

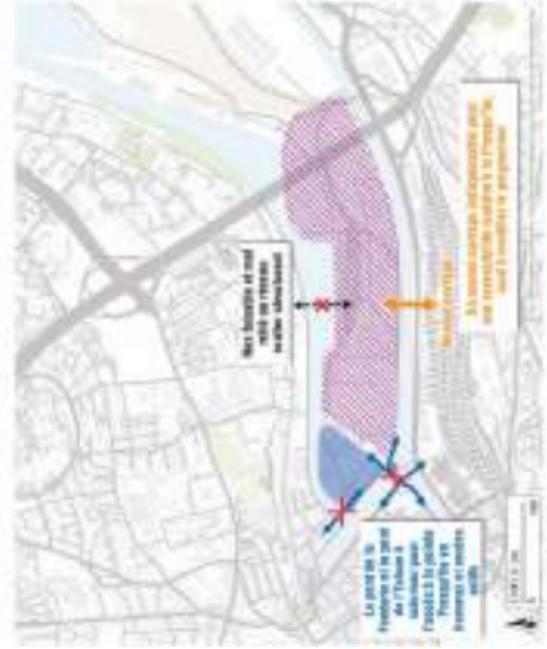
Secteur Montalivet : affectation du trafic généré par le projet (3/4)

- Les véhicules générés par les secteurs Nouveau Bassin et Cœur Presqu'île peuvent emprunter trois points d'accès à la Presqu'île sur le réseau actuel : les ponts de la Fondrière et de l'Écluse qui présentent peu de marges de manœuvre, et l'accès par le nord de la Presqu'île, qui présente des marges de manœuvre mais qui ne répond pas aux flux en provenance de Caen.
- L'écran constitué par ces trois points d'accès représente environ 1400 véhicules à l'heure de pointe du soir.
- Ainsi, sans modification des accès à la Presqu'île, 600 véhicules supplémentaires empruntent le pont de l'Écluse.
- **Ces trafics supplémentaires ne sont pas compatibles avec l'arrivée du tramway.**



Secteur Montalivet : principes d'accessibilité à la Presqu'île caennaise (4/4)

- **A terme, la réalisation d'un nouvel ouvrage est à envisager pour permettre l'accessibilité à la Presqu'île des 10'000 véhicules générés par les secteurs Nouveau Bassin et Cœur Presqu'île achevés.**
- Il conviendra d'être vigilant sur l'aménagement des voies de la Presqu'île, afin de créer **des voies apaisées qui n'encouragent pas le shunt à travers la Presqu'île**, conformément aux objectifs du Plan guide. Il paraît donc souhaitable que le nouvel ouvrage ne précède pas l'urbanisation.



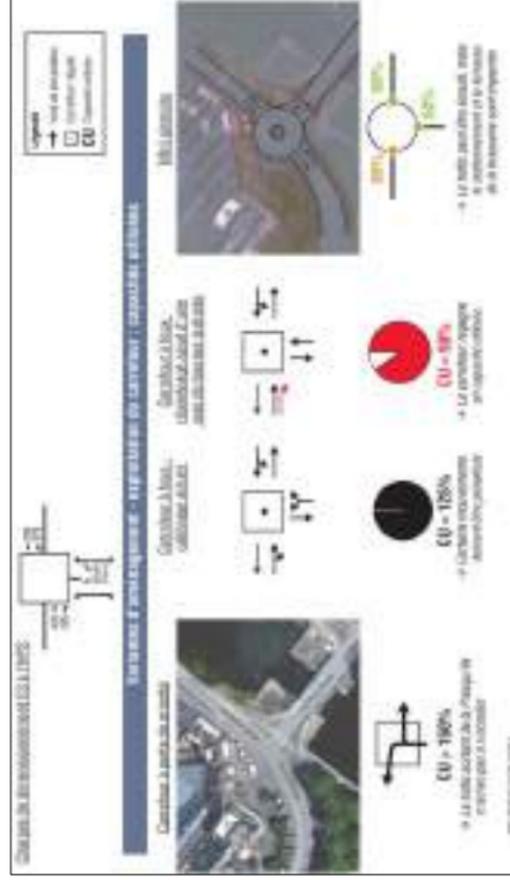
Secteur Montalivet : impact d'un nouvel ouvrage sur l'affectation du trafic

- La création d'un nouvel ouvrage à terme répartirait théoriquement les accès à la Presqu'île en quatre points d'accès. Or, l'arrivée du tramway ne permet pas d'accueillir du trafic supplémentaire sur le Pont de l'Écluse. Le trafic est donc réparti entre le pont de la Fonderie, l'accès nord de la Presqu'île (via les deux branches de la voie de desserte pontuaire) et le nouveau franchissement, ce dernier devenant la porte d'entrée principale pour l'accessibilité locale à la Presqu'île.
- L'écran constitué par les différents points d'accès à la Presqu'île représente toujours 1400 véhicules, mais la demande sur les accès existants est fortement diminuée et reportée sur le nouveau franchissement.



Carrefour Tourville – Dumont d'Urville (pont de la Fonderie) : analyse du fonctionnement

- L'aménagement existant du carrefour Tourville - Dumont d'Urville ne permet pas d'évacuer les charges de dimensionnement



- Un réaménagement du carrefour pourrait permettre d'améliorer la sortie de la Presqu'île, mais se fait au détriment du flux circulant sur l'avenue de Tourville ou de l'espace public.

Secteur Tourville : analyse des aménagements projetés

- Les aménagements proposés dans le Plan guide ne correspondent pas à ceux mis en place par la Ville de Caen : la ville prévoit de rediriger le trafic entre Tourville et Clémenceau vers la rue de la Masse, et d'agencer l'avenue de Tourville dès le carrefour Masse-Tourville.



Itinéraire priorisé par la ville pour la circulation des véhicules entre Tourville et Clémenceau

Secteur Manoir des Gens d'Armes

- Le plan d'aménagement de la ville de Caen n'est pas cohérent avec le Plan Guide. Pour la ville, le barreau entre rue Basse et rue de Tourville reste non circulé, et le trafic est redirigé vers la rue de la Masse.
- En complément, la réorganisation des circulations du secteur du Manoir des Gens d'Armes pourrait améliorer les cheminements dédiés aux modes actifs, et améliorer la lisibilité du secteur.





Fond : Plan Guide

6. Analyse des aménagements projetés dans le Plan Guide et mesures d'accompagnements

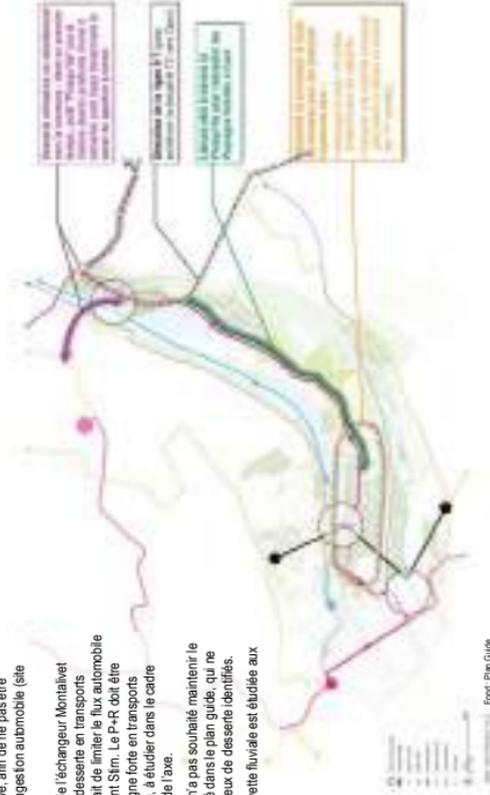
6.2 Analyse des propositions concernant les transports collectifs



Transports collectifs : principes de desserte

Étant donné les impacts importants sur le trafic routier :

- la **desserte en transports collectifs doit être développée** pour encourager à son usage ;
- elle doit être qualitative, afin de ne pas être dépendante de la congestion automobile (site propre).
- Un P+R à proximité de l'échangeur Montalivet pourrait compléter la desserte en transports collectifs, et permettrait de limiter le flux automobile vers le secteur du Pont Stim. Le P+R doit être accompagné d'une ligne forte en transports collectifs (site propre), à étudier dans le cadre d'une requalification de l'axe.
- Le comité technique n'a pas souhaité maintenir le téléporteur, proposé dans le plan guidé, qui ne répond pas à des enjeux de desserte identifiés.
- La proposition de navette fluviale est étudiée aux pages suivantes.



Foed - Plan Guide

25.10.2016

S332_150rap-v1-2-primesi-14.pdfm

Navette fluviale : benchmark

Des expériences de navettes existent ailleurs en France ; 5 services sont présentés ci-dessous.

service (ville)	exploitant	date de mise en service	fréquence hp (m)	capacité des bateaux (pers)	nombre d'arrêts intermédiaires (hors terminus)	distance parcourue	temps de parcours	vitesse estimée	coût usager	fréquentation annuelle	nombre de bateaux
Navibus (Nantes)	Finisèmer pour la SEMITAN	2005	10 mn	95 pers.	0	1'400 m	10 mn	8 km/h	1,6 €	550'000	2
Bateaub (Bordeaux)	TBC	2013	15 mn	45 pers.	3	5'400 m	37 mn	9 km/h	1,5 €	200'000	2
Ligne 10 (Lorient)	CTRL	2013	30 mn	150 pers.	0	1'500 m	7 mn	13 km/h	1,5 €	415'000	7
Veporetto (Lyon Confluences)	Unibaïl	2012	60 mn	70 pers.	1	3'400 m	23 mn	9 km/h	2 €	180'000	7
Navette fluviale du Millénaire (Paris Aubervilliers)	Mobilicade	2012	8 mn	75 pers.	0	1'100 m	6 mn	11 km/h	0 €	3600 <i>voy/jour</i>	3

Ces services, très récents pour la plupart, ont des fréquences très variables. Les capacités des bateaux vont du simple au triple (50 à 150 personnes).

Pour être attractifs, les tarifs pratiqués ne permettent pas de financer le service, mais correspondent, pour les navettes intégrées au réseau de transports collectifs, au prix d'un ticket unitaire.

25.10.2016

S332_150rap-v1-2-primesi-14.pdfm

- La navette fluviale proposée dans le Plan guide :
 - permet de connecter les Paysages habités à la Pointe Presqu'île, pour un temps de trajet d'environ 20min.
 - A un nombre d'inter-arrêts plus important que pour les autres navettes observées (distance inter-arrêts < 900m), notamment pour les trois arrêts situés à Caen).
 - Ne bénéficie pas d'une bonne connexion avec le réseau de bus (place Courtonne), car la navette ne va pas dans le port de plaisance (contrainte par le pont de la Fondrière).
 - Dans une logique touristique, le prolongement de la navette jusqu'à Ouistreham :
 - Permettrait de capter un public boîers plus intéressé par un trajet agréable qu'un temps de parcours réduit ;
 - Augmente significativement le parcours (+10km) et donc le coût du service.
- Un service qui relève de la communication et éventuellement du tourisme, plutôt que de la réelle desserte en transport collectif (pour les déplacements domicile-travail, seuls les habitants des Paysages Habités pourraient être intéressés par ce service).



Source : plan guide MRPDV

6. Analyse des aménagements projetés dans le Plan Guide et mesures d'accompagnements

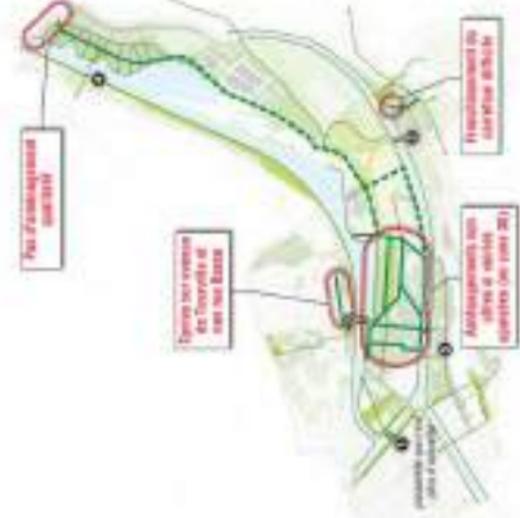
6.3 Analyse des propositions concernant les cycles



Cheminements vélos : principes de cheminements

- Des itinéraires pour les cycles sont prévus dans le Plan Guide :
 - Soit traités en zone 30 (pas d'aménagements dédiés mais mixité) ;
 - Soit avec des aménagements dédiés pour les vélos.
- Les itinéraires identifiés en pointillés ci-contre sont situés dans des secteurs qui n'ont pas été dessinés au 1/1000^e dans le Plan guide, mais qui paraissent pertinents au vu du caractère relativement routier de ces voiries.
- Les nouveaux franchissements permettent d'améliorer l'accessibilité à la Presqu'île :
 - La réhabilitation de la passerelle 2 la rend plus attractive ;
 - La passerelle 3 connecte le secteur CHR-Tourville à la Presqu'île, elle justifie en partie l'apaisement de l'avenue de Tourville ;
 - Le nouvel ouvrage vers le cours Montalivet (5) complètera la passerelle de l'Éclusee, moins fonctionnelle ;
 - L'ouvrage 4 connectant le centre-ville d'Hérouville aux Paysages Habités est une réelle plus value pour la connexion du futur quartier à son centre-ville ; à reconsidérer dans le cadre de la reconstruction du Pont de Colombelles (selon aménagement piétons et vélos et selon les connexions aux réseaux existants).

Légende	
	Aménagement cyclable prévu sur les plans (1/1000e) du plan guide
	Proposition de cheminement cyclable à aménager
	Dystonctionnements des aménagements proposés dans le Plan Guide



Fonds plan : Plan Guide MDOV

7. Conclusions : mesures d'accompagnement

- Les mesures d'accompagnement du projet sont présentées ci-après :
 - Celles pour les véhicules individuels ;
 - Celles en faveur des modes alternatifs à la voiture particulière.
- Le phasage souhaitable pour ces mesures est présenté en page 91.



Mesures d'accompagnement proposées : circulation et espace public



- 1 Réaménagement du trottoir (SADP) E209
- 2 Réaménagement du trottoir de Clappe pour accueillir l'arbre de ville
- 3 Réaménagement des trottoirs d'accès à l'école (Mairie - Mairie) (planétaire) pour améliorer l'habitat de ville
- 4 Nouvel accès pour piétons (accès à la Presqu'île en sens inverse du pont) sur le Pont 1800
- 5 Réaménagement du trottoir (avenue de la République) à l'ouest
- 6 Aménagement des trottoirs (avenue de la République) à l'est

Nb : la réalisation de la deuxième tranche de la voie deserte portuaise est une condition sine qua non à l'ajustement du quartier des Paysages habités.

Mesures d'accompagnement proposées : Transports collectifs et vélo



- 1 Aménagement de l'arrêt de tramway à l'ouest de la Presqu'île (sens inverse du trottoir) (avenue de la République) à l'ouest
- 2 Aménagement en tramway collectif pour le tramway à l'ouest de la Presqu'île (sens inverse du trottoir) (avenue de la République) à l'ouest
- 3 Aménagement d'un trottoir collectif pour les piétons (avenue de la République) à l'ouest
- 4 Aménagement d'un trottoir collectif pour les piétons (avenue de la République) à l'ouest
- 5 Aménagement d'un trottoir collectif pour les piétons (avenue de la République) à l'ouest



Actions en faveur des véhicules particuliers

- Concernant les actions visant à améliorer la circulation automobile, il est recommandé de fluidifier l'échangeur (⑤) avant de réaménager le carrefour de Ciope (②).
- Les autres mesures (①③④⑥) ne doivent pas anticiper le développement urbain pour le pas créer de mauvaises habitudes de déplacements, mais pourront être mises en place de manière concomitante à la programmation des secteurs auxquelles elles appartiennent.

Actions en faveur des transports collectifs et vélo

- Il est souhaitable que le tramway (⑦) précède l'urbanisation, ou qu'il minima l'accompagne, afin de ne pas créer de mauvaises habitudes de déplacements auprès des usagers. De la même manière la desserte bus des Paysages habités (⑧) peut être mise en place dès les premiers logements.
- Les aménagements cyclables (④ et ⑥) peuvent être mis en place en même temps que les aménagements urbains ; la connexion entre les Paysages habités et Hérouville centre (③) doit intervenir soit au moment de la construction du nouveau Port de Colombières, soit en accompagnement de l'urbanisation.



Annexes



Hypothèses d'affectation des trafics depuis le Cœur Calix



Hypothèses d'affectation des trafics depuis la Presqu'île caennaise





Transitec Ingénieurs-Conseils
172-174 av. F. Roosevelt
69500 Bron
Tél.: 0033 (0) 4 72 37 94 10
www.transitec.net



TRANSITEC

Etude de circulation de la Presqu'île de Caen - rapport technique - novembre 2016

97 / 97



26.10.2016

6302_150rap-v1-2-principal_4.pdfm

Annexe 10 – Etude du potentiel de développement des énergies renouvelables – Rapport Antea Group n°73150/B – Juin 2017

Caen presqu'île-Etude d'impact

Etude du potentiel de développement des énergies renouvelables

Rapport N°73150/B



SPLA CAEN PRESQU'ILE
1, avenue du Pays de Caen
14 460 COLOMBELLES
Interlocuteur : Mr MOREAU Gilles
Directeur Général
Tél : 02 31 35 72 55
h.laine@caen-presquile.fr



Présenté par



Agence Paris Centre Normandie
Implantation de Paris
Immeuble Axéo
29 avenue Aristide Briand
97 114 ARCUEIL CEDEX
Tél. : 01 57 63 14 00

Sommaire

	Pages
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	6
2. PREAMBULE	0
2.1. CONTEXTE NATIONAL	0
2.1.1. Les énergies renouvelables	0
2.1.2. Les engagements européens et français	2
2.2. CONSOMMATIONS ENERGETIQUES DE BASSE-NORMANDIE ET DE CAEN METROPOLE	5
3. PRESENTATION ET BESOINS ENERGETIQUES DU PROJET	8
3.1. PRESENTATION DES SECTEURS OPERATIONNELS	8
3.1.1. Le Nouveau Bassin de Caen :	8
3.1.2. Les Paysages Habités de la Presqu'île Hérouvillaise :	8
3.1.3. Le cœur Calix de Mandeville :	8
3.2. PROGRAMMATION DES SECTEURS OPERATIONNELS	9
3.3. BESOINS ENERGETIQUES DU PROJET	10
3.4. LES INFRASTRUCTURES D'APPROVISIONNEMENT EN ENERGIES EXISTANTES	11
3.4.1. Approvisionnement en gaz	11
3.4.2. Approvisionnement en électricité	11
3.4.3. Approvisionnement en chaleur	0
3.4.4. Opportunité de création d'un réseau de chaleur sur Caen Presqu'île.....	2
4. GISEMENTS ENERGETIQUES DE LA ZONE D'ETUDE	5
4.1. L'ENERGIE EOLIENNE	5
4.1.1. Principes	5
4.1.2. Aspects réglementaires	7
4.1.3. Potentiel régional	8
4.1.4. Potentiel local	11
4.1.5. Impact sur l'environnement	14
4.1.6. Exemples d'applications	14
4.2. L'ENERGIE SOLAIRE	16
4.2.1. Principe	16
4.2.2. Aspects réglementaires	19
4.2.3. Potentiel régional	20
4.2.4. Potentiel local	21
4.2.5. Aides au développement	23
4.2.6. Solaire photovoltaïque et environnement	24
4.2.7. Exemples d'application	24
4.3. BOIS-ENERGIE	28
4.3.1. Principe	28
4.3.2. Aspects réglementaires	31
4.3.3. Potentiel régional	31
4.3.4. Potentiel local	32
4.3.5. Aides au développement	32
4.3.6. Le bois-énergie et l'environnement	33

4.3.7.	Exemples d'applications	33
4.4.	BIOGAZ	34
4.4.1.	Principes	34
4.4.2.	Aspects réglementaires	35
4.4.3.	Potentiel régional	36
4.4.4.	Potentiel local	36
4.4.5.	Aide au développement	38
4.4.6.	Impacts sur l'environnement	39
4.4.7.	Exemples d'application	39
4.5.	RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES EAUX USEES.....	40
4.5.1.	Principes	40
4.5.2.	Secteurs	40
4.6.	GEOTHERMIE	41
4.6.1.	Principe	41
4.6.2.	Aspects réglementaires	43
4.6.3.	Potentiel régional	44
4.6.4.	Potentiel local	44
4.6.5.	Aides au développement	48
4.6.6.	Impact sur l'environnement	49
4.7.	L'ENERGIE HYDRAULIQUE	49
4.7.1.	Principes	49
4.7.2.	Aspects réglementaires	50
4.7.3.	Potentiel régional	50
4.7.4.	Potentiel local	51
5.	ANALYSE DES OPPORTUNITES ET ORIENTATIONS POSSIBLES.....	52
5.1.	BESOINS THERMIQUES.....	52
5.2.	BESOINS EN ELECTRICITE.....	52
5.3.	AUTRES SECTEURS.....	53
6.	SYNTHESE.....	53

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Périmètre du Plan Guide (source : Plan Guide MVRDV)	0
Figure 2 :	Les pièces de la Grande Mosaïque (source : Plan Guide MVRDV)	1
Figure 3 :	Structure de la production d'électricité - 2012 (source : Observ'ER)	1
Figure 4 :	Structure de la production d'électricité d'origine renouvelable- 2012 (source : Observ'ER)	1
Figure 5 :	Taux de croissance annuel moyen dans le monde 2002- 2012 (Source : Observ'ER)	1
Figure 6 :	Structure de la production d'électricité en France - 2012 (source : Observ'ER).....	2
Figure 7 :	Structure de la production d'électricité d'origine renouvelable en France - 2012 (source : Observ'ER)	2
Figure 8 :	Consommations d'énergie par secteur en 2009 en TWh (Source : SRCAE Basse-Normandie)	5
Figure 9 :	Répartition de la consommation d'énergie par produit énergétique en 2009 en Basse-Normandie (SRCAE Basse-Normandie)	5
Figure 10 :	Consommation d'énergie (en GWh) par secteur et par produit en 2009 en Basse-Normandie (Source : SRCAE Basse-Normandie).....	6
Figure 11 :	Consommations de chaleur annuelles dans le secteur résidentiel à Caen Métropole (Source : Explicit).....	7

Figure 12 :	Plan des réseaux secs, d'après l'étude EGIS.....	0
Figure 13 :	Plan du réseau de chaleur d'Hérouville-Saint-Clair	0
Figure 14 :	Schéma des acteurs du réseau de chaleur (Source : Chambre Régionale des Comptes)..	1
Figure 15 :	Traversée des Paysages Habités par le réseau de chaleur urbain d'Hérouville.....	2
Figure 16 :	Schéma de principe du tracé d'un réseau de chaleur Nouveau Bassin rive gauche	3
Figure 17 :	Représentation du réseau de chaleur Nouveau Bassin rive droite.....	4
Figure 18 :	Rapport entre la taille et la puissance d'une éolienne (Source : les 7 Vents du Cotentin)	6
Figure 19 :	Cartes des vents pour la France (Source : Etude du potentiel en énergies renouvelables de Caen Métropole (Explicit))	8
Figure 20 :	Eoliennes et ZDE en Basse-Normandie au 01/09/2012 (Source : SRE Basse-Normandie)	9
Figure 21 :	Carte des zones d'exclusion du grand éolien (Source : Etude du potentiel en énergie renouvelables de Caen Métropole (Explicit)).....	10
Figure 22 :	Ressource en vent à 30 m du sol (Source : les 7 Vents du Cotentin)	11
Figure 23 :	Ressource en vent à 60 m du sol (Source : les 7 Vents du Cotentin)	11
Figure 24 :	Rose des vents de la station de Caen-Carpique (Source : Météo France)	12
Figure 25 :	Couloirs de vents potentiels (Source : les 7 Vents du Cotentin).....	13
Figure 26 :	Eoliennes à axe horizontal de la Communauté d'Agglomération de Caen la Mer.....	14
Figure 27 :	Petite éolienne à axe vertical de type Darrieus (Source : Anemoos).....	15
Figure 28 :	Eolienne à axe vertical (Source : Quienrevolution)	15
Figure 29 :	Ensoleillement en France métropolitaine (kWh/m².j) (Source : Tecsol)	20
Figure 30 :	Données d'ensoleillement moyennes mensuelles enregistrées à la station Caen-Carpique (1981-2010) (Source : Météo France).....	22
Figure 31 :	Parcours du soleil à Caen, données Pléiades (Source : les 7 Vents du Cotentin).....	22
Figure 32 :	Illustration du principe du pare soleil	25
Figure 33 :	Sur châssis	25
Figure 34 :	En surimposition	25
Figure 35 :	Intégration de toiture	26
Figure 36 :	Membrane d'étanchéité	26
Figure 37 :	Bac métallique	26
Figure 38 :	Brise soleil	26
Figure 39 :	Verrière	26
Figure 40 :	Garde circo et allège	26
Figure 41 :	parking solaire	27
Figure 42 :	éclairage public solaire.....	27
Figure 43 :	CESI	27
Figure 44 :	Chauffe eau solaire collectif.....	27
Figure 45 :	Principaux éléments constitutifs d'une chaudière automatique à bois.....	29
Figure 46 :	Caractéristiques des installations de chaudières automatiques en fonction de leur taille (Source Association AILE).....	30
Figure 47 :	Chaufferie bois de Saint Hilaire du Harcouet (50) (Source : les 7 Vents du Cotentin)	33
Figure 48 :	Localisation de la Station d'épuration du Nouveau Monde.....	37
Figure 49 :	Puissance récupérable à partir du biogaz	38
Figure 50 :	Usine de méthanisation de Passel (Source : Fertigaz)	39
Figure 51 :	Usine de méthanisation du SEVADEC (Source : Communauté d'agglomération du Calaisis)	39
Figure 52 :	Illustration d'un des principes possibles de récupération de chaleur sur eaux usées	40
Figure 53 :	les ressources géothermiques en France (source BRGM).....	41
Figure 54 :	Principe de fonctionnement général d'une pompe-à-chaleur sur eau de nappe.....	42
Figure 55 :	Localisation du forage de reconnaissance (Source : Geother)	45
Figure 56 :	Scénario d'implantation n°1 (Source : Geother).....	46
Figure 57 :	Scénario d'implantation n°2 (Source : Geother).....	46
Figure 58 :	Carte topographique de la zone d'étude	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Programmation des secteurs opérationnels, d'après la note de synthèse du 28/11/2014	9
Tableau 2 : Evaluation des besoins énergétiques des secteurs opérationnels.....	10
Tableau 3 : Caractéristiques des réseaux de chaleur de Caen la Mer (Source : Via Seva, Dalkia et La SEMMERET)	0
Tableau 4 : Potentiel de mise en place de réseaux de chaleur.....	3
Tableau 5 : Les parcs éolien dans le Calvados (Source : Production d'énergies renouvelables et efficacité énergétique dans le Calvados – Etat des lieux en 2010 – OBNEC)	9
Tableau 6 : Vitesse du vent moyenné sur 10 min (en m/s) de 1981-2010	12
Tableau 7 : Données d'ensoleillement mensuel à Caen (Source : PVGIS).....	23
Tableau 8 : Hypothèses de puissance et de consommation de chauffage et d'ECS (Source : Geother)	47
Tableau 9 : Prédimensionnement des pompes à chaleur et du nombre de doublets géothermiques	48
Tableau 10 : Principaux critères techniques et environnementaux d'analyse des différentes ENRR exploitables sur Caen Presqu'île et potentiel énergétique de chaque filière	54
Tableau 11 : Synthèse des principaux avantages et inconvénients de chaque ENRR exploitable sur Caen Presqu'île , des budgets d'investissements, des coûts d'exploitation et du prix du MWh de chaque filière	55

1. Contexte et objectifs de l'étude

Caen Presqu'île a confié à Antea Group la réalisation du dossier réglementaire d'étude d'impact du projet pour la tenue de l'enquête publique nécessaire aux demandes de Permis de Construire et de Déclaration d'Utilité Publique du projet de création d'une ZAC multi-site.

L'article 8 de la loi « Grenelle I », codifié à l'article L128-4 du code de l'Urbanisme prévoit que « toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement des 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 ». **Dans le cadre de cette réglementation, Caen Presqu'île souhaite donc analyser le potentiel de développement des énergies renouvelables sur la zone du projet.**

L'étude, objet de ce document, entend donc répondre à cette demande du cahier des charges de l'étude d'impact environnemental. Elle vise à étudier les gisements des différents types d'énergies renouvelables de la zone du projet et d'étudier le caractère exploitable ou non de ces énergies pour le projet. Cette étude n'a pas vocation à être une étude technico-économique sur les solutions énergétiques à apporter au projet. Toutefois, des éléments techniques et de coûts sont présentés pour chacune des énergies étudiées.

Il est à noter que la présente étude porte sur les secteurs opérationnels, tels que définis dans le Plan Guide élaboré par le groupement MVRDV et validé en mars 2015. Depuis, au fil des études complémentaires réalisées et des réflexions menées, les périmètres opérationnels des zones étudiées ont subi des modifications. Les périmètres opérationnels présentés ici correspondent donc à ceux du Plan Guide et sont généralement plus étendus que ceux qui sont étudiés en 2017 pour la rédaction des volumes de l'état initial et de la définition des impacts.

Le Plan Guide constitue un premier pas progressif du renouvellement urbain du territoire de la Presqu'île de Caen et de l'ensemble de la Pointe Presqu'île.

Ce territoire de cœur d'agglomération s'étend sur une superficie d'environ 600 ha et couvre les communes de Caen, Mondeville et Hérouville Saint-Clair.

Le territoire du Plan Guide a été découpé en différentes pièces qui ensemble créent la Grande Mosaïque. Le découpage s'est fait selon plusieurs critères : le caractère spécifique du secteur, l'usage futur, la libéralité foncière et la localisation stratégique.

Au regard de ces critères, trois secteurs ont été définis comme les premiers secteurs opérationnels. Ils constituent les emprises définies comme prioritaires pour le lancement :

- « Nouveau Bassin » sur Caen : Cœur Presqu'île + Nouveau Bassin du Plan Guide,
- « Cœur Calix » sur Mondeville,
- « Paysages Habités » sur Hérouville Saint-Clair.



Figure 1 : Périmètre du Plan Guide (source : Plan Guide MVRDV)



Figure 2 : Les pièces de la Grande Mosaïque (source : Plan Guide MVRDV)

2. Préambule

2.1. Contexte national

2.1.1. Les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont des énergies inépuisables. Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la Terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, leur exploitation n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes. Ce sont les énergies de l'avenir. Aujourd'hui, elles sont sous-exploitées par rapport à leur potentiel.

L'utilisation des énergies renouvelables permet de lutter contre l'effet de serre, en réduisant notamment les rejets de gaz carbonique dans l'atmosphère. En développement dans le monde entier, les énergies renouvelables permettent de gérer de façon intelligente les ressources locales et de créer des emplois. On qualifie les énergies renouvelables d'énergies "flux" par opposition aux énergies "stock", elles-mêmes constituées de gisements limités de combustibles fossiles : pétrole, charbon, gaz, uranium.

Les énergies renouvelables peuvent être classées en 5 grandes familles :

- L'énergie solaire
 - Le solaire photovoltaïque,
 - le solaire thermique,
- l'énergie éolienne,
- l'énergie hydraulique,
- la biomasse et les bioénergies :
 - la biomasse, en particulier le bois-énergie,
 - la valorisation énergétique des déchets,
 - le biogaz,
 - les biocarburants,
- la géothermie :
 - la géothermie très basse énergie (moins de 30°C),
 - la géothermie basse énergie (30 à 90°),
 - la géothermie moyenne énergie (90 à 150°C),
 - la géothermie haute énergie (plus de 150°C),
 - la récupération de chaleur sur les eaux usées.

❖ Situation à l'échelle mondiale

La production d'électricité renouvelable (incluant la production des centrales de pompes-turbinage) a atteint 4 699,2 TWh en 2012 dans le monde, dépassant les 20% de la

production totale (20,8 %). L'électricité renouvelable provient de six sources distinctes. L'hydroélectricité (incluant les centrales de pompage-turbinage) est la principale d'entre elles avec une contribution de 78 % en 2012. L'énergie éolienne, qui depuis 2009 est devenue la deuxième source d'énergie renouvelable, représente 11,4 % du total renouvelable. Elle devance aujourd'hui la filière biomasse, qui rassemble la biomasse solide, la biomasse liquide, le biogaz et les déchets ménagers renouvelables (6,9 %). Suivent le solaire (2,2 %) qui rassemble les centrales photovoltaïques et les centrales solaires thermiques, la géothermie (1,5 %) et les énergies marines (0,01 %).



Figure 3 : Structure de la production d'électricité - 2012 (source : Observ'ER)

Figure 4 : Structure de la production d'électricité d'origine renouvelable - 2012 (source : Observ'ER)

La production brute d'électricité renouvelable est passée de 2 960,1 TWh en 2002 à 4 699,2 TWh en 2012, soit une croissance annuelle moyenne de 4,7 %. Le taux de croissance annuel moyen par filière de production d'électricité est présenté dans le diagramme ci-dessous :

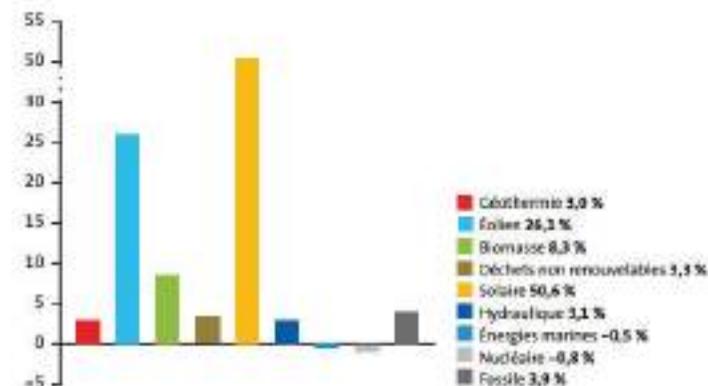


Figure 5 : Taux de croissance annuel moyen dans le monde 2002- 2012 (Source : Observ'ER)

Ainsi, le solaire présente le plus fort taux de croissance annuel suivi par l'éolien.

❖ Situation de la France

Le mix électrique français repose essentiellement sur l'énergie nucléaire (75,8 % de la production d'électricité). Les énergies renouvelables arrivent en seconde position (15,5 %), devançant ainsi nettement les combustibles fossiles (8,2 %).

Au sein de la filière du renouvelable, la filière hydraulique (71,6 %) prédomine sur l'éolien (17,1 %), la biomasse (6,1%), le solaire photovoltaïque (4,6 %) et les énergies marines (0,6%). Entre 2002 et 2012, le solaire a eu le plus fort taux de croissance moyen (88,9% par an), suivi par l'éolien (49,6 % par an) et la biomasse (5,8 % par an). L'hydraulique et les énergies marines présentent un taux de croissance moyen négatif (-0,5 % par an chacune).



Figure 6 : Structure de la production d'électricité en France - 2012 (source : Observ'ER)



Figure 7 : Structure de la production d'électricité d'origine renouvelable en France - 2012 (source : Observ'ER)

Malgré un certain dynamisme des énergies renouvelables, la France devra accélérer leur développement pour respecter les objectifs qu'elle s'est fixés pour 2020 (23 % d'énergies renouvelables dans le mix électrique français).

2.1.2. Les engagements européens et français

2.1.2.1. Les engagements européens

En mars 2007, le Conseil Européen a fixé trois objectifs à l'échéance 2020 (intitulé « objectif 3x20 ») :

- Développement à hauteur de 20% des énergies renouvelables dans la consommation totale d'énergie ;
- Réduction de 20% de la consommation totale d'énergie primaire ;
- Baisse des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) d'au moins 20% par rapport à 1990.

Ainsi, les énergies renouvelables, associées à l'efficacité énergétique, constituent les piliers de la révolution énergétique qui permettra à l'Union Européenne de réduire ses émissions de GES.

2.1.2.2. Les engagements français

2.1.2.2.1 La politique de développement des énergies renouvelables

Depuis 2007 et le Grenelle de l'environnement, la France met en place une stratégie ambitieuse de développement des énergies renouvelables sur son territoire. Le Grenelle de l'environnement a ainsi identifié la production d'énergies renouvelables comme l'un des deux piliers en matière énergétique, le second étant l'augmentation de l'efficacité énergétique des bâtiments.

Afin de respecter les engagements européens pris au titre la directive 28/CE/2009 (atteinte d'une part d'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation totale d'énergie finale brute française de 23% en 2020 sur la base d'un scénario de référence), la France a adopté une série de mesures en faveur du développement des énergies renouvelables.

En particulier, la loi portant engagement national pour l'environnement, dite « Grenelle 2 » (promulguée le 12 juillet 2011), est un texte d'application et de territorialisation du Grenelle de l'environnement et de la loi Grenelle 1. Il décline chantier par chantier, secteur par secteur, les objectifs entérinés par le premier volet législatif du Grenelle Environnement.

Ainsi, le plan national d'action en faveur des énergies renouvelables pour la période 2009-2020 reprend l'ensemble des politiques et mesures visant à promouvoir l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables. Il a été remis à la Commission Européenne en août 2010.

En sus du soutien au développement des énergies renouvelables, afin de poursuivre l'objectif de réduction de nos émissions de gaz à effet de serre, le Grenelle Environnement renforce les mesures d'économies d'énergie et de performance thermique des bâtiments.

2.1.2.2.2 L'intégration des énergies renouvelables dans les bâtiments

L'article 4 de la loi dite Grenelle 1, promulguée le 3 août 2009, précise que « toutes les constructions neuves faisant l'objet d'une demande de permis de construire déposée à compter de la fin 2012 et, par anticipation à compter de la fin 2010, s'il s'agit de bâtiments publics et de bâtiments affectés au tertiaire, doivent présenter une consommation d'énergie primaire inférieure à un seuil de 50 kWh/m²/an en moyenne ».

Cet article constitue le socle de la réglementation thermique 2012 (RT2012). Les objectifs pour les bâtiments neufs inscrits à l'article 4 de la loi du 3 août 2009 relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement sont les suivants :

- Généralisation des bâtiments basse consommation ;
- Evolution technologique et industrielle significative dans la conception et l'isolation des bâtiments et pour chacune des filières énergétiques.

Pour la RT 2012 :

- Consommation d'énergie primaire inférieure à 50 kWh/m²/an en moyenne ;
- Modulation de l'exigence de consommation en fonction des émissions de GES des

bâtiments ;

- Modulation de l'exigence de critères techniques (localisation géographique, des caractéristiques et de l'usage des bâtiments) ;
- Définition d'un seuil ambitieux de besoin maximal en énergie de chauffage des bâtiments.

Ainsi, afin d'être conforme à la RT 2012, un bâtiment neuf devra respecter 3 exigences globales :

- Exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti Bbiomax :
Exigence de limitation du besoin en énergie pour les composantes liées au bâti (chauffage, refroidissement et éclairage) ;
- Exigence de consommation maximale Cepmax :
Exigence maximale de consommation d'énergie primaire à 50 kWhEP/(m².an) en moyenne ; 5 usages pris en compte : chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage et auxiliaires (ventilateurs, pompes) ;
- Exigence de confort d'été Tic :
Exigence sur la température intérieure atteinte au cours d'une séquence de 5 jours chaud inférieure à une température de référence (Tic).

Pour la prochaine réglementation thermique, « RT 2020 » :

- Des bâtiments qui, sauf exception, produisent plus d'énergie renouvelable qu'ils n'en consomment.

La réglementation thermique participe donc aux mesures de soutien au développement de la production d'énergie en faveur des sources renouvelables.

2.1.2.3. Le rôle des collectivités locales

Le rôle des collectivités locales dans la lutte contre le changement climatique et le développement des énergies renouvelables est souligné dans les projets de loi issus du Grenelle de l'environnement :

- Généralisation des Plans Climat- Energie Territoriaux (PCET) aux collectivités de plus de 50 000 habitants avant 2012 (article 7) ;
- Lutte contre le changement climatique (Article 7) : prise en compte des PCET dans les documents d'urbanismes (PLU, PDU) ;
- Energie renouvelables (Article 19) : élaboration d'un schéma régional des énergies renouvelables sur la base des objectifs nationaux et des objectifs qualitatifs et quantitatifs de la région en matière de valorisation du potentiel énergétique renouvelable de son territoire.

2.2. Consommations énergétiques de Basse-Normandie et de Caen Métropole

D'après le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) de Basse-Normandie, les consommations d'énergie s'élevaient à 40,4 TWh en 2009 en Basse-Normandie. En cumulant l'habitat et le tertiaire, le secteur du bâtiment constitue 52 % du bilan des consommations d'énergie du territoire. Ces consommations sont essentiellement liées aux besoins thermiques, le chauffage représentant 75 % des consommations de l'habitat et 50 % des consommations des activités tertiaires.

La figure ci-dessous représente la consommation d'énergie par secteur en 2009 :

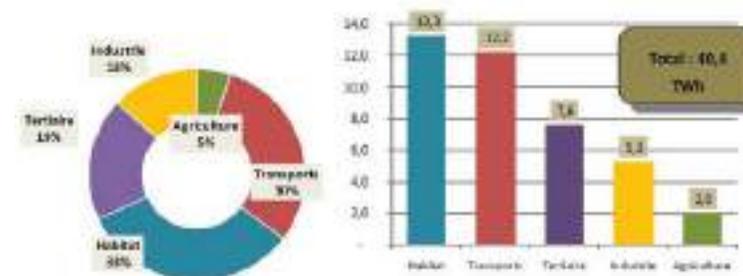


Figure 8 : Consommations d'énergie par secteur en 2009 en TWh (Source : SRCAE Basse-Normandie)

Une nette domination des énergies fossiles est observée en Basse-Normandie :

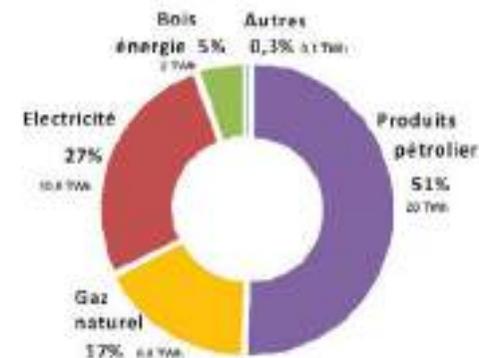


Figure 9 : Répartition de la consommation d'énergie par produit énergétique en 2009 en Basse-Normandie (SRCAE Basse-Normandie)

En fonction des branches d'activités, les usages de l'énergie sont variés :

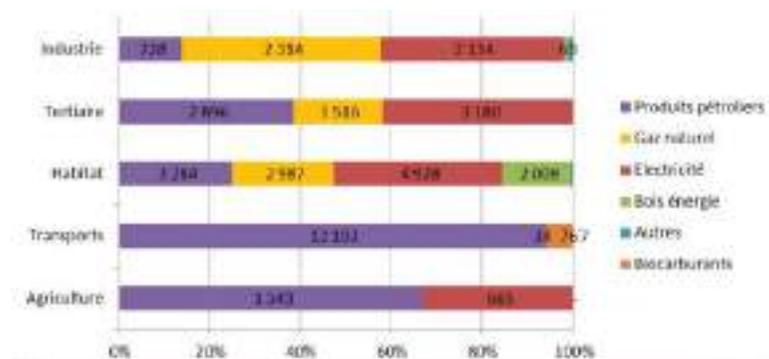


Figure 10 : Consommation d'énergie (en GWh) par secteur et par produit en 2009 en Basse-Normandie (Source : SRCAE Basse-Normandie)

C'est dans le secteur des transports que la dépendance aux énergies fossiles est la plus forte.

La production d'énergies renouvelables en Basse-Normandie s'élève à 3 485 GWh en 2009 hors carburant, dont 91 % pour la production de chaleur. Les filières renouvelables produisaient l'équivalent de 2,8 % de l'électricité consommée et de 19,8 % de la chaleur consommée en une année sur le territoire. Ainsi, en excluant les biocarburants, les énergies renouvelables ont couvert 8,5 % de la consommation d'énergie de Basse-Normandie en 2009.

D'après l'étude des potentiels en énergies renouvelables (mars 2011) de la communauté de Caen Métropole réalisée par Explicit dans le cadre de l'élaboration du Plan Climat-Energie Territorial (PCET), les besoins thermiques de Caen Métropole s'élève à 5060 GWh/an. La consommation de combustible par le secteur industriel avoisine les 3 000 GWh/an, celle du tertiaire représente environ 260 GWh/an et celle du parc résidentiel a été estimée à 1 800 GWh/an en se basant sur les données de l'INSEE du recensement de 2009. Ainsi, le secteur industriel prédomine (59,3 %), suivi par le secteur résidentiel (35,6 %) puis par le secteur tertiaire (5,1 %).

La consommation de chaleur dans le secteur résidentiel, par type d'énergie pour Caen Métropole, est représentée dans le graphique suivant :

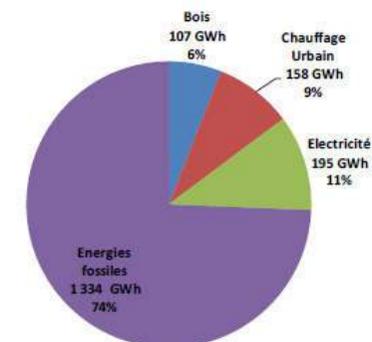


Figure 11 : Consommations de chaleur annuelles dans le secteur résidentiel à Caen Métropole (Source : Explicit)

Les énergies fossiles constituent donc la part majoritaire des consommations, avec 74 % du total, dont 48 % pour le gaz naturel, et 25 % pour le fioul. Le gaz naturel est donc la première énergie consommée pour le chauffage résidentiel.

Les consommations par le chauffage urbain occupent 9 % du total. Elles représentent un point intéressant, car les réseaux de chaleur peuvent aujourd'hui être considérés comme le meilleur débouché pour une majeure partie de la chaleur renouvelable (ordures ménagères, biogaz, bois de basse ou moyenne qualité). A Caen Métropole, le chauffage urbain provient des réseaux de chaleur de Caen et d'Hérouville-Saint-Clair. Le réseau de chaleur d'Hérouville-Saint-Clair est fourni à 89 % par de l'énergie issue de la combustion des ordures ménagères (chaleur renouvelable), les 11% restant proviennent du gaz naturel et du fioul.

Remarque :

Dans le cadre de la réglementation thermique, la consommation répondant à des besoins en énergie est exprimée en kWh_{ep} (kilowattheure d'énergie primaire). L'énergie primaire est la quantité d'énergie nécessaire pour produire une quantité d'énergie disponible pour l'utilisateur final (énergie « finale » ou « utile »). Pour produire un kWh d'énergie finale, la quantité d'énergie primaire varie selon le type d'énergie.

Ainsi, la réglementation considère les équivalences suivantes :

- 1 kWh gaz = 1 kWh_{ep},
- 1 kWh fioul = 1 kWh_{ep},
- 1 kWh électrique = 2,58 kWh_{ep},
- 1 kWh bois = 0,6 kWh_{ep}.

Ainsi, la part des besoins en énergie primaire relative aux consommations d'électricité est importante. L'utilisation des énergies renouvelables représente donc un intérêt certain pour respecter la réglementation.

3. Présentation et besoins énergétiques du projet

3.1. Présentation des secteurs opérationnels

3.1.1. Le Nouveau Bassin de Caen :

Il rassemble, pour une bonne cohérence urbaine, les terrains libres et opérationnels de part et d'autre du bassin.

L'intérêt de ce périmètre est d'envisager la valorisation simultanée des deux berges qui offriront un paysage contrasté et complémentaire adapté à chacune des deux rives.

Le bassin constitue une des pièces maîtresses du secteur.

Les parcelles appartenant à PNA, au sud, et les parcelles en friche de l'avenue de Tourville sont libres et maîtrisées foncièrement.

Ce secteur intègre également le Cœur Presqu'île, entre le Canal et l'Orne, qui assure un lien entre le Canal et l'Orne et qui assoie le projet dans un contexte urbain existant à valoriser.

3.1.2. Les Paysages Habités de la Presqu'île Hérouvillaise :

Ce secteur est totalement libre et maîtrisé foncièrement par Port Normands Associés ou par Caen la mer, à proximité du centre-ville.

Ce territoire vierge constitue un secteur pouvant être développé rapidement.

La parcelle en bordure du canal, propriété de PNA, est à ce jour utilisée pour le stockage de boues du canal qui devront être déplacées.

3.1.3. Le cœur Calix de Mondeville :

Ce secteur est tatoué de l'empreinte laissée par les anciens abattoirs qui constituent aujourd'hui un site d'activités économiques diverses.

Certaines d'entre elles pourront être conservées sur site afin d'engager une mixité urbaine riche.

Les parcelles sont aujourd'hui toutes privées et devront donc faire l'objet d'une stratégie foncière de la part de la commune.

3.2. Programmation des secteurs opérationnels

Secteurs opérationnels			
Programmation			
Caen, le Nouveau Bassin			
	m ²	m ²	m ²
Logements	33750	33583	67333
Bureaux	3000		3000
Commerces	3315		3315
Equipements	12447	1540	13987
	Secteur sud	Secteur nord	Total
Durée	4 années		
Hérouville Saint-Clair, les paysages habités			
	m ²		
Logements	116333		
Bureaux	750		
Commerces	1664		
Equipements	6569		
Durée	8 années		
Mondeville, le cœur calix			
	m ²		
Logements	38083		
Bureaux	500		
Commerces	650		
Equipements	336		
Durée	7 années		

Tableau 1 : Programmation des secteurs opérationnels, d'après la note de synthèse du 28/11/2014

3.3. Besoins énergétiques du projet

Compte tenu de la durée sur laquelle s'étend le programme, le niveau de performance thermique des bâtiments est pris au niveau passif, ce qui correspond à des performances de l'enveloppe semblables à celles de la future RT 2020.

Les besoins qui sont estimés dans la présente étude sont séparés en 4 catégories :

- besoins de chauffage des bâtiments.
- besoins d'eau chaude sanitaire.
- besoins de rafraîchissement des bâtiments.
- besoins d'électricité : il est considéré ici les besoins compris dans la RT (éclairage, ventilation et auxiliaires), et également les consommations d'électricité dites spécifiques, qui comprennent les besoins électriques des appareils électro ménagers, des équipements multimédia...

	Secteurs opérationnels					
	Besoins de puissance		Besoins énergétiques			
	Chaud	Froid	Chauffage	ECS	Froid	Electricité
Caen, le Nouveau Bassin	kW	kW	MWh/an	MWh/an	MWh/an	MWh/an
Logements	3 064	-	943	1 683	-	1 481
Bureaux	120	210	42	6	38	128
Commerces	216	83	93	33	116	129
Equipements	909	350	392	140	490	545
Total	4 309	643	1 470	1 862	644	2 283
Hérouville-Saint-Clair, les paysages habités	Chaud	Froid	Chauffage	ECS	Froid	Electricité
	kW	kW	MWh/an	MWh/an	MWh/an	MWh/an
Logements	5 294	-	1 629	2 908	-	2 559
Bureaux	30	53	11	2	9	32
Commerces	108	42	47	17	58	65
Equipements	427	164	184	66	230	256
Total	5 859	259	1 871	2 993	297	2 912
Mondeville, le cœur calix	Chaud	Froid	Chauffage	ECS	Froid	Electricité
	kW	kW	MWh/an	MWh/an	MWh/an	MWh/an
Logements	1 733	-	533	952	-	838
Bureaux	20	35	7	1	6	21
Commerces	42	16	18	7	23	25
Equipements	22	8	9	3	12	13
Total	1 817	59	567	963	41	897
Global	11 985	961	3 908	5 818	982	6 092

Tableau 2 : Evaluation des besoins énergétiques des secteurs opérationnels

Il ressort de cette première analyse que globalement, les besoins de chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire) sont prépondérants devant les besoins de froid. Ces derniers ne sont certainement pas compatibles avec des solutions en réseau.

L'enjeu porte donc sur le traitement des besoins de chaleur et d'électricité.

3.4. Les infrastructures d'approvisionnement en énergies existantes

3.4.1. Approvisionnement en gaz

Les communes de Caen, Hérouville-Saint-Clair et Mondeville sont globalement bien desservies en gaz de ville. Les réseaux disponibles appartiennent à GRDF et sont localisés sur la carte suivante.

3.4.2. Approvisionnement en électricité

Deux types de lignes sont situés dans l'emprise du projet :

- Une Ligne THT appartenant à RTE,
- Une Ligne HTA appartenant à ERDF.

L'état des câbles sur la presqu'île est vétuste pour la plupart. Le schéma de HTA sera donc à revoir ainsi que la répartition des postes de transformation.

Les ouvrages nouvellement créés devront être protégés contre le risque inondation afin de maintenir une continuité de service en cas de submersion (ouvrage étanche, côte hors d'eau...) et d'améliorer la résilience.



Figure 12 : Plan des réseaux secs, d'après l'étude EGIS

0

3.4.3. Approvisionnement en chaleur

L'agglomération de Caen la Mer dispose de deux réseaux de chaleur dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

Autorité concédante	Ville d'Hérouville-Saint-Clair	OPHLM de Caen
Nom du réseau	Hérouville-Saint-Clair	La Guérinière
Société gestionnaire	SEMMERET – Novergie Ouest Place de l'Hôtel de Ville 14200 Hérouville-Saint-Clair 02 99 27 65 52	Dalkia Basse-Normandie 1 rue de la cotonnière 14053 Caen Cedex 4 02 31 29 54 00
Longueur du réseau	12 km	2,5 km
Equivalent logements desservis	8 150	1 570
Energies utilisées	Fioul 1% Gaz 10 % UIOM 89 %	Gaz 100%

Tableau 3 : Caractéristiques des réseaux de chaleur de Caen la Mer
(Source : Via Seva, Dalkia et La SEMMERET)

Une réflexion est actuellement en cours pour étendre le réseau de chaleur d'Hérouville-Saint-Clair vers le CHU à l'Ouest, ce qui le porterait à 12 000 équivalents logements.



Figure 13 : Plan du réseau de chaleur d'Hérouville-Saint-Clair

0

La production de chaleur du réseau d'Hérouville-Saint-Clair est assurée par l'unité de traitement et de valorisation énergétique des déchets ménagers (UVE) de Colombelles, de l'autre côté de l'Orne.

L'usine possède la capacité de fournir potentiellement l'intégralité de la chaleur demandée pour la commune d'Hérouville-Saint-Clair grâce à la seule valorisation énergétique des déchets. Cependant, le système de récupération d'énergie ne fonctionne pas lorsque la température extérieure passe sous les 2°C, ce qui conduit la société exploitante, la SEMMERET, à introduire un pourcentage d'énergies d'appoint dans le mix énergétique de ce réseau de chaleur.

Au vu du très important taux ENR dans ce réseau, il est fort probable que l'UVE soit en mesure de fournir davantage d'énergie au réseau.

De plus les 89 % d'origine ENRR de chaleur de ce réseau en font une source d'énergie compétitive pour le consommateur, de l'ordre de 62 €HT/MWh en 2013. Ce prix résulte d'une augmentation significative du coût du MWh au cours des trois années précédentes, puisque le prix du MWh livré était à moins de 40 €HT (39,47) au 1^{er} janvier 2010.

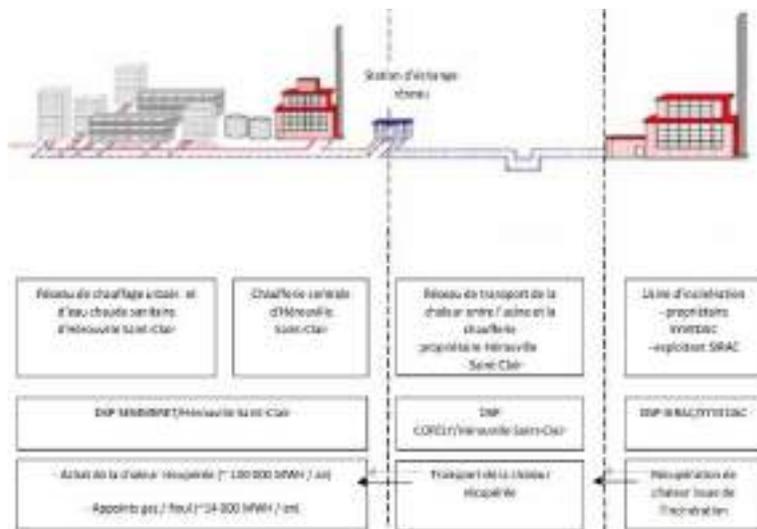


Figure 14 : Schéma des acteurs du réseau de chaleur (Source : Chambre Régionale des Comptes)

Afin de transporter l'énergie de son point de production à Colombelles au lieu de consommation à Hérouville-Saint-Clair, le réseau de chaleur traverse le nord de la presqu'île. La totalité de la puissance à destination d'Hérouville-Saint-Clair transitant par la presqu'île, la densité de puissance y est maximale. Ceci étant, il est potentiellement envisageable de raccorder les futurs bâtiments à ce réseau.



Figure 15 : Traversée des Paysages Habités par le réseau de chaleur urbain d'Hérouville

En rouge est matérialisée la liaison entre l'UIOM et le réseau de chaleur de la commune d'Hérouville-Saint-Clair. On constate qu'il passe juste sur le projet d'Hérouville « Les Paysages Habités » et que le raccordement de la zone à ce réseau serait ainsi relativement simple et peu coûteux.

3.4.4. Opportunité de création d'un réseau de chaleur sur Caen Presqu'île

La rentabilité d'un réseau de chaleur dépend de la densité des besoins énergétiques des bâtiments du périmètre dans lequel s'inscrit le réseau, en MWh par année par mètre de canalisation posée.

Une densité de 1,5 MWh/an/m est la valeur actuellement d'usage pour l'analyse préliminaire de pré faisabilité économique d'un réseau de chaleur.

Pour de moindres densités, on considère que les besoins énergétiques des bâtiments ne sont pas suffisants pour justifier l'investissement dans un réseau de chaleur.

Afin d'évaluer la densité des besoins énergétiques des bâtiments, la longueur des canalisations d'éventuels réseaux de chaleur à intégrer au plan masse du projet d'aménagement a été mesurée à l'aide du logiciel Géoportail.

Ces mesures ont été effectuées secteur par secteur en considérant d'une part une production de chaleur au droit du secteur, d'autre part une production de chaleur au droit de la station d'épuration du Nouveau Monde de Caen la Mer (STEP) où deux ENRR sont potentiellement exploitables (calories des eaux usées épurées par échangeur et pompe à chaleur, cf. § 4.4 page 34 ; valorisation énergétique d'une méthanisation des boues, cf. § 4.5 page 40).

Etant donné que le secteur Nouveau Bassin est traversé par l'Orne, il serait nécessaire de relier ces deux zones avec une canalisation traversant le fleuve, ce qui diminuerait la densité énergétique du secteur. Afin d'obtenir des résultats plus précis, le secteur a donc été évalué

dans sa globalité puis par « sous-secteur », Nouveau Bassin rive gauche et Nouveau Bassin rive droite.

Secteurs d'implantation	Nouveau bassin global	Nouveau bassin rive droite	Nouveau bassin rive gauche	Hérouville Paysages Habités	Mondeville Cœur Calix
Besoins (MWh/an)	3332	2067	1265	4864	1530
Linéaire de réseau intra-secteur (m)	2071	1150	691	2400	550
Linéaire supplémentaire si raccordement à la STEP (m)	750	750	1080	1600	360
Densité intra-secteur (MWh/an/m)	1,6	1,8	1,8	2,0	2,8
Densité si raccordement à la STEP (MWh/an/m)	1,2	1,1	0,7	1,2	1,7
Opportunité de densification	Secteur Industries nautiques		Secteur Cœur Presqu'île	Secteur Presqu'île Portuaire	

Tableau 4 : Potentiel de mise en place de réseaux de chaleur

La configuration de réseau sur laquelle se base l'évaluation du linéaire pour le Nouveau Bassin est représentée sur les figures 16 et 17. La mesure pour les secteurs d'Hérouville et de Mondeville a été effectuée sur le même principe.



Figure 16 : Schéma de principe du tracé d'un réseau de chaleur Nouveau Bassin rive gauche



Figure 17 : Représentation du réseau de chaleur Nouveau Bassin rive droite

Selon notre analyse illustrée par le tableau et les figures ci-avant, l'opportunité de création de réseaux de chaleur « intra-secteurs » est présente sur les quatre secteurs étudiés : sous réserve d'une production de chaleur située au sein de chaque secteur, la densité de besoins énergétiques prévisionnels apparaît suffisante pour envisager la faisabilité de réseaux de chaleur. On peut donc imaginer quatre sites de production de chaleur différents, répartis au prorata des besoins en puissance de chaque zone.

Seul le secteur « Cœur Calix » sur Mondeville présente une densité de besoins énergétiques suffisante et une proximité relative avec la station d'épuration (STEP) pour envisager un réseau de chaleur alimenté par une ENRR issue de cette STEP.

En revanche, pour les « Paysages Habités » sur Hérouville Saint-Clair et le « Nouveau Bassin » sur Caen, un réseau de chaleur alimenté par une ENRR issue de la STEP ne pourra s'envisager qu'en synergie avec d'autres preneurs de chaleur potentiels permettant de densifier les besoins énergétiques.

Ainsi, les « Paysages Habités » pourraient profiter de l'aménagement de « La Presqu'île portuaire », secteur situé entre la STEP et les « Paysages Habités ».

Le « Nouveau Bassin » sur Caen pourrait profiter de l'aménagement :

- du secteur « Industries nautiques » situé entre la STEP et le « Nouveau Bassin » ;
- du « Cœur Presqu'île portuaire », secteur limitrophe qui pourrait présenter une densité de besoins de chaleur significative.

4. Gisements énergétiques de la zone d'étude

Les potentiels de gisement d'énergies renouvelables sur le territoire de Caen Métropole sont les filières suivantes :

- l'énergie éolienne,
- l'énergie solaire,
- bois-énergie ;
- la méthanisation (à partir d'effluents du cheptel, des eaux usées et des déchets),
- la récupération de chaleur sur eaux usées ;
- la géothermie ;
- la micro-hydroélectricité

Ces potentiels de gisement ont été estimés dans l'étude du potentiel en énergie renouvelables de Caen Métropole réalisée par Explicit et datant de Mars 2011.

A ces données, s'ajoute l'usine d'incinération de Colombelles qui alimente le réseau de chaleur de la ville d'Hérouville.

4.1. L'énergie éolienne

4.1.1. Principes

L'énergie mécanique du vent est considérée comme une énergie renouvelable. Les vents sont des mouvements de masse d'air qui sont générés à partir de l'énergie solaire et la rotation de la Terre. Une éolienne transforme alors l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique par l'intermédiaire d'une hélice.

Idealement, la loi de Betz détermine le rendement optimum d'une installation éolienne. Ainsi, il est admis qu'une éolienne ne pourra jamais convertir en énergie mécanique plus de 16/27^{ème} de l'énergie cinétique contenue dans le vent. D'autre part, en considérant les rendements maximums des générateurs électriques actuels (de l'ordre de 30 %), une éolienne atteint, à l'optimum, 18 % de rendement.

L'éolien comprend des machines de quelques watts de puissance à plusieurs MW :

- Les éoliennes de grande puissance, jusqu'à 2,5 MW et d'une hauteur totale de 60 à 120 m, composent la plupart des parcs éoliens mis en projet aujourd'hui.
- Les éoliennes de moyenne puissance, 200-400 kW et inférieures à 50-60 m de hauteur, sont souvent isolées et appartiennent en général à des acteurs locaux.
- Les éoliennes de faible puissance, inférieures à 10 kW, sont de types très variables, elles sont souvent individuelles et non raccordées au réseau public.

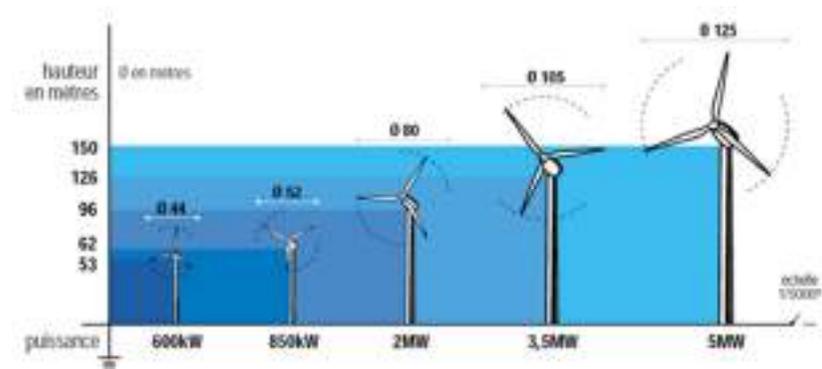


Figure 18 : Rapport entre la taille et la puissance d'une éolienne (Source : les 7 Vents du Cotentin)

Grandes et moyennes éoliennes

Les éoliennes produisent dès que la vitesse du vent atteint 15 km/h et jusqu'à 90 km/h. Leur rendement devient optimal à partir de 50 km/h.

Les éoliennes de grande et moyenne puissance ne sont pas adaptées au milieu urbain. Si on les rencontre dans certaines zones industrielles, elles sont peu compatibles avec les espaces dédiés à l'habitat.

Petites éoliennes

Depuis quelques années, un nouveau type d'éoliennes de petite taille et de petite puissance destinées à être implantées en milieu urbain a vu le jour. Cette nouvelle technologie permet d'élargir le choix en matière d'énergies renouvelables.

Les éoliennes urbaines sont des aérogénérateurs de quelques centaines de watts à quelques dizaines de kW. Ce sont des turbines adaptées à un nouveau potentiel énergétique qui impose des contraintes particulières que sont la turbulence, des vitesses de vent affectées par l'environnement, les vibrations, le bruit ou encore les considérations d'aménagement. Elles peuvent se classer en deux grandes catégories suivant l'orientation de l'axe de leurs pales, horizontal ou vertical. Elles peuvent être implantées sur les toitures.

Cependant, ces petites éoliennes en milieu urbain sont des produits appartenant à un marché de niche encore naissant. Les installations et les connexions au réseau sont également assez limitées. Par conséquent, pour voir grandir ce marché, un effort de communication, d'accès à l'information et surtout d'incitations doit être réalisé essentiellement dans les domaines de la régulation, des procédures administratives ou encore des questions de coûts.

Chiffres clés de l'éolien :

- Coût d'investissement pour le grand éolien : 1 100 à 1 400 € HT / kW *
- Coût d'entretien annuel : 42 - 52 € HT par kW *
- Coût d'investissement pour le petit éolien : 10 000 à 15 000 € HT / kW

* : Source : Rapport ADEME « Coût des énergies renouvelables en France », édition 2016

4.1.2. Aspects réglementaires

Grand et moyen éolien

Désormais la loi portant engagement national pour l'environnement, dite « Grenelle 2 » impose un minimum de puissance de 15 MW et un nombre de 5 éoliennes par parc, ainsi qu'une distance minimale de 500 m entre les turbines et les zones d'habitation. Les éoliennes doivent être implantées dans le périmètre d'une zone de développement éolien (ZDE) qui est définie par le préfet.

Les parcs éoliens comprenant au moins une éolienne dont la hauteur du mât est supérieure ou égale à 50 m, ou comprenant des éoliennes dont le mât a une hauteur inférieure à 50 m mais supérieure à 12 m, sont soumis à la réglementation ICPE sous la rubrique n°2980 (déclaration ou autorisation).

Ces dispositions rendent relativement difficile l'intégration d'une production éolienne proche d'un projet constructif.

Petit éolien

Au-delà de 12 m de hauteur (comptée entre le sol et la partie supérieure de la nacelle), un permis de construire est nécessaire pour implanter une éolienne. L'interprétation restrictive des règles générales d'urbanisme laisse à penser que pour des éoliennes placées sur un bâtiment, la hauteur à prendre en compte inclue la hauteur du bâtiment. Les études nécessaires à la réalisation d'une notice d'impact accompagnant un permis de construire sont par ailleurs coûteuses.

Le petit éolien ne rentre pas dans les critères de définition des ZDE car le mât a une taille inférieure à 30 m et par conséquent, le petit éolien ne bénéficie pas du tarif de rachat réglementaire des ZDE.

Tarif d'achat de l'électricité

La France a choisi de soutenir le développement de l'éolien par la mise en place d'une obligation d'achat de l'électricité produite à partir de l'énergie du vent. Ce tarif favorise largement le grand éolien mais ne s'applique pas vraiment aux caractéristiques du petit éolien qui connaît des coûts d'installation et de production plus élevés. L'arrêté du 17 novembre 2008 fixe le tarif d'achat de l'énergie éolienne.

Les éoliennes sont soumises à la réglementation sur le bruit du voisinage et doivent respecter un niveau d'émergence sonore (différence entre un site avec et sans éolienne)

qui doit être inférieur à 5 dBA le jour (7h-22h) et inférieur à 3 dBA la nuit (22h-7h) à l'extérieur d'une habitation.

4.1.3. Potentiel régional

La France dispose du deuxième gisement éolien d'Europe après le Royaume-Uni. Au sein du territoire français, la Normandie représente l'un des espaces les plus favorables et possède le deuxième potentiel derrière la Bretagne. En effet, la Normandie est une région relativement bien exposée aux vents.

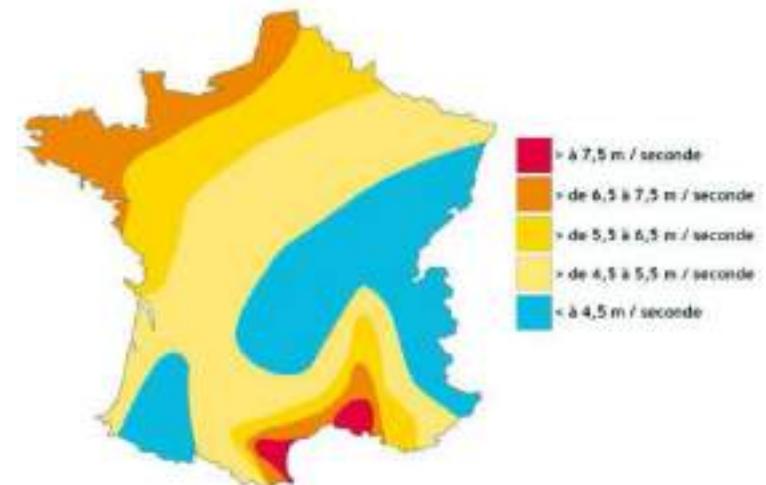


Figure 19 : Cartes des vents pour la France (Source : Etude du potentiel en énergies renouvelables de Caen Métropole (Explicit))

D'après la carte ci-dessus, le territoire de Caen Métropole est favorablement desservi par le vent, avec des vents moyens atteignant 6,5 à 7,5 m/s, soit une ressource permettant le développement du grand éolien.

D'après le Schéma Régional Eolien de Basse-Normandie datant de septembre 2012, 11 ZDE sont autorisées dont 3 dans le Calvados :

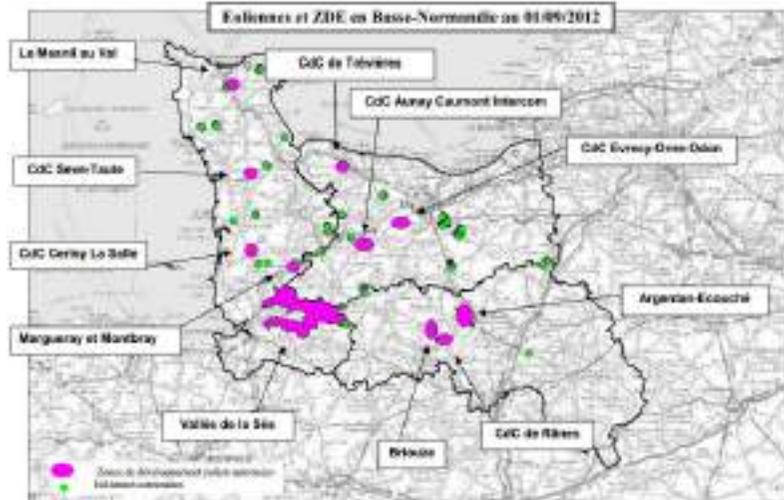


Figure 20 : Eoliennes et ZDE en Basse-Normandie au 01/09/2012 (Source : SRE Basse-Normandie)

D'après Biomasse-Normandie, le département du Calvados possède 10 parcs éoliens en 2010, représentant une puissance totale de 124 000 KWh :

	Nombre d'éoliennes	Puissance installée (kW)	Année de mise en service
Chicheboville-Conteville	8	12 000	2006
Saint Martin des besaces	2	6 000	2006
Aubigny-Saint Pierre-Canivet - Soulangy	5	10 000	2007
Sallan	4	8 000	2008
Soulangy	5	10 000	2009
Fierville Bray-Airan-Vieux Fume - Conde sur Ifs	14	28 000	2009
Frenouville	6	12 000	2009
Garcelles Secqueville - Conteville	8	16 000	2009
Family	5	10 000	2010
Rully	6	12 000	2010
Total	63	124 000	

Tableau 5 : Les parcs éolien dans le Calvados (Source : Production d'énergies renouvelables et efficacité énergétique dans le Calvados – Etat des lieux en 2010 – OBNEC)

Comme vu dans la partie « Aspects réglementaires », les éoliennes relèvent de la législation des ICPE. Pour les grandes éoliennes de plus de 30 m de haut, le respect d'un certain nombre de critères (périmètre de 500 m autour des zones destinées à l'habitation, les

réserves naturelles, les ZNIEFF de type 1, les sites classés et inscrits, etc.), a permis l'élaboration d'une carte des zones d'exclusion des grandes éoliennes sur le territoire de Caen Métropole. Cette dernière est présentée ci-dessous :

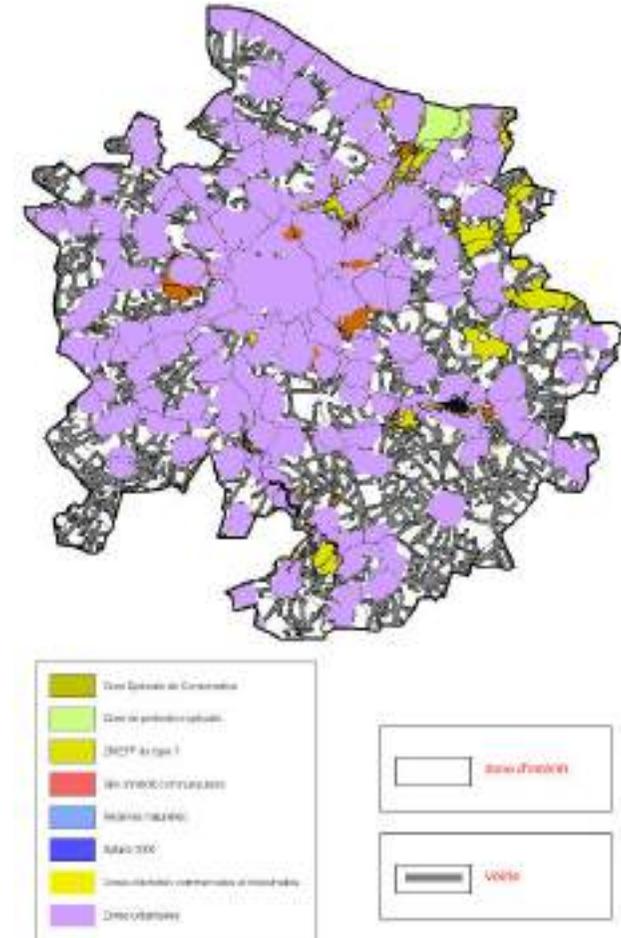


Figure 21 : Carte des zones d'exclusion du grand éolien (Source : Etude du potentiel en énergie renouvelables de Caen Métropole (Explicit))

La superficie restante est de 212 km² sur le territoire de Caen Métropole, soit 23 % du territoire.

Les secteurs d'étude étant en zone urbanisée, le développement de grandes éoliennes n'est pas permis.

4.1.4. Potentiel local

Les cartes suivantes illustrent les potentiels en vents à l'échelle de Caen Métropole. Il est particulièrement visible que l'urbanisation de la ville de Caen altère la ressource en vent (< 6 m/s).

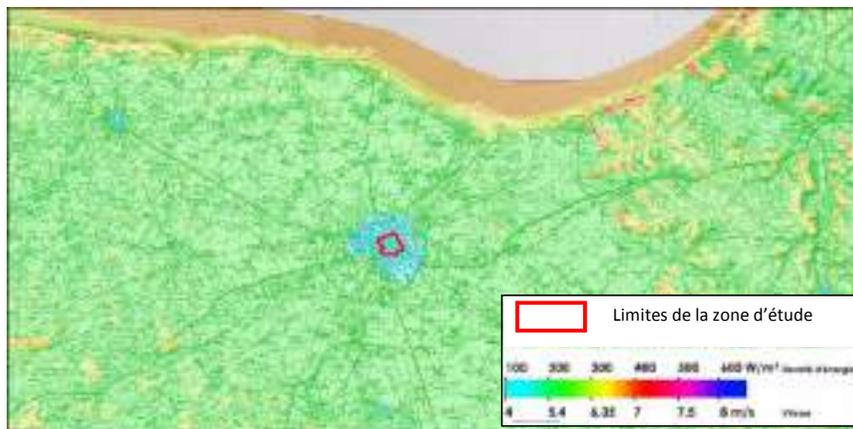


Figure 22 : Ressource en vent à 30 m du sol (Source : les 7 Vents du Cotentin)

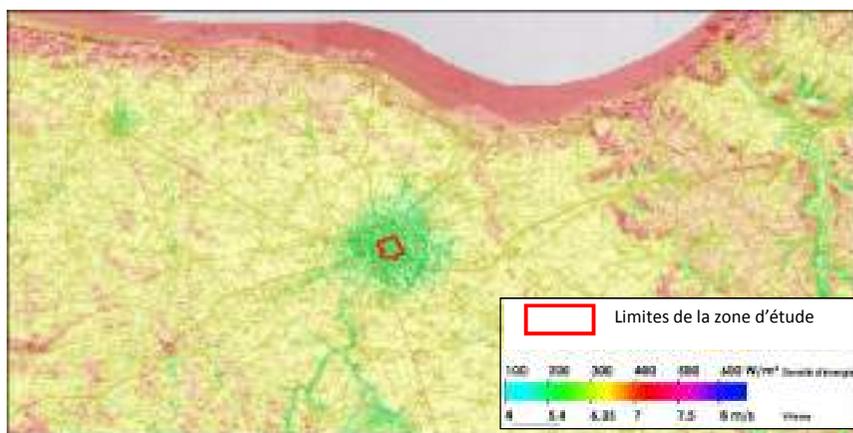


Figure 23 : Ressource en vent à 60 m du sol (Source : les 7 Vents du Cotentin)

La station météorologique la plus proche des trois secteurs d'étude est celle de Caen-Carpique.

D'après la rose des vents de la station Caen-Carpique sur la période 1991-2010, les vents du secteur proviennent majoritairement du sud-ouest. C'est également de cette direction que les vents sont les plus forts. En effet, 72 % des vents d'une vitesse supérieure à 8 m/s soufflent de cette direction. Près de 8 jours sur l'année connaissent des rafales de vents d'une vitesse supérieure ou égale à 8 m/s.

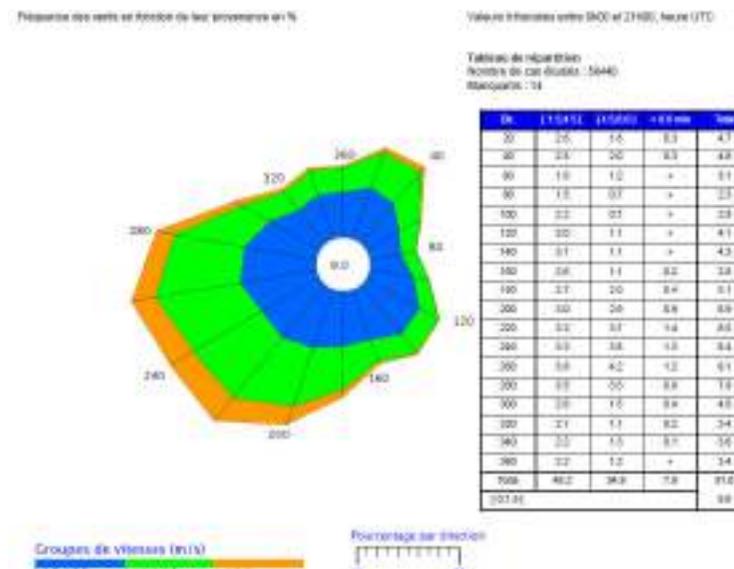


Figure 24 : Rose des vents de la station de Caen-Carpique (Source : Météo France)

A Caen, la moyenne annuelle de vitesse des vents sur 10 min est de 4,6 m/s.

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
Vitesse moyenne de vent (m/s)	5,6	5,2	5,1	4,6	4,2	3,9	4,0	4,0	4,1	4,6	4,8	5,1	4,6

Tableau 6 : Vitesse du vent moyenné sur 10 min (en m/s) de 1981-2010

(Source : Météo France)

A une échelle et une hauteur plus réduite, on peut imaginer que l'Orne et son canal, vierges d'obstacles, constituent des couloirs privilégiés pour le vent. Ils sont illustrés sur la carte suivante.



Figure 25 : Couloirs de vents potentiels (Source : les 7 Vents du Cotentin)

Comme vu précédemment, les secteurs d'étude, situés en milieu urbain, ne bénéficient pas des conditions d'implantation de grandes et moyennes éoliennes. Cependant, ils bénéficient de conditions exploitables pour la mise en œuvre de petites éoliennes.

Deux petites éoliennes de 6 kW sont installées sur le site des services techniques municipaux de la Cotonnière, au Nord-Ouest de Caen.

D'une manière générale, il est difficile d'évaluer le potentiel d'installation d'une éolienne urbaine. Cependant quelques règles permettent de choisir un emplacement pour une meilleure exploitation de la ressource :

- le toit doit être bien au-dessus de la hauteur moyenne des constructions environnantes,
- dans le contexte urbain du projet, il convient de privilégier une éolienne à axe vertical adaptée aux flux turbulents et qui permet d'éviter de surélever l'installation par rapport au bâtiment, comme c'est le cas pour une éolienne à axe horizontal,
- la rose des vents doit indiquer une vitesse moyenne d'au moins 5 m/s, ce qui est le cas du secteur d'étude (moyenne de 9 m/s, cf. Figure 24).

Les gammes de puissance électrique disponibles fournies par ces éoliennes sont de l'ordre de 2 à 20 kW. La production d'électricité d'une éolienne urbaine est donc relativement faible et ne permettrait pas de répondre aux besoins énergétiques du projet.

En plus de ces contraintes techniques, les contraintes économiques, la faible maturité de la filière, la réticence de la population et les incertitudes réglementaires sont autant de frein à la production de ce type d'énergie.

4.1.5. Impact sur l'environnement

La production d'énergie éolienne nécessite la réalisation d'une étude d'impact. En effet, à l'échelle locale, il existe un risque que les vents changent, s'intensifient ou s'atténuent, ce qui influencerait sur la performance des parcs en place. De plus, la présence de grandes centrales éolienne peut provoquer la déviation d'un couloir de vent : ainsi l'installation des mâts et leur orientation doivent être pensées à cet effet.

Au niveau national et planétaire, les retombées environnementales de l'éolien sont nettement favorables. L'électricité issue de l'éolien n'est pas génératrice de GES en phase de production. L'éolien s'avère ainsi être une alternative dans une optique de lutte contre le réchauffement climatique.

Cependant l'acceptation locale, soucieuse des éventuelles nuisances sonores ou visuelles, peut constituer une contrainte significative.

4.1.6. Exemples d'applications



Figure 26 : Eoliennes à axe horizontal de la Communauté d'Agglomération de Caen la Mer



Figure 27 : Petite éolienne à axe vertical de type Darrieus (Source : Anemoos)



Figure 28 : Eolienne à axe vertical (Source : Quientrevolution)

4.2. L'énergie solaire

4.2.1. Principe

Chaque année, le soleil fournit 15000 fois plus d'énergie que la consommation commerciale de la population mondiale. Dans l'absolu, il suffirait de savoir utiliser une proportion infime de cette énergie pour subvenir aux consommations énergétiques. Dans la pratique, différentes problématiques se posent pour son exploitation : rendement faible des technologies, prix d'achat, contraintes de stockage, etc.

4.2.1.1. Solaire passif

Le solaire passif regroupe les solutions qui utilisent passivement l'énergie du soleil pour l'éclairage naturel, le chauffage des locaux et leur climatisation. Le solaire passif s'intègre donc plutôt à la conception du bâtiment et consiste à intégrer au mieux le bâtiment dans son environnement en profitant de façon optimale des apports solaires par le choix des matériaux, la disposition des ouvertures, l'exposition de l'habitation, la disposition des pièces, etc.

La démarche d'utilisation de l'énergie solaire passive peut être décrite en plusieurs étapes :

- prévoir les façades principales des bâtiments au sud,
- assurer un recul suffisant entre les bâtiments pour permettre un accès au soleil au Sud dans les conditions les plus favorables.

4.2.1.2. Solaire actif

Au-delà de l'usage passif de l'énergie solaire, il existe diverses applications permettant d'exploiter indirectement cette énergie. L'ensemble de ces technologies est regroupé sous la dénomination : solaire actif.

Trois grands types d'applications peuvent être envisagés :

- le solaire photovoltaïque : la conversion de l'énergie solaire en électricité par l'intermédiaire de cellules photovoltaïques,
- le solaire thermique : l'ensemble des applications destinées à la production de chaleur, par l'intermédiaire de capteurs et de concentrateurs,
- Le solaire à concentration : vaporisation de l'eau pour alimenter une turbine.

❖ Le solaire à concentration

Le solaire à concentration nécessite une ressource particulièrement dense, comme c'est le cas dans des zones de fort ensoleillement (Afrique du Nord, Nord de l'Australie...). A la latitude caennaise, cette ressource est insuffisante.

❖ Le solaire photovoltaïque

Les panneaux solaires photovoltaïques convertissent l'énergie solaire en énergie électrique. Ils fonctionnent par intermittence, et peuvent fonctionner par temps clair ou diffus.

Les technologies de cellules les plus utilisées sont celles des cellules monocristallines, polycristallines et couches minces (amorphe) :

- Les modules cristallins – rendement typique : 12 à 15 % – dominant actuellement le marché, ils ont un rendement élevé et une longue durée de vie. Les cellules cristallines sont plutôt utilisées pour les fenêtres ou les façades ainsi que les toitures lorsque l'espace est limité.
- Les modules en couches minces - rendement typique : 6 à 8%, sont créés par le dépôt d'une couche mince de semi-conducteurs sur une surface homogène et lisse (verre, métal... ou même plastique flexible). Malgré leur rendement inférieur à celui des cellules cristallines, leur fabrication exige moins de semi-conducteurs d'où un coût moindre au mètre carré. Cependant le coût au kWc est équivalent pour les deux systèmes. Les produits en couches minces sont particulièrement adaptés aux endroits où la surface à couvrir est importante (toitures, bâtiments industriels).

Exploitation de l'électricité photovoltaïque :

Les systèmes photovoltaïques peuvent être raccordés au réseau électrique ou utilisés en site isolé.

Au niveau de l'interface avec le réseau, deux options de branchement sont possibles :

- l'injection de la totalité de la production sur le réseau : dans ce cas, l'intégralité de la production est vendue au tarif réglementé. Un point de branchement spécifique à la production est alors créé par EDF (ou régie). Toute la consommation est par ailleurs comptabilisée par un compteur de consommation.
- l'injection des excédents (ou surplus) de la production sur le réseau : dans ce cas, la production électrique consommée sur place par les appareils en cours de fonctionnement n'est pas comptabilisée par le compteur de production, mais vient réduire le décompte de la consommation. Seul le surplus de la production par rapport aux consommations instantanées est vendu.

La technologie de la production d'électricité du photovoltaïque raccordée au réseau et intégrée au bâti est aujourd'hui techniquement maîtrisée. Les modules photovoltaïques ont obtenu toutes les validations techniques. La durabilité du matériel en soit et la garantie de capacité de production (20 à 26 ans pour les cristallins) sont telles que les panneaux photovoltaïques, lorsqu'ils sont intégrés à un bâtiment, disposent souvent d'une durée de vie garantie plus longue qu'un grand nombre de composants du bâtiment.

Chiffres clés du solaire photovoltaïque (Rapport ADEME « Coût des énergies renouvelables en France », édition 2016):

- Coût d'investissement : 1 600 à 1 900 € par kWc de panneau installé en toiture
- Coût d'entretien annuel : 48 € HT par kWc de panneau installé.
- Coût de production : 145 à 230 € HT /MWh selon le taux d'actualisation, considéré entre 3 et 10 %.

❖ Le solaire thermique

Le solaire thermique correspond à la conversion du rayonnement solaire en énergie calorifique, à plusieurs niveaux de température. Traditionnellement, ce terme désigne les applications à basse et moyenne température dans le secteur du bâtiment, les plus répandues sont le chauffage de piscines, la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage de locaux.

Exploitation du solaire thermique :

Un capteur solaire thermique permet de transférer l'énergie du rayonnement solaire à un fluide qui va chauffer. L'eau chaude (jusqu'à 80°C) ainsi produite peut avoir plusieurs utilisations :

- eau chaude sanitaire le plus souvent, dans le cas des Chauffe-Eau Solaire Collectifs (CESCI) et/ou individuels (CESI) ;
- chauffage de l'habitation, c'est le cas des Systèmes Solaires Combinés (SSC) ;
- d'autres applications comme le chauffage de l'eau des piscines.

Le principe d'une installation d'eau chaude solaire est donc simple : l'eau sanitaire est préchauffée par le solaire, un appoint apporte le complément d'énergie nécessaire. Cet appoint peut être fourni par une énergie classique, une autre énergie renouvelable, comme le bois ou une PAC, ou un réseau de chaleur.

Chiffres clés du solaire thermique (Rapport ADEME « Coût des énergies renouvelables en France », édition 2016):

- Coût d'investissement CESCI : 650 à 1 050 € HT par m² de panneau installé.
- Coût d'entretien CESCI : 10 € HT par m² de panneau installé par an.
- Coût de production CESCI : 120 à 160 € HT / MWh selon le taux d'actualisation.

4.2.2. Aspects réglementaires

L'installation de capteurs solaires participe à l'aspect bâti et architectural de la construction et nécessite une déclaration ou une autorisation à construire. L'obtention de cette autorisation est un préalable à toute installation, quelle que soit sa taille.

Dans la plupart des cas, l'autorisation sera une déclaration de travaux exemptée de permis de construire (DTEPC) comme défini dans l'article R422-3 du code de l'urbanisme. En effet, dans la mise en place d'un chauffe-eau individuel seul ou pour les installations collectives, les articles R422-2 du code de l'urbanisme et 30 de la loi de programme du 13 juillet 2005, fixant les orientations de la politique, définissent le cadre légal du projet.

Article R422-2 du Code de l'urbanisme :

« Sont exemptés du permis de construire les constructions ou travaux n'ayant pas pour effet de changer la destination d'une construction existante et / ou qui ont pour effet de créer, sur un terrain supportant déjà un bâtiment, une surface de plancher hors œuvre brute (SHOB) inférieure ou égale à 20m². Dès lors, une simple déclaration de travaux est nécessaire pour l'installation de capteurs sur tous bâtiments existants (façades ou toitures) ».

Article L.128-1 du Code de l'urbanisme :

« Le dépassement du coefficient d'occupation des sols est autorisé, dans la limite de 20% et dans le respect des autres règles du plan local d'urbanisme, pour les constructions remplissant des critères de performance énergétique ou comportant des équipements de production d'énergie renouvelable. Un décret en Conseil d'Etat détermine les critères de performance et les équipements pris en compte. La partie de la construction en dépassement n'est pas assujettie au versement résultant du dépassement du plafond légal de densité ».

Article 31 de la loi du 13 juillet 2005 :

« Recommander l'utilisation des énergies renouvelables pour l'approvisionnement énergétique des constructions neuves, en fonction des caractéristiques de ces constructions, sous réserve de la protection des sites et des paysages. »

Dans le cas d'un bâtiment neuf, les capteurs solaires deviennent un élément de composition architecturale dont il faut tenir compte dans le permis de construire. Enfin, dans certains cas de figure plus spécifiques, l'autorisation peut prendre la forme d'un permis de construire. C'est le cas lorsque les capteurs solaires font partie d'un projet de réhabilitation complet du bâtiment et participent à la nouvelle architecture du bâti.

Les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau, bénéficient actuellement de conditions particulières d'obligation d'achat. Cela se traduit par l'obligation donnée à EDF (ou la régie) d'acheter la production injectée sur le réseau à un tarif réglementé (c'est-à-dire imposé par la loi). L'arrêté actuellement en vigueur est l'arrêté du 4 mars 2011 (modifié) qui concerne les nouveaux projets. Les tarifs sont garantis sur une durée de 20 ans. Les tarifs d'achat sont ajustés chaque trimestre.

4.2.3. Potentiel régional

D'après la carte ci-dessous, la région Basse-Normandie possède un ensoleillement moyen de 3,4 kWh/m²/j¹. Pour autant, ce niveau est suffisant pour permettre l'installation d'équipements solaires.



Figure 29 : Ensoleillement en France métropolitaine (kWh/m².j) (Source : Tecsol)

Selon l'étude réalisée par Explicit pour Caen Métropole, sur l'ensemble des 893 km² du territoire, l'ensoleillement quotidien représente 3 036 GWh/j, soit plus d'un million de GWh par an.

L'observatoire Bas-Normand de l'énergie et du climat (OBNEC) a effectué un état des lieux en 2010 de la production d'énergies renouvelables en Basse-Normandie. Cette étude révèle que, fin 2010, 87 800 m² de panneaux solaires photovoltaïques, réparti sur un peu moins de 1 700 installations et représentant une puissance de 11,0 MW, étaient installés en Basse-Normandie. 30 % de ces installations se situent dans le Calvados. Fin 2010, 9 900 m² de panneaux solaires thermiques, répartis sur un peu plus de 1 500 installations ont été recensés en Basse-Normandie dont 41 % dans le Calvados.

¹ Cette valeur prend en compte le rayonnement direct du soleil et le rayonnement diffus.

❖ **Le Solaire photovoltaïque**

Le potentiel de panneaux solaires qui peut être installé dans la région dépend de la surface de toitures disponible pour recevoir la ressource. Plusieurs paramètres peuvent contraindre cette disponibilité :

- Le classement du bâtiment,
- Les encombrements (cheminée, lucarne...),
- Les ombrages internes (ombre de la cheminée...) et externes (arbre, bâtiment voisin...)
- L'orientation de la toiture : pour un pan de toiture orienté plein Est, l'ensoleillement annuel est 15 % moindre que pour une orientation plein Sud ; dans le cas d'une orientation Nord ou Ouest, la ressource reçue est considérée comme trop faible et cette surface n'est pas prise en compte.

L'étude réalisée par Explicit a mis en avant que :

- 1 052 906 m² de surface dure et 81 715 m² de surface légère sont disponibles dans les zones industrielles et d'activités de Caen la Mer,
- 2 173 783 m² de toiture sont disponibles à Caen la Mer, hors zones industrielles et d'activités.

De plus, la typologie des logements exerce une influence sur la faisabilité d'un projet photovoltaïque. Les projets aboutissent plus facilement dans le cas des maisons individuelles. En effet, dans le cas des copropriétés, l'acquisition d'un système de production photovoltaïque en toiture du bâtiment nécessite l'accord de l'ensemble des copropriétaires, et une entente sur la mutualisation des coûts d'investissement et d'entretien, ainsi que sur la gestion des installations.

❖ **Le solaire thermique**

Les installations solaires thermiques ciblent souvent les maisons individuelles. Cependant, dans le cas de projet neuf, le solaire thermique collectif peut s'avérer plus avantageux (mutualisation des coûts du réseau d'eau et de la maintenance).

Ainsi, sur le territoire de Caen Métropole, le potentiel principal, en volume, provient des maisons individuelles en zone à faible et moyenne densité urbaine. La cible privilégiée, en revanche, constitue les bâtiments collectifs en projet de construction. En attente de la typologie des bâtiments de la ZAC

4.2.4. *Potentiel local*

D'après les données de Météo France à la station Caen-Carpique, le temps d'ensoleillement annuel à Caen est de l'ordre de 1691,2 heures. La période la plus ensoleillée s'étend de mai à septembre.

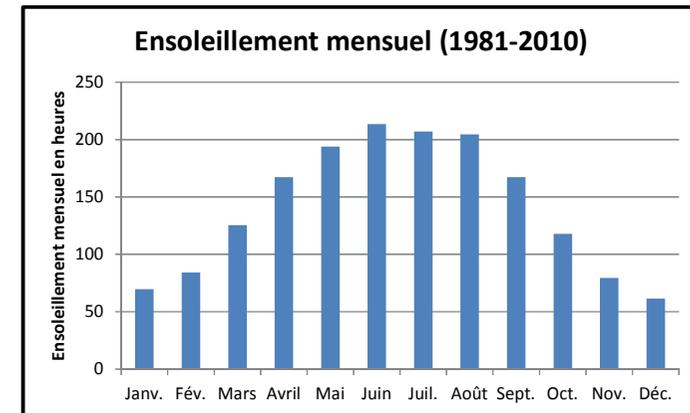


Figure 30 : Données d'ensoleillement moyennes mensuelles enregistrées à la station Caen-Carpique (1981-2010) (Source : Météo France)

Les variations d'azimut du soleil à Caen sont illustrées dans le graphique suivant :

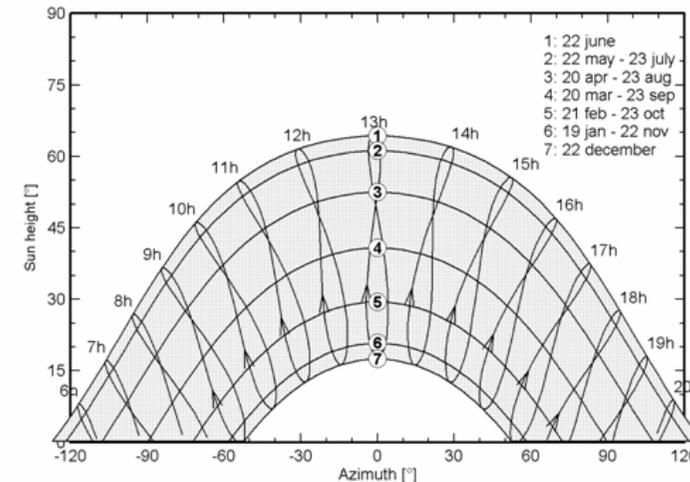


Figure 31 : Parcours du soleil à Caen, données Pléiades (Source : les 7 Vents du Cotentin)

L'angle optimal pour la pose de panneaux solaires à Caen varie selon la saison de 12° à 67° par rapport à l'horizontale. Sur l'année, il correspond à 36°.

Les données de potentiel ci-dessous constituent une référence fiable pour l'évaluation des gisements disponibles à Caen :

Mois	Energie reçue à l'horizontale (kWh/m2/jour)	Energie reçue à la verticale (kWh/m2/jour)	Energie reçue à 36° d'inclinaison (kWh/m2/jour)
Janvier	0,86	1,44	1,41
Février	1,57	2,21	2,35
Mars	2,67	2,71	3,40
Avril	4,13	3,02	4,63
Mai	4,96	2,74	5,00
Juin	5,46	2,65	5,25
Juillet	5,52	2,84	5,44
Août	4,67	3,04	5,01
Septembre	3,35	3,11	4,15
Octobre	1,95	2,46	2,76
Novembre	1,1	1,85	1,82
Décembre	0,69	1,22	1,16
Moyenne sur l'année (kWh/m2/jour)	3,1	2,4	3,5

Tableau 7 : Données d'ensoleillement mensuel à Caen (Source : PVGIS)

L'angle d'inclinaison optimal des panneaux, permettant de maximiser l'énergie solaire reçue sur l'année, est de 36° pour une zone orientée vers le sud. Les données d'ensoleillement sont très similaires à Hérouville-Saint-Clair et Mondeville, autres communes sur lesquelles s'étend le projet. On peut donc conserver ces valeurs d'ensoleillement pour toute la zone étudiée.

En supposant que les panneaux soient installés vers le sud, avec une inclinaison de 36°, l'énergie solaire annuelle reçue serait de 1275 kWh par mètre carré de surface. Considérant un rendement de conversion moyen de 12% sur le photovoltaïque, cela représente une production électrique annuelle de 150 kWh par mètre carré de panneaux installé. Le rendement est bien plus important pour le solaire thermique (chauffe-eau solaire), environ 35%. Cela correspondrait à une production annuelle de 450 kWh thermiques par mètre carré de panneaux installé.

Ainsi, les secteurs d'étude bénéficient de bonnes conditions pour l'exploitation de la ressource solaire.

Un projet de ferme solaire au cœur du Grand Pré est en cours d'étude pour la ville de Colombelles.

4.2.5. Aides au développement

Les pouvoirs publics ont mis en place un dispositif de crédit d'impôt à destination des particuliers pour l'acquisition d'équipements solaires thermiques. Ils peuvent bénéficier d'un crédit d'impôt de 50% du montant de l'équipement (montant limité à 8 000 € pour une personne seule et 16 000 € pour un couple, plus 400 € supplémentaire par personne à charge).

La production d'eau chaude solaire thermique collective figure parmi les EnR ciblées par le Fonds Chaleur de l'ADEME qui distribue des aides à l'investissement dans des projets de production de chaleur renouvelable dans l'habitat collectif, le tertiaire, l'industrie, l'agriculture et les projets des collectivités. Le montant du Fonds Chaleur a été de 1 milliard d'euros pour la période 2009-2011.

Pour les opérations de solaire thermique collectif non éligibles au Fonds Chaleur, l'ADEME et les Régions proposent des subventions dans le cadre des Contrats de Projet État Régions. L'ADEME cofinance également les études d'aide à la décision :

- Pour les pré-diagnostics solaires, l'ADEME fournit une aide allant de 50% pour un pré-diagnostic solaire simple à 70% si ce pré-diagnostic comporte un volet énergétique et thermique du bâtiment ;
- Pour les études de faisabilité, l'aide généralement versée par l'ADEME est de 50% sur une assiette de 75 000 €.

Les entreprises tertiaires peuvent aussi bénéficier d'une aide fiscale à l'investissement sous la forme d'un amortissement accéléré ou exceptionnel sur 12 mois.

4.2.6. Solaire photovoltaïque et environnement

La production d'électricité photovoltaïque présente un bilan environnemental favorable. L'impact majeur est la dépense énergétique pendant la phase de fabrication, provenant à plus de 40% du raffinage du silicium. Etant donné qu'un système photovoltaïque est un générateur d'électricité, cet effet est plus que compensé par son utilisation.

Le solaire thermique n'a aucun impact direct sur l'environnement. Un chauffe-eau solaire n'entraîne ni émission polluante, ni formation de déchets dangereux, ni nuisances sonores. Seules de minimes contreparties paysagères peuvent leur être reprochées. Du point de vue des impacts indirects, il existe peu de données permettant d'avoir une idée précise. L'usage du solaire thermique est profitable du point de vue de l'environnement et notamment vis-à-vis de la réduction des GES. Le solaire thermique est en effet une énergie de substitution très performante pour des solutions de chauffage utilisant des combustibles fossiles. Il est modulable et adaptable pour des solutions collectives et individuelles, décentralisées ou non.

4.2.7. Exemples d'application

❖ Solaire passif :

Les surfaces vitrées sont les éléments clés pour permettre les apports solaires passifs. Les pare-soleil optimisent ces apports dans les fenêtres et permettent d'en profiter l'hiver et d'éviter les surchauffes l'été.



Figure 32 : Illustration du principe du pare soleil

❖ **Solaire photovoltaïque**

Les applications solaires photovoltaïques présentent aujourd'hui des solutions économiques, techniques mais aussi esthétiques extrêmement variables. Les modules photovoltaïques intégrés aux bâtiments en vitrage, sur les murs, en toiture, ou en casquette deviennent des éléments de plus en plus prisés par les architectes, que ce soit en construction ou en rénovation. Le solaire photovoltaïque en solution d'éclairage urbain ou d'alimentation de systèmes électriques isolés (borne d'autoroute par exemple) est devenu commun.

Systemes non intégrés

Figure 33 : Sur châssis



Figure 34 : En surimposition

Systemes intégrés

Figure 35 : Intégration de toiture



Figure 36 : Membrane d'étanchéité



Figure 37 : Bac métallique



Figure 38 : Brise soleil



Figure 39 : Verrière



Figure 40 : Garde ciros et allège

Systemes intégrés au milieu urbain

Figure 41 : parking solaire



Figure 42 : éclairage public solaire

❖ Solaire thermique :

Figure 43 : CESI



Figure 44 : Chauffe eau solaire collectif

4.3. Bois-énergie**4.3.1. Principe**

La filière bois-énergie représente l'ensemble des applications du bois en tant que combustible. Le bois est une énergie participant au développement durable pour des raisons:

- **économique** : jusqu'à 6 fois moins cher que le fioul (voire gratuit dans certains cas),
- **social** : 4 fois plus d'emploi que le fioul et le gaz naturel,
- **environnemental** : neutre en CO₂, sa gestion permet l'entretien des espaces verts, des forêts et des haies champêtres.

Le bois-énergie est considéré comme une énergie renouvelable, à condition que le stock prélevé chaque année soit reconstitué.

Le bois-énergie peut être, soit la finalité d'un processus de valorisation du bois, ou encore une source de valorisation secondaire d'un sous-produit appelé aussi produit connexe.

On distingue les usages suivants :

- Le chauffage au bois individuel

Le chauffage au bois ne se limite plus, aujourd'hui, à la cheminée traditionnelle mais regroupe de nombreuses solutions techniques (poêle, insert, cheminée, chaudière). Les appareils modernes au bois sont comparables en terme de confort de chauffage mais aussi d'entretien ou d'autonomie aux systèmes gaz, fioul et électriques, tout en cumulant les avantages d'une énergie propre et renouvelable.

- Les chaudières collectives pouvant alimenter des réseaux de chaleur

Sur le territoire de Caen Métropole, le développement le plus probable est la production de chaleur. Les chaudières collectives sont donc détaillées plus en détails ci-dessous.

- Les centrales de cogénération chaleur électricité

La production d'électricité à partir de biomasse n'est envisageable que dans le cas de production combinée de chaleur et d'électricité (cogénération). La combustion de cette biomasse permet de dégager de la chaleur puis de produire de la vapeur. Cette vapeur a pour but d'alimenter dans un second temps soit des turbines vapeur soit des moteurs vapeurs pour la production d'électricité.

- L'unité de gazéification

Basée sur un procédé de dégradation incomplète de la biomasse sous l'action de divers agents oxydants tels que l'air, l'eau, cette installation est conduite de manière à privilégier la formation de gaz utilisables dans les moteurs ou les turbines.

Diverses filières peuvent être à même de proposer du bois-énergie pour l'approvisionnement de chaudières automatiques. Les ressources, nombreuses, peuvent être classées de la façon suivante :

- Les ressources naturelles issues de l'exploitation forestière, agricoles et de l'entretien du paysage (déchets humides) : Branchages, écorces, sciures, houppiers, souches.
- Les ressources industrielles de première transformation (scierie) –déchets humides – : sciures, dosses, délignures, plaquettes, copeaux de bois humides, écorces.
- Les ressources industrielles de deuxième transformation, ameublement, menuiserie... –déchets secs –: sciures, chute de bois, poussière de ponçage, copeaux de bois sec.
- Les ressources déchets : les bois de rebuts non souillés de catégorie A (palettes, cagettes, planches, bois de coffrage, caisse, cageot, traverses de chemin de fer, panneaux de particules, bois agglomérés, poteaux EDF).

Les chaudières automatiques à bois sont des générateurs de chaleur différents des chaudières à bûches traditionnelles, destinées aux particuliers. La figure ci-dessous représente les principaux éléments constitutifs d'une chaudière automatique à bois.



Figure 45 : Principaux éléments constitutifs d'une chaudière automatique à bois

Le combustible est envoyé automatiquement dans le foyer grâce à un système de convoyage (vis sans fin ou tapis), ce qui supprime complètement les manipulations quotidiennes de bois nécessaires avec une chaudière à bûches. La combustion est complètement maîtrisée grâce à la maîtrise des arrivées d'air, nécessaire à la combustion, et de la quantité de combustible envoyée dans le foyer. Le rendement atteint 80 % à 90 % ce qui a permis d'obtenir :

- des températures de fumées très basses (110°C),
- des cendres très fines produites en faibles quantités,

- peu de dégagements de poussières et de produits de combustion incomplète dans les fumées.

L'un des points clés pour la réussite d'une installation de chaudière bois est l'implantation du silo d'approvisionnement en bois. Il doit être facilement accessible pour des livraisons de combustible et être dimensionné pour assurer une autonomie suffisante en chauffage. Ainsi la livraison du bois nécessite une réflexion en amont sur l'accès à la parcelle et les manœuvres réalisables sur le site (rayon de courbure pour les véhicules de livraison).

La figure suivante représente les principales caractéristiques d'une chaudière automatique selon sa taille :



Figure 46 : Caractéristiques des installations de chaudières automatiques en fonction de leur taille (Source Association AILE)

Chiffres clés des chaufferies collectives bois-énergie (Ademe 2016) :

- Coût d'investissement : 610 à 1 290 € HT / kW installé.
- Coût d'exploitation : 18 à 23 € HT / MWh.
- Coût de production : 62 à € HT / MWh selon le taux d'actualisation.

4.3.2. Aspects réglementaires

La valorisation, comme combustible, de déchets de bois propre relève de la rubrique 2910 de la nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) :

- Toute installation de combustion du bois de puissance supérieure à 2 MW et inférieure à 20 MW est soumise à déclaration auprès des DREALS. L'arrêté du 25 juillet 1997 précise les dispositions applicables à ces installations.
- Toute installation de combustion du bois de puissance supérieure ou égale à 20 MW est soumise à autorisation préalable auprès des DREALS. L'arrêté du 26 août 2013 précise les dispositions applicables à ces installations.
- Pour les installations de puissance inférieure à 2 MW, il n'existe pas de procédure de déclaration ou d'autorisation au titre de la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement.

D'autre part, tout bois ayant été, même très légèrement imprégné ou revêtu, comme les bois de rebut, est considéré comme un déchet. Dans ce cas, la combustion de déchets de bois traités, peints, collés, souillés ou ayant subi tout autre traitement est considérée comme de l'incinération de déchets.

4.3.3. Potentiel régional

La région de Basse-Normandie est l'une des moins boisées de France, avec 8 % de forêts sur sa surface (169 000 ha). Toutefois, en raison d'une implication ancienne et manifeste dans le bois-énergie, la Basse-Normandie est l'une des régions qui exploite le plus son bois. Les forêts de Basse-Normandie sont exploitées avec un taux de prélèvement moyen de 85 %. L'utilisation du bois équivaut à 6 % des consommations d'énergie en Basse-Normandie en 2009, soit 107 GWh. D'après l'IFN, le gisement total sur la Basse-Normandie est de 2 535 GWh.

Le territoire de Caen métropole est moins densément boisé que la région Basse-Normandie avec 4 % d'emprise forestière (soit 3 900 ha). Sa surface forestière se compose à 93 % de forêts de feuillus, 4 % de forêts de conifères et 3 % de forêts mélangées. La prépondérance des feuillus (chênes, hêtres, etc.) est favorable à la filière bois-énergie ; en effet, les bois les plus adaptés pour le chauffage domestique sont les feuillus durs. En ce qui concerne les conifères (douglas, épicéa), ils sont davantage utilisés pour des usages professionnels particuliers comme la cuisson en four traditionnel car ils brûlent plus vite. Sur le territoire de Caen Métropole, la capacité de production de la forêt est de 6,7 m³ par ha et par an, et au total de 26 133 m³ annuel de bois. Les autres ressources en bois-énergie sont encore peu définies sur le territoire de Caen métropole : branchages des arbres élagués, les haies, etc. Leur exploitation augmenterait les ressources en bois de Caen Métropole.

Le contenu énergétique total du bois renouvelable exploité et non exploité de Caen Métropole est de 54 630 MWh/an, pour un volume total de 26 133 m³/an de bois vert.

D'après Biomasse Normandie, fin 2010, plus de 3100 équipements de chauffage domestique au bois ont été recensés en Basse-Normandie, représentant une puissance cumulée de 47,8 MW et une production de chaleur renouvelable de 226,9 ktep.

Concernant le chauffage collectif et industriel au bois, en 2011, 143 chaufferies collectives (85 MW de puissance installée) et une vingtaine industrielles (37,3 MW de puissance installée) étaient en service en Basse-Normandie, permettant la production de 32,2 ktep de chaleur renouvelable. Dans le département du Calvados, 6 chaufferies industrielles et 7 chaufferies collectives d'une puissance supérieure à 500 kW sont dénombrées, dont 2 collective à Caen.

Le développement en cours des chaufferies collectives alimentées par du bois-énergie constitue une cible à maintenir en s'appuyant sur les ressources en cours d'exploitation dans les régions normandes (voire à un échelon supérieur), et en favorisant voir en incitant à l'exploitation des ressources encore peu usitées (bocages, certains domaines forestiers privés).

4.3.4. Potentiel local

A l'échelle de Caen la Mer, le besoin de chauffage collectif s'élève à 552 951 MWh/an. Malgré un potentiel de production locale de bois-énergie faible, la demande existe. Comme le chauffage collectif en immeuble collectif représente 44 % des besoins de chauffage de Caen la Mer, ils constituent une cible intéressante pour la faisabilité de réseau de chaleur au bois-énergie.

En s'appuyant sur les ressources en cours d'exploitation dans la région et en incitant à l'exploitation des ressources peu utilisées (bocages, etc.), le bois-énergie représente un potentiel de production pour Caen la Mer.

La ville de Caen possède plusieurs chaufferies sur son territoire dont une d'une puissance de 520 kW pour les serres horticoles et une de 320 kW pour la copropriété Sainte-Paix.

Une étude de faisabilité de l'implantation d'une chaufferie bois sur le quartier Koenig à Bretteville-sur-Odon est actuellement en cours.

Une réflexion est également en cours pour étendre le réseau de chaleur d'Hérouville-Saint-Clair au nord-ouest en direction du CHU à 12 000 équivalent logements. Dans ce cadre, une chaufferie à bois pourrait être implantée afin de pouvoir répondre aux besoins de consommation en hiver.

Les Paysages habités étant situés au sud-est du réseau de chaleur et à proximité des canalisations principales entre l'UVE de Colombelles et le centre d'Hérouville Saint Clair, ce secteur peut également faire l'objet d'un projet d'extension du réseau existant associé à une chaufferie bois.

4.3.5. Aides au développement

L'installation d'une chaudière centrale fonctionnant au bois-énergie peut être subventionnée par l'ADEME, si le biocombustible utilisé est constitué au minimum de 50% de plaquettes forestières. L'ADEME a notamment lancé en 2010 un troisième appel à projet intitulé « Biomasse Chaleur Industrie, Agriculture et Tertiaire » (BCIAT 2011) avec un objectif indicatif de 175 000 tep/an. Il assure le financement des installations du tertiaire produisant plus de 1 000 tep/an à partir de biomasse.

Comme pour la plupart des énergies renouvelables, l'ADEME subventionne par ailleurs les études de faisabilité pour l'aide à décision d'installation de solutions bois-énergie :

- à hauteur de 25% en cofinancement s'il y a une aide du Conseil Régional (pouvant atteindre 40%),
- à hauteur de 50% en l'absence d'aide du Conseil Régional.

4.3.6. Le bois-énergie et l'environnement

Le bois est une énergie que l'on peut qualifier de renouvelable. En effet, le bois est un combustible neutre vis à vis du CO₂ : la quantité de CO₂ émise lors de la combustion, du transport et de l'ensemble du processus de transformation est réabsorbée par les plantes (arbres ou arbustes) dans le cadre du cycle naturel du carbone.

Le caractère renouvelable et neutre du bois énergie est, toutefois, conditionné par la gestion raisonnée de la ressource. En effet, la seule capacité du bois à être régénéré ne permet pas de qualifier le bois énergie d'énergie renouvelable. Car, si le bois est dans l'absolu issu de plantes, et donc, susceptible d'être reproduit, sa capacité de régénération est, elle, dépendante des modes de gestion de la forêt, des haies, etc.

Comparativement aux énergies fossiles, le bois est également une source bien moindre de pollutions. Les progrès réalisés en matière de rendement de chaudières et de traitement des fumées (filtre à manche, électrofiltre) ont conduit à réduire les composés à risques à l'état de traces.

4.3.7. Exemples d'applications

Un projet de chaufferie bois peut être l'occasion de créer un réseau de chaleur desservant plusieurs bâtiments. Sa création présente certaines particularités :

- la centralisation de la production d'énergie (gain de place, d'exploitation et d'investissement sur le long terme),
- le lissage des appels de puissance, permettant ainsi de raccorder des bâtiments peu ou plus intermittents, se complétant ainsi sur leurs besoins de chaleur tout au long de l'année.



Figure 47 : Chaufferie bois de Saint Hilaire du Harcouet (50) (Source : les 7 Vents du Cotentin)

4.4. Biogaz

4.4.1. Principes

Le biogaz est issu de la transformation par fermentation anaérobie de produits organiques non ligneux. La composition du biogaz est similaire à celle des gaz naturels bruts. C'est un mélange de méthane, de gaz carbonique, d'azote et de gaz traces. Selon la nature des déchets traités et les variations climatiques la composition du biogaz peut différer en proportion. On distingue le biogaz produit par les unités de méthanisation du biogaz récupéré sur des installations de stockage de déchets ultimes non dangereux. La méthanisation est le processus de formation d'un gaz à haute teneur en méthane à partir du biogaz.

L'ensemble des matières organiques fermentescibles est potentiellement valorisable énergétiquement à partir du biogaz qu'elles produisent. Les ressources peuvent être classées en quatre catégories :

- les résidus de cultures, issues de l'agriculture,
- les déjections animales, issues de l'agriculture d'élevage,
- les déchets d'industries agroalimentaires,
- les déchets des collectivités, issus des boues d'assainissement, des déchets des ménages...

La chaleur produite à partir de biogaz peut être utilisée de diverses manières. Les principaux usages sont présentés ci-dessous.

❖ Production de chaleur de d'électricité

La technique la plus simple pour la valorisation énergétique du biogaz consiste à utiliser celui-ci à des fins de production thermique à partir d'une chaufferie dédiée. Dans ce cas, la combustion du biogaz nécessite des brûleurs spéciaux alimentés avec une surpression supérieure ou égale à 300 mbar.

L'usage actuel le plus fréquent du biogaz consiste dans la production de chaleur et d'électricité par cogénération. Cette technique consiste à produire de l'électricité à partir d'un moteur et de récupérer la chaleur issue des pertes moteur issues en majorité des gaz d'échappement.

Un des intérêts des moteurs est que leur taille permet une grande souplesse d'utilisation et de fonctionnement. Le problème principal de l'utilisation de moteurs est qu'ils doivent être robustes et selon la qualité du biogaz, ils peuvent nécessiter une étape de purification du combustible avant d'être brûlé (trop d'impuretés). Le biogaz doit comporter au moins 40 % de méthane.

La production d'électricité seule ou en cogénération peut également s'effectuer avec une chaudière au biogaz, suivie d'une turbine à vapeur. Cette voie très classique pose peu de problèmes techniques et les contraintes d'épuration du biogaz sont celles que réclament les chaudières.

Chiffres clés de la cogénération biogaz (Ademe 2016) :

- Coûts d'investissement : 8 000 € HT / kWe installé.
- Coûts d'entretien : 58 à 130 € HT / MWh électrique.
- Coût de production : 95 à 165 € HT / MWh utile (chaleur et électricité) selon le taux d'actualisation

❖ La production de carburant

La mise au point de techniques d'épuration adaptées au biogaz, validées dans le cadre d'opérations pilotes de démonstrations mises en place à Lille et Tours, ouvrent des perspectives de valorisation du biogaz en tant que carburant automobile.

Pour cette application, les spécifications de pureté du gaz sont beaucoup plus sévères que pour les précédentes, puisque le biogaz utilisable comme carburant doit contenir un minimum de 96% de méthane.

❖ L'injection dans le réseau de gaz naturel

Une autre forme de valorisation du biogaz peut consister dans l'exportation du méthane aux consommateurs. Dans ce cas, 2 solutions sont à explorer :

- L'injection dans le réseau de gaz naturel,
- L'injection du biogaz par canalisations dédiées.

La première solution nécessite, dans l'état actuel, des conditions très strictes quant à la nature du produit injecté. La composition finale du biogaz injectable ainsi que sa pression dépendent des spécifications imposées par le gestionnaire du réseau. Ces dernières portent principalement sur les teneurs en méthane, en gaz carbonique, en hydrogène sulfuré et en oxygène, avec des contraintes supplémentaires sur la teneur en composés organo-halogénés. Le gaz injecté doit en outre être odorisé avant l'injection.

La deuxième solution peut être mise en place plus facilement. Ce type de projet peut résoudre les problèmes de distances importantes entre le site de production et de consommation.

4.4.2. Aspects réglementaires

Le site de l'ADEME (agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) propose une classification administrative des installations de méthanisation ainsi qu'un guide réglementaire et juridique.

Les unités de méthanisation traitant des déchets ménagers (ordures ménagères et boues de station d'épuration) relèvent de la rubrique ICPE n°2781-1. Ces installations sont soumises à enregistrement, déclaration ou autorisation. Les installations de combustion consommant exclusivement du biogaz produit par méthanisation sont soumis à enregistrement ou déclaration sous la rubrique n°2910-C.

Les principaux textes concernant les voies de valorisation énergétique sont les suivants :

- Valeurs limites des gaz de combustion : « circulaire du 10 décembre 2003 relative aux installations classées : installations de combustion utilisant du biogaz »
- Décret Juin 2004 : « décret du 15 juin 2004 relatif aux prescriptions techniques applicables aux canalisations et raccordements des installations de transport, de distribution et de stockage de gaz »

L'investissement dans les installations de production d'électricité à partir de biogaz est soutenu par la Commission de Régulation de l'Energie (CRE). Les installations sont alors rentabilisées par le tarif d'achat de la production. L'arrêté du 19 mai 2011 (modifié) fixe les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations qui valorisent le biogaz.

4.4.3. Potentiel régional

Le biogaz est l'un des potentiels énergétiques les plus importants de Basse-Normandie, notamment via la valorisation des déchets issus de l'agriculture.

Dans une étude réalisée par Biomasse Normandie en 2011, un inventaire des flux mobilisables a été effectué. Le gisement de substrats organiques mobilisables est estimé à 10,4 millions de tonnes par an pour la région et est composé en moyenne de 97 % d'effluents agricoles (10 millions de tonnes comprenant 65 % de fumiers et 35 % de lisiers). Les effluents et les déchets urbains représentent 110 000 à 260 000 tonnes selon le mode de mobilisation des bio-déchets contenus dans la poubelle d'ordures ménagères. Les sous-produits et effluents industriels (estimés à 80 000 tonnes) proviennent pour la plupart de boues d'épuration (à 63%), mais également de graisses et de sous-produits végétaux et animaux.

Fin 2011, 5 unités de méthanisations (valorisation du biogaz en chaleur et en électricité) étaient recensées en Basse-Normandie, aucune dans le Calvados. De plus, 9 installations de stockage des déchets ultimes non dangereux étaient recensées dans la région. Tous ces sites sont équipés d'un système de récupération du biogaz, six d'entre eux valorisent le biogaz via une production d'électricité et/ou de valorisation de chaleur.

4.4.4. Potentiel local

Dans le secteur d'étude rapproché, le biogaz issu des boues et graisses de la station d'épuration du Nouveau Monde de Caen la Mer n'est pas valorisé actuellement. Les boues résiduelles de la STEP sont valorisées en quasi-totalité dans l'agriculture comme engrais, suite à l'arrêté préfectoral d'autorisation du 16 décembre 2011. L'exploitation du potentiel biogaz de la STEP nécessiterait une diminution voire l'arrêt total de l'utilisation des boues pour l'épandage et/ou l'amendement agricoles, afin qu'elles soient valorisées en biogaz.

La co-digestion des boues et des graisses de la station avec d'autres déchets organiques est aussi envisageable. Ceux-ci peuvent être issus de la restauration collective et de l'industrie agroalimentaire, sources privilégiées car la valorisation de la part fermentescible de leurs déchets sera probablement obligatoire à court terme.

La valorisation de la partie fermentescible des déchets ménagers (quantité estimée à 40 % de 100 000 T de déchets) étant déjà réalisée par l'usine d'incinération des ordures ménagères de Colombelles, ce gisement est plus difficilement mobilisable.

La STEP traite actuellement 40 000 m³ d'eaux usées chaque jour, ce qui couvre les besoins d'une population de 240 000 habitants et de 1 700 hectares de zones d'activités. Annuellement, 80 000 T de quantité de boues et graisses récupérables est estimée.



Figure 48 : Localisation de la Station d'épuration du Nouveau Monde

Selon l'ADEME², chaque tonne de mélange boue/grasses issue d'une station d'épuration produit environ 120 kWh de potentiel énergétique en biogaz. Rapporté à la production en boues de la station, cela équivaut à une production annuelle de 9600 MWh de biogaz, avec un potentiel de puissance de 1,1 MW.

Ces valeurs correspondent à un potentiel « brut », correspondant à l'énergie renfermée dans le biogaz produit. Pour obtenir un potentiel « net », correspondant à une valeur d'énergie valorisable, il faut tenir compte des rendements des procédés et des pertes par l'application de différents ratios selon le type d'utilisation.

Les potentiels de puissance exploitable par une installation de valorisation thermique et/ou électrique du biogaz produit ont été évalués et sont présentés dans le tableau suivant.

² Rapport « Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation », Avril 2013

Type d'utilisation des 1 100 kW	Rendement électrique	Rendement thermique	Rendement global	Puissance électrique (kW)	Puissance thermique (kW)	Puissance utile (kW)
Chaudière	0,00%	90,00%	90,00%	0	990	990
Cogénération	35,00%	50,00%	85,00%	385	550	935
Turbine	35,00%	0,00%	35,00%	385	0	385

Figure 49 : Puissance récupérable à partir du biogaz

On constate que l'utilisation du biogaz par une chaudière offre le plus haut rendement et constitue une piste de valorisation intéressante comme la cogénération. Le potentiel n'est cependant pas suffisant pour les secteurs de Caen « Nouveau bassin » et d'Hérouville-Saint-Clair « Les Paysages habités » mais pourrait en revanche être adapté aux besoins thermiques du secteur de Mondeville « Le Cœur Calix ».

Une étude technico économique réalisée pour la Communauté d'Agglomération de Caen la Mer par le cabinet Bourgois a montré que la piste à privilégier pour une éventuelle valorisation énergétique du biogaz est une filière qui intéresse moins directement les besoins énergétiques des bâtiments du Plan Guide (confort thermique, ECS et électricité). Celle-ci consiste en l'injection du biométhane dans le réseau GRDF, actuellement privilégiée dans de nombreux projets de valorisation énergétique de biogaz, compte tenu d'une part des tarifs de rachat actuellement favorables à ce procédé, et au regard d'autre part de la densité des besoins énergétiques prévisionnels dans l'environnement de la STEP.

4.4.5. Aide au développement

Il existe 3 grands dispositifs de soutien à l'investissement dans les filières de production de chaleur à partir de biogaz :

Le Fonds Chaleur de l'ADEME :

Ses crédits sont attribués dans le cadre d'appels à projets ou en dehors. Seules les installations de production de biogaz pour une valorisation sous forme de chaleur sont éligibles aux aides du Fonds Chaleur. Les appels à projets BCIAT (Biomasse chaleur industrie agriculture et tertiaire), dont le dernier est à échéance au 30/01/2014, concernent les grosses installations, dont la production énergétique est supérieure à 12 000 MWh/an. Le Fonds Chaleur attribue également des aides au cas par cas destinées à tout projet agricole ainsi qu'aux projets urbains de plus de 1 200 MWh/an.

Le Plan de performance énergétique des exploitations agricoles :

Instauré en 2009 avec l'objectif d'atteindre un taux de 30% d'exploitations agricoles à faible dépendance énergétique d'ici 2013, il organise des appels à projets financés par le Budget de l'Etat. Les projets de méthanisation individuels peuvent bénéficier d'une aide maximale de 200 000 € portée à 300 000 € dans des cas particuliers (jeunes exploitants) ; l'aide maximale pour les projets collectifs est de 375 000 €.

Les Certificats d'économie d'énergie (CEE) :

Le biogaz figure parmi les sources d'énergie éligibles pour l'obtention de CEE. Les CEE ne peuvent pas être cumulés avec les aides du Fonds Chaleur de l'ADEME.

L'ADEME peut également, dans le cadre de son Fonds Déchets, soutenir les investissements dans les installations de méthanisation à un taux de 30% de l'assiette éligible (limitée à 10 millions d'euros).

L'ADEME cofinance par ailleurs des études de faisabilité à hauteur de 50 à 70 % de leur coût.

4.4.6. Impacts sur l'environnement

Le méthane contenu dans le biogaz est un gaz à effet de serre, son captage permet ainsi d'éviter des émissions à l'atmosphère. La valorisation énergétique du biogaz permet également une substitution aux énergies fossiles.

Il est généralement admis que la plupart des agents pathogènes sont détruits lors de la méthanisation thermophile (à 55°C). L'hygiénisation dépendant du couple durée de séjour / température de réaction, il faut au besoin prévoir soit une pasteurisation du digestat à 70°C durant 2 heures, soit un compostage hygiénisant ou tout autre traitement hygiénisant.

4.4.7. Exemples d'application



Figure 50 : Usine de méthanisation de Passel
(Source : Fertigaz)



Figure 51 : Usine de méthanisation du SEVADEC (Source : Communauté d'agglomération du Calaisis)

4.5. Récupération de chaleur sur les eaux usées

4.5.1. Principes

La proximité de la station d'épuration du Nouveau Monde rend la possibilité de récupération de chaleur sur eaux usées particulièrement attractive. Le procédé consiste à mettre en place un ou des échangeurs de chaleur en amont ou préférentiellement en aval de la station d'épuration (en aval, les échanges à partir des eaux épurées sont facilités). Les calories des eaux usées ou épurées prélevées alimentent ensuite des pompes à chaleur qui peuvent couvrir les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire de bâtiments situés à proximité.

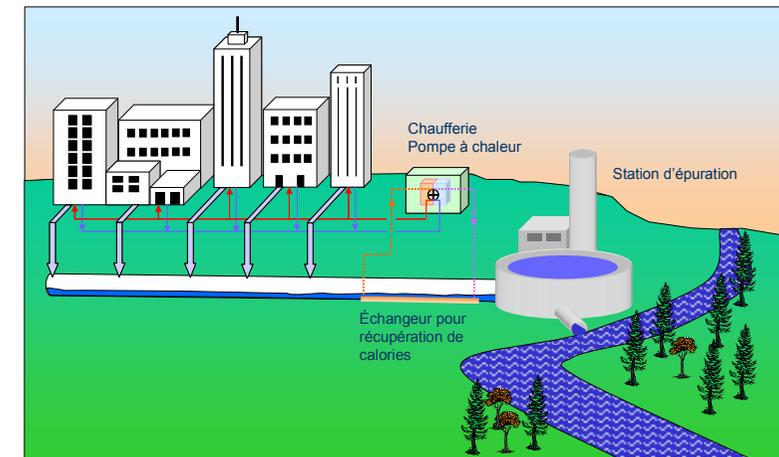


Figure 52 : Illustration d'un des principes possibles de récupération de chaleur sur eaux usées

4.5.2. Secteurs

Les secteurs de Caen, le nouveau bassin et de Mondeville, le cœur de Calix sont particulièrement bien placés par rapport à cette ressource.

La STEP qui traite 40 000 m³ d'eaux usées chaque jour, recèle ainsi un potentiel de puissance thermique de l'ordre de 6 MW en sortie de pompe à chaleur (en considérant un delta de température de 3°C prélevé sur les eaux en sortie de STEP).

Les pompes-à-chaaleur sont particulièrement efficaces avec des systèmes de chauffage à basse température comme les planchers chauffants. La géothermie « très basse énergie » est utilisée pour le chauffage/rafraîchissement et la production d'eau chaude sanitaire de maisons individuelles et de bâtiments intermédiaires (logements collectifs, bâtiments du secteur tertiaire).

Sondes géothermiques

La géothermie « très basse énergie » peut également exploiter la chaleur du sous-sol par l'installation de capteurs peu profonds horizontaux ou verticaux faisant circuler un fluide caloporteur en circuit fermé.

Ces installations nécessitent l'utilisation d'une pompe-à-chaaleur fonctionnant à l'électricité et dont la performance énergétique s'évalue par le COP.

Les capteurs géothermiques verticaux, descendant à une profondeur de 80-100 m (selon l'étude des sols préalables) nécessite la mise en place de nombreux forages et donc des coûts d'investissements plus élevés.

Pieux géothermiques

Dans le cas de construction de bâtiments nécessitant des pieux à -, il est possible d'utiliser ces structures de béton pour capter l'énergie thermique du sol. Les capteurs sont alors installés au cœur des fondations, d'où leur nom de pieux géothermiques.

Cette technologie est encore peu utilisée en France mais elle est très largement utilisée en Autriche, Allemagne, et Suisse depuis plus de 20 ans. Généralement les coûts d'équipement des pieux de structure des bâtiments sont relativement faibles par rapport au coût global du bâtiment.

Chiffres clés de la géothermie sur nappe assistée par pompe à chaleur (Ademe 2016) :

- Coûts d'investissement : 500 à 1 400 € HT /kW installé.
- Coûts d'entretien annuel : 60 à 90 € HT / kW installé.
- Coûts de production : 50 à 130 € HT / MWh selon le taux d'actualisation

4.6.2. Aspects réglementaires

En cas de forage d'une profondeur supérieure à 10 m et inférieure à 200 m, une déclaration doit être faite auprès de la DREAL (décret 78-498 du 28 mars 1978-article 17 et article 131 du Code Minier).

Si le forage est supérieur à 200 m, l'installation doit être soumise au régime d'autorisation et doit avoir le consentement des propriétaires d'habitation dans un rayon de 50 m.

En outre, toute installation géothermique (que ce soit sur nappe, sur sondes ou sur pieux) dont la puissance thermique d'échange avec le sous-sol est supérieure ou égale à 500 kW est également soumise au régime d'autorisation au titre du Code Minier.

Enfin, toute création de sondage, forage, puits ou ouvrage souterrain, non destiné à usage domestique, est soumise à déclaration préalable. L'arrêté du 11 septembre 2003 (fixe les prescriptions générales et impose en outre une distance minimale du forage de 35 m par rapport aux ouvrages d'assainissement collectif ou non collectif, des canalisations d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines.

4.6.3. Potentiel régional

Comme vu précédemment, il n'existe pas de contexte volcanique en région Basse-Normandie. Par conséquent, la production d'électricité par géothermie haute énergie n'est pas pertinente.

De même, la région repose sur un bassin sédimentaire peu profond, qui abrite des aquifères continus. Les sources présentes sur cette zone jaillissent à une température inférieure à 30°. Par conséquent, l'énergie potentielle issue des grandes profondeurs de la terre pour la géothermie basse énergie est limitée sur la région.

En partenariat avec l'ADEME, la Région Basse-Normandie et EDF, le BRGM est actuellement en train réaliser un atlas sur la géothermie très basse énergie en Basse-Normandie. Sur la base de certains critères (débits potentiellement disponibles, profondeur du niveau d'eau...), les potentialités géothermiques des niveaux aquifères vont être évaluées.

La région accompagne d'ailleurs les projets géothermiques grâce au programme Défi'NeRgie. L'ensemble des installations est mal connu aujourd'hui. D'après les financements accordés par la région, 130 installations seraient recensées.

4.6.4. Potentiel local

Dans le cadre du projet d'aménagement de la presqu'île de Caen, une étude a été effectuée en mai 2012 par Geother afin d'évaluer le potentiel géothermique de la nappe d'eau souterraine pour alimenter un réseau de chauffage. Il a été montré que la nappe la plus à même de fournir un débit intéressant et une qualité d'eau conforme à l'usage géothermique est celle des calcaires du Dogger.

Un forage de reconnaissance a été réalisé du 23/08/2012 au 13/09/2012 pour connaître avec précision le débit exploitable et la qualité d'eau de la nappe. La localisation du forage peut être visualisée sur la figure suivante.

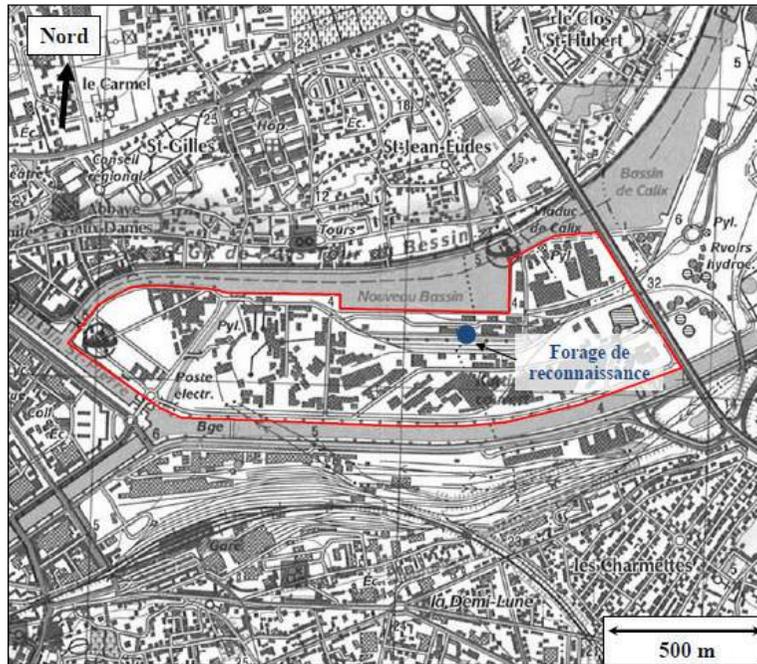


Figure 55 : Localisation du forage de reconnaissance (Source : Geother)

Ce forage de 40,5 m de profondeur a capté la nappe des calcaires du Dogger entre 15 et 40,5 m de profondeur. Le pompage par paliers a montré que le débit critique est probablement atteint à 35 m³/h. Le pompage de longue durée a montré que ce forage peut être exploité à un débit de l'ordre de 30 m³/h. La transmissivité mesurée est de 7,9.10⁻³ m²/s. L'essai d'injection a montré que la nappe des calcaires du Dogger était capable d'infiltrer un débit maximum de 30 m³/h par ouvrage.

L'analyse d'eau a montré que l'eau de la nappe du Dogger permet l'usage rafraîchissement et de pompe à chaleur. Par contre en raison de la forte teneur en chlorures (proximité de la mer et influence des marées), l'eau de cette nappe est très corrosive. Ainsi, **cette qualité d'eau nécessitera l'usage de matériaux plus résistants à la corrosion comme le PVC ou le PEHD pour les forages et les canalisations enterrées et le titane pour l'échangeur. Pour les pompes de forage, il pourra être utilisé de l'innox de classe supérieure.**

En l'absence de projet d'aménagement défini sur la presqu'île au moment de l'étude, des hypothèses d'implantation (scénario n°1: 10 doublets de forages seulement sur des parcelles publiques et scénario n°2 : 11 doublets de forages sur des parcelles publiques et privées) et d'exploitation (fonctionnement en mode chauffage seulement ou en mode chauffage et rafraîchissement) ont été prises pour permettre de modéliser le fonctionnement des forages sur une période de 20 ans.

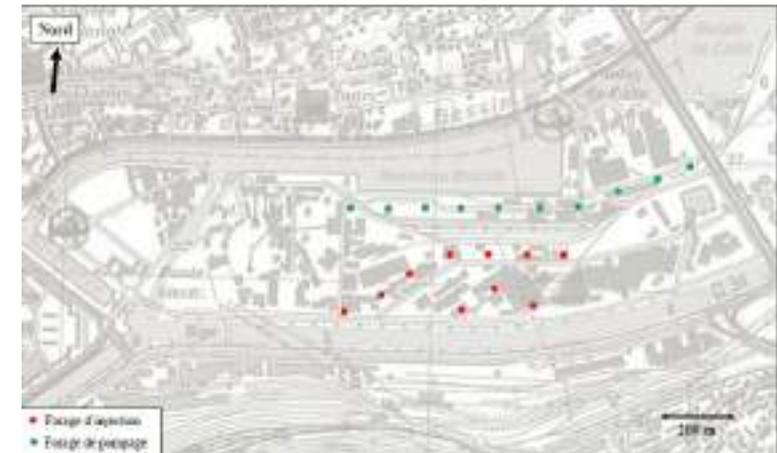


Figure 56 : Scénario d'implantation n°1 (Source : Geother)

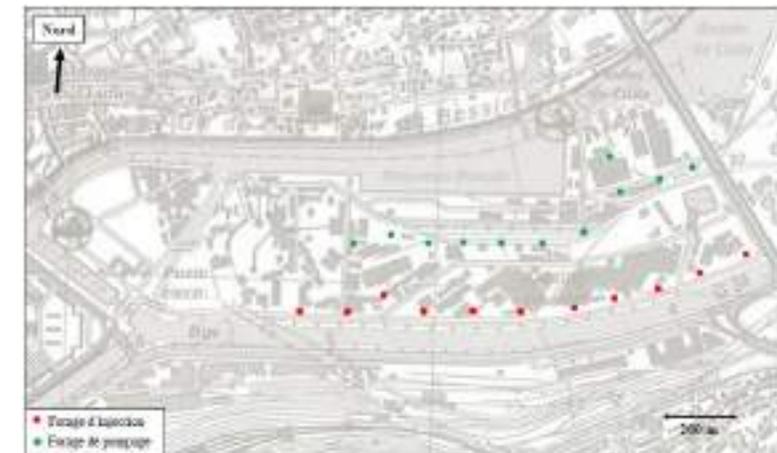


Figure 57 : Scénario d'implantation n°2 (Source : Geother)

Des deux scénarii simulés, il est apparu que le scénario n°2 est le plus favorable tant sur le point des incidences thermiques que de la remontée de nappe liée à la réinjection.

Le fonctionnement en mode chauffage ou en mode chauffage et rafraîchissement ne semble pas apporter une différence significative vis-à-vis du recyclage thermique. De plus, le fait de positionner les forages de pompage en position centrale au sein de la presqu'île permettra probablement de réduire les variations de température de l'eau de la nappe liées aux variations saisonnières des températures de l'eau du canal.

Toutefois, **une attention particulière sera portée au positionnement futur des forages d'injection par rapport aux bâtiments avec sous-sol afin de limiter les risques liés à la remontée de nappe liée à l'injection.** Enfin, la présence de tourbe au sein des alluvions devra faire l'objet d'une attention particulière de la part des concepteurs des bâtiments qui devront prendre en compte les éventuels tassements liés au rabattement local de la nappe à proximité des forages de pompage.

En l'absence de données sur les surfaces, les performances énergétiques et la destination des bâtiments qui seront construits, il a été décidé de se baser sur les ratios connus pour les consommations des bâtiments RT2012 :

Types de bâtiments	Besoins annuels	
	Chauffage (kWh/m ² /an)	Eau Chaude Sanitaire (ECS) (kWh/m ² /an)
Logements RT2012	25	20
Bureaux RT2012	20	-
Equipements RT2012	45	-

Tableau 8 : Hypothèses de puissance et de consommation de chauffage et d'ECS (Source : Geother)

Geother a pris une moyenne de besoins, tout type de bâtiment confondu, de 30 kWh/m²/an hors ECS et 40 kWh/m²/an avec ECS.

Geother a conclu qu'à partir d'un débit exploitable sur la nappe du Dogger compris entre 300 et 330 m³/h, il serait possible de couvrir les besoins de chauffage d'environ 145 000 à 180 000 m² de surface de bâtiment (hors ECS) et 109 000 à 120 000 m² de surface de bâtiment (avec ECS).

On note par ailleurs qu'un débit de 300 m³/h permet, sur la base d'un ΔT de 5°C et d'un coefficient de performance moyen de 4,5 pour la pompe à chaleur, de développer une puissance de pompe à chaleur de 2 243 kW, ce qui correspond à un peu plus de la moitié du besoin de puissance évalué pour le secteur Caen Nouveau Bassin dans sa globalité. Ce potentiel permet d'envisager une solution géothermique avec une chaudière d'appoint (à gaz ou électrique, voire une cogénération). Le retour d'expérience en très basse énergie montre en effet qu'une pompe à chaleur dimensionnée à 50 % de la puissance nominale requise pour le confort thermique du bâtiment (y compris avec l'ECS le cas échéant) permet de couvrir environ 80 % de ses besoins énergétiques annuels, les 20 % restant étant couverts par la chaudière d'appoint.

Dans ce contexte, nous avons extrapolé aux autres secteurs les résultats du pompage d'essai effectué par Geother sur la rive droite de Caen Nouveau Bassin et adopté le principe de dimensionnement ci-dessus énoncé (50 % de puissance / 80 % des besoins).

Sans présager d'éventuelles différences de contexte hydrogéologique et sous réserve que les mêmes débits de pompage et de réinjection soient exploitables sur les autres secteurs, nous avons déterminé le nombre de doublets de forages nécessaire pour pompe à chaleur couvrant la moitié des besoins de puissance de chaque secteur. Nous avons séparé Caen Nouveau Bassin en deux sous-secteurs (rive droite / rive gauche), considérant qu'une

solution géothermique mutualisée nécessite l'implantation de la production de chaleur au sein de chaque secteur et une densité de besoins de chaleur suffisante que met à mal la liaison des deux rives du Nouveau Bassin par un éventuel réseau de chaleur.

Dans ces conditions, la couverture exclusive des besoins par pompe à chaleur et appoint requière un total de 27 forages dans l'ensemble des quatre secteurs étudiés.

Zone d'étude	Puissance nécessaire (kW)		Nombre forages	Puissance PAC (kW)	P appoint (kW)	Puissance nominale par PAC	Besoins annuels couverts par PAC
	Chaud	Froid					
Nouveau bassin rive gauche	Chaud	1 390	3	673	717	48,0%	80%
	Froid	0					
Nouveau bassin rive droite	Chaud	2 925	7	1570	1355	50,0%	80%
	Froid	643					
Hérouville	Chaud	5 859	13	2915	2944	50,0%	80%
	Froid	259					
Mondeville	Chaud	1 817	4	897,0	920	50,0%	80%
	Froid	59					

Tableau 9 : Prédimensionnement des pompes à chaleur et du nombre de doublets géothermiques

Ce tableau est le résultat de calculs se basant sur un forage réalisé par Géother sur le secteur Nouveau Bassin. Afin d'arriver à ces résultats il a été supposé que le potentiel de géothermie sur nappe sur les quatre secteurs étaient similaires. Les valeurs données sont donc à relativiser et seraient à vérifier avec des études locales plus précises avant toute opération de forage.

4.6.5. Aides au développement

Dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, le Fonds Chaleur a été créé afin de développer la production de chaleur à partir des énergies renouvelables. Il est destiné à l'habitat collectif, aux collectivités et à toutes les entreprises. La gestion du fonds a été confiée à l'ADEME.

Pour les opérations de géothermie très basse énergie, les installations éligibles sont les projets de pompe-à-chaleur d'une puissance thermique supérieure à 50 kW.

Par ailleurs, dans le cadre du programme Défi'NeRgie, la région Basse-Normandie finance 15 % du montant de l'investissement. Cette aide n'est pas cumulable avec l'aide du Fonds Chaleur. Pour bénéficier de cette aide, les opérations sur forages verticaux avec pompes à chaleur sur eau de nappe (avec rejet dans la nappe) doivent avoir un coefficient de performance (COP) supérieur à 4,5. Le forage devra être exécuté par une entreprise agréée et respecter les procédures administratives concernant la protection du sous-sol (code minier) et les ressources en eau (autorisation loi sur l'eau).

4.6.6. Impact sur l'environnement

L'utilisation d'échangeurs de chaleur n'a pas d'impact direct sur l'environnement.

Les pompes à chaleur utilisent de l'énergie conventionnelle pour pouvoir fonctionner, ce qui, rigoureusement, peut les exclure du champ des énergies renouvelables. Dans la majorité des cas, la quantité d'énergie utilisée pour produire l'électricité qui alimente la pompe à chaleur correspond à la quantité d'énergie fournie en sortie de pompe. Le bilan environnemental de la chaleur produite correspond alors à celui de l'électricité utilisée pour alimenter la pompe. Cette approximation est à pondérer en fonction des performances de la pompe à chaleur et de ses conditions d'utilisation.

Les fluides frigorigènes utilisés dans certains types de pompe appauvrissent la couche d'ozone. Ils sont par ailleurs de très puissants gaz à effet de serre. Pour éviter les dégazages dans l'atmosphère et les fuites, l'amélioration du confinement des installations associé à un contrôle périodique permet de limiter ces risques.

4.7. L'énergie hydraulique

4.7.1. Principes

L'énergie hydraulique est mise en jeu lors du déplacement (énergie cinétique) ou de l'accumulation (énergie potentielle) d'un fluide incompressible. Les systèmes hydrauliques permettent de transformer l'énergie hydraulique des cours d'eau, des chutes, voire des marées, en énergie mécanique. Les petites, les grandes centrales et les moulins à eau fonctionnent sur le même principe physique : la force motrice de l'eau génère de l'énergie récupérée par un axe en rotation.

Le gisement brut est estimé sur la base des données de relief du terrain et de débit des cours d'eau. La puissance mécanique d'écoulement de l'eau est alors calculée en multipliant la chute d'eau par 90 % du débit moyen. Les 10 % du débit moyen qui n'entrent pas dans le calcul représentent une approximation du débit réservé, qui doit réglementairement être soustrait du dimensionnement de l'installation.

Chiffres clés pour l'hydroélectricité (Ademe 2008) :

Coûts d'investissement* :

- Pour la basse chute : 2000 à 4000 € HT / kW pour des installations de 50 à 7500 kW
- Pour la haute chute : 1900 à 2500 € HT / kW pour des installations de 1000 kW à 7500 kW

Coût complet de production** :

- Pour la basse chute : 60 à 120 € HT / kW pour des installations de 50 à 7500 kW
- Pour la haute chute : 60 à 80 € HT / kW pour des installations de 1000 kW à 7500 kW

*Ce coût d'investissement comprend les études et frais de dossier, le génie civil et les équipements hydromécaniques et électriques pour une durée moyenne de réalisation du projet de 3 ans.

** Le coût complet de production comprend les charges d'exploitation et les taxes, pour une durée de vie économique considérée de l'ouvrage de 30 ans.

4.7.2. Aspects réglementaires

Les installations hydroélectriques sont soumises à la loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique qui instaure un régime de concession au-delà d'une puissance de 4500 kW et d'autorisation en deçà. Elles sont également soumises à la législation sur l'eau, codifiée dans le code de l'environnement.

Sous le régime de la concession, les installations (barrage, canaux d'amenée et de fuite, conduites forcées, terrains ennoyés, etc.) appartiennent à l'Etat qui en délègue la construction et l'exploitation à un concessionnaire sur la base d'un cahier des charges. La législation sur l'eau est appliquée à travers les procédures et textes d'application de la loi de 1919, spécifiques aux concessions.

Sous le régime de l'autorisation, les installations appartiennent, en général, au permissionnaire qui les exploite dans le respect de prescriptions de police de l'eau fixées par arrêté préfectoral.

4.7.3. Potentiel régional

En Basse-Normandie, une quarantaine d'installations sont recensées, principalement sur la Sélune, l'Orne, la Vire, l'Huisne et la Sienne. La puissance totale de ces installations est évaluée à 26,6 MW. Les installations hydrauliques sont principalement localisées dans la Manche (62 % de la puissance installée). En 2010, ces installations ont permis de produire 3,9 ktep (45 GWh) d'électricité renouvelable.

La ressource sur Caen Métropole est fournie par des affluents de l'Orne, et principalement par l'Odon. **Etant donné que tous les cours d'eau de Caen Métropole sont classés, aucun de ces gisements n'est exploitable. Le gisement net est donc actuellement nul pour l'énergie hydroélectrique.**

4.7.4. Potentiel local

La topographie de la presqu'île est plane. Le relief s'élève de chaque côté de l'Orne et de son canal. La zone présente donc un dénivelé insuffisant entre l'amont et l'aval de l'Orne pour imaginer une exploitation de son énergie hydraulique.



Figure 58 : Carte topographique de la zone d'étude

En conclusion, compte tenu des caractéristiques topographiques des terrains et de la répartition de la ressource en eau, le potentiel de production d'énergie hydraulique ne semble pas pouvoir être exploitable sur les trois secteurs d'étude.

5. Analyse des opportunités et orientations possibles

L'estimation des besoins énergétiques, basée sur le programme de construction montre que l'enjeu pour ces secteurs, porte principalement sur la couverture des besoins de chaleur et d'électricité. Les besoins de froid, relativement modestes pourront faire l'objet d'un traitement local, sans nécessairement requérir d'infrastructure spécifique.

5.1. Besoins thermiques

Les besoins de chauffage seront tout d'abord à minimiser grâce au choix de principes constructifs adaptés et par des conceptions bioclimatiques qui tirent le parti maximal des apports solaires passifs.

La couverture des besoins de chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire) devra faire l'objet d'un traitement différencié selon les secteurs :

- Pour les Paysages Habités d'Hérouville-Saint-Clair, la proximité du réseau de chaleur à base principalement de récupération de chaleur sur incinérateur suggère très fortement un raccordement des bâtiments de ce secteur opérationnel d'aménagement au réseau.
- Pour Caen Nouveau Bassin et surtout Mondeville Cœur de Calix, il serait opportun de tirer profit de la proximité de la station d'épuration Nouveau Monde, via une cogénération à partir de biogaz et surtout la récupération de chaleur sur eaux usées ou épurées. Cette dernière solution, pourrait avantageusement se substituer ou compléter la géothermie sur nappe pour laquelle la ressource en eau souterraine est modeste. La biomasse pourrait également contribuer à ces besoins, via par exemple, l'unité de production de la BMVR.

5.2. Besoins en électricité

Les solutions énergétiques les plus adaptées pour participer à la couverture des besoins d'électricité du site sont le solaire photovoltaïque et la production d'électricité par cogénération à partir du biogaz associé à de la cogénération.

Il est proposé de consacrer les surfaces disponibles pour implanter des capteurs photovoltaïques, plutôt que des capteurs de solaire thermique compte tenu du fait que d'autres ressources EnR&R sont disponibles pour la production de chaleur.

Le micro-éolien ne pourra avoir qu'une contribution modeste. L'énergie hydraulique ne pourra pas être sollicitée.

Caen Presqu'île

Etude du potentiel de développement des énergies renouvelables - Rapport n°73150/B

5.3. Autres secteurs

Les principes proposés pour les quatre secteurs étudiés pourront être étendus au reste de la zone. Le secteur de la Presqu'île portuaire pourrait être également alimenté par le réseau de chaleur d'Hérouville-Saint-Clair.

Les autres secteurs plus à l'ouest pourraient quant à eux, s'appuyer sur le potentiel de la STEP du Nouveau Monde, de la géothermie, voire éventuellement de la biomasse (même si la ressource locale est modeste).

6. Synthèse

Les pages suivantes présentent deux tableaux :

- Une synthèse des principaux critères techniques et environnementaux d'analyse des différentes ENRR et, pour chacune le potentiel énergétique correspondant ;
- Une synthèse des principaux avantages et inconvénients de chaque ENRR, des budgets d'investissements, des coûts d'exploitation et du prix du MWh.

Critères ENRR et réseaux	Techniques			Environnementaux		Potentiel énergétique par secteur			
	Potentiels ou atouts du site	Possibilités d'implantation	Usages potentiels	Emissions de GES	Impact environnemental	Caen le Nouveau Bassin rive gauche	Caen Nouveau Bassin rive droite	Hérouville les Paysages Habités	Mondeville le Cœur de Calix
Solaire photovoltaïque	Ensoleillement : 3,1 kWh/m ² /jour	Toitures des bâtiments, parkings, murs, lampadaires	Electricité, éclairage urbain	Aucune en opération, émissions modérées lors de la fabrication	Réduction de l'impact environnemental de la collectivité par production d'électricité d'origine renouvelable	150 kWh électriques par an par m ² de panneaux exposés sud et inclinés de 36°. La faisabilité dépend fortement de la surface de toiture et de son exposition			
Solaire thermique	Ensoleillement : 3,1 kWh/m ² /jour	Toitures des bâtiments	ECS	Aucune en opération, faibles lors de la fabrication	Gain environnemental sur les rejets de SO ₂ et NO _x , impact environnemental très faible de cette solution	450 kWh thermiques par an par m ² de collecteurs exposés au sud et inclinés de 36°. La faisabilité dépend fortement de la surface de toiture et de son exposition			
Petit éolien	Dépend fortement de l'emplacement	Toutes zones	Electricité, éclairage urbain	Aucune en opération, faibles lors de la fabrication	Réduction de l'impact environnemental de la collectivité par production d'électricité d'origine renouvelable	Très peu de production électrique en regard des besoins des bâtiments			
Géothermie sur nappe	30 m ³ /h par doublet de forage sur Caen Nouveau Bassin	Caen Nouveau Bassin et éventuellement autres secteurs	Chauffage, ECS, froid	Production hors appoint à environ 10 kg eq CO ₂ /MWh pour l'ECS et 45 kg eq CO ₂ /MWh pour le chauffage sur la base d'un COP de 4	Gain sur les rejets de CO ₂ , les émissions de CO ₂ induites par l'utilisation d'électricité pour le fonctionnement de la PAC sont limitées	Couverture potentielle de 80% des besoins de chaleur annuels des bâtiments, à confirmer par une étude hydrogéologique de potentiel géothermique avec forages de reconnaissance et pompages d'essai pour les secteurs autres que Nouveau Bassin Rive gauche			
Valorisation énergétique des eaux usées	6 MW	STEP du Nouveau Monde et éventuellement collecteurs principaux	Chauffage, ECS, froid éventuellement		Gain sur les rejets de CO ₂ , les émissions de CO ₂ induites par l'utilisation d'électricité pour le fonctionnement de la PAC sont limitées	Couverture potentielle de 80% des besoins de chaleur annuels à confirmer car la récupération de calories sur les eaux usées permettrait de développer par pompes à chaleur la moitié des besoins de puissance (6 MW sur 12 MW nécessaires) pour l'ensemble des trois secteurs étudiés			
Bois	Possibilité d'approvisionnement fluvial	Proche des moyens de transport pour l'approvisionnement	Chauffage, ECS	19 kg eq CO ₂ / MWh	Emissions indirectes liées au transport pour l'approvisionnement en bois Induit des émissions de NO _x Gain environnemental sur les rejets directs de CO ₂	Couverture potentielle de la totalité des besoins de chaleur annuels des bâtiments.			
Méthanisation	STEP du Nouveau Monde : 1,1 MW ; 9 600 MWh	A proximité de la STEP du Nouveau Monde	Electricité, chauffage, injection de biométhane dans le réseau GRDF	En opération émissions négatives de GES dues à la combustion du méthane	Gain environnemental sur les émissions de gaz à effet de serre	Couverture partielle des besoins de chaud en puissance mais potentiellement couverture totale des besoins thermiques sur l'année			
Réseau de chaleur d'Hérouville par l'UVE de Colombelles	Alimenté par valorisation énergétique des déchets ménagers	Hérouville-Saint-Clair Les Paysages habités	Chauffage, ECS	Neutre, énergie de récupération	Gain environnemental sur les rejets directs de CO ₂	Puissance éventuellement disponible à préciser pour évaluer la faisabilité technico-économique d'une extension du réseau au profit du secteur les Paysages Habités en particulier			

Tableau 10 : Principaux critères techniques et environnementaux d'analyse des différentes ENRR exploitables sur Caen Presqu'île et potentiel énergétique de chaque filière

ENRR et réseau	Avantages	Inconvénients	Coûts en Euros Hors Taxes (€ HT)			Source
			Investissement	Exploitation	Plage de valeurs des coûts du MWh ¹	
Solaire photovoltaïque	Multiples possibilités d'implantation, peu d'entretien, permet d'augmenter facilement la part d'ENR	Nécessite beaucoup de surface disponible	1 600 à 1 900 € par kWc de panneau installé en toiture	48 € par an par kWc installé	145 € à 230 €	ADEME 2016 ⁴
Solaire thermique	Fournit une eau chaude renouvelable	Consomme de la surface en toiture	650 € à 1 050 € par mètre carré de collecteur installé	10 € par an par mètre carré installé	120 € à 260 €	
Petit éolien	Multiples possibilités d'implantation, peu d'entretien, pas d'émission de CO2	Faible production, nuisances sonores possibles,	10 000 € à 15 000 € par kW installé	42 à 52 € par kW installé	250 € à 800 €	ADEME
Géothermie sur nappe	Permet la production de chaud et de froid de manière fiable	Nécessite une alimentation électrique et un appoint gaz	500 € à 1 400 € par kW installé	60 € à 90 € par an par kW installé	50 € à 130 €	ADEME 2016
Récupération de chaleur sur eaux usées	Production fiable de chaud et de froid	Implantation à proximité immédiate de la STEP, éloignée des besoins	750 € à 2 000 € par kW installé	75 € à 125 € par an par kW installé	75 € à 150 €	Données AnteaGroup
Bois	Production d'énergie à faibles émissions de CO2	Nécessite une importation, incertitude sur le prix futur des granulés	610 € à 1 290 € par kW installé	18 € à 23 € par MWh, coût du combustible 34 € par MWh	62 € à 100 €	ADEME 2016
Méthanisation	Proximité immédiate de la matière première, cogénération possible	Nécessite l'arrêt de toute ou partie de la valorisation agricole des boues	8 000 € par kW électrique installé en cogénération	58 € à 130 € par MWh électrique	95 € à 165 € le MWh utile (chaleur et électricité)	
Réseau de chaleur d'Hérouville alimenté par l'UVE de Colombelles	Possibilité d'extension du réseau	Pas de production de froid	1 000 € par mètre de réseau installé	62 € en 2013		Rapport de la Chambre Régionale des Comptes ⁵

Tableau 11 : Synthèse des principaux avantages et inconvénients de chaque ENRR exploitable sur Caen Presqu'île, des budgets d'investissements, des coûts d'exploitation et du prix du MWh de chaque filière

Observations sur l'utilisation du rapport

Observation 1

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'ANTEA ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Observation 2

La prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par ANTEA ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

¹ La variabilité des coûts étant due aux spécificités techniques de chaque projet mais aussi du taux d'actualisation considéré. Le bas de la fourchette de prix correspond à un taux d'actualisation de 3 % et le haut de de la fourchette de prix correspond à un taux d'actualisation de 10 %

⁴ Rapport ADEME « Coût des énergies renouvelables en France », édition 2016

⁵ Rapport d'observations définitives sur la gestion de la Société Anonyme d'économie mixte pour la maîtrise et la récupération d'énergie thermique (SEMERET), Chambre Régionale des Comptes



Fiche signalétique

Rapport

Titre : Caen Presqu'île – Etude du potentiel de développement des énergies renouvelables

Numéro et indice de version : 73150/B

Date d'envoi : juin 2017

Nombre d'annexes dans le texte : 0

Nombre de pages : 77

Nombre d'annexes en volume séparé : 0

Diffusion (nombre et destinataires) :

1 ex. Client

1 ex. Agence

Client

Coordonnées complètes :

Nom et fonction des interlocuteurs :

Unité réalisatrice :

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :

Interlocuteur commercial : Guy MONOTE

Responsable de projet : Katia COLNAY PODEUR

Expert technique : Nicolas FRECHIN

Secrétariat : Marie-Laure ANTONUCCI

Qualité

Contrôlé par :

Date :

N° du projet : *NIEP130172*

Références et date de la commande :

Mots clés : AMENAGEMENT, EVALUATION, CONSEIL, ETUDE-DE-FAISABILITE, AMENAGEMENT,

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'ANTEA ne saurait engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage et que ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu naturel ou artificiel étudié.