

# Étude sur le potentiel de développement des énergies renouvelables et de création d'un réseau de chaleur ou de froid

## Projet de création de la ZAC de la Dolomède Commune de Moulth-Chicheboville (14)



*Vue aérienne de la zone ciblée pour la création  
de la ZAC de la Dolomède à Moulth-Chicheboville (14).*  
*Source : Géoportail – Atelier LD*

*En application de l'article L300-1 du code de l'urbanisme*

Rapport d'étude – novembre 2024 – version provisoire

## Sommaire

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>1. CONTEXTE ET PRÉSENTATION DE L'OPÉRATION .....</b>	<b>4</b>
1.1. Cadre légal .....	4
1.2. Situation géographique et milieu physique.....	4
1.3. Projet d'aménagement .....	8
<b>2. ÉVALUATION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES .....</b>	<b>9</b>
2.1. Comparaison du prix des énergies .....	9
2.2. Estimation des besoins en chaleur .....	10
2.3. Estimation des besoins en électricité spécifique.....	11
2.4. Maîtrise de la consommation en énergie.....	11
<b>3. RÉSEAUX DE CHALEUR OU DE FROID .....</b>	<b>18</b>
<b>4. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DE RÉCUPÉRATION ENVISAGEABLES.....</b>	<b>20</b>
4.1. Contexte réglementaire .....	20
4.2. L'énergie solaire .....	22
4.3. La biomasse .....	26
4.4. L'énergie éolienne.....	30
4.5. L'énergie hydraulique .....	30
4.6. La géothermie.....	30
4.7. L'aérothermie.....	34
4.8. La récupération d'énergie fatale .....	35
<b>5. SYNTHÈSE.....</b>	<b>36</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>38</b>

### Nom et qualification des auteurs et relecteurs de l'étude

- Auteur de l'étude : Olivier DESCOUT, ingénieur
- Relecteur : Geoffrey LEPERS, ingénieur

## INTRODUCTION

Cette étude porte sur le potentiel de développement des énergies renouvelables du projet de création d'une zone d'aménagement concerté « La Dolomède ».

Ce projet se situe sur un terrain de plus de 8 hectares sur la commune de Moul-Chicheboville (Calvados). L'opération, portée par la Communauté de communes Val ès dunes, vise à étendre la zone d'activités multisectorielles de Moul-Chicheboville, afin de répondre à une forte demande locale dans un contexte foncier tendu.

Conformément à la réglementation (voir section « Contexte réglementaire » ci-dessous), l'objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel des différentes énergies renouvelables et d'identifier les pistes les plus prometteuses, à l'échelle de l'opération projetée.



1 // GROUPEMENT : Atelier LD / Expertise URBAINE / LAMY Environnement / Biodiversité LP

*Figure 1. Plan de masse prévisionnel du projet « La Dolomède ».*  
*Source : Atelier LD*

## 1. CONTEXTE ET PRÉSENTATION DE L'OPÉRATION

### 1.1. Cadre légal

Selon l'article L.300-1-1 du code de l'urbanisme (loi n°2021-1104 du 22 août 2021, article 214 (V)) : « Toute action ou opération d'aménagement<sup>1</sup> soumise à évaluation environnementale en application de l'article L. 122-1 du code de l'environnement doit faire l'objet : 1° 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 ; [...] »<sup>2</sup>

Par conséquent, le projet d'aménagement doit faire l'objet d'une étude sur le potentiel de développement en énergies renouvelables.

### 1.2. Situation géographique et milieu physique

#### a) Situation et environnement

Le site du projet est localisé sur la commune de Moul-Chicheboville, qui se situe dans le département du Calvados, en région Normandie.

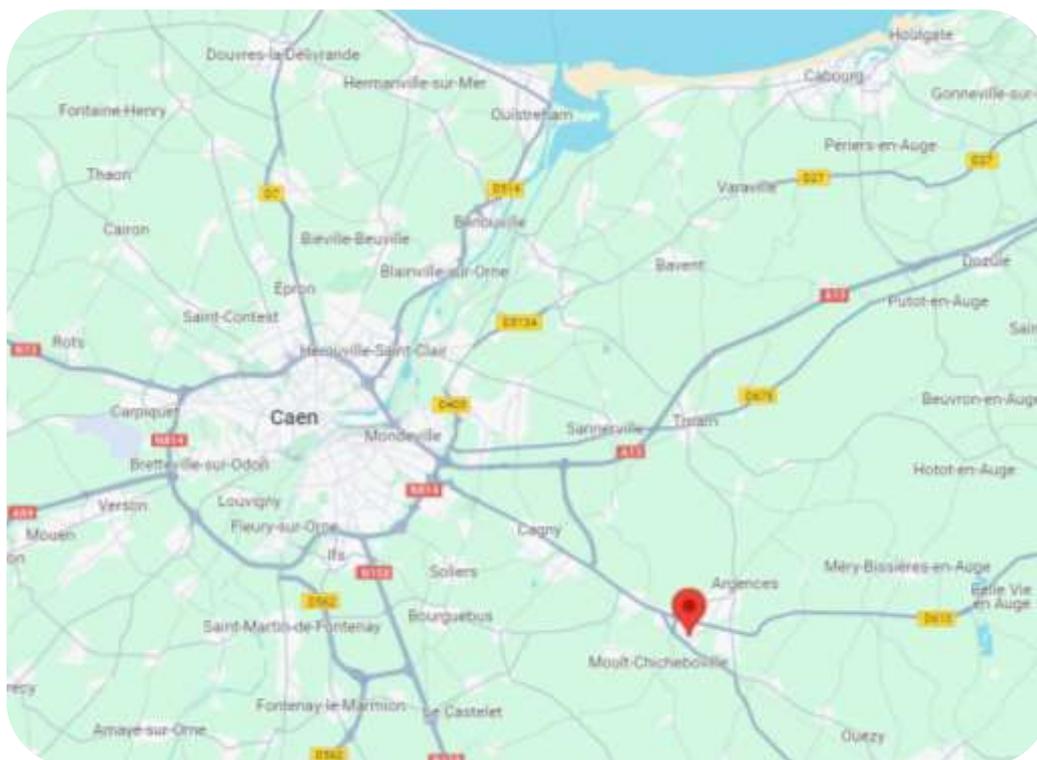


Figure 2. Localisation du site à l'échelle de l'aire d'attraction de Caen.  
Source : Google Maps

<sup>1</sup> « Les actions ou opérations d'aménagement ont pour objets de mettre en œuvre un projet urbain, une politique locale de l'habitat, d'organiser la mutation, le maintien, l'extension ou l'accueil des activités économiques, de favoriser le développement des loisirs et du tourisme, de réaliser des équipements collectifs ou des locaux de recherche ou d'enseignement supérieur, de lutter contre l'insalubrité et l'habitat indigne ou dangereux, de permettre le recyclage foncier ou le renouvellement urbain, de sauvegarder, de restaurer ou de mettre en valeur le patrimoine bâti ou non bâti et les espaces naturels, de renaturer ou de désartificialiser des sols, notamment en recherchant l'optimisation de l'utilisation des espaces urbanisés et à urbaniser. » (article L.300-1 du code de l'urbanisme)

<sup>2</sup> Article L.300-1-1 du code de l'urbanisme : [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000043967783](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043967783).

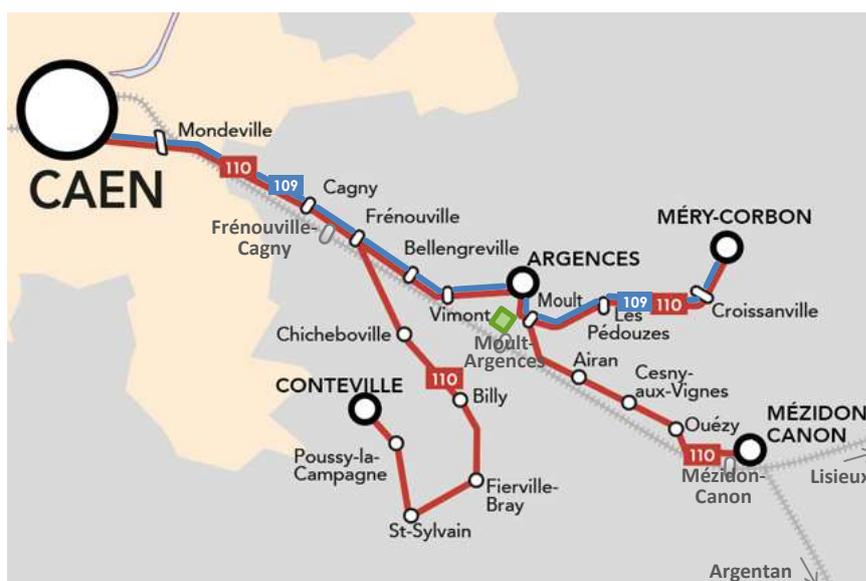


*Figure 3. Vue aérienne de la zone ciblée pour la création de la ZAC de la Dolomède à Moulton-Chicheboville (14).  
Source : Géoportail – Atelier LD*

L'opération concerne l'aménagement d'un terrain d'environ 81 200 m<sup>2</sup>, situé à l'ouest du bourg de Moulton. Ce terrain est bordé au nord par la zone industrielle « Les Grandes Carrières », à l'ouest par une déchetterie, et au sud par la route départementale D40. Il est distant d'environ 200 mètres de la route départementale D613, située plus au nord.

Le site du projet était utilisé à des fins agricoles.

### **b) Desserte par les transports en commun**



*Figure 4. Desserte actuelle de la zone du projet au 1<sup>er</sup> novembre 2024.  
Source : Nomad (réseau de mobilité normand), SNCF*

Le site du projet est situé à environ 500 mètres de marche à pied de la gare ferroviaire de « Moulton-Argences » qui permet notamment de rejoindre le centre de Caen, de Lisieux ou d'Argentan. Cette gare est également un arrêt des lignes de bus Nomad 109 et 110, qui desservent l'essentiel des communes entre Caen et Mézidon-Canon.

Cependant, en l'absence de passage sécurisé pour traverser et longer la route départementale D40, l'accès piéton ou cyclable au site du projet depuis la gare s'avère dangereux pour les personnes qui souhaiteraient l'emprunter du fait de l'importance du trafic routier sur cette route.

### **c) Environnement urbain**

Le site est aujourd'hui une zone agricole. Il jouxte des bâtiments et parkings d'activités économiques.



*Figure 5. Vue aérienne de la zone du projet. – Source : Google Maps*

#### d) Climat

Le climat du département du Calvados varie selon la localisation, notamment en raison de la proximité avec la Manche. Le climat caennais est océanique ; le temps y est frais, humide et venteux. Les précipitations sont moyennes.

Selon Météo France, la région de Caen connaît les caractéristiques climatiques suivantes<sup>3</sup> :

- Ensoleillement à l'année : environ **1 746 h/an** (moyenne 1991–2020) ;
- Précipitations annuelles : **740,3 mm/an** (moyenne 1991–2020) ;
- Précipitations maximales : **59,9 mm sur 24 h, 95,2 mm sur 5 jours** (période 2014–2023) ;
- Température minimale : **-8,5 °C** (période 2014–2023) ;
- Température maximale : **40,1 °C** (période 2014–2023).

#### e) Relief

La zone d'étude est localisée dans la plaine des bords de l'Orne, à une altitude d'environ 30 mètres (rectangle rouge foncé dans la carte ci-dessous). Le terrain est quasiment horizontal (dénivelé d'environ 1 mètre entre le point haut et le point bas).



Figure 6. Topographie de la zone d'étude.

Source : <https://fr-fr.topographic-map.com/map-7m1kt6/Moulton-Chicheboville/>

<sup>3</sup> <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2023/caen-carpiquet/valeurs/07027.html>

### 1.3. Projet d'aménagement

Le projet, réutilisant un terrain de 81 222 m<sup>2</sup>, est destiné à accueillir des bâtiments artisanaux et d'entreprises. Il est prévu de le diviser en 15 lots, dédiés à des activités artisanales et leurs bureaux.

Ces éléments ont été fournis par le donneur d'ordre et sont des données d'entrée de l'étude.

À ce stade du projet, le mode de commercialisation envisagé ne permet pas de savoir dans le détail quel type d'entreprise sera amené à s'implanter dans les locaux commerciaux. Dans cette étude, nous prenons une hypothèse moyenne sur la consommation d'énergie des entreprises d'artisanat et de service.



*Figure 7. Plan de masse prévisionnel du projet « La Dolomède ».*  
*Source : Atelier LD*

## 2. ÉVALUATION DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES

### 2.1. Comparaison du prix des énergies



Comparaison des prix des énergies pour les ménages, en euros TTC pour 100 kWh PCI.  
Source : GRDF (octobre 2024)<sup>4</sup>

Sur des tendances longues (2007–2024), **l'électricité est l'énergie la plus coûteuse**.

Le **bois, longtemps énergie la moins onéreuse**, connaît désormais une forte variabilité, avec un doublement de son prix en 18 mois en 2022, avant sa redescente. Le rapport entre l'offre et la demande s'est considérablement réduit (peu de stocks, impact du conflit russo-ukrainien, augmentation du prix des autres énergies utilisées pour la transformation et le transport du bois...).

Les prix du **gaz** et du **fioul** ont été progressivement impactés par la taxe carbone, et dessinent des profils de prix globalement à la hausse, en plus d'une variabilité fortement accrue. Néanmoins, pour le résidentiel, le prix du gaz est resté à ce jour compétitif au regard des autres énergies grâce au TRVG (Tarif Réglementé de Vente du Gaz), qui a pris fin au 30 juin 2023. Les professionnels ne bénéficiant plus d'un tarif réglementé depuis décembre 2020, les tarifs de gaz qui leur sont applicables varient autour de la valeur donnée sur le graphique, en fonction de l'utilisation finale du gaz, du volume de consommation et des fournisseurs.

<sup>4</sup> <https://www.grdf.fr/particuliers/compteurs-et-consommation/consommation/evolution-prix-energies>

## 2.2. Estimation des besoins en chaleur

Selon les données et hypothèses du projet au stade de la présente étude, il est prévu les surfaces au sol bâties représentent 20 % de la surface des lots, soit 21 962 m<sup>2</sup>. En supposant que 70 % de ces surfaces seront occupées par des locaux d'artisanat (supposés être sur un seul étage) et 30 % par des bureaux (supposés être sur deux étages), nous en déduisons les SDP (surfaces de plancher) totales.

Il est possible d'évaluer la consommation de chaleur des bâtiments en se basant sur les hypothèses de consommation de la RE 2020<sup>5</sup>. Rappelons qu'il s'agit d'un **objectif théorique**. La consommation réelle est toujours supérieure dans les bâtiments bien isolés, ne serait-ce que parce qu'en pratique, dans les logements et bureaux, les températures de consigne sont supérieures à la température de référence de 19 °C prise en compte dans les calculs.

Les bureaux doivent viser une consommation maximale de **57 kWh/m<sup>2</sup>.an** (valeur CVC : chaleur, ventilation, climatisation)<sup>6</sup>, à laquelle s'ajoute les besoins en électricité spécifiques, supposés représenter 20 % des besoins en chaleur.

Concernant les locaux dédiés aux activités d'artisanats, la présente étude fait l'hypothèse de besoins énergétiques totaux de **140 kWh/m<sup>2</sup>.an**, dont 1/6 d'électricité.

Nous disposons donc des valeurs suivantes :

	Bureaux	Artisanats
Surface de plancher (m <sup>2</sup> )	13 177	15 373
Consommation de chaleur unitaire (kWh/m <sup>2</sup> .an)	57	116,7
Consommation de chaleur estimée (MWh/an)	751	1 794

### Estimation des besoins de chaleur

Le total des **besoins en chaleur** est estimé à environ **2,55 GWh/an**.

<sup>5</sup> Arrêté du 4 août 2021 relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine et portant approbation de la méthode de calcul prévue à l'article R.172-6 du code de la construction et de l'habitation : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000043936431/>

NB : Moulit-Chicheboville est situé en zone climatique H1a. Les règles de modulation des exigences énergétiques en fonction de la zone climatique sont définies dans l'annexe à l'article R.172-4 du code de la construction et de l'habitation : [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000045292987](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000045292987).

Arrêté du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments autres que ceux concernés par l'article 2 du décret du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGIITEXT000026910098>

<sup>6</sup> Arrêté du 13 avril 2022 modifiant l'arrêté du 10 avril 2020 relatif aux obligations d'actions de réduction des consommations d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000045641335/>

### 2.3. Estimation des besoins en électricité spécifique

Dans les bureaux et locaux d'artisans bien isolés (équivalent de la catégorie DPE A pour les logements), nous estimons la consommation d'électricité spécifique (électricité hors chauffage) à environ 20 % de la consommation de chaleur, ce qui correspond aux valeurs brutes suivantes :

Besoin par type d'activité	Bureaux	Artisans
Consommation d'électricité spécifique unitaire (kWh/m <sup>2</sup> .an d'énergie primaire)	11,4	23,3
Consommation d'électricité spécifique estimée (MWh/an d'énergie primaire)	152	362

#### Estimation des consommations d'électricité spécifique

Pour l'éclairage public, la solution technique retenue est celle de candélabres équipés de lanternes LED de 43 watts, disposés tous les 25 mètres le long du linéaire routier (soit 22 candélabres). En l'absence de capteur de mouvement pour contrôler l'allumage/extinction automatique des candélabres en fonction de la présence humaine, nous supposons que les candélabres restent allumés en continu du crépuscule à l'aube, en s'allumant en moyenne 30 minutes avant le coucher du soleil et en s'éteignant en moyenne 30 minutes après le lever du soleil, soit une durée d'allumage d'environ 4 750 heures par an<sup>7</sup>. La consommation électrique totale de l'éclairage public s'élève donc à environ 4 MWh/an.

La **consommation d'électricité spécifique**, éclairage public inclus, est estimée à environ **0,52 GWh/an**.

### 2.4. Maîtrise de la consommation en énergie

#### **« La meilleure énergie est celle que nous ne consommons pas. »**

Une démarche de réduction des besoins en énergie est un élément nécessaire de toute politique énergétique. C'est pourquoi, même si cette étude est centrée sur l'utilisation des énergies renouvelables, il est utile d'aborder également la limitation des consommations.

Ces actions sont de différentes natures : il peut s'agir de solutions techniques, mais aussi d'actions d'information et de sensibilisation, voire d'accompagnement à un changement de certaines habitudes de consommation.

Dans la mesure où ce sont les porteurs de projets qui sont en charge de la construction des bâtiments, cette partie, bien qu'indicative, est utile. Il s'agit en effet d'indiquer les préconisations qui peuvent être faites.

<sup>7</sup> Les hypothèses de durées d'allumage incluent les situations de luminosité diurne trop faible, hors aube et crépuscule.

### a) Maîtrise de l'énergie : une démarche à lancer sans tarder

Les actions envisagées dans cette partie doivent être lancées suffisamment tôt, en amont de l'exploitation des bâtiments : la maîtrise de l'énergie doit être prise en compte dès la conception des bâtiments.

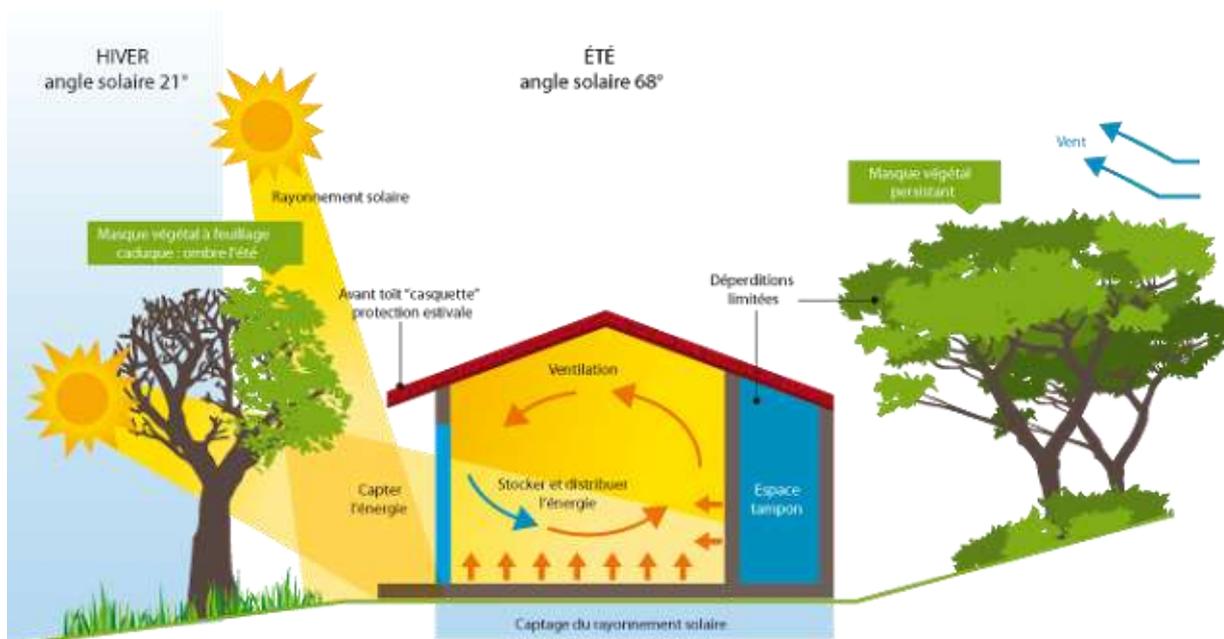
Dans le cas contraire, le programme de construction (structure, implantation...) risque d'être défini sur des critères exclusivement économiques. Et les choix énergétiques seront faits trop tard, à un moment où les marges de manœuvre seront réduites et laisseront peu de place à des solutions énergétiques innovantes.

### b) Bioclimatisme

**L'objectif principal est d'obtenir le confort d'ambiance recherché de la manière la plus naturelle possible, en utilisant les moyens architecturaux, les énergies renouvelables disponibles et en utilisant le moins possible les moyens techniques mécanisés et les énergies extérieures au site.**

Les principes de l'architecture bioclimatique visent à bénéficier le plus possible des apports d'énergie du soleil en hiver et à limiter l'apport de chaleur solaire en été.

Afin d'optimiser le confort des occupants tout en préservant le cadre naturel de la construction, de nombreux paramètres sont à prendre en compte. Même si l'implantation du projet représente souvent une contrainte forte, il est fortement recommandé de porter une attention toute particulière à l'**orientation des bâtiments** (afin d'exploiter l'énergie et la lumière du soleil) et à la **construction** (surfaces vitrées, protections solaires, compacité, matériaux...)



*Les grands principes du bioclimatisme<sup>8</sup> – Source : e-RT2012*

<sup>8</sup> Les angles solaires indiqués dans cette figure correspondent à des sites situés vers environ 45° de latitude nord (autour d'une ligne allant de Grenoble à Périgueux). Sur un site situé plus au nord, les angles solaires estivaux et hivernaux sont plus petits, et ils sont plus grands sur un site situé plus au sud.

### Les grands principes du bioclimatisme

La conception bioclimatique consiste donc à **tirer le meilleur profit de l'énergie solaire, abondante et gratuite**. En hiver, le bâtiment doit maximiser la captation de l'énergie solaire, la diffuser et la conserver. Inversement, en été, le bâtiment doit se protéger du rayonnement solaire et évacuer le surplus de chaleur du bâtiment.

La conception bioclimatique s'articule autour des **3 axes principaux** :

#### 1. Capter / se protéger de la chaleur

**Dans l'hémisphère nord, en hiver**, le soleil se lève au **Sud-Est** et se couche au **Sud-Ouest**, restant **très bas** (environ 17,5° au-dessus de l'horizon au solstice d'hiver, à Moulst-Chicheboville). Seule la **façade Sud** reçoit un rayonnement non négligeable durant la période d'hiver. Ainsi, en **maximisant la surface vitrée au sud**, la lumière du soleil est captée et convertie en chaleur (comme dans une serre), ce qui chauffe le bâtiment de manière passive et gratuite.

**Dans l'hémisphère nord, en été**, le soleil se lève au **Nord-Est** et se couche au **Nord-Ouest**, montant **très haut** (environ 64,3° au-dessus de l'horizon au solstice d'été, à Moulst-Chicheboville). **Le soleil est au sud à midi solaire**. À cette saison, ce sont la toiture, les façades Est (le matin) et Ouest (le soir) qui sont les plus irradiées. La façade Sud reste fortement irradiée, mais avec un angle d'incidence des rayons lumineux élevé. Il convient donc de **protéger les surfaces vitrées orientées au Sud via des protections solaires horizontales, dimensionnées pour bloquer le rayonnement solaire en été**. Sur les façades Est et Ouest, les protections solaires horizontales sont d'une efficacité limitée, car les rayons solaires ont une incidence moins élevée. Il conviendra d'installer des protections solaires verticales, d'augmenter l'opacité des vitrages (volets, vitrage opaque) ou encore de **mettre en place une végétation caduque**.

Dans l'hémisphère nord, les recommandations sont généralement les suivantes :

- Une **maximisation des surfaces vitrées orientées au Sud**, protégées du soleil estival par des **casquettes horizontales**,
- Une **minimisation des surfaces vitrées orientées au Nord**. En effet, les apports solaires sont très faibles et un vitrage sera forcément plus déperditif qu'une paroi isolée,
- **Des surfaces vitrées raisonnées et réfléchies pour les orientations Est et Ouest** afin de se protéger des surchauffes estivales.



Captation du soleil selon les saisons – Source : ALEC Grenoble

## 2. Transformer, diffuser la chaleur

Une fois le **rayonnement solaire** capté et transformé en **chaleur**, celle-ci doit être **diffusée et/ou captée**. Le bâtiment bioclimatique est conçu pour maintenir un équilibre thermique entre les pièces, et diffuser ou évacuer la chaleur via le système de ventilation.

La conversion de la lumière en chaleur se fait principalement au niveau du sol. Naturellement, la chaleur a souvent tendance à s'accumuler vers le haut des locaux par convection et stratification thermique, provoquant un déséquilibre thermique. Afin d'éviter le phénomène de stratification, il conviendra de **favoriser les sols foncés**, d'utiliser des teintes variables sur les murs selon la priorité entre la diffusion de lumière et la captation de l'énergie solaire (selon le besoin) et de **mettre des teintes claires au plafond**. Les teintes les plus aptes à convertir la lumière en chaleur et l'absorber sont **sombres** (idéalement noires) et celles plus aptes à réfléchir la lumière en chaleur sont claires (idéalement blanches).

À noter : les **matériaux mats de surface granuleuse** sont plus aptes à capter la lumière et la convertir en chaleur que les surfaces lisses et brillantes (effet miroir).

Une réflexion pourra également être faite sur les **matériaux utilisés**, pouvant donner une impression de chaud ou de froid selon leur effusivité.

## 3. Conserver la chaleur ou la fraîcheur

**En hiver**, une fois captée et transformée, l'énergie solaire doit être conservée à l'intérieur de la construction et valorisée au moment opportun.

**En été**, c'est la fraîcheur nocturne, captée via une **sur-ventilation** par exemple, qui doit être stockée dans le bâti afin de limiter les surchauffes pendant le jour.

De manière générale, cette énergie est stockée dans les matériaux lourds de la construction. Pour maximiser cette inertie, il faut privilégier **l'isolation par l'extérieur**.

Pour limiter les déperditions thermiques, plus la forme de l'habitat se rapproche d'un **cube**, plus les surfaces déperditives, et donc le coût de la construction sont réduits.

## 4. Le bioclimatisme dans l'ancienne RT 2012 et la nouvelle RE 2020

La RT 2012 intégrait déjà un indicateur **Bbiomax** : le besoin bioclimatique maximal exprime **les besoins d'un bâtiment pour son chauffage, sa climatisation – que le bâtiment soit climatisé ou non – et son éclairage**. Les professionnels de la construction doivent calculer cet indicateur qui est aussi un pilier de la nouvelle réglementation environnementale, RE 2020, applicable depuis 2022. La RE 2020 impose un **renforcement de 30 % du respect du besoin bioclimatique**.

En plus de limiter les consommations énergétiques pour les besoins primaires tels que le chauffage, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage, etc., le bâtiment en lui-même devra **être plus efficace et mieux isolé pour répondre aux enjeux de la construction durable et bas carbone**.

L'un des objectifs de la RE 2020 est aussi de répondre à la problématique des épisodes caniculaires en améliorant le **confort d'été**. Il sera donc nécessaire de savoir tirer profit des apports solaires pour les capter en hiver, tout en s'en protégeant et en évacuant la chaleur en été. L'intégration systématique des besoins de froid et de rafraîchissement en été donne une nouvelle dimension à l'indicateur.

### Résumé et principales recommandations pour votre aménagement

L'isolation doit être renforcée sur les **pignons nord**.

La protection contre le rayonnement du soleil estival, pour les **ouvertures orientées au sud**, peut être assurée à l'aide d'éléments intégrés au bâti, tels que des **pare-soleil** (ou « casquettes »), des avancées de toit et auvents, ou encore des balcons. La **plantation de végétaux à feuilles caduques** protégera du soleil estival les ouvertures situées à l'est ou à l'ouest.

**L'implantation des bâtiments peut permettre de réduire les consommations d'énergie.**

L'implantation optimale consiste, à chaque fois que cela est possible, à avoir la plus grande surface possible **orientée au sud** et à disposer des **surfaces vitrées de grande dimension en face sud**, peu à l'est et à l'ouest, et très peu en face nord. De même, la forme des bâtiments peut également être prise en compte. Les **formes compactes** contribuent à limiter les consommations en réduisant la surface d'échange thermique avec l'extérieur.

Le projet prévoit déjà une **intégration paysagère** (rangées de haies, arbres et arbustes, espaces verts) définissant les contours des voiries et les délimitations parcellaires. Le projet prévoit également des noues destinées à temporiser les eaux pluviales et permettre de réduire les effets d'îlot de chaleur en été.

**L'optimisation des apports d'éclairage naturel**, réduisant la consommation électrique d'éclairage, est également un point essentiel de la conception bioclimatique.

Enfin, la répartition des pièces de vie en fonction de l'orientation peut réduire les besoins énergétiques et favoriser le confort de vie. Cette organisation consiste à placer les **bureaux au sud**, les **espaces « tampons » au nord** (zones non chauffées et de stockage), et **à l'est** les surchauffes estivales seront moins importantes qu'à l'ouest. Ainsi les déperditions de chaleur sont limitées et le bâtiment est plus agréable à vivre.

**Ces principes et recommandations sont évidemment à appliquer en fonction des contraintes du terrain et de la densité du bâti visé.**

#### **c) Efficacité énergétique**

L'efficacité énergétique concerne aussi bien les grosses installations que l'éclairage, l'informatique ou le petit équipement :

- choisir des matériels peu consommateurs (éclairage LED, matériels informatiques ou bureautiques labellisés Energy Star...),
- mettre en place des systèmes de détection de présence (éclairage, ventilation) et d'extinction automatique...

Par ailleurs, pour pouvoir vérifier et suivre l'efficacité énergétique, il est nécessaire de mettre en place des **systèmes de mesure et de contrôle**, afin de détecter les augmentations anormales des consommations et de gérer les pics de consommation.

#### **d) Sensibilisation, dialogue autour des questions énergétiques**

L'atteinte des objectifs d'efficacité énergétique dépendant en grande partie du comportement des occupants, il pourrait être pertinent de leur diffuser un **Guide des bonnes pratiques**.

En effet, il est primordial de les sensibiliser et les impliquer dans l'efficacité énergétique de leur bâtiment : extinction des matériels inutilisés (spécialement la nuit), respect des températures de consigne pour le chauffage, fermeture des volets en période de forte chaleur...

#### **e) Déplacements (transports en commun, pistes cyclables, covoiturage)**

##### **o Transports en commun**

Comme indiqué en page 5, le site du projet se trouve à environ 500 mètres de plusieurs liaisons de transport en commun :

- gare TER de Moulton-Argences,
- arrêt « Gare Moulton-Argences » des lignes de bus Nomad 109 et 110.

La densité de l'offre de transports en commun existante semble suffisante. Néanmoins, si ce projet s'accompagne d'autres projets d'aménagement sur la commune, il peut s'avérer nécessaire d'augmenter la fréquence de certains bus.

##### **o Pistes cyclables et piétonnes**

Comme indiqué en page 5, les routes départementales D40 et D613, et les routes secondaires situées entre ces deux axes, ne sont pas cyclables. La marche à pied le long de ces voies est également dangereuse.

Le développement d'accès cyclables et piétons tout autour du site du projet semble nécessaire pour pouvoir satisfaire l'objectif de la Communauté de communes de 7 % de déplacements domicile-travail d'ici 2030 en modes actifs.

Pour augmenter la part des déplacements domicile-travail à vélo, le projet pourrait également inclure des locaux vélos sécurisés communs aux différents lots.

#### **f) Éclairage public et dans les parties communes**

Contrairement aux déplacements, la responsabilité du donneur d'ordre est ici plus directe : concevoir un éclairage économe est une bonne manière de montrer l'exemple et d'inciter les futurs propriétaires et porteurs de projet à prendre au sérieux les questions énergétiques.

Le choix des **LED** et de commandes d'allumage par **détecteur de présence** sont des recommandations utiles pour réduire la consommation d'électricité liée à l'éclairage.

Pour l'éclairage en extérieur, il est également possible de faire le choix d'une **température d'éclairage** plus basse et de mettre en place une extinction nocturne, au moins partielle, par modulations horaires : cela apporte de nombreux co-bénéfices, notamment pour la biodiversité.

### 3. RÉSEAUX DE CHALEUR OU DE FROID

---

Les réseaux de chaleur et de froid sont des ensembles d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur ou du froid à plusieurs bâtiments pour répondre à leurs besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire (ECS) ou à leurs besoins de froid. L'un des objectifs de l'étude sur le potentiel en énergies renouvelables est de vérifier la possibilité de création ou de raccordement à de tels réseaux.

#### a) Avantages des réseaux de chaleur

Utilisés depuis de longues années avec des énergies fossiles, les réseaux de chaleur ont pour avantage premier une meilleure gestion de la production de chaleur ou de froid, notamment en termes de rendement et donc de coût.

À ces gains techniques et financiers, l'utilisation d'énergies renouvelables ajoute différents avantages environnementaux : réduction des émissions de gaz à effet de serre, limitation du recours aux énergies fossiles, valorisation de chaleur fatale ou de matières produites sur le site (déchets, rebuts de processus industriels...).

Outre les avantages environnementaux et les gains d'énergie, la création d'un réseau de chaleur peut également répondre à des **objectifs en matière d'aménagement du territoire**. En effet, la mise en place de filières locales créatrices d'emploi, et la dynamique économique qui en résulte, peuvent être des facteurs de développement local.

Enfin, un réseau de chaleur permet de fournir **une énergie moins chère** et peut s'avérer d'autant plus rentable économiquement du fait de l'augmentation très probable, à moyen ou long terme, des coûts de l'énergie et de leur variabilité.

#### b) Règle générale pour estimer la pertinence d'un raccordement à un réseau de chaleur

La pertinence de la création ou de l'extension d'un réseau de chaleur s'évalue notamment en fonction de la densité de consommation d'énergie. Cette densité se calcule par le ratio suivant :

$$\text{[Besoin annuel en chaleur (chauffage + ECS)<sup>9</sup>] / [longueur du réseau de chaleur]<sup>10</sup>}$$

Pour créer un nouveau réseau de chaleur, l'ADEME recommande un ratio d'au moins **[4,5 MWh/an]/[ml]**, mais cette création est envisageable – et potentiellement, soutenue financièrement – à partir de 1,5 MWh/an/ml. L'extension d'un réseau existant, déjà construit, est intéressante pour des ratios encore inférieurs.

---

<sup>9</sup> Eau Chaude Sanitaire

<sup>10</sup> Exprimée en « mètres linéaires » ou « ml ».

### c) Quels réseaux de chaleur autour de Moulst-Chicheboville ?

La commune de Moulst-Chicheboville ne bénéficie d'aucun réseau de chaleur existant. Le réseau de chaleur le plus proche se situe au nord d'Argences, à environ 3,5 km du site du projet. Au regard des besoins en chaleur du projet, un raccordement à ce réseau n'est pas envisageable.

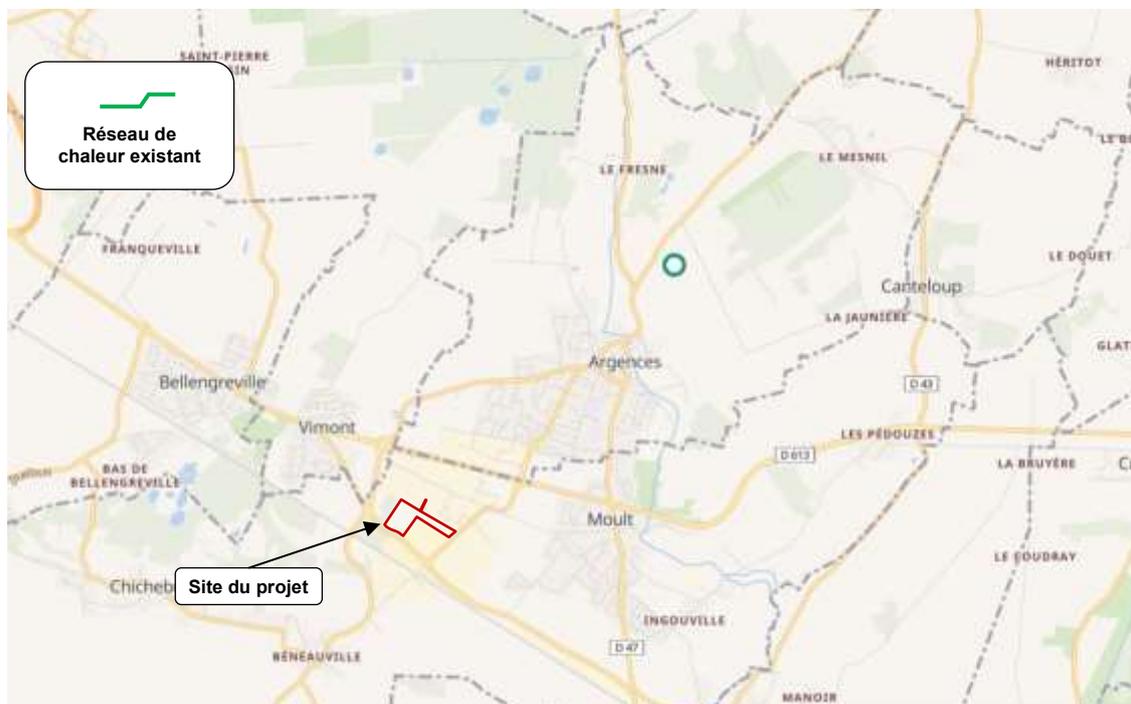


Figure 8. Réseaux de chaleur autour de Moulst-Chicheboville.  
Source : <https://france-chaleur-urbaine.beta.gouv.fr/carte>

### d) Création d'un réseau de chaleur sur le site du projet

La longueur de raccordement nécessaire pour relier les bâtiments des 15 lots du projet à une centrale biomasse ou géothermique qui serait implantée au cœur du site du projet est estimée à au moins 1 000 mètres.

Besoin de chaleur (GWh/an)	2,55
Longueur RCU (ml)	1 000
Densité de consommation d'énergie (MWh/an/ml)	2,54

### e) Bilan

Comparé aux préconisations de l'ADEME (4,5 MWh/an/ml) et du seuil admis à partir duquel la création d'un RCU est envisageable (1,5 MWh/an/ml), le ratio calculé ici pour un réseau biomasse ou géothermique apparaît possible, bien que faible. Le raccordement du reste de la zone industrielle, voire d'un quartier d'habitation voisin à ce réseau de chaleur en augmenterait l'intérêt.

## 4. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DE RÉCUPÉRATION ENVISAGEABLES

---

Les énergies renouvelables représentent les sources énergétiques qui peuvent être utilisées sans que leurs réserves ne s'épuisent. Il s'agit de :

- l'énergie solaire,
- la biomasse, dont le bois-énergie,
- l'énergie éolienne,
- l'énergie hydraulique,
- la géothermie et l'aérothermie,
- la récupération de chaleur fatale.

Pour chacune de ces énergies, nous allons analyser la disponibilité de la ressource, leur facilité de mise en œuvre, leurs impacts environnementaux et les éventuelles contraintes associées tant d'un point de vue technique qu'économique, après avoir rappelé le contexte réglementaire.

### 4.1. Contexte réglementaire

L'article L.171-4 du code de la construction et de l'habitation<sup>11</sup> impose désormais, pour les nouvelles constructions dépassant une certaine emprise au sol, **d'équiper la structure d'un système de production énergétique et thermique.**

Ces obligations sont réalisées **en toiture du bâtiment ou sur les ombrières surplombant les aires de stationnement sur une surface au moins égale à :**

- **30 %** de la toiture du bâtiment et des ombrières créées à compter du **1<sup>er</sup> juillet 2023**,
- **40 %** à compter du **1<sup>er</sup> juillet 2026**,
- **50 %** à compter du **1<sup>er</sup> juillet 2027**.

Les nouvelles constructions ne seront autorisées que si elles intègrent, soit **un procédé de production d'énergies renouvelables, soit un système de végétalisation** basé sur un mode cultural garantissant un haut degré d'efficacité thermique et d'isolation et favorisant la préservation et la reconquête de la biodiversité, soit **tout autre dispositif aboutissant au même résultat.**

En cas d'aires de stationnement prévues par le projet, des revêtements de surface spécifiques, des aménagements hydrauliques ou des dispositifs végétalisés favorisant la perméabilité et l'infiltration des eaux pluviales ou leur évaporation et préservant les fonctions écologiques des sols doivent être mis en place.

---

<sup>11</sup> « Les bâtiments ou parties de bâtiments [...] doivent intégrer soit un procédé de production d'énergies renouvelables, soit un système de végétalisation basé sur un mode cultural ne recourant à l'eau potable qu'en complément des eaux de récupération, garantissant un haut degré d'efficacité thermique et d'isolation et favorisant la préservation et la reconquête de la biodiversité, soit tout autre dispositif aboutissant au même résultat. » ([https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000043963538](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043963538)).

Concrètement, la loi concerne :

- les **nouvelles constructions, les extensions et les rénovations lourdes de bâtiments ou parties de bâtiment** : la loi n'étant pas rétroactive, il n'y a pas d'obligation pour le foncier déjà construit qu'on ne modifie pas ;
- les **bâtiments ou parties de bâtiments soumis à un permis de construire** ;
- les constructions, extensions ou rénovations lourdes pour les bâtiments ou parties de bâtiments d'**au moins 500 m<sup>2</sup> d'emprise au sol, à usage commercial, industriel ou artisanal**, à usage d'entrepôt, à usage de hangars à but commercial et non ouverts au public, ainsi que les **parcs de stationnement couverts** accessibles au public ;
- les constructions, extensions ou rénovations lourdes pour les bâtiments ou parties de bâtiments d'**au moins 1 000 m<sup>2</sup> d'emprise au sol, à usage de bureaux**.

Quelques exceptions à cette obligation existent, qui concernent <sup>12</sup> :

- les constructions qui bénéficient déjà d'une installation d'ombrières photovoltaïques et espacées des bâtiments principaux par un espace à ciel ouvert  $\leq 10$  mètres ;
- les ouvrages dont les dispositifs de sécurité occupent plus de 70 % de la toiture ;
- les bâtiments dont la surface de toiture disponible (après exclusion de toutes les surfaces requises), est inférieure à 30 % de la surface totale.

La réglementation précise que les constructions doivent <sup>13</sup> :

- faire preuve d'**exemplarité énergétique**, c'est-à-dire atteindre des résultats minimaux, en termes de besoin en énergie, consommation en énergie primaire, consommation en énergie primaire non renouvelable et impact sur le changement climatique de la consommation en énergie primaire ;
- **ou** faire preuve d'**exemplarité environnementale**, c'est-à-dire atteindre des résultats minimaux en termes d'impact sur le changement climatique liés aux composants du bâtiment ; cet impact doit être évalué sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment ;
- **ou** être considérées comme **à énergie positive**, c'est-à-dire viser l'atteinte d'un équilibre entre leur consommation d'énergie non renouvelable et leur production d'énergie renouvelable injectée dans le réseau.

Du fait de la surface de bâti envisagée pour le projet « La Dolomède », la législation impose à la future ZAC l'inclusion d'un **procédé de production d'énergies renouvelables** ou un **système de végétalisation** (cf. page précédente).

À la demande du donneur d'ordre, nous considérons dans cette étude que la surface minimale d'équipement d'un système de production énergétique et thermique en toiture de bâtiment soit celle applicable à compter du 1<sup>er</sup> juillet 2027, soit 50 % de la surface globale de la toiture des bâtiments, au minimum.

<sup>12</sup> Les exceptions sont notamment régies par :

- les articles R.171-1 à R.171-9 du code de la construction et de l'habitation (<https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGIARTI000047287213>),
- l'arrêté du 5 février 2020 pris en application du point V de l'article L.171-4 du code de la construction et de l'habitation (<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000041661290>),
- le décret du 18 décembre 2023 portant application de l'article L.171-4 du code de la construction et de l'habitation et de l'article L.111-19-1 du code de l'urbanisme (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000048595106>).

<sup>13</sup> Les valeurs des seuils exigés sont précisées dans l'article R.172-4 du code de la construction et de l'habitat : [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000043890801](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043890801)

## 4.2. L'énergie solaire

Le rayonnement du soleil représente un flux d'énergie important.

Les relevés de la station météorologique la plus proche, située à Caen-Carpiquet, donnent un ensoleillement annuel de **1 746 heures par an** en moyenne sur la période 1991–2020<sup>14</sup>. En 2023, la station, relativement proche, de Caen-Carpiquet a connu un ensoleillement supérieur de 9 % à la moyenne climatique du lieu (1 898 heures par an).

Le rayonnement solaire sur le site est de l'ordre de **1 124 kWh/m<sup>2</sup>.an**. Cette valeur se situe plutôt en partie basse du classement pour la France, le site étant situé dans la moitié nord du pays. À titre de comparaison, l'ensoleillement est de 1 056 kWh/m<sup>2</sup>.an à Lille et de 1 531 kWh/m<sup>2</sup>.an à Perpignan.

L'énergie solaire peut être exploitée de plusieurs façons :

- de manière passive en suivant les principes de l'architecture bioclimatique,
- à l'aide de capteurs pour produire de la chaleur (solaire thermique),
- à l'aide de panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité (solaire photovoltaïque).

### **a) Le solaire thermique**

En pratique, dans le cas particulier du projet « La Dolomède », le type d'usage des bâtiments (entreprises d'artisanat et bureaux) implique des besoins assez faibles en eau chaude sanitaire. Dès lors, nous considérons que le **potentiel de développement de l'énergie solaire thermique est très faible**. Dans la présente étude, le choix a donc été fait de ne pas l'étudier.

### **b) Le solaire photovoltaïque**

Une installation solaire photovoltaïque récupère l'énergie du soleil pour la transformer en électricité, grâce au silicium, matériau semi-conducteur. Outre les modules (panneaux), l'installation comprend un onduleur, chargé de transformer le courant produit (continu) en courant utilisable (alternatif).

Les cellules disponibles sur le marché atteignent des rendements d'un peu plus de 20 %. Une attention doit être portée à la température des cellules. Même s'il n'existe pas de risque de surchauffe, le rendement (optimal à 25 °C) peut baisser pour des températures supérieures, notamment en cas de canicule. Les panneaux hybrides, photovoltaïques et thermiques, permettent de refroidir les modules photovoltaïques par l'absorption de chaleur des panneaux thermiques.

Une installation photovoltaïque constitue une source de production électrique décentralisée ; sa particularité étant de dépendre de l'ensoleillement (alternance jour-nuit, clarté pendant le jour).

---

<sup>14</sup> Source InfoClimat : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2023/caen-carpiquet/valeurs/07027.html>.

L'électricité produite peut, au choix :

- Être consommée intégralement, les besoins complémentaires étant assurés par un raccordement au réseau ;
- Être vendue intégralement, via un compteur sur le raccordement au réseau : les besoins du logement sont alors assurés par le réseau ;
- Être consommée en partie, le surplus étant revendu.

La quantité d'électricité produite par des panneaux photovoltaïques est généralement estimée en fonction de la puissance crête installée (kWc), qui est la puissance maximale délivrée dans les meilleures conditions possibles. Pour la zone considérée, la productivité optimale théorique est de l'ordre de 943 kWh/kWc.an, pour des panneaux orientés au sud et inclinés à 30° par rapport à l'horizontale, et **853 kWh/kWc.an** pour des panneaux horizontaux<sup>15</sup>.

Les tarifs de revente de l'électricité produite, applicables du 1<sup>er</sup> novembre 2023 au 31 janvier 2024 sont donnés ci-dessous<sup>16</sup> :

Type de revente selon puissance crête (kWc)	0 à 3	3 à 9	9 à 36	36 à 100	100 à 500
Revente totale (c€/kWh)	17,35	14,74	13,83	12,02	suivant formule <sup>D</sup>
Autoconsommation avec revente du surplus (c€/kWh)	13,00	13,00	7,80	7,80	suivant formule <sup>D</sup>
Prime d'investissement <sup>A</sup> pour l'autoconsommation (€/kWc)	370,00	280,00	200,00	100,00	pas de prime
Prime d'investissement <sup>B</sup> à l'intégration paysagère (€/kWc)	133,00				suivant formule <sup>E</sup>

<sup>A</sup> La prime à l'investissement pour l'autoconsommation n'est due qu'une fois et dépend de la puissance installée (Wc).

<sup>B</sup> Prime concernant les tuiles photovoltaïques intégrées au bâti, conditionnée à l'utilisation de certaines marques.

<sup>C</sup> Les installations photovoltaïques raccordées au réseau d'une puissance inférieure ou égale à 3 kWc peuvent bénéficier d'un taux de TVA à 10 %.

<sup>D</sup> Le tarif est indexé à un coefficient  $K_N$  (indexation indice INSEE) égal à l'augmentation relative de sept indices sur la période considérée. Formule =  $12,08 \times K_{N+P}/K_N$  où P (valant 0, 1 ou 2) est le trimestre de la mise en service, à partir de la complétude de la demande de raccordement.

<sup>E</sup> De 100 à 250 kWc : prime = 128 €/kWc – Jusqu'à 500 kWc : prime = 125 €/kWc

NB : la puissance crête cumulée ne doit pas dépasser 115 MW.

Tarifs de rachat de l'électricité photovoltaïque en fin d'année 2023 et début d'année 2024<sup>17</sup>

<sup>15</sup> [http://ines.solaire.free.fr/pvreseau\\_1.php](http://ines.solaire.free.fr/pvreseau_1.php)

<sup>16</sup> Arrêté du 6 octobre 2021 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations [...] utilisant l'énergie solaire photovoltaïque [...] d'une puissance crête installée inférieure ou égale à 500 kilowatts :

<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000044173060/>

Arrêté du 22 décembre 2023 modifiant l'arrêté du 6 octobre 2021 :

<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000048680330>.

La période indiquée correspond aux dates auxquelles la demande de raccordement doit avoir été complétée.

<sup>17</sup> <https://www.photovoltaïque.info/fr/tarifs-dachat-et-autoconsommation/tarifs-dachat/arrete-tarifaire-en-vigueur/>  
<https://www.photovoltaïque.info/fr/actualites/detail/arrete-s21-baisse-des-tarifs-dobligation-dachat-et-modification-du-calcul-des-coefficients-de-degressivite/>

▪ **Ordres de grandeurs technico-économiques**

Sur la base de panneaux installés sur **50 % de la surface de toiture**, nous obtenons les valeurs suivantes :

Critère	Valeur
Surface d'un pan de toiture horizontale	56 m <sup>2</sup>
Surface d'une installation de 16 panneaux de [1m×1,7m] pour ce pan de toiture	28 m <sup>2</sup>
Ratio [surface PV / surface pan de toiture]	50 %
Productivité de panneaux monocristallins N <sub>type</sub> ou PERC	350 Wc/m <sup>2</sup>
soit une puissance pour 1 panneau de [1m×1,7m]	595 Wc
Puissance crête de l'installation	9,5 kWc
Production annuelle estimée	7,68 MWh/an

Remarques

*Nous rappelons que ces données sont calculées pour des conditions optimales : orientation face au soleil, inclinaison des panneaux, panneaux exposés sans ombrage.*

*Avec les hypothèses du cas exposé ci-dessus, la production d'électricité photovoltaïque (137 kWh/m<sup>2</sup>.an) apparaît supérieure au besoin total en électricité spécifique (20 kWh/m<sup>2</sup>.an) [NB : les valeurs sont en m<sup>2</sup> d'emprise au sol]. Par rapport à cet écart, notons que :*

- d'une part, nos calculs donnent les production et consommation par année. Dans la réalité, ces deux grandeurs varient, ce qui peut nécessiter, par périodes, une installation du type de celle détaillée dans le tableau ci-dessus,*
- d'autre part, nous présentons ce cas d'école pour établir un ordre de grandeur et appréhender la vente d'électricité (total ou surplus).*

En prenant un ratio d'investissement de **1 300 € HT/kWc** (en 2023), qui est cohérent pour des installations sur grandes toitures autour de 100 kWc<sup>18</sup>, l'investissement pour le cas présenté ci-dessus serait de l'ordre de 90 000 € HT.

Ce coût varie selon l'installateur, le type de pose choisi (surimposition, intégration au bâti) et la marque de panneau photovoltaïque choisie.

Le **temps de retour sur investissement**, qui dépend du montant de l'investissement et de la consommation électrique (notamment pendant les heures d'ensoleillement), toujours pour le type d'installation ci-dessus, varie à l'heure actuelle de **8 à 14 ans**, et doit se situer autour de 12 ans pour le Calvados<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> <https://terresolaire.com/Blog/rentabilite-photovoltaique/prix-installation-photovoltaique-100-kw-2/>

<sup>19</sup> <https://cdn.hellowatt.fr/media/uploads/zinnia/2023/03/07/retour-sur-investissement-panneau-solaire-france.png>, carte issue de <https://www.hellowatt.fr/panneaux-solaires-photovoltaiques/production-panneaux-solaires>.

### ▪ **Installation**

Afin **d'optimiser la mise en place de panneaux solaire en toiture**, certaines mesures sont à prendre en compte :

- l'inclinaison optimale est aux alentours de 30°,
- la meilleure orientation est le sud.

Le vent est également une caractéristique à prendre en compte : la charge du vent va déterminer le mode de fixation des panneaux et la nécessité plus ou moins grande d'un lestage que la toiture devra supporter.

Il existe différentes façons d'installer des panneaux solaires :

- intégrée au bâti (IAB),
- en pose de tuiles photovoltaïques,
- surimposée sur le toit.

Ces différentes méthodes présentent chacune des avantages et des inconvénients. Nous retiendrons que le mode d'installation le plus pratiqué est la **surimposition** : les panneaux solaires sont installés par-dessus une toiture existante, ce qui la rend moins chère et plus simple à installer. Ce système surélève les panneaux solaires par rapport à la toiture, ce qui favorise leur rafraîchissement, ne met pas en péril l'étanchéité de l'habitation et diminue les risques d'incendie.

La surimposition peut également être une technique adaptée aux **toitures plates ou peu pentues** : il est possible d'installer des structures inclinées pour poser les panneaux sur le toit, ce qui présente l'avantage de pouvoir régler directement l'angle d'inclinaison à l'optimum des 30°. Toutefois, il conviendra de porter une attention particulière aux conditions locales de vents extrêmes et de dimensionner les structures en conséquence, car les panneaux sur toiture plate ont une prise au vent importante.

### ▪ **Aide de l'ADEME**

L'ADEME propose un dispositif d'aide aux études de faisabilité pour accompagner entreprises et collectivités dans la mise en place de leur toiture ou ombrière solaire photovoltaïque en autoconsommation individuelle, par un prestataire Bureau d'études ou Conseil d'assistance à maîtrise d'ouvrage.

### ▪ **Les limites du photovoltaïque**

L'urgence climatique est de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ceci est vrai à l'échelle nationale, comme à l'échelle locale. L'objectif est de passer aussi rapidement que possible d'une énergie carbonée à une énergie non carbonée.

Le but principal du développement des énergies renouvelables est donc de permettre au territoire de réduire les tonnes de CO<sub>2</sub> émises chaque année.

Pour cela, il faut à la fois :

- réduire les consommations d'énergie, en premier lieu d'origine fossile,
- électrifier les usages qui ne correspondent pas à de la consommation de chaleur renouvelable.

Concernant l'électricité, les études de RTE<sup>20</sup> prévoient une augmentation des besoins en électricité et montrent que, pour répondre à la hausse de la demande, le développement du nucléaire ne suffira pas et exigera aussi un développement de la production d'électricité d'origine renouvelable.

### **4.3. La biomasse**

La production d'énergie à partir de la biomasse, c'est à dire de matières organiques, peut utiliser des produits très divers : végétaux, boues de station d'épuration, déchets verts, lisiers, etc.

Les procédés sont eux aussi très variés : combustion directe, combustion d'un gaz ou d'un liquide obtenu à partir de la biomasse, transformation chimique ou biochimique...

#### **Le procédé le plus ancien et le plus répandu est la combustion directe du bois.**

Les autres procédés visent à transformer la biomasse par fermentation ou digestion (anaérobie ou aérobie), afin d'obtenir un combustible sous forme gazeuse ou liquide dont on a éliminé l'eau ; l'eau dans la biomasse a l'inconvénient de refroidir la combustion, et donc d'en réduire le rendement énergétique tout en augmentant fortement les émissions de polluants locaux.

#### **a) Le bois-énergie**

Le bois-énergie est une source d'énergie intéressante dans le cadre d'une exploitation forestière raisonnée : elle est à la fois disponible à relativement bon marché, renouvelable, et avec très peu d'émissions de GES. Cela dit, il faut garder à l'esprit que les usages prioritaires du bois doivent être la séquestration de carbone et la production de bois d'œuvre, et que les usages énergétiques doivent rester secondaires.

- **Contexte**

Avant d'aborder les solutions envisageables, nous évoquerons préalablement quelques éléments de contexte sur les ressources locales et l'approvisionnement.

- **La ressource en bois sur le territoire**

Même si l'implantation de chaufferies bois est envisageable indépendamment des ressources locales, il peut être intéressant de privilégier une approche « circuits courts » en ciblant les filières locales.

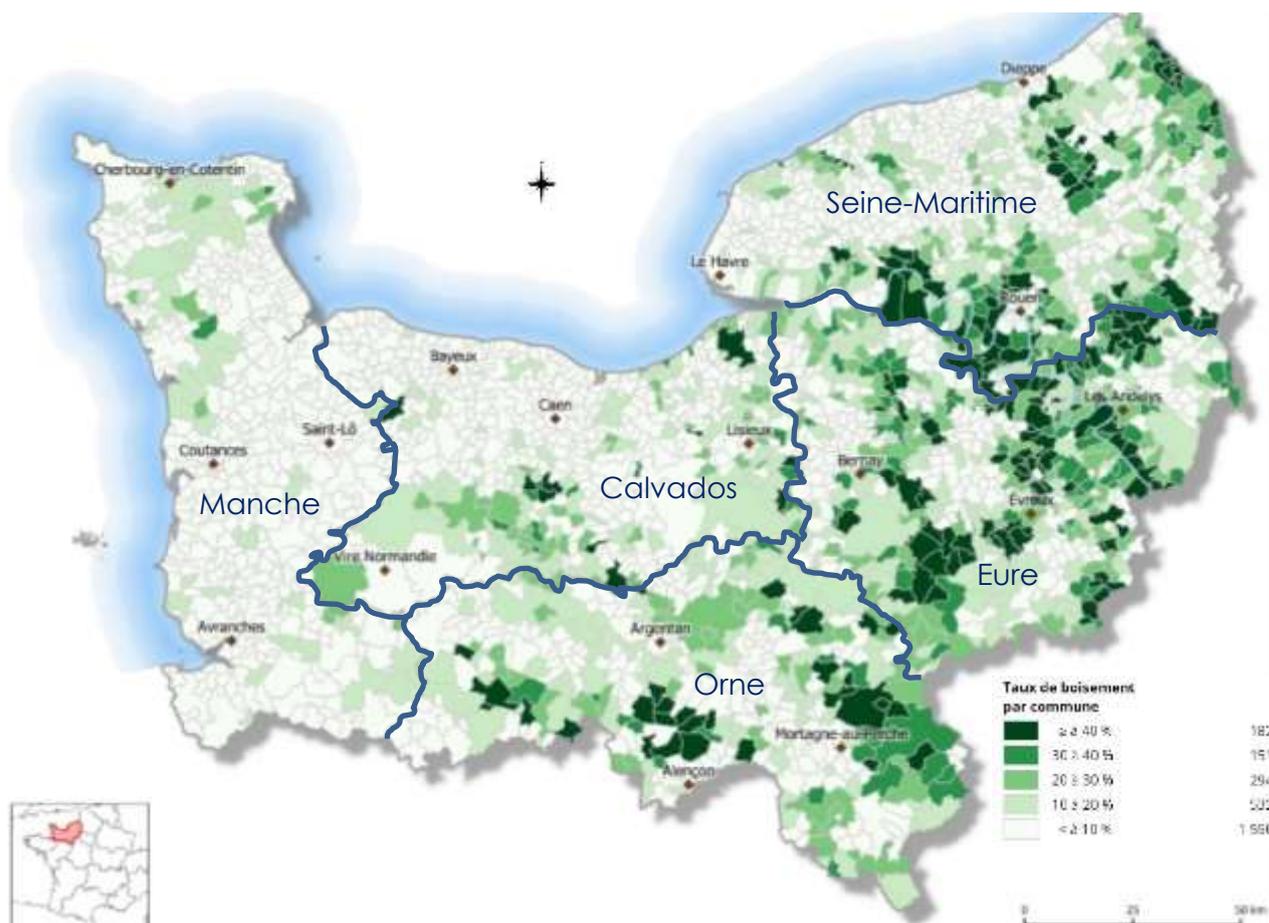
- **Ressource forestière**

L'ancienne région Basse-Normandie (Manche, Calvados, Orne), et a fortiori Caen Métropole, est parmi les territoires les moins boisés de France, avec 8 % de surface forestière. Comparativement, la région Normandie actuelle a une forêt de 451 276 hectares, soit un taux de boisement de 15,1 % (pour la France : 17,1 millions d'hectares, soit 31 %).

---

<sup>20</sup> <https://rte-futursenergetiques2050.com/>

Les ressources bois ne se trouvent donc pas dans un voisinage immédiat du futur site mais peuvent quand même être approvisionnées à l'échelon régional. La Normandie, 8<sup>e</sup> région de récolte de bois en 2019, représente 3,1 % de la production nationale. Les départements de l'Eure, de la Seine-Maritime et de l'Orne (plus de 100 000 hectares chacun) sont les plus fournis (79 % des surfaces boisées de la région Normandie), la Manche et le Calvados étant les départements les moins boisés de la région.



*Figure 9. Taux de boisement par commune en Normandie.*

*Source : DRAAF Normandie*

Le SCoT révisé de Caen Normandie Métropole ambitionne dans son Document d'Orientations et d'Objectifs la poursuite et l'intensification de la filière bois-énergie, en privilégiant les unités collectives et les ressources locales gérées de manière durable. Et le PCAET de Caen Normandie Métropole décrit précisément l'objectif de développer et structurer la production de bois énergie sur son territoire ; le potentiel de production supplémentaire résidant essentiellement dans l'exploitation des haies.

▪ **Valorisation du bois**

Dans le département du Calvados, sont recensées fin 2018, 52 chaufferies collectives en fonctionnement consommant 38 500 tonnes de bois pour produire près de 120 000 MWh de chaleur.

Le bois-énergie reste une activité annexe de l'exploitation forestière, principalement orientée sur la production de bois d'œuvre. Il est cependant tout à fait possible d'implanter des chaufferies, quitte à jouer sur différentes sources d'approvisionnement dans un périmètre raisonnable. Le bois est utilisable sous des formes variées : bûches, plaquettes, granulés, pellets, sciure... Ces différentes formes de bois ont un coût et des performances thermiques variables.

Si on envisage la mise en œuvre du bois énergie sur la zone, on peut faire l'hypothèse d'un approvisionnement en produits alternatifs comme les copeaux de bois recyclé. Les études d'opportunité et de faisabilité permettront d'éclairer ce choix.

Par ailleurs, la mobilisation de la ressource pourrait connaître une évolution dans les années à venir selon la quantité de nouvelles implantations en lien avec les objectifs de développement durable. Cependant les choses ne changeront sans doute pas sans une évolution des prix de commercialisation : il faut que le bois soit vendu suffisamment cher pour que les professionnels (exploitants forestiers, scieurs...) y trouvent leur profit et s'organisent pour répondre à la demande.

**Même si l'implantation de chaufferies bois est envisageable indépendamment des ressources locales, il est intéressant de privilégier, au moins dans un premier temps, une approche « circuits courts » en ciblant les filières locales.**

▪ **Différentes hypothèses pour l'approvisionnement**

On trouve des fournisseurs de bois de chauffage à proximité du site, comme Heroult Bois et Débit, situé à Sannerville au nord de Moulit-Chicheboville, ou Biodistribution, situé à Soliers à l'ouest de Moulit-Chicheboville, dans les deux cas dans un rayon d'une dizaine de kilomètres.

Le bois est utilisable sous des formes variées : bûches, plaquettes, granulés, pellets, sciure... Ces différentes formes de bois ont un coût et des performances thermiques variables.

Si la mise en œuvre du bois énergie est envisagée sur la zone, nous pouvons faire l'hypothèse d'un approvisionnement en produits alternatifs comme les copeaux de bois recyclé.

Les études d'opportunité et de faisabilité permettront d'éclairer ce choix.

▪ **Risque de pollution atmosphérique**

La combustion du bois comporte un risque de pollution atmosphérique, puisqu'elle entraîne le rejet de particules fines et ultrafines dans l'air. Cette pollution est plus facilement maîtrisable dans une installation collective, les chaudières assurant une température de combustion élevée et pouvant être équipées d'un filtre à fumée.

### ▪ **Les choix techniques et financiers**

Au vu de la physionomie du projet et des besoins en chaleur (moins de 0,6 GWh/an), l'installation d'une chaudière collective correctement dimensionnée (ou plusieurs : une par bâtiment) pourra s'avérer efficace.

Pour aller plus loin dans l'étude de cette solution bois-énergie, l'appui de l'ADEME au maître d'ouvrage permettra de préciser comment lancer une **étude technico-économique** approfondie pour éclairer les choix techniques et les coûts.

### ▪ **Aides de l'ADEME**

Il est à noter que les **études de faisabilité sont en partie financées** par l'ADEME dans le cadre du **Fonds chaleur**<sup>21</sup> : l'ADEME Normandie pourra étudier les financements possibles via le Fonds chaleur en fonction de la situation du demandeur (entreprise, collectivité, association) et de l'installation ciblée. Au-delà des aides à l'investissement, l'ADEME accompagne les organisations sur toutes les phases du projet : note d'opportunité, étude de faisabilité, assistance à maîtrise d'ouvrage, conseils...

Ces informations pourraient être **partagées aux futurs propriétaires des lots**, par le biais d'un futur *cahier de prescriptions architecturales, urbaines, paysagères, techniques et environnementales*.

Les résultats de cette étude permettront d'aider au choix du mode de chauffage et de la puissance des chaudières.

## **b) La méthanisation**

La méthanisation permet de produire de l'énergie à partir d'une grande variété de produits fermentescibles.

Bien qu'en développement dans la région Normandie (204 unités de méthanisation opérationnelles et 80 en projets à fin juillet 2024, contre 70 unités début 2018), la filière reste peu développée sur le territoire de Caen Normandie Métropole, avec 4 installations de méthanisation dont les données (puissance, production) ne sont pas toutes connues. Caen Normandie Métropole a identifié un potentiel important pour cette source d'énergie dans le diagnostic de son PCAET et le plan d'actions de ce PCAET cible un objectif de 200 GWh d'énergie produite par méthanisation en 2030.

Compte tenu de l'utilisation prévue des lots pour le projet d'extension (artisanats et bureaux) mais aussi des nuisances olfactives et de celles dues au transport généré, l'intégration d'une installation de méthanisation à la ZAC n'est pas la cible. Ces installations sont à privilégier au plus près des terres agricoles générant des produits fermentescibles, et les terres agricoles environnantes, exploitant majoritairement des céréales (blé, orge, colza), ne sont pas les plus intéressantes pour la méthanisation.

---

<sup>21</sup> <http://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-laction/produire-chaleur/fonds-chaleur-bref>

#### 4.4. L'énergie éolienne

Bien que l'éolien présente un potentiel en zone rurale, la proximité des habitations interdit l'installation de grand éolien sur la zone <sup>22</sup>.

Un potentiel théorique pourrait exister sur du « petit éolien », mais les recommandations de l'ADEME excluent ce type d'équipement, tant pour des raisons techniques (turbulence, faible force du vent) que paysagères.

**Nous ne retenons donc pas l'éolien comme présentant un potentiel pour le projet.**

Typologie	Constat	Recommandations ADEME
Eoliennes rattachées au pignon des habitations	Peuvent mettre en danger la stabilité du bâtiment	Déconseiller systématiquement
Eoliennes en milieu urbain ou péri-urbain	i) Le vent est en général trop faible ou trop turbulent pour une exploitation rentable ii) Risque élevé de modification du paysage urbain, impactant la ressource en vent	Déconseiller les installations
Eolienne en zone rurale (connectée ou non au réseau électrique)	La ressource est plus facilement accessible. Les éoliennes à installer en milieu rural sont globalement plus homogènes, techniquement plus matures. Un soutien au déploiement sur ce secteur permettrait de suivre une courbe d'apprentissage plus rapide que pour des plus petites machines.	Secteur cible pour les petites et moyennes éoliennes. Etudes de faisabilité ou opération exemplaire pour un bouquet de travaux EnR-efficacité énergétique.

Figure 10. Synthèse des recommandations de l'ADEME concernant le petit éolien.  
Source : ADEME

#### 4.5. L'énergie hydraulique

Le PCAET de Caen Normandie Métropole <sup>23</sup> montre que **la zone étudiée ne présente pas de potentiel de production hydraulique.**

#### 4.6. La géothermie

##### a) Présentation

La géothermie est l'exploitation de la chaleur du sous-sol. Cette exploitation peut s'effectuer à différents niveaux :

- la géothermie très basse énergie (géothermie de surface) jusqu'à environ 100 m,
- la géothermie basse énergie (géothermie profonde) jusqu'à 2 000 m,
- la géothermie haute énergie (géothermie très profonde) jusqu'à 10 000 m.

Pour l'instant, peu d'études ont été faites au niveau national pour évaluer le potentiel des ressources en géothermie profonde. Seuls le bassin aquitain et l'Île-de-France ont fait l'objet d'investigations dans les aquifères profonds. Compte-tenu des coûts

<sup>22</sup> <https://www.normandie.developpement-durable.gouv.fr/les-cartes-des-zones-favorables-au-developpement-a5374.html>

<sup>23</sup> <https://polesmetropolitains.fr/caen-metropole/plan-climat-air-energie-territorial-et-transitions/>

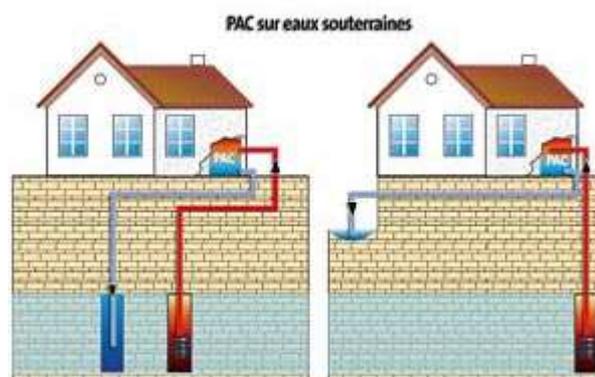
d'exploitation et des difficultés techniques, ces technologies se sont peu développées<sup>24</sup>.

Ainsi, ce sont surtout les technologies de géothermie de surface qui sont retenues. Elles concernent l'exploitation de deux types de ressources : l'énergie naturellement présente dans le **sous-sol** à quelques dizaines, voire centaines de mètres et dans les **aquifères** qui s'y trouvent ou dans les nappes. Elles permettent de chauffer des bâtiments et/ou produire de l'eau chaude sanitaire.

### Géothermie en eaux souterraines (aquifères ou nappe)

Il s'agit de prélever l'eau du sous-sol pour en récupérer les calories. La technologie généralement retenue est le doublet géothermique, c'est-à-dire la création de deux puits :

- un puits de prélèvement,
- un puits de réinjection afin de ne pas appauvrir la nappe ou l'aquifère en eau.



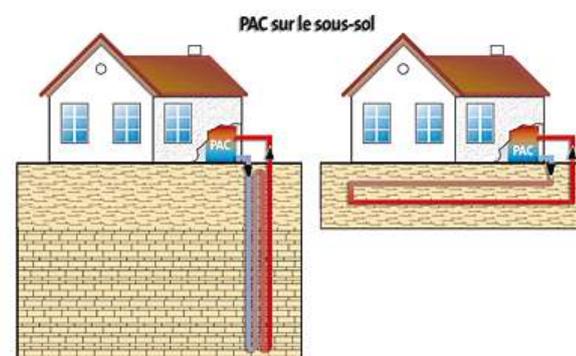
Géothermie en eaux souterraines

### Géothermie en sous-sol

Il s'agit de capter les calories emmagasinées dans le sous-sol. La technologie repose sur des sondes géothermiques verticales ou horizontales qui peuvent capter la chaleur du sous-sol à partir de 80 cm de profondeur, jusqu'à une centaine de mètres en général.

La chaleur emmagasinée dans le sol est accessible en tout point du territoire.

Dans le cas de sondes géothermiques verticales, une pompe à chaleur réversible permettra aussi, en été, de capter la chaleur de l'air et de l'injecter dans la roche, renouvelant ainsi la chaleur du sous-sol chaque année.

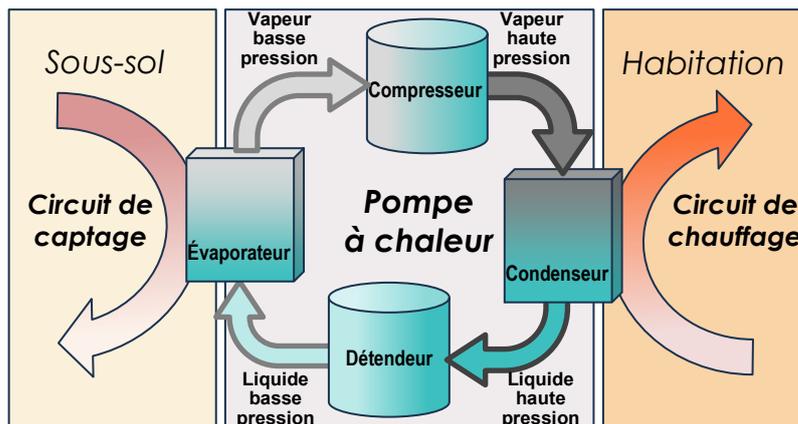


Géothermie en sous-sol

## **b) Comment fonctionnent ces systèmes ?**

Les calories de la nappe ou du sol sont récupérées et transférées à un réseau de chauffage ou rafraîchissement par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur (PAC). Cette PAC est constituée de différents éléments :

<sup>24</sup> La région Île-de-France a fait figure de précurseur, avec des installations mises en œuvre au début des années 1980 pour alimenter des réseaux de chauffage collectif.



*Principe de fonctionnement d'un chauffage avec pompe à chaleur – Source : ADEME*

En mode chauffage :

- 1) Un échangeur, aussi appelé évaporateur, récupère une partie de la chaleur du sous-sol pour réchauffer un fluide dit « caloporteur ».
- 2) Le compresseur comprime le fluide, ce qui élève encore sa température.
- 3) L'échangeur intérieur, ou condenseur, transfère les calories au circuit de chauffage, ce qui refroidit le fluide caloporteur.
- 4) Le détendeur abaisse la pression du fluide, et donc sa température, pour amorcer un nouveau cycle.

Par une inversion de son fonctionnement, la PAC peut également rafraîchir l'air intérieur, voire stocker dans le sol une partie de la chaleur, pour la récupérer lors de la saison froide suivante.

La PAC utilise de l'électricité pour faire fonctionner l'ensemble de ses composants. On appelle Coefficient de Performance (ou COP) le rapport entre la quantité d'énergie (calorifique) fournie et la quantité d'énergie (électrique) consommée. Généralement, le COP est de l'ordre de 4,5 sur les modèles de pompe à chaleur géothermique. Cela signifie que pour 1 kWh d'électricité consommée, le local recevra 4,5 kWh de chaleur.

La température de l'eau ou du sous-sol proche de la surface est de l'ordre de 12 à 14 °C tout au long de l'année. Pour un rendement optimal, il est recommandé d'utiliser ces technologies pour du chauffage basse température. Elles sont donc privilégiées pour des solutions de chauffage par plancher chauffant (~30°C). Néanmoins, elles peuvent également alimenter des ventilo-convecteurs.

### **c) Quel potentiel pour la zone ?**

D'après le PCAET de Caen Normandie Métropole<sup>25</sup>, la géologie du territoire ne permet pas une exploitation de la géothermie profonde (sources chaudes) ; en revanche, **les autres formes de géothermie (basse et très basse énergie), qui extraient la chaleur des aquifères superficiels ou du sol via une pompe à chaleur, peuvent tout à fait être exploitées.**

<sup>25</sup> <https://polesmetropolitains.fr/caen-metropole/plan-climat-air-energie-territorial-et-transitions/>

Avant de réaliser une installation, il faut faire un test de réponse thermique sur le terrain pour vérifier le potentiel. En effet plusieurs installations de géothermie de basse énergie existent sur le territoire :

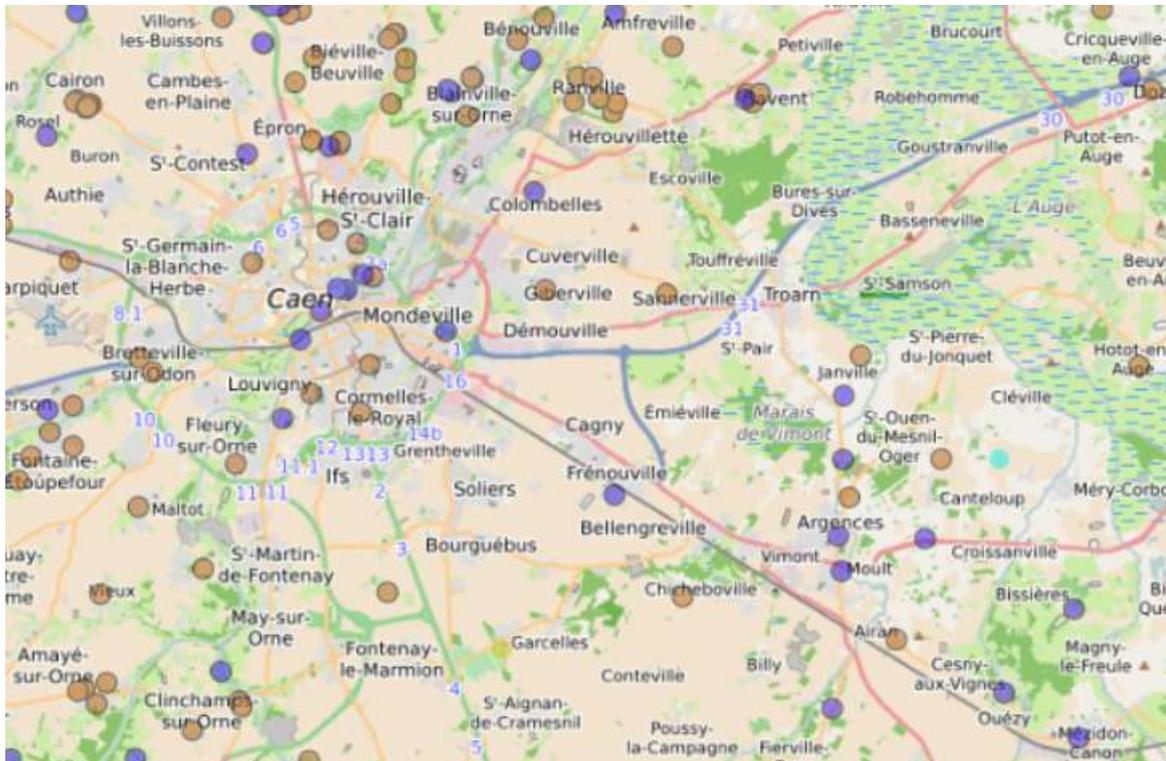


Figure 11. Carte des installations de géothermie réalisées près du site – Source : [geothermies.fr](http://geothermies.fr)

- En mauve : installations de géothermie de surface sur échangeurs ouverts (nappes).
- En marron : installations de géothermie de surface sur échangeurs fermés (sonde).

Les aides éventuelles du Fonds chaleur pour les projets de géothermie ne couvriraient que le circuit primaire, c'est-à-dire jusqu'à la pompe à chaleur (inclusivement), mais pas les circuits secondaires pour le raccordement des bâtiments.

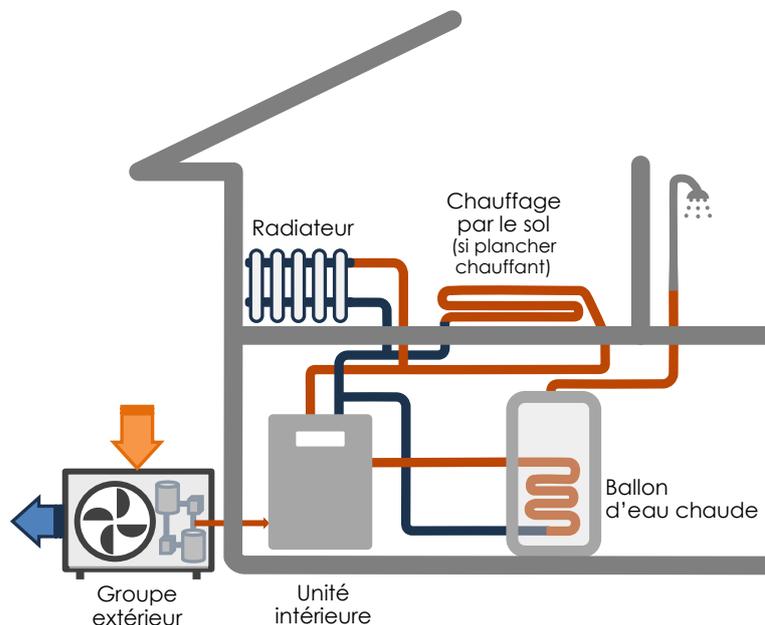
#### d) **Aides de l'ADEME**

L'ADEME accompagne les entreprises et collectivités des secteurs résidentiel, collectif, tertiaire et industriel par une aide au test de réponse thermique (TRT) de terrain. L'objectif du TRT permet de fournir des informations sur les propriétés thermiques moyennes du terrain et donc sur l'intérêt de pouvoir faire de la géothermie sur champs de sondes pour le chauffage des bâtiments sur les terrains concernés.

L'ADEME propose également un accompagnement des organisations sur les points suivants : aide au financement d'une étude de faisabilité en géothermie de surface, aide pour des installations de production de chaleur et de froid à partir de géothermie de surface ou à partir de boucle d'eau tempérée géothermique.

#### 4.7. L'aérothermie

L'aérothermie consiste à récupérer la chaleur contenue dans l'air extérieur, et à la restituer à un réseau d'air ou d'eau par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur.



Fonctionnement d'un chauffage par aérothermie alimentant un réseau d'eau.  
Source : Cabinet Lamy Environnement.

Le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur varie selon la température extérieure, diminuant quand celle-ci baisse. Ainsi, le COP est de l'ordre de 3 à 4 à +7 °C et de l'ordre de 2 à 2,5 à -7 °C. À très basse température (environ -10 °C), le COP se rapproche de 1, ce qui revient à un chauffage 100 % électrique.

L'aérothermie permet de chauffer des bâtiments et/ou de produire de l'eau chaude sanitaire. Tout comme la géothermie, elle est à privilégier pour du **chauffage basse température (environ 30 °C)**.

Sa mise en œuvre est relativement aisée et ne nécessite pas de travaux d'aménagement importants. L'installation d'un puits climatique (voir schéma page suivante) peut, elle, requérir des frais d'ingénierie, de terrassement et d'installation quand le bâtiment n'en est pas doté dès sa construction.

En 2023, à la station météo voisine de Caen-Carpiquet :<sup>26</sup>

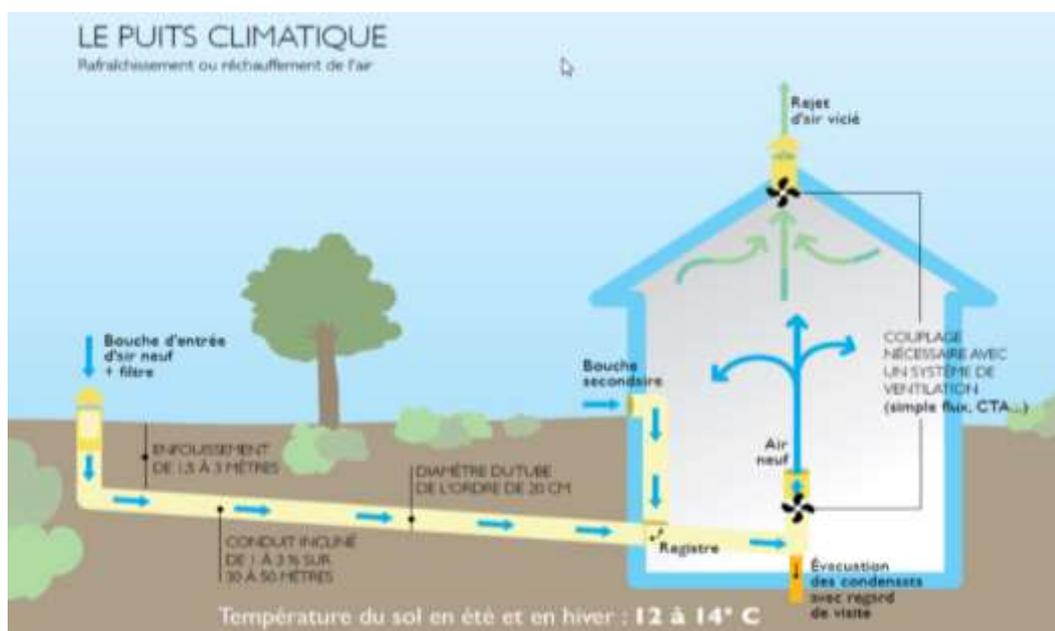
- la température moyenne mensuelle la plus basse a été de +3,4 °C en février (avec un record annuel de froid de -3,8 °C le 22 janvier).
- la température moyenne mensuelle la plus haute a été de 24,1 °C en septembre (avec un record annuel de chaud de +33,0 °C le 7 septembre).

**Par conséquent, le climat local est favorable à l'utilisation de l'aérothermie. Il semble tout à fait envisageable de l'exploiter pour le chauffage de bâtiments d'artisanat ou de locaux tertiaires (par plancher chauffant, idéalement).**

<sup>26</sup> Source : <https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2023/caen-carpiquet/valeurs/07027.html>

Remarques : Pour capter l'air extérieur, des unités munies de système de ventilation sont posées en extérieur. Ces installations engendrent du bruit : il est donc indispensable de réfléchir en amont à leur implantation pour minimiser les nuisances sonores alentour. Par ailleurs, leur positionnement sur les bâtis doit se faire suivant les règles d'urbanisme en vigueur sur le territoire considéré.

Dans les régions plus continentales, soumises à de fortes variations de température, il est possible de conserver un COP proche de l'optimal quelle que soit la température extérieure, et ainsi économiser encore plus d'énergie, en combinant la pompe à chaleur à un puits climatique<sup>27</sup>. Le puits climatique fait circuler de l'air extérieur dans des tubes enterrés à une profondeur où la température du sol reste stable tout au long de l'année, avant de le faire entrer dans le bâtiment grâce à une ventilation.



*Principe de fonctionnement d'un puits climatique – Source : ADEME / ADG*

#### 4.8. La récupération d'énergie fatale

Quand on consomme de l'énergie, celle-ci n'est jamais utilisée à 100 %, et l'énergie inutilisée est dite « fatale ». Cette énergie fatale peut parfois être récupérée pour d'autres usages, en particulier **sous forme de chaleur pour le chauffage de bâtiments ou la production d'eau chaude sanitaire**.

Les installations susceptibles de produire cette énergie fatale sont des installations industrielles, des stations d'épuration, des usines de traitement d'ordures ménagères, des centres de données, etc.

Aucune installation de ce type n'a été identifiée à proximité du site. La récupération de chaleur sur les eaux grises, par des systèmes passifs ou actifs, pourrait éventuellement présenter un potentiel intéressant, si la mise en œuvre est compatible avec les contraintes d'implantation. L'intégration des récupérateurs dans le projet de construction doit évidemment être prévue très en amont.

<sup>27</sup> Le puits climatique est appelé « puits canadien » quand le sol réchauffe l'air qui circule dans les tubes ; il est appelé « puits provençal » quand le sol rafraîchit l'air qui circule dans les tubes. Puits canadien et puits provençal qualifient un seul et même système.  
Source : <https://www.envirobat-oc.fr/IMG/pdf/99695362-avis-de-l-ademe-sur-les-puits-climatiques.pdf>.

## 5. SYNTHÈSE

---

À partir des analyses précédentes, le tableau de la page suivante récapitule, pour chaque énergie, la disponibilité de la source d'énergie, ses avantages et contraintes, et ses impacts environnementaux.

La dernière colonne du tableau, « Intérêt global », propose une évaluation synthétique de l'opportunité que constitue chaque source d'énergie dans le cadre de la mise en œuvre du projet.

L'intérêt global que présente chaque source d'énergie pour le projet est évalué sur une échelle de 1 à 5 (de 1 = nul à 5 = fort).

Source d'énergie	Disponibilité de la ressource	Avantages	Contraintes	Impacts environnementaux	Intérêt global
<b>Solaire photovoltaïque</b>	Bonne	Tarifs de rachat	- Limites liées à l'intermittence et au faible gain en CO <sub>2</sub>	- Bilan GES de l'installation variable selon l'origine des panneaux	<b>5</b>
<b>Aérothermie</b>	Bonne	Économique	- Implantation des échangeurs - Bruit	- Très peu d'émissions GES - Se substitue aux énergies fossiles	<b>5</b>
<b>Géothermie</b>	Moyenne	Économique	- Coût d'installation important	- Très peu d'émissions GES - Se substitue aux énergies fossiles	<b>5</b>
<b>Bois-énergie</b>	Bonne	Disponible à (relativement) bon marché	- Risque de pollution atmosphérique (particules fines) - Risque de conflit d'usage	- Très peu d'émissions GES - Se substitue aux énergies fossiles - Risque de pollution atmosphérique (particules fines)	3
<b>Réseau de chaleur</b>	<i>Non applicable</i>	Peu d'émissions GES	- Coût d'installation élevé	- Très peu d'émissions GES <sup>28</sup> - Se substitue aux énergies fossiles	3
<b>Méthanisation</b>	Moyenne	Peu d'émissions GES	- Coût d'installation élevé - Projet complexe - Pas adapté au projet	- Très peu d'émissions GES - Se substitue aux énergies fossiles	1
<b>Récupération d'énergie fatale</b>	Faible	Économique, efficace pour les besoins en ECS	- Doit être prévue en amont - Non adapté pour des activités économiques	- Très peu d'émissions GES - Se substitue aux énergies fossiles	1
<b>Solaire thermique</b>	Bonne	<i>Non détaillé</i>	<i>Non détaillé</i>	<i>Non détaillé</i>	—
<b>Éolien</b>	Moyenne (turbulences)	<i>Non détaillé</i>	<i>Non détaillé</i>	<i>Non détaillé</i>	—
<b>Hydraulique</b>	Aucun	<i>Non détaillé</i>	<i>Non détaillé</i>	<i>Non détaillé</i>	—

<sup>28</sup> « GES » : gaz à effet de serre.

## CONCLUSION

---

Cette étude avait pour objectif d'analyser le potentiel des différentes énergies renouvelables dans le cadre de l'aménagement de la ZAC « La Dolomède » dans la commune de Moulton-Chicheboville.

### Nos conclusions sont les suivantes :

- L'installation de **panneaux solaires photovoltaïques** présente un bon potentiel. L'installation sur toiture est une possibilité qu'il faudra envisager pour la production d'électricité spécifique. Avec des panneaux fabriqués en Europe, elle présente un potentiel de réduction de GES important. L'investissement est amorti en une douzaine d'années d'exploitation.
- L'**aérothermie** apparaît comme un levier efficace pour limiter la dépendance du site aux énergies fossiles. Les gains en GES sont importants, et le coût annuel d'exploitation est faible. La contrainte du bruit généré devra être prise en compte par l'architecture pour en limiter l'impact.
- Une des pistes intéressantes concerne l'utilisation de la **géothermie** pour alimenter un ou plusieurs bâtiments. Une **étude de faisabilité** permettrait de préciser les hypothèses de périmètre et de fonctionnement. La géothermie a un coût d'investissement généralement élevé, mais ses coûts d'exploitation sont ensuite bien plus faibles que le chauffage au gaz. Les gains en GES sont très importants.
- Une **chaudière-bois** est possible à l'échelle du projet. Le bois est une énergie encore bon marché, nécessitant un investissement moindre que la géothermie. Les contraintes d'espace de production de biomasse et d'entretien de la chaudière sont à prendre en considération.

**Combinée à un chauffage par aérothermie, une chaudière-bois** peut également être envisagée comme source de chaleur d'appoint : cela permet de moins solliciter le réseau électrique et d'optimiser le coefficient de performance des pompes à chaleur durant les quelques semaines les plus froides de l'année, au moment où l'opérateur national doit faire le plus appel aux capacités d'effacement des consommateurs d'électricité.

- La création d'un **réseau de chaleur** sur Moulton peut être une piste intéressante, si son raccordement au reste de la zone industrielle, voire au bourg de Moulton, est envisagé.
- En revanche, la **méthanisation** n'est pas une solution adaptée à la zone ciblée car complexe à mettre en place et exigeant des volumes importants de déchets agricoles produits alentour.
- Le **solaire thermique** n'est pas non plus une hypothèse à privilégier du fait du type de projet envisagé.
- Enfin, l'énergie de **récupération de chaleur fatale** ne semble pas non plus être pertinente au regard des énergies disponibles alentour.

Le recours aux énergies renouvelables relèvera donc principalement des choix faits par la collectivité et le maître d'ouvrage, qui joueront un rôle déterminant pour **inciter les promoteurs et constructeurs à se mobiliser sur des actions ambitieuses** sur l'utilisation des énergies renouvelables.

#### **a) Maîtrise des consommations d'énergie**

En ce qui concerne les mesures permettant de limiter les consommations d'énergie, la collectivité et le maître d'ouvrage sont essentiellement concernés par le bon choix du mode de chauffage des bâtiments, les déplacements et l'éclairage (voir pages 16 et 17).

L'information et la **sensibilisation des futurs occupants des lots** sont également des enjeux importants pour réduire les consommations (voir également page 16).

Un point important concerne l'**implantation des bâtiments** permettant de maximiser les apports de chaleur naturels.

#### **b) Réduction des émissions de GES**

L'utilisation des solutions d'énergies renouvelables préconisées et le bon choix du mode de chauffage permettront de **réduire les émissions de gaz à effet de serre** de manière significative, par rapport aux énergies fossiles classiquement utilisées.

En complément, les émissions de gaz à effet de serre liées à la construction et aux types de matériaux utilisés (calcul en analyse de cycle de vie) sont également intégrés aux nouveaux critères de la RE 2020. Cela incite à l'utilisation de matériaux biosourcés et géo-sourcés, à séquestrer du carbone via les constructions bois, et à évoluer progressivement vers une plus grande mixité des matériaux (constructions mêlant bois et béton, ou matériaux mixtes de type béton-végétaux, par exemple). Le recours à ce type de matériaux est d'ailleurs recommandé par le Projet d'Aménagement et de Développement Durables du Plan Local d'Urbanisme intercommunal (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** en page 3).

Pour les déplacements, le développement et la facilitation des modes actifs et des transports en commun peut également contribuer de manière significative à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

---