

SPL EPOPEA

PROJET D'AMENAGEMENT
MONT COCO - COTE DE NACRE



12034-1 Version B du 29/07/2025

Maître d’Ouvrage

SPL EPOPEA

Document établi par :



INGETEC

135 Allée Paul Langevin
Immeuble Faraday
76230 BOIS-GUILLAUME

Référence, auteur et archivage du document

Référence	12034-1 Version A
Auteur(s)	Mathieu DECAIGNY - Chef de Projet
Archivage	\\192.168.31.243\Bois_Guillaume\Operations\OPE12000\12034\1\Documents\03 - Etude ENR\12034-1 Etude ENR&R.docx

Contrôle interne et suivi des modifications

Contrôle	Date :	Par :	Visa :
Auto-contrôlé	27/09/21	Mathieu DECAIGNY - Chef de Projet	
Vérifié et présenté	27/09/21	Mathieu DECAIGNY - Chef de Projet	
Approuvé	27/09/21	Benoit MIREY - Responsable Pôle Réglementaire	

Version	Date	Nature des modifications
A	27/09/21	
B	29/07/25	Setec tpi / Bruno Fortier

SOMMAIRE

1	CONTEXTE DU PROJET & OBJECTIFS DE L'ETUDE	5
1.1	Contexte du projet & Intentions d'aménagement	6
1.1.1	Contexte & Localisation du projet de ZAC	6
1.1.2	Enjeux du secteur & Intentions d'aménagement	7
1.2	Cadrage réglementaire et méthodologique	8
1.2.1	Article L.300-1 du Code de l'urbanisme	8
1.2.2	Application de l'article L.300-1 du Code de l'urbanisme au projet	8
1.2.3	Cadrage méthodologique	8
1.2.4	Processus de développement du projet de ZAC	8
1.2.5	Méthodologie de l'EFPDENR&R	8
2	ETAPE 1 – PRESENTATION DE L'ETUDE D'OPPORTUNITES	9
2.1	Cadrage préalable	10
2.1.1	Définition des énergies renouvelables et de récupération (ENR&R)	10
2.1.2	Objectifs européens et français en termes de développement des énergies renouvelables	10
2.2	Enjeux énergétiques du projet de ZAC	11
2.3	Identification des documents susceptibles d'orienter la stratégie énergétique du projet	12
2.3.1	Textes réglementaires et normes spécifiques associés aux énergies renouvelables	12
2.3.2	Documents stratégiques sur les questions associées aux modifications climatiques et aux énergies	12
2.3.3	Documents de planification territoriale	13
2.4	Diagnostic territorial	15
2.4.1	Types d'énergies, systèmes et échelles	15
2.4.2	Étude d'opportunités sur le développement des ENR&R	16
2.5	Synthèse des opportunités de développement des ENR&R	30
3	ETAPE 2 – PREPARATION A L'ETUDE DE FAISABILITE	33
3.1	Préambule	34
3.1.1	Objectifs & Méthode	34
3.1.2	Hypothèses	34
3.2	Estimation des besoins énergétiques actuels et futurs de la ZAC	36
3.3	Stratégie énergétique retenue pour le projet de ZAC	37
	TABLE DES ILLUSTRATIONS	39

1

CONTEXTE DU PROJET & OBJECTIFS DE L'ETUDE

1.1 Contexte du projet & Intentions d'aménagement

1.1.1 Contexte & Localisation du projet de ZAC

La Communauté Urbaine Caen la mer a engagé un projet urbain d'ampleur sur le territoire du Plateau Nord de Caen.

Situé au Nord de l'Agglomération Caennaise, de part et d'autre de la RD7 qui dessert la Côte de Nacre, le « Plateau Nord », renommé « EPOPEA Park », constitue un pôle tertiaire d'excellence regroupant sur un lieu à la fois vaste, mais pourtant à échelle humaine, la recherche fondamentale, la recherche et développement et la formation.

Dans la logique du SCoT Caen-Métropole, Caen la mer poursuit l'objectif de conforter le Plateau Nord comme un espace d'envergure métropolitaine et pôle d'excellence spécialisé dans le domaine de la physique nucléaire et du biomédical et d'accélérer le développement du secteur de la santé.

Préalablement au lancement opérationnel de requalification du secteur Nord de l'agglomération, Caen la mer a mené avec l'appui de l'agence Devillers & Associés, la définition d'un plan guide dont les lignes directrices :

- Une **restructuration urbaine lourde du Nord de Caen** : création d'équipements publics, restructuration des routes départementales en avenue, maillage de rues et de liaisons douces, entrée de la nature en ville, renforcement ou création de polarités et de zones de services aux actifs et étudiants du plateau nord, etc. ;
- Des **équipements mutualisés** entre les collectivités, organismes de recherche et de formation du secteur EPOPEA Park : équipements sportifs mutualisés, une maison de l'innovation regroupant un incubateur/pépinières/hôtel d'entreprises (IPHE) et une maison des chercheurs accueillant les scientifiques, etc. ;
- **Offrir de l'immobilier d'entreprises** en proposant des zones mixtes (bureaux tertiaire/ habitat/ activités).

Une fois le plan-guide de l'EPOPEA PARK validé par la Communauté Urbaine, un processus opérationnel a pu être engagé pour impulser la mutation, avec un certain nombre d'actions à sa clé incluant notamment le projet de ZAC sur le secteur « Mont Coco – Côte de Nacre ».

Cette opération d'aménagement qui s'étend sur une superficie de 53 hectares, a en effet été identifiée comme le premier pouvant passer en phase opérationnelle grâce à la disponibilité foncière immédiate de certaines parcelles.

L'objectif fixé à termes pour cet espace, en cours de mutation et de requalification, est d'accueillir principalement des activités économiques, mais également de nouveaux équipements publics ainsi qu'une diversité de logements.

Schéma 1 : Localisation du projet de ZAC



1.1.2 Enjeux du secteur & Intentions d'aménagement

Au stade actuel de la création de ZAC, les intentions d'aménagement qui sont définies reposent principalement sur les grandes orientations d'aménagement qui devraient permettre au projet d'atteindre les objectifs fixés par la Communauté Urbaine de Caen-la-Mer. Ces orientations seront par la suite déclinées plus précisément dans le cadre des études de conception qui précéderont la création de la ZAC jusqu'à la définition précise des aménagements qui seront réalisés à terme.

Aussi, à ce stade, il peut d'ores et déjà être précisé que les intentions d'aménagement du projet de ZAC qui constitue le socle du travail de conception pour la suite, ont été définis dans le but de répondre aux 4 enjeux suivants :

- **Désenclaver le quartier** : le projet prévoit la création de nouvelles voies de circulation pour répondre à cette problématique de desserte locale ;
- **Développer les mobilités douces** : le projet prévoit la création de nouvelles liaisons piétonnes et le déploiement des voies cyclables pour répondre à des enjeux de sécurité et pour promouvoir le recours à ces mobilités tout en garantissant une certaine synergie avec les tracés de transport en commun ;
- **Apporter de la mixité** : le plateau Nord de Caen étant marqué par une forte sectorisation urbaine, le projet vise à rompre cette logique et favoriser la mixité des programmes. Cette mixité devra être fonctionnelle à l'échelle de l'îlot voire-même du bâtiment. Afin d'éviter une trop grande homogénéité spatiale, les intentions d'aménagement pour sur une composition par micro-quartiers avec des identités différentes :
 - La Ville dense, avec une plus grande intensité urbaine et en relation avec le centre commercial, le CHU, l'avenue de la Côte de Nacre, ... ;
 - Le Faubourg, le long de la rue Colbert qui proposera un renouvellement progressif des petites activités existantes et introduira une part de logements ;
 - La Ville Parc au Sud qui développera de nouvelles opérations mixant activités et bureaux dans une ambiance plus végétale.
- **Renforcer la place du végétal dans la ville** : le projet propose une démarche ambitieuse de renaturation du quartier. La création d'un parc écologique au cœur du quartier et l'élément fort de cette intention d'aménagement.

Schéma 2 : Intentions d'aménagement pour le renforcement de la trame végétale

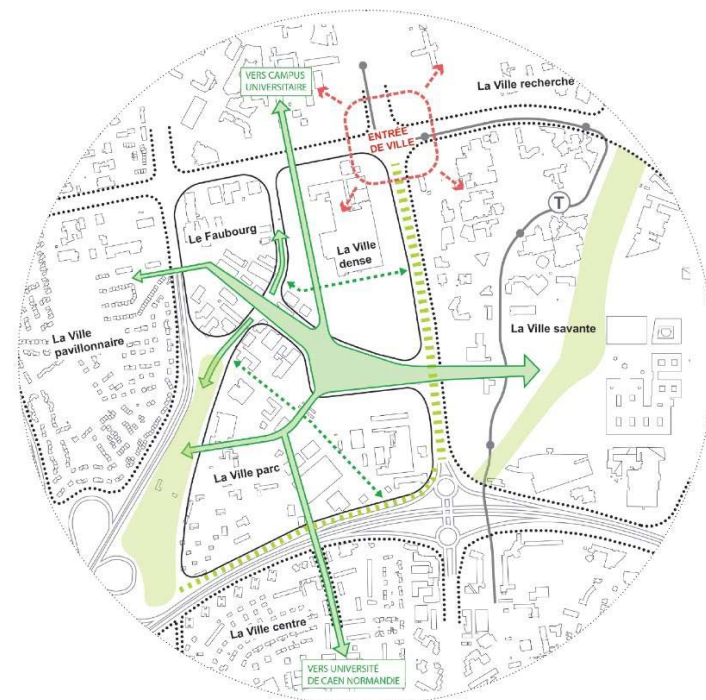
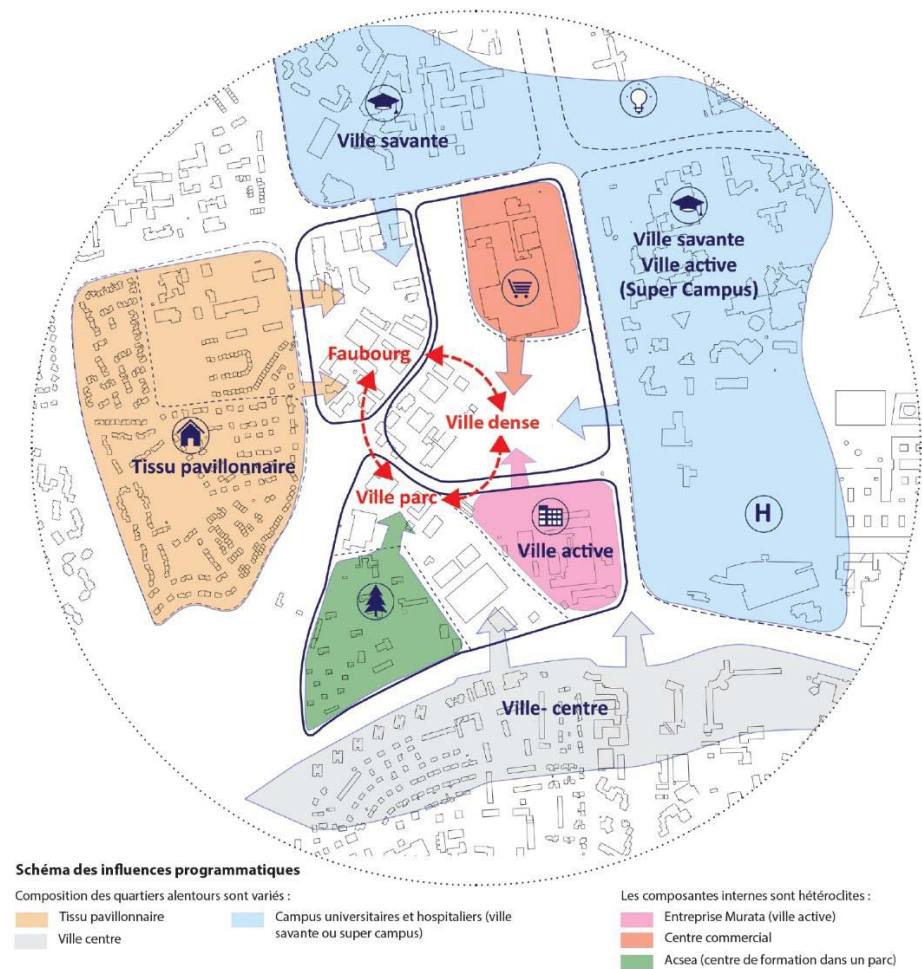


Schéma 3 : Intentions d'aménagement pour le désenclavement du quartier et le développement des mobilités douces



Schéma 4 : Intentions d'aménagement pour apporter de la mixité



1.2 Cadrage réglementaire et méthodologique

1.2.1 Article L.300-1 du Code de l'urbanisme

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

1.2.2 Application de l'article L.300-1 du Code de l'urbanisme au projet

En raison de ses caractéristiques et de la stratégie retenue par la SPL EPOPEA pour sa mise en œuvre, le projet de création de la ZAC Mont Coco – Côte de Nacre nécessite la réalisation d'une évaluation environnementale qui s'inscrit par ailleurs dans le cadre de la procédure d'autorisation environnementale introduite par l'ordonnance 2017-80 du 26 janvier 2017 et ses décrets d'application.

Cette procédure porte sur la réalisation des aménagements publics nécessaires à la mise en œuvre du projet (viabilisation des terrains) et permettant ensuite d'atteindre les objectifs fixés par la Communauté Urbaine Caen la Mer en termes de confortement du plateau Nord et de développement urbain ; lesquels nécessitent, dans un second temps, l'intervention d'opérateurs privés (promoteurs, particuliers, ...) qui suivront leurs propres procédures opérationnelles (dossiers de demande de permis d'aménager et/ou de construire).

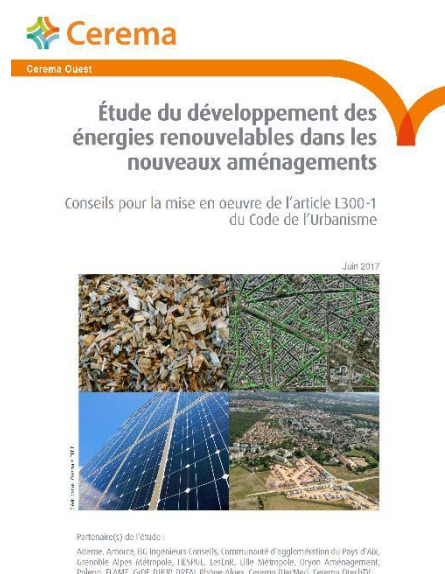
Dans ces conditions, le projet de ZAC porté par la SPL EPOPEA sur le secteur Mont Coco – Côte de Nacre entre donc dans le champ d'application de l'article L.300-1 du Code de l'urbanisme qui impose la réalisation d'une Étude de Faisabilité sur le Potentiel de Développement des Énergies Renouvelables et de Récupération (EFPDENR&R) pour toute opération d'aménagement soumise à évaluation environnementale.

1.2.3 Cadrage méthodologique

Tout d'abord, il convient de noter que si l'article L.300-1¹ du Code de l'urbanisme énonce un certain nombre de principes qui doivent être développés dans l'EFPDENR&R, il ne précise pas le contenu détaillé ni la portée de l'étude de faisabilité qui ne sont par ailleurs abordés dans aucun autre texte légal ou réglementaire.

Dans ces conditions, il a donc été jugé utile de s'appuyer sur une méthodologie adaptée² visant à répondre à la fois aux prescriptions réglementaires fixées par le Code de l'urbanisme et à la stratégie opérationnelle définie pour la mise en œuvre du projet. À ce titre, deux remarques peuvent être formulées :

- L'article L.300-1 du Code de l'urbanisme n'indique pas qui doit être le maître d'ouvrage de l'EFPDENR&R ;
- L'article L.300-1 du Code de l'urbanisme n'impose pas que l'étude relative au développement des énergies renouvelables fasse partie intégrante du dossier d'étude d'impact.



¹ L'article L.300-1 du code de l'urbanisme intègre désormais le contenu de l'ancien article L.128-4 qui a été abrogé

1.2.4 Processus de développement du projet de ZAC

La création de la ZAC sur le secteur Mont Coco – Côte de Nacre résulte d'un processus d'aménagement phasé et intégrant plusieurs intervenants :

- **PHASE 1** - Dans un premier temps, avec l'appui de l'équipe de maîtrise d'œuvre programmatique, la SPL EPOPEA intervient en tant que concepteur du projet. Durant cette étape, la collectivité se charge :
 - De confirmer la vocation du projet ;
 - De définir le programme des aménagements publics nécessaires à la mutation du quartier et garantir sa transformation de manière maîtrisée dans les années à venir ;
 - De fixer les principaux objectifs du projet notamment par le biais de prescriptions environnementales, architecturales et paysagères qui intégreront ensuite les cahiers des charges d'aménagement des parcelles cessibles.
- **PHASE 2** - Dans un second temps, la Communauté Urbaine assurera, le dépôt des différentes demandes d'autorisation d'urbanisme, la réalisation des aménagements publics et la commercialisation des parcelles privées.
- **PHASE 3** - Dans un dernier temps, des opérateurs privés feront l'acquisition des terrains viabilisés en vue d'y développer leurs projets et réaliseront, à ce titre, les différents aménagements permettant de répondre à leurs propres besoins (y compris énergétiques) dans le respect des prescriptions qui auront préalablement été définies par la Communauté Urbaine.

La présente mission s'inscrit au stade de la PHASE 1 de développement du projet.

1.2.5 Méthodologie de l'EFPDENR&R

Au regard de ce qui précède et conformément aux recommandations détaillées dans le guide méthodologique retenu en référence, la Communauté Urbaine a choisi de scinder l'EFPDENR&R en 2 étapes clés dont l'expertise est adaptée au contexte opérationnel du projet de ZAC :

- **ETAPE 1** – Menée dans le cadre de la phase de diagnostic du projet de création de ZAC, elle consiste en un état des lieux des gisements (incluant leur pérennité, qui peut avoir déjà été étudiée dans le cadre du PCAET, du SDE, ou d'autres réflexions menées sur le territoire concerné) et un premier tri des solutions qui, en fonction du contexte local et des objectifs, peuvent présenter un potentiel intéressant. Les conclusions de cette 1^{ère} ETAPE peuvent conduire à orienter certaines caractéristiques de l'aménagement, notamment sur le plan spatial.
- **ETAPE 2** – Menée dans le cadre de la phase de définition des principes d'aménagement de programmations, elle repose sur l'analyse de la faisabilité technico-économique des différentes solutions envisageables (parmi la pré-sélection établie à l'issue de l'ETAPE 1) en vue de répondre aux besoins énergétiques propres aux constructions développées au sein de la ZAC. En cohérence avec les éventuels objectifs fixés par la Communauté Urbaine et les prescriptions réglementaires imposées à certaines constructions (normes thermiques, Code de la construction et de l'habitat), la réalisation de cette ETAPE 2 doit permettre d'aboutir sur l'identification du ou meilleur scénario possible pour mobiliser les ENR et obtenir le meilleur bilan énergétique tout en considérant leur faisabilité technico-économique.

² La méthodologie retenue dans notre approche repose les recommandations du guide « Études sur les énergies renouvelables dans les nouveaux aménagements - Conseils pour la mise en œuvre de l'article L.128-4 du Code de l'Urbanisme » produit par un groupe de travail composé de différents services déconcentrés de l'Etat et accessible sur internet suivant ce lien : <http://www.certu.fr/guide-energies-renouvelables-et-a238.html>

2

ETAPE 1 – PRESENTATION DE L'ETUDE D'OPPORTUNITES

2.1 Cadrage préalable

2.1.1 Définition des énergies renouvelables et de récupération (ENR&R)

Une énergie renouvelable est une énergie produite à partir de sources non fossiles renouvelables (Directive européenne 2009/28/CE du 23 avril 2009), qui sont des ressources naturelles dont la vitesse d'exploitation permet la régénération du stock initial. La régénération s'apprécie à l'échelle de temps de la vie humaine. Relèvent ainsi de la catégorie des énergies renouvelables : les énergies éolienne, solaire, géothermique, aérothermique, hydrothermique, marine et hydraulique, ainsi que l'énergie issue de la biomasse³, du gaz de décharge, du gaz de stations d'épuration d'eaux usées et du biogaz (Article L211-2 du Code de l'énergie).

Sont considérées comme énergies de récupération, l'exploitation énergétique de la fraction non biodégradable des déchets ménagers ou assimilés, des déchets des collectivités, des déchets industriels, des résidus de papeterie et de raffinerie, les gaz de récupération (mines, cokerie, haut-fourneau, aciérie et gaz fatals) et la récupération de chaleur sur eaux usées ou de chaleur fatale à l'exclusion de la chaleur produite par une installation de cogénération pour la part issue d'énergie fossile.

2.1.2 Objectifs européens et français en termes de développement des énergies renouvelables

2.1.2.1 Objectifs européens

La directive 2009/28/CE du 23 avril 2009 définissait initialement un cadre commun pour la promotion de la production d'énergie à partir de sources renouvelables et fixait des objectifs nationaux contraignants. Ces objectifs nationaux devaient permettre d'atteindre l'objectif global de 20 % d'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie de la Communauté d'ici à 2020.

Cette directive a plus récemment fait l'objet d'une refonte et la nouvelle Directive 2018/2001 fixe un objectif collectif contraignant d'au moins 32 % d'EnR dans la consommation finale brute d'énergie de l'UE d'ici 2030. Contrairement à la précédente directive qui avait été définie pour la période 2013-2020, il n'y a cette fois-ci plus d'objectifs nationaux contraignants formels mais à partir du 1^{er} janvier 2021, la part des EnR dans la consommation finale brute d'énergie ne doit pas être inférieure à des « niveaux de référence » nationaux en 2030. Les états membres doivent toutefois fixer eux-mêmes des « contributions nationales » afin de respecter collectivement l'objectif global de 32 % de l'UE.

2.1.2.2 Objectifs français

La loi Grenelle du 3 août 2009 (loi n°2009-967) retranscrit les objectifs fixés par la directive européenne en portant à 23 % la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale à l'horizon 2020.

Plus récemment, l'engagement de la France vers une véritable transition énergétique s'est traduit dans la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 (loi n° 2015-992) qui fixe les objectifs suivants :

- Augmenter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % de cette consommation en 2030, et atteindre 40 % de la production d'électricité d'origine renouvelable en 2030 ;
- Atteindre 38 % de la consommation finale de chaleur d'origine renouvelable et 10 % de la consommation de gaz d'origine renouvelable en 2030 ;
- Multiplier par cinq la quantité de chaleur et de froid renouvelables et de récupération livrée par les réseaux de chaleur et de froid à l'horizon 2030.

³ La biomasse est la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers.

Enfin, le 6 juillet 2017, le gouvernement français a lancé le Plan Climat qui fixe les conditions opérationnelles nécessaires pour d'atteindre les objectifs de l'Accord de Paris, adopté en marge de la COP21 le 12 décembre 2015, suivant six thèmes principaux :

- Rendre irréversible la mise en œuvre de l'accord de Paris ;
- Améliorer le quotidien de tous les français ;
- En finir avec les énergies fossiles et s'engager vers la neutralité carbone ;
- Faire de la France le N° 1 de l'économie verte en faisant de l'accord de Paris une chance pour l'attractivité, l'innovation et l'emploi ;
- Mobiliser le potentiel des écosystèmes et de l'agriculture pour lutter contre le changement climatique ;
- Renforcer la mobilisation internationale sur la diplomatie climatique.

Concrètement, les orientations fixées dans le domaine énergétique correspondent aux axes suivants :

- **AXE 3.** Faire de la rénovation thermique une priorité nationale et éradiquer la précarité énergétique en 10 ans

Dans le domaine du logement, le gouvernement proposera un accompagnement à tous les Français à revenus modestes, pour que locataires et propriétaires en situation de précarité énergétique (c'est-à-dire ayant des difficultés à se chauffer ou à payer leur facture d'énergie) puissent se voir proposer une solution. Le gouvernement se fixe comme objectif de faire disparaître en 10 ans les passoires thermiques, c'est-à-dire les logements qui, mal isolés, conduisent à la précarité énergétique.

- **AXE 6.** Permettre à tous de consommer de manière responsable et solidaire

La consommation responsable, c'est permettre aux Français de produire et consommer leur propre électricité. C'est ce qu'on appelle l'auto-consommation. L'État soutiendra les quartiers ou les zones rurales qui souhaitent produire et consommer leurs propres énergies renouvelables, comme le biogaz, ou l'énergie solaire.

- **AXE 8.** Décarboner la production d'énergie et assurer une transition maîtrisée

Le charbon est aujourd'hui la principale source d'émissions de CO2 sur la planète. La France proposera des solutions d'accompagnement aux territoires concernés par la fin de la production d'électricité issue des centrales à charbon. La France deviendra ainsi l'un des premiers pays industrialisés sans charbon.

- **AXE 9.** Laisser les hydrocarbures dans le sous-sol

La France a décidé d'interdire tout nouveau projet d'exploration d'hydrocarbures. Cette décision concerne aussi les énergies fossiles dites non conventionnelles, comme les gaz et pétrole de schiste. Un projet de loi sera présenté dans ce sens au Parlement à l'automne.

- **AXE 14.** Accélérer le déploiement des énergies renouvelables

La France soutiendra aussi le développement des énergies renouvelables, en prévoyant des appels d'offre permettant d'atteindre l'objectif de 32% d'énergies renouvelables en 2030, en encourageant l'éolien terrestre et marin, mais aussi l'énergie solaire et l'utilisation de la biomasse pour produire de la chaleur. Il faudra donc accélérer car la France est en retard sur les objectifs de la Loi de transition énergétique.

2.2 Enjeux énergétiques du projet de ZAC

Comme nous l'avons vu au chapitre 1, le projet visé par la présente étude concerne la création d'une ZAC sur le secteur « Mont Coco – Côte de Nacre » ; première phase opérationnelle du projet d'« EPOPEA PARK » porté par la Communauté Urbaine de Caen-la-Mer sur l'ensemble du plateau Nord caennais visant à « Conforter le plateau Nord comme espace d'envergure métropolitaine et pôle d'excellence spécialisé dans le domaine de la physique nucléaire et du biomédical et d'accélérer le développement du secteur de la santé »

Ce projet de ZAC, initié par la collectivité, vise plusieurs objectifs :

- Renforcer l'accueil d'activités économiques ;
- Favoriser la mixité fonctionnelle par la création de logements ;
- Créer un cadre de vie agréable et dynamique pour ceux qui y vivent ou y travaillent ;
- Développer l'accessibilité piétonnes et cyclables en particulier.

Cette opération porte donc sur la mutation et la requalification d'un secteur urbain accueillera à terme essentiellement des activités économiques, mais également de nouveaux équipements publics ainsi qu'une diversité de logements. Cette finalité est retranscrite, au stade de la création de ZAC, par la définition de grandes orientations d'aménagement en vue de permettre, par la suite, un développement organique du projet suivant une logique d'adaptation aux enjeux actualisés.

Aussi, à ce stade, de nombreux aspects liés aux aménagements projetés ne sont pas encore figés et nécessitent la réalisation d'études techniques complémentaires qui permettront, petit à petit, d'affiner le programme de la ZAC.

Cette souplesse, offerte par la procédure de ZAC, va également se ressentir sur les aspects liés aux enjeux énergétiques du projet dans la mesure où les opportunités, notamment liées au développement éventuel d'un réseau de chaleur, n'ont pas encore été précisément étudiées.

À ce stade, les points qui peuvent être affirmés dans le cadre de la présente étude concernent donc :

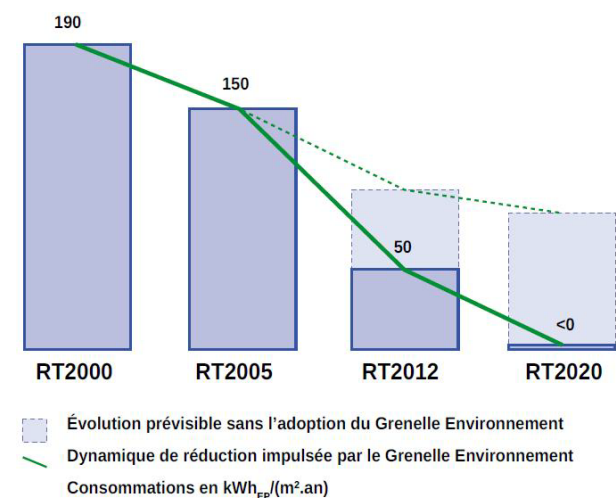
- La disponibilité de ressources énergétiques classiques sur le secteur « Mont Coco – Côte de Nacre » avec :
 - Un réseau de desserte en gaz ;
 - Un réseau de desserte en électricité.

Ce sont par ailleurs ces réseaux dits classiques qui assurent actuellement la desserte énergétique de l'ensemble des équipements publics (bâtiment et éclairage) et de la plupart des constructions privées (habitations, commerces, activités, ...) implantées sur le secteur Mont Coco.

- Le programme de construction de la ZAC :

Au regard de la réglementation actuelle, les nouveaux logements projetés dans le cadre de la mutation du secteur Mont Coco, tout comme les bâtiments dédiés à des activités, commerces et hôtels, seront soumis aux exigences de la norme RE2020 qui fixe la dépense énergétique des bâtiments neufs à 0 kWh_{EP}/m²/an, c'est-à-dire que la construction en question devra produire plus d'énergie qu'il en consomme ou de façon égale. On parle dans ce cas de bâtiments à énergie positive (BEPOS).

Graphique 1 : Évolution des exigences énergétique des bâtiments neufs en application des orientations fixées par la loi Grenelle (ADEME)



Le label E+ C- a été mis en place pour préparer cette évolution de la réglementation thermique. Il définit 4 niveaux de performance en matière d'énergie et 2 niveaux pour l'impact carbone d'un bâtiment.

Les performances énergétiques des bâtiments vont ainsi de E1 à E4 :

- Les premiers niveaux, E1 ou « **Énergie 1** » et E2 ou « **Énergie 2** », constituent une amélioration des performances à coût maîtrisé par rapport à la réglementation thermique RT2012, soit par des mesures d'efficacité énergétique, soit par le recours à des énergies renouvelables et de récupération (ENR&R) ;
- Le niveau E3 ou « **Énergie 3** » nécessite un effort en termes d'efficacité énergétique du bâti et des systèmes et un recours significatif aux ENR&R (chaleur et/ou électricité) ;
- Le niveau E4 ou « **Énergie 4** » correspond à un bâtiment qui produit autant voire plus qu'il consomme (bâtiment à énergie positive).

Pour atteindre ces niveaux, le bâtiment doit présenter un niveau énergétique inférieur au niveau de bilan énergétique maximal du niveau considéré.

$$\text{Bilan}_{\text{BEPOS}} \leq \text{Bilan}_{\text{BEPOS,max}}$$

Les bilans énergétiques de chaque niveau sont présentés dans le tableau suivant en comparaison à la RT2012 aujourd'hui applicable pour les nouvelles constructions.

Tableau 1 : Niveaux énergie du Label E+ C-

Niveau Energie	Bâtiments collectifs d'habitation	Bâtiments à usage de bureau	Autre bâtiment soumis à la RT
E1	RT2012 - 5 % + Aue _{ref}	RT2012 - 15 % + Aue _{ref}	RT2012 - 10 % + Aue _{ref}
E2	RT2012 - 15 % + Aue _{ref}	RT2012 - 30 % + Aue _{ref}	RT2012 - 20 % + Aue _{ref}
E3	RT2012 - 20 % + Aue _{ref} - Prod _{ref}	RT2012 - 40 % + Aue _{ref} - Prod _{ref}	RT2012 - 20 % + Aue _{ref} - Prod _{ref}
E4	Bilan _{BEPOS,max} ≤ 0		

Prod_{ref} : Production d'énergie renouvelable de référence ; elle est de 20 kWh_{EP}/m²/an pour les logements et de 40 kWh_{EP}/m²/an pour les bureaux
 Aue_{ref} : Consommation de référence des autres usages (usages non réglementaires) en énergie primaire (EP)

2.3 Identification des documents susceptibles d'orienter la stratégie énergétique du projet

D'une manière générale, les différents documents susceptibles d'orienter la stratégie énergétique du projet peuvent être :

- Des textes réglementaires ou des normes spécifiques applicables au projet ;
- Des documents stratégiques sur les questions associées aux modifications climatiques et aux énergies ;
- Des documents de planification territoriale.

2.3.1 Textes réglementaires et normes spécifiques associés aux énergies renouvelables

À noter qu'à l'exception de la présente étude (en application du Code de l'urbanisme), compte tenu de la nature du projet, les textes réglementaires et normes spécifiques associés au développement des énergies renouvelables concernent principalement la création de bâtiments :

- La section 4 du Code de la construction et de l'habitation : Performance énergétique et environnementale et caractéristiques énergétiques et environnementales :

L'article R.111-22 (modifié par le décret n°2013-979) impose la réalisation d'une étude de faisabilité des approvisionnements en énergie à toute construction de bâtiment nouveau à l'exception :

- Des bâtiments dont la surface de plancher est inférieure à 50 m² ;
- Des maisons individuelles ou accolées, compte tenu de l'obligation de recours aux énergies renouvelables au titre de l'application de la RT 2012 (article 16 de l'arrêté du 26 octobre 2010) ;
- Des extensions de bâtiments existants.

- La norme thermique fixée dans la réglementation environnementale RE2020 :

La RE2020 a été initiée en janvier 2020 et doit entrer en vigueur à l'été 2021 et serait en théorie applicable à partir de janvier 2022. Elle concernera les bâtiments dont les permis de construire seront déposés postérieurement à cette date. La première échéance d'entrée en vigueur concernera les logements ainsi que les bureaux et l'enseignement. Les bâtiments tertiaires plus spécifiques feront l'objet d'un volet ultérieur de la réglementation. Le label accompagnant la RE2020 sera consolidé au second semestre 2021.

Cette réglementation va concerner tous les professionnels de la construction et imposera des exigences supplémentaires pour chaque construction neuve de bâtiment. L'objectif recherché au travers de cette RE2020 est d'optimiser la consommation énergétique et prendre en compte l'empreinte carbone du bâtiment tout au long de son cycle de vie, depuis la fabrication des matériaux, la construction, l'utilisation du bâtiment, sa déconstruction jusqu'au recyclage des matériaux.

La RE2020 reposera donc entre autres sur des maisons possédant une isolation thermique, des apports en luminosité et des systèmes thermiques performants pour une consommation d'énergie minimale. Ces bâtiments devront aussi produire de l'énergie pour couvrir leurs propres besoins, grâce aux énergies renouvelables et à la mise en place de dispositifs tels que les panneaux photovoltaïques. Le confort global des occupants sera aussi pris en compte dans les critères de la RE2020 (qualité de l'air intérieur, confort thermique, lumière naturelle...).

Ces prescriptions réglementaires s'appliqueront de plein droit aux constructions nouvelles développées dans le cadre du projet d'aménagement de la ZAC Mont Coco.

2.3.2 Documents stratégiques sur les questions associées aux modifications climatiques et aux énergies

2.3.2.1 Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE) de Basse-Normandie

Le SRCAE (Schéma régional Climat-Air-Energie) de Basse Normandie est un document stratégique co-élaboré par l'Etat et l'ancienne Région du même nom. Approuvé en 2013, le SRCAE fixait des objectifs chiffrés de 7 % d'économie d'énergie par rapport à 2009, 31 % d'ENR dans la consommation finale et 25 % d'économie de GES par rapport à 1990, d'ici 2030.

Le SRCAE sera mis à jour et intégré au futur Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Équité des Territoires (SRADDET), en cours d'élaboration par le Conseil Régional de Normandie.

2.3.2.2 Le Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) de Caen Normandie Métropole

La Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (Loi TECV) impose à tous les Etablissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI) à fiscalité propre, de plus de 20 000 habitants, d'élaborer un Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) au plus tard le 31 décembre 2018.

Les élus du Pôle Métropolitain Caen Normandie Métropole ont choisi de mener le PCAET à l'échelle du Pôle « Socle » (6 intercommunalités, dont la Communauté Urbaine Caen la mer, 208 communes, environ 380 000 hab.) pour avoir une vision plus large et globale de ces enjeux, qui vont au-delà des limites administratives des territoires. Ce futur PCAET s'articulera autour de 6 axes stratégiques :

- Massifier la rénovation énergétique du bâti privé et public,
- Favoriser la mobilité durable,
- Relocaliser une production alimentaire plus durable,
- Réduire la pollution de l'air,
- Gérer durablement l'eau et les déchets,
- Développer les énergies renouvelables.

Les étapes de l'élaboration de ce PCAET qui vont définir son contenu, sont les suivantes :

1. Le diagnostic
2. La stratégie territoriale
3. Le programme d'actions
4. Le dispositif de suivi et d'évaluation

Le PCAET de Caen Normandie Métropole est actuellement au stade du diagnostic. Les travaux relatifs à son élaboration ont en effet été suspendus à la fin de l'année 2019. Un nouveau calendrier est en cours de définition et vise un objectif d'approbation du PCAET à horizon 2022.

2.3.2.3 Le Schéma Directeur de l’Energie (SDE) de Caen la Mer

La Communauté Urbaine de Caen la Mer est, depuis 2015, lauréate de l’appel à projet national « Transition Énergétique pour une Croissance Verte », avec trois actions phares de transition énergétique : un schéma directeur de l’énergie, l’optimisation de l’éclairage public dans les zones d’activités communautaires et un schéma directeur cyclable.

L’élaboration du Schéma Directeur de l’Énergie constitue l’une des trois actions phares de transition énergétique dans le cadre de la démarche Territoire à Énergie Positive pour la Croissance Verte. Celui-ci est un outil de planification énergétique consistant à intégrer la question de l’énergie dans les projets d’aménagement et de développement à l’échelle du bâtiment, des quartiers et des communes de la Communauté Urbaine.

La finalité du SDE est de permettre : la sobriété et l’efficacité énergétiques du territoire, l’accessibilité de l’énergie pour tous (précarité énergétique), la lutte contre le changement climatique et la performance de l’approvisionnement énergétique du territoire. A cet effet, il conduira plus concrètement à :

- La production d’une feuille de route décidée par les élus permettant aux services de mettre en œuvre les actions avec les moyens associés,
- L’identification des nécessaires interactions et articulations avec les documents de planification territoriale (PLU, SCoT, PDU, PLH, PCAET...),
- La création d’un SIG énergie intégré au SIG de la collectivité,
- La mise en œuvre d’une démarche transversale au sein de la collectivité,
- L’implication des acteurs territoriaux dans les questions énergétiques,
- Traduire de manière opérationnelle l’engagement politique de la collectivité dans sa politique de transition énergétique.

La réalisation du Schéma Directeur de l’Énergie s’articule autour de deux étapes :

- **Étape 1** : Dresser les perspectives énergétiques du territoire. Cette première étape intègre notamment :
 - Un état des lieux énergétique,
 - Une évolution tendancielle de la demande et de la production énergétique du territoire à l’horizon 2020, 2030 et 2050,
 - Une étude du potentiel réel de développement des énergies renouvelables et de récupération de chaleur (horizons 2020, 2030, 2050),
 - Une analyse de la capacité d’accueil des réseaux, et plan de développement complémentaire des réseaux,
 - La construction d’une base de données énergétiques compatible avec le SIG Caen la Mer.
- **Étape 2** : Élaboration d’une stratégie énergétique territoriale. Elle comprend :
 - La proposition de plusieurs scénarios énergétiques territoriaux,
 - La définition d’un scénario « cible » ;
 - Un zoom sur des projets d’aménagement et des secteurs à enjeux.

Au même titre que le PCAET, le SDE de Caen la Mer les travaux relatifs à l’élaboration d’une stratégie énergétique territoriale ont été suspendus.

2.3.3 Documents de planification territoriale

À l’échelle administrative locale, le projet de ZAC est concerné par :

- Le Schéma de Cohérence Territorial (SCOT) du Pôle Métropolitain Caen Normandie Métropole ;
- Le Plan Local de l’Urbanisme (PLU) de la ville de Caen ;
- Le Plan Local de l’Habitation (PLH) de la ville de Caen.

Ces 3 documents de planification territoriale de la Communauté Urbaine intègrent des orientations et des règles favorisant la lutte contre le changement climatique et son adaptation et doivent s’articuler vers des objectifs communs. Ils comprennent en effet des orientations cohérentes et favorisant les actions relatives à l’intégration des énergies renouvelables, à la maîtrise de la demande d’énergie et à l’efficacité.

À la différence de l’analyse effectuée dans l’étude d’impact de l’opération d’aménagement en vue de vérifier la compatibilité du projet avec les orientations fixées dans ces documents de planification, la présente partie vise principalement à analyser les dispositions spécifiques aux questions énergétiques.

2.3.3.1 Le Schéma de Cohérence Territorial (SCOT) du Pôle Métropolitain Caen Normandie Métropole

Les orientations stratégiques du SCOT en matière d’énergie pouvant concerner le présent projet de ZAC, sont rappelées dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Les orientations stratégiques du SCOT Caen Normandie Métropole - 2016

THEMATIQUES	ORIENTATIONS STRATEGIQUES
Habitat et formes urbaines	<ul style="list-style-type: none">• Optimiser le parc public ou privé de logements existants du point de vue de son efficacité énergétique• Les documents d’urbanisme promeuvent une architecture recherchant une moindre consommation, l’intégration d’EnR (solaire notamment)• Le PLH doivent inscrire la réalisation d’OPAH sur l’ensemble des bâtiments collectifs anciens (notamment <1975) avec un objectif de performance élevée (HPE rénovation, BBC rénovation)• Les études préalables aux opérations d’aménagement intègrent un volet évaluation impact énergie – GES• Urbanisation privilégiée dans les zones d’urbanisation existantes
Mobilité	<ul style="list-style-type: none">• Donner la priorité aux transports alternatifs – favoriser le report modal (TCSP en agglomération, voie ferrée ou lignes de bus hors agglomération, continuité des infrastructures. dédiées aux modes doux)• Systématiquement prévoir dans le cadre de tout projet (création/réhabilitation de voirie autour de gare ou arrêt TCSP, pôle d’activités, équipement culturel ou sportif...) des parkings à vélo
Urbanisme	<ul style="list-style-type: none">• Intensification de la ville existante, production d’espaces urbains plus denses et compacts
Activités économiques	<ul style="list-style-type: none">• Organisation des activités pour favoriser la polarisation urbaine• Accessibilité des lieux touristiques grâce à des liaisons douces• Prise en compte consommations d’énergie, EnR, traitement des déchets et cycle de l’eau dans les locaux et bâtiments d’activités et commerciaux• Les documents d’urbanisme prévoient que les bâtiments à usages d’activités SHON>10 000 m² couvrent progressivement leurs besoins énergétiques pour atteindre une couverture complète en 2025
Production d’énergie	<ul style="list-style-type: none">• Étudier les possibilités de raccordement à un réseau de chaleur pour les projets de construction de bâtiments et de locaux chauffés SHON>5000 m² et situés <500m d’un réseau• Encourager la réalisation de centrales de production d’électricité photovoltaïque en toiture

2.3.3.2 Le Plan Local de l’Urbanisme (PLU) de la ville de Caen

Les orientations stratégiques du PLU en matière d’énergie pouvant concerner le présent projet de ZAC, sont rappelées dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Les orientations stratégiques du PLU de la ville de Caen - 2017

THEMATIQUES	ORIENTATIONS STRATEGIQUES
Transports et mobilités	<ul style="list-style-type: none">• Développement et densification en relation avec le nouveau réseau de transport• Renforcement de l’intermodalité via création d’infrastructures (plateformes...)• Dynamisation des parkings relais• Redéfinition de la politique de stationnement (stationnement courte durée, réduction des capacités de stationnement de longue durée sur l’espace public) et des normes de stationnement lors de nouvelles constructions• Restructuration des grands boulevards en faveur des mobilités douces• Soutenir le PDU, et favoriser les PDA et PDE• Favoriser l’usage de voitures décarbonées et écologiques (stationnement dédié par exemple
Bâtiments	<ul style="list-style-type: none">• Renouvellement urbain de certains secteurs (notamment en centre-ville et au niveau des espaces de centralité)• Rénovation de l’habitat ancien à travers une OPAH « précarité énergétique et logements indignes » (incitation propriétaires bailleurs et occupants à la remise à niveau énergétique des logements)
Techniques de construction	<ul style="list-style-type: none">• Promouvoir les techniques de construction de bâtiments privilégiant la qualité environnementale et les matériaux à faible bilan carbone, mais aussi la réduction des charges pour les occupants• Faciliter la mise en œuvre d’isolations extérieures• Développer les principes de développement durable environnemental et social dans les appels d’offres ou les consultations d’aménagement ou de travaux conduits par la ville

2.3.3.3 Le Plan Local de l’Habitat (PLH) de la Communauté Urbaine de Caen la Mer

Les orientations stratégiques du PLH en matière d’énergie pouvant concerner le présent projet de ZAC, sont rappelées dans le tableau suivant.

Tableau 4 : Les orientations stratégiques du PLH de la Communauté Urbaine de Caen la Mer - 2020

THEMATIQUES	ORIENTATIONS STRATEGIQUES
Conditions de vie dans le logement	<ul style="list-style-type: none">• Améliorer le confort des logements, notamment en matière d’énergie, par la réhabilitation et le renouvellement urbain des parcs• Sur l’existant : à travers des OPAH• Inciter les propriétaires d’une offre à loyers maîtrisés à réhabiliter leurs logements par l’information, l’animation et la coordination des initiatives en lien avec la Maison de l’Habitat• Détecter les situations problématiques (habitat indigne...) afin de définir des actions prioritaires

2.4 Diagnostic territorial

En matière d'approvisionnement énergétique, le panel de solutions est large et chaque solution dispose de ses atouts et de ses limites. Le diagnostic territorial vise à balayer l'ensemble des filières énergétiques potentiellement mobilisables à l'échelle de l'opération d'aménagement en tenant compte de son environnement propre.

2.4.1 Types d'énergies, systèmes et échelles

Le tableau ci-contre présente, pour chaque source d'énergie renouvelable ou de récupération, les principaux systèmes permettant de mobiliser cette ressource (liste non exhaustive), l'usage après conversion (chaleur, électricité, froid) ainsi que l'échelle la plus courante pour la mise en place des systèmes considérés.

La lecture de ce tableau est facilitée par un code couleur permettant de visualiser rapidement la probabilité d'existence de marges de manœuvre quant à l'utilisation de chaque ressource à l'échelle de l'opération d'aménagement et en tenant compte de sa situation géographique générale :

- Vert : utilisation adaptée au regard de l'échelle du projet ou de sa situation géographique générale ;
- Rouge : utilisation inadaptée au regard de l'échelle du projet ou de sa situation géographique générale.

Il permet de faire un premier tri des différentes filières énergétiques en excluant celles qui ne sont pas adaptées à l'échelle de l'opération d'aménagement ou à sa situation géographique générale.

À ce titre, au regard de cette analyse préalable, il apparaît que :

- Pour des raisons d'échelle ou de localisation géographique du projet, certaines filières ne sont pas adaptées à l'opération d'aménagement. À titre d'exemple, c'est le cas de :
 - L'énergie hydraulique (absence de cours d'eau à proximité et échelle inadaptée) ;
 - L'énergie marine mécanique (solution géographiquement inadaptée) ;
 - Le grand éolien (solution inadaptée à l'échelle de l'opération).
- A l'inverse, certains gisements sont particulièrement adaptés à l'échelle du projet d'aménagement. L'analyse qui est menée dans la partie suivante porte sur ces filières en vue de déterminer leur potentiel de mobilisation en tenant compte de l'environnement du projet.

Tableau 5 : Types d'énergies, systèmes et échelles

ENERGIE	UTILISATION	SYSTEME D'EXPLOITATION	ECHELLE DE MISE EN ŒUVRE OU CRITERE(S) D'EXCLUSION
Éolien	Électricité	Grand éolien	Solution inadaptée au projet en termes d'échelle, de situation géographique et de capacité de production
		Petit éolien	Quartier / Zone d'activité Bâtiment / Infrastructure
	Mécanique (pompage d'eau)	Petit éolien	Quartier / Zone d'activité Bâtiment / Infrastructure
Solaire thermique	Chaleur	Ensemble de panneaux solaires thermiques (rassemblés en un site ou diffus sur plusieurs bâtiments), avec réseau de chaleur	Quartier / Zone d'activité
		Panneaux solaires thermiques indépendants	Bâtiment / Infrastructure
Solaire photovoltaïque	Électricité	Panneaux solaires photovoltaïques indépendants	Bâtiment / Infrastructure
Géothermie et procédés dérivés	Électricité	Géothermie profonde (avec réseau de chaleur / froid)	Solution inadaptée au projet en termes d'échelle, de situation géographique et de capacité de production
	Chaleur / Froid	Géothermie basse énergie (avec réseau de chaleur basse température)	Quartier / Zone d'activité
		Géothermie très basse énergie avec pompe à chaleur	Bâtiment / Infrastructure
		Géothermie horizontale avec pompe à chaleur	
		Récupération de la chaleur issue des eaux superficielles	Solution inadaptée au projet en termes d'échelle, de situation géographique et de capacité de production
		Récupération de la chaleur issue du réseau d'eau usée	Quartier / Zone d'activité
Aérothermie	Chaleur / Froid	Pompe à chaleur	Bâtiment / Infrastructure
		Puits canadien	Bâtiment / Infrastructure
Marines mécaniques	Électricité	Hydroliennes, usine marémotrice, usine houlomotrice	Solution inadaptée au projet en termes d'échelle, de situation géographique et de capacité de production
Hydraulique	Électricité	Turbines hydrauliques	Solution inadaptée au projet en termes d'échelle, de situation géographique et de capacité de production
Biomasse	Chaleur / Électricité	Chaudière biomasse collective (avec ou sans cogénération), avec réseau de chaleur	Quartier / Zone d'activité
		Chaudière biomasse individuelle ou d'immeuble (avec ou sans cogénération)	Bâtiment / Infrastructure
Chaleur fatale des industries/bâtiments	Chaleur / Électricité	Turbine électrique et/ou chaleur distribuée par un réseau	Solution inadaptée au projet en termes d'échelle, de situation géographique et de capacité de production
Réseau de chaleur	Chaleur	Développement d'un réseau de chaleur à partir de l'exploitation de l'une des filières énergétiques identifiées ci-avant	Quartier / Zone d'activité

2.4.2 Étude d’opportunités sur le développement des ENR&R

Cette étude d’opportunités vise à caractériser le potentiel de développement des différentes filières ENR&R adaptées à l’échelle de l’opération d’aménagement en tenant compte du contexte territorial du projet.

2.4.2.1 Exploitation de l’énergie éolienne

Principes d’exploitation de l’énergie éolienne

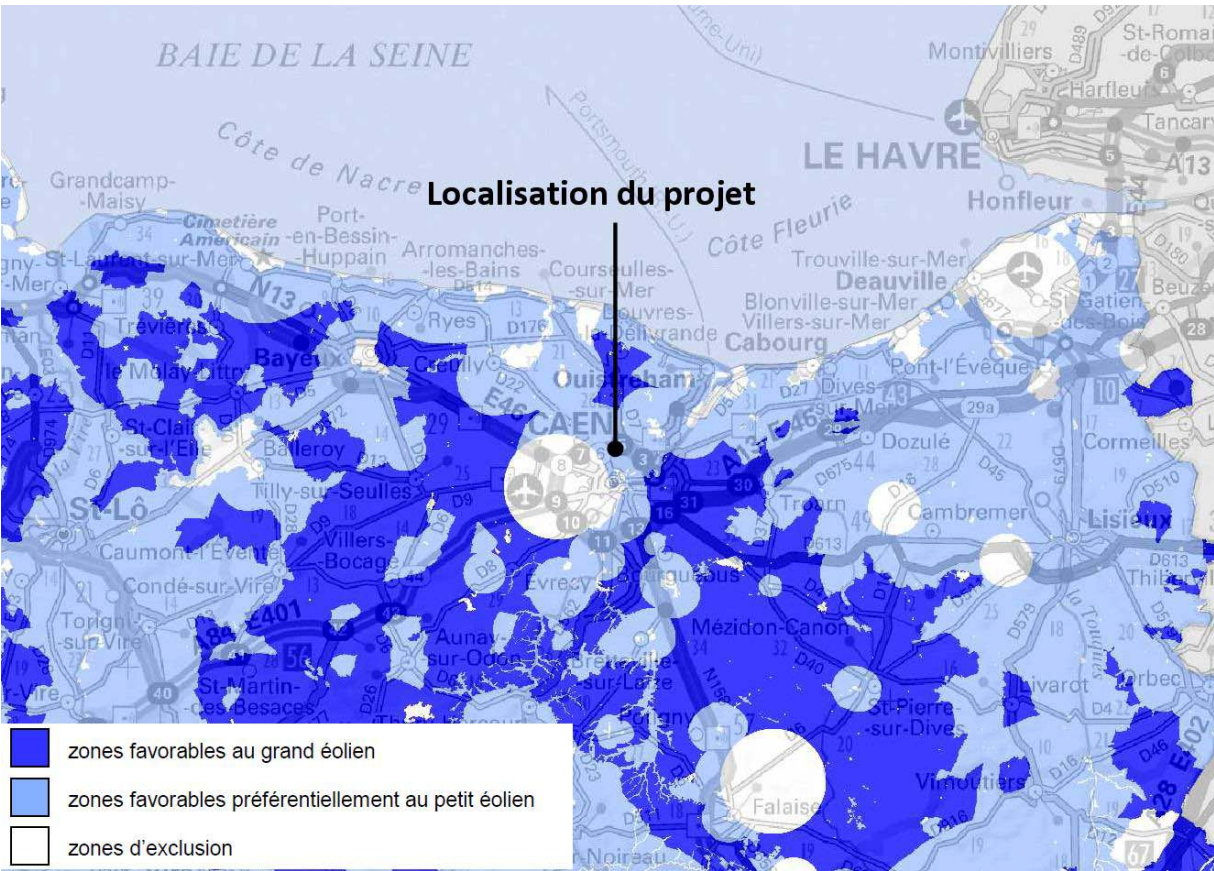
L’exploitation de l’énergie éolienne repose sur la transformation de l’énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Cette énergie est ensuite transformée dans la plupart des cas en électricité.

Définition du gisement local

L’exploitation de l’énergie éolienne dépend principalement des caractéristiques du vent (vitesse, fréquence et régularité) mais aussi des contraintes et servitudes techniques (aériennes et patrimoniales) du territoire.

Selon les cartes des vents insérées au Schéma Régional Éolien de la Basse-Normandie, le secteur d’implantation du projet est situé dans une zone favorable préférentiellement au petit éolien.

Schéma 5 : Potentiel éolien (SRE Basse-Normandie)



Potentiel de développement de l’énergie éolienne au niveau du secteur d’étude et à l’échelle du projet

Au-delà du gisement éolien, compte tenu des caractéristiques des aérogénérateurs et de leur mode de fonctionnement, d’autres facteurs peuvent conditionner le développement de cette filière.

Dans notre cas, on distinguera 2 principales catégories d’éoliennes :

- Les éoliennes de grande puissance qui sont développées dans les parcs éoliens terrestres - Leurs gabarits et leurs caractéristiques ne sont pas adaptés au contexte et à l’échelle du projet.
- Les petites éoliennes à axe horizontal ou à axe vertical qui trouvent des applications variées (production d’électricité pour autoconsommation ou pour injection en réseau, application mécanique) - Leurs gabarits et leurs caractéristiques sont variables en fonction du type de technologie développée. Si elles ne sont pas exclues à ce stade de réflexion, leur développement reste dépendant d’une évaluation :
 - Plus précise du gisement éolien en tenant compte, notamment des différents éléments susceptibles de gêner leur bon fonctionnement en générant des obstacles à l’écoulement des vents ou des turbulences (relief, végétation, bâti). Ce point est particulièrement important dans la mesure où le rendement de ces machines est relativement faible et où leur positionnement doit être optimisé pour atteindre un bon seuil de rentabilité ;
 - Des impacts potentiels sur le paysage, la faune et les nuisances qu’elles peuvent également générer. En effet, même si le gabarit de ces aérogénérateurs reste modeste, ils peuvent malgré tout entraîner des nuisances importantes, notamment pour le voisinage.

Opportunités de développement de l’éolien dans le projet de ZAC

Les opportunités de développement de l’éolien sur le site de la ZAC sont relativement limitées.

En effet, comme nous l’avons vu précédemment, le potentiel de développement de l’éolien à l’échelle du projet de ZAC se limite aux petites éoliennes.

Et à ce sujet selon un rapport de l’ADEME de 2015 sur le petit éolien : « les sites urbains ou périurbains présentent (en général) des statistiques de vent trop faible ou trop turbulent pour une exploitation rentable en l’état actuel des technologies et des prix de l’électricité. Ce même rapport précise également que « pour éviter une demande de permis de construire beaucoup d’installations font donc moins de 12 m de hauteur, ce qui est inefficace du point de vue de la production électrique et donc de la viabilité économique ».

Le bilan associé au développement de l’énergie éolienne est donc le suivant.

Tableau 6 : Bilan associé au développement de l’éolien

Energie	Avantages	Inconvénients	Approche économique
Eolien	<ul style="list-style-type: none">• Energie gratuite et sans dégagement de pollution atmosphérique	<ul style="list-style-type: none">• Energie intermittente (dépendance au vent) et sensible aux éléments environnants (obstacles à l’écoulement des vents)• Contraintes paysagères et environnementales• Nuisances pour le voisinage	<ul style="list-style-type: none">• Investissement élevé• Retour sur investissement faible

Au regard de ces éléments, les opportunités de développement de l'éolien au niveau du projet sont listées dans le tableau ci-après, en fonction des applications envisageables (liste non exhaustive).

Tableau 7 : Opportunités de développement de l'éolien au sein du projet

Énergie	Applications envisageables sur site	Principe de fonctionnement	Illustration
Éolien	Candélabres éoliens	<p>La mise en place de candélabres éoliens permet de maîtriser la consommation énergétique de l'éclairage sur les parties communes (espaces publics) ou privés.</p> <p>Plusieurs solutions techniques sont envisageables pour pallier la contrainte liée à l'intermittence de la production d'électricité par les éoliennes mais dans tous les cas, il est nécessaire de considérer cette ressource éolienne comme une énergie d'appoint et de la coupler à un raccordement au réseau électrique.</p> <p><i>On précisera que ce type de candélabre peut être hybridé avec le solaire.</i></p>	
	Éoliennes de pompage	<p>La mise en place d'éoliennes de pompage peut être envisagée pour les applications suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none">Alimentation des réserves d'eaux liées à l'entretien ou à la sécurité du site ;Alimentation en eau pour répondre au besoin de certaines activités. <p>Les pompes peuvent concerner les eaux souterraines ou les eaux pluviales collectées dans les ouvrages de rétention collectifs ou privés.</p> <p>De la même manière que précédemment, si l'application attendue nécessite une continuité dans le temps, il sera nécessaire de considérer cette ressource éolienne comme une énergie d'appoint et de la coupler à un raccordement au réseau électrique.</p> <p><i>Au-delà de l'aspect énergétique, cette technologie est également positive en termes de consommation d'eau.</i></p>	
	Éoliennes de production d'électricité	<p>Les technologies envisageables pour exploiter l'énergie éolienne en vue de produire de l'électricité sont multiples (axe vertical / horizontal, implantation au sol ou sur toiture, ...). Elles peuvent être développées de manière collective ou individuelle.</p> <p>Leur exploitation peut permettre de produire de l'électricité en vue d'une autoconsommation ou d'une restitution vers le réseau électrique.</p> <p>De la même manière que précédemment, si l'application attendue nécessite une continuité dans le temps, il sera nécessaire de considérer cette ressource éolienne comme une énergie d'appoint et de la coupler à un raccordement au réseau électrique.</p>	

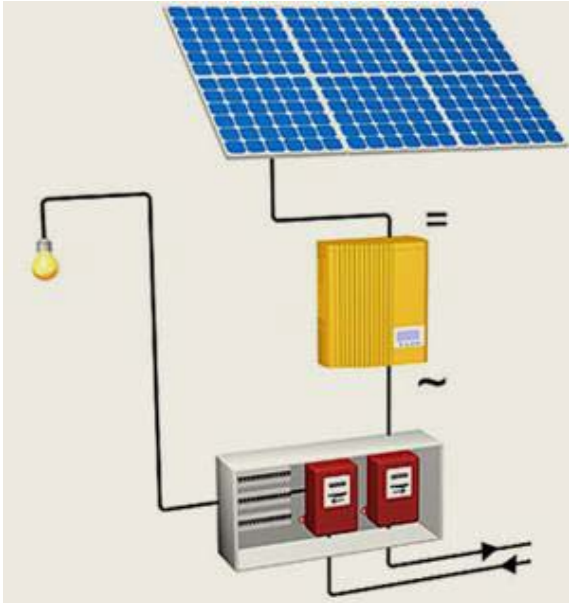
2.4.2.2 Exploitation de l'énergie solaire

Principes d'exploitation de l'énergie solaire


L'exploitation de l'énergie solaire repose sur la transformation de l'énergie du rayonnement solaire en électricité ou en chaleur, selon les technologies :

- L'énergie solaire photovoltaïque produit de l'électricité via des modules photovoltaïques, électricité qui peut être ensuite injectée sur les réseaux électriques ;
- L'énergie solaire thermique produit de la chaleur qui peut être utilisée pour le chauffage ou la production d'eau chaude.

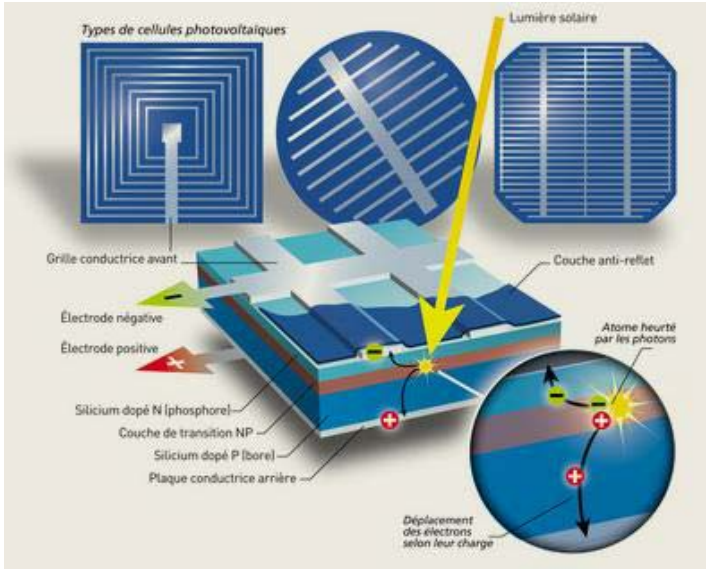
Schéma 6 : Principes de fonctionnement et structure des panneaux solaires photovoltaïques et thermiques




Production d'électricité via des panneaux photovoltaïques



Production de chaleur via des panneaux thermiques (Exemple du chauffe-eau solaire)



Cellule photovoltaïque



Capteur à tubes sous vide à circulation directe

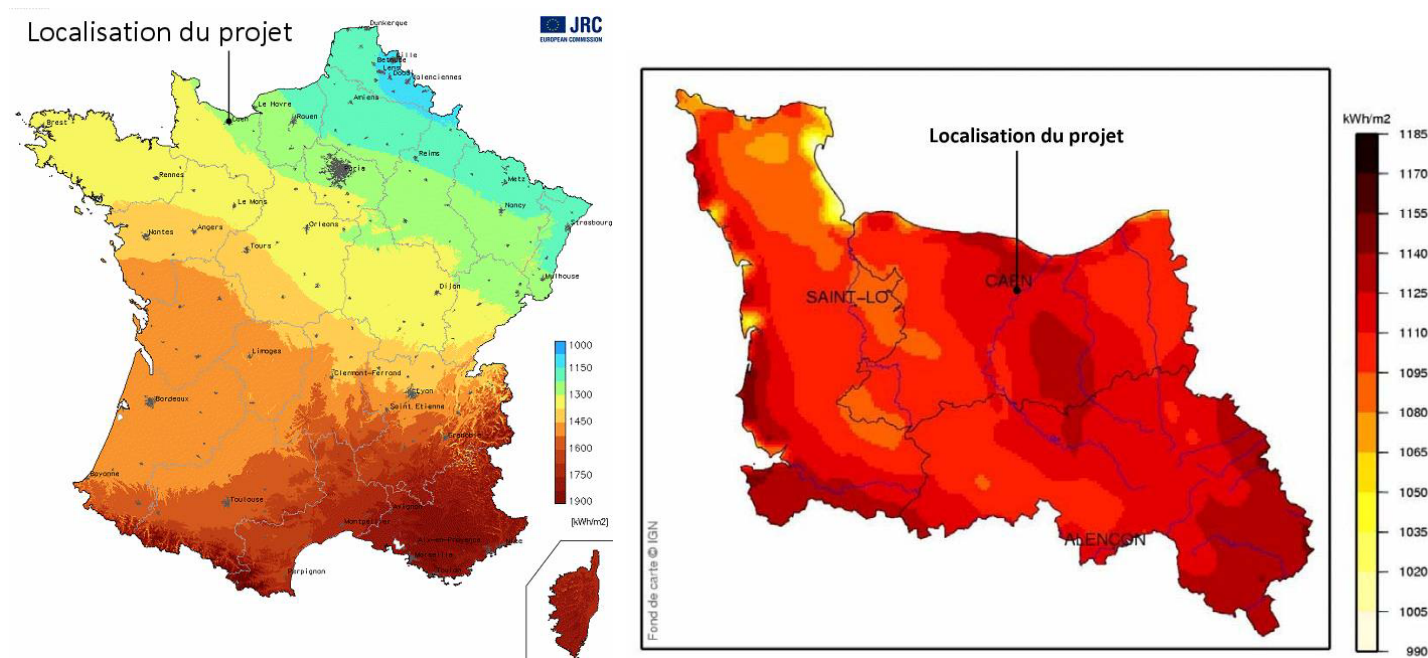
Définition du gisement local

L'évaluation du gisement solaire sur un secteur défini doit prendre en compte, au préalable, plusieurs paramètres tels que la durée d'ensoleillement, la latitude, l'altitude, le relief, la couverture nuageuse et la quantité d'ombres.

Selon les cartes produites par les instituts météorologiques :

- À l'échelle de la France, l'irradiation globale annuelle de la Normandie est estimée entre 1 150 kWh/m² et 1 300 kWh/m² (Source : Photovoltaic Geographical Information System - PVGIS⁴). Au regard de la carte (cf. schéma ci-dessous), on constate que la région Normandie fait partie des régions françaises qui présentent le gisement solaire le moins important). Cette situation est principalement liée à l'influence de la latitude sur le gisement solaire ;
- À l'échelle de l'ex-région Basse-Normandie, l'irradiation globale annuelle du secteur d'implantation du projet est estimée entre 1 110 kWh/m² et 1 125 kWh/m² (Source : METEO FRANCE). Au regard de la carte (cf. Schéma ci-dessous), on constate toutefois que le territoire de la Communauté Urbaine de Caen la Mer est situé dans un secteur qui présente un gisement solaire intéressant comparativement au reste du département du Calvados.

Schéma 7 : Potentiel solaire national et régional (PVGIS / METEO FRANCE)



Au regard de ces données, il pourrait être considéré que le gisement solaire au niveau de la zone d'implantation du projet est relativement faible.

Néanmoins, avec un ensoleillement moyen de l'ordre de 3 kWh/m²/jour, cette zone géographique dispose d'une quantité d'énergie suffisante au développement d'équipements solaires puisqu'à titre indicatif, la ressource évaluée au niveau du secteur d'étude est équivalente à celle constatée en Allemagne où les installations solaires sont très développées.

Aussi, le gisement identifié permet, malgré tout, le développement des énergies solaires ; la technologie thermique étant ici plus appropriée que le photovoltaïque.

Potentiel de développement de l'énergie solaire au niveau du secteur d'étude et à l'échelle du projet

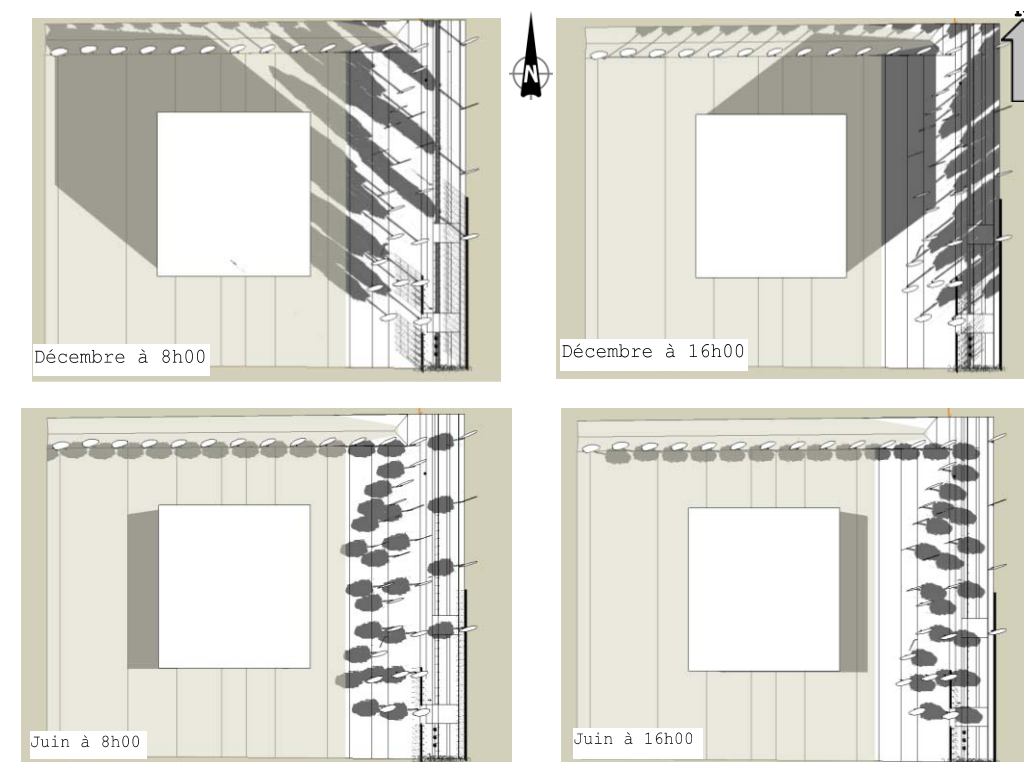
Comme nous l'avons vu précédemment, même si le gisement solaire local est relativement faible, il offre des opportunités de développer cette filière au sein du projet.

Au-delà du gisement, compte tenu des caractéristiques et du mode de fonctionnement des installations solaires, d'autres facteurs peuvent conditionner le développement de cette filière.

Ces facteurs, qui sont quasiment identiques entre les 2 procédés considérés sont :

- La configuration du site vis-à-vis de la course du soleil : l'orientation optimale étant plein Sud ;
- L'environnement du site dans la mesure où il convient de prendre en compte :
 - La sensibilité paysagère du site et notamment le fait que compte tenu de leurs caractéristiques, les panneaux solaires peuvent interférer avec certains éléments patrimoniaux comme les Monuments Historiques. A ce propos, on indiquera que la partie Nord-Ouest de la ZAC recoupe le périmètre de protection du Monument Historique du Monastère des Bénédictins. Les lots de la ZAC concernés par cette protection sont situés à l'Ouest de la rue Colbert.
 - La configuration du site et du projet vis-à-vis du phénomène de masque solaire. En effet, les ombres portées sur les panneaux solaires diminuent leur productivité. Ce phénomène de masque solaire sera à apprécier plus finement en phase 2 de l'étude en tenant compte de la volumétrie projetée des futurs bâtiments.

Schéma 8 : Illustration de la problématique des ombres portées



On notera que les modules photovoltaïques peuvent également être appliqués au sol sur l'espace circulaire, selon le principe de « route solaire » qui se traduit par plusieurs couches successives de cellules photovoltaïques en « millefeuille » sur une épaisseur de l'ordre de 5 mm. Ce type de dispositif n'est cependant pas adapté au contexte urbain tel que celui du quartier Mont Coco compte tenu de la densité du bâti et des nombreuses composantes de l'espace public (végétation, stationnements, mobilier urbain, etc.).

⁴ <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>

Opportunités de développement du solaire dans le projet de ZAC




Comme nous l'avons vu précédemment, en tenant compte du gisement local et de différents facteurs environnementaux propres au site d'implantation de la ZAC, le potentiel de développement des filières solaires est envisageable mais reste limité (gisement relativement faible). Le bilan avantages / inconvénients associé au développement du solaire est détaillé dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Bilan associé au développement du solaire

Energie	Avantages	Inconvénients	Approche économique
Solaire thermique	<ul style="list-style-type: none">Energie gratuite et sans dégagement de pollution atmosphériqueCapteurs solaires thermiques particulièrement adaptés à des besoins de chaleur importants et réguliers	<ul style="list-style-type: none">Caractère saisonnier de l'énergie produiteContraintes paysagèresRendement très influencé par l'orientation et l'inclinaison des panneaux, ainsi que par les phénomènes d'ombrage	<ul style="list-style-type: none">Technique éprouvée et performante tant du point de vue économique qu'environnementalCoûts d'entretien et de maintenance faibles
Solaire photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none">Energie gratuite et sans dégagement de pollution atmosphérique pendant la phase d'exploitation		<ul style="list-style-type: none">Revente de l'électricité produiteCoûts d'entretien et de maintenance faibles

Au regard de ces éléments, les opportunités de développement du solaire au niveau du projet sont listées dans le tableau ci-après, en fonction des applications envisageables (liste non exhaustive).

Tableau 9 : Opportunités de développement du solaire au sein du projet

Energie	Applications envisageables sur site	Principe de fonctionnement	Illustration
Solaire thermique	Panneaux solaires thermiques	Deux stratégies pourraient être envisagées : <ul style="list-style-type: none">Une mutualisation des moyens permettrait de développer un ensemble de panneaux solaires thermiques (diffus sur plusieurs bâtiments) pour alimenter un réseau de chaleur à l'échelle du projet ;Un développement indépendant de panneaux solaires thermiques à l'échelle de chaque construction du projet pour répondre en partie à leurs besoins spécifiques.	
Solaire photovoltaïque	Candélabres photovoltaïques	La mise en place de candélabres photovoltaïques permet de maîtriser la consommation énergétique de l'éclairage sur les parties communes (espaces publics) ou privées. Plusieurs solutions techniques sont envisageables pour pallier la contrainte liée à l'intermittence de la production d'électricité par les cellules photovoltaïques mais dans tous les cas, il est nécessaire de considérer cette ressource comme une énergie d'appoint et de la coupler à un raccordement au réseau électrique. <i>On rappellera que ce type de candélabre peut également être hybridé avec l'éolien.</i>	
	Panneaux solaires photovoltaïques	En considérant que la technologie photovoltaïque est moins appropriée au contexte du projet que le thermique (notion d'intensité lumineuse), le développement de panneaux solaires photovoltaïques pourrait malgré tout être envisagé pour répondre à des besoins spécifiques de certains bâtiments peu consommateurs en énergie (autoconsommation) ou dans l'optique d'une énergie d'appoint.	

2.4.2.3 Exploitation de la géothermie et des procédés dérivés**Principes d'exploitation de l'énergie géothermique**

La géothermie est l'exploitation de l'énergie thermique contenue dans le sous-sol. La chaleur terrestre peut être captée par plusieurs procédés qui varient en fonction de la ressource exploitée, de sa température (T) et de sa profondeur (on parle de gradient géothermal : en France métropolitaine, il est de 3 à 4°C / 100 m).

Classiquement, on distingue 4 grandes catégories d'exploitation géothermique :

- La géothermie (verticale) haute énergie : Elle exploite la chaleur ($T > 150^{\circ}\text{C}$) émise par les réservoirs situés entre 4 000 et 5 000 m de profondeur pour produire de l'électricité. Ce procédé repose sur l'extraction de la vapeur d'eau contenue dans le sous-sol pour alimenter une turbine ;
- La géothermie (verticale) moyenne énergie et la géothermie (verticale) profonde : Elles exploitent la chaleur ($90 < T < 150^{\circ}\text{C}$) issue des réservoirs (sols ou eaux souterraines) disponibles à une profondeur variable comprise entre 1 500 et 4000 m (en fonction du contexte géologique). Quand la température :
 - Permet de capter la vapeur d'eau géothermale, cette dernière peut entraîner directement la turbine électrique ;
 - Est trop basse, il est nécessaire, de faire intervenir une machine thermodynamique utilisant un fluide de travail qui se vaporise à une température plus basse que l'eau.
- La géothermie (verticale) basse énergie : Elle exploite la chaleur ($30 < T < 90^{\circ}\text{C}$) de l'eau pompée dans des réservoirs disponibles à une profondeur variable comprise entre 1 000 et 2 000 m (en fonction du contexte géologique) pour produire de la chaleur ;
- La géothermie (verticale ou horizontale) très basse énergie exploite la chaleur ($< 30^{\circ}\text{C}$) émise par les réservoirs (sols ou aquifères) situés à moins de 100 à 200 m de profondeur pour produire de la chaleur (ou du froid en fonctionnement inversé). En l'absence d'eau souterraine, l'extraction de la chaleur du sous-sol s'effectue par l'installation dans le sol ou dans le sous-sol de « capteurs » ou « échangeurs » (réseau de tubes horizontaux ou sonde géothermale verticale) dans lesquels va circuler, en circuit fermé, un fluide caloporteur. La chaleur captée est alors transférée par le biais d'une pompe à chaleur au milieu à chauffer.

Schéma 9 : Géothermie très basse énergie

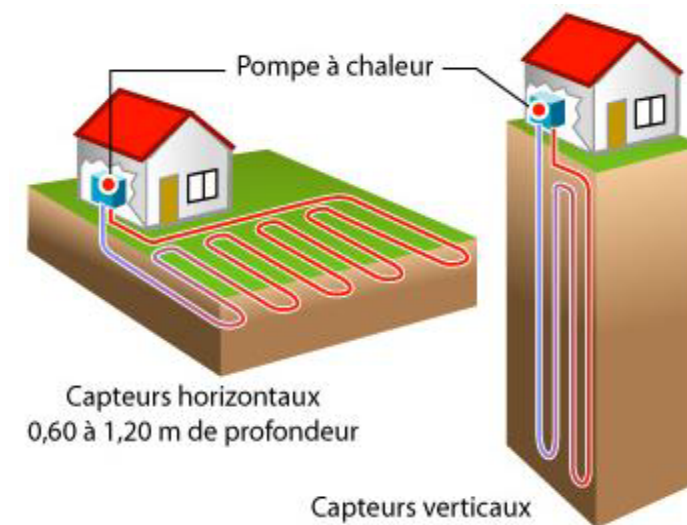
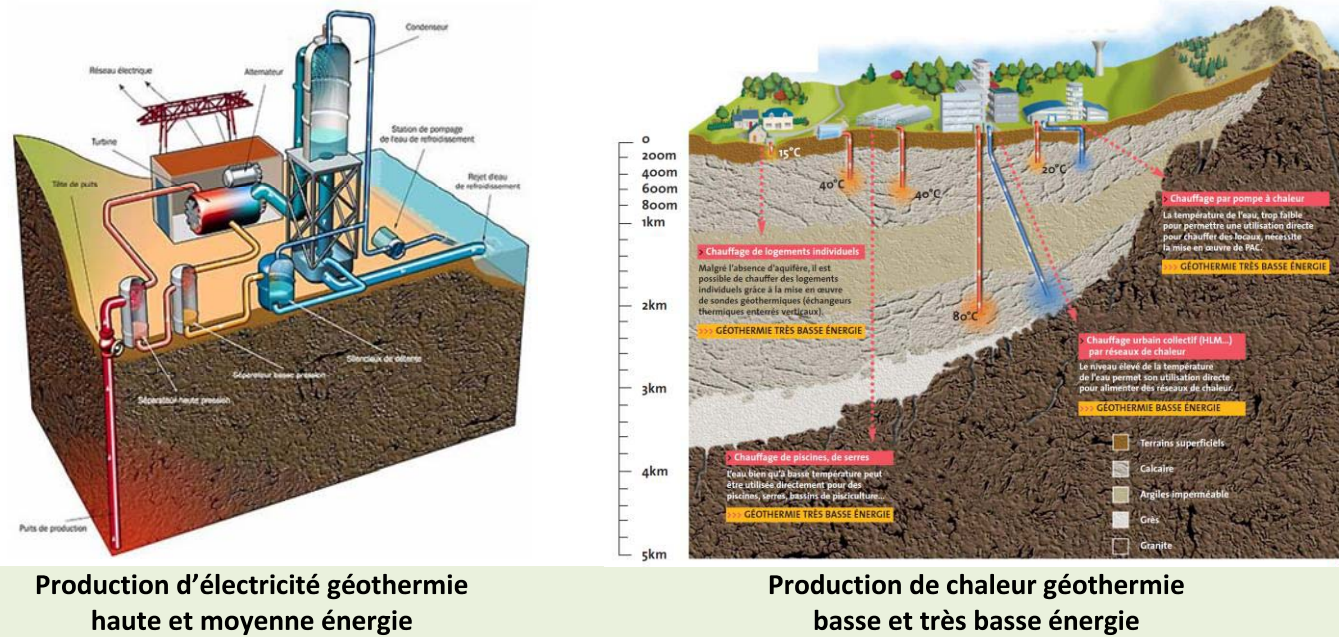


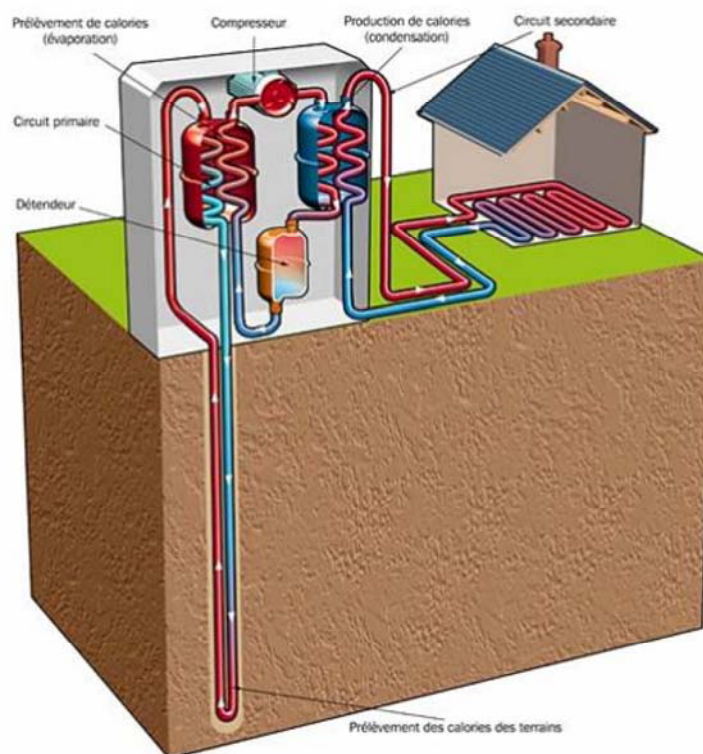
Schéma 10 : Principes d'exploitation de l'énergie géothermique (ADEME / BRGM)



En fonction de la température de la ressource et du niveau de température des besoins thermiques, la chaleur peut être prélevée directement ou doit être relevée au moyen de pompes à chaleur (PAC) dite Eau / Eau du fait que l'échange thermique est lieu entre 2 phases liquides. En pratique, le recours à des pompes à chaleur est habituel pour la géothermie très basse énergie et occasionnel pour la basse énergie.

Bien que ne relevant pas du domaine de la géothermie, 2 autres technologies dérivées peuvent être prises en compte car exploitables, elles aussi, via des PAC Eau / Eau. Il s'agit des procédés l'exploitation de la chaleur issue des eaux usées ou des eaux superficielles.

Schéma 11 : Principes de fonctionnement d'une pompe à chaleur Eau / Eau (ADEME / BRGM)

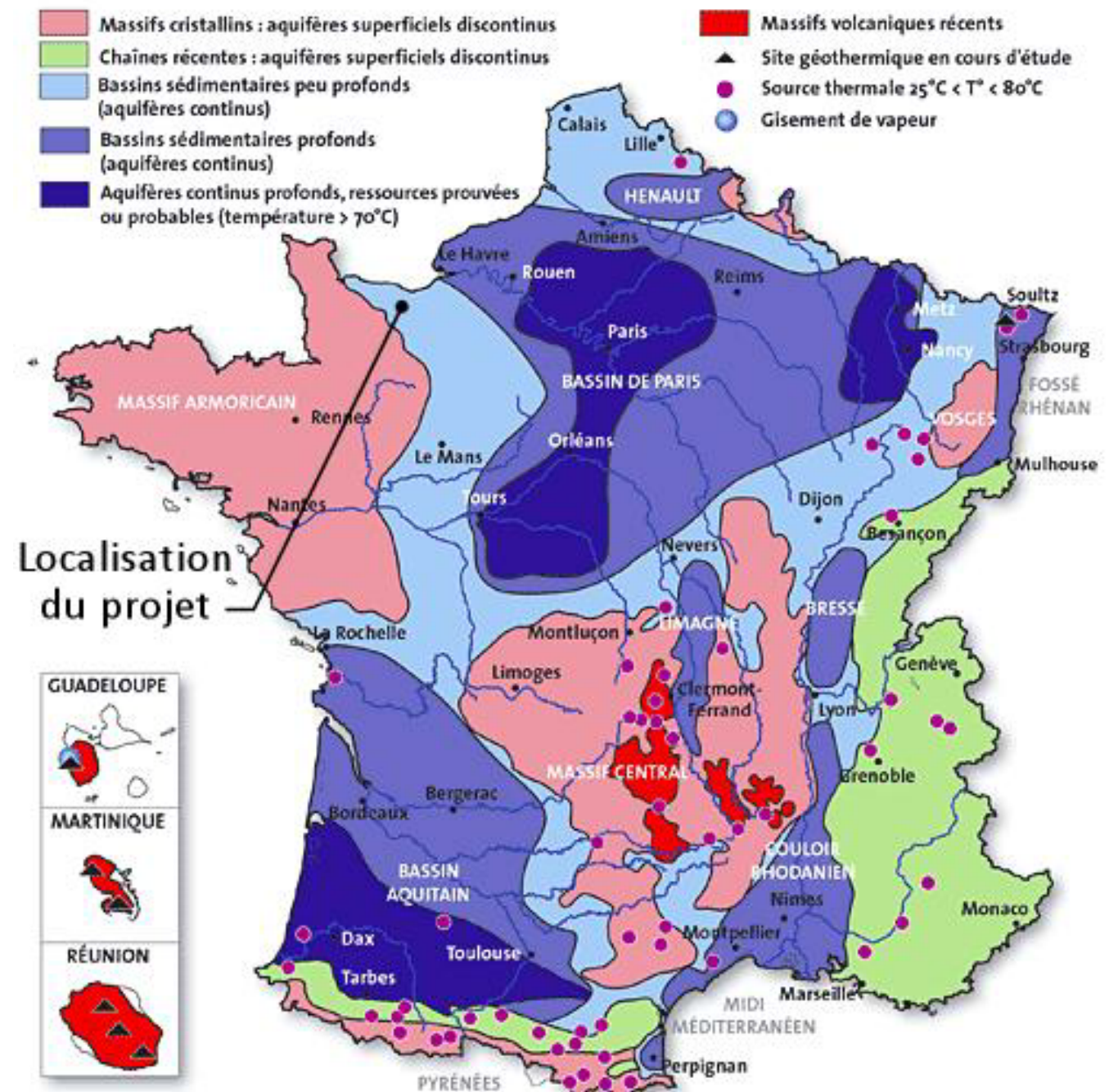


Définition du gisement local

De la même manière que précédemment, le gisement géothermique local est appréhendé en fonction du type de technologie développée. Cette approche repose sur l'exploitation des ressources du Ministère en charge de l'environnement et du BRGM :

- A l'échelle de la France, les gisements associés à la géothermie haute énergie, à la géothermie moyenne énergie ou à la géothermie profonde sont limités au Bassin parisien et aux régions Est et Sud-Ouest. Cette ressource n'est donc pas mobilisable pour le projet ;
- Selon les données du BRGM, le département du Calvados dispose d'un potentiel important vis-à-vis de la géothermie très basse énergie.

Schéma 12 : Aquifères jusqu'à 100 m de profondeur sur l'ex-région Basse-Normandie (Région Basse Normandie)

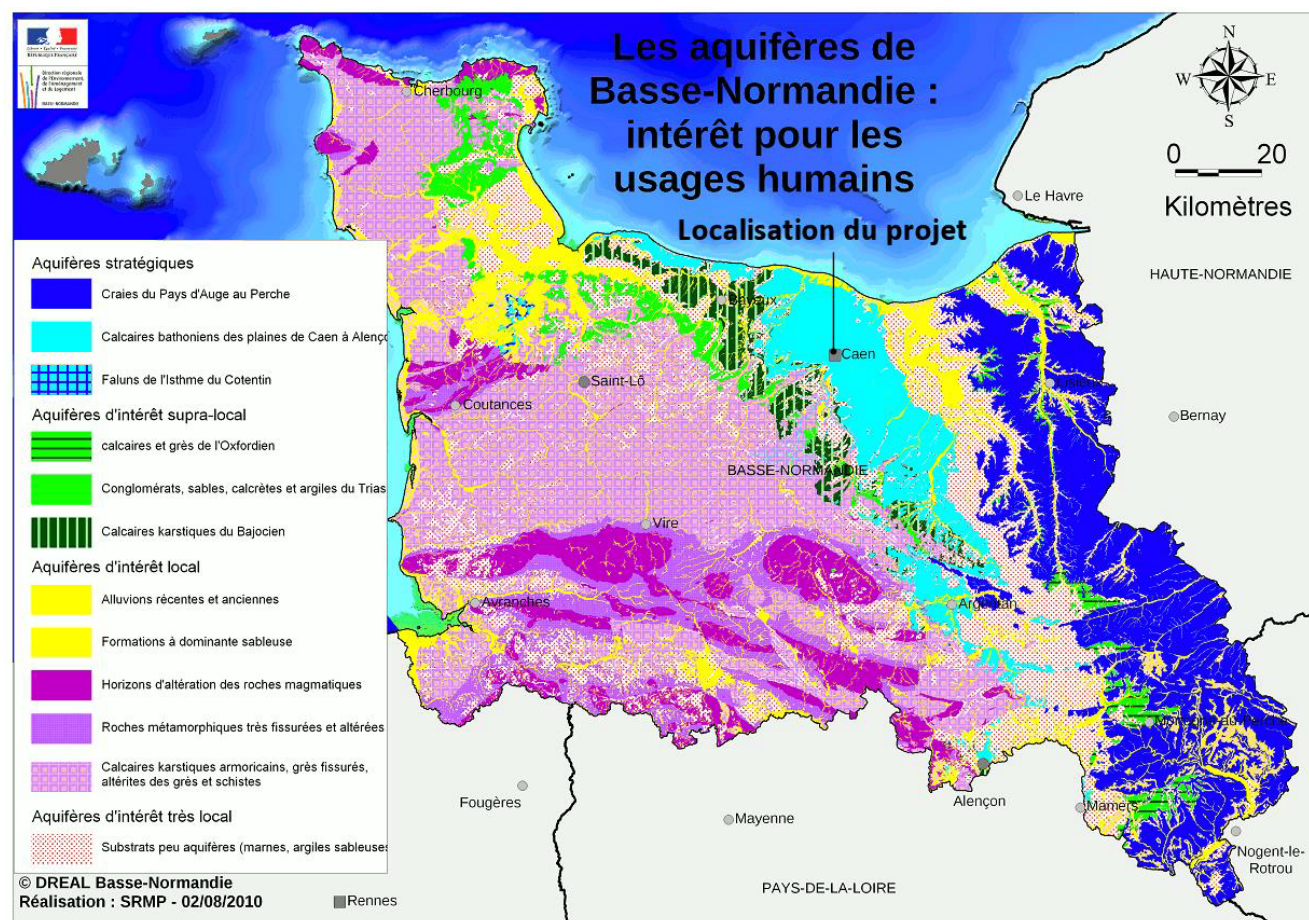


Gisement associé aux aquifères

Dans le département du Calvados, tout comme en France, l'énergie contenue dans le sous-sol, que ce soit les nappes alluviales, les aquifères peu profonds ou les aquifères profonds, voire l'énergie des terrains eux-mêmes peut être exploitée dans des conditions intéressantes.

A ce sujet, la Région a réalisé en 2011 une étude sur le potentiel de développement de l'énergie géothermique en Basse-Normandie. La quantification des ressources disponibles réalisée dans le cadre de cette étude s'appuie sur une analyse des aquifères disponibles inférieurs à 100 m de profondeur.

Schéma 13 : Aquifères jusqu'à 100 m de profondeur sur l'ex-région Basse-Normandie (Région Basse Normandie)



L'aquifère de la craie qui s'étend sur la partie Est du département (Pays d'Auge) constitue le gisement géothermique le plus important du département.

Dans une moindre mesure l'aquifère des calcaires bathoniens qui s'étend à travers les plaines céréalières reliant Caen à Alençon est lui moins puissant et moins productif.

Les nappes d'eau souterraine sont globalement abondantes sur la région caennaise, et peu profondes mais à une température relativement basse (11 à 13°). Ces températures évoluent très peu entre l'hiver et l'été.

Sur le territoire de la Communauté Urbaine, une étude a été réalisée par ANTEA GROUP dans le but de déterminer le gisement potentiel en géothermie sur nappe et sur sonde.

Les résultats de cette étude révèlent que le projet se situe dans une zone présentant un faible potentiel sur nappe. Dans cette zone, le débit maximum exploitable sur nappe est de l'ordre de 50 m³/h, représentant une puissance calorifique de 400 kW et une capacité de production annuelle de l'ordre de 1,6 GWh.

En ce qui concerne le potentiel géothermique sur sonde verticale, la puissance calorifique estimée est de l'ordre de 3 kW pour 100 mètres linéaires de sonde, soit un potentiel 100 fois inférieur à celui sur nappe.

Schéma 14 : Potentiel géothermique sur nappe (source : Schéma Directeur de l'Energie)

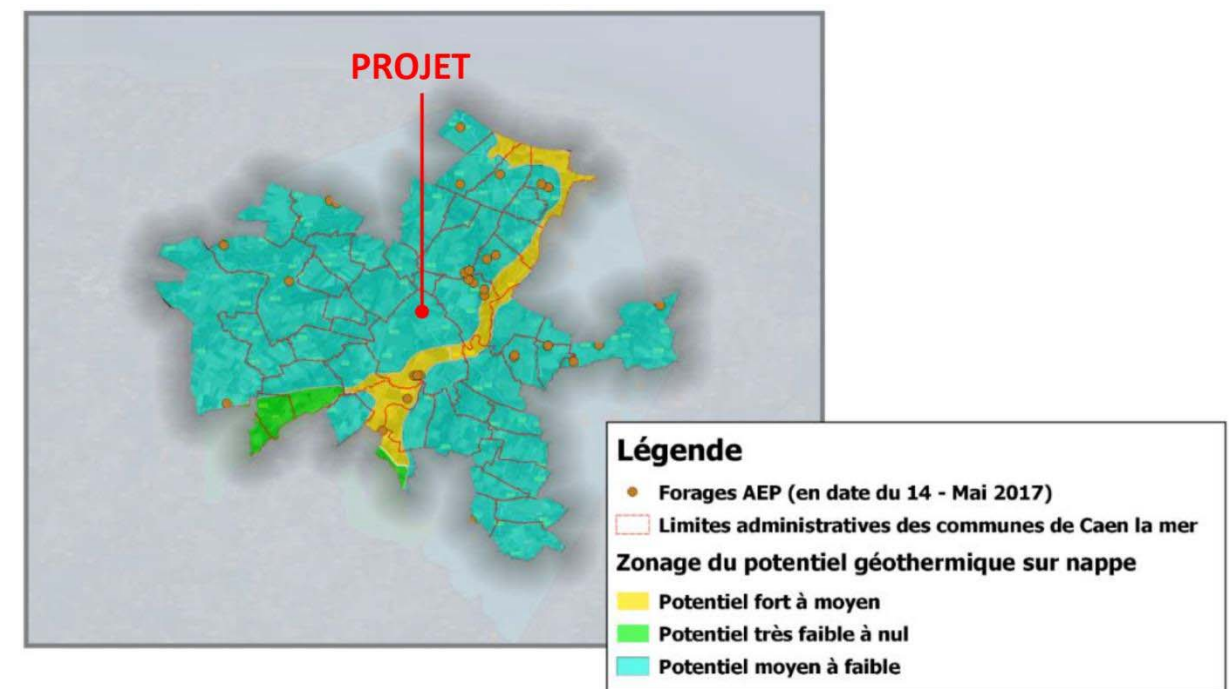
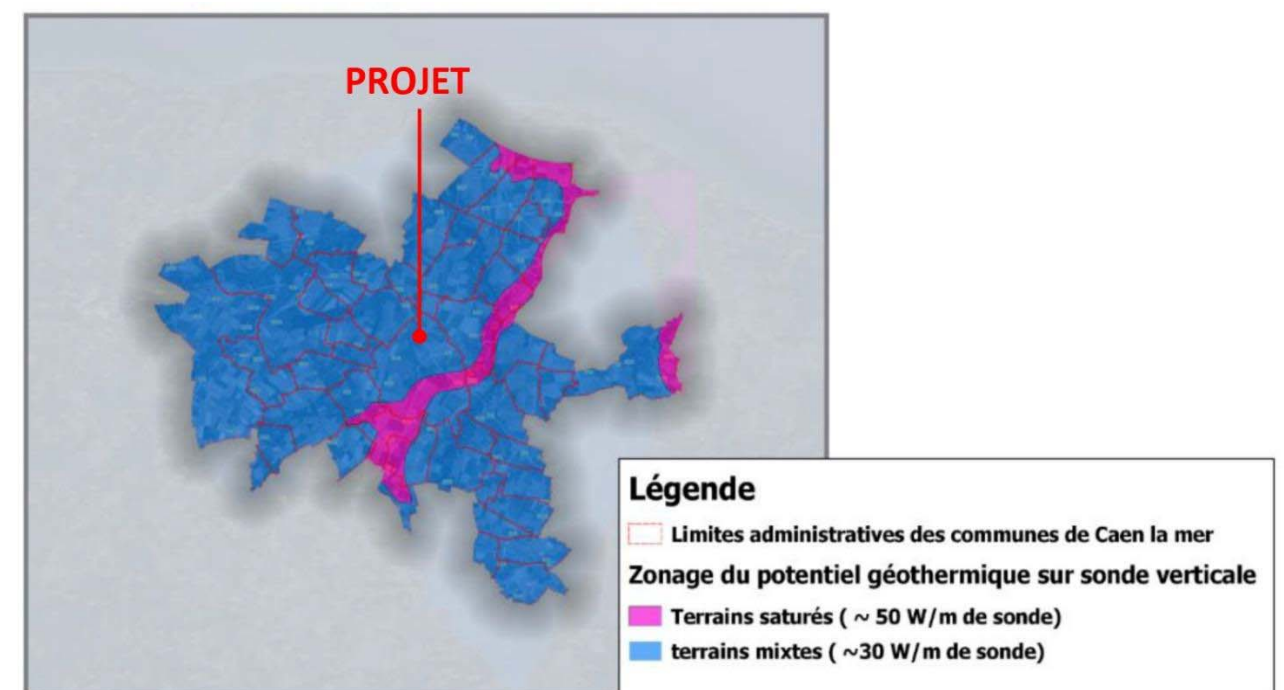


Schéma 15 : Potentiel géothermique sur sonde verticale (source : Schéma Directeur de l'Energie)



Gisement associé à la géothermie horizontale

En ce qui concerne les opportunités de développement de la géothermie horizontale, bien que la ressource soit disponible les contraintes de mise en œuvre sont trop importantes dans un contexte urbain dense pour pouvoir être développées.

Cette technique repose en effet sur le développement d'un réseau de capteurs horizontaux à faible profondeur sur une surface conséquente (superficie 2 fois supérieure à la surface du bâtiment à chauffer) pour extraire la chaleur du sol superficiel.

Compte tenu de la densité du bâti projeté au droit du présent projet de ZAC, cette solution n'apparaît pas appropriée.

Schéma 16 : Principe de la géothermie horizontale



Gisement associé aux réseaux d'eaux usées

Concernant les procédés dérivés basés sur l'exploitation d'une PAC Eau / Eau et en l'absence de cours d'eau à proximité du projet, seule l'exploitation de la chaleur issue du réseau d'eaux usées pourrait être envisagée.

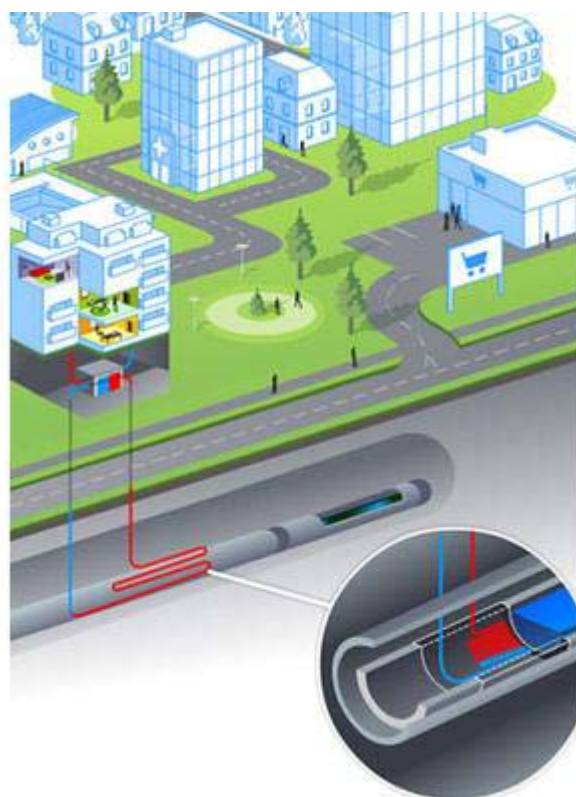
A ce propos, de rares retours d'expérience font état d'installations qui peuvent être déployées sur des canalisations de diamètre de 400 mm sur des nouveaux projets d'urbanisation (réseau spécialement conçu pour exploiter au mieux la ressource) et de diamètre supérieur ou égal à 800 mm sur des réseaux existants.

Outre le diamètre, il est considéré que ce type de solution énergétique doit disposer à minima d'un bassin versant de 8 000 habitants (soit 12 L/s d'effluents en moyenne) et une distance entre l'échangeur thermique et les locaux à chauffer de 300 m maximum pour éviter les pertes d'énergie.

Dans le cas présent, le projet se situe en tête de bassin versant des principaux collecteurs d'eaux usées et le diamètre des réseaux d'eaux usées existants est inférieur ou égal à 300 mm.

Au regard de la configuration du réseau d'eaux usées existant et de la densité de population envisagée à terme sur ce secteur, le gisement ne semble pas suffisant pour permettre le développement de ce type de dispositif.

Schéma 17 : Principe de la récupération de chaleur sur réseau d'eaux usées



Opportunités de développement de la géothermie dans le projet de ZAC

Comme nous l'avons vu précédemment, en tenant compte du gisement local et de différents facteurs environnementaux propres au site d'implantation de la ZAC, le potentiel de développement identifié concerne principalement la géothermie très basse énergie.

A ce propos, sur le territoire de l'agglomération caennaise, les zones qui doivent être privilégiées pour le développement de la géothermie très basse énergie sont celles où le réseau de chaleur est peu susceptible de se développer et réunissant des projets de constructions neuves (exemple : la presqu'île). En effet, ce type d'énergie nécessitant des dispositifs thermiques particuliers dans les bâtiments équipés, il ne peut être appliqué en appoint à un autre dispositif tel que le réseau de chaleur par exemple.

Outre ce contexte, il convient également de tenir compte du bilan avantages / inconvénients associé au développement de cette filière qui est détaillé dans le tableau suivant.

Tableau 10 : Bilan associé au développement de la géothermie

Energie	Avantages	Inconvénients	Approche économique
Géothermie	<ul style="list-style-type: none"> Ressource gratuite et constante Aquifère de la nappe facilement mobilisable Utilisation mixte production de chaleur ou de froid (rafraîchissement des bâtiments en été) Faible impact paysager 	<ul style="list-style-type: none"> Risques de pollution des milieux Risque de pollution thermique Emprise potentiellement importante en fonction du procédé développé (cas de la géothermie horizontale) et contraintes d'occupation des sols 	<ul style="list-style-type: none"> Investissement élevé compte tenu de la faible disponibilité de la ressource Retour sur investissement variable en fonction de la capacité de production et des besoins

Aussi, les opportunités de développement de la géothermie très basse énergie dans le cadre du développement du projet de ZAC sur le secteur « Mont Coco – Côte de Nacre » existent mais elles restent trop faibles compte tenu du déploiement du réseau de chaleur à venir dans ce secteur (cf. partie 2.4.2.9).

2.4.2.4 Exploitation de l'aérothermie

Principes d'exploitation de l'énergie aérothermique

L'aérothermie est l'exploitation de l'énergie thermique contenue dans l'air. Elle rassemble 2 procédés principaux :

- Le puits canadien : ce procédé consiste à faire passer, avant qu'il ne pénètre dans le bâtiment, une partie de l'air neuf de renouvellement par des tuyaux enterrés dans le sol, à une profondeur de l'ordre de 1 à 2 mètres. En hiver, le sol à cette profondeur est plus chaud que la température extérieure. L'air froid est alors préchauffé lors de son passage dans ce circuit sous terrain. En été, de la même manière, l'air passant dans les tubes enterrés récupère la fraîcheur du sol et l'introduit dans la maison, même par +30°C extérieur, l'air peut arriver entre 15 et 20°C.
- La pompe à chaleur :
 - Air / air : Cette technologie met généralement en œuvre des pompes à chaleur réversibles qui permettent un échange thermique entre l'air extérieur et l'air intérieur et assurent ainsi les besoins en chauffage (l'hiver) ou en rafraîchissement (l'été).
 - Air / eau : Cette technologie met en œuvre des pompes à chaleur qui prélèvent les calories contenues dans l'air extérieur pour les transmettre à un fluide caloporteur permettant le chauffage des bâtiments. Elle trouve notamment son application dans le développement des planchers chauffants.
- Le niveau de performance énergétique de ces pompes à chaleur varie de manière importante avec la température extérieure et peut poser quelques difficultés en période de grand froid. Il est recommandé de choisir des machines présentant un coefficient de performance minimum de 3,5 sur l'énergie finale et répondant à la marque NF PAC.

Schéma 18 : Principes d'exploitation de l'énergie aérothermique

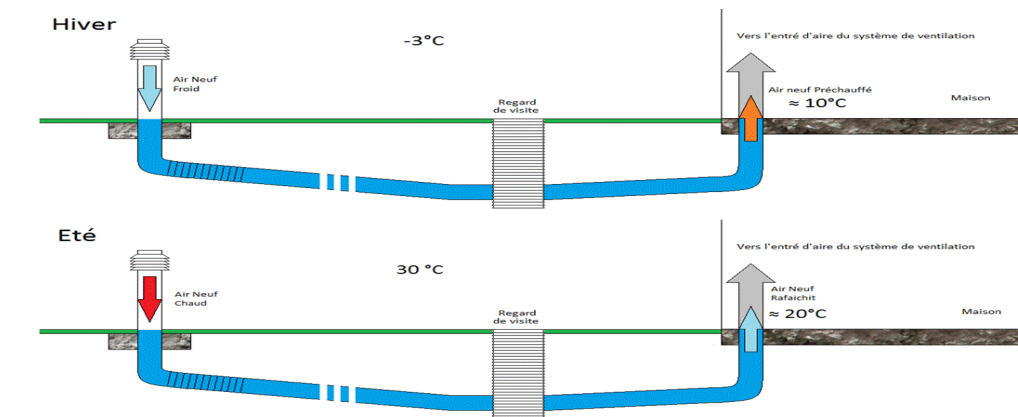


Schéma de principe de fonctionnement du puits canadien

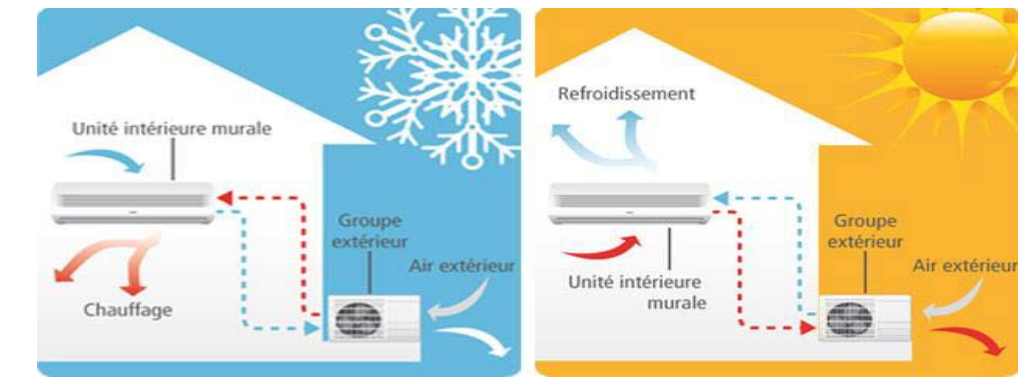


Schéma de principe de fonctionnement d'une PAC Air/Air

Définition du gisement local

Les techniques liées à l'aérothermie sont basées sur l'exploitation de l'air atmosphérique. De ce fait, elles sont mobilisables au niveau du secteur d'étude.

Potentiel de développement de l'énergie aérothermique au niveau du secteur d'étude et à l'échelle du projet

Au-delà de la notion de gisement, il convient de noter que le fonctionnement des pompes à chaleur aérothermales est optimal dans les zones tempérées, lorsque l'écart de température entre l'air exploité et l'air intérieur à chauffer ou à rafraîchir est le plus faible possible.

Compte tenu des caractéristiques météorologiques locales (amplitude thermique d'environ 13°C variant entre 5°C et 18°C et correspondant, en moyenne à 11°C), le secteur d'implantation du projet est donc propice au développement de l'aérothermie. Malgré tout, en hiver ce système pourra nécessiter une ressource d'appoint afin de garantir le chauffage des bâtiments.

Enfin, on précisera que le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur doit être au minimum de 3.5, pour que le système apporte une diminution réelle de consommation en énergie primaire. Par ailleurs, la pompe à chaleur doit faire l'objet d'une maintenance régulière.

Opportunités de développement de l'aérothermie dans le projet de ZAC

Comme nous l'avons vu précédemment, en tenant compte du contexte local, il est possible d'envisager le développement des techniques basées sur l'aérothermie dans le cadre de la réalisation de la ZAC. Le bilan avantages / inconvénients associé au développement de cette filière est détaillé dans le tableau suivant.

Tableau 11 : Bilan associé au développement de l'aérothermie

Energie	Avantages	Inconvénients	Approche économique
Aérothermie	<ul style="list-style-type: none">Ressource gratuiteUtilisation mixte production de chaleur ou de froid (rafraîchissement des bâtiments en été)Faible impact paysager	<ul style="list-style-type: none">Nuisance sonore potentielle liée au fonctionnement des PACRisques de pollution en fonction du fluide caloporteur présent dans les PAC Air/EauSurface de terrain importante pour le développement d'un puits canadienCapacité de production assez faible	<ul style="list-style-type: none">Investissement faible

Tableau 12 : Opportunités de développement de l'aérothermie

Energie	Applications envisageables sur site	Principe de fonctionnement	Illustration
Aérothermie	Puits canadien PAC Air/Air PAC Air/Eau	Ces différents procédés, dont le choix dépendra des besoins propres à chaque construction, reposent sur le pompage de l'air extérieur en vue de permettre le chauffage ou le refroidissement (hors PAC Air/Eau) des bâtiments par échanges thermiques. Ils fonctionnent généralement couplés à une énergie d'appoint. Ces procédés constituent une solution indépendante à l'échelle de chaque construction du projet pour répondre en partie à leurs besoins spécifiques.	

2.4.2.5 Exploitation des énergies marines mécaniques

Principes d'exploitation des énergies marines mécaniques

Les énergies marines mécaniques désignent l'ensemble des technologies qui permettent de produire de l'énergie, notamment de l'électricité, à partir des propriétés du milieu marin. On distingue :

- L'énergie marémotrice :
Elle consiste à profiter du flux et du reflux de la marée pour alternativement remplir ou vider un bassin de retenue en actionnant des turbines incorporées dans le barrage, qui entraînent un générateur d'électricité.
- L'énergie hydrolienne :
Elle est produite par l'énergie des courants de marée qui sont concentrés dans certains endroits près des côtes. On peut comparer une installation hydrolienne à une éolienne sous-marine. Plus le courant est fort, plus l'énergie produite sera importante.
- L'énergie houlomotrice :
Produite par le mouvement des vagues, la houle, l'énergie houlomotrice est une forme concentrée de l'énergie du vent. Quand le vent souffle sur la mer, des vagues se forment et concentrent cette énergie. La houle peut voyager sur de très longues distances et apporter sur une côte de l'énergie collectée au large. Il existe plusieurs technologies permettant d'exploiter cette ressource.

Définition du gisement local

Compte tenu du contexte d'implantation du projet et de sa situation géographique, la mobilisation des énergies marines pour répondre aux besoins énergétiques de l'opération n'est pas envisagée.

Potentiel de développement des énergies marines mécaniques au niveau du secteur d'étude et à l'échelle du projet

Nul

Opportunités de développement des énergies marines mécaniques dans le projet de ZAC

Nulles

2.4.2.6 Exploitation de l'énergie hydraulique

Principes d'exploitation de l'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique repose sur la transformation de la force motrice des cours d'eau ou des chutes en électricité.

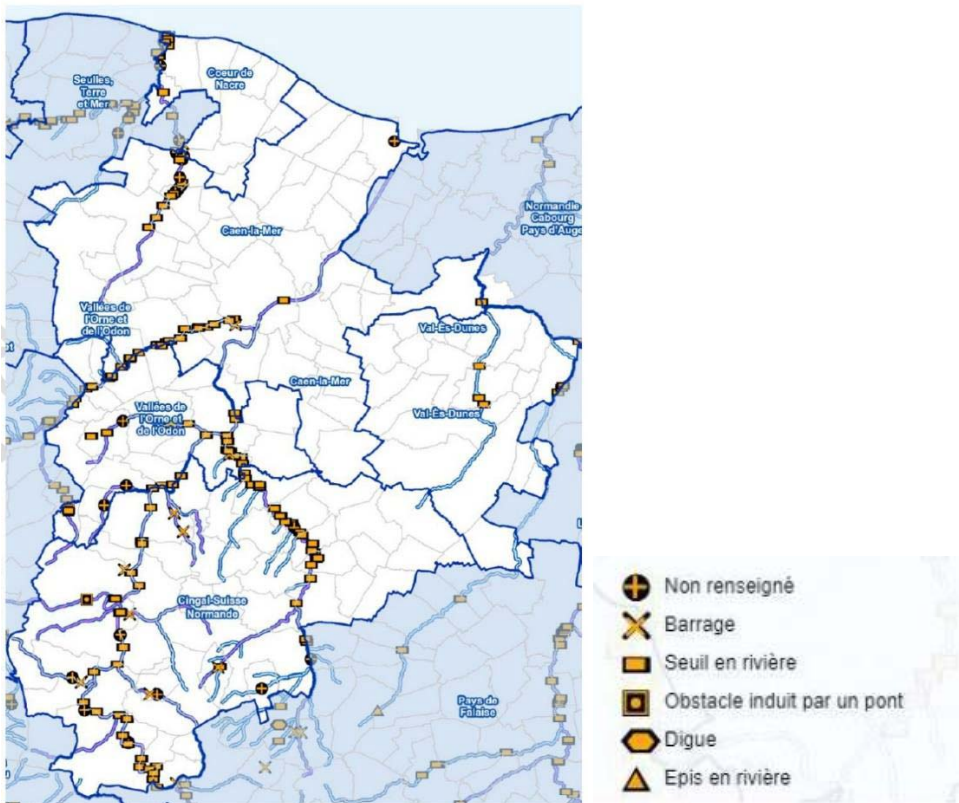
On distingue les installations hydroélectriques « au fil de l'eau », qui font passer dans une turbine tout ou partie du débit d'un cours d'eau en continu, et celles nécessitant des réserves d'eau (« par éclusées » ou « de lac ») : les deux types d'installations nécessitent des barrages, qui sont bien plus importants pour la 2^{ème} catégorie (« grands barrages »).

L'exploitation de cette énergie s'illustre principalement par les grandes installations hydroélectriques au potentiel de production important, mais peut également se décliner sous une forme plus réduite, on parle alors de petit hydraulique.

Définition du gisement local (extrait du diagnostic du PCAET)

Le territoire du pôle métropolitain Caen Normandie Métropole, compte de nombreuses vallées notamment la partie sud-ouest du territoire (Orne, Laize, Odon). Si auparavant l'énergie hydraulique était davantage exploitée qu'aujourd'hui cela se justifie, entre autres, par l'entrée en conflit de ces installations avec d'autres enjeux, de préservation de la qualité écologique et du libre écoulement des cours d'eau.

Schéma 19 : Obstacles à l'écoulement des eaux sur le territoire du pôle métropolitain Caen Normandie Métropole



Aucune installation hydroélectrique n'a été recensée sur le territoire du Pôle métropolitain Caen Normandie Métropole.

Potentiel de développement de l'énergie hydraulique au niveau du secteur d'étude et à l'échelle du projet

Compte tenu du contexte d'implantation du projet et de sa situation géographique, le potentiel de développement de l'énergie hydraulique est nul.

Opportunités de développement de l'énergie hydraulique dans le projet de ZAC

Nulles

2.4.2.7 Exploitation de la biomasse

Principes d'exploitation de la biomasse

Dans le domaine de l'énergie, et plus particulièrement des énergies renouvelables, le terme de biomasse désigne l'ensemble des matières organiques d'origine végétale, animale ou fongique pouvant devenir source d'énergie par combustion (bois, paille, déchets, etc.), après méthanisation (biogaz) ou après toute autre transformation chimique naturelle ou industrielle.

L'exploitation de la ressource biomasse trouve 2 domaines d'application distincts :

- Toutes ces ressources peuvent faire l'objet d'une exploitation industrielle dans le cadre d'une activité de production et de fourniture d'énergie (électricité ou chaleur). Compte tenu de la vocation du projet, cette première catégorie d'activités ne sera pas retenue dans la suite de cette analyse. En effet, le projet n'a pas vocation à accueillir une unité industrielle de production énergétique.
- Certaines de ces ressources peuvent être mobilisées pour répondre aux besoins énergétiques des projets d'aménagement quels qu'ils soient à partir du moment où la capacité de production est compatible avec les besoins spécifiques des activités ou des bâtiments qui y sont développés (principe d'autoconsommation). Les ressources qui répondent le mieux à ce domaine d'application sont principalement issues de la filière bois énergie et éventuellement de la valorisation énergétique des déchets agricoles.

Compte tenu de la vocation du projet, seul le second domaine d'application va être approfondi dans la suite de cette étude. À ce titre, on précisera que le développement éventuel des filières d'exploitation de la biomasse répondrait avant tout aux besoins en chaleur (combustion dans une chaudière individuelle ou collective) et en fonction du dimensionnement des installations aux besoins en électricité (cogénération).

Schéma 20 : Comparaison de l'échelle des installations liées à l'exploitation de la biomasse en fonction du domaine d'application ciblé : Exemple du bois énergie

Exploitation industrielle dans le cadre d'une activité de production et de fourniture d'énergie (électricité ou chaleur)



Puissance chaufferie : 10,2 MW
Consommation bois : 13 700 tonnes/an
Production de chaleur : 38,6 GWh/an
Capacité de stockage : Silo de 300 tonnes (72h d'autonomie)
Mise en service : octobre 2016
Quartier desservi : La Grâce de Dieu (3 500 logements + une trentaine d'équipements tertiaires publics)

Exemple - Chaufferie bois du Quartier de la Grâce de Dieu

Exploitation dans le cadre d'une autoconsommation



Puissance chaudière : 750 kW
Consommation bois : 915 tonnes/an
Production de chaleur : 3,27 GWh/an
Mise en service : octobre 2014
Bâtiment desservi : Lycée Hôtelier de Ifs

Exemple – Chaudière Bois du Lycée Hôtelier de Ifs

Définition du gisement local

Le département du Calvados présente taux de boisement relativement faible puisqu'il atteint environ 8 % contre un taux à 30 % à l'échelle nationale (source : Inventaire Forestier National).

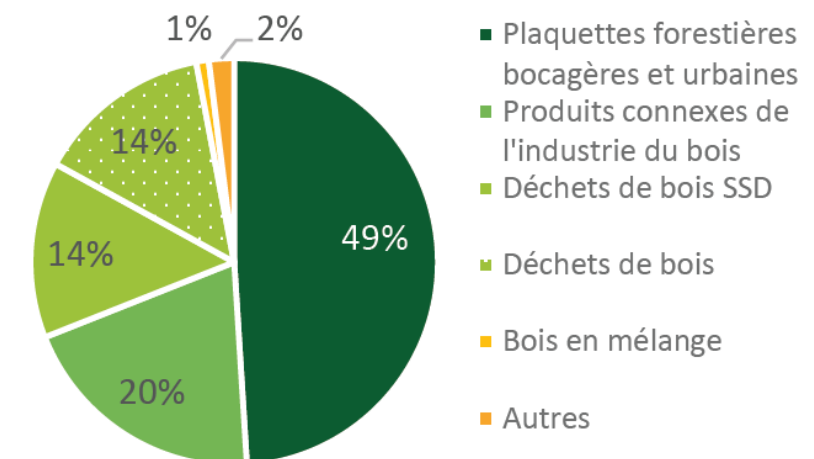
Bien que sous-développée par rapport à son potentiel théorique, la ressource en bois à partir des haies du bocage normand représente également un gisement très intéressant pour le territoire du pôle métropolitain. D'après une étude sur le potentiel en énergies renouvelables de Caen Métropole réalisée en 2011, la capacité de production en bois énergie à partir des haies du bocage serait presque similaire à la capacité de production des massifs forestiers.

Ainsi, selon le MOS (Mode d'Occupation des Sols) de 2016, le territoire de Caen-Métropole comptabiliserait près de 11 000 ha de surfaces boisées et environ 4 000 km de haies.

Enfin, en matière de ressource biomasse « combustible », d'autres solutions peuvent se substituer au bois puisqu'un important gisement existe également dans la filière des résidus agricoles qui peuvent être valorisés comme combustibles de chaudière : les céréales, le tourteau de colza, la paille de blé et de maïs, les anas de lin, etc.

Si en complément de cette ressource biomasse « naturelles » (bois, haies, cultures), il est ajouté à cela le gisement issu de l'industrie du bois ainsi que les divers déchets de bois (SSD ou non), il est possible de visualiser la tendance actuelle en matière d'exploitation de la ressource biomasse sur l'ensemble du territoire normand au travers du graphique suivant.

Graphique 2 : Répartition de la ressource Biomasse combustible consommée en 2019 (BIOMASSE NORMANDIE)



Pour aller au-delà de cette répartition actuelle de la ressource, selon les éléments fournis dans le diagnostic du PCAET du pôle métropolitain, reprises également dans le Schéma Directeur de l'Energie de la Communauté Urbaine, les capacités de production en bois à horizon 2035 serait les suivantes pour l'ex-région Basse-Normandie :

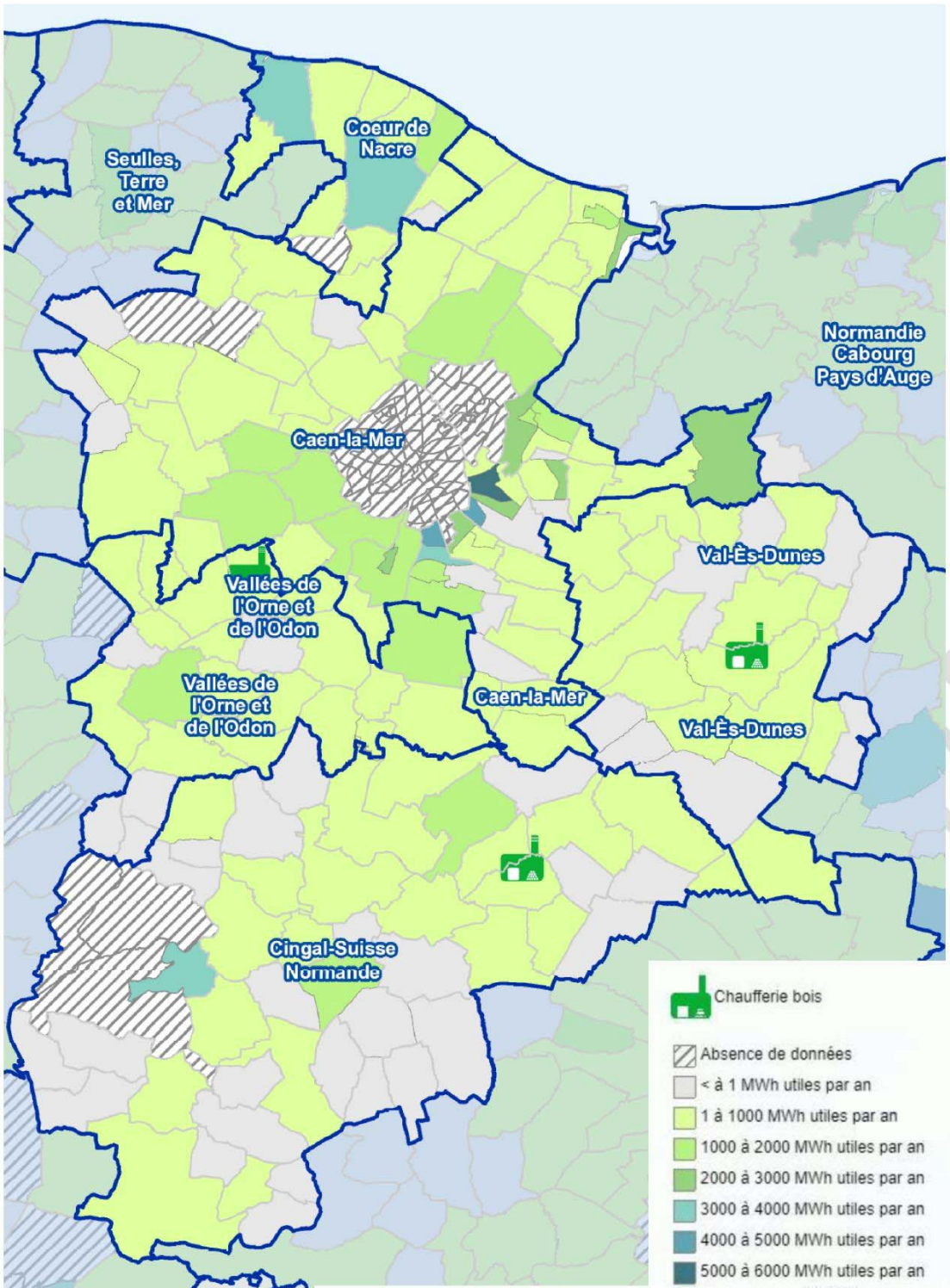
- Production de BIBE (Bois d'industrie – bois énergie) : 1 071 000 à 1 204 000 m³/an
- Production de connexes de scieries du BO (bois d'œuvre) : 910 000 à 1 000 000 m³/an
- Production de MB (menus bois) : 117 000 à 139 000 m³/an

Ces capacités de productions estimées pour l'ex-région Basse-Normandie n'ayant pas vocation à alimenter exclusivement le territoire de Caen-la-Mer, au prorata de la surface du pôle métropolitain cela revient à considérer un productible total compris entre 15 et 16,8 GWh/an.

Le gisement de la ressource en biomasse « combustible » est donc potentiellement important sur le territoire mais pour être pleinement exploité il implique toutefois une meilleure structuration de la filière en amont dans les domaines relatifs à l'exploitation et à l'approvisionnement pour permettre un développement des dispositifs de chauffage à la hauteur des ambitions théoriques. Cette structuration de la filière bois qui a pour but d'améliorer la dynamique à l'échelle supra-communale, dépasse le cadre du présent projet de ZAC.

Le schéma suivant permet de visualiser à une échelle communale, le potentiel énergétique à partir de la ressource en bois du territoire.

Schéma 21 : Répartition de la ressource potentielle en bois-énergie exprimée en énergie thermique annuelle (Mode d'Occupation des Sols de 2016)



Potentiel de développement de l'énergie produite à partir de la biomasse au niveau du secteur d'étude et à l'échelle du projet

Comme nous l'avons vu précédemment, dans le cadre du projet de création de la ZAC le développement éventuel des filières d'exploitation de la biomasse répondrait avant tout aux besoins en chaleur (combustion dans une chaudière individuelle ou collective) et en fonction du dimensionnement des installations aux besoins en électricité (cogénération).

Au-delà du gisement exploitable, compte tenu des caractéristiques et du mode de fonctionnement des installations permettant la valorisation énergétique de la biomasse, d'autres facteurs peuvent conditionner le développement de cette filière.

Il s'agit principalement :

- Des contraintes foncières associées à la réalisation d'une chaufferie : En effet, cette installation nécessite un minimum d'espace afin d'accueillir les équipements techniques dans un bâtiment spécifique (ou à l'intérieur d'un bâtiment d'activité), mais également le stockage des matières premières (bois sous forme de bûches, de granulés, plaquettes forestières ou déchets agricoles) ;
- Des sensibilités environnementales : En fonction du dimensionnement des installations, des sensibilités environnementales peuvent apparaître telles que l'insertion paysagère du local et des cheminées, les nuisances occasionnées par les fumées émises⁵ ou le trafic engendré par les opérations d'approvisionnement.

Ces paramètres dépendent principalement du dimensionnement des installations nécessaires pour répondre aux besoins énergétiques des activités qui seront développées au sein du projet. Plus les besoins seront élevés, plus ces contraintes seront potentiellement importantes.

Opportunités de développement de l'énergie produite à partir de la biomasse dans le projet de ZAC

Comme nous l'avons vu précédemment, au vu de son potentiel de développement à plus ou moins long terme qui reste essentiellement dépendant de la dynamique qui va être impulsée sur la filière de production/approvisionnement, il est possible d'envisager le développement de la biomasse avec en particulier la filière bois-énergie (la filière résidus agricoles nécessite une recherche locale plus détaillée).

Le bilan avantages / inconvénients associé à l'exploitation de la biomasse est détaillé dans le tableau suivant.


Tableau 13 : Bilan associé au développement de la production énergétique à partir de la biomasse

Energie	Avantages	Inconvénients	Approche économique
Biomasse	<ul style="list-style-type: none">• Ressource biomasse (notamment en bois) disponible dans la région• Valorisation possible en chaleur ou en chaleur et électricité• Installation évolutive	<ul style="list-style-type: none">• Insertion paysagère• Risques de pollution atmosphérique• Nuisances liées à l'approvisionnement et à la combustion• Emprise potentiellement importante en fonction des besoins énergétiques (contraintes de stockage)• Gestion des déchets de combustion	<ul style="list-style-type: none">• Investissement modéré• Aides dans le cadre du plan bois énergie (subventions)• Coûts d'entretien et de fonctionnement variables• Revente de l'électricité produite si développement d'une cogénération

⁵ En effet, malgré un bilan carbone globalement nul, une chaudière engendre des rejets atmosphériques qui peuvent avoir un impact local

Au regard de ces éléments, les opportunités de développement de la production énergétique à partir de la biomasse dans le cadre de la mise en œuvre du projet sont listées dans le tableau ci-après, en fonction des applications envisageables (liste non exhaustive).

Tableau 14 : Opportunités de développement de la production énergétique à partir de la biomasse au sein du projet

Energie	Applications envisageables sur site	Principe de fonctionnement	Illustration
Biomasse	Installation de combustion (potentiellement équipée d'une unité de cogénération)	<p>Ce procédé repose sur la combustion de la biomasse en vue de produire de la chaleur (et de l'électricité si la chaudière est équipée d'une unité de cogénération).</p> <p>Il peut fonctionner de manière autonome ou être couplé à d'autres combustibles pour sécuriser le fonctionnement de la chaudière.</p> <p>Deux stratégies pourraient être envisagées :</p> <ul style="list-style-type: none">• Une mutualisation des moyens permettrait de développer un réseau alimenté par une chaudière commune à l'échelle du projet ;• Un développement indépendant à l'échelle de chaque construction du projet pour répondre en partie à leurs besoins spécifiques.	 <p>© CRHN - Chaudière bois</p>

2.4.2.8 Exploitation de la chaleur fatale (ou énergies de récupération)

Principes d'exploitation de la chaleur fatale

Par chaleur fatale, on entend une production de chaleur dérivée d'un site de production, qui n'en constitue pas l'objet premier, et qui, de ce fait, n'est pas nécessairement récupérée.

Les sources de chaleur fatale sont très diversifiées. Il peut s'agir de sites de production d'énergie (les centrales nucléaires), de sites de production industrielle, de bâtiments tertiaires d'autant plus émetteurs de chaleur qu'ils en sont fortement consommateurs comme les hôpitaux, de réseaux de transport en lieu fermé, ou encore de sites d'élimination comme les unités d'incinération de déchets.

Les principes d'exploitation de la chaleur fatale reposent soit sur le développement d'une PAC permettant une réutilisation énergétique sur site, soit sur le développement d'un réseau de chaleur ou de froid. Lorsque la chaleur fatale représente un potentiel énergétique important (température > 80°C), il existe des technologies d'échangeurs de chaleur qui permettent la production d'électricité.

Définition du gisement local

Compte tenu du contexte d'implantation du projet et de sa situation géographique, les seuls gisements pouvant potentiellement être identifiés sont :

- Le site industriel de MURATA présentant sur le quartier ;
- L'arrivée éventuelle de data center (centres de données) dans le cadre de la réalisation de la ZAC.

Concernant le site MURATA, il convient de préciser que des démarches ont été engagées dans le cadre de l'élaboration du Schéma Directeur de l'Energie pour évaluer l'opportunité de récupération de l'énergie générée par le process industriel. Les échanges établis avec l'entreprise n'ont pas permis d'identifier une source de production d'énergie potentielle.

Les centres de données (data center) sont également une piste de réflexion puisque ces systèmes sont constitués d'équipements informatiques puissants, et consomment une grosse quantité d'énergie électrique, notamment pour être en permanence rafraîchis par des groupes de production de froid. La chaleur dégagée par les groupes froids, évacuée sous forme d'air chaud, peut être récupérée par des échangeurs thermiques et produire de l'eau chaude.

A ce stade, aucun data center n'est prévu dans le cadre de la programmation de la ZAC.

Potentiel de développement de l'énergie de récupération au niveau du secteur d'étude et à l'échelle du projet

En l'état des connaissances actuelles sur le process industriel de l'entreprise MURATA et sur les éléments de programmation de la ZAC, le potentiel de développement de l'énergie de récupération est jugé comme étant nul.

Opportunités de développement de l'énergie de récupération dans le cadre du projet de ZAC

Nulles

2.4.2.9 Développement d’un réseau de chaleur

Principes associés au développement d’un réseau de chaleur

Un réseau de chaleur est un système de distribution de chaleur produite de façon centralisée, permettant de desservir plusieurs usagers. Il comprend une ou plusieurs unités de production de chaleur, un réseau de distribution primaire dans lequel la chaleur est transportée par un fluide caloporteur, et un ensemble de sous-stations d’échange, à partir desquelles les bâtiments sont desservis par un réseau de distribution secondaire.

Définition du gisement local

Le territoire de la Communauté Urbaine de Caen la Mer compte 9 réseaux de chaleur en fonctionnement :

- Un réseau de chaleur public (**Réseau de chaleur urbain Caen Nord**) sur la commune d’Hérouville-Saint-Clair, alimenté par l’unité de valorisation énergétique (UVE) de Colombelles avec appoint au gaz ;
- Un réseau de chaleur public (**Réseau de chaleur urbain Caen Sud**) sur les quartiers de la Guérinière et de la Grâce de Dieu à Caen, alimenté par une chaufferie bois avec appoint au gaz ;
- **7 réseaux de chaleur privés** répartis sur plusieurs équipements et quartiers de Caen (CHU, Pierre-Heuzé, Chemin Vert, Université de Caen, Institut Lemonnier, Etablissement Public de Santé Mentale, CHR).

Les deux réseaux de chaleur urbains appartiennent à Caen La Mer et leur gestion a été déléguée à des exploitants via des délégations de service public (DSP).

Parmi ces réseaux de chaleur existants, le seul pouvant représenter une opportunité intéressante pour une extension au sein du projet de ZAC en raison principalement de sa distance d’éloignement et de la capacité de production, est le réseau public d’Hérouville-Saint-Clair. Il est à signaler d’ailleurs que dans le cadre du projet de reconstruction du CHU de Caen, le réseau de chaleur privé du CHU se raccorde au réseau de chaleur urbain Caen Nord (cf. pointillés oranges schéma ci-contre).

La chaufferie d’Hérouville-Saint-Clair qui alimente ce réseau, abrite une puissance de 58 MW de chaudières gaz d’appoint/secours (hors les 21 MW de l’échangeur qui récupère la chaleur fatale de l’UVE de Colombelles). Toutefois, cette chaufferie gaz ne peut mobiliser règlementairement que 43 MW soit une puissance totale disponible pour le réseau de 64 MW (en tenant compte des 21 MW de l’UVE). La récupération de chaleur fatale permet d’obtenir une mixité énergétique de 95% d’énergie renouvelable et de récupération (ENR&R). Le réseau est en haute pression (eau surchauffée).

La synthèse des caractéristiques de ce réseau de chaleur est présentée ci-dessous.

Tableau 15 : Caractéristiques du réseau de chaleur urbain Caen Nord

	RESEAU DE CHALEUR URBAIN CAEN NORD – HEROUVILLE-ST-CLAIR		
Production	UVE Colombelles	Chaufferie SEMMERET	
		Chaudière gaz	Chaudière Fioul
Puissance installée	21 MW	20 MW	23 MW
Surpuissance	34 %		
Taux d’EnR&R	95 % réel (89 % DSP)		
Distribution	Haute Pression		
Rendement réseau	80 %		
Sous-stations	103		
Chaleur livrée	87 GWh		
Equivalent logements	9 000		
Densité du réseau	5,4 MWh/ml		
Longueur du réseau	16 km (+3 km de raccordement prévu jusqu’au CHU)		

Schéma 22 : Localisation des réseaux de chaleurs existants sur le territoire de la Communauté Urbaine de Caen la Mer (source : Schéma Directeur de l’Energie)

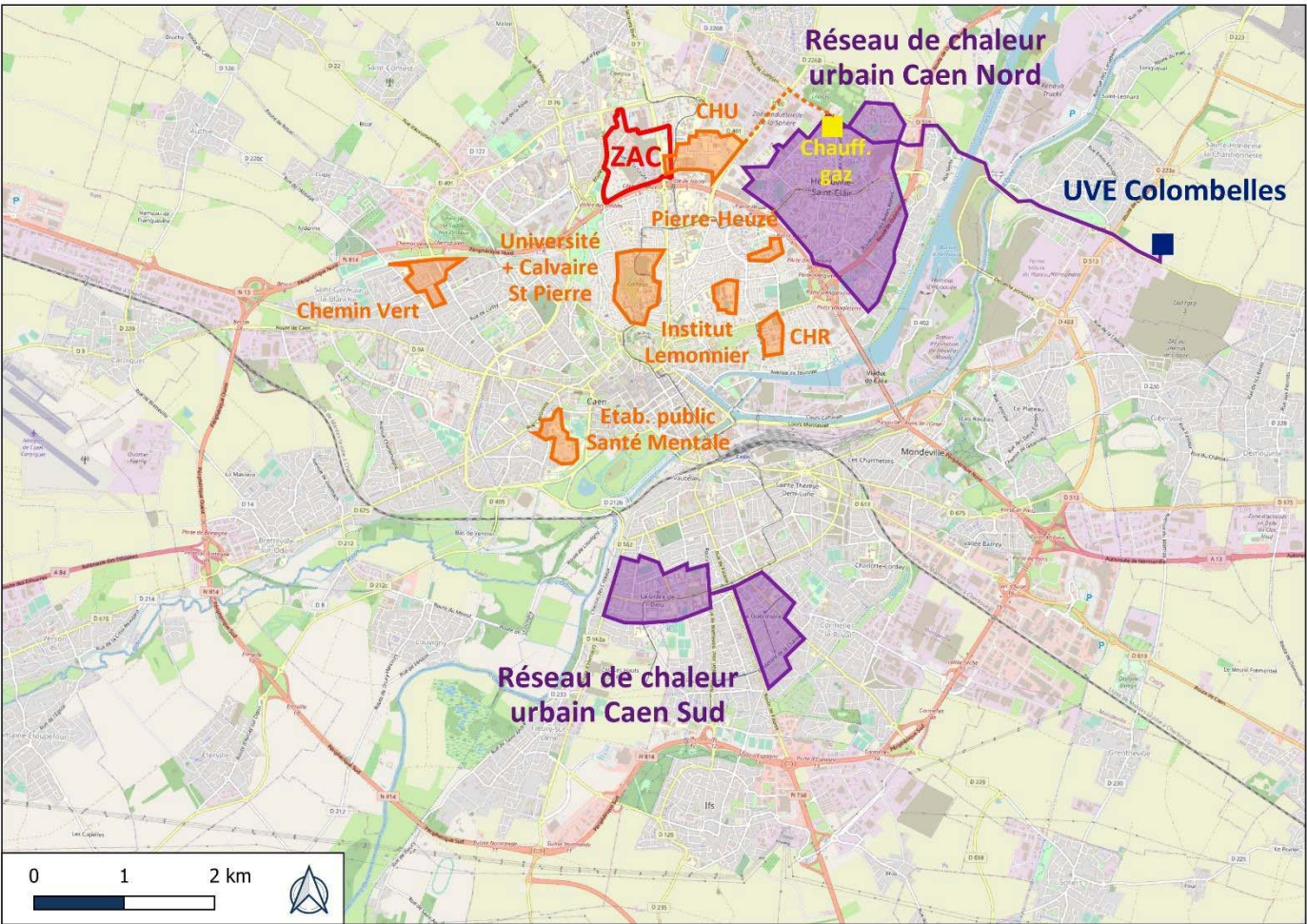


Schéma 23 : Cartographie du réseau de chaleur urbain Caen Nord (Source : Schéma Directeur de l’Energie)



Potentiel de développement d'un réseau de chaleur au niveau du secteur d'étude et à l'échelle du projet

La surpuissance qui est évoquée dans le tableau précédent correspond à la puissance disponible restante après fourniture de la chaleur aux abonnés (dans le cas d'une température extérieure très basse et d'un appel de puissance maximal sur le réseau). Avec un taux de surpuissance de 34 %, le système de production de chaleur du réseaux d'Hérouville-Saint-Clair dispose donc de suffisamment de puissance pour alimenter d'autres abonnés et envisager des extensions.

Il convient toutefois de signaler que ce taux de surpuissance ne tient pas compte du raccordement à venir du CHU de Caen qui va augmenter les besoins sur ce réseau. D'après l'étude d'impact du projet de reconstruction du CHU, les besoins énergétiques du CHU atteindraient 45 GWh pour un linéaire de réseau de chaleur à créer de 3 km, soit une densité du réseau de 15 MWh/ml. L'ajout du CHU sur le réseau de chaleur, permet ainsi faire passer la densité globale du réseau à environ 7 MWh/ml.

Cette densité est une donnée d'entrée essentielle dans l'étude d'opportunité car il est considéré qu'en dessous d'une densité thermique de 1,5 MWh/ml (limite basse de densité thermique), la viabilité économique du réseau est difficile à atteindre.

Au-delà du raccordement du réseau de chaleur au CHU , la Communauté Urbaine projette d'autres extensions à plus ou moins long terme. Pour se faire, elle a engagé la réalisation d'un Schéma Directeur des Réseaux de Chaleur dont l'objectif est d'amener à réaliser un exercice de projection sur le devenir de son réseau à l'horizon d'une dizaine d'années, en lien avec l'ensemble des acteurs locaux concernés – notamment les abonnés.

Le Schéma Directeur des Réseaux de Chaleur en cours d'élaboration, a pour but de proposer différents scénarios qui permettront in fine de décider d'une programmation de travaux à entreprendre. Cette vision prospective, partagée entre tous les acteurs locaux concernés par le réseau, permet ainsi de mieux coordonner les projets, de renforcer les liens entre énergie, aménagement et construction, de réduire le coût des évolutions du réseau par une meilleure planification.

A ce stade, plusieurs zones d'extensions sont envisagées pour le réseau de chaleur urbain Caen Nord comme en témoignent les deux schémas ci-contre extraits du schéma directeur des réseaux de chaleur. Le projet de ZAC sur le secteur « Mont Coco – Côte de Nacre » s'inscrit au cœur d'une des 3 zones étudiées, intitulée « Nord périphérique + HSC ».

Opportunités de développement d'un réseau de chaleur dans le cadre du projet de ZAC

Tableau 16 : Bilan associé au développement d'un réseau de chaleur

Energie	Avantages	Inconvénients	Approche économique
Réseau de chaleur	<ul style="list-style-type: none">Mutualisation de la production et donc réduction des GESDensité énergétique importantePuissance permettant d'intégrer la chaufferie dans un bâtiment (en sous-sol ou rez-de-chaussée)	<ul style="list-style-type: none">Tissu urbain existantLinéaire de conduite à créerFaible besoinPhasage à prendre en compteBesoin d'espace pour implanter une chaufferie dans un bâtiment dédié	<ul style="list-style-type: none">Mutualisation des investissements

Schéma 24 : Localisation des zones de développement du réseau de chaleur urbain Caen Nord (Source : Schéma Directeur des Réseaux de Chaleur)

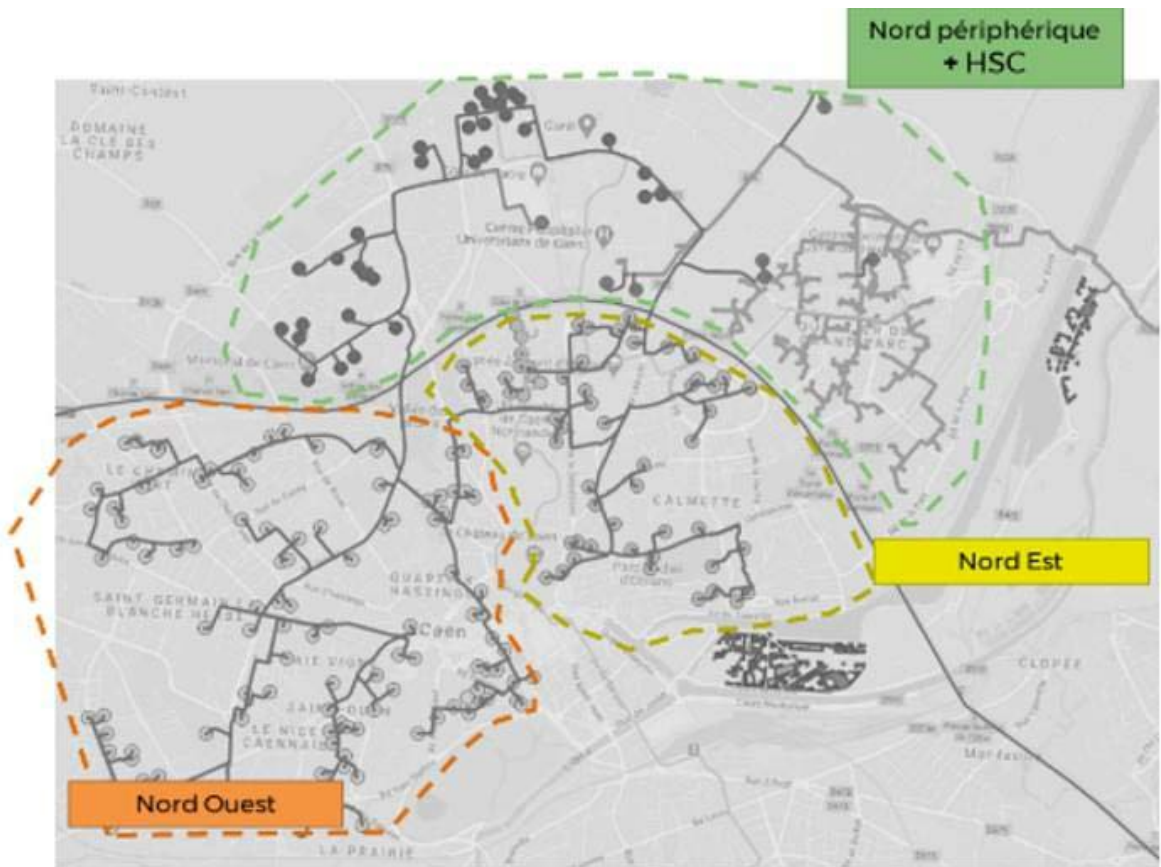


Schéma 25 : Tracé prévisionnel des extensions du réseau de chaleur urbain Caen Nord et des prospects à raccorder (Source : Schéma Directeur des Réseaux de Chaleur)



2.5 Synthèse des opportunités de développement des ENR&R

Au regard de l'analyse détaillée dans la partie précédente, les opportunités de développement des ENR&R au sein du projet de ZAC sur le secteur « Mont Coco – Côte de Nacre » concernent principalement :

- Le réseau de chaleur urbain ;
- L'énergie solaire thermique ;
- L'énergie solaire photovoltaïque ;
- L'aérothermie ;

Et dans une moindre mesure :

- Le petit éolien ;
- La géothermie très basse énergie ;
- La biomasse (bois énergie et déchets agricoles) ;

Ces filières, qui ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients, offrent des domaines d'application différents. Elles sont synthétisées dans le tableau inséré en page suivante.

Il convient de rappeler que les opportunités de développement d'un réseau chaleur concernent uniquement le réseau de chaleur urbain Caen Nord pour lequel des études sont menées en parallèle par la Communauté Urbaine pour déterminer les extensions possibles dans le cadre du Schéma Directeur des Réseaux de Chaleur.

D'un point de vue opérationnel, le développement de ces filières devra être adapté aux besoins énergétiques qui sont identifiés dans le cadre de la phase 2 de cette étude.

Ainsi, ces sources d'énergie pourront être mobilisées pour répondre à tout ou partie des besoins en chaleur, en froid ou en électricité des constructions qui s'implanteront au sein de la zone d'activités ; elles pourraient également profiter aux constructions existantes en périphérie de la ZAC.

Enfin, on précisera que leur mise en œuvre peut largement être optimisée en recherchant des solutions de mix énergétiques pouvant s'appuyer sur le développement des ENR&R en appoint d'une desserte par les réseaux classiques (électricité ou gaz) ou sur le développement d'un bouquet d'ENR&R compatibles et complémentaires.

Tableau 17 : Comparaison des filières énergétiques qui présentent une opportunité de développement dans le cadre de la réalisation du projet

Energie	Avantages	Inconvénients	Approche économique	Production	Echelle d'application	Pertinence pour le projet de ZAC sur le secteur « Mont Coco – Côte de Nacre »
Petite éolienne	<ul style="list-style-type: none"> Energie gratuite et sans dégagement de pollution atmosphérique 	<ul style="list-style-type: none"> Energie intermittente (dépendance au vent) et sensible aux éléments environnants en milieu urbain (obstacles à l'écoulement des vents) Contraintes paysagères et environnementales Nuisances pour le voisinage 	<ul style="list-style-type: none"> Investissement élevé Retour sur investissement faible 	Électricité injectée dans le réseau ou consommée sur site	Ilot de quartier	Solution technique envisageable en appoint au réseau électrique dans un but pédagogique sur le quartier (sans pertinence économique actuellement)
Panneau solaire thermique	<ul style="list-style-type: none"> Energie gratuite, sans contrainte d'approvisionnement et sans dégagement de pollution atmosphérique Capteurs solaires thermiques particulièrement adaptés à des besoins de chaleur importants et réguliers 	<ul style="list-style-type: none"> Caractère saisonnier de l'énergie produite Contraintes paysagères Rendement très influencé par l'orientation et l'inclinaison des panneaux, ainsi que par les phénomènes d'ombrage 	<ul style="list-style-type: none"> Technique éprouvée et performante tant du point de vue économique qu'environnemental Coûts d'entretien et de maintenance faibles 	Chaleur consommée sur site (ECS et chauffage)	Bâtiment	Solution technique envisageable sur ce projet à l'échelle des bâtiments
Panneau solaire photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> Energie gratuite et sans dégagement de pollution atmosphérique 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessite une solution d'appoint 	<ul style="list-style-type: none"> Revente de l'électricité produite (obligation de rachat par ENEDIS) Coûts d'entretien et de maintenance faibles 	Electricité injectée dans le réseau ou consommée sur site	Bâtiment	Solution technique possible en toiture des futurs bâtiments
Pompe à chaleur aérothermique	<ul style="list-style-type: none"> Ressource gratuite Utilisation mixte production de chaleur ou de froid (rafraichissement des bâtiments en été) Faible impact paysager 	<ul style="list-style-type: none"> Nuisance sonore potentielle liée au fonctionnement des PAC Risques de pollution en fonction du fluide caloporteur présent dans les PAC Air/Eau Capacité de production assez faible Faible rendement et nécessite une solution d'appoint 	<ul style="list-style-type: none"> Investissement faible 	Chaleur ou froid consommée sur site	Bâtiment	Solution technique possible en façade ou toiture des futurs bâtiments
Chaufferie biomasse	<ul style="list-style-type: none"> Ressource biomasse (notamment en bois) disponible dans la région Valorisation possible en chaleur ou en électricité Installation évolutive 	<ul style="list-style-type: none"> Insertion paysagère Risques de pollution atmosphérique Contraintes et nuisances liées à l'approvisionnement et à la combustion Emprise potentiellement importante en fonction des besoins énergétiques Gestion des déchets de combustion 	<ul style="list-style-type: none"> Investissement modéré Aides dans le cadre du plan bois énergie (subventions) Coûts d'entretien et de fonctionnement variables Revente de l'électricité produite si développement d'une cogénération 	Chaleur consommée sur site (ECS et chauffage)	Ilot de quartier	Solution technique possible à l'échelle d'un îlot de quartier
Réseau de chaleur	<ul style="list-style-type: none"> Mutualisation de la production et donc réduction des GES Densité énergétique importante Puissance permettant d'intégrer la chaufferie dans un bâtiment (en sous-sol ou rez-de-chaussée) 	<ul style="list-style-type: none"> Tissu urbain existant Linéaire de conduite à créer Faible besoin Phasage à prendre en compte Besoin d'espace pour implanter une chaufferie dans un bâtiment dédié 	<ul style="list-style-type: none"> Mutualisation des investissements 	Chaleur (ECS et chauffage)	Zone urbaine	Solution technique envisageable à l'échelle de la ZAC

3

ETAPE 2 – ETUDE DE FAISABILITE REMISE A JOUR AVEC NOUVEAU PROGRAMME

3.1 Préambule

3.1.1 Objectifs & Méthode

Cette seconde étape de l’EFPDENR&R a pour objectif d’identifier le(s) meilleur(s) scénario(s), c’est-à-dire les solutions mobilisant les EnR et présentant le meilleur bilan.

Afin d’aboutir à l’émergence d’une stratégie énergétique viable au stade de la création de la ZAC, le but ici est d’évaluer la faisabilité du principal scénario retenu à savoir, le déploiement du réseau de chaleur urbain Caen Nord.

La première étape de cette étude de faisabilité consiste donc à évaluer les besoins énergétiques futurs de la ZAC pour ensuite calculer la densité énergétique des besoins par rapport au linéaire de réseau de chaleur. Il convient en effet de rappeler comme évoqué dans le chapitre précédent, que cette densité est une donnée d’entrée essentielle car il est considéré qu’en dessous d’une densité thermique de 1,5 MWh/ml (limite basse de densité thermique), la viabilité économique du réseau est difficile à atteindre.

Concernant l’estimation des besoins énergétique de la ZAC, il est indispensable de rappeler qu’à ce stade de la création de la ZAC, même si des éléments de programmation ont d’ores et déjà été définis, ils sont susceptibles d’évoluer de manière plus ou moins notable dans les phases de conception à venir. **Ce premier paramètre associé à la durée de conception d’une ZAC constitue un premier facteur d’incertitude dans l’évaluation des besoins énergétiques de la ZAC à terme.**

Un second facteur est également à prendre en compte : il s’agit de l’horizon projeté pour la finalisation du projet de ZAC. Et à ce propos, il est rappelé ici que l’opération d’aménagement vise aujourd’hui un objectif de fin de travaux à l’horizon 2042, soit une durée de mise en œuvre de l’ordre d’une quinzaine d’années (2026-2042). Les ratios en termes de besoins énergétiques qui dépendent à la fois des comportements de la population, du type d’activités installé sur la ZAC, des moyens de constructions employés pour les nouveaux bâtiments en termes d’isolations, ... sont donc amenés à évoluer sensiblement d’ici 2040. **Ce paramètre associé à la durée de mise en œuvre d’une ZAC constitue donc un second facteur d’incertitude.**

Malgré tout, des hypothèses doivent nécessairement être prises en considération et s’appuient sur l’état des connaissances actuelles que ce soit vis-à-vis de la programmation du projet (programmation retenue en février 2025) mais aussi en matière de consommations énergétiques.

De la même manière l’évaluation du coût financier et environnemental des scénarios retenus repose sur les données connues au moment de la réalisation de la présente étude. **L’évolution de ces coûts à l’horizon 2040 constitue un troisième paramètre d’incertitude pour mener à bien l’analyse comparative.**

3.1.2 Hypothèses

3.1.2.1 Ratios de consommations énergétiques

L’évaluation des consommations énergétiques actuelles (scénario de référence) et projetées repose sur les hypothèses présentées dans le tableau ci-contre.

En complément de ce tableau, il peut être précisé que Cep max pris en compte pour le niveau de performance énergétique E3 des bâtiments à créer, est le suivant selon le type de construction :

- Cep max activités commerciales et artisanales = 90 kWh_{EP}/m²/an
- Cep max équipements = 85 kWh_{EP}/m²/an
- Cep max activités tertiaires = 65 kWh_{EP}/m²/an
- Cep max logements et hôtels = 48 kWh_{EP}/m²/an

Il convient à ce propos de rappeler que les consommations réglementaires ci-dessus (Cep max) couvrent le chauffage, l’eau chaude sanitaire, le refroidissement, l’éclairage et les auxiliaires. Les besoins spécifiques à chaque type de bâtiment en électricité ne sont pas compris dans ces consommations réglementaires.

Tableau 18 : Hypothèses de consommations énergétiques

Données		Valeurs prises en compte pour l’étude (kWh/m²/an)	
		Bâtiments existants/conservés	Bâtiments créés/projetés
Performance énergétique du bâtiment selon le Label E+ C-		Aucun	E3
Logements & Hôtels	Besoin chauffage	120	20
	Besoin Eau Chaud Sanitaire (ECS)	40	13
	Besoin d’électricité (éclair, aux)	20	15
	Electricité spécifique	70	70
Activités tertiaires	Besoin chauffage	200	20
	Besoin Eau Chaud Sanitaire (ECS)	5	5
	Besoin d’électricité (éclair, aux)	45	40
	Electricité spécifique	100	100
Activités commerciales et artisanales	Besoin chauffage	200	20
	Besoin Eau Chaud Sanitaire (ECS)	10	5
	Besoin de froid	40	40
	Besoin d’électricité (éclair, aux)	50	25
	Electricité spécifique	150	150
Equipements	Besoin chauffage	200	20
	Besoin Eau Chaud Sanitaire (ECS)	20	15
	Besoin d’électricité (éclair, aux)	55	50
	Electricité spécifique	25	25

3.1.2.2 Programmation stade création de ZAC

La quantification des besoins énergétiques de la ZAC doit à la fois tenir compte des constructions projetées mais également des constructions existantes conservées. La programmation envisagée au stade de la création de la ZAC, est reportée dans le tableau suivant.

Tableau 19 : Programmation du projet d'aménagement Mont Coco – Côte de Nacre (stade AVP 2024)

	TOTAL SDP	ACTIVITÉS					LOGEMENTS	EQUIPEMENTS (yc parking)
		Artisanat	Commerce	Hôtel	Tertiaire	TOTAL		
Surface à créer	280 036 m²	17 357 m²	1 142 m²	22 196 m²	39 810 m²	80 505 m²	182 576 m²	16 955 m²
Surface conservée	31 253 m²	16 449 m²	2 700 m²	-	1 562 m²	20 711 m²	5 835 m²	4 707 m²
Total ZAC (SDP)	311 289 m²	33 806 m²	3 842 m²	22 196 m²	41 372 m²	101 216 m²	188 411 m²	21 662 m²
	Part	11%	1%	7%	13%	33%	61%	7%



3.2 Estimation des besoins énergétiques actuels et futurs de la ZAC

Selon les hypothèses de consommations énergétiques des bâtiments existants conservés et des bâtiments projetés dans le cadre du présent projet de ZAC, une estimation des besoins énergétiques à terme peut être réalisée.

Tableau 20 : Besoins énergétiques estimés de la ZAC Mont Coco – Côte de Nacre à terme (horizon 2040)

Données	Chauffage MWh _{EP} /an		Electricité MWh _{EP} /an	
	Bâti existant	Bâti projeté	Bâti existant	Bâti projeté
Logements & Hôtels	934	6 757	525	20 887
Activités tertiaires	320	995	226	6 688
Activités commerciales	567	29	648	295
Activités artisanales	3 454	434	3 948	4 478
Equipements	1 035	593	362	1 526
TOTAL (MWh/an)	6 310	8 809	5 710	33 874
TOTAL (GWh/an)	16		39	

En comparaison avec ces valeurs estimés à horizon 2040, le tableau ci-dessous présente les besoins énergétiques actuels des bâtiments au sein du périmètre de ZAC (considérant les bâtiments à conserver et les bâtiments à démolir).

Tableau 21 : Besoins énergétiques au droit de la ZAC en situation actuelle (bâtiments conservés + bâtiments à démolir)

Données	Chauffage MWh _{EP} /an	Electricité MWh _{EP} /an
Logements & Hôtels	934	525
Activités tertiaires	642	454
Activités commerciales	1184	1353
Activités artisanales	9080	10378
Equipements	2825	1027
TOTAL (GWh/an)	14,7	13,7

Cette analyse sommaire des besoins énergétiques actuels et futurs au droit du périmètre de ZAC permet de mettre en évidence une certaine stabilité des besoins énergétiques pour le chauffage des bâtiments grâce notamment aux exigences de la RT2020. Les besoins actuels ont en effet été estimé à près de 15 GWh_{EP}/an alors que ceux estimés à horizon 2040 avoisinent 16 GWh_{EP}/an (estimation qui ne tient pas compte des bâtiments abandonnés).

En revanche, la demande en électricité subira une réelle hausse puisque la demande actuelle est globalement estimée à environ 14 GWh_{EP}/an alors que les projections à l’horizon 2040 laissent supposer une multiplication de la demande par un facteur de l’ordre de 2.8 (39 GWh_{EP}/an) .

3.3 Stratégie énergétique retenue pour le projet de ZAC

Comme nous l'avons indiqué en préambule de ce chapitre, cette étude constitue une première approche dans le cadre de l'étape 2 de l'EFPDENR&R. À ce titre, elle constitue un support à l'approfondissement de la démarche de développement des ENR&R dans le cadre de la réalisation du projet de création de la ZAC Mont Coco – Côte de Nacre (étude de faisabilité technique et économique). Il convient avant tout de préciser que l'EFPDENR&R nécessite une adaptation au contexte territorial, technique et économique du projet et qu'elle ne doit pas desservir la finalité du projet en termes de développement urbain.

Aussi, dans le mesure où le projet repose sur de grandes orientations d'aménagement au stade de la création de ZAC, il apparaît plus approprié que la finalisation de l'EFPDENR&R (poursuite de l'étape 2) soit effectuée en parallèle des études de conception et de programmation ultérieures. En effet, cette solution permet d'optimiser les choix énergétiques en fonction des besoins spécifiques des aménagements projetés.

Malgré tout, à ce stade de l'étude, les orientations suivantes en matière de développement des ENR&R peuvent être précisées :

- La solution qui s'avère être la plus adaptée pour l'approvisionnement en chaleur de la ZAC est le réseau de chaleur urbain.

Ce réseau de chaleur dont le déploiement à court terme est déjà acté jusqu'au quartier du chemin vert (2025-2026), transitera au sein du quartier Mont Coco et pourra ainsi desservir les futurs logements, bureaux et activités. Le réseau de chaleur présente divers avantages :

- **Economique** : il permet de mutualiser des moyens de production de chaleur et donc de mutualiser les investissements et les coûts d'entretien. Le point fort ici réside dans le fait que les unités de production de chaleur sont déjà existantes. Le réseau de chaleur garantit un prix de la chaleur compétitif stable, car peu dépendant des fluctuations des énergies fossiles et bénéficie d'une TVA à taux réduite.
- **Environnemental** : les émissions polluantes d'un réseau de chaleur sont sensiblement inférieures aux chaudières individuelles pour une quantité d'énergie utile produite équivalente. Un réseau permet d'économiser l'installation et l'entretien de nombreuses chaudières individuelles et de cheminées dans les villes. Il permet de valoriser de l'énergie renouvelable au lieu d'énergie fossile, pour préserver la qualité de l'air. Enfin, le réseau de chaleur permet de réduire les émissions de CO₂, ciblées par la Loi de Transition pour la Croissance Verte et les accords de Paris.
- **Energétique** : la Communauté Urbaine de Caen a pour objectif que le réseau de chaleur soit alimenté à hauteur de 80 % par des énergies renouvelables et de récupération (50% UVE + 30 % biomasse). De plus, le réseau de chaleur permet de mettre en commun des moyens de production vertueux qui seraient sous-utilisés en utilisation individuelle ou isolée (petits réseaux de chaleur ou réseaux techniques).
- **Technologique** : les pertes thermiques sont réduites et la durée de vie d'un réseau est longue.
- **Confort et sécurité des usagers** : le fait de se raccorder à un réseau de chaleur ne génère ni odeur, ni bruit, ni combustible, ni production de gaz nocifs sur les lieux de consommation d'énergie. Enfin, le raccordement à un réseau de chaleur garantit également la disponibilité de service et un dépannage assuré 365 jours par an et 24h/24. L'absence de stockage de combustible et de chaudières dans les bâtiments est également un gage de sécurité et de tranquillité.

Concernant la faisabilité d'un raccordement au réseau de chaleur urbain Caen Nord, si on considère les besoins énergétiques futurs de la ZAC de l'ordre de 16 GWh/an (cf. partie 3.2) et le linéaire du réseau à déployer jusqu'à la ZAC soit environ 1,1 km on obtient selon cette première approche sommaire une densité thermique de l'ordre de 14 MWh/ml. La viabilité économique du raccordement de la ZAC au réseau de chaleur est donc assurée puisque la densité thermique estimée à ce stade est 10 fois supérieure à la limite basse de densité thermique fixée à 1,5 MWh/ml.

- En appui au réseau de chaleur urbain d'autres sources d'approvisionnement énergétique pourraient être envisagées :
 - Le **solaire thermique**, sensible à la chaleur produite par le rayonnement solaire, peut être envisagé à l'échelle des bâtiments dans une logique de sobriété énergétique individuelle ou collective (chauffage et production d'eau chaude sanitaire). Une attention particulière devra être portée sur l'orientation des installations en privilégiant les orientations plein Sud pour optimiser la production. Localement, le chauffage solaire produit environ 300 kWh / m² de capteurs / an ; la surface de capteurs à installer dépend de la surface à chauffer (environ 1 m² de capteurs pour 10 m² de surface à chauffer) pour un coût moyen de m² installé de l'ordre de 1 200 € HT.
 - **L'aérothermie** peut être envisagée pour les bâtiments ayant un besoin spécifique en froid (commerces) dans une logique de sobriété énergétique individuelle. La mise en œuvre de pompe à chaleur fera l'objet d'une attention particulière pour éviter tout trouble du voisinage (calfeutrage acoustique). À titre d'information, le coût d'investissement d'une pompe à chaleur aérothermique est estimée à 10-15k€.
 - La **géothermie** sur sonde verticale (très basse énergie), bien qu'elle soit envisageable compte tenu des aquifères souterrains identifiés au droit du site, ne constitue pas une solution viable sur le plan économique (investissement lourd de l'ordre de 20 k€). Au même titre que l'aérothermie elle constitue une solution éventuellement plus adaptée pour les bâtiments à usage commercial qui exigent des besoins en froid plus importants. Une analyse spécifique est toutefois nécessaire à l'échelle de chaque bâti pour apprécier précisément la pertinence technico-économique d'une telle solution.
 - Compte tenu du gisement bois-énergie local, le recours à une solution de chauffage à partir de la **biomasse** pourrait théoriquement être envisagée à l'échelle de certains bâtiments en appui au réseau de chaleur. Toutefois, dans le cas présent compte tenu des objectifs fixés pour la programmation de la ZAC à terme, les enjeux vis-à-vis de la qualité de l'air sont trop élevés pour envisager le recours à cette source de production d'énergie.
 - Une autre source d'approvisionnement en appui au réseau de chaleur pourrait être envisagée et consisterait à récupérer la chaleur d'un **data center**. Ces systèmes sont constitués d'équipements informatiques puissants, qui demandent des groupes de production de froid générateurs de chaleurs. Si à ce stade, aucun data center n'est prévu dans le cadre de la programmation de la ZAC, ce type de solution pourrait être étudiée plus précisément si l'occasion devait se présenter dans le cadre de sa mise en œuvre.
- En appui au réseau électrique « classique » d'autres sources d'approvisionnement pourraient être envisagées :
 - Le développement du **solaire photovoltaïque** pourra être envisagé en toiture des bâtiments ou en ombrières pour parkings, dans une logique de sobriété énergétique individuelle ou groupée. Une attention particulière devra être portée sur l'orientation des installations en privilégiant les orientations plein Sud pour optimiser la production, et les phénomènes d'ombres portées qui nuisent au bon fonctionnement des panneaux photovoltaïques. À titre d'information, le coût d'installation de panneaux photovoltaïques est de l'ordre de 4 500 € HT / KW (soit 10 m² de panneau) ; une installation de 25 m² de modules photovoltaïques peut produire en un an l'équivalent de la consommation électrique (hors chauffage, cuisine et eau chaude) d'une famille de 4 personnes, soit environ 2 500 kWh/an.
 - Le **petit éolien** pourrait être envisagé pour le matériel d'éclairage public ; néanmoins, le rendement et l'efficacité associés à ce type d'équipement ne sont pas assurés. Dans tous les cas, le projet devra intégrer une stratégie de maîtrise de l'énergie en lien avec ce poste de consommation basée sur l'implantation des équipements, l'orientation des faisceaux d'éclairage (pas d'éclairage vers le ciel), la programmation des périodes d'éclairages, ... Par ailleurs, l'utilisation d'équipements faiblement consommateur (type leds ou ampoule basse consommation) sera à privilégier. À titre d'information, le coût d'un mat d'éclairage « Windela » est de près de 4 000 € HT, soit près du double d'un mat classique à leds ; cet équipement est notamment utilisé à Issy-les-Moulineaux et Grenoble.

Tableau 22

: Synthèse de la stratégie énergétique retenue pour le projet de ZAC au stade de sa création

Les scénarii envisageables	APPLICATIONS TECHNIQUES	AVANTAGES	INCONVENIENTS
<i>La solution la plus viable à l'échelle de la ZAC pour alimenter les bâtiments en chaleur</i>	Réseau de chaleur urbain	<ul style="list-style-type: none"> • Réseau urbain existant présentant de réelle capacité d'extension à court terme • Objectif alimentation réseau : 80% ENR, 20% GAZ • Densité thermique (et donc rentabilité) intéressante puisque globalisée à l'échelle secteur nord de l'agglomération • Facilement intégrable au bâti (sous-stations) 	<ul style="list-style-type: none"> • Linéaire de conduite à créer • Phasage de la ZAC à prendre en compte
<i>Des solutions envisageables à l'échelle du bâti ou d'un îlot en tant que source de production d'énergie complémentaire au réseau de chaleur</i>	Pompe à chaleur aérothermique	<ul style="list-style-type: none"> • Energie gratuite • Utilisation mixte (production de chaleur ou froid) • Faible impact paysager 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuisances sonores pour le voisinage • Faible capacité de production • Faible rendement • Faible investissement
	Pompe à chaleur géothermique avec sondage verticale sur nappe	<ul style="list-style-type: none"> • Energie gratuite et constante • Utilisation mixte (production de chaleur ou froid) • Faible impact paysager 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de pollution de la nappe • Mobilisation d'emprises pour l'installation • Retour sur investissement plus long que la filière bois énergie
	Chaudière bois énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Ressource bois disponible dans la région • Installation de chauffage évolutive • Capacité de production potentiellement élevée 	<ul style="list-style-type: none"> • Pollution atmosphérique • Contraintes d'approvisionnement • Nuisances associées à la combustion • Gestion de déchets • Ressource payante • Coût d'entretien et de fonctionnement • Mobilisation d'emprises pour la chaufferie
	Data center	<ul style="list-style-type: none"> • Ressource énergétique disponible directement sur site sans nécessité d'approvisionnement par route 	<ul style="list-style-type: none"> • Peu d'opportunité à l'heure actuelle
<i>Des solutions rentables à l'échelle du bâti en appoint au réseau électrique</i>	Panneaux solaires photovoltaïques en toiture	<ul style="list-style-type: none"> • Energie gratuite sans pollution atmosphérique • Augmentation de la production électrique sur réseau public à partir d'ENR • Obligation de rachat par ENEDIS • Impact limité en terme d'emprise vis-à-vis des conflits avec d'autres usages 	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes paysagères • Rendements influencés par l'inclinaison et les phénomènes d'ombrage pouvant impacter la programmation des îlots privés • Investissement rentable sur le long terme
	Ombrières solaires pour parkings		
<i>Des solutions peu rentables davantage orientées sur un but « pédagogique »</i>	Eolienne sur domaine privé	<ul style="list-style-type: none"> • Energie gratuite • Sans pollution atmosphérique 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuisances sonores pour le voisinage • Faible rendement • Energie intermittente • Investissement peu rentable
	Candélabre éolien et/ou photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> • Approche pédagogique pour les habitants du quartier 	

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Liste des graphiques

Graphique 1	: Évolution des exigences énergétique des bâtiments neufs en application des orientations fixées par la loi Grenelle (ADEME)	11
Graphique 2	: Répartition de la ressource Biomasse combustible consommée en 2019 (BIOMASSE NORMANDIE)	25

Liste des schémas

Schéma 1	: Localisation du projet de ZAC	6
Schéma 2	: Intentions d'aménagement pour le renforcement de la trame végétale	7
Schéma 3	: Intentions d'aménagement pour le désenclavement du quartier et le développement des mobilités douces	7
Schéma 4	: Intentions d'aménagement pour apporter de la mixité	7
Schéma 5	: Potentiel éolien (SRE Basse-Normandie)	16
Schéma 6	: Principes de fonctionnement et structure des panneaux solaires photovoltaïques et thermiques	17
Schéma 7	: Potentiel solaire national et régional (PVGIS / METEO FRANCE)	18
Schéma 8	: Illustration de la problématique des ombres portées	18
Schéma 9	: Géothermie très basse énergie	19
Schéma 10	: Principes d'exploitation de l'énergie géothermique (ADEME / BRGM)	20
Schéma 11	: Principes de fonctionnement d'une pompe à chaleur Eau / Eau (ADEME / BRGM)	20
Schéma 12	: Aquifères jusqu'à 100 m de profondeur sur l'ex-région Basse-Normandie (Région Basse Normandie)	20
Schéma 13	: Aquifères jusqu'à 100 m de profondeur sur l'ex-région Basse-Normandie (Région Basse Normandie)	21
Schéma 14	: Potentiel géothermique sur nappe (source : Schéma Directeur de l'Energie)	21
Schéma 15	: Potentiel géothermique sur sonde verticale (source : Schéma Directeur de l'Energie)	21
Schéma 16	: Principe de la géothermie horizontale	22
Schéma 17	: Principe de la récupération de chaleur sur réseau d'eaux usées	22
Schéma 18	: Principes d'exploitation de l'énergie aérothermique	23
Schéma 19	: Obstacles à l'écoulement des eaux sur le territoire du pôle métropolitain Caen Normandie Métropole	24
Schéma 20	: Comparaison de l'échelle des installations liées à l'exploitation de la biomasse en fonction du domaine d'application ciblé : Exemple du bois énergie	25
Schéma 21	: Répartition de la ressource potentielle en bois-énergie exprimée en énergie thermique annuelle (Mode d'Occupation des Sols de 2016)	26

Schéma 22	: Localisation des réseaux de chaleurs existants sur le territoire de la Communauté Urbaine de Caen la Mer (source : Schéma Directeur de l'Energie)	28
Schéma 23	: Cartographie du réseau de chaleur urbain Caen Nord (Source : Schéma Directeur de l'Energie)	28
Schéma 24	: Localisation des zones de développement du réseau de chaleur urbain Caen Nord (Source : Schéma Directeur des Réseaux de Chaleur)	29
Schéma 25	: Tracé prévisionnel des extensions du réseau de chaleur urbain Caen Nord et des prospects à raccorder (Source : Schéma Directeur des Réseaux de Chaleur)	29

Liste des tableaux

Tableau 1	: Niveaux énergie du Label E+ C-	11
Tableau 2	: Les orientations stratégiques du SCOT Caen Normandie Métropole - 2016	13
Tableau 3	: Les orientations stratégiques du PLU de la ville de Caen - 2017	14
Tableau 4	: Les orientations stratégiques du PLH de la Communauté Urbaine de Caen la Mer - 2020	14
Tableau 5	: Types d'énergies, systèmes et échelles	15
Tableau 6	: Bilan associé au développement de l'éolien	16
Tableau 7	: Opportunités de développement de l'éolien au sein du projet	17
Tableau 8	: Bilan associé au développement du solaire	19
Tableau 9	: Opportunités de développement du solaire au sein du projet	19
Tableau 10	: Bilan associé au développement de la géothermie	22
Tableau 11	: Bilan associé au développement de l'aérothermie	23
Tableau 12	: Opportunités de développement de l'aérothermie	23
Tableau 13	: Bilan associé au développement de la production énergétique à partir de la biomasse	26
Tableau 14	: Opportunités de développement de la production énergétique à partir de la biomasse au sein du projet	27
Tableau 15	: Caractéristiques du réseau de chaleur urbain Caen Nord	28
Tableau 16	: Bilan associé au développement d'un réseau de chaleur	29
Tableau 17	: Comparaison des filières énergétiques qui présentent une opportunité de développement dans le cadre de la réalisation du projet	31
Tableau 18	: Hypothèses de consommations énergétiques	34
Tableau 19	: Programmation du projet d'aménagement Mont Coco – Côte de Nacre (stade création de ZAC)	35
Tableau 20	: Besoins énergétiques estimés de la ZAC Mont Coco – Côte de Nacre à terme (horizon 2040)	36
Tableau 21	: Besoins énergétiques au droit de la ZAC en situation actuelle (bâtiments conservés + bâtiments à démolir)	36
Tableau 22	: Synthèse de la stratégie énergétique retenue pour le projet de ZAC au stade de sa création	38