'impact de l'enveloppe (construction biosourcée) sont donc particulièrement pertinentes.

---

## **- PHASE 6 : ETUDE D'OPPORTUNITE DE CREATION D'UN RESEAU DE CHALEUR ALIMENTE PAR LES ENR**

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

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

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

La fiche réseau de chaleur en annexe rappelle la définition du réseau de chaleur, ses avantages et sa prise en compte dans le calcul thermique réglementaire (RT 2012/RE2020).

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

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

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

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

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

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

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

### **- Etude d'opportunité d'un réseau de chaleur sur le secteur**

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

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

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

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

## - Notion de densité énergétique pour un réseau de chaleur

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

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

Le critère généralement admis pour évaluer en première approche l'intérêt d'un réseau de chaleur bois est le coefficient qui représente la quantité d'énergie transportée par un mètre de réseau sur une année, exprimé en kWh/m de réseau de chaleur. En milieu rural, on considère habituellement qu'un **réseau de chaleur peut avoir de l'intérêt à partir de 1 500 kWh/m de réseau et par an**. Par comparaison, la densité minimum des réseaux urbains se situe autour de 8 000 kWh/m et par an.

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

### 1.1.8 Hypothèses de consommations énergétiques considérées

Les hypothèses de consommations énergétiques sont issues de l'étude d'approvisionnement en énergie réalisée précédemment.

#### - Etude d'opportunité

- Analyse qualitative

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



Figure 56 : Analyse qualitative de la densité énergétique secteur (source : E'NERGYS)

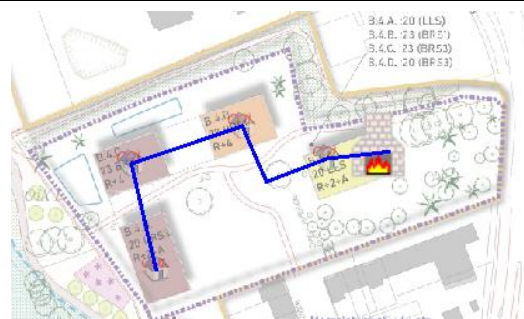
La densité de besoin de chauffage est insuffisante sur le secteur cœur de ville pour envisager un réseau de chaleur. En revanche, la création de micro-réseaux de chaleur pourrait être intéressante par macro-lot pour la production de chauffage et d'ECS.

Nous étudions par la suite l'opportunité économique d'un réseau produisant 50% des besoins en ECS par une production solaire thermique. Le reste des besoins thermiques (chauffage+ECS) sera couvert par des pompes à chaleur Air/Eau. Cette solution sera comparée aux solutions suivantes :

Cette solution est privilégiée car le solaire thermique est désormais fléché en priorité dans les dispositifs de financement. Il s'agit en effet d'une technologie basique mobilisant une énergie gratuite et totalement renouvelable.

- Production aérothermique par bâtiment
- Production biomasse (pellet) par bâtiment
- Production géothermique par bâtiment.

|                    | Chauffage               | Production d'ECS                                   | Remarque                                                                     |
|--------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| S1 : PAC air/eau   | Pompe à chaleur air/eau | Pompe à chaleur air/eau                            |                                                                              |
| S2 : Réseau        | Pompe à chaleur air/eau | Solaire thermique +<br>PAC<br>Aérothermique        | Le solaire thermique couvre 50% des besoins d'ECS.                           |
| S3 : Bois granulés | Bois                    | Bois (collectifs)<br>Thermodynamique (individuels) | Chaufferie collective granulés<br>Maisons individuelles : Poêle à bois (70%) |
| S4 : Géothermie    | Géothermie              | Géothermie                                         |                                                                              |



Réseau 1 :

Longueur : 91m

Besoins :375MWh

Densité :4120 kWh/ml

Puissance thermique estimée :250 kW

Potentiel de micro-réseau : oui

96 logements

Réseau 2 :

Longueur : 145m

Besoins :343MWh

Densité :2360 kWh/ml

Puissance thermique estimée :215 kW

Potentiel de micro-réseau : oui

86 logements

Réseau 3 :

Longueur : 200m

Besoins :470MWh

Densité :2350kWh/ml

Puissance thermique estimée :300 kW

Potentiel de micro-réseau : oui

118 logements

Surcoût solaire thermique :155 000

Surface Solaire thermiques : 110m<sup>2</sup>

Production ENR :60 MWh

Surcoût solaire thermique :165 000

Surface Solaire thermiques : 92m<sup>2</sup>

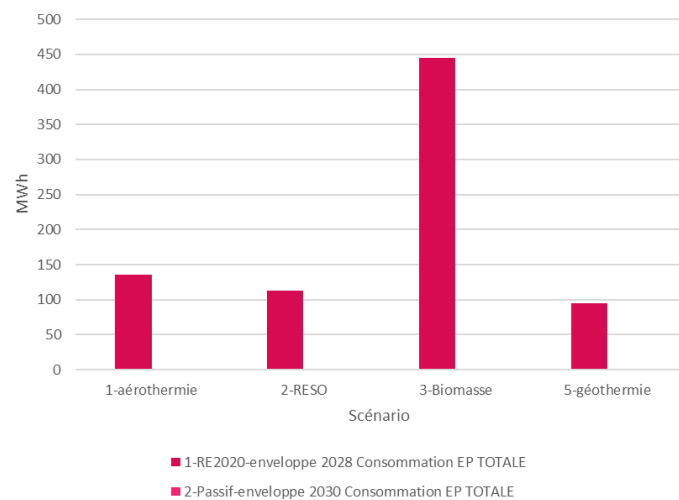
Production ENR : 54 MWh

Surcoût solaire thermique :225 000

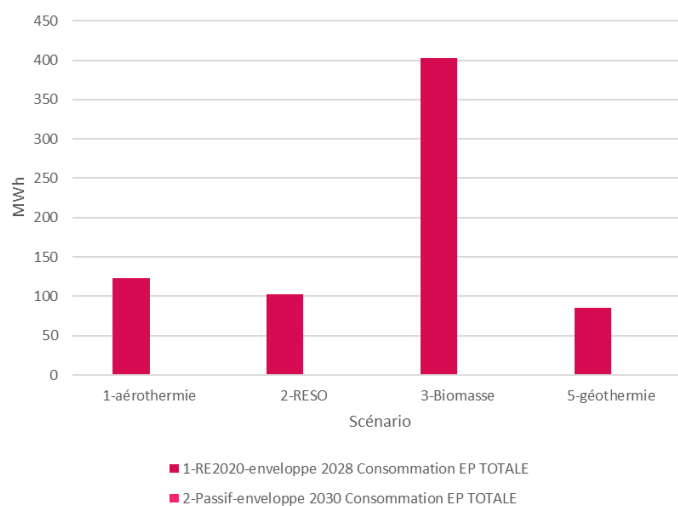
Surface Solaire thermiques : 125m<sup>2</sup>

Production ENR : 73MWh

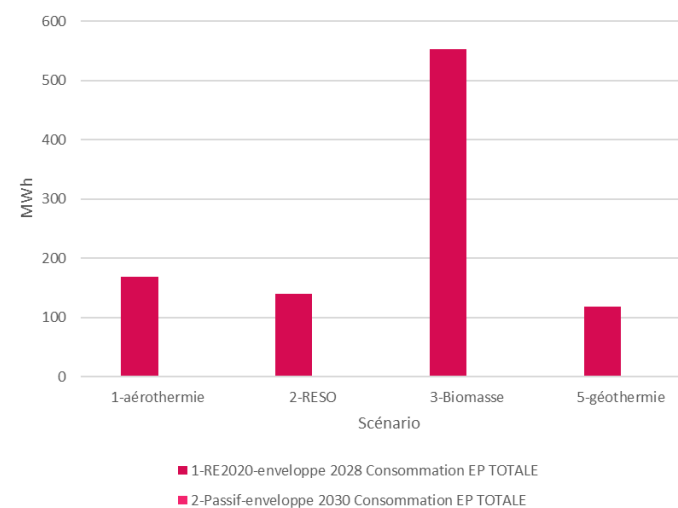
Comparaison des consommations en énergie finale  
pour chaque scénario d'approvisionnement en énergie  
Ensemble des batiments



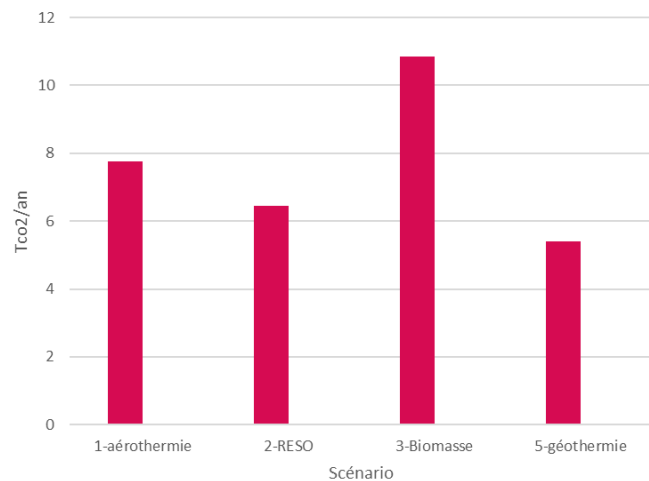
Comparaison des consommations en énergie finale  
pour chaque scénario d'approvisionnement en énergie  
Ensemble des batiments



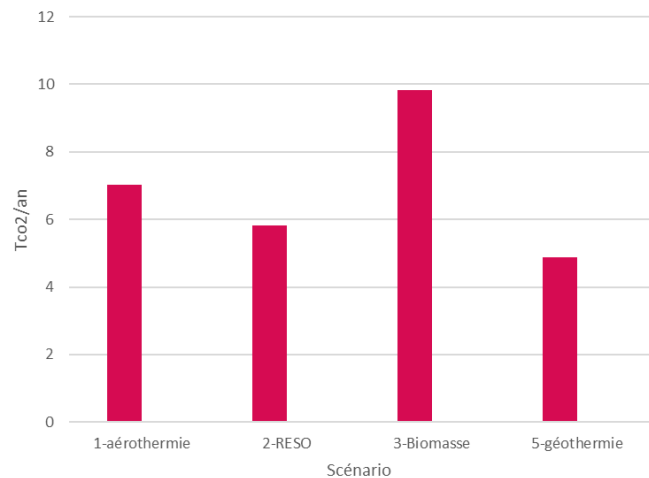
Comparaison des consommations en énergie finale  
pour chaque scénario d'approvisionnement en énergie  
Ensemble des batiments



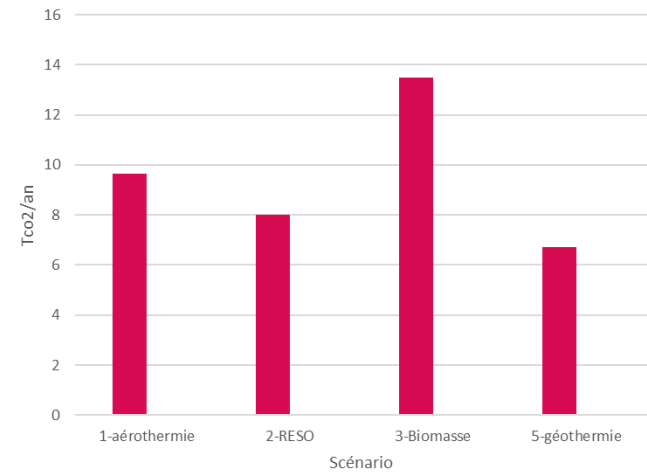
Comparaison des emission annuelles de GES liées  
à l'énergie consommée pour chaque scénario  
d'approvisionnement en énergie  
Ensemble des batiments



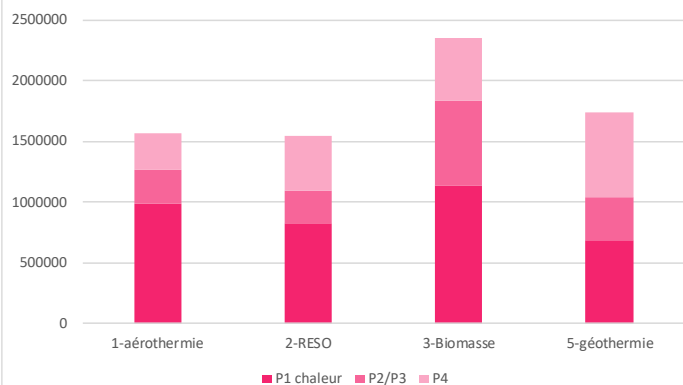
Comparaison des emission annuelles de GES liées  
à l'énergie consommée pour chaque scénario  
d'approvisionnement en énergie  
Ensemble des batiments



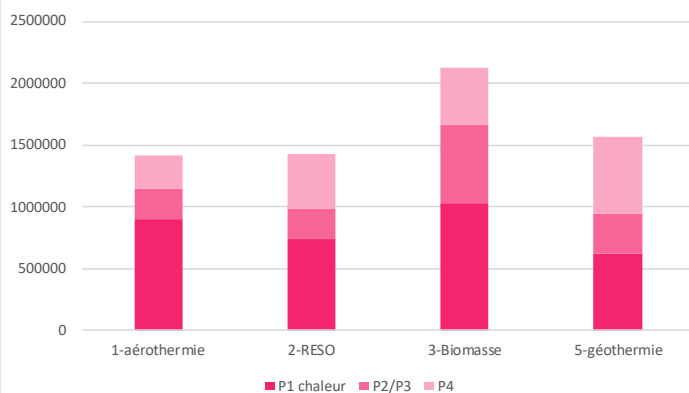
Comparaison des emission annuelles de GES liées  
à l'énergie consommée pour chaque scénario  
d'approvisionnement en énergie  
Ensemble des batiments



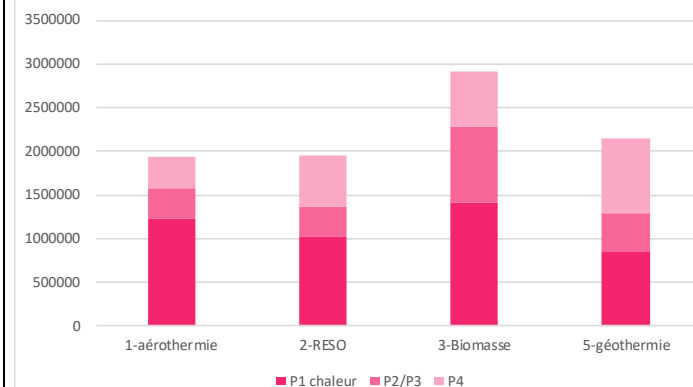
Cout énergétique global sur 25ans sans subventions  
collectif



Cout énergétique global sur 25ans sans subventions  
collectif



Cout énergétique global sur 25ans sans subventions  
collectif



---

- **Conclusion :**

La création d'un réseau de chaleur desservant les maisons individuelles n'est pas pertinente sur les plans énergétique et économique.

La mise en place de réseau technique de chaleur alimentant des macro-lots de logements collectifs est pertinente sur les plan économique et environnementaux. Sans subventions, la solution solaire est équivalente à la solution 100% aérothermique. La solution solaire mérite donc d'être étudiée. Cette solution peut potentiellement être optimisée avec une installation solaire combinée affectée à la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire. Dans ce cas, l'augmentation de l'inclinaison des panneaux dégraderait la production estivale source de surchauffes, ce qui permet d'augmenter la surface de l'installation et d'améliorer la production solaire hivernale.

---

## **- PHASE 7 : 1ERE APPROCHE ENERGIE CLIMAT SUR LES TRANSPORTS ET L'ECLAIRAGE PUBLIC**

### **- Transports**

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

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

#### **1.1.9 Propositions pour limiter l'impact des transports**

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

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

#### **1.1.10 Estimation des impacts annuels domicile-travail**

Le nombre de véhicule par logement collectif groupé a été fixé à 1 pour les logements collectifs et à 2 pour les maisons individuelles soit un total de 677 véhicules.

Les hypothèses de distances parcourues domicile-travail, issues de d'étude INSEE de Bretagne environnement, sont estimées à 20,4 kms.

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

| Hypothèses                                                     |           |                      |
|----------------------------------------------------------------|-----------|----------------------|
|                                                                | Hypothèse | Unité                |
| Nombre de voitures                                             | 529       | Voitures             |
| Distance moyenne domicile travail                              | 20        | Km                   |
| Jours travaillés/an                                            | 220       | Jours                |
| Part des trajets en voiture individuelle (source étude trafic) | 83%       |                      |
| Émission CO <sub>2</sub> du parc                               | 130       | gCO <sub>2</sub> /km |
| Consommation moyenne du parc                                   | 5,5       | l/100km              |
| Résultats                                                      |           |                      |
| Km parcourus /an                                               | 3 931 596 | km                   |
| Émission CO <sub>2</sub>                                       | 511       | Tonnes               |
| Consommation d'énergie MWh                                     | 1 968     | MWh                  |

Figure 57 : Émissions CO<sub>2</sub> du parc automobile de l'opération

Pour un nombre total de **529 véhicules particuliers**, les émissions annuelles dues aux transports seraient de **511 tonnes de CO<sub>2</sub>**.

### - Consommation énergétique attendue pour l'éclairage public

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

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

|                                | Eclairage nuit complète | Extinction nocturne 22h30/6h |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Linéaire de voirie (m)         | 5125                    | 5125                         |
| Puissance KW                   | 15                      | 15                           |
| Temps de fonctionnement/an (h) | 4100                    | 1910                         |
| Consommation électrique MWh    | <b>63,0</b>             | <b>29,5</b>                  |
| Coût                           | 7787                    | 4873                         |
| Emission kg CO <sub>2</sub>    | <b>3,6</b>              | <b>1,7</b>                   |

Figure 58 : Chiffres selon la période nocturne

Pour un linéaire total estimé à **5 125 m** de voiries éclairées, la consommation énergétique prévisionnelle serait de **63 MWh/an** en éclairage permanent et **29,5 MWh/an** avec une extinction nocturne.

**L'extinction nocturne permet par ailleurs à la collectivité d'économiser environ 2914 euros/an.**

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

Pour plus d'informations :

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

## - SYNTHÈSE DES IMPACTS ÉNERGIE CLIMAT DE LA ZONE SUR 50 ANS.

| Poste                                                                            | Consommation énergétique annuelle estimée (MWh/an) |       | Emissions min de CO2 (T/50 ans) |        |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------|---------------------------------|--------|
|                                                                                  | Min                                                | Max   | Min                             | Max    |
| Consommation énergétique des bâtiments                                           | 2121                                               | 3899  | 6 056                           | 13 493 |
| Matériaux de construction                                                        |                                                    |       | 21 273                          | 26 591 |
| Changement d'affectation des sols et perte de captation carbone par les cultures |                                                    |       | 2 033                           |        |
| Trajets domicile travail en voiture                                              | 2277                                               |       | 29 570                          |        |
| Eclairage                                                                        | 29,5                                               | 63    | 86                              | 183    |
| Artificialisation des sols                                                       |                                                    |       | 1284                            |        |
| Voiries                                                                          |                                                    |       |                                 |        |
| TOTAL                                                                            | 4 428                                              | 6 239 | 59 017                          | 71 870 |

Figure 59 : Synthèse des impacts estimés d'un point de vue énergétique et effet de serre

L'écart de consommation entre un bâtiment performant (enveloppe + systèmes) et un bâtiment plus classique peut aller jusqu'à 54%

L'écart d'impact carbone sur la consommation énergétique des bâtiments et les matériaux de construction en les scénarios Min et Max est de 32%

Les valeurs Min et Max renvoient à la plage d'extrêmes simulés tant sur la performance énergétique de l'enveloppe, celles des systèmes et de l'impact carbone des matériaux. Ainsi, ici :

**Min** : renvoi à une enveloppe de niveau passif en matériaux biosourcés avec une production de chaleur géothermique.

**Max** : renvoi à un bâtiment RE2020 construit en matériaux traditionnels (béton, isolation minérale) avec une production de chaleur par gaz + pompe à chaleur aérothermique.

**Les poids énergie et carbone des déplacements domicile/travail est du même ordre de grandeur que ceux du bâtiment. Il conviendrait donc d'intégrer des alternatives à la voiture individuelle dans le projet.** Des mesures favorables à une mobilité faiblement carbonée sont donc à prioriser (ex : logements équipés de bornes de recharges, autopartage, covoiturage, garages vélo fonctionnels et correctement dimensionnés, aménagements piétons et cyclables, desserte en transport en commun ...).

## - PHASE 7 : PISTES DE MESURES COMPENSATION

### - Compensation carbone

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

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

---

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

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

Cette démarche, peut s'envisager de deux manières :

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

#### 1.1.11 Compensation carbone volontaire

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

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

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

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

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

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

## - Proposition de mesures compensatoires

### 1.1.12 Production locale d'électricité

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

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

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

Les besoins en électricité (hors chaleurs) sont estimés à **1795 MWh/an**.

La surface de panneaux à installer pour que la production annuelle compense la consommation annuelle d'électricité (hors chaleur) est de **13 200 m²**.

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

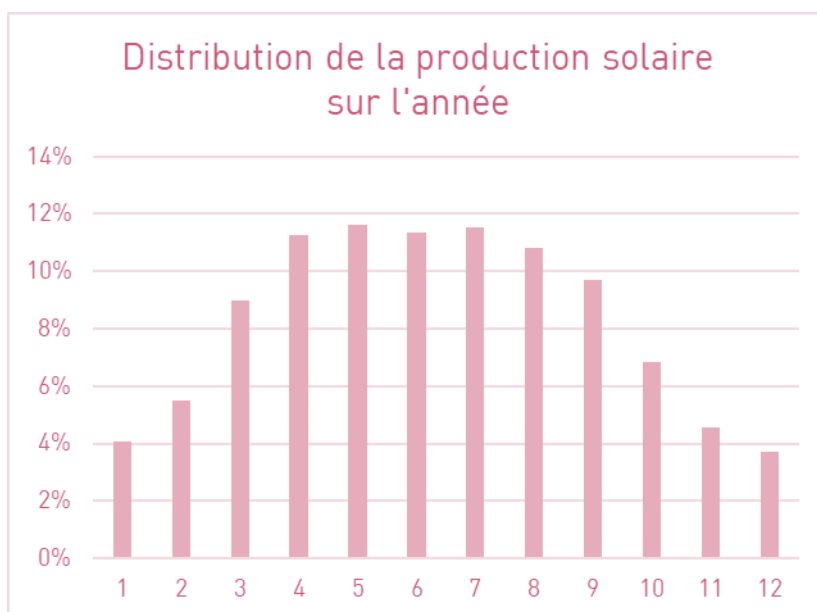


Figure 60 : Distribution annuelle de la production solaire

| Périmètre du bilan                                   |        | Unité | % de la surface de toiture estimée | T CO2 EVITEE | % EGES BATIMENT |
|------------------------------------------------------|--------|-------|------------------------------------|--------------|-----------------|
| Consommation électricité (hors chaleur annuelle)     | 1 795  | MWh   |                                    |              |                 |
| Surface panneaux PV pour Bilan électrique annuel >0  | 13 206 | m²    | 90%                                | 103          | 38%             |
| Surface panneaux PV pour Bilan électrique Décembre>0 | 49 154 | m²    | 334%                               | 382          | 170%            |

Figure 61 : Surface de toiture nécessaire pour couverture des besoins d'électricité

Pour que la production locale d'électricité en décembre excède la consommation en décembre et ainsi soulage le réseau électrique en hiver, il faudrait installer de l'ordre de 50 000 m² de panneaux photovoltaïques soit 342% de la surface de toiture estimée. Il faudra par conséquent trouver d'autres

options complémentaires pour l'installation de panneaux photovoltaïques, telles que les ombrières de parkings.

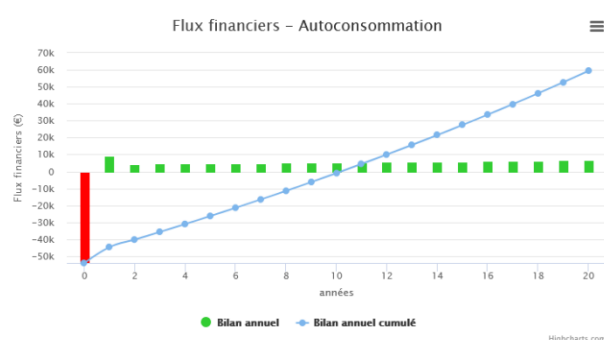
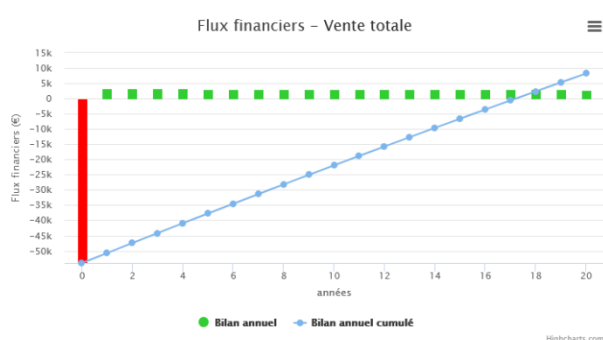


Figure 62 : Ombrière photovoltaïque

### 1.1.13 Analyse technico économique pour la mise en place de photovoltaïque sur un collectif type R+4+A

On considère ici un R+4+A de 32 logements avec une installation de 36 kWc en surimposition (250m<sup>2</sup>) avec une production de chauffage et d'ECS par PAC. Dans le cadre de l'autoconsommation, l'installation PV est gérée par la copropriété et alimente l'ensemble des équipements techniques communs (éclairage, chauffage, ECS, ventilation, ascenseur, portes automatiques ...). La production non autoconsommée est vendue sur le réseau au tarif réglementaire. La vente dans le cadre d'une autoconsommation collective améliorerait significativement la rentabilité.

|                                 | Investissement (CAPEX) | Dépenses sur 20 ans (OPEX) | Primes & Subventions | Recettes sur 20 ans |           | Facture énergétique moyenne sur 20 ans | Prix de revient LCOE ② |
|---------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|---------------------|-----------|----------------------------------------|------------------------|
|                                 |                        |                            |                      | Vente               | Économies |                                        |                        |
| Consommateur sans PV            | 0 €                    | 0 €                        | 0 €                  | 0 €                 | 0 €       | 12 405 €/an                            |                        |
| Consommateur - Vente totale     | 54 000 €               | 10 800 €                   | 0 €                  | 73 045 €            | 0 €       | 11 993 €/an                            | 8,082 c€/kWh           |
| Consommateur - Autoconsommation | 54 000 €               | 10 800 €                   | 5 040 €              | 24 148 €            | 95 027 €  | 9 434 €/an                             | 7,453 c€/kWh           |

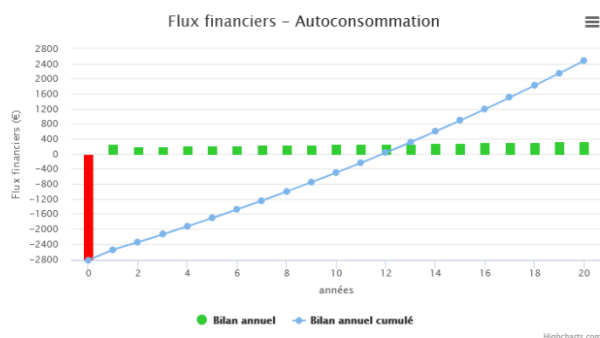
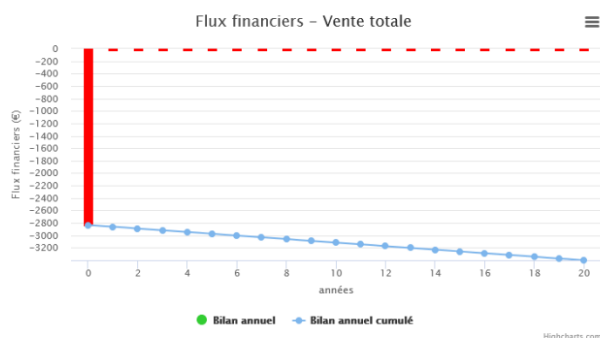


La mise en place d'une installation photovoltaïque est pertinente. Elle est d'autant plus rentable en autoconsommation en présence d'une production de chaleur par pompe à chaleur.

### 1.1.14 Analyse technico économique pour la mise en de 1kWc (6m<sup>2</sup>) de photovoltaïque pour une maison individuelle (orientation +/-10°, inclinaison 30°)

## Résultats

|                                 | Investissement<br>(CAPEX) | Dépenses sur 20<br>ans<br>(OPEX) | Primes &<br>Subventions | Recettes sur 20 ans |           | Facture énergétique<br>moyenne sur 20 ans | Prix de revient LCOE ① |
|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------|-------------------------------------------|------------------------|
|                                 |                           |                                  |                         | Vente               | Économies |                                           |                        |
| Consommateur sans PV            | 0 €                       | 0 €                              | 0 €                     | 0 €                 | 0 €       | 1 381 €/an                                |                        |
| Consommateur - Vente totale     | 2 833 €                   | 567 €                            | 0 €                     | 0 €                 | 0 €       | 1 551 €/an                                | 15,258 c€/kWh          |
| Consommateur - Autoconsommation | 2 833 €                   | 567 €                            | 80 €                    | 36 €                | 5 766 €   | 1 257 €/an                                | 14,899 c€/kWh          |



La mise en place d'une installation photovoltaïque de 1 kWc est pertinente en autoconsommation selon nos hypothèses pour une maison individuelle avec une orientation sud de  $\pm 10^\circ$  et un système thermodynamique pour la production de chauffage et d'ECS. **Attention, la vente totale ne bénéficie plus de tarif de rachat pour les installations en dessous de 9 kWc**

La commune de Noyal Chatillon Sur Seiche possède plusieurs bâtiments (médiathèque, mairie ...) avec des profils d'occupation complémentaires aux logements et ouverts en été. La commune pourrait donc s'inscrire dans une démarche d'autoconsommation collective afin de racheter l'électricité non autoconsommée par les logements à un tarif plus avantageux que le minimum légal et ainsi améliorer la rentabilité des installations de particuliers.