

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

Extension de la ZI de Martray - Giberville

Caen-la-Mer Normandie Communauté Urbaine



Extension de la Zone industrielle du Martray à l'Est

Source : Géoportail

En application de l'article L300-1 du Code de l'Urbanisme

V1

Sommaire

1. CONTEXTE ET PRESENTATION DE L'OPERATION	4
1.1. Contexte réglementaire	4
1.2. Situation géographique et milieu physique	4
1.3. Projet d'aménagement	6
2. EVALUATION DES BESOINS ENERGETIQUES	8
2.1. Les besoins	8
2.2. Maîtrise de la consommation en énergie	9
3. RESEAUX DE CHALEUR OU DE FROID	16
4. LES ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION ENVISAGEABLES.....	18
4.1. L'énergie solaire	19
4.2. La biomasse	22
4.3. L'énergie éolienne.....	26
4.4. L'énergie hydraulique	26
4.5. La géothermie	26
4.6. L'aérothermie.....	29
4.7. La récupération d'énergie fatale	30
5. SYNTHESE SUR LE POTENTIEL DES DIFFERENTES ENERGIES RENOUVELABLES	31
6. PRE-ETUDE DE FAISABILITE	33
6.1. Les scénarios.....	33
6.2. Hypothèses	33
6.3. La géothermie	33
6.4. Le bois-énergie	34
6.5. L'aérothermie	34
6.6. Le photovoltaïque	34
6.7. Approche économique et gains environnementaux	34
7. CONCLUSION	37

Cette étude porte sur le potentiel de développement des énergies renouvelables, dans le cadre de l'extension de la zone industrielle du Martray, dans la commune de Giberville (14), sur un terrain précédemment agricole.

L'opération concerne l'aménagement d'une trentaine de parcelles sur **une zone de 11,0 ha** permettant la création d'un pôle à vocation économique. L'ensemble de terrains se divise en une trentaine de parcelles où s'installeront des entreprises, activités industrielles, logistiques...

L'aménagement de la zone est prévu sur une période longue, de plusieurs années. Les nouvelles constructions seront soumises à la **norme RE 2020** ou une norme de construction ultérieure le cas échéant.

Conformément à la réglementation (voir ci-dessous "Contexte réglementaire"), 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.

Nom et qualification des auteurs et relecteurs de l'étude

- Auteurs de l'étude : **Juliette LETELLIER ingénieur**

1. CONTEXTE ET PRESENTATION DE L'OPERATION

1.1. Contexte réglementaire

Selon l'article L300-1 du Code de l'urbanisme (article 8 de la Loi Grenelle 1) : "Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L. 300-1¹ et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, 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."

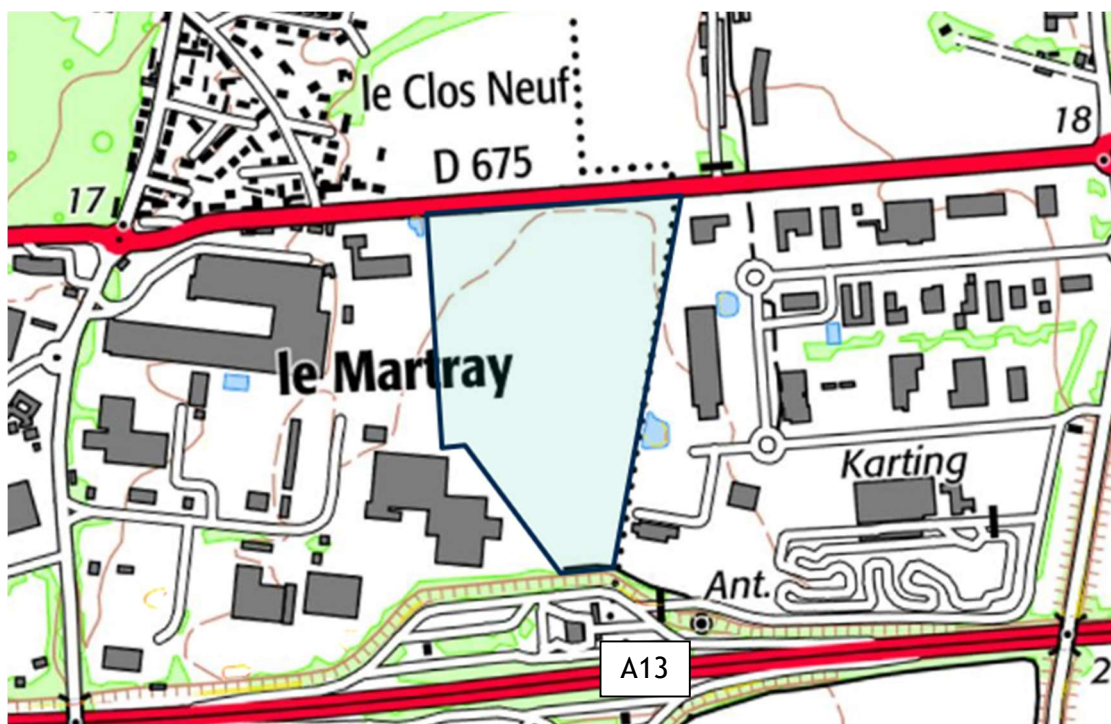
Par conséquent, le projet d'aménagement doit faire l'objet d'une étude sur le potentiel de développement en énergies renouvelables.

1.2. Situation géographique et milieu physique

Situation

Le projet est situé dans l'agglomération de Caen, préfecture du département Calvados en Région Normandie, sur la commune de Giberville, à l'Est de Caen, qui comptait en 2020 un peu moins de 5000 habitants.

Le projet est une extension de la ZI existante par l'Est, en s'installant sur une ancienne terre agricole. La nouvelle zone est également bordée au Sud par l'Aire d'autoroute de Giberville Nord, par la départementale D675 au Nord, et par la zone d'activités du Clos Neuf.



Localisation du site sur fond carte IGN - Source : Géoportail

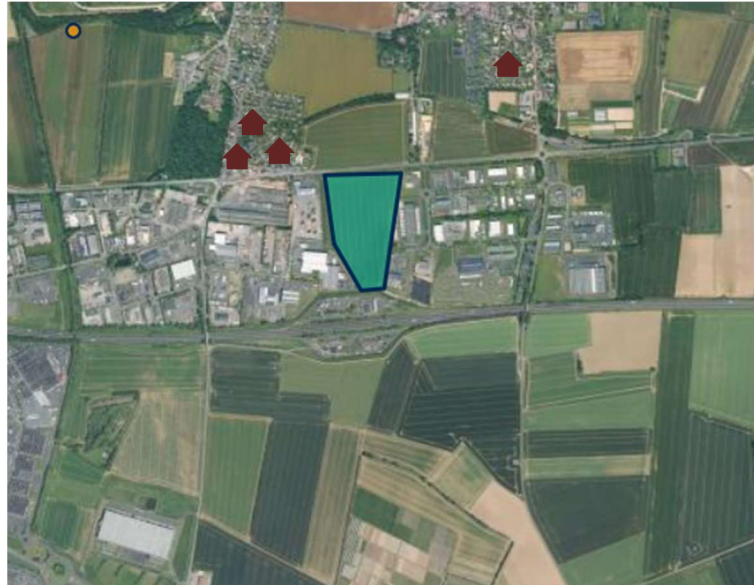
¹ Les actions ou opérations d'aménagement ont pour objet de mettre en œuvre un projet urbain, une politique locale de l'habitat, d'organiser le maintien, l'extension ou l'accueil des activités économiques, de favoriser le développement des loisirs et du tourisme, de réaliser des équipements collectifs ou des locaux de recherche ou d'enseignement supérieur, de lutter contre l'insalubrité, de permettre le renouvellement urbain, de sauvegarder ou de mettre en valeur le patrimoine bâti ou non bâti et les espaces naturels.

Desserte

La zone, du fait de sa situation entre les Zones du Martray et du Clos Neuf déjà existante, est déjà desservie au niveau de l'arrêt Martray, situé à environ 700 mètres du site (selon le point de départ) le long de la départementale.

Environnement urbain

La zone se situe dans une zone industrielle, mais est également à proximité de nombreuses parcelles agricoles. Les habitations les plus proches sont au Nord-Ouest du terrain, de l'autre côté de la route départementale



Vue aérienne du secteur - Source : Géoportail

Climat

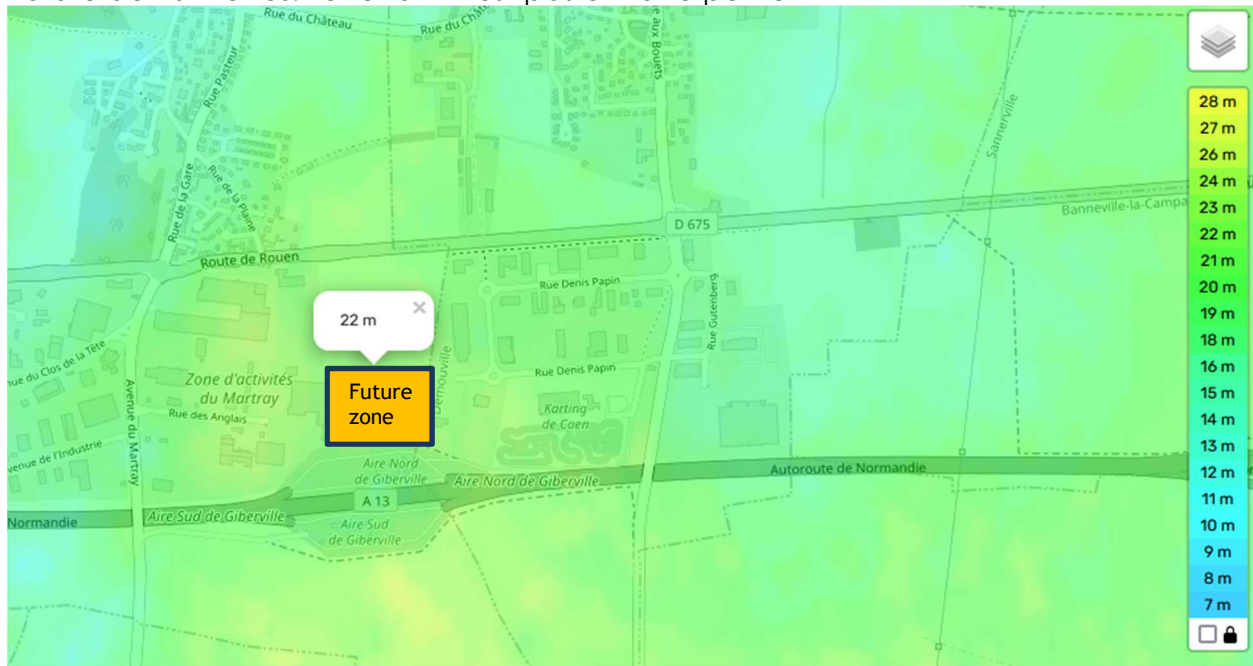
Le climat du département du Calvados varie selon la localisation, notamment en raison de la proximité avec la Manche. Le climat caennais est océanique ; le temps y est frais, humide et venteux. Les précipitations sont moyennes.

Selon Météo France, la commune de Caen connaît les caractéristiques climatiques suivantes (données sur l'année 2019) :

- Un ensoleillement à l'année d'environ **1994,5 h/an** ;
- Une hauteur de précipitation d'environ **788,5 mm/an** ;
- Température minimale **-3,0 °C** ;
- Température maximale **39,7°C**.

Relief

La zone d'étude est localisée dans la plaine des bords de l'Orne, avec une altitude de l'ordre de 20 mètres. Le terrain n'est pas en forte pente



Topographie de la zone d'étude et des communes environnantes (Source : topographic-map)

1.3. Projet d'aménagement

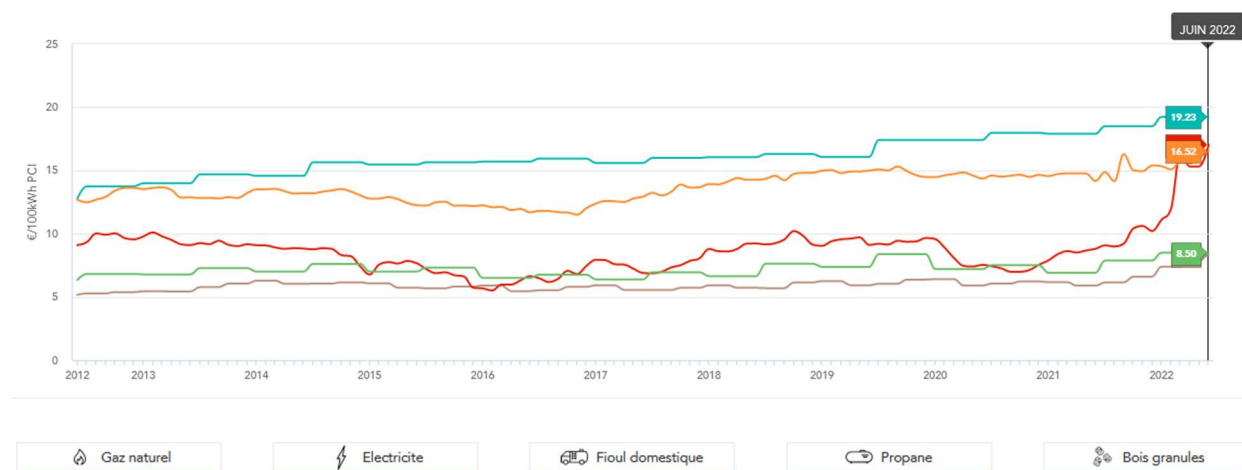
Le projet d'aménagement est destiné à accueillir des entreprises : des petites industries et artisans.

Trente-et-une parcelles sont prévues sur le site, avec des tailles de l'ordre de 2500 m² chacune, soit 75 454 m² cessibles au total, les autres espaces du site étant réservés aux voies de communication et aux espaces verts.

A l'heure où est écrit ce rapport, le projet est encore peu avancé et les activités qui s'installeront sur le site ne sont pas encore connues, à l'exception de l'entreprise de logistique TODD, avec qui un accord devrait être passé afin de permettre un droit de passage en échange de l'agrandissement du site existant sur une partie du terrain visé par cette étude.

Une poche centrale d'emplacements pour les voitures est envisagée, en alternative au fait de laisser chaque entreprise prévoir ses propres places sur sa parcelle.

Comparaison du prix des énergies



[Comparaison des prix des énergies en Euros TTC pour 100 kWh PCI](#)
[Source : GRDF \(octobre 2022\)² données du ministère de la transition Ecologique](#)

Sur des tendances longues (2012 – 2022), **l'électricité est l'énergie la plus coûteuse** tandis que le **bois est la moins onéreuse**. Les prix du **gaz** et du **fioul** ont été progressivement impactés par la taxe carbone, et dessinent des profils globalement à la hausse. Récemment, les prix du fioul et du gaz ont flambé.

² <https://www.grdf.fr/particuliers/evolution-prix-energies>

2. EVALUATION DES BESOINS ENERGETIQUES

2.1. Les besoins

La surface cessible est de 75 454 m². Pour estimer les besoins, on considère que sur chaque parcelle, l'emprise au sol sera de 0,5 au maximum. La plupart des terrains (70 %) accueilleront des bâtiments d'activité (industrie, artisanat) à un seul étage, et quelques lots (30 %) seront destinés à des bureaux sur deux étages. Cela correspondrait à une surface au sol de bureaux de 11 318 m² et à une surface au sol d'artisanat de 26 409 m². Prenons l'hypothèse de bâtiments construits en R+1 pour les bureaux et R+0 pour l'artisanat cela donne une hypothèse de surface de 22 636 m² pour les bureaux et de 26 409 m² pour l'artisanat.

Il est possible d'évaluer un ordre de grandeur des consommations de ces futures constructions en se basant sur les hypothèses de consommation prévues par la RT 2012³, qui sont proches de celles de la RE 2020. Il est important de préciser qu'il s'agit d'un **objectif théorique**. La consommation réelle est toujours supérieure, ne serait-ce que parce que, en pratique, les températures de consigne sont supérieures à la température de 19° C prise en compte dans les calculs.

Pour les bureaux, ils seront soumis au décret tertiaire et devront viser une consommation de chaleur maximale de 57 kWh/m².an pour la zone H1a.

On dispose donc des valeurs suivantes :

Type d'activité	Artisanat	Bureaux
Surface (m ²)	22 636	26 409
Hypothèse de consommation de chaleur annuelle (kWh/m ² .an)	140	57
Consommation de chaleur annuelle estimée (GWh/an)	1,29 GWh	3,70 GWh

Estimation des consommations

Au total, on évalue donc la consommation de chaleur liée aux activités de la future zone à **environ 5 GWh/an**, avec un besoin en eau chaude sanitaire (ECS) faible (pas de logements). Le besoin en **électricité spécifique estimé à 1 GWh**.

Selon les activités qui viendront s'implanter sur le site le besoin en ECS pourrait être plus important. En bordure du site, l'entreprise TODD dispose d'une station de lavage poids lourds pour laquelle le besoin en ECS pourrait être important.

L'éclairage public sera fait de candélabres avec des lanternes LED, le système d'éclairage n'a pas encore été défini avec plus de précision et la consommation due à celui-ci ne changera pas énormément l'évaluation des besoins énergétiques.

³ <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000026910098&dateTexte=20200626>

2.2. 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.

Dans la mesure où ce sont les porteurs de projets qui seront en charge de la construction de leurs bâtiments, cette partie est indicative. Il s'agit en effet de vous indiquer les préconisations qui peuvent être faites aux entreprises s'installant sur la zone, dans le cadre du *cahier de prescriptions architecturales, urbaines, paysagères, techniques et environnementales*.

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

Les actions qui vont être 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.**

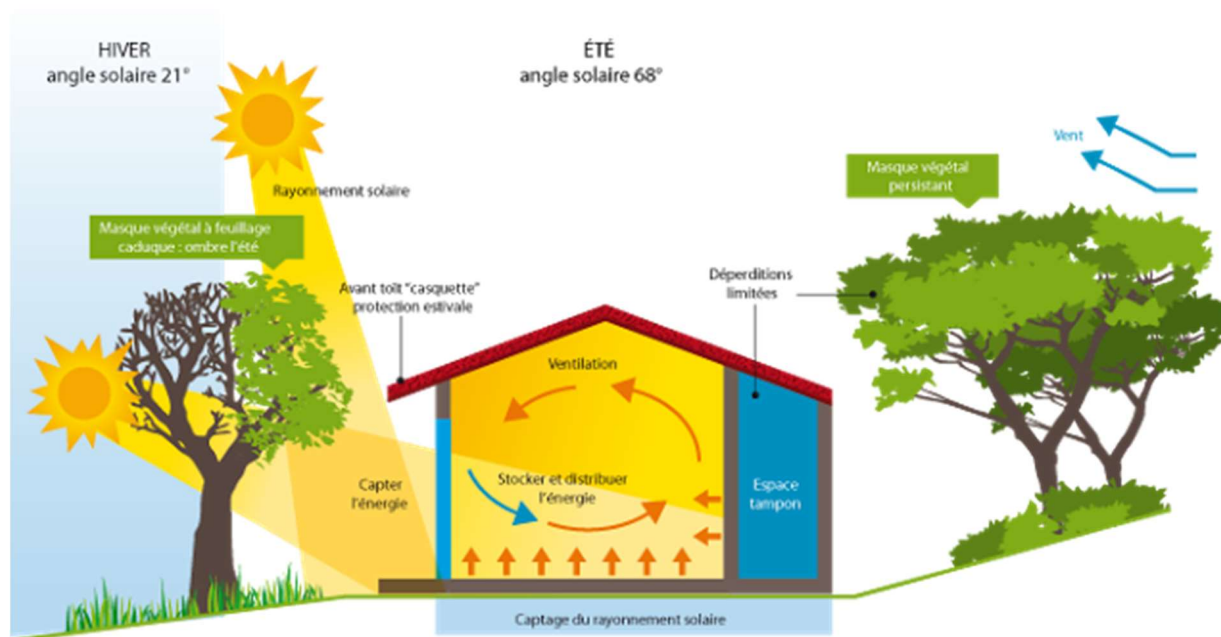
Dans le cas contraire, le programme de construction (structure, implantation...) risque d'être défini sur des critères exclusivement économiques. Et les choix énergétiques seront faits trop tard, à un moment où les marges de manoeuvre seront réduites et laisseront peu de place à des solutions énergétiques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

a) Bioclimatisme

L'objectif principal est d'obtenir le confort d'ambiance recherché de 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 des apports d'énergie du soleil en hiver et à limiter l'apport de chaleur 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. Une attention toute particulière sera portée à **l'orientation du bâtiment** (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 – Source : e-RT2012

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** :

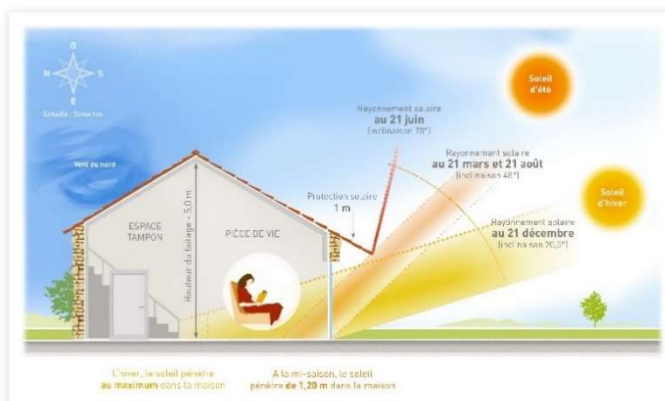
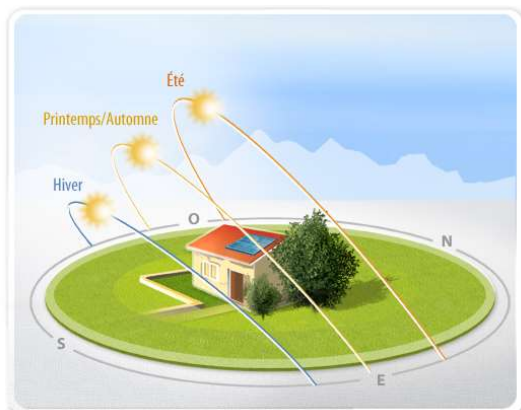
1. Capturer / se protéger de la chaleur

Dans l'hémisphère nord, en hiver, le soleil se lève au **Sud Est** et se couche au **Sud-Ouest**, restant **très bas** (22° au solstice d'hiver). 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 **Sud-Ouest**, montant **très haut** (78° au solstice d'été). **Le soleil est toujours au sud à midi solaire**. Cette fois-ci, ce sont la toiture, les façades Est (le matin) et Ouest (le soir) qui sont le plus irradiées. Quant à la façade Sud, elle reste fortement irradiée mais l'angle d'incidence des rayons lumineux est élevé. Il convient donc de **protéger les surfaces vitrées orientées 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**.

En règle générale, dans l'hémisphère nord, les recommandations sont 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. Par exemple, les chambres orientées à l'ouest devront impérativement être protégées du soleil du soir.



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, 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).

Il est également à noter que 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. Afin de maximiser cette inertie, on privilégiera **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 sont réduites, et plus le coût de la construction sera réduit.

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, la RE 2020, applicable à compter de 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... 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 l'été. L'intégration systématique des besoins de froid – 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"), avancées de toit et auvents, ou balcons. La **plantation de végétaux à feuilles caduques** protégera du soleil estival les ouvertures situées à l'est ou à l'ouest.

L'implantation du bâtiment peut permettre de réduire les consommations d'énergie.

L'implantation optimale consiste 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 site est pensé de telle manière à prévoir une **intégration paysagère**, par l'étalement de végétation arborée sur plusieurs lignes (rangées de haies, arbres et arbustes), définissant les contours des voiries et les délimitations parcellaires. La zone prévoit également une grande noue alimentée par les eaux pluviales. La présence d'eau et de végétation doit 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** (zone de stockage, zone non chauffée), et **à l'est** les surchauffes estivales seront moins importantes qu'à l'ouest. Ainsi les déperditions de chaleurs sont limitées et le bâtiment est plus agréable à vivre.

Ces principes et recommandations sont évidemment à appliquer en fonction des contraintes du terrain.

b) Efficacité énergétique

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

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

Par ailleurs, afin de 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.

c) 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** à intégrer au sein du futur *cahier de prescriptions architecturales, urbaines, paysagères, techniques et environnementales*.

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...

d) Déplacements (transports en commun, pistes cyclables, covoiturage)

Transports en commun

Les lignes 31 et 119 permettent notamment de rejoindre de manière directe et en une quinzaine de minutes la gare SNCF et le centre de Caen, avec plusieurs passages par heure.

Un peu plus loin, l'arrêt Lionel Terray de la ligne 11 est aussi accessible depuis le site, et permet de rejoindre le centre de Caen en passant par le centre de Giberville.



Desserte de la future zone d'activités économiques - Source : Twisto – plan du Réseau

Pistes cyclables

Certains tronçons de la D675, qui dessert le site, sont aménagés avec des pistes cyclables :



Desserte de la future zone d'activités économiques - Source : Mappy/Google Maps

Covoiturage

Il n'est pas prévu d'aire de covoiturage sur le site du projet, à ce stade.

e) Éclairage public

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

Le choix des **LEDs** pour l'ensemble de l'éclairage public assurera par exemple une économie d'énergie importante : de l'ordre de 50 % par rapport à un éclairage classique.

Parmi les autres solutions à mettre en œuvre, on peut citer :

- **Extinction nocturne**, au moins partielle, **modulations horaires**,
- **Différenciation des espaces** (limiter le nombre de points d'éclairage), avec utilisation éventuelle de **détecteurs** pour les zones de faible passage.

3. RESEAUX DE CHALEUR OU DE FROID

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

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

Avantages des réseaux de chaleur ou de froid

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.

A 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 process) ...

Les différentes possibilités sont décrites dans le tableau suivant :

		Définition	Intérêt environnemental
Énergies renouvelables et de récupération	Bois énergie	Chaudière au bois	Réduction des émissions de gaz à effet de serre. Limitation du recours aux énergies fossiles.
	Géothermie	Récupération de la chaleur du sol ou des nappes	
	Cogénération	Production simultanée de chaleur et d'électricité	
	Biogaz	Méthanisation	Valorisation des matières du site. Limitation du recours aux énergies fossiles.
	Valorisation de chaleur fatale	Chaleur produite par un site, un process et non valorisée sur le site	Limitation du recours aux énergies fossiles.
Énergies fossiles	Gaz naturel, fioul, charbon	Chaudières "classiques" ou à condensation (gaz)	Meilleur rendement par rapport à des installations individuelles (en partie annulé par les déperditions).

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 économiques 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 des coûts de l'énergie à moyen ou long terme.

Réseau de chaleur ou de froid : raccordement ou création

Les réseaux existants sont situés trop loin du site pour présenter un intérêt : 2 réseaux de chaleur sont identifiés au nord et au sud de Caen et aucun réseau de froid n'a été identifié à proximité du site.

Le raccordement du site à un réseau existant est donc impossible.



Réseaux de chaleur prospectifs (Source : <https://carto.viaseva.org/>)

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

$$\frac{\text{Besoin en chaleur (chauffage, et éventuellement ECS}^4\text{)}}{\text{longueur du réseau de chaleur}}$$

L'ADEME recommande un ratio de **4,5 MWh/ml/an**. Mais la création est envisageable (et potentiellement soutenue financièrement) à partir de 1,5 MWh/ml/an.

Pour le projet d'extension de la Z.I. du Martray, les besoins en chaleur ou en froid seront à première vue limités, et pas assez importants pour envisager la création d'un réseau de chaleur ou de froid.

Néanmoins si certaines activités nécessitant une quantité importante de chaleur ou de froid venaient à s'installer (blanchisserie, entrepôt froid...), la question pourrait se poser à nouveau.

⁴ Eau Chaude Sanitaire

4. LES ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION ENVISAGEABLES

Les énergies renouvelables représentent les sources énergétiques qui peuvent être utilisées sans que leurs réserves 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.

La loi énergie climat

L'article L111-18-1 du code l'urbanisme⁵, impose désormais pour les nouvelles constructions (pour une exploitation commerciale, industrielle, artisanale, ou espace de stationnement public couvert), dépassant une certaine emprise au sol, **d'équiper la structure, d'un système de production énergétique et thermique**. Les 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**.

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**. Sur les aires de stationnement associées lorsqu'elles sont prévues par le projet, des revêtements de surface, 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.

En détail la loi concerne donc :

- Les **nouvelles constructions**, (la loi n'est pas rétroactive, il n'y a pas d'obligation pour le foncier déjà construit)
- Les **bâtiments soumis à un permis de construire**,
- Les **bâtiments neufs dont l'emprise au sol est supérieure à 1 000 m²** (épaisseur des murs annexes et zones de stationnement comprises)

Quelques exceptions à l'article présent existent :

- Les constructions qui bénéficient déjà d'une installation d'ombrières photovoltaïques et espacées des bâtiments principaux par un espace à ciel ouvert d'au minimum de 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), s'avère être inférieur à 30% de la surface totale.

⁵ https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000039360925/

L'ensemble des lots peut accueillir des bâtiments avec plus de 1 000 m² d'emprise au sol.
Une grande partie des constructions est donc susceptible d'être soumise à cette loi.

Une solution afin de respecter cette réglementation pourrait être **l'installation de panneaux photovoltaïques en toiture**, cette solution est en accord avec la volonté des élus de **favoriser le solaire photovoltaïque sur les toitures**. Nous détaillons ce point au paragraphe suivant.

4.1. L'énergie solaire

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

La commune de Caen (station météo la plus proche) a bénéficié de **2 016 heures** d'ensoleillement en 2022⁶.

Le rayonnement solaire à Caen est de l'ordre de **1 124 kWh/m².an**. Cette valeur se situe plutôt en partie basse du classement pour la France, Caen étant situé au Nord du pays et en bord de Manche. A titre de comparaison, l'ensoleillement est de 1 023 kWh/m².an à Lille et de 1 440 kWh/m².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).

Le solaire thermique

Une installation solaire thermique récupère l'énergie du soleil sous forme de chaleur. Elle comprend des capteurs, un circuit d'échange de chaleur et un ballon de stockage.

Les capteurs solaires thermiques présentent l'avantage d'avoir des rendements élevés, les capteurs pouvant récupérer jusqu'à 80 % de l'énergie incidente. Le système produit de l'eau chaude, utilisée directement (ECS notamment) ou pour du chauffage au sol. Il s'agit d'un moyen de chauffage complémentaire et une énergie d'appoint est nécessaire. L'installation se fait pour un bâtiment.

Il s'agit d'une **solution intéressante lorsque les besoins en eau chaude sont réguliers tout au long de l'année et suffisamment importants, ce qui n'est a priori pas le cas pour la plupart des activités prévues sur la zone.**

Cependant, certaines activités économiques (blanchisserie ou station de lavage par exemple) peuvent avoir un besoin important en ECS. Si ce type d'activité venait à s'installer sur la zone, l'utilisation du solaire thermique pourrait être pertinente. Elle pourrait aussi être recommandée à l'entreprise TODD qui possède déjà une station de lavage poids lourds et qui occupera certaines parcelles de la future zone.

⁶ Source Météo France, station de Caen-Carpique.

Le solaire photovoltaïque

Une installation solaire photovoltaïque récupère l'énergie du soleil pour la transformer en électricité. Outre les modules, l'installation comprend un onduleur. Les capteurs disponibles sur le marché atteignent des rendements de l'ordre de 15 %. Dans les zones raccordées, l'électricité est réinjectée dans le réseau : il s'agit donc d'une production électrique décentralisée.

La production de panneaux photovoltaïques est généralement estimée en fonction de la puissance crête installée (kWc) ; pour la zone considérée, elle est de l'ordre de **943 kWh/kWc**⁷, pour des panneaux inclinés à 30°.

	0-3 kWc	3-9 kWc	9-36 kWc	36-100 kWc	100-500 kWc
En revente totale (c€/kWh)	23,49	19,96	14,30	12,43	12,87*
En autoconsommation avec revente surplus (c€/kWh)	13,13		7,88		12,87*
+ Prime autoconsommation (€/kWc, payée sur 5 ans)	500	370	210	110	Non éligible
Date	Prix du 01 février 2023 au 30 avril 2023				Nouvel arrêté tarifaire

* Puis 5 c€/kWh au-delà d'une production de 1 100 kWh/kWc/an

Tarifs de rachat de l'électricité photovoltaïque pour le premier trimestre 2023⁸

Grâce à l'utilisation de cellules monocristallines, on considère un rendement d'environ 190 Wc/m²⁹. En estimant une emprise au sol de 0,5 au maximum, On peut envisager 37 700 m² de surface de bâtiments. Ainsi, sur la base de panneaux installés sur **30 % de la surface de toiture sur tous les bâtiments**, soit environ 11 300 m², les installations sur les différents lots auraient une capacité cumulée de production de **2 028 MWh/an**, soit **environ 2 GWh/an**. La puissance crête est de **2 150 kWc pour l'ensemble des installations**.

Pour connaître le tarif de rachat il faudra regarder la **puissance crête pour chaque installation séparément** afin de voir s'il est plus avantageux de faire de la revente totale ou de l'autoconsommation. Au-delà de 100 kWc, il est intéressant d'autoconsommer puisque le prix de rachat est le même en vente totale qu'en autoconsommation.

Le coût d'investissement de l'installation photovoltaïque est de l'ordre de 1200 € par kWc pour la puissance installée ici (incluant la main d'œuvre pour la pose, le matériel et les démarches administratives), avec un temps de retour sur investissement de l'ordre de 10 ans (selon la zone géographique et les tarifs d'achat pratiqués). Le coût d'investissement des installations photovoltaïques serait de l'ordre de **2,6 M€** pour l'ensemble des lots, avec un temps de retour sur investissement d'environ 10 ans.

⁷ https://outils-numeriques.ines-solaire.org/calsol/pvreseau_1.php

⁸ <https://terresolaire.com/Blog/rentabilite-photovoltaique/tarif-rachat-photovoltaique/>

⁹ La "puissance-crête" (en Wc) est une donnée normative utilisée pour caractériser les modules photovoltaïques, mesurée lors d'un test effectué en laboratoire, sous une irradiation de 1000 W/m² (correspondant à l'ensoleillement à midi en zone tempérée, sans nuages) et à une température des panneaux de 25°C. Elle correspond à la puissance que peut délivrer un panneau photovoltaïque dans ces conditions standard (STC) et optimales (puissance maximale atteignable). En France, la distribution de la puissance atteinte sur une année dépasse rarement 80% de la puissance crête.

Ce coût varie selon le type de pose choisi (surimposition, intégration au bâti) et le type de panneau installé (monocristallin, polycristallin)¹⁰.

A l'échelle des besoins d'électricité estimés, **le potentiel du solaire photovoltaïque est fort.**

Précisions sur le photovoltaïque sur toiture

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 déterminera 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, on retiendra 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 ; permet de surélever les panneaux solaires par rapport à la toiture, ce qui a pour effet de favoriser leur rafraîchissement ; ne menace pas l'étanchéité de l'habitation et diminue les risques d'incendie. De plus cette technique peut également être adaptée **pour les toitures plates**, en effet on peut installer des rails pour poser les panneaux sur le toit, cela présente par ailleurs l'avantage de pouvoir régler directement l'angle d'inclinaison à l'optimum de 30 degrés.

- **Aide de l'ADEME**

L'ADEME Normandie 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 de bureaux d'études ou un cabinet conseils d'assistance à maîtrise d'ouvrage.

Selon les conditions d'éligibilités, l'aide peut aller jusqu'à 70% dans le cas d'une petite entreprise¹¹ (60% pour des entreprises moyennes¹²), dans la limite de 100 000 € d'assiette.

¹⁰ <https://www.hellowatt.fr/panneaux-solaires-photovoltaïques/combien-coute-installation-photovoltaïque>

¹¹ Taille d'entreprises au sens européen. Petite entreprise : moins de 50 personnes et CA < 10 M€
Entreprise moyenne : moins de 250 personnes et CA < 43 M€

- **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 CO₂ émises chaque année. Or, la différence de CO₂ entre le photovoltaïque et le mix énergétique moyen de l'électricité est faible :

- le contenu en CO₂/kWh de l'énergie photovoltaïque est d'environ 45 gCO₂/kWh¹² pour des panneaux produits en Chine et 25 pour des panneaux français,
- le contenu en CO₂/kWh du mix électrique français est de 52 gCO₂/kWh.

Le gain en émissions de gaz à effet de serre est peu significatif. On remarquera que ceci est vrai pour la France métropolitaine. La situation est différente pour d'autres pays, comme par exemple l'Allemagne, où la production d'électricité est plus émettrice de gaz à effet de serre.

Il faut également rappeler que l'énergie photovoltaïque est une énergie intermittente, dépendante des conditions météorologiques. Le photovoltaïque ne pourra donc pas se substituer totalement aux énergies conventionnelles. Les infrastructures devront conserver leur raccordement au réseau.

Cependant, le photovoltaïque permet de sensibiliser les consommateurs à la sobriété énergétique.

4.2. 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.

Et 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.

Le bois-énergie

Le bois-énergie est une source d'énergie intéressante car elle est à la fois disponible à relativement bon marché, renouvelable et avec très peu d'émissions de GES¹³.

- **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 est intéressant de privilégier une approche "circuits courts" en ciblant les filières locales.

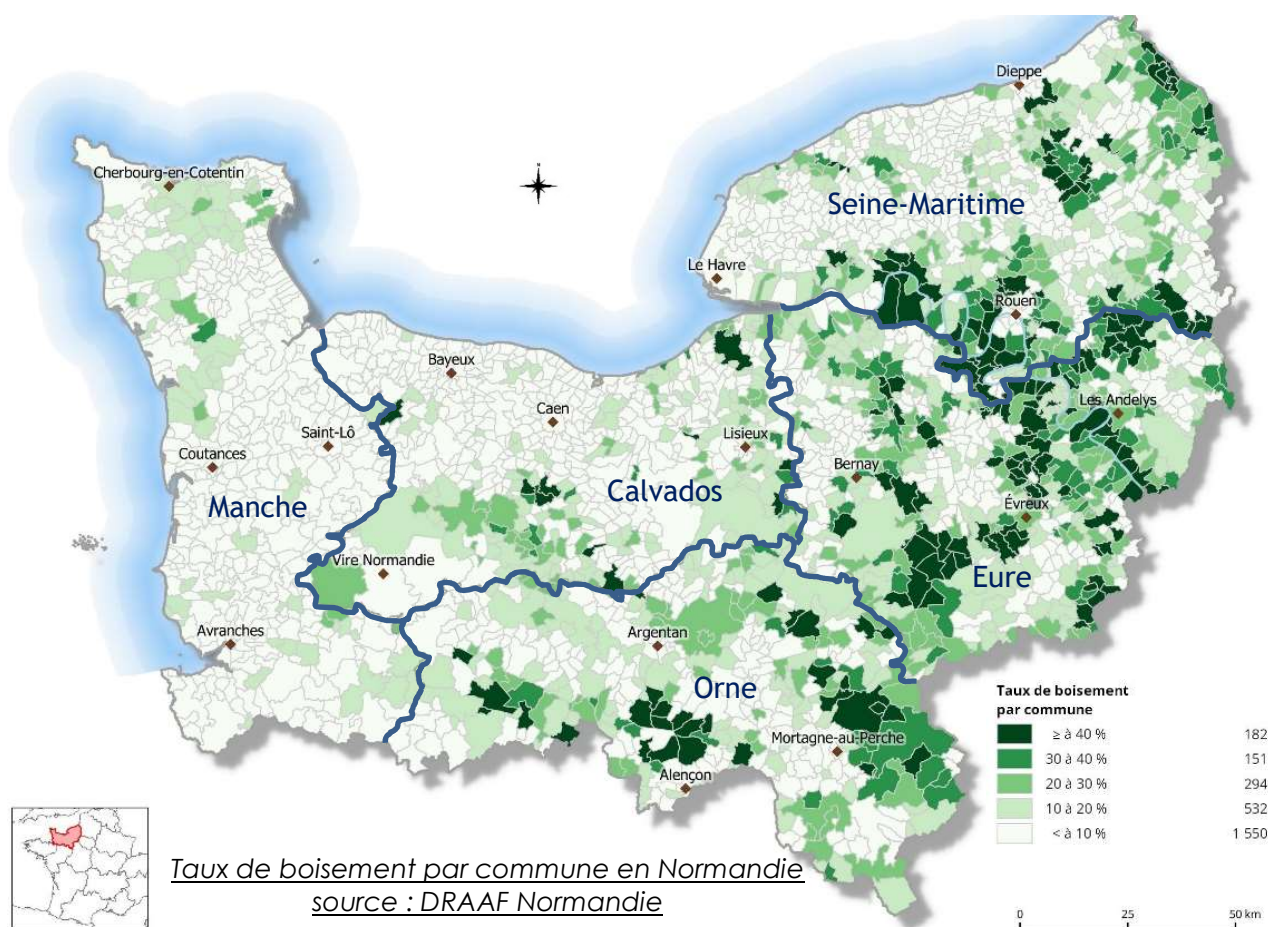
¹² Cette valeur de 55 gCO₂/kWh est une valeur moyenne. La valeur dépend de l'origine des panneaux et est plus élevée en région nord qu'en région sud.

¹³ Du moins dans le cadre d'une exploitation forestière raisonnée.

Ressource forestière

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

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, 8ème 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 ha chacun) sont les plus fournis (79% des surfaces boisées de la région Normandie) ; la Manche et la Calvados étant les départements les moins boisés de la région.



Le SCoT révisé de Caen 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 immédiate du site, comme par exemple Heroult Bois et Débit, situé à Sannerville, commune à l'Est de Giberville, soit dans un rayon inférieur à 10 km.

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.

- **Risque de pollution atmosphérique**

La combustion du bois comporte un risque de pollution atmosphérique, puisqu'elle entraîne le rejet de particules 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**

Comme vu précédemment, les besoins en ECS et chaleur sont limités. L'installation d'une chaudière collective au sein de la zone n'est donc pas la cible.

Il est intéressant d'installer une chaudière bois dans les bâtiments pour qui la demande en ECS et en chauffage pourrait être assez importante et régulière.

Si le maître d'ouvrage souhaite aller plus loin dans l'étude de cette solution bois-énergie, un contact avec l'ADEME permettra de préciser comment lancer une **étude technico-économique approfondie** pour éclairer les choix techniques et les coûts.

Notons que Caen Normandie Métropole, dans le cadre du plan d'actions de son PCAET, souhaite doubler à l'horizon 2030 la consommation de bois énergie sur son territoire pour atteindre à cette échéance l'objectif de près de 900 MWh consommés par année.

- **Aides de l'ADEME**

Il est à noter que les **études de faisabilité sont financées jusqu'à 65%** par l'ADEME Normandie, dans le cadre du **Fonds chaleur**¹⁴.

Il est possible de prendre contact avec l'ADEME de la Région Normandie afin d'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, comme la partie 2.2, être **partagées aux organisations désirant s'implanter** par le biais du futur *cahier de prescriptions architecturales, urbaines, paysagères, techniques et environnementales*.

Au vu des résultats de cette étude, des choix seront faits sur la puissance de la ou des chaudières.

La méthanisation

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

La filière est quasi-inexistante sur le territoire de Caen Normandie Métropole. Sont recensées sur ce territoire 4 installations de méthanisation à ce jour, dont les données (puissance, production) ne sont pas 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 énergétique de 200 GWh fournis par la méthanisation en 2030.

Compte tenu de l'utilisation prévue des lots pour le projet d'extension (activité, équipements, peu ou pas de logements) mais aussi des nuisances olfactives et de celles dues au transport généré, l'intégration d'une installation de méthanisation au quartier 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.

¹⁴ <http://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-l'action/produire-chaleur/fonds-chaleur-bref>

4.3. 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.

4.4. L'énergie hydraulique

La zone étudiée ne présente pas de potentiel de production hydraulique.

4.5. La géothermie

La géothermie est l'exploitation de la chaleur du sous-sol. Selon la définition de BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), cette exploitation peut s'effectuer à différents niveaux :

- La **géothermie de surface (ou superficielle)** utilise l'énergie présente dans le sous-sol à des profondeurs variant de quelques mètres **jusqu'à 200 mètres**. À ces profondeurs, la température du sol est relativement constante toute l'année : autour de 10 à 20 °C. Cela ne permet pas une exploitation directe de cette énergie. Une **pompe à chaleur (PAC) géothermique** est donc utilisée pour **restituer la chaleur, le froid ou le frais au niveau de température souhaité**.
- La **géothermie profonde** valorise l'énergie du sous-sol profond (**au-delà de 200 mètres**) pour **produire directement de la chaleur et/ou de l'électricité**.

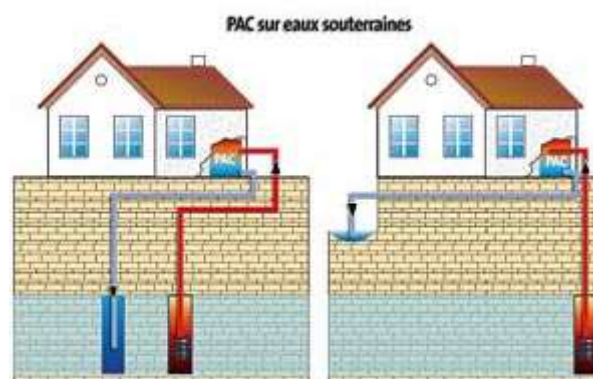
Pour l'instant, peu d'études ont été faites au niveau national pour évaluer le potentiel des ressources en géothermie profonde. Seuls le bassin Aquitain et l'Ile-de-France ont fait l'objet d'investigations dans les aquifères profonds. Compte-tenu des coûts d'exploitation et des difficultés techniques, ces technologies se sont peu développées¹⁵.

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 des centaines – de mètres et dans les **aquifères** qui s'y trouvent ou dans les nappes. Elles permettent de chauffer des bâtiments et/ou 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.



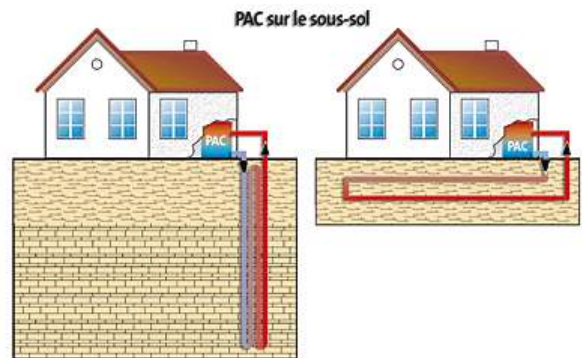
Géothermie en eaux souterraines

¹⁵ L'Ile de France a fait figure de précurseur avec des installations mise en œuvre au début des années 80 pour alimenter du chauffage collectif.

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.

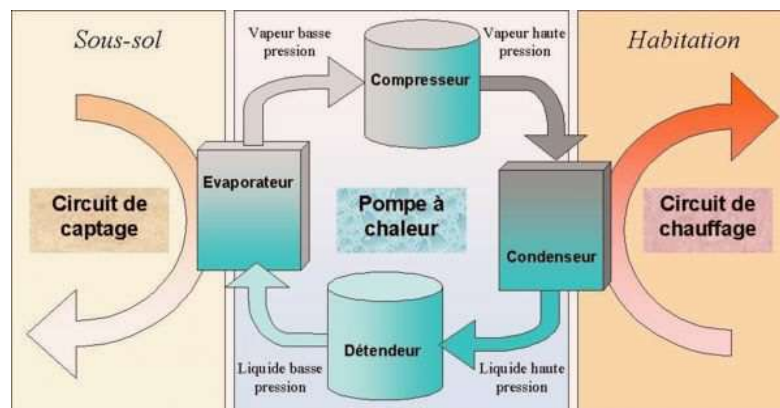
La chaleur emmagasinée dans le sol est accessible en tout point du territoire.



Géothermie en sous-sol

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 :



Principe de fonctionnement d'un chauffage avec pompe à chaleur
[Source : ADEME]

En mode chauffage :

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

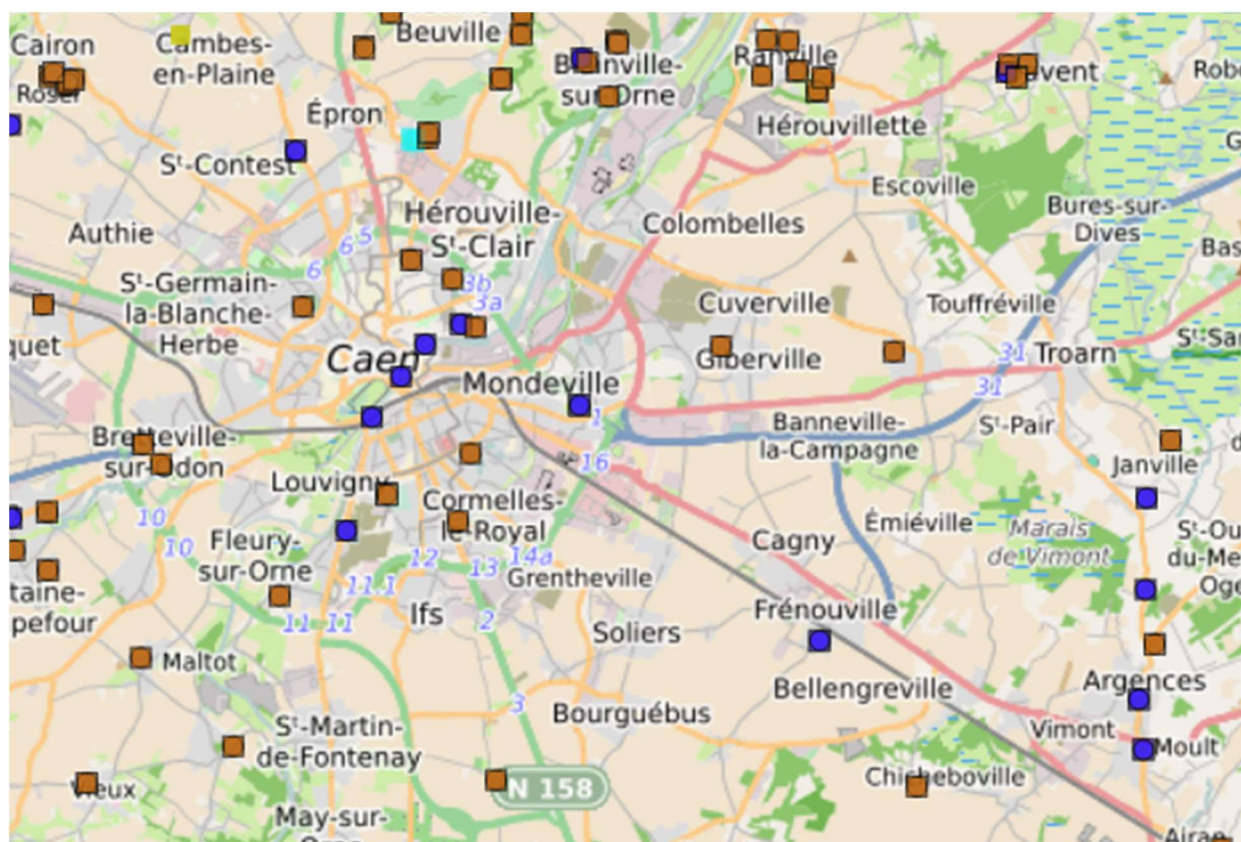
Par une inversion de son fonctionnement, la PAC peut également rafraîchir l'air intérieur. La PAC utilise de l'électricité pour faire fonctionner l'ensemble de ses composants. On appelle Coefficient de Performance (ou COP) le rapport entre la quantité d'énergie fournie et la quantité d'énergie (électricité) 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.

Quel potentiel pour la zone ?

D'après le PCAET de Caen-la-Mer, le potentiel de développement de la géothermie moyenne à basse énergie n'a pas été évalué dans l'Ouest de la Normandie.

Il existe cependant très probablement un potentiel pour la géothermie de très basse énergie, nécessitant une pompe à chaleur. 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 :



En bleu : installations de géothermie de surface sur échangeurs ouverts (nappes),

En marron : installations de géothermie de surface sur échangeurs fermés (sonde)

Carte des installations de géothermie réalisées près du site (Source : geothermies.fr)

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.

- **Aides de l'ADEME**

L'ADEME Normandie 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 Normandie 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.

4.6. 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.

Le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur diffère en fonction de la température extérieure. Le COP diminue lorsque la température extérieure 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 est de l'ordre de 1, ce qui revient à un chauffage 100% électrique. Cette technologie permet de chauffer des bâtiments et/ou de l'eau chaude sanitaire. Tout comme la géothermie, elle est à privilégier pour du **chauffage basse température (~30°C)**.

Le rendement d'une pompe à chaleur étant d'autant plus élevé que la température de la source froide est élevée, l'aérothermie voit sa performance baisser quand la température de l'air extérieur diminue, et que les besoins de chaleur sont les plus importants.

Sa mise en œuvre est relativement aisée et ne nécessite pas de travaux d'aménagement importants.

En 2022 :

- La température moyenne mensuelle la plus basse est de 2 °C en décembre (avec un record quotidien de -7,3 °C pour la température la plus basse).
- La température moyenne mensuelle la plus haute est de 26 °C en juillet (avec un record quotidien de + 40,1 °C pour la température la plus haute).

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 bureaux ou de locaux tertiaires (par plancher chauffant, idéalement).

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

4.7. 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 d'ECS**.

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

Il n'existe pas actuellement d'installation produisant de la chaleur fatale à proximité immédiate de la zone. De plus, une zone d'activité ayant un faible besoin en ECS, ce type d'énergie ne sera probablement pas pertinent.

Toutefois, si une activité très productrice de chaleur fatale (data centers par exemple) s'installait sur le site, une installation de récupération de la chaleur pour le chauffage devrait être étudiée.

La récupération de chaleur fatale n'est donc pas envisageable à ce stade du projet.

5. SYNTHÈSE SUR LE POTENTIEL DES DIFFÉRENTES ÉNERGIES RENOUVELABLES

À partir des analyses précédentes, le tableau de la page suivante récapitule pour chaque énergie, la disponibilité de la ressource, les avantages et contraintes, les impacts environnementaux.

La dernière colonne du tableau, "Intérêt global", propose une évaluation synthétique de l'opportunité que constitue chaque énergie dans le cadre d'une mise en œuvre pour l'extension de la zone industrielle du Martray.

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

Energie renouvelable	Disponibilité ressource	Avantages	Contraintes	Impacts environnementaux	Intérêt global
Solaire thermique	Bonne	Rendements élevés	Non adapté pour des activités économiques (bureau, atelier) mais efficace pour une activité dont les besoins en eau chaude sont élevés	- Très peu d'émissions de gaz à effet de serre - Se substitue aux énergies fossiles	1
Solaire photovoltaïque	Bonne	Tarifs de rachat	Limites liées à l'intermittence et au faible gain en CO ₂	- Bilan Carbone de l'installation variable en fonction de l'origine des panneaux	4
Bois énergie	Bonne	Disponible à (relativement) bon marché	- Prendre en compte le risque de pollution atmosphérique (particules fines) - Peu adapté pour des activités économiques (efficace pour les besoins en eau chaude)	- Très peu d'émissions de gaz à effet de serre - Se substitue aux énergies fossiles - Risque de pollution atmosphérique (particules fines)	3
Méthanisation	Bonne	Potentiel important	- Coût d'installation élevé - Projet compliqué	- Très peu d'émissions de gaz à effet de serre - Se substitue aux énergies fossiles	2
Éolien	Ressource interdite	Non détaillé	Non détaillé	Non détaillé	-
Géothermie	Moyenne	Économique	- Coût d'installation important	- Très peu d'émissions de gaz à effet de serre - Se substitue aux énergies fossiles	3
Aérothermie	Bonne	Économique	- Implantation des échangeurs - Bruit	- Très peu d'émissions de gaz à effet de serre - Se substitue aux énergies fossiles	4
Récupération d'énergie fatale	Faible	Économique	- A prévoir en amont - Non adapté pour des activités économiques (efficace pour les besoins en eau chaude)	- Très peu d'émissions de gaz à effet de serre - Se substitue aux énergies fossiles	1

6. PRE-ETUDE DE FAISABILITE

La section 5 de ce rapport a identifié les sources d'énergie renouvelables locales pouvant être mobilisées, cette nouvelle section précise les opportunités économiques et environnementales des scénarios qui ont été retenus.

6.1. Les scénarios

Au vu des recommandations, les scénarios suivants ont été retenus pour être approfondis :

- scénario de référence : gaz,
- géothermie sur champs de sonde,
- géothermie sur aquifères superficiels,
- bois énergie,
- aérothermie,
- photovoltaïque.

6.2. Hypothèses

Pour le scénario photovoltaïque, on ne considère que les besoins en électricité spécifique, l'énergie nécessaire à la production de chaleur n'est pas comptée.

Pour les autres scénarios, l'électricité spécifique est supposée prise sur le réseau, les coûts et gains GES sont donc les mêmes dans tous les scénarios. Ne sont donc comparés que les coûts et gains relatifs à la production de chaleur par la source choisie. Ils sont donc compatibles avec le scénario photovoltaïque tel que nous l'avons défini.

Le besoin en ECS, négligeable vu le type d'activités prévues, n'a pas été comptabilisé ici.

Les coûts et émissions sont estimés à partir des besoins calculés plus hauts, ce sont des ordres de grandeur, qui seront appelés à changer, notamment en fonction des activités qui s'installeront, de la performance énergétique des équipements et des constructions, du choix des installations, et des comportements des usagers.

Pour cette étude, nous nous appuyons sur l'étude de l'ADEME « Coûts des énergies renouvelables et de récupération en France » Edition 2022¹⁶.

6.3. La géothermie

Bien que le potentiel de développement de la géothermie moyenne à basse énergie n'ait pas encore été évalué dans la zone, plusieurs installations existent à proximité de la zone ciblée.

La mise en place d'un projet d'exploitation de la géothermie nécessite la réalisation d'une étude approfondie des sols et sous-sols par des spécialistes pour déterminer les contraintes techniques, économiques et réglementaires.

¹⁶ <https://librairie.ademe.fr/cadic/6959/couts-energies-renouvelables-et-recuperation-donnees2022-011599.pdf>

Deux possibilités ont été retenues : la géothermie sur aquifères superficiels, et la géothermie de sonde, avec respectivement un COP¹⁷ de 5,5 et 4,2.

6.4. Le bois-énergie

La partie 4 du présent rapport souligne que la ressource en bois est assez faible sur le territoire. On observe cependant une volonté de développer la filière biomasse, notamment à l'échelle du SCoT révisé de Caen Métropole et du PCAET de Caen Normandie métropole.

De plus, si la ressource est faible sur le territoire, il est toujours possible de s'approvisionner depuis les territoires voisins.

Cette ressource paraît donc envisageable à moyen terme.

6.5. L'aérothermie

Le climat étant favorable à sa mise en place, l'aérothermie a également été étudiée. On considère un COP de 3, étant donné le climat autour de Giberville.

Cette énergie n'étant pas étudiée pour les usages industrie et tertiaire de l'ADEME, les chiffres sont partiels (coût du combustible identique à celui pour la géothermie = coût de l'électricité, coût d'exploitation bas, proche de celui du gaz).

A noter que les PAC peuvent être réversibles et servir de climatisation en été.

6.6. Le photovoltaïque

Le climat étant favorable à sa mise en place, un scénario photovoltaïque a également été étudié. Pour les calculs en surplus de l'autoconsommation, nous faisons l'hypothèse d'un taux d'autoproduction de 50%, c'est-à-dire que 50% du besoin sont assurés par la production photovoltaïque.

6.7. Approche économique et gains environnementaux

On trouvera ci-dessous un tableau avec un premier éclairage sur les enveloppes financières à mobiliser, ainsi que les gains environnementaux qui pourraient-être attendus. Ces évaluations sont basées sur des ratios généraux et doivent s'entendre en ordre de grandeur. L'étude de faisabilité précisera ces hypothèses.

¹⁷ COP = Coefficient de Performance du système, soit le rapport entre l'énergie de chaleur produite sur l'énergie électrique consommée.

Scénario	Référence / Gaz		Bois		Géothermie sur champs de sonde		Géothermie sur aquifères superficiels		Aérothermie	
Activité	Artisanat / Indus	Bureaux	Artisanat / Indus	Bureaux	Artisanat / Indus	Bureaux	Artisanat / Indus	Bureaux	Artisanat / Indus	Bureaux
Energie de chauffage à fournir par EnR (MWh)	1 290	3 700	1 290	3 700	1 290	3 700	1 290	3 700	1 290	3 700
Besoin en électricité du réseau (MWh)	260	740	260	740	260	740	260	740	260	740
LCOE Chauffage indus/tertiaire (€HT)	128 €/MWh	162 €/MWh	83 €/MWh	117 €/MWh	86 €/MWh	86 €/MWh	95 €/MWh	95 €/MWh	187 €/MWh	187 €/MWh
Coût chaleur suivant LCOE	165 150 €	598 950 €	107 100 €	432 580 €	110 970 €	317 960 €	122 580 €	351 240 €	241 280 €	691 390 €
Coût total chaleur annuel, investissements initiaux inclus (€HT)	764 100 €		539 680 €		428 930 €		473 820 €		932 670 €	
Ordre de grandeur investissement	160 €HT / kW		1280 €HT / kW		1625 €HT / kW		1300 €HT / kW		500 €HT / kW	
Coût d'exploitation	5 €HT / MWh		22 €HT / MWh		8 €HT / MWh		25 €HT / MWh		5 €HT / MWh	
Coût du combustible ¹⁸	90 €HT / MWh		23 €HT / MWh		132 €HT / MWh		132 €HT / MWh		132 €HT / MWh	
Coût d'exploitation annuel total	473 810 €		224 440 €		196 650 €		244 390 €		227 760 €	
Durée de fonctionnement	25 ans		25 ans		25 ans		20 ans		25 ans	
Emissions GES/an (tCO2e)	1 130		140		70		50		100	
Emissions GES évité/scénario réf(tCO2e)			990		1060		1 080		1 030	
Emissions GES évité/scénario réf (%)			88%		94%		96%		91%	

Tableau comparatif des différents scénarios

Source : ADEME : « Coûts des énergies renouvelables et de récupération en France » Edition 2022

¹⁸ Pour la géothermie et l'aérothermie, prix de l'électricité nécessaire au fonctionnement du système

Pour ce qui est du scénario photovoltaïque, l'investissement initial serait de l'ordre de 2,6 M€HT, les résultats sur la production annuelle sont inscrits ci-dessous :

Estimations Annuelles	Prod. Élec PV	1 756 MWh
	Besoin Élec spécif.	997 MWh
	Tarif HA élec pro à EDF	0,1706 €HT/kWh
Injection totale	Achat Élec spécif.	170 k€
	Vente Élec PV	226 k€
	Economie potentielle	56 k€
En surplus de l'autoconso.	Achat Élec spécif.	85 k€
	Vente Élec PV	162 k€
	Economie potentielle	77 k€
Emissions CO2	référence : électricité spécifique prise sur le réseau	56,8 tCO ₂ e
	en autoconsommation si panneaux fabriqués en Chine, avec achat d'une partie sur le réseau	50,3 tCO ₂ e
	en autoconsommation si panneaux fabriqués en France, avec achat d'une partie sur le réseau	40,9 tCO ₂ e

Tableau d'estimation des coûts et gains annuels pour le scénario photovoltaïque

Remarques

Bien qu'ils représentent un investissement initial conséquent, les scénarios renouvelables tels que la géothermie semblent présenter une opportunité intéressante sur le long terme, tant sur le plan des coûts que sur celui des émissions de GES.

Pour le photovoltaïque, la part d'autoconsommation et d'autoproduction dépendra des besoins de la zone, mais nous pouvons noter que l'investissement initial, de l'ordre de 2,6 M€ peut être rentabilisé au bout d'une dizaine années, et que les émissions de CO₂ sont bien plus faibles pour des panneaux fabriqués en France, que pour des panneaux fabriqués en Chine.

7. CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif d'analyser le potentiel des différentes énergies renouvelables dans le cadre de l'expansion de la zone industrielle du Martray à Giberville.

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. Avec des panneaux fabriqués en Europe, elle présente un potentiel de réduction de GES important. L'investissement est amorti en une dizaine d'années d'exploitation.
- L'**aérothermie** apparaît comme un levier efficace pour limiter la consommation d'énergie du site, la contrainte du bruit étant faible pour des bâtiments d'activité. Ses gains en GES sont importants, et le coût annuel d'exploitation est faible.
- Une des pistes intéressantes concerne l'utilisation de la **géothermie** pour produire de la chaleur à destination d'un ou plusieurs bâtiments. Une **étude de faisabilité** permettrait de préciser les hypothèses de périmètre et de fonctionnement. Le coût d'investissement est élevé, mais les coûts d'exploitation sont ensuite bien plus faibles qu'avec un chauffage au gaz. Les gains en GES sont également très importants.
- Pour la **biomasse**, étant donné la nature des activités prévues sur le site, la création d'un réseau de chaleur utilisant le bois-énergie n'est pas recommandée puisque les besoins en ECS seront très faibles.

Une **chaudière-bois à l'échelle d'un bâtiment**, voire de deux bâtiments proches est néanmoins possible. Le bois est une énergie peu chère, nécessitant un investissement moindre que la géothermie, et les gains en émissions de GES sont importants. Ses contraintes d'espace et d'entretien de la chaudière sont à prendre en considération.

- L'énergie de **méthanisation** présente un potentiel important mais c'est un projet compliqué qui ne semble pas adapté à la zone d'activité.
- Le **solaire thermique**, parce qu'il n'est pas adapté aux besoins énergétiques des activités prévues sur la zone, n'est pas une hypothèse à privilégier, sauf pour certaines activités spécifiques (laverie...) le cas échéant.
- Enfin, l'énergie de **récupération de chaleur fatale** ne semble pas non plus pertinente pour le type d'activité.

Le recours aux énergies renouvelables relèvera donc principalement des choix faits par chacune des entreprises qui s'installeront sur le parc d'activité. La collectivité et le maître d'ouvrage peuvent cependant avoir un rôle déterminant pour **inciter les promoteurs et constructeurs à se mobiliser sur des actions ambitieuses** sur l'utilisation des énergies renouvelables.

Une éventualité serait ainsi d'inclure dans le *cahier de prescriptions architecturales, urbaines, paysagères, techniques et environnementales* des **prescriptions** à destination des entreprises s'installant sur la zone.

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 les déplacements et l'éclairage

L'information et la **sensibilisation des futurs occupants** sont également des enjeux importants pour réduire les consommations.

Le point le plus important concerne l'**implantation des bâtiments**.

Réduction des émissions de GES

L'utilisation des solutions d'énergies renouvelables préconisées permettra de **réduire les émissions de gaz à effet de serre** de manière significative, par rapport aux énergies fossiles classiquement utilisées.

Le développement des modes doux peut également contribuer de manière non négligeable à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.
