

Envoyé en préfecture le 13/12/2024

Reçu en préfecture le 13/12/2024

Publié le 13/12/2024

ID : 083-248300493-20241210-C\_2024\_301-DE



# Rapport d'impact carbone ZAC des Cadenades



—écoquartier—  
**LES CADENADES**  
L'avenir en développement durable



|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCTION .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1. CARACTERISTIQUES DU SITE .....</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1. Présentation du site .....  | 4         |
| 1.2. Présentation de la zone d'aménagement .....   | 4         |
| 1.3. Rappel des atouts et des contraintes du site vis-à-vis de l'énergie .....             | 6         |
| <b>2. CONTEXTE ENERGETIQUE – REGLEMENTATION.....</b>                                       | <b>7</b>  |
| 2.1. LA REGLEMENTATION ENERGETIQUE RE 2020.....  | 7         |
| a) L'indicateur $I_{c\text{construction}}$ .....   | 8         |
| b) L'indicateur $I_{c\text{énergie}}$ .....  | 9         |
| 2.2. RAPPEL DES DEFINITIONS DES BESOINS .....  | 10        |
| a) Logement type, variables, calcul réglementaire .....                                    | 10        |
| b) Rappel des répartitions des besoins théoriques estimés du projet selon la RE 2020 ..... | 10        |
| <b>3. ANALYSE CARBONE CONSTRUCTION – <math>I_{c\text{construction}}</math>.....</b>        | <b>12</b> |
| <b>4. ANALYSE CARBONE ENERGIE – <math>I_{c\text{énergie}}</math> .....</b>                 | <b>13</b> |
| 4.1. LE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE .....   | 13        |
| 4.2. LE SOLAIRE THERMIQUE .....  | 14        |
| 4.3. LE BOIS ENERGIE .....   | 16        |
| a) Rappel de la consommation .....   | 16        |
| b) Impact carbone.....   | 16        |
| 4.4. LA CHAUDIERE GAZ .....  | 17        |
| 4.5. LA POMPE A CHALEUR (PAC) .....  | 17        |
| 4.6. COMPARAISONS DES EMISSIONS CO2 PAR ENERGIE ET PAR USAGE .....                         | 18        |
| 4.7. EMISSION DE CO2 PAR TYPE DE COMBINAISON SUR 50 ANS .....                              | 19        |
| <b>5. CONCLUSION .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>6. SOMMAIRES DES TABLEAUX ET FIGURES .....</b>  | <b>23</b> |



## INTRODUCTION

Ce document présente l'étude d'impact carbone pour l'opération d'aménagement d'une zone future définie : **ZAC des Cadenades** située sur la commune **du Muy**, dans le Département du **Var (83)**.

Cette étude est liée au rapport d'étude sur le potentiel des énergies renouvelables qui 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 fonctionnements des bâtiments. L'analyse du bilan carbone, au vu de la nouvelle Règlementation Environnementale (RE2020), est effectuée dans cette partie. Le volet carbone nous permet de vérifier les différentes énergies, d'avoir leur impact sur l'effet de serre et de comparer avec les indicateurs réglementaires en phase construction et exploitation.

Les objectifs de l'étude sont les suivants :

- Présentation des indicateurs carbone dans la RE 2020 ;
- Analyser l'impact carbone en phase construction des différents bâtis sur la zone ;
- Analyser l'impact carbone en phase exploitation selon le type d'usage et les différentes énergies envisagées pour le site ;
- Comparer l'impact de chaque énergie entre elles ;
- Comparer divers combinaisons d'énergies possibles sur la zone et regarder leur impact face à l'indicateur énergie en exploitation.

Ce rapport permet d'avoir une base de choix sur diverses énergies, elle ne remplace en aucun cas l'étude RE2020 complète.

# 1. CARACTERISTIQUES DU SITE

## 1.1. Présentation du site

La Ville du Muy, associée à la Communauté d'agglomération Dracénie Provence Verdon, envisage de répondre aux besoins de la population en logements, équipements et espaces publics par l'urbanisation du secteur des Cadenades et de réaliser ainsi une opération d'aménagement d'ensemble mixant différentes typologies urbaines et sociales d'habitat, des équipements publics paysagers mais également un système circulaire viaire et doux.

Le projet est situé à la transition entre la zone d'extension du centre et la zone d'étalement urbain moins dense à l'Ouest du centre-ville du Muy.

La collectivité a décidé que cette opération devait être mise en œuvre sous la forme d'une Zone d'Aménagement Concerté.

La procédure de zone d'aménagement concerté dans le quartier des Cadenades permettra de maîtriser le développement de cet espace, situé en continuité du centre-ville.

L'objectif visé à travers cette procédure sera de réaliser une opération d'aménagement d'ensemble ayant pour vocation de répondre aux besoins en logement de la population et pour enjeu une intégration urbaine, sociale et environnementale forte, par la création d'habitat individuel, intermédiaires et collectifs, et d'espaces publics paysagers. La prise en compte des caractéristiques environnementales et durables sera le fil conducteur de ce projet d'éco quartier.

## 1.2. Présentation de la zone d'aménagement

Nos calculs se basent sur les hypothèses d'aménagement suivantes (qui évolueront probablement à la marge au stade de la réalisation de la ZAC) :

**Superficie totale** : 109 560 m<sup>2</sup> soit environ 11 ha

- **Surface de plancher de logements collectifs** : 9 045 m<sup>2</sup>
- **Surface de plancher de logements intermédiaires** : 18 180 m<sup>2</sup>
- **Surface de plancher de logements individuels** : 6 260 m<sup>2</sup>

**Nombre de logements** : 378 logements

- **Collectifs** (R+2) : 95
- **Intermédiaires** (entre R+1 et R+5) : 217
- **Individuels** (maximum R+1) : 66

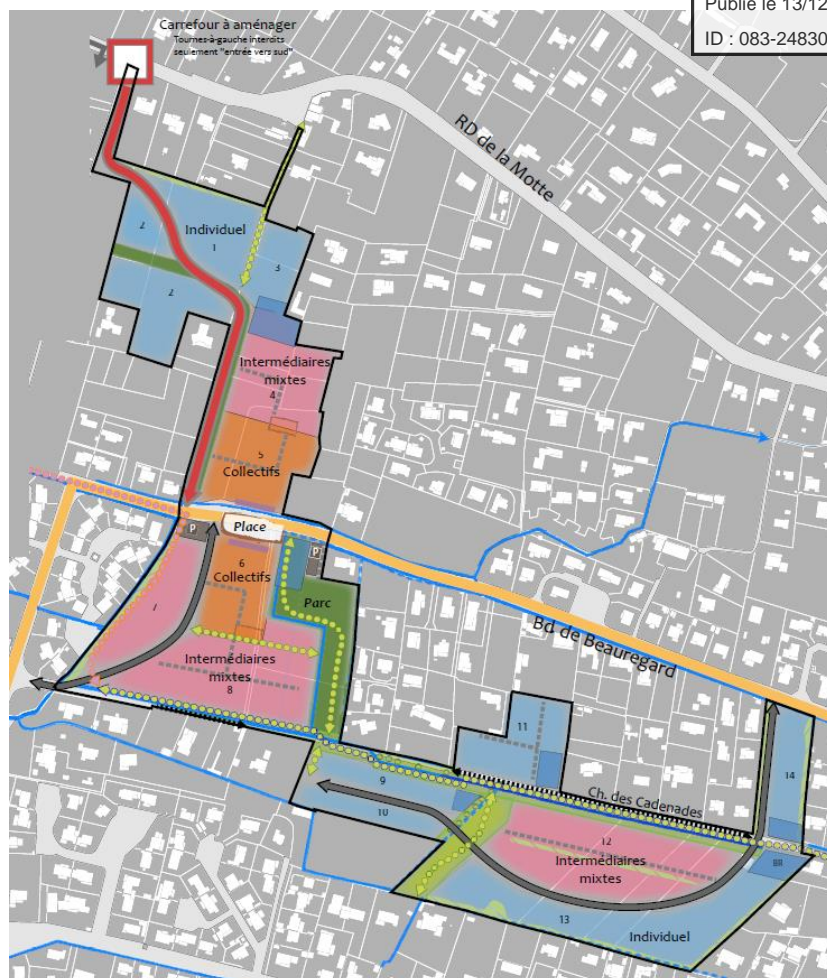


Figure 1 - Découpage en lots et schéma théorique d'implantation des bâtiments

### 1.3. Rappel des atouts et des contraintes l'énergie

| Type d'énergie   | Atouts / Avantages  | Contraintes / Inconvénients   |
|--|---|---|
| <b>Electricité</b><br>Pris en compte dans le calcul carbone                                    | Réseau existant, à réserver aux usages spécifiques  | Faible rendement global, consommation d'énergie primaire importante.<br>Inflation actuelle importante.  |
| <b>Gaz</b><br>Pris en compte dans le calcul carbone  | Réseau existant   | Bilan carbone élevée = problème impact avec la RE2020<br>Inflation actuelle importante.   |
| <b>Bois</b><br>Pris en compte dans le calcul carbone   | Ressource renouvelable.<br>Bon bilan carbone.   | Risque de pollution locale.<br>Contrainte d'approvisionnement, disponibilité de la ressource locale, en raison d'une nécessité de structuration de la filière |
| <b>Solaire photovoltaïque</b><br>Pris en compte dans le calcul carbone                         | Potentiel intéressant, ressource renouvelable, parité réseau permettant le développement de l'autoconsommation, compétences locales | Secteur des ABF à éventuellement considérer   |
| <b>Solaire thermique</b><br>Pris en compte dans le calcul carbone                              | Potentiel intéressant, ressource renouvelable, compétences locales  | Secteur des ABF à éventuellement considérer   |
| <b>Géothermie par nappe (très basse énergie)</b><br>Non pris en compte dans le calcul carbone  | Rendement énergétique bon, adapté pour des petites puissances<br>COP générateur élevés.   | Surcoût forage<br>Peu ou pas de ressources disponibles sur place  |
| <b>Eolien</b><br>Non pris en compte dans le calcul carbone                                     | Non adapté  |   |
| <b>Hydroélectricité (Adduction d'eau potable)</b><br>Non pris en compte dans le calcul carbone | Energies très développées dans la communauté des communes   | Pas de développement de la filière dans le SRCAE  |
| <b>Méthanisation</b><br>Non pris en compte dans le calcul carbone                              | Production d'électricité et de chaleur possible par cogénération  | Peu probable, intérêt limité de par le peu de ressources disponibles sur place  |
| <b>Récupération de chaleur sur eaux usées</b><br>Non pris en compte dans le calcul carbone     | Non adapté<br>Capacité minimale non disponible  |   |

## 2. CONTEXTE ENERGETIQUE – REGLEMENTATION

### 2.1. LA REGLEMENTATION ENERGETIQUE RE 2020

Le bâtiment est une source importante de consommation énergétique et donc de pollution. Les objectifs définis par le protocole de Kyoto, repris par le Grenelle de l'Environnement imposent de maîtriser ces consommations en particulier sur le poste chauffage qui représente en moyenne 65% des consommations dans le bâtiment. C'est pourquoi, depuis 1988 la réglementation thermique impose des niveaux de performance à atteindre lors de la construction de bâtiment. Cette réglementation s'est accentuée ces dernières années avec la mise en place dernièrement de la RE2020.

La philosophie annoncée de la RE2020 tourne autour de 3 grands objectifs :

- Objectif 1 : des bâtiments qui consomment moins et utilisent des énergies moins carbonées – Volet **Energie** avec le besoin bioclimatique, la consommation d'énergie primaire et la consommation d'énergie primaire non renouvelable
- Objectif 2 : ménager une transition progressive vers des constructions bas carbone, misant sur la diversité des modes constructifs et la mixité des matériaux – Volet **Carbone** avec l'impact énergie, l'impact construction
- Objectif 3 : des bâtiments plus agréables en cas de forte chaleur – Volet **Confort d'été** avec le degré-heure d'inconfort

Dans le rapport carbone, nous allons uniquement étudier le volet **Carbone** les indications Ic énergie et Ic construction.

|               |  |   |   |           |
|---------------|--|---|---|-----------|
| Energie       | Bbio<br>[points]   | Besoins bioclimatiques  | Evaluation des besoins de chaud, de froid (que le bâtiment soit climatisé ou pas) et d'éclairage.   | EVOLUTION |
|               | Cep<br>[kWhep/(m².an)]                                     | Consommations d'énergie primaire totale   | Evaluation des consommations d'énergie renouvelable et non renouvelable des 5 usages RT 2012 : chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire, éclairage, ventilation et auxiliaires +  | EVOLUTION |
|               | Cep,nr<br>[kWhep/(m².an)]                                  | Consommations d'énergie primaire non renouvelable   | 1. éclairage et/ou de ventilation des parkings<br>2. éclairage des circulations en collectif<br>3. électricité ascenseurs et/ou escalators  | NOUVEAU   |
|               | Ic <sub>énergie</sub><br>[kg eq. CO <sub>2</sub> /m²]      | Impact sur le changement climatique associé aux consommations d'énergie primaire                        | Introduction de la méthode d'analyse du cycle de vie pour l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des énergies consommées pendant le fonctionnement du bâtiment, soit 50 ans.  | NOUVEAU   |
| Carbone       | Ic <sub>construction</sub><br>[kg eq. CO <sub>2</sub> /m²] | Impact sur le changement climatique associé aux « composants » + « chantier »                           | Généralisation de la méthode d'analyse du cycle de vie pour l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des produits de construction et équipements et leur mise en œuvre : l'impact des contributions « Composants » et « Chantier ». | NOUVEAU   |
| Confort d'été | DH<br>[°C.h]   | Degré-heure d'inconfort : niveau d'inconfort perçu par les occupants sur l'ensemble de la saison chaude | Évaluation des écarts entre température du bâtiment et température de confort (température adaptée en fonction des températures des jours précédents, elle varie entre 26 et 28°C).   | NOUVEAU   |

Figure 2 – Indicateurs de la RE2020 - Source : guide RE 2020

## Volet Carbone : Impact sur le changement climatique

La prise en compte de l'impact en émissions de carbone sur le cycle de vie du bâtiment, de sa fabrication à sa déconstruction, pour une durée de vie de référence égale à 50 ans. Ces impacts sont de deux types : d'une part les émissions de carbone liées aux consommations d'énergie, d'autre part les émissions de carbone des composants (enveloppe et équipements). Ces deux types d'impact peuvent être de niveau de valeur équivalent, ils sont exprimés en kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

- Concernant les impacts carbonés, ils sont de 2 types :
  - Ic construction visant à limiter l'impact carbone durant la construction (complément du Volet Energie).
  - Ic énergie visant à recourir à des énergies peu carbonées.
- Ces impacts sont considérés sur la durée de vie du bâtiment : 50 ans ;
- Ils peuvent être de même niveau selon l'énergie.

Un calcul d'Analyse du Cycle de Vie doit être réalisé avec une méthode dynamique lors de la phase d'études. Les deux indicateurs sont calculés respectivement depuis une valeur max (Icconstruction\_max et Icenergie\_max) avec une modulation comme l'indicateur Cep.

### **a) L'indicateur Ic<sub>construction</sub>**

La réglementation impose le calcul de l'impact carbone construction qui regroupe l'impact carbone des composants et l'impact carbone du chantier.

L'évaluation de l'impact carbone des composants nécessite une ACV (analyse de cycle de vie) du bâtiment, sur la durée de vie de référence du bâtiment (50 ans), pour les produits de construction et les équipements.

Les pistes de diminution de l'impact carbone sont :

- Recourir à un maximum de produits disposant de FDES et PEP ;
- Opter pour des produits issus du réemploi ;
- Concevoir en misant sur la frugalité ;
- Opter de plus en plus pour des produits biosourcés et du gros œuvre bas carbone ;
- Analyser les lots techniques de manière détaillée (ex. les fluides frigorigènes des PAC peuvent avoir un impact conséquent).

Le seuil 2022, Icconstruction peut être respecté pour toutes les solutions constructives à condition de limiter le recours à des données environnementales par défaut.



b) L'indicateur **Ic<sub>énergie</sub>**

Cet impact carbone, qu'on appelle également « émissions de gaz à effet de serre dues aux consommations d'énergie » s'obtient en multipliant, pour chaque type d'énergie, l'énergie consommée par an par son facteur d'émission.

Avec des consommations d'énergie en kWh/m².an et des facteurs d'émissions en kgCO<sub>2</sub>/kWh, on obtient des kg CO<sub>2</sub>/m².an. Les facteurs d'émission sont différents selon le type d'énergie :

| CONTENUS CO <sub>2</sub>          | (KGCO <sub>2</sub> /KWH) |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Gaz                               | 0.227                    |
| Bois granulés/bûches              | 0.03                     |
| Bois plaquettes                   | 0.024                    |
| Réseau chaud                      | Selon réseau             |
| Réseau froid                      | Selon réseau             |
| Electricité chauffage             | 0.079                    |
| Electricité climatisation         | 0.064                    |
| Electricité ECS                   | 0.065                    |
| Electricité éclairage résidentiel | 0.069                    |
| Electricité éclairage tertiaire   | 0.064                    |
| Electricité autres usages         | 0.064                    |

Tableau 1 - Impact carbone de différentes sources énergie

Pour qu'un bâtiment soit réglementaire, les valeurs Cep,nr\_max, Cep\_max et Ic<sub>énergie</sub>\_max doivent être respectées simultanément. Ces 3 valeurs vont impacter le choix des systèmes énergétiques, Cep visant à la mise en place de système performant, Cep,nr visant à promouvoir les énergies renouvelables et Ic<sub>énergie</sub> visant à recourir à des énergies peu carbonées.





|   | kgCO <sub>2</sub> /m².sref.50ans | 2022 à 2024 | 2025 à 2027 | 2028 |
|---|----------------------------------|-------------|-------------|------|
|  | Tous cas                         | 160         | 160         | 160  |
|  | réseau de chaleur urbain         | 560         | 320         | 260  |
|   | autres cas                       | 560         | 260         | 260  |
|  | réseau de chaleur urbain         | 280         | 200         | 200  |
|   | autres cas                       | 200         | 200         | 200  |
|  | réseau de chaleur urbain         | 240         | 200         | 140  |
|   | Autre cas                        | 240         | 140         | 140  |

Tableau 2 – Détails des seuils maximum Ic<sub>énergie</sub>\_max selon le type d'usage en kgéq.CO<sub>2</sub>/m².50 ans

Le tableau précédant montre les niveaux maximums Ic<sub>énergie</sub>\_max à ne pas dépasser selon le type du bâtiment sur 50 ans (phase exploitation du bâtiment). Nous remarquons une diminution de cet indice durant la prochaine décennie.

Quelques informations sur le facteur Ic<sub>énergie</sub> concernant le logement collectif :

En immeuble collectif, le coefficient Ic<sub>énergie</sub> est renforcé à partir de 2025 (dernière étape 2028 pour les réseaux de chaleur pour leur laisser le temps de se verdier).

Entre 2022 et 2025, toutes les solutions d'approvisionnement énergétique respectent les seuils, sous réserve pour certaines solutions de renforcer le niveau d'isolation.

A partir de 2025, les solutions « gaz seul » (chaudières individuelles ou collectives) et réseaux de chaleur carbonés ne pourront pas respecter les seuils et il sera nécessaire de les associer à des solutions moins émettrices en carbone comme des pompes à chaleur.

## 2.2. RAPPEL DES DEFINITIONS DES BESOINS

### a) Logement type, variables, calcul réglementaire

Suite au rapport étude EnR et au niveau de la réglementation énergétique RE2020 en vigueur, nous avons pu établir un état des usages par type de bâtiments sur une base d'hypothèses de données :

| Usage  | Logement collectif |                         | Logement individuel |                       |
|--|--------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| Chauffage  | 48 %               | 27,5 kWhEP/m².an        | 67 %                | 30,2 kWhEP/m².an      |
| Refroidissement  |                    | 10 kWhEP/m².an          |                     | 10 kWhEP/m².an        |
| Eau chaude sanitaire   | 13 %               | 10,2 kWhEP/m².an        | 10 %                | 6 kWhEP/m².an         |
| Electricité spécifique   | 23 %               | 18 kWhEP/m².an          | 23 %                | 13,8 kWhEP/m².an      |
| Communs (ascenseurs + parkings + éclairages des parties communes) <sup>1</sup> | 16 %               | 13,3 kWhEP/m².an        | Néant               |                       |
| <b>TOTAL</b>   | <b>100 %</b>       | <b>78,2 kWhEP/m².an</b> | <b>100 %</b>        | <b>60 kWhEP/m².an</b> |

Tableau 3 – Répartitions de la consommation de chaque usage

Ces résultats ne prennent pas en compte d'usage particulier mais permet d'avoir une moyenne selon l'usage global en France métropolitaine.

### b) Rappel des répartitions des besoins théoriques estimés du projet selon la RE 2020

Les réflexions précédentes mènent aux répartitions de consommation moyenne suivante.

| Type de bâtiment    | Surface de plancher | CEP Max (kWhEP/m².an) | Consommation cible totale (MWhEP) | Consommation cible chauffage (MWhEP) | Consommation cible refroidissement (MWhEP) | Consommation cible ECS (MWhEP) | Consommation cible électricité spécifique (MWhEP) | Consommation cible communs (MWhEP) |
|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|---|------------------------------------|
| Logement collectif  | 19 832              | 78,2                  | 1 545,5                           | 544,2                                | 60,2                                       | 200,9                          | 355,5   | 247                                |
| Logement individuel | 5 947               | 60                    | 360,9                             | 181,7                                | 197,6                                      | 36,1                           | 81,2  | 0                                  |
| <b>TOTAL</b>        | <b>25 779</b>       | <b>-</b>              | <b>1906,4</b>                     | <b>983,7</b>                         | <b>257,8</b>                               | <b>237</b>                     | <b>438,5</b>                                      | <b>247</b>                         |

Tableau 4 – Tableau récapitulatif des besoins énergétiques théoriques pour le projet avec un CEP fixe selon RE2020

<sup>1</sup> Hypothèses : 1000 kWh/Igt chaque année = consommation des parties commune en France (inclus parkings souterrains) - Source : iDEMU - Economies d'électricité dans les parties communes des logements collectifs

Selon le programme d'aménagement et en considérant les exigences de la RE 2020, les besoins pour l'ensemble du site et toute énergie confondue devraient être d'environ **1 545,5 MWh<sub>EP</sub>/an** pour les logements collectifs et de **360,9 MWh<sub>EP</sub>/an** pour les logements individuels soit au total **25 779 MWh<sub>EP</sub>/an**.

**Nota :** Il est important de rappeler que ces besoins ne doivent être considérés que comme une hypothèse de calcul pour cette étude, les besoins pouvant varier de manière importante en fonction des principes constructifs retenus et des modes d'usages.

Ils ne tiennent par ailleurs pas compte des consommations en électricité spécifique telles que l'électroménager, l'informatique, ...

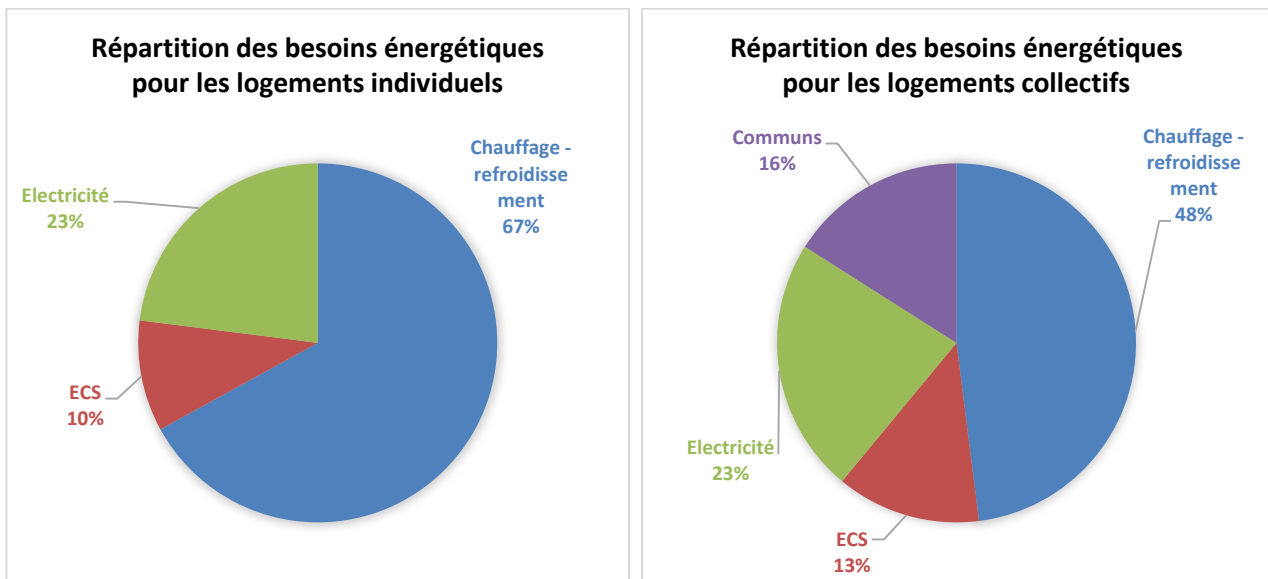


Figure 3 : Répartition des consommations en EP entre besoin d'électricité et de chaleur/froid avec production ECS avec électricité

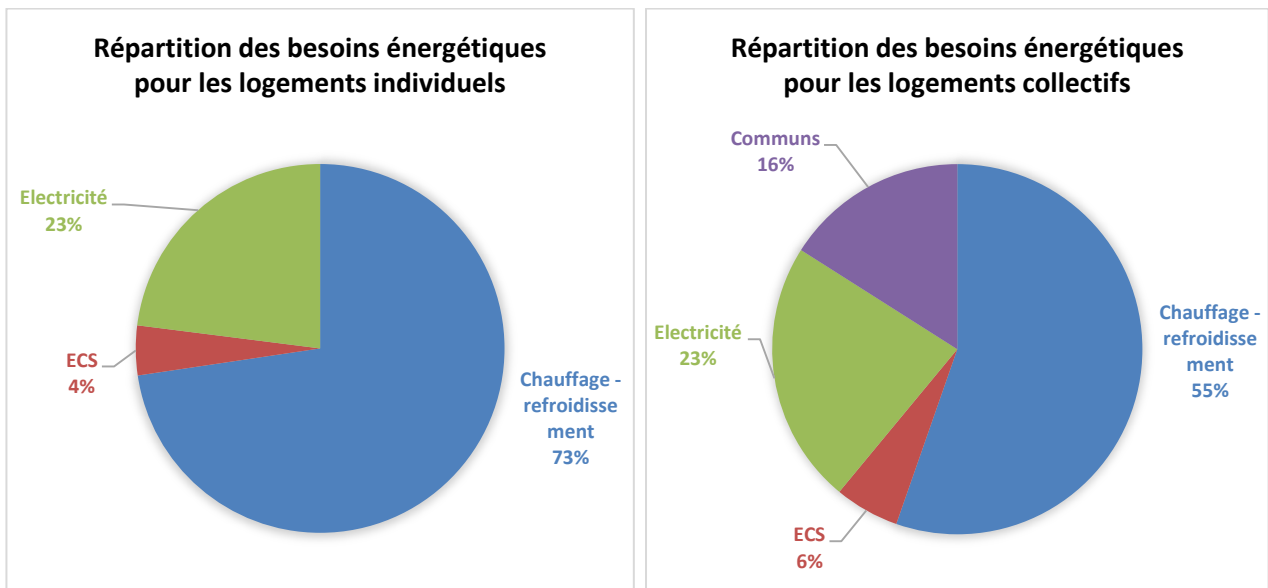


Figure 4 : Répartition des consommations en EP entre besoin d'électricité et de chaleur/froid avec production ECS sans électricité

### 3. ANALYSE CARBONE CONSTRUCTION – IC<sub>CONSTRUCTION</sub>

La détermination de cet indicateur se fait par le biais de modulation et de calcul depuis l'indice *lcconstruction\_max*. Cette donnée est calculé de façon d'indicatif, lors du calcul RE2020, il devra être effectué selon l'usage et le type de construction et des matériaux choisi.

L'évaluation de l'impact carbone des composants nécessite une ACV (analyse de cycle de vie) du bâtiment, sur la durée de vie de référence du bâtiment (50 ans), pour les produits de construction et les équipements.

|   | 2022 à 2024 | 2025 à 2027 | 2028 à 2030 | > 2031 |
|---|-------------|-------------|-------------|--------|
|  | 640         | 530         | 475         | 415    |
|  | 740         | 650         | 580         | 490    |
|  | 980         | 810         | 710         | 600    |
|  | 900         | 770         | 680         | 590    |

Tableau 5 - Détail des seuils maximum *lcconstruction\_max* selon le type d'usage en kg éq.CO2/m².50 ans

Or, nous n'avons aucune indication concernant le type de matériaux envisagé pour la construction des divers bâtiments. Nous prenons comme hypothèse que la construction se fera avant 2027 donc l'indication *lcconstruction\_max* selon le type de bâtiment :

| Type de bâtiment    | Icconstruction_max (en kgCO2/m²) |             |
|---------------------|----------------------------------|-------------|
|                     | Jusqu'à 2024                     | 2024 - 2027 |
| Bâtiment individuel | 640                              | 530         |
| Bâtiment collectif  | 740                              | 650         |

Tableau 6 – Indication des exigences de l'indice *lcconstruction* maximale pour la phase construction

| Type de bâtiment    | Impact carbone maximale en tonnes CO2 |             |
|---------------------|---------------------------------------|-------------|
|                     | Jusqu'à 2024                          | 2024 - 2027 |
| Bâtiment individuel | 3849                                  | 3187        |
| Bâtiment collectif  | 14625                                 | 12846       |
| TOTAL               | 18474                                 | 16034       |

Tableau 7 - Impact carbone maximale pour l'ensemble de la zone d'aménagement (bâtiments uniquement)

L'impact des travaux de construction ne devra pas dépasser :

- **18 474 tonnes** si la construction s'effectue avant 2024
- **16 034 tonnes** si la construction s'effectue entre 2024 et 2027



## 4. ANALYSE CARBONE ENERGIE – IC<sub>ENERGIE</sub>

### 4.1. LE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE

Les modules photovoltaïques transforment directement le rayonnement solaire en électricité, sans pièce en mouvement. Le courant continu produit par les modules photovoltaïques est transformé en courant alternatif via l'onduleur (convertisseur de type électronique de puissance).

Ce courant alternatif peut être directement consommé par les équipements électriques du bâtiment ou être injecté sur le réseau électrique de distribution publique afin d'être valorisé dans les meilleures conditions économiques par le biais d'un contrat d'achat d'électricité photovoltaïque.

L'analyse globale et générale du solaire photovoltaïque est donnée dans le rapport Etude EnR.

#### RE2020 et l'impact carbone des consommations d'énergie (Ic énergie)

Cet impact carbone, qu'on appelle également « émissions de gaz à effet de serre dues aux consommations d'énergie » s'obtient en multipliant, pour chaque type d'énergie, l'énergie consommée par an par son facteur d'émission.

Nous estimons que l'énergie produite par le solaire photovoltaïque servira pour les usages suivants :

- ECS
- Refroidissement
- Electricité spécifique (ventilation et auxiliaires, éclairage)
- Communs

Pour simplifier le calcul impact, le poste chauffage et ECS ne sont pas pris en compte, nous partons du principe que ces solutions sont produites à base d'autres énergies renouvelables.

|              | Consommation<br>cible<br>refroidissement<br>(MWh <sub>EP</sub> ) | Consommation<br>cible ECS<br>(MWh <sub>EP</sub> ) | Consommation<br>cible<br>electricité<br>(MWh <sub>EP</sub> ) | Consommation<br>cible communs<br>(MWh <sub>EP</sub> ) |
|--------------|--|---|--|---|
|              | 258  | 237   | 438  | 247   |
| <b>TOTAL</b> | 1 181 MWh <sub>EP</sub>  |   |  |   |

**Tableau 8 - Tableau de répartition des consommations selon les usages par électricité**

Dans la RE2020, l'impact carbone de l'énergie électrique dépend de son utilisation. En effet, les facteurs d'émissions (exprimé en kgCO<sub>2</sub>/kWh) diffèrent selon le type d'énergie utilisé :

- Electricité ECS : 0,065
- Electricité climatisation : 0,064
- Electricité autres usages : 0,064

Pour simplification, nous prenons le cas le plus défavorable soit le facteur d'émission ECS.

## Le photovoltaïque sur la zone d'aménagement

Dans le cas de la ZAC, le solaire photovoltaïque peut s'envisager sur les toitures des bâtiments. Ces données et hypothèses ont été calculées dans le rapport EnR :

|              | Surface PV      | Puissance PV     | Production PV       |
|--------------|-----------------|------------------|---------------------|
| <b>TOTAL</b> | <b>6 784 m²</b> | <b>678,4 kWc</b> | <b>1 020 MWh/an</b> |

**Tableau 9 – Potentiel photovoltaïque des futures toitures de la zone d'aménagement**

Nous pouvons compenser 86% de l'énergie électrique grâce à la production photovoltaïque, le reste devra être importé du réseau ENEDIS.<sup>2</sup>

Pour rappel, une partie de la consommation doit être d'origine renouvelable (Cepnr vs Cep), ce critère est validée (production PV = 1 020 MWh > 369 MWhEP = consommation d'origine renouvelable).

Suite à l'estimation des consommations évitées et les facteurs d'émissions, nous allons calculer l'impact carbone évité par l'importation d'électricité extérieur grâce au solaire photovoltaïque :

| Impact carbone évité par le solaire photovoltaïque (tonnes CO <sub>2</sub> ) |
|--|
| <b>66</b>  |

**Tableau 10 - Tableau d'impact carbone évité par l'importation d'électricité par le solaire photovoltaïque**

La production par le solaire photovoltaïque nous permet d'économiser **66 tonnes de CO<sub>2</sub> par an**. Ceci correspond à **3 300 tonnes de CO<sub>2</sub> sur 50 ans**.

## 4.2. LE SOLAIRE THERMIQUE

Le solaire thermique est dimensionnée de telle manière que les panneaux puissent couvrir entre 40 et 60 % de la demande en annuelle en ECS. L'analyse globale et générale du solaire photovoltaïque est donnée le rapport Etude EnR. Les calculs des consommations sont également repris dans le rapport EnR.

| Type de bâtiment      | Surface de toiture | Consommation cible ECS (MWh <sub>EF</sub> ) |
|-----------------------|--------------------|---|
| Logements individuels | 27 136 m²          | 36,1 MWh <sub>EF</sub> /an                  |
| Logements collectifs  |                    | 200,9 MWh <sub>EF</sub> /an                 |

**Tableau 11 – Tableau récapitulatif pour l'intégration de solaire thermique sur le projet – besoins en ECS hors bouclage**

Ce sont donc environ **237 MWh<sub>EF</sub>/an** de besoins en ECS qui seraient concernés par ce paragraphe selon la RE 2020.

L'installation envisagée était d'environ 760 m² de capteurs solaires thermiques – soit environ 2 m² par logement (orientation Sud et inclinaison de 35°).

<sup>2</sup> Cette compensation est une estimation, elle ne prend pas en compte l'autoconsommation et l'énergie prise du réseau. Une étude plus détaillée d'autoconsommation peut être envisagée.

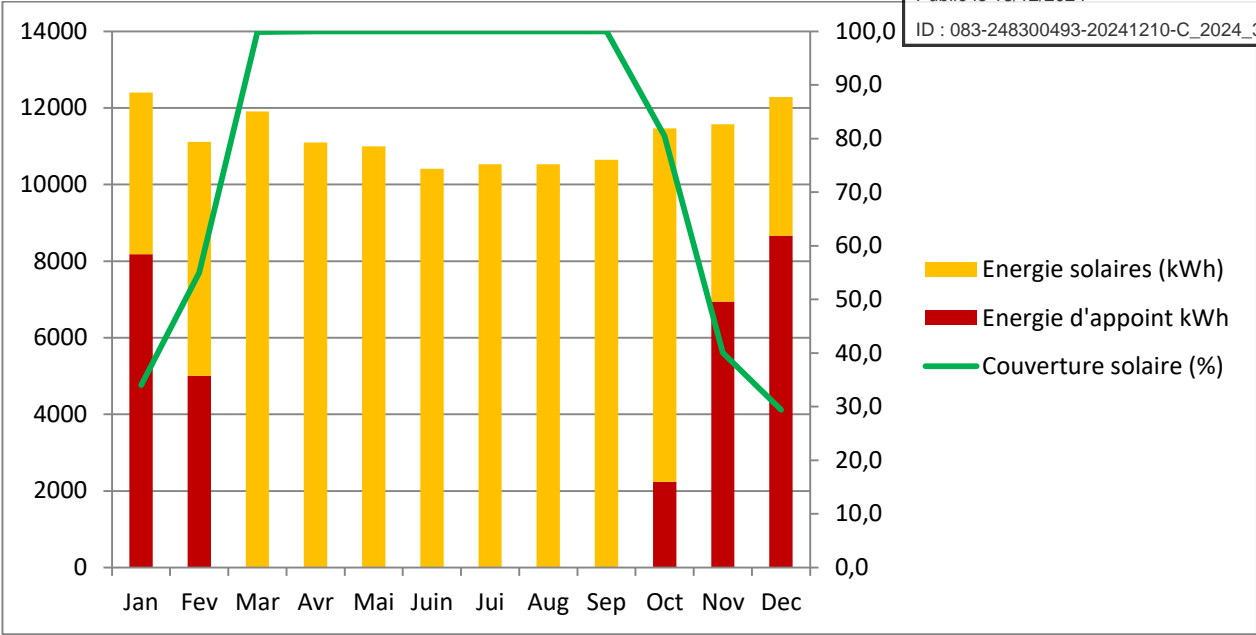


Figure 5 – Représentation graphique des quantités d'énergie mises en jeu et de la couverture solaire du système – source calsol

Grâce aux différentes hypothèses établies dans le rapport EnR et données saisies sur calsol, nous pouvons déterminer l'impact carbone évité avec le solaire thermique en comparaison à une production ECS par électricité pur :

| Type de bâtiment      | Besoins (MWh <sub>EP</sub> ) | Energie solaire (MWh <sub>EP</sub> ) | Impact carbone évité (tonnes CO <sub>2</sub> ) |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|
| Logements individuels | 36                           | 104                                  | 7  |
| Logements collectifs  | 201                          |                                      |  |
| <b>TOTAL</b>          | <b>237</b>                   |                                      |  |

Tableau 12 - Tableau récapitulatif d'impact carbone évité par le solaire thermique

La production par le solaire thermique nous permet d'économiser **environ 7 tonnes de CO2 par an**. Ceci correspond **à 350 tonnes de CO2 sur 50 ans**.

### 4.3. LE BOIS ENERGIE

Le bois est la première source d'énergie renouvelable utilisée en France, où la ressource est présente en quantité. Le bois énergie est donc appelé à contribuer largement aux objectifs énergétiques et climatiques français.

Au-delà de sa contribution au développement des énergies renouvelables, la biomasse énergie, et principalement l'utilisation du bois, présente plusieurs avantages :

- Elle constitue une ressource abondante et locale : le taux de prélèvement de bois ne représente actuellement qu'environ la moitié de l'accroissement naturel de la forêt en France ;
- Elle émet peu de CO<sub>2</sub> par rapport aux énergies fossiles ;
- Elle est compétitive : pour le particulier, le prix du bois bûche est en moyenne deux fois moins cher que le gaz naturel et près de trois fois moins cher que le fioul ;
- Elle implique des acteurs locaux, et donc impulse une dynamique territoriale.

#### a) Rappel de la consommation

Pour déterminer la consommation de bois, nous prenons les résultats des consommations ECS et chauffage de l'analyse des besoins faite précédemment et dans le rapport Etude EnR.

| Type de bâtiment                                   | Surface de plancher   | Consommation cible ECS (MWh <sub>EP</sub> ) | Consommation cible chauffage (MWh <sub>EP</sub> ) |
|--|-----------------------|---|---|
| Logements individuels                              | 5 947 m <sup>2</sup>  | 36,1 MWh/an                                 | 181,7 MWh/an                                      |
| Logements collectifs (collectifs + intermédiaires) | 19 832 m <sup>2</sup> | 200,9 MWh/an                                | 544,2 MWh/an                                      |

➤ Soit au total une consommation de **962 MWh<sub>EP</sub>** pour tout le site.

#### b) Impact carbone

Grâce aux différentes hypothèses établies dans le rapport EnR, des consommations précédentes, nous pouvons déterminer l'impact carbone chauffage + ECS avec le bois énergie :

| Type de bâtiment      | Consommation cible ECS (MWh <sub>EP</sub> ) | Consommation cible chauffage (MWh <sub>EP</sub> ) | Impact carbone (tonnes CO <sub>2</sub> ) |
|-----------------------|---|---|--|
| Logements individuels | 36  | 182   | 5  |
| Logements collectifs  | 201   | 544   | 18                                       |
| <b>TOTAL</b>          | <b>237</b>                                  | <b>726</b>  | <b>23</b>                                |

Tableau 13 - Tableau récapitulatif d'impact carbone avec de l'énergie bois

L'impact carbone de la production de chauffage et ECS par l'énergie bois émet **environ 23 tonnes de CO<sub>2</sub> par an**. Ceci correspond à **1 150 tonnes de CO<sub>2</sub> sur 50 ans**.



#### 4.4. LA CHAUDIERE GAZ

Le réseau de gaz naturel est présent à proximité de la zone. Bien que Le gaz naturel soit une énergie de plus en plus utilisée puisqu'elle est maintenant facile d'accès, non encombrante, sans contrainte d'odeur, etc. son usage dans le cadre du projet peut être envisagé.

Il n'a pas été traité dans le rapport énergie mais sera traité au niveau carbone pour le comparer à d'autres énergies. Pour rappel, la consommation totale pour la zone d'aménagement est de **962 MWhEP** en chauffage et ECS.

| Type de bâtiment      | Consommation cible ECS (MWhEP) | Consommation cible chauffage (MWhEP) | Impact carbone (tonnes CO2) |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Logements individuels | 36                             | 182                                  | 49                          |
| Logements collectifs  | 201                            | 544                                  | 169                         |
| TOTAL                 | 237                            | 726                                  | 219                         |

Tableau 14 - Tableau récapitulatif d'impact carbone avec de l'énergie gaz

L'impact carbone de la production de chauffage et ECS par l'énergie gaz est de **219 tonnes de CO2 par an**. Ceci correspond à **10 950 tonnes de CO2 sur 50 ans**.

#### 4.5. LA POMPE A CHALEUR (PAC)

Même si cette solution n'est pas traite dans le rapport EnR, elle reste une bonne alternative. En effet, les pompes à chaleur sont de bonnes alternatives pour diminuer la consommation en énergie primaire électricité qui est égal à 2.3. Pour rappel, la différence entre énergie primaire et énergie finale :

**Nota :** EP = Énergie Primaire et EF = Énergie Finale

$$1 \text{ kWhEF} \leftrightarrow 2,3 \text{ kWhEP}$$

pour l'électricité

$$1 \text{ kWhEF} \leftrightarrow 1 \text{ kWhEP}$$

pour les autres énergies (gaz, réseaux de chaleur, bois, etc.)

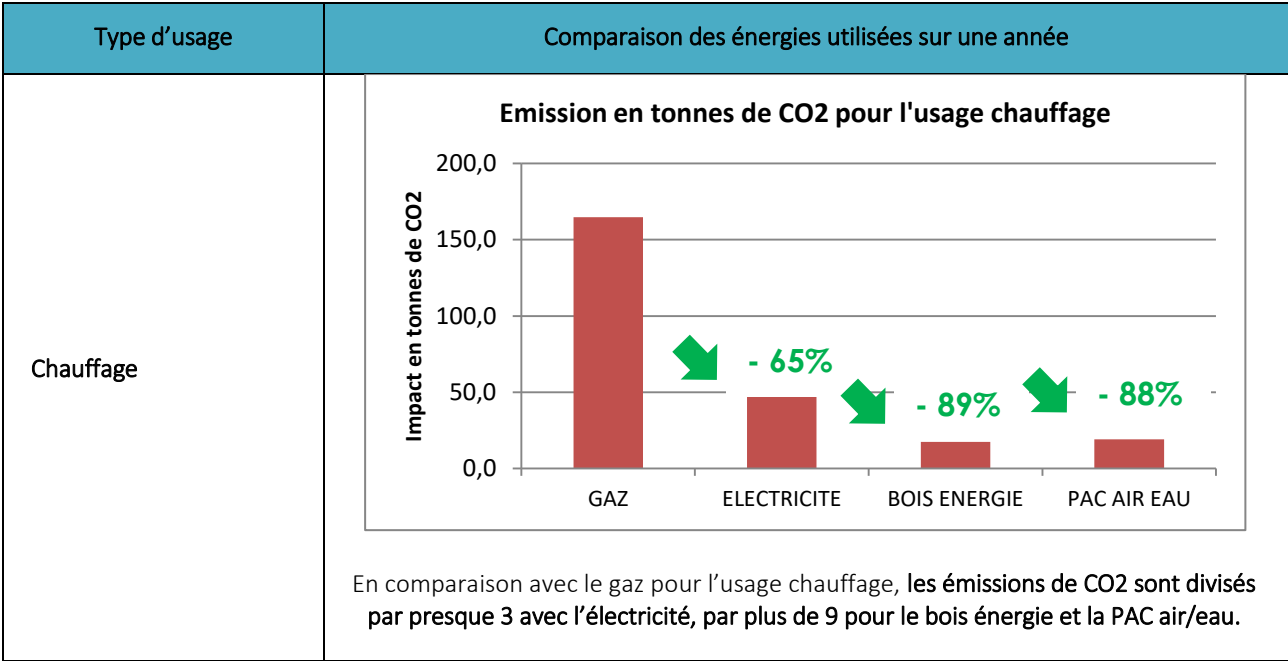
Pour compenser l'impact carbone par rapport à l'électricité, il faut donc au minima un COP à 2.3 sur la solution PAC. Pour nos calculs, nous prenons une PAC de type air/eau. Il est possible d'avoir une PAC double service de type : réversible (chauffage et refroidissement) ou chauffage et ECS. Nous allons étudier les deux solutions :

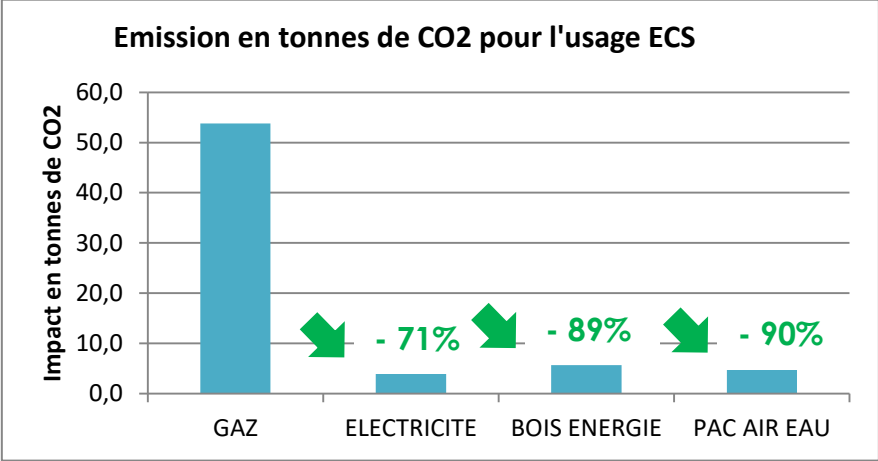
| PAC chauffage et refroidissement |   |   |  | PAC chauffage et ECS  |   |   |  |
|----------------------------------|---|---|--|-----------------------|---|---|--|
| Type de bâtiment                 | Consommation cible chauffage (MWh <sub>EP</sub> ) | Consommation cible refroidissement (MWh <sub>EP</sub> ) | Impact carbone (tonnes CO <sub>2</sub> ) | Type de bâtiment      | Consommation cible chauffage (MWh <sub>EP</sub> ) | Consommation cible ECS (MWh <sub>EP</sub> ) | Impact carbone (tonnes CO <sub>2</sub> ) |
| Logements individuels            | 182   | 60  | 6  | Logements individuels | 182   | 36  | 6  |
| Logements collectifs             | 544   | 198   | 19                                       | Logements collectifs  | 544   | 201   | 19                                       |
| TOTAL                            | 726   | 258   | 25                                       | TOTAL                 | 726   | 237   | 24                                       |

Tableau 15 – Tableau récapitulatif d'impact carbone avec deux types de PAC

L'impact carbone de la production par une PAC double service est de **24 à 25 tonnes de CO2 par an**. Ceci correspond à **1 200 à 1 250 tonnes de CO2 sur 50 ans**.

#### 4.6. COMPARAISONS DES EMISSIONS CO2 PAR ENERGIE ET PAR USAGE



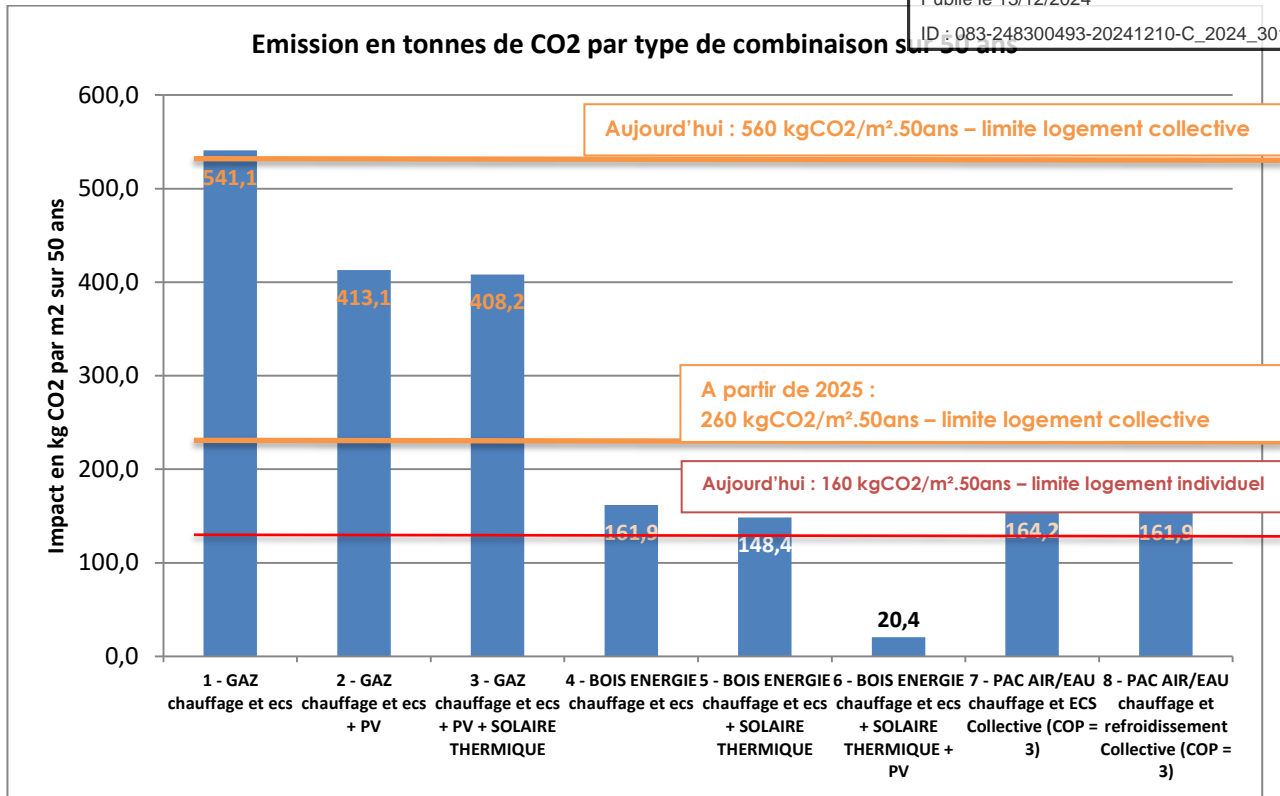
|   |   |
|---|---|
| Eau Chaude Sanitaire  | <div> <div> <div> Emission en tonnes de CO2 pour l'usage ECS </div>  </div> <div> <p>Impact en tonnes de CO2</p> <p>60,0<br/>50,0<br/>40,0<br/>30,0<br/>20,0<br/>10,0<br/>0,0</p> <p>GAZ ELECTRICITE BOIS ENERGIE PAC AIR EAU</p> <p>- 71% - 89% - 90%</p> </div> </div> <div> <p>En comparaison avec le gaz pour l'usage ECS, les émissions de CO2 sont divisés par plus de 3 avec l'électricité, par plus de 9 pour le bois énergie et la PAC air/eau.</p> </div> |
| Refroidissement   | Compensation possible avec le solaire photovoltaïque ou PAC (division par 2.3 minimum de l'impact carbone)  |
| Electricité spécifique  | <p>Seulement électricité</p> <p>Compensation possible avec le solaire photovoltaïque</p>  |
| Communs (ascenseurs + parkings + éclairages des parties communes) | <p>Seulement électricité</p> <p>Compensation possible avec le solaire photovoltaïque</p>  |

#### 4.7. EMISSION DE CO2 PAR TYPE DE COMBINAISON SUR 50 ANS

Plusieurs combinaisons solutions techniques d'énergie ont été effectuées appropriées pour chauffer un bâtiment « RE2020 ».

- 1- Chaudière gaz production de chauffage et ECS
- 2- Chaudière gaz production de chauffage et ECS + production photovoltaïque
- 3- Chaudière gaz production de chauffage et ECS avec couplage solaire thermique + production photovoltaïque
- 4- Chaudière bois énergie production de chauffage et ECS
- 5- Chaudière bois énergie production de chauffage et ECS avec couplage solaire thermique
- 6- Chaudière bois énergie production de chauffage et ECS avec couplage solaire thermique + production photovoltaïque
- 7- PAC air/eau chauffage et ECS collective avec un COP de 3 minimum
- 8- PAC air/eau chauffage et refroidissement avec un COP de 3 minimum

Ces combinaisons permettent de les comparer entre elles au niveau impact carbone et avec les limites de l'indicateur Icenergie\_max. La figure suivante est un exemple parmi tant d'autres de couplage d'énergie :



**Figure 6 – Comparaison des systèmes envisageables et la limite de l'indice énergie par années**

Le couplage entre les différentes énergies, surtout celle de l'énergie gaz, est primordial dans les logements collectifs et individuels. En revanche, il est possible d'envisager une solution de PAC air/eau ou air/air. Ici, nous avons pris un exemple avec un coefficient de performance de 3, elle permet une division énorme en électricité et donc en impact carbone.

Nous remarquons également que le chauffage et production ECS au gaz ne sera plus possible seul dans quelques années. Les énergies renouvelables (biomasse, solaire thermique, photovoltaïque, ...) et de type PAC sont avantageées.

Un réseau de chaleur peut être envisagé avec une chaufferie biomasse dans les logements collectifs principalement. La limite est atteinte pour les logements individuels : le couplage avec une autre énergie est primordiale (solaire thermique ou photovoltaïque).

Les PAC en logements collectifs par bâtiment ou de groupe de bâtiments peuvent être de deux types : chauffage et ECS, chauffage et rafraîchissement.

Les PAC en logements individuels peuvent être également utilisées et sont également performantes au niveau impact carbone, la solution chauffage et ECS peut être avantageuse. Elle peut être couplée avec un système photovoltaïque pour être conforme avec la limite.

Les systèmes énergétiques qui sont éligibles à la RE2020 ouvrent sur un large panel de solutions EnR et bas carbone dès cette année en logement collectif ou individuel : la PAC air/eau, la PAC air/air individuelle associée à un chauffe-eau thermodynamique individuel (CET), les réseaux de chaleur vertueux (>50 % d'EnR), le bois-énergie ou le solaire thermique.



## 5. CONCLUSION

L'étude EnR et carbone a montré que les énergies renouvelables ayant le plus fort potentiel sur la zone sont :

- La production d'électricité photovoltaïque dont les coûts d'investissement ont beaucoup diminué ces dernières années en fait une solution intéressante tant sur le renouvelable que sur le carbone. Suite au contexte actuel de l'augmentation des coûts de l'énergie; il est envisageable d'utiliser cette solution.
- La mise en œuvre d'une chaufferie bois peut être une option intéressante surtout sur le plan carbone mais qui s'inscrit également dans une stratégie de réduction des gaz à effet de serre. Il peut être organisé par type de bâtiment ou avec le développement d'une chaufferie centrale, d'un réseau de chaleur et de sous-station.
- La production d'ECS par solaire thermique peut être une bonne initiative pour un coût d'investissement moins élevé. Elle peut être installée en corrélation avec les panneaux photovoltaïques pour avoir une énergie appoint locale si nous sommes en dehors de la couverture des 85%.
- La solution de PAC double service peut être envisagée et couplée avec des panneaux photovoltaïques ou du solaire thermique. Cette solution permet de diminuer l'impact carbone et la consommation en énergie primaire au niveau chauffage et refroidissement ou chauffage et ECS (selon choix du double service).

Pour la solution PAC, il faut ajouter un point d'importance sur la phase construction : avec les fluides frigorigènes, une attention particulière doit être faite sur son choix, certains ont un indice des fluides sont dotés d'un fort PRG (Potentiel de Réchauffement Global) – ou en anglais GWP (Global Warming Potential). Aujourd'hui, certains de ces fluides sont interdits mais jouer sur un PRG très faible peut diminuer l'indice de construction.

Pour rappel, les objectifs de développement du SRCAE de la région PACA sont fournis ci-dessous :

| Production                                   | [GWh/an]                                     | 2020  | 2030  | 2050  |
|--|--|-------|-------|-------|
| Production de chaleur                        | Bois-énergie                                 | 5200  | 5600  | 6900  |
|  | dont exploitation forestière régionale       | 610   | 1 030 | 1886  |
|  | Biomasse agricole                            | 230   | 660   | 1 300 |
|  | Chaleur sur réseaux d'assainissement         | 490   | 1 200 | 2 500 |
|  | Thalassothermie                              | 50    | 420   | 1 300 |
|  | Aérothermie                                  | 1 400 | 2 200 | 4 100 |
|  | Solaire thermique                            | 620   | 1 400 | 2 500 |
|  | Géothermie                                   | 270   | 550   | 3 100 |
| Chaleur et électricité                       | Biogaz produit par méthanisation des déchets | 550   | 1100  | 4 000 |
| Production électrique                        | Photovoltaïque sur bâtiment                  | 1 380 | 2 680 | 4 900 |
|  | Photovoltaïque au sol                        | 1 380 | 2 600 | 4 700 |
|  | Grande hydraulique                           | 9 000 | 9 300 | 9 300 |
|  | Petite hydraulique                           | 1 100 | 1 200 | 1 200 |
|  | Éolien terrestre                             | 1 300 | 2 860 | 4 000 |
|  | Éolien offshore flottant                     | 260   | 1560  | 6 700 |
|  | Production totale                            | 22906 | 33330 | 56500 |
| Taux de couverture de la consommation finale |  | 20%   | 30%   | 67%   |

| Les objectifs de développement des énergies renouvelables  |                                     |              |      |      |
|--|-------------------------------------|--------------|------|------|
| Puissance [MW]   |                                     | 2013         | 2020 | 2030 |
| Production de chaleur  | Bois énergie                        |              | 2600 | 2800 |
|  | Biomasse agricole                   | ND           | 110  | 330  |
|  | Chaleur sur réseau d'assainissement | ND           | 110  | 270  |
|  | Thalassothermie                     | 5            | 17   | 115  |
|  | Aérothermie                         | ND           | 1400 | 2200 |
|  | Solaire thermique                   | 2007 : 66,57 | 1200 | 2800 |
|  | Géothermie                          |              | 200  | 400  |
| Production d'électricité   | Photovoltaïque sur bâti             |              | 900  | 1900 |
|  | Photovoltaïque au sol               | 2012 : 241   | 920  | 1900 |
|  | Grande hydroélectricité             | 3509         | 3500 | 3600 |
|  | Petite hydroélectricité             | 132          | 250  | 270  |
|  | Eolien                              | 45           | 545  | 1245 |
| Mobilisation de l'ensemble des filières renouvelables sur lesquelles un potentiel a été identifié et évalué en PACA en tenant compte des forts enjeux environnementaux et paysagers et des contraintes techniques. |                                     |              |      |      |

Il apparait que les taux de croissances visés à l'horizon 2030 par rapport à 2020 sont d'un facteur 2.3 pour le solaire thermique, facteur 2.1 pour le photovoltaïque, facteur 2 pour la géothermie et 1.1 pour le bois énergie.

Ainsi dans une volonté de diversification des ressources renouvelables du territoire et de respect des objectifs du Schéma Régional Climat Air Energie, le développement d'une chaudière bois peut s'avérer être une solution intéressante et le couplage avec les ressources solaires tout à fait pertinent dans le cadre de ce projet d'aménagement.

## 6. SOMMAIRES DES TABLEAUX ET FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 - Impact carbone de différentes sources énergie.....   | 9  |
| Tableau 2 – Détails des seuils maximum $I_{c\text{énergie\_max}}$ selon le type d'usage en $\text{kg}_{\text{eq.CO2}}/\text{m}^2.50 \text{ ans}$ .....     | 9  |
| Tableau 3 – Répartitions de la consommation de chaque usage .....  | 10 |
| Tableau 4 – Tableau récapitulatif des besoins énergétiques théoriques pour le projet avec un CEP fixe selon RE2020 .....                                   | 10 |
| Tableau 5 - Détail des seuils maximum $I_{c\text{construction\_max}}$ selon le type d'usage en $\text{kg}_{\text{eq.CO2}}/\text{m}^2.50 \text{ ans}$ ..... | 12 |
| Tableau 6 – Indication des exigences de l'indice $I_{c\text{construction}}$ maximale pour la phase construction.....                                       | 12 |
| Tableau 7 - Impact carbone maximale pour l'ensemble de la zone d'aménagement (bâtiments uniquement) .....  | 12 |
| Tableau 8 - Tableau de répartition des consommations selon les usages par électricité .....  | 13 |
| Tableau 9 – Potentiel photovoltaïque des futures toitures de la zone d'aménagement .....   | 14 |
| Tableau 10 - Tableau d'impact carbone évité par l'importation d'électricité par le solaire photovoltaïque .....  | 14 |
| Tableau 11 – Tableau récapitulatif pour l'intégration de solaire thermique sur le projet – besoins en ECS hors bouclage .....                              | 14 |
| Tableau 12 - Tableau récapitulatif d'impact carbone évité par le solaire thermique .....   | 15 |
| Tableau 13 - Tableau récapitulatif d'impact carbone avec de l'énergie bois .....   | 16 |
| Tableau 14 - Tableau récapitulatif d'impact carbone avec de l'énergie gaz .....  | 17 |
| Tableau 15 – Tableau récapitulatif d'impact carbone avec deux types de PAC .....   | 18 |
|  |    |
| Figure 1 - Découpage en lots et schéma théorique d'implantation des bâtiments .....  | 5  |
| Figure 2 – Indicateurs de la RE2020 - Source : guide RE 2020 .....   | 7  |
| Figure 3 : Répartition des consommations en EP entre besoin d'électricité et de chaleur/froid avec production ECS avec électricité .....                   | 11 |
| Figure 4 : Répartition des consommations en EP entre besoin d'électricité et de chaleur/froid avec production ECS sans électricité .....                   | 11 |
| Figure 5 – Représentation graphique des quantités d'énergie mises en jeu et de la couverture solaire du système – source calsol.....                       | 15 |
| Figure 6 – Comparaison des systèmes envisageables et la limite de l'indice énergie par années ..   | 20 |