



**ETUDE DE FAISABILITE SUR LE POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT EN ENERGIES
RENOUVELABLES
POUR LA ZAC DU SITE BOULENGER A AUNEUIL**

RAPPORT FINAL

Février 2017

climatmundi

Version/date du rapport : V1 du 20/02/17

Rédaction : Jean-Luc MANCEAU

CONFIDENTIALITE

Les informations et la méthodologie décrite dans ce document sont confidentielles. Ces informations ne pourront être publiées ou transmises en partie ou en totalité à aucun tiers sans un accord écrit préalable de Climat Mundi.

SOMMAIRE

RESUME NON TECHNIQUE.....	3
CONTRIBUTION DE CLIMAT MONDI POUR LA PARTIE « ETAT INITIAL »	4
1 CONTEXTE ET ENJEUX.....	4
I. <i>Contraintes et obligations réglementaires.....</i>	<i>4</i>
II. <i>Enjeux liés à la consommation d'énergie.....</i>	<i>4</i>
2 SPECIFICATIONS ENERGETIQUES / ENVIRONNEMENT ENERGETIQUE	5
I. <i>Prescriptions de la réglementation thermique RT 2012.....</i>	<i>5</i>
II. <i>Prise en compte du SRCAE de la région Picardie.....</i>	<i>6</i>
III. <i>Prise en compte des documents du Beauvaisis (CAB) et de la ville d'Auneuil.....</i>	<i>12</i>
IV. <i>Prise en compte du Plan Climat du département de l'Oise.....</i>	<i>13</i>
3 SITUATION ENERGETIQUE EXISTANTE	15
4 CONCLUSION	16
CONTRIBUTION DE CLIMAT MONDI POUR LA PARTIE « ANALYSE DES IMPACTS ET MESURES ASSOCIEES »	17
1 BESOINS ENERGETIQUES DU PROJET.....	17
I. <i>Périmètre de l'étude.....</i>	<i>17</i>
II. <i>Ambition du projet.....</i>	<i>17</i>
III. <i>Spécifications énergétiques retenues.....</i>	<i>18</i>
IV. <i>Besoins énergétiques.....</i>	<i>19</i>
2 DES GISEMENTS D'ENERGIES RENOUVELABLES ET DES POSSIBILITES TECHNIQUES ADAPTEES AU CONTEXTE.....	20
I. <i>Le bois énergie.....</i>	<i>21</i>
II. <i>Utilisation des toitures pour récupérer l'énergie solaire.....</i>	<i>23</i>
III. <i>Utilisation de l'énergie éolienne.....</i>	<i>25</i>
IV. <i>Utilisation de la géothermie.....</i>	<i>29</i>
V. <i>Récupération de la chaleur des eaux usées.....</i>	<i>33</i>
3 EFFETS DU PROJET	33
I. <i>Sur la consommation d'énergie.....</i>	<i>33</i>
II. <i>Sur la production/consommation d'énergie renouvelable.....</i>	<i>34</i>
4 COMPARAISON DES SCENARIOS.....	34
I. <i>Les différents scénarios.....</i>	<i>34</i>
II. <i>Résultats de l'étude technico-économique</i>	<i>36</i>
III. <i>Conclusion</i>	<i>40</i>
BIBLIOGRAPHIE.....	41

RESUME NON TECHNIQUE

La présente étude de potentiel en énergies renouvelables du projet de ZAC sur le site Boulenger à Auneuil permet de mettre en valeur les différentes énergies renouvelables disponibles, leur potentiel, et de les confronter aux besoins futurs de consommation.

Les enjeux du changement climatique et de la raréfaction des ressources d'énergies fossiles au niveau planétaire se traduisent en objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de consommation d'énergie mais aussi d'augmentation de la part des énergies renouvelables et de récupération dans les consommations d'énergie.

Ces objectifs figurent sous différentes formes dans les textes européens (directive des 3 x 20), les lois françaises (loi POPE, lois Grenelle 1 et 2), au niveau régional dans le SRCAE (Schéma Régional Climat Air Energie) de la Région Picardie.

Le projet de ZAC sur le site Boulenger s'inscrit donc dans ces contraintes et devra présenter des caractéristiques exemplaires tant au niveau des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments, que du recours à des sources d'énergie peu émissives de gaz à effet de serre : recours aux énergies renouvelables, en particulier celles qui sont identifiées dans le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) de la région Picardie, comme le solaire thermique et le solaire photovoltaïque ou encore le bois et la géothermie.

Deux scénarios utilisant des énergies renouvelables vont pouvoir être comparés du point de vue technique et économique. Le scénario le plus prometteur au regard des enjeux énergétique et climatique est celui qui consiste à installer une chaufferie bois qui pourrait desservir dans un premier temps les logements collectifs et les logements individuels groupés objet du concours, dans un second temps la deuxième phase des logements individuels groupés ainsi que l'équipement public. Le second scénario utilise la géothermie et peut coupler plusieurs techniques en fonction du type de bâtiments (pieux verticaux secs et captage vertical complémentaire pour les collectifs, capteurs verticaux pour les pavillons, accès ou non à une nappe phréatique). Ces deux scénarios peuvent être complétés par des apports solaires thermiques et photovoltaïques.

CONTRIBUTION DE CLIMAT MONDI POUR LA PARTIE « ETAT INITIAL »

1 CONTEXTE ET ENJEUX

I. CONTRAINTES ET OBLIGATIONS REGLEMENTAIRES

Le Cadre légal du volet climat énergie de la présente étude est l'article L300-1 du code de l'urbanisme institué par l'article 8 de la loi dite « Grenelle 1 » :

« Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L. 300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération. »

Réalisée dans le cadre de l'étude d'impact, il s'agit de mener une réflexion qui dépasse l'échelle du bâtiment et d'adopter un regard global, c'est-à-dire à l'échelle de l'opération mais aussi, selon les énergies étudiées, sur un périmètre plus élargi.

L'intégration de cette démarche en amont, dès l'étude d'impact est particulièrement pertinente car elle va permettre une meilleure prise en compte des énergies renouvelables et de récupération en phase opérationnelle, leur faisabilité ayant été étudiée au préalable.

Aucune des énergies ne doit être privilégiée, en conséquence, chaque énergie renouvelable doit faire l'objet d'une étude. Il s'agit bien en effet d'établir un inventaire objectif et exhaustif de toutes les pistes possibles. C'est suite à ce travail que le maître d'ouvrage sera amené à faire des choix quant aux énergies renouvelables et de récupération à privilégier dans le projet.

L'étude sur les énergies renouvelables et de récupération constitue un nouveau volet essentiel de l'étude d'impact. Elle va permettre d'alimenter le projet urbain dès sa conception. C'est pourquoi cette étude nécessite une forte collaboration entre le bureau d'études en charge de l'étude d'impact et l'organisme missionné pour l'élaboration de l'opération.

II. ENJEUX LIES A LA CONSOMMATION D'ENERGIE

L'humanité vit avec la double contrainte de diminuer ses émissions de gaz à effet de serre pour limiter l'ampleur des changements climatiques et de réduire ses consommations d'énergie dont la quasi-totalité repose sur des sources d'énergie présentes en quantité limitée sur la planète (énergies de stock : fossiles et nucléaire). Les deux problématiques sont liées par le fait qu'au niveau mondial environ 75% des émissions de gaz à effet de serre sont dues à la combustion de sources d'énergies fossiles.

Dès 2005, la France a inscrit dans la loi POPE (loi 2005-781 du 13 juillet 2005 – Loi de programme fixant les orientations de politique énergétique), la nécessité de diviser par 4 ses émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050 en les diminuant de 3% chaque année.

En 2008, la directive européenne des 3 x 20 préconise :

- De faire passer la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique européen à 20 % ;
- De réduire les émissions de CO₂ des pays de l'Union de 20 % ;
- D'accroître l'efficacité énergétique de 20 % d'ici à 2020.

La France va plus loin que l'objectif européen en se fixant un objectif de 23% de la consommation énergétique finale couvert par les énergies renouvelables à l'horizon 2020 (cf. art. 2 de la loi 2009-967 dite « Grenelle 1 » du 03/08/09).

Plus récemment, dans la loi portant sur la transition énergétique pour la croissance verte votée en août 2015, des objectifs sont fixés aux horizons 2030 et 2050 pour la France :

- -40 % d'émissions de gaz à effet de serre en 2030 par rapport à 1990 ;
- -30 % de consommation d'énergies fossiles en 2030 par rapport à 2012 ;
- Porter la part des énergies renouvelables à 32 % de la consommation finale d'énergie en 2030 et à 40 % de la production d'électricité ;
- Réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à 2012.

Avec ces différents textes, il s'agit donc bien de réduire les émissions de gaz à effet de serre, à la fois en réduisant nos consommations d'énergie et en transférant progressivement nos consommations vers des sources d'énergies renouvelables et de récupération.

Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, les énergies renouvelables qui sont des énergies de flux (elles ne puisent pas dans des stocks limités mais utilisent les flux d'énergie liées à l'activité solaire) n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes. Elles participent donc à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO₂ dans l'atmosphère, facilitent la gestion raisonnée des ressources locales et génèrent des emplois.

Les énergies de récupération, quant à elles, utilisent la chaleur fatale issue de la combustion des déchets, le biogaz émis par la méthanisation des déchets fermentescibles ou encore la chaleur issue des eaux usées.

Synthèse : Depuis la loi POPE (politiques énergétiques) en 2005, jusqu'à la loi portant sur la transition énergétique pour la croissance verte adoptée le 18/08/2015 en passant par les lois issues du Grenelle de l'environnement (2010 et 2011), la législation française a concrétisé de manière de plus en plus opérationnelle les enjeux de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de diminution de la consommation des ressources d'énergies fossiles (énergies de stock) par des objectifs au niveau national mais aussi au niveau de la réalisation des projets d'aménagement. Cette étude, rendue obligatoire par la loi Grenelle 1, a pour objectif d'établir des préconisations et de dresser les premiers scénarios de faisabilité faisant intervenir des énergies renouvelables et de récupération (énergies de flux) pour répondre aux besoins énergétiques résultant des contraintes et préconisations énergétiques s'appliquant au projet.

2 SPECIFICATIONS ENERGETIQUES / ENVIRONNEMENT ENERGETIQUE

Dans le contexte dressé dans le chapitre précédent et compte tenu des enjeux décrits, le présent chapitre s'attache à étudier les spécifications énergétiques qui pourraient s'appliquer aux bâtiments construits dans le cadre de la ZAC sur le site Boulenger ainsi que la situation existante en matière de réseaux de chauffage urbain et d'énergies renouvelables.

I. PRESCRIPTIONS DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE RT 2012

Les constructions doivent satisfaire a minima à la réglementation thermique 2012 (RT 2012) qui s'applique dès lors que les permis de construire sont déposés après le 01/01/13.

La consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment doit donc à ce titre être inférieure à une valeur maximum (Cepmax). Cette consommation inclut les 5 usages conventionnels suivants : chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire (ECS), éclairage, auxiliaires. L'énergie primaire est obtenue en additionnant les consommations finales de toutes les énergies sauf l'électricité qui est additionné avec un facteur multiplicatif de 2,58.

Cepmax est fonction de l'usage du bâtiment, de sa situation géographique, de l'altitude à laquelle il est construit, de la surface des logements, du mode de chauffage (suivant les émissions de gaz à effet de serre de chacun des modes de chauffage).

Calcul du Cepmax appliqué à l'étude de la ZAC sur le site Boulenger, en supposant que les bâtiments ne sont pas alimentés par un réseau de chauffage urbain :

- Logements : 60 kWhep/m².an
- Tertiaire : 77 kWhep/m².an

Dans l'hypothèse où les bâtiments seraient alimentés par un réseau de chauffage urbain, les Cepmax seraient majorés d'un coefficient fonction du contenu CO₂ de l'énergie transportée par le réseau de chauffage urbain.

Synthèse : La réglementation thermique spécifie le niveau d'exigence minimal requis pour les constructions neuves pour chaque type de bâtiment suivant son usage.

II. PRISE EN COMPTE DU SRCAE DE LA REGION PICARDIE

Le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) de la Picardie définit, pour la région, les grands objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de diminution de consommations énergétiques et de déploiement des énergies renouvelables ainsi que les moyens pour y parvenir.

Orientations concernant le bâtiment

Pour le secteur du bâtiment, le SRCAE identifie comme enjeu principal la réalisation effective d'un plan d'amélioration thermique des bâtiments par une action simultanée sur la demande et sur l'offre.

Dès lors, cet enjeu est décliné au travers d'orientations qui mettent l'accent sur la rénovation :

- *1 - La Picardie met en œuvre un plan massif de réhabilitation énergétique du bâtiment et soucieux de la qualité de l'air intérieur*
- *6 - La Picardie structure une offre dynamique et innovante en matière de réhabilitation et de construction de bâtiments*
- *11 - La Picardie favorise un habitat économe en ressources naturelles*

Mais le SRCAE n'oublie pas la construction de bâtiments neufs avec les dispositions suivantes liées à l'orientation 6 :

- *D1 : Développer les compétences locales des filières du bâtiment vers la performance énergétique :* cette disposition vise la formation des acteurs et la labellisation des entreprises.
- *D3 : Favoriser l'émergence d'une offre globale de prestation de travaux :* cette disposition vise la mise en réseau des professionnels pour une meilleure réponse aux nouveaux enjeux de réhabilitation thermique et de construction performante.
- *D4 : Développer l'éco-construction et les filières locales de matériaux de construction.* Le choix des matériaux dans la construction et la rénovation des bâtiments se dirigera de préférence vers la production de filières locales en valorisant en particulier les filières végétales (paille, lin, chanvre, bois, etc.).

De même, en matière d'urbanisme, l'orientation 12 : *La Picardie limite l'artificialisation des sols par une urbanisation maîtrisée ...* comporte la disposition suivante :

- *D1 : Encourager la densification des zones urbaines existantes et la reconversion des friches urbaines* dans laquelle s'inscrit parfaitement le projet de ZAC sur le site Boulenger au moins une partie du site.

Orientations concernant les énergies renouvelables

En matière d'énergies renouvelables, l'orientation 5 : *La Picardie accroît l'autonomie énergétique de ses territoires et de ses habitants ...* comporte les dispositions suivantes :

- *D2 : Développer les capacités de production centralisée d'énergies renouvelables* : Les acteurs picards s'engagent en particulier à promouvoir la production centralisée d'énergie renouvelable en veillant à leur bonne intégration notamment environnementale et paysagère. Les chaufferies centrales biomasse seront exemplaires en termes de rejets de polluants.
- *D3 : Favoriser l'accès aux énergies renouvelables pour les usages domestiques et pour les entreprises* : cette disposition concerne davantage l'énergie diffuse consommée par les ménages et les entreprises.

L'orientation 10 : *La Picardie développe des filières innovantes de production et de stockage d'énergies locales et renouvelables ...* comporte quant à elle la disposition suivante :

- *D2 : Poursuivre la structuration des filières d'approvisionnement en bois énergie* : cette disposition vise la structuration de la filière bois régionale. En particulier, La SCIC Picardie Energie Bois, créée en 2009, joue un rôle essentiel dans cette dynamique et monte en puissance progressivement.

Un scénario volontariste

De ces orientations et de la formulation d'un certain nombre d'hypothèses découle la construction d'un scénario volontariste de réduction des consommations d'énergie et de développement des énergies renouvelables.

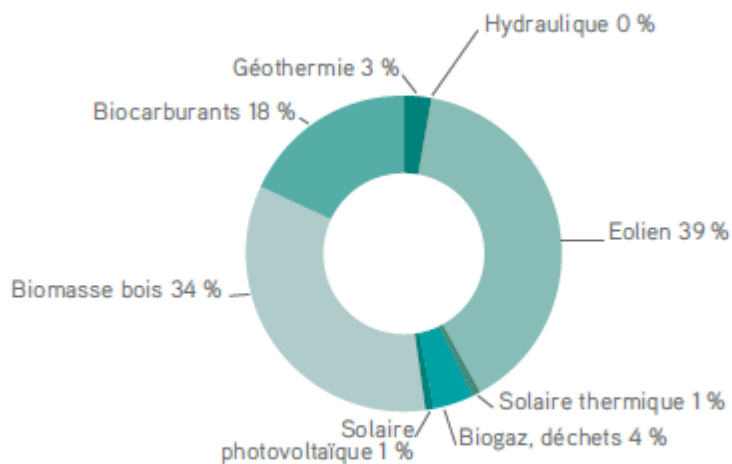
Pour le secteur du bâtiment, le SRCAE préconise l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre de 15% à l'horizon 2020. La principale contribution à cette réduction sera un ambitieux programme de rénovation de l'existant. Mais la construction neuve devra aussi contribuer à l'effort global. Pour le neuf, le scénario SRCAE prend pour hypothèse un respect strict de la réglementation thermique. Un bon contrôle de la mise en œuvre de la réglementation thermique dans la construction neuve devrait permettre d'atteindre 100 % de bâtiments respectant le niveau BBC de la RT2012 dès son application.

Le scénario régional volontariste prend pour autre hypothèse structurante le développement volontariste des réseaux de chauffage urbain et un ambitieux déploiement des énergies renouvelables.

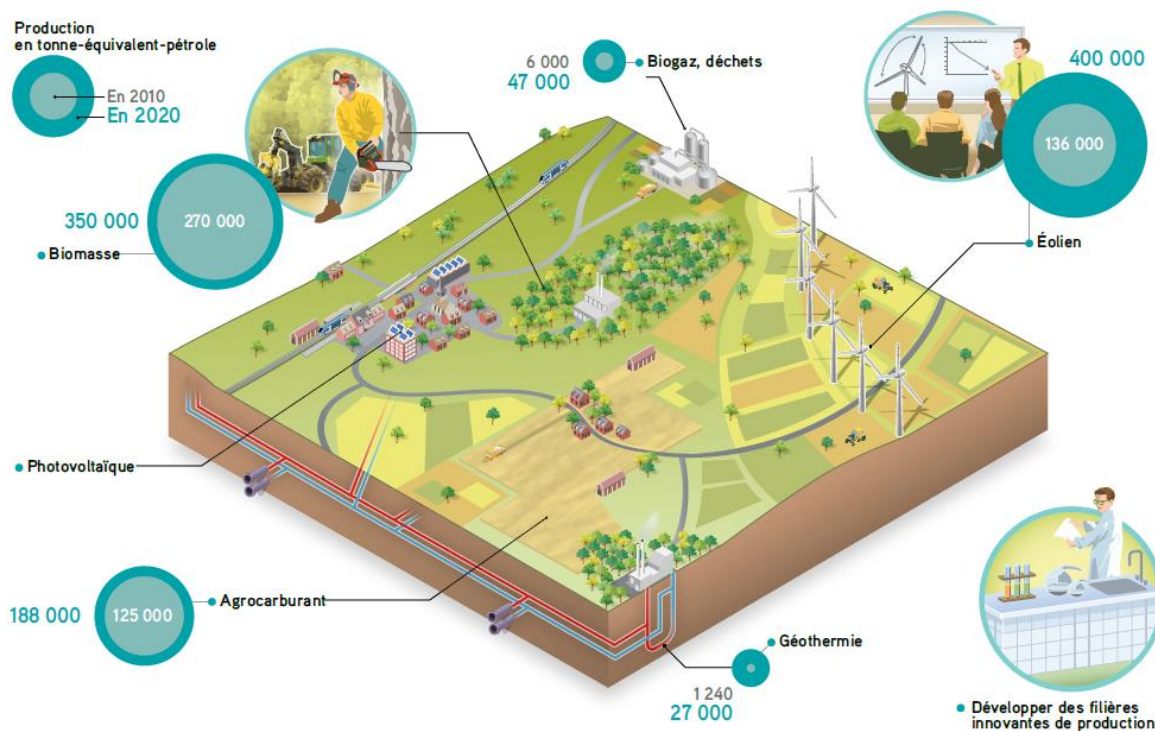
En matière de consommation d'électricité spécifique, la sensibilisation et la promotion d'appareils à étiquette énergie de type A+ et A++, ainsi que la limitation du besoin en climatisation, peuvent permettre de stabiliser les consommations.

En matière d'énergies renouvelables, le schéma des énergies renouvelables, annexe du SRCAE, prévoit en 2020 d'activer la totalité des potentiels d'énergies renouvelables. Cela revient à doubler la production par rapport à la situation actuelle, soit 500 ktep supplémentaires, avec la répartition suivante :

Répartition par filière des objectifs de production d'énergies renouvelables en 2020



L'illustration suivante mentionne sur un même schéma les productions actuelles et les cibles à atteindre à l'horizon 2020.



Le tableau suivant indique les ambitions de déploiement des énergies renouvelables aux horizons 2020 et 2050 pour la région Picardie.

Type d'énergie renouvelable	Objectifs de production en 2020 (en ktep)	Objectifs de production énergétique en 2050 (en ktep)
Eolien	400	1 200
Biomasse	350	450
Agro-carburant	188	250
Biogaz et déchets	47	140
Géothermie	27	260
Hydroélectricité	0,5	4
Photovoltaïque	10	136
Solaire thermique	10	60
Total	1 082	2 500

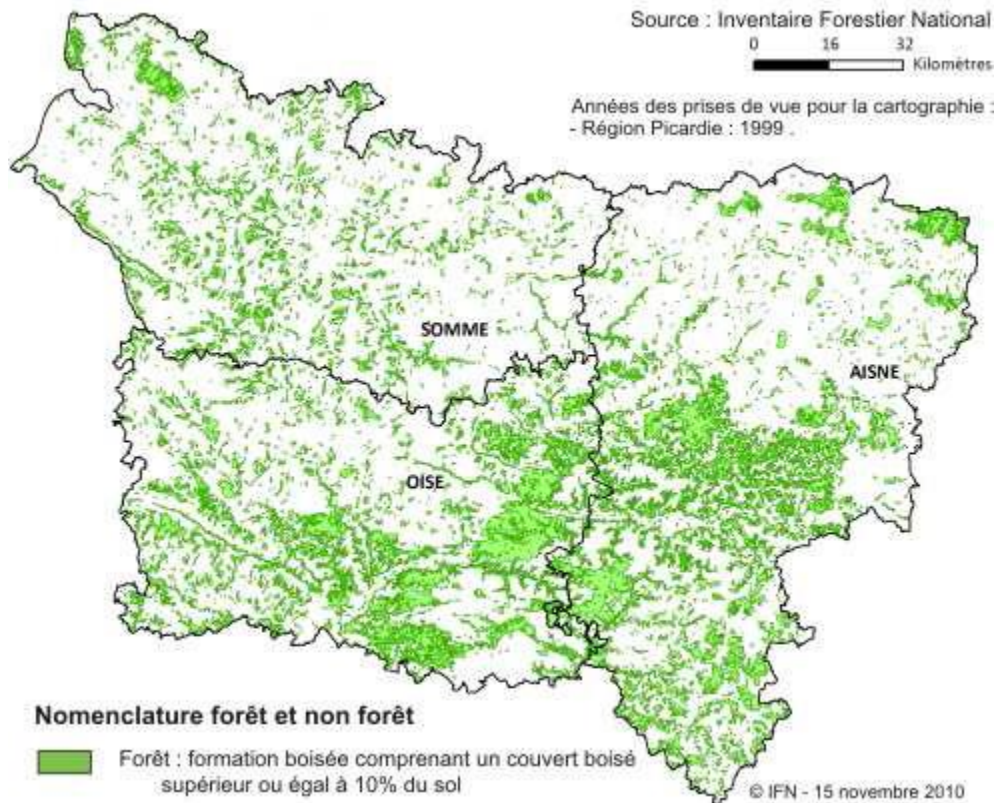
Des potentiels de déploiement importants au niveau régional pour les énergies renouvelables

Première région française productrice d'électricité éolienne, la Picardie dispose aussi d'un atout important avec la valorisation énergétique de sa biomasse.

Les potentiels sont considérables, puisqu'il est estimé par le scénario volontariste du SRCAE, qu'à l'horizon 2050, la quasi-totalité de l'énergie consommée par la Picardie pourrait être produite dans la région. L'enjeu majeur se situe dans l'accompagnement de ce développement, c'est-à-dire dans la capacité des acteurs régionaux à consolider les filières économiques régionales autant qu'à concilier respect des équilibres écologiques et exploitation des ressources naturelles.

Ressource bois :

La ressource régionale est importante puisque la région est boisée sur 18% de son territoire et que l'Oise, avec un taux de boisement de 22% est le département le plus boisé. Mais ce gisement devra être géré avec précaution pour faire face aux besoins des projets de la région mais aussi des régions limitrophes qui sont moins boisées (Ile-de-France en particulier).



Géothermie très basse température :

D'après le BRGM, la Picardie dispose de deux aquifères intéressants pour la géothermie :

- la nappe de la Craie : présente sur toute la région, elle peut fournir jusqu'à 150 m³/h soit une puissance maximale par puits s'élevant à 1,5 MW (soit l'équivalent de 200 logements collectifs peu performants) ;
- les nappes de l'Eocène recouvrent la Craie au sud de la région et sont exploitables.

Géothermie profonde basse température :

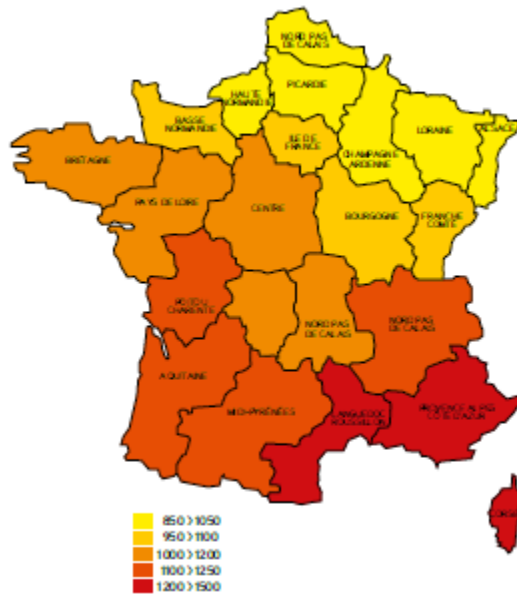
Le bassin parisien qui s'étend au sud de la Picardie est un bassin sédimentaire présentant un fort potentiel pour la géothermie profonde, le sud picard disposant cependant de températures moins élevées (< à 70°C) qu'en Ile de France ou région Centre, ce qui rend a priori nécessaire l'utilisation de pompes à chaleur pour mieux exploiter le gisement. Deux expériences passées de forages sur Dogger alimentant des réseaux de chaleur ont cependant eu lieu à Creil de 1976 à 1986 et Beauvais de 1981 à 1987. Des problèmes techniques ou un manque d'intérêt économique lié à la baisse des combustibles fossiles expliquent l'arrêt de ces installations. Les enjeux environnementaux, énergétiques et économiques actuels sont cependant susceptibles de donner un regain d'intérêt à ces technologies aujourd'hui plus matures.

La valorisation de cette ressource ne peut être réalisée que dans le cadre d'une injection de la chaleur produite dans un réseau de chaleur conséquent, les investissements nécessaires (de l'ordre de 12 M€ pour un doublet) devant pour être rentables, assurer la fourniture des besoins énergétiques d'environ 5 000 équivalents logements.

Solaire :

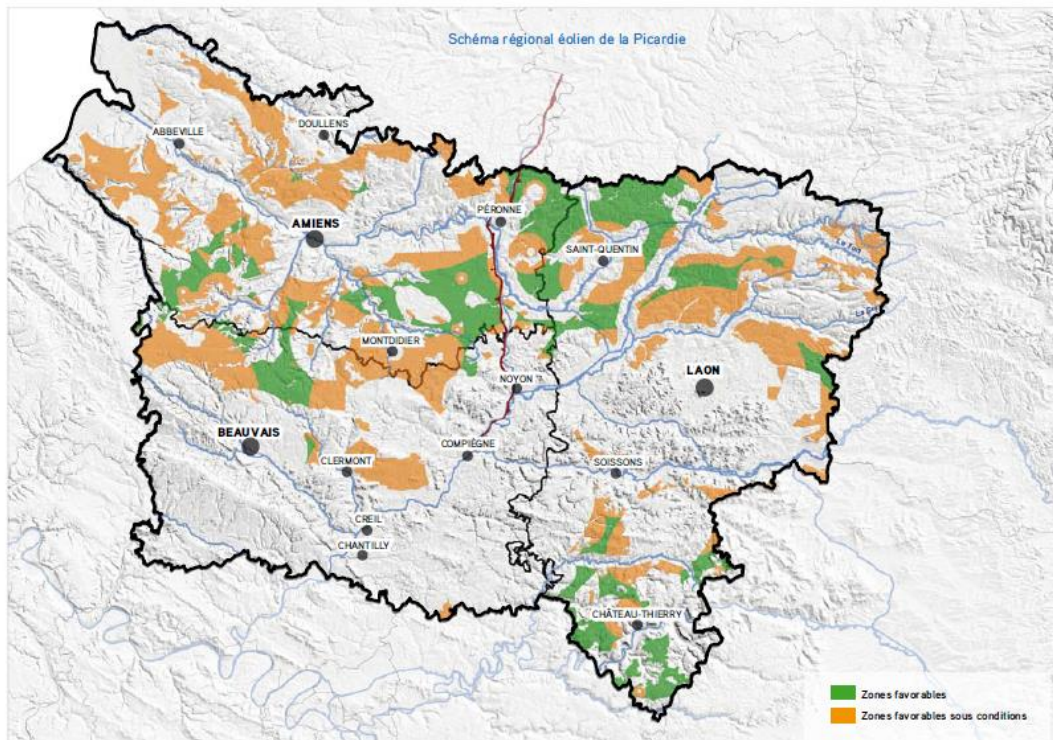
La Picardie possède un taux d'ensoleillement de 1700h/ an, avec un rendement de 900 kWh/kWc/an en moyenne. La région ne bénéficie pas d'un ensoleillement très élevé par rapport à la moyenne française.

Rendement photovoltaïque moyen en fonction de l'ensoleillement



Eolien :

Carte de l'éolien, zones favorables



L'observation de la carte montre l'absence de potentiel dans la région de Beauvais.

Un déploiement qui se décline au niveau du Beauvaisis et de la ville d'Auneuil

Ramenées à l'échelle du Beauvaisis et de la ville d'Auneuil pour les énergies qui concernent l'habitat, les ambitions du SRCAE donnent pour 2020 :

Biomasse :

Beauvaisis : 168 GWh, donc 53 GWh en plus de la situation actuelle.

Auneuil : 6 GWh, donc environ 2 GWh en plus de la situation actuelle, soit 530 logements nouveaux répondant à la RT2012 (hypothèse 50 kWh/m², 70 m²).

Déchets :

Beauvaisis : 23 GWh (en partant de 8 GWh actuellement), ce qui peut correspondre à la récupération de chaleur par incinération de déchets ou à la récupération de gaz par méthanisation des déchets fermentescibles.

Auneuil : 0,8 GWh, donc environ 0,5 GWh en plus de la situation actuelle.

Géothermie :

Beauvaisis : 13 GWh (en partant de 0,6 actuellement).

Auneuil : 450 MWh, donc environ 430 MWh en plus de la situation actuelle, soit 125 logements nouveaux répondant à la RT2012 (hypothèse 50 kWh/m², 70 m²).

Solaire thermique :

Beauvaisis : 5 GWh (en partant d'environ 400 MWh actuellement, soit environ 200 chauffe-eau solaires à l'échelle du Beauvaisis).

Auneuil : 170 MWh, donc environ 155 MWh en plus de la situation actuelle, ce qui correspond au déploiement de 300 m² de chauffe-eau solaires, soit 80 logements équipés d'un chauffe-eau solaires.

Solaire photovoltaïque :

Beauvaisis : 5 GWh (en partant de 200 MWh actuellement soit environ 70 installations à l'échelle du Beauvaisis).

Auneuil : 170 MWh, donc environ 160 MWh en plus de la situation actuelle, ce qui correspond au déploiement de 1 100 m² de capteurs solaires, soit 55 toitures de 20 m².

III. PRISE EN COMPTE DES DOCUMENTS DU BEAUVAISIS (CAB) ET DE LA VILLE D'AUNEUIL

Le SCOT du Beauvaisis (CAB)

Le SCOT révisé du Beauvaisis a été approuvé par délibération le 12/12/2014.

En matière d'énergie, le PADD comporte les préconisations suivantes :

- Permettons l'ensemble des installations et l'utilisation de sources d'énergie alternatives sur le plan réglementaire.
- Favorisons les opérations pilotes de logement social peu consommatrices en énergie en les aidant financièrement.

- Exigeons une étude comparative atouts/coût/inconvénients pour chaque projet d'aménagement supérieur à un hectare entre la filière classique et les filières renouvelables.

Le PLH du Beauvaisis (CAB)

Le PLH, couvrant la période 2016-2022, mettait en évidence la nécessité de relancer la production de logements. Il fixait un objectif de production de logements neufs pour la CAB à l'horizon 2022 de 5 400 logements avec 84 logements à Auneuil dont 14 logements sociaux.

Le PLH fixait également une densité minimale théorique pour les bourgs relais de la CAB, auquel appartient la commune d'Auneuil. Cette densité minimale était de 20 à 35 logements à l'hectare. Ainsi, le foncier nécessaire aux objectifs quantitatifs visés pouvait être évalué à 4,92 hectares.

La démarche « Prospective 21 » du Beauvaisis (CAB)

La démarche « prospective 21 », aboutie en 2012, résulte de la fusion entre une démarche prospective à l'horizon 2030 et d'un Agenda 21.

En matière de lutte contre les changements climatiques, « Prospective 21 » mentionne les axes stratégiques suivants :

- Limiter l'étalement urbain,
- Favoriser le développement des énergies renouvelables,
- Maîtriser la consommation d'énergie des bâtiments.

Le PLU de la ville d'Auneuil

Le PLU de la ville d'Auneuil a été approuvé le 22 mai 2013. Il fixe de nouveaux objectifs de construction pour la période 2015-2025 avec 365 nouvelles résidences principales envisagées à l'horizon 2025.

Le site Boulenger fait l'objet d'une des orientations du PADD. Il correspond à un secteur de reconquête urbaine à organiser.

IV. PRISE EN COMPTE DU PLAN CLIMAT DU DEPARTEMENT DE L'OISE

Dans un premier temps, le Plan Climat Energie du département de l'Oise qui couvre la période 2013-2015 est interne.

Néanmoins, il rappelle les objectifs du SRCAE :

- en 2020 : 21 % de réduction des émissions de GES, 69 % d'efficacité énergétique avec les postes principaux du bâtiment, de l'agriculture, des transports et de l'industrie, et 31 % d'énergies renouvelables (biomasse, éolien, agro-carburant) ;
- en 2050 : 81 % de réduction des émissions de GES, 71 % d'efficacité énergétique avec les postes principaux du bâtiment, de l'industrie et des services, du transport et de l'urbanisme, de l'agriculture, et 29 % d'énergies renouvelables (principalement la biomasse et l'éolien).

Il est important de souligner que l'Oise possède un fort potentiel d'énergies renouvelables au travers de la biomasse, avec près de 22% de son territoire boisé, devant l'Aisne et la Somme.

Parmi les 58 actions de son agenda 21, 31 actions concernant les problématiques énergétiques et climatiques.

Figurent en particulier les domaines suivants :

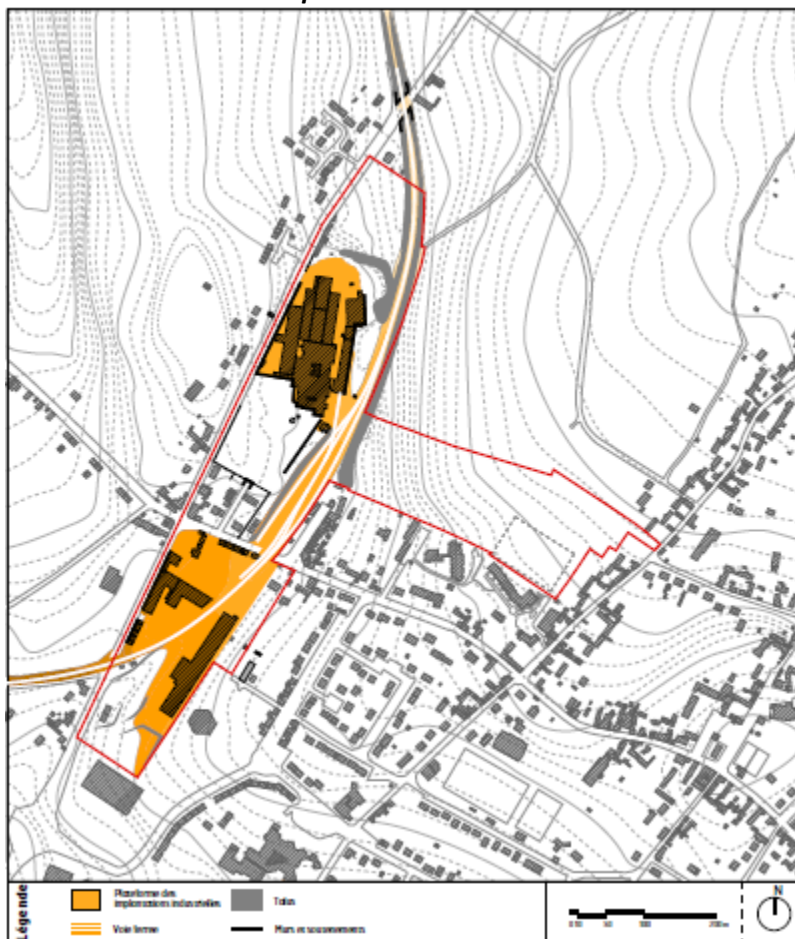
- La promotion d'une consommation raisonnée en énergie et le développement des énergies renouvelables ;
- Les constructions de bâtiments moins énergivores et durables.

Synthèse : Tous les documents ayant une relation avec les enjeux énergétiques et climatiques, qu'ils soient prescriptifs ou non, qu'ils soient régionaux, départementaux ou communautaires, préconisent à la fois la réduction des consommations d'énergie (RT2012 ou plus performant) et le recours aux énergies renouvelables. Les ambitions affichées par le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) nécessitent une déclinaison volontariste sur chaque territoire à la fois en termes de réduction des consommations d'énergie (application stricte de la RT2012 a minima pour le neuf) et en termes d'extension des réseaux de chauffage urbain et de déploiement des énergies renouvelables (bois, géothermie, solaire thermique et photovoltaïque).

3 SITUATION ENERGETIQUE EXISTANTE

La zone concernée par la ZAC du site Boulenger s'étend sur une surface totale de 10,8 ha au cœur de la ville d'Auneuil. Constitué principalement d'une friche industrielle, la partie principale s'étend entre la RD981 et l'ancienne voie ferrée. Une seconde partie s'étend vers l'est et vers le centre de la ville d'Auneuil.

Implantation de la ZAC



- **Consommation actuelle d'énergie**

La principale consommation d'énergie est celle des entreprises encore en activité situées au nord de la zone. Ces entreprises sont conservées.

Quelques logements (une dizaine) situés à l'intersection de la RD981 et de l'avenue du Maréchal Foch ou à proximité représentent une consommation d'énergie estimée à 300 MWh. Ces logements sont conservés.

- **Présence de réseau d'énergie**

Il y a présence d'un réseau de distribution électrique.

Il y a présence d'un réseau de distribution de gaz.

Il n'y a pas de réseau de chauffage urbain sur la commune d'Auneuil.

- **Présence d'énergies renouvelables**

Il n'existe pas de déploiement spécifique de systèmes d'énergies renouvelables sur le site ou à proximité.

4 CONCLUSION

Les enjeux du changement climatique et de la raréfaction des ressources d'énergies fossiles au niveau planétaire se traduisent en objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de consommation d'énergie mais aussi d'augmentation de la part des énergies renouvelables et de récupération dans les consommations d'énergie.

Ces objectifs figurent sous différentes formes dans les textes européens (directive des 3 x 20), les lois françaises (loi POPE, lois Grenelle 1 et 2, Transition Energétique), au niveau régional dans le SRCAE (Schéma Régional Climat Air Energie) et plus localement dans le Plan Climat Energie Départemental de l'Oise et dans le Plan Climat Energie Territorial du Beauvaisis.

Le projet de ZAC sur le site Boulenger s'inscrit donc dans ces contraintes et devra présenter des caractéristiques exemplaires tant au niveau des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments, que du recours à des sources d'énergie peu émissives de gaz à effet de serre : recours aux énergies renouvelables comme le bois, ressource très présente dans le département, la géothermie ou encore le solaire thermique et le solaire photovoltaïque.

Synthèse : Les constructions prévues sur la ZAC du site Boulenger s'inscrivent pour une part en remplacement d'un tissu industriel ancien et désaffecté et pour une autre part sur une zone actuellement agricole en bordure de la ville. Les nouveaux bâtiments construits constituent donc des sources nouvelles de consommation d'énergie et ne se substituent pas à d'anciennes consommations. L'absence de réseau de chauffage sur la commune ne permet pas d'envisager de raccordement. Le SRCAE de la région Picardie préconise le recours à la ressource bois abondante dans le département de l'Oise. D'autres sources d'énergies renouvelables peuvent être envisagée en alternative ou en complément : la géothermie, le solaire thermique et le solaire photovoltaïque.

CONTRIBUTION DE CLIMAT MONDI POUR LA PARTIE « ANALYSE DES IMPACTS ET MESURES ASSOCIEES »

1 BESOINS ENERGETIQUES DU PROJET

I. PERIMETRE DE L'ETUDE

La ZAC du site Boulenger se déploie sur trois secteurs :

• **Secteurs 1 et 2** : Situés au Nord

Ce secteur est le premier construit. Pour sa première phase de déploiement, il va faire l'objet d'un concours :

- 24 logements individuels groupés pour une surface habitée de 2 120 m²,
- 34 logements collectifs pour une surface de 2 800 m².

Soit un total de 61 logements pour une surface de **4 920 m²**.

Une deuxième phase verra la construction de :

- 7 logements individuels groupés pour une surface de 625 m²,
- 23 logements individuels groupés par 2 pour une surface de 2 035 m²,
- La construction d'un équipement public pour une surface de 1 000 m².

Soit un total de 30 logements et un équipement public pour une surface de **3 660 m²**.

Enfin, sur ce secteur, il faut considérer le maintien d'une activité économique sur une surface de 4 300 m².

• **Secteur 3** : Situé à l'Est

Ce secteur est ouvert à la construction par l'intermédiaire de 76 lots libres.

• **Secteur 4** : Situé au Sud

Ce secteur est ouvert à l'urbanisation par l'intermédiaire de 34 lots libres.

II. AMBITION DU PROJET

Pour les lots libres

Pour les lots libres des secteurs 3 et 4, l'ambition énergétique sera fixée par chacun des propriétaires qui devra a minima respecter la réglementation thermique en vigueur à la date de dépôt du permis de construire (RT 2012 tant qu'une nouvelle réglementation ne s'applique pas).

L'obligation de desserte par un système collectif de chauffage est peu compatible avec ce dispositif de commercialisation. En effet, les besoins de chaleur seront fonction des choix opérés par chacun des propriétaires (dimension, performance) et étalés dans le temps en fonction d'un calendrier qui n'est pas maîtrisé par la commune.

A noter toutefois que la RT2012 impose pour la construction de logements individuels le recours au minimum à un dispositif d'énergie renouvelable avec une contribution minimale attendue de 5 kWh/m².

Un simple chauffe-eau thermodynamique (chauffe-eau équipé d'une pompe à chaleur) peut suffire à respecter la réglementation.

Aussi, le Cahier des Charges de cession de terrain (CCCT) peut aller au-delà du minimum réglementaire et comporter des clauses de nature environnementale prévoyant le recours à une deuxième source d'énergie renouvelable par exemple ou augmentant la contribution minimale attendue. Le plus classique serait de requérir l'installation d'un chauffe-eau solaire ou plus largement le recours à au moins deux sources d'énergie renouvelable car le CCCT ne peut pas imposer l'utilisation d'une énergie unique.

Si la commune souhaite donner une impulsion encore plus importante au déploiement d'énergie renouvelable sur les maisons construites dans le cadre de la vente de lots libre, elle peut assortir l'installation d'un deuxième système d'énergie renouvelable d'une réduction du prix de vente de la parcelle (remboursement sur justificatif).

Pour les secteurs 1 et 2

Pour les secteurs 1 et 2, En attente de l'expression d'une ambition supérieure, nous préconisons de prendre pour cible de consommation énergétique pour les 5 usages de l'énergie les valeurs retenues dans le paragraphe suivant « spécifications énergétiques retenues ».

Quoi qu'il en soit, comme le préconise le SRCAE, la réglementation RT2012 devra être strictement appliquée ce qui signifie que la collectivité doit se doter des moyens de contrôler la qualité des travaux.

Les objectifs de la RT2012 peuvent être atteints en prenant en compte les principes suivants :

- conception bioclimatique (implantation et orientation prenant en compte l'ensoleillement et les couloirs venteux),
- éclairage naturel,
- choix des matériaux constructifs,
- inertie thermique,
- système de renouvellement d'air double flux,
- réduction des ponts thermiques,
- vitrages très peu émissifs (triple vitrages performants) permettant de trouver un compromis entre isolation et éclairage naturel,
- limitation du recours à la climatisation,
- végétalisation des parois verticales et des toitures (afin de limiter le stockage de la chaleur en été et favoriser l'isolation en hiver),
- protections amovibles pour captage de la chaleur en hiver et protection en été.

III. SPECIFICATIONS ENERGETIQUES RETENUES

Compte tenu de ce qui précède, pour les constructions des secteurs 1 et 2, en ce qui concerne les 5 usages conventionnels de l'énergie (chauffage, eau chaude sanitaire, éclairage, froid et ventilation/auxiliaires), nous proposons de retenir les spécifications énergétiques de la RT2012 pour les bâtiments neufs, à savoir :

- Logements : **60 kWhep/m².an**
- Tertiaire (et par extension les commerces) : **77 kWhep/m².an**

En effet, même si certains murs et certaines toitures de bâtiments existants seront conservés, nous considérons que le niveau de rénovation est tel qu'il s'agit quasiment d'une construction neuve.

En plus des 5 usages conventionnels de l'énergie, il convient de considérer les usages non conventionnels que sont les usages de l'énergie liés aux équipements électrique présents dans un logement (réfrigérateur et autres équipements de la cuisine, audiovisuel, ordinateurs, lave linge / sèche linge ...) et dans les bureaux (ordinateurs, bureautique ...).

Pour les logements, il est habituel de considérer que cette consommation s'élève en énergie finale à environ 1 MWh/personne.an. Si l'on considère une surface moyenne occupée par une personne de 25 m², en prenant l'hypothèse que cette énergie est à 100% d'origine électrique, la consommation moyenne surfacique à prendre en compte est alors de **100 kWhep/m²**.

Pour les commerces, le document « chiffres clés du bâtiment Ademe 2010 » indique une consommation d'électricité spécifique de **128 kWh/m²** donc **330 kWhep/m²**.

Pour les bureaux, de récents retours d'expérience présentés lors d'une réunion de l'IFPEB (Institut Français de la Performance Energétique du Bâtiment) montrent que la consommation d'énergie peut varier de 50 à 100 kWhep/m² suivant l'usage du bâtiment et son taux d'occupation. Nous pourrions prendre une consommation moyenne de **75 kWhep/m²**.

Ne sachant pas quelles seront les activités qui s'installeront, nous retiendrons une valeur moyenne de **200 kWhep/m²**.

Dans les cas des logements et des commerces, nous constatons donc que les autres usages de l'énergie atteignent des niveaux de consommation supérieurs à la consommation des 5 usages conventionnels de l'énergie.

Pour les activités économiques maintenues, nous considérons une consommation moyenne de chauffage de **150 kWhep/m²**.

IV. BESOINS ENERGETIQUES

Cette étape consiste à quantifier les besoins en énergie de l'opération d'aménagement sur la base des documents disponibles :

- Chauffage des équipements et logements,
- Besoin en eau chaude sanitaire (ECS),
- Eventuels besoins en rafraîchissement l'été,
- Eclairage des parties communes et éclairage public (besoins pris en compte par un ratio de consommation électrique surfacique),
- Estimation des consommations énergétiques autres que chauffage et éclairage en fonction de l'usage prévu des différents bâtiments (besoins pris en compte par un ratio de consommation électrique surfacique).

Ne connaissant pas la surface et la destination des commerces, nous ne différencions pas à ce stade de l'étude les surfaces qui leur seront dévolues.

La répartition des consommations en fonction des différents usages est la suivante (en kWhep/m²) :

	1. Logements RT2012	2. Activités maintenues	3. Equipement nouveau	4. Logements RT2012 lots libres
ECS	25	10	10	25
Chauffage	25	150	48	25
Refroidissement				
Eclairage	6	15	15	6
Auxiliaires	4	4	4	4
Electricité spécifique	100	200	200	100
Tous usages	160	379	277	160
5 usages réglementaires	60	179	77	60

Besoins en énergie

Les besoins en énergie pour les logements RT2012, les activités maintenues et le nouvel équipement sont les suivantes :

Les besoins annuels de chauffage sont :	880 MWh
Les besoins annuels en eau chaude sanitaire sont :	240 MWh
Les besoins annuels pour l'éclairage sont :	125 MWh
Les besoins annuels pour les auxiliaires sont :	50 MWh
Les besoins annuels pour les usages spécifiques sont :	1 800 MWh
Soit un total de :	1 300 MWh pour les 5 usages réglementaires
Et de :	3 100 MWh pour tous les usages

Besoins cumulés : chauffage + ECS

Pour les logements RT2012, les activités maintenues et le nouvel équipement, le cumul des besoins chauffage + ECS donne le résultat suivant : **1 120 MWh**.

La puissance du système de chauffage nécessaire est comprise **entre 370 kW et 1 600 kW** suivant le niveau de centralisation du système de chauffage.

Synthèse : Avec pour hypothèse de spécifications thermiques pour les bâtiments neufs celles de la RT2012, les besoins énergétiques du projet, sont d'environ 3,1 GWh dont 1,3 GWh pour les 5 usages réglementaires (chauffage, eau chaude, éclairage, auxiliaires, froid). La puissance à mettre en œuvre varie d'un facteur 4 suivant le niveau de centralisation choisi.

2 DES GISEMENTS D'ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES POSSIBILITÉS TECHNIQUES ADAPTEES AU CONTEXTE

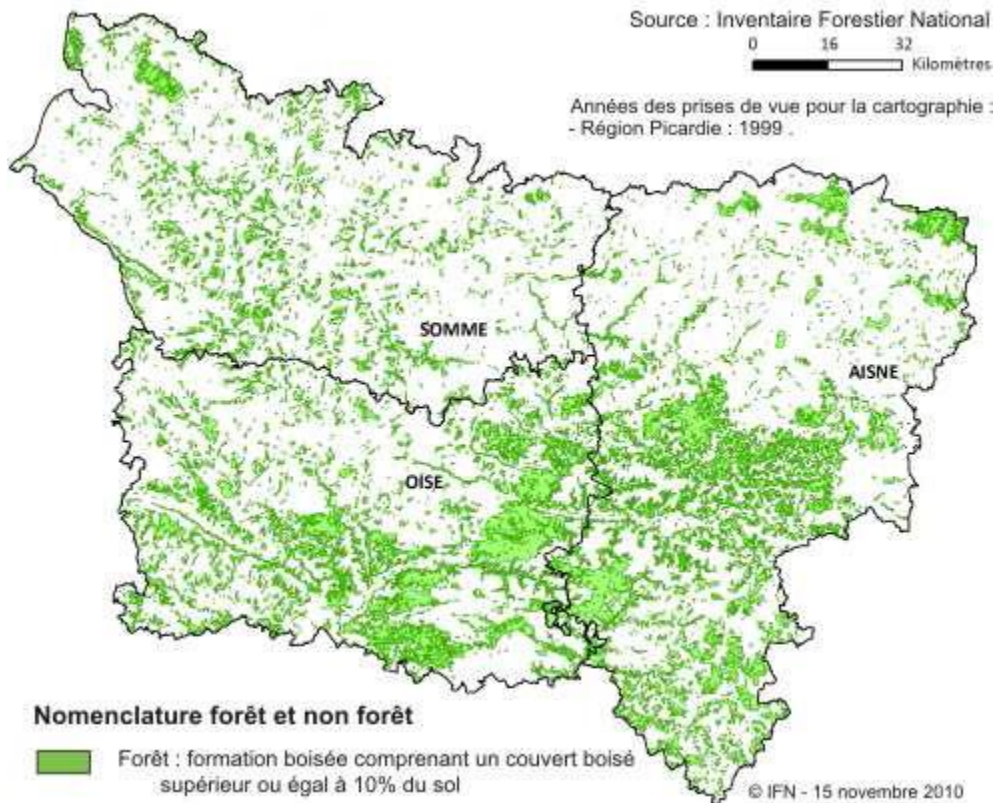
Cette partie passe en revue les gisements d'énergies renouvelables présents sur le site.

En matière d'énergie renouvelable, il n'existe pas de « solution miracle » permettant de répondre à tous les besoins mais plutôt un « bouquet » de techniques qu'il convient de prendre en compte suffisamment en amont du projet pour en favoriser la prise en compte dès la conception et dans une vision globale du bâtiment. Enveloppe du bâtiment, fondations, toiture, chaufferie bois et petit réseau de chauffage,

valorisation énergétique des eaux usées : tous ces éléments peuvent et doivent contribuer à l'objectif de parvenir à des bâtiments avec une empreinte carbone la plus faible possible.

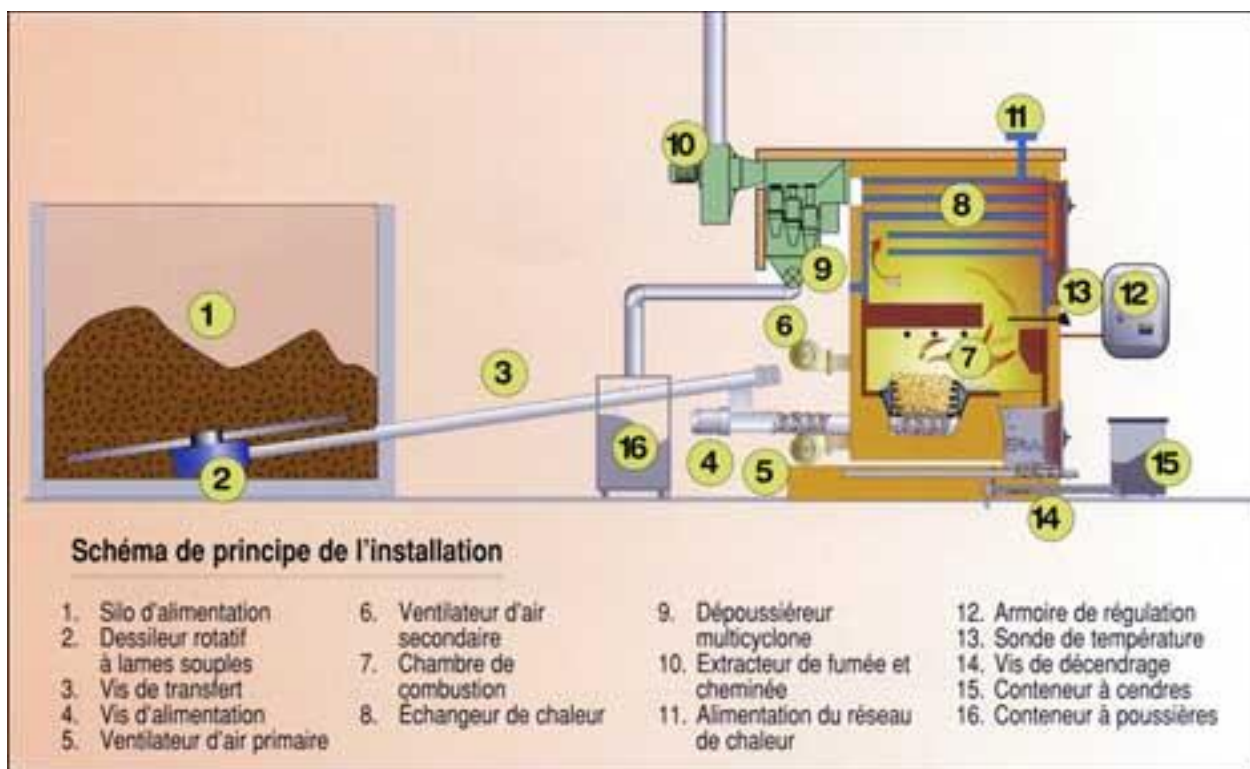
I. LE BOIS ENERGIE

Cette source d'énergie est privilégiée dans le SRCAE de la région Picardie compte tenu d'un gisement important dans la région en général et dans le département en particulier.



L'équipement

Suivant le combustible utilisé, plaquettes ou pellets/granulés, la chaudière à installer est de type différent.

Chaudière à bois – Schéma de principe d'une chaufferie (source site Bioforêt)

Les technologies sont désormais matures et le surcoût nécessaire à l'investissement est compensé, dans un délai inférieur à la durée de vie de l'équipement, par un coût de combustible plus faible, et en croissance moins importante, que celui des énergies fossiles et de l'électricité.

Coût à prévoir : investissement dans une chaudière, en fonction de la puissance, en considérant que la chaudière sera destinée aux logements et au nouvel équipement :

- Surface des locaux 1 500 m² environ, 200 kW : 180 k€TTC

Il convient aussi de prendre en compte un local de stockage (silo) pour le combustible avec un accès par des semi-remorques.

L'ordre de grandeur du coût du combustible ramené au kWh est de 0,02 à 0,03 €TTC.

La filière bois-énergie

Une filière d'approvisionnement en bois ne peut se concevoir que si la source d'approvisionnement est proche géographiquement. Une distance maximum de 50 km paraît raisonnable. Au-delà de cette distance, les coûts et surtout les émissions de gaz à effet de serre dues au transport rendraient la ressource bois moins intéressante.

Cependant, la ressource bois n'est pas limitée à la ressource forestière constituée des taillis et des rémanents d'exploitation. Elle est constituée aussi des sous-produits des industries du bois (sciures, copeaux, écorces, dosses ...), des bois de rebut non souillés (palettes, cagettes ...) et des résidus d'élagage.

La plupart de ces matériaux doivent être transformés par des entreprises spécialisées avant d'être utilisés en chaudière.

Si ce choix devait être retenu, une étude approfondie de la filière d'approvisionnement en Picardie doit être approfondie.

Synthèse pour le bois énergie : Le bois énergie, compte tenu du gisement en Picardie et dans l'Oise, est une énergie à prioriser pour la ZAC du site Boulenger. Il convient toutefois d'approfondir l'étude de la filière d'approvisionnement.

II. UTILISATION DES TOITURES POUR RECUPERER L'ÉNERGIE SOLAIRE

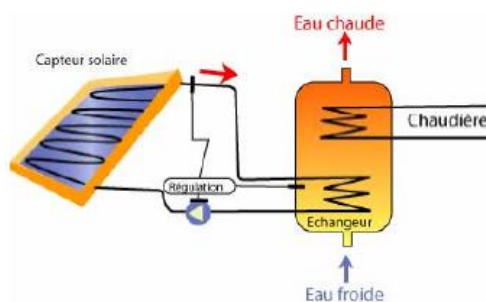
Il existe deux types d'énergie solaire :

- Le solaire thermique, qui permet de produire de la chaleur, dans le cas présent pour un usage de production d'eau chaude sanitaire.
- Le solaire photovoltaïque, qui permet de produire de l'électricité.

Principe et potentiel du solaire thermique

Un capteur solaire situé sur le toit, orienté au sud, concentre le rayonnement solaire (effet de serre) derrière un vitrage sur un fluide caloporteur confiné dans un circuit qui relie le capteur au réservoir d'eau à chauffer. Le fluide circule tant que la température du capteur est supérieure à celle de l'eau chauffée dans le réservoir jouant son rôle d'échangeur thermique entre les calories solaires captées et le réservoir d'eau.

Schéma de principe d'un chauffe-eau solaire (source GRDF)



En Picardie, avec un ensoleillement moyen annuel de 900 kWh/m^2 , une surface de capteurs solaires thermique de 1 m^2 par personne vivant dans les logements, orientés plein sud, inclinés à 45° par rapport à l'horizontale permet de couvrir la moitié de ses besoins en eau chaude sanitaire.

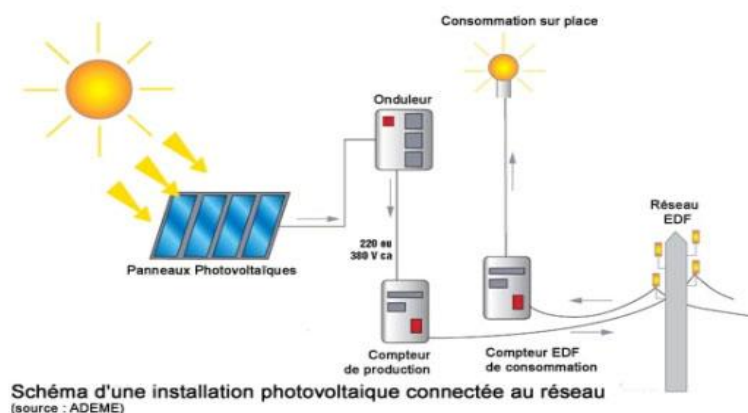
Cette énergie se substitue à l'énergie fossile ou électrique utilisée pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire. Elle a pour avantage de ne pas émettre de gaz à effet de serre en exploitation.

L'énergie solaire thermique permet de respecter plus facilement le Cepmax puisque cette énergie solaire thermique, non émissive de gaz à effet de serre, est déduite de la consommation énergétique des logements.

Si les bâtiments sont alimentés par un réseau de chauffage urbain, la présence de chauffe-eau solaire peut ne pas être pertinente sauf si, hors période de chauffe, le réseau ne délivre pas de calories. Dans ce cas, les chauffe-eau solaires peuvent constituer un complément utile au réseau de chauffage.

Principe et potentiel du solaire photovoltaïque

Un capteur solaire situé sur le toit, orienté au sud, transforme le rayonnement solaire en courant électrique continu. Le courant continu est transformé en courant alternatif par un onduleur pour être vendu à EDF.

Production solaire photovoltaïque, schéma de principe (source ADEME)

En Picardie, avec un ensoleillement moyen annuel de 900 kWh/m², une installation de 1 kWc, soit environ 6 à 8 m² de surface de capteurs photovoltaïques, orientée plein sud et inclinée à 45° par rapport à l'horizontale produit 1 MWh.

L'électricité produite peut être utilisée et stockée sur place avec un coût d'investissement supplémentaire lié au système de batterie à installer.

La rentabilité économique d'un tel système n'est possible que si l'électricité est vendue intégralement à EDF. Les tarifs de vente de l'électricité à EDF ont été revus à la baisse depuis 2011. Pour une installation de puissance inférieure à 100 kWc (650 m²), l'électricité produite est vendue à EDF à un tarif dont le prix est calculé en fonction du nombre de demandes d'installations déposées au niveau national chaque trimestre. Il est dégressif au cours du temps. Suivant le type de bâtiment et la puissance de l'installation, Ce tarif varie actuellement entre 13 et 25 c€/kWh.

L'énergie solaire photovoltaïque permet de respecter plus facilement le Cepmax puisque cette énergie solaire photovoltaïque, non émissive de gaz à effet de serre, est déduite, avec un coefficient multiplicateur de 2,58, de la consommation énergétique des logements.

Il convient donc d'explorer la possibilité de doter les toits exposés au sud et sans masque de **chauffe-eau solaires** pour couvrir les besoins en eau chaude sanitaire mais aussi de **capteurs photovoltaïques** destinés à couvrir une partie des besoins en électricité des bâtiments ou à produire de l'électricité qui sera vendue à EDF.

Les deux technologies sont éprouvées. La contribution du solaire thermique est limitée à la couverture d'environ 50% des besoins en eau chaude sanitaire. L'équation économique du solaire photovoltaïque est étroitement liée au tarif d'achat de l'électricité par EDF et à la diminution du coût de la technologie.

Potentiel d'énergie solaire sur la ZAC du site Boulenger

Sur les logements individuels groupés, l'utilisation des toitures pour y disposer des dispositifs solaires impose dès la conception des toitures un parti pris : celui de disposer pour chaque logement d'une pente orientée au sud ou d'un toit en terrasse.

Si ce parti pris est choisi, chaque logement peut être muni de 4 m² de capteurs solaires thermiques pouvant couvrir 50% de ses besoins en eau chaude sanitaire et de 15 m² de capteur solaire PV permettant de produire chaque année environ 2 MWh d'électricité, soit 50% des besoins en électricité spécifique d'une famille de 4 personnes.

Pour les logements collectifs, l'orientation Est/Ouest des toitures en pente actuelles et la volonté probable de conserver la physionomie générale du site induisent une impossibilité d'utiliser les toitures pour capter l'énergie solaire.

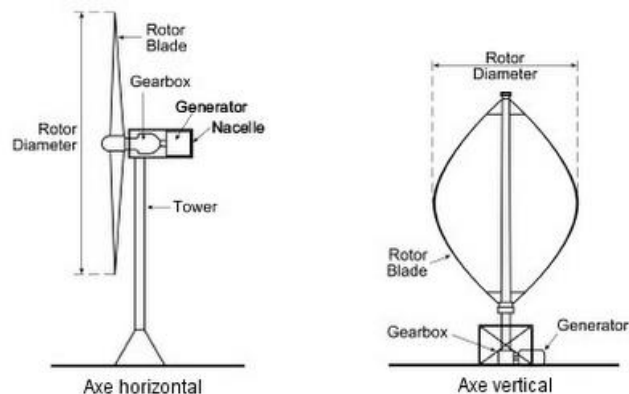
Synthèse pour le solaire : L'énergie solaire peut constituer un complément intéressant tant pour produire de l'eau chaude sanitaire que pour produire de l'électricité. Néanmoins, pour l'eau chaude sanitaire, la présence d'un réseau de chauffage urbain peut rendre inutile l'énergie solaire et, concernant, l'énergie photovoltaïque, la baisse des tarifs de vente de l'électricité à EDF allongent le temps de retour de l'investissement.

III. UTILISATION DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

Principes du petit éolien

Les petites éoliennes offrent une puissance nominale comprise entre 100 watts et 50 kW. Elles sont perchées sur un mât qui peut atteindre 35 mètres de hauteur.

Différents types d'éoliennes

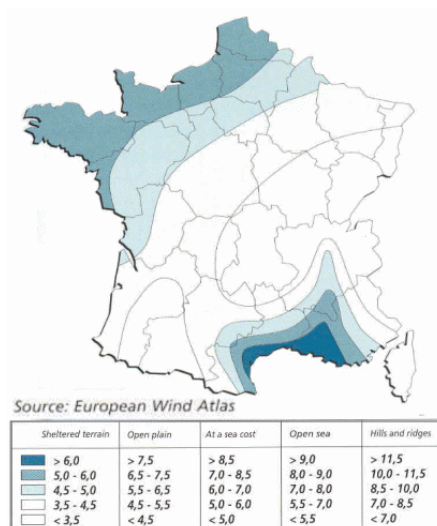


Le petit éolien a une rentabilité nettement plus faible que l'éolien industriel. Le retour sur investissement sera beaucoup plus incertain et dépend du prix d'achat de l'éolienne, des aides, du coût de la maintenance, du prix du marché de l'électricité et de la quantité d'électricité produite. Si le coût de production de l'électricité fournie par les éoliennes industrielles est situé autour de 50 euros le MWh (en Europe), il faut généralement s'attendre au double pour une petite éolienne.

L'énergie éolienne

La France est l'un des pays d'Europe qui dispose du meilleur potentiel éolien.

Carte du potentiel éolien de la France



Néanmoins, chaque cas d'étude doit faire l'objet d'une étude approfondie :

- Utilisation d'un mât de mesure pendant au moins un an
- Détermination de la quantité de vent exploitable durant l'année
- Détermination de la qualité du vent : régularité d'écoulement, absence de turbulence...
- Détermination de la vitesse du vent
- Choix d'une éolienne adaptée aux conditions locales : turbulences, masquage, ...

Le bruit des éoliennes

Bien que d'importants progrès aient été réalisés, il ne faut pas négliger cet aspect lors de l'installation d'une éolienne. La propagation du bruit est un phénomène complexe qui dépend du terrain, du vent, du taux d'humidité dans l'air, etc.

Les éoliennes produisent par grand vent un bruit aérodynamique saccadé lié au frottement des pales dans l'air et un bruit mécanique qui provient de la génératrice.

Les petites éoliennes sont généralement très silencieuses car c'est souvent le réducteur de vitesse des grosses machines qui génère du bruit par gros vent. Les aérogénérateurs à axe vertical sont réputés pour leur silence de fonctionnement et un bon comportement dans les vents agités.

La loi sur le bruit (Code de la santé publique) indique que l'émergence sonore ne doit pas dépasser 5 dBA le jour et 3 dBA la nuit.

Production annuelle

Un taux de charge de 1 600 heures est généralement constaté en France pour le petit éolien. En 2008, le facteur de charge de l'éolien industriel a varié mensuellement entre 10% et 37%, et la moyenne annuelle s'est établie à 23% (2 015 heures) pour l'ensemble du parc éolien situé en métropole.

Pour une éolienne de 5 kW, une production de 8 000 kWh par an peut être attendue.

Rentabilité

Si on tient compte du prix du kWh fourni par EDF (l'éolien ne bénéficie pas des mêmes conditions de rachat que le solaire), une petite éolienne est amortie au bout de 15 à 20 ans de fonctionnement. Une très bonne exposition aux vents est la condition indispensable pour amortir une petite éolienne en 15 ans et espérer qu'elle fonctionne encore quelques années de plus. Si d'un point de vue financier, l'intérêt d'investir dans une petite éolienne pour substituer sa production à l'achat d'électricité sur le réseau EDF permet juste d'espérer l'équilibre, d'un point de vue écologique l'intérêt du petit éolien est indéniable puisque cette technologie ne produit pratiquement aucun déchet.

Le prix d'achat d'une petite éolienne de 2 kW se situe autour de 15 000 €, et de 30 000 € pour une petite éolienne de 10 kW (hors aides publiques).

Dans les conditions actuelles de rentabilité, le petit éolien sera avantageusement réservé aux zones non électrifiées, ou à des opérations exceptionnelles de valorisation.

L'éolienne en milieu urbain et dans le Beauvaisis

Compte tenu de ce qui précède (sensibilité aux turbulences en milieu urbain, bruit, rentabilité) et malgré celles qui sont installées (depuis 2006 sur le toit d'un immeuble HLM d'Equihen-Plage près de Calais, depuis 2010 sur le toit de la Maison de l'air dans le 20ème arrondissement de Paris), les éoliennes urbaines ne sont pas privilégiées en France. Nous ne disposons en effet pas encore de retours d'expérience convaincants et d'une offre technico-économique probante.

Un retour d'expérience a été rendu public en 2012 par l'IFPEB (Institut Français de la Performance Energétique des Bâtiments) pour le bâtiment Hélicon situé à Lyon Confluence. Le bâtiment est alimenté par une éolienne à axe vertical de 20 kW. Les calculs prévisionnels envisageaient une production électrique à hauteur de 2,2 kWh/m². Au bout de la première année, la production réelle n'était que de 0,1 kWh/m². La première analyse pointait une surestimation du potentiel éolien urbain du site et un manque de maîtrise de cette technologie (conception et exploitation).

Plus récemment, a été inauguré en 2013, un nouveau bâtiment de 9 300 m² situé porte des Lilas dont le maître d'ouvrage est la RIVP. Ce bâtiment réunit un foyer pour migrants et jeunes travailleurs de 240 logements ainsi qu'une crèche de 66 berceaux. Il est surmonté de deux éoliennes à axe vertical installées en toiture. Elles alimentent la crèche dans la journée et basculent sur le foyer le soir. La production estimée à 25kWh/m² permet de répondre avantageusement au plan climat de Paris.

Ce choix de production énergétique encore expérimentale en milieu urbain est ici particulièrement justifié car le bâtiment dont l'altimétrie est élevée (9 étages), se trouve dans un couloir venteux.

Photo des éoliennes, porte des Lilas (source « Faiteslepleind’avenir.com »)



Le recul d’expérience est encore un peu court mais il est certain que la réussite d’un tel projet nécessite au préalable une étude de gisement éolien réalisée par un bureau d’étude indépendant du fournisseur. Cette étude comporte le croisement du modèle météorologique, celui de rugosité (circulation à travers les immeubles) ainsi que l’étude du relief.

Plus généralement, une fiche technique publiée en février 2015 par l’ADEME sur le petit éolien préconise la plus grande prudence concernant l’installation d’éolienne en milieu urbain (voir extrait ci-dessous du tableau de synthèse).

Synthèse des recommandations de l’ADEME concernant le petit éolien (source ADEME)



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

D’autre part, l’étude réalisée dans le cadre du Schéma Régional Eolien sur le potentiel éolien de la région Picardie montre que le Beauvaisis n’est pas particulièrement favorable (voir la carte en page 11).

Synthèse pour l’éolien : Le manque de potentiel du Beauvaisis ainsi que les retours d’expérience sur le petit éolien utilisé en zone urbaine ne sont pas encore suffisamment probants pour envisager une diffusion plus large de la technologie et son utilisation dans le cas de la ZAC sur le site Boulenger.

IV. UTILISATION DE LA GEOTHERMIE

Principes de l'énergie géothermique

La géothermie consiste à utiliser l'énergie contenue sous la surface de la terre. Pour des opérations d'urbanisme de cette ampleur, cette énergie peut être récupérée dans des nappes aquifères ou par des forages verticaux (pieux secs géothermiques ou forages secs verticaux).

Dans la région Picardie, plusieurs nappes aquifères peuvent être utilisées. Parmi celles-ci, seule celle du Dogger possède une température suffisante (56°C à 85°C) pour une utilisation directe de la chaleur. D'ailleurs deux expériences passées de forages sur Dogger alimentant des réseaux de chaleur ont cependant eu lieu à Creil de 1976 à 1986 et Beauvais de 1981 à 1987. Des problèmes techniques ou un manque d'intérêt économique lié à la baisse des combustibles fossiles expliquent l'arrêt de ces installations. Les enjeux environnementaux, énergétiques et économiques actuels sont cependant susceptibles de donner un regain d'intérêt à ces technologies aujourd'hui plus matures.

Néanmoins, la profondeur du Dogger (1 500 à 2 000 m), donc les coûts de forage qui en résultent ne sont pas compatibles avec une opération de la taille de ce projet. Les investissements nécessaires pour l'accès à la ressource (6 à 10 M€) sont rédhibitoires pour ce projet.

L'utilisation d'une nappe aquifère, même moins profonde que le Dogger, nécessite une étude approfondie qui n'a pas été menée dans le cadre de cette mission. Le nombre de logements à alimenter ne permettrait pas d'amortir des investissements trop importants.

La Picardie dispose de deux aquifères intéressants pour la géothermie :

- la nappe de la Craie : présente sur toute la région, elle peut fournir jusqu'à 150 m³/h soit une puissance maximale par puits s'élevant à 1,5 MW (soit l'équivalent de 200 logements collectifs peu performants) ;
- les nappes de l'Eocène recouvrent la Craie au sud de la région et sont exploitables.

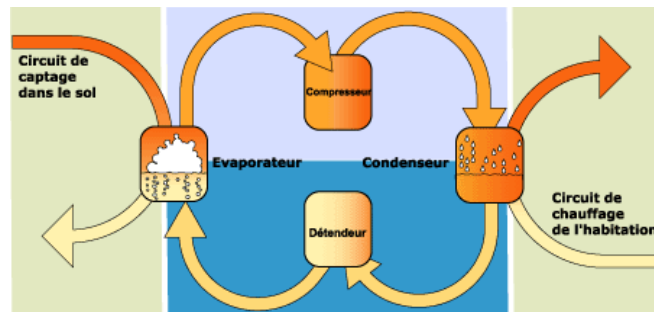
Le potentiel d'une nappe dépend de sa profondeur (plus la nappe est profonde, plus les coûts d'investissement liés au forage seront élevés), de ses caractéristiques techniques (température, épaisseur saturée, transmissivité, hydrochimie) qui permettront d'en déduire le potentiel énergétique.

Si les aquifères ne sont pas utilisés, la solution des pieux secs géothermiques (ou fondations géothermiques) pourrait être explorée. Cette technique a le mérite de pouvoir être prise en compte dans la conception même de la structure du bâtiment puisque ces pieux géothermiques peuvent aussi être utilisés comme éléments de fondation du bâtiment. Par ailleurs, elle présente l'avantage de ne pas être tributaire de la disponibilité des aquifères et des risques liés à l'exploitation de ceux-ci (pollution, qualité de l'eau ...).

La quantité restreinte d'énergie récupérée dans le sol (température moyenne de 10°C) rend obligatoire le recours à un dispositif « amplificateur » appelée Pompe à Chaleur (PAC) géothermale (ou géothermique).

Ce dispositif a pour rôle de prélever l'énergie dans le sous-sol à l'aide d'un dispositif de captage (ou capteurs), pour la transférer sous forme de chaleur dans le bâtiment à chauffer. Une PAC utilise l'énergie électrique (PAC électrique) ou l'énergie de combustion du gaz (PAC Gaz). Le rapport entre l'énergie fournie au bâtiment et l'énergie électrique (ou gaz) utilisée caractérise la PAC : c'est le Coefficient de Performance (COP).

Principe d'une pompe à chaleur (source Ademe).



Pour cette opération, trois types de captage de l'énergie sont possibles : les sondes géothermiques verticales et les pieux géothermiques pour les collectifs, les sondes géothermiques horizontales pour les pavillons. Il est d'ailleurs fortement probable que les fondations géothermiques ne seront pas suffisantes et qu'il faudra avoir recours à un captage additionnel par des sondes géothermiques verticales.

Le captage d'énergie dans le sous-sol est en effet directement proportionnel à la longueur des sondes. La puissance thermique captée dans le sous-sol est de 50 W par mètre linéaire de forage.

Sondes géothermiques verticales

Les inconvénients des sondes géothermiques verticales sont leur coût élevé et la réglementation concernant la réalisation d'un forage. Celle-ci est en effet compliquée : elle est encadrée par différents codes, en particulier par le code minier. Pour résumer, le code minier implique la déclaration de tout forage supérieur à 10 m de profondeur et nécessite une autorisation (donc enquête publique avec établissement d'un document d'incidence) pour tout ouvrage supérieur à 100 m de profondeur.

Procédures administratives (Source Lemale – cours ENSAM)

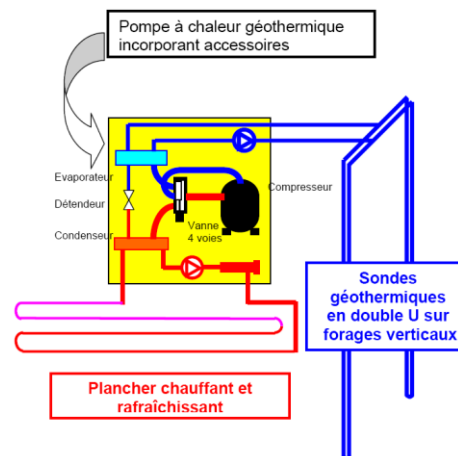
Référence réglementaire	Article ou Décret applicables aux sondes géothermiques	Dispositions applicables
Code civil	Articles 1792 et 2270	Tout constructeur d'ouvrage est responsable pendant 10 ans.
Code minier	Titre I, art. 3 - Titre IV, art.70 -Titre V, art.102 - Titre VIII, art. 131 - Décret 78-498 du 28/03/78	Les gîtes géothermiques sont considérés comme des mines. Tout forage de plus de 10 m oblige à déclaration préalable aux travaux. Les gîtes géothermiques de moins de 150 °C, de moins de 200 thermies/h (réf. 20 °C) : <ul style="list-style-type: none"> de moins de 100 m : simple déclaration. de plus de 100 m : autorisation administrative.
Code de l'environnement	Livre II « milieux aquatiques » - titre 1 « eau et milieux aquatiques » Décret n° 2003-868 du 11/09/03 (arrêté « forage ») - articles 3,4,6.	Le site d'un forage est choisi de façon à prévenir les risques de pollution depuis la surface ou souterraines par mélange de niveaux aquifères. La distance d'un forage doit être supérieure à 200 m de décharges et stockages de déchets ; 35 m de stockages d'hydrocarbures, de produits chimiques et phytosanitaires. 35 m d'ouvrages d'assainissement (dans ce dernier cas des dérogations peuvent être demandées au service instructeur). La réalisation d'un chantier de forage doit prendre en compte des précautions particulières pour prévenir les risques de pollution accidentelle.

Elles sont constituées de deux tubes de polyéthylène formant un U installés dans un forage (jusqu'à 80 m de profondeur) et scellés dans celui-ci par du ciment.

Pour ce type de chantier, Il est nécessaire de faire appel à une entreprise de forage qualifiée (le bureau de recherches géologiques et minières – BRGM – gère une liste de foreurs engagés dans une démarche de qualité) et de respecter les procédures administratives concernant la protection des sous-sols (cf paragraphe plus haut).

**Principes de fonctionnement d'une pompe à chaleur
avec sondes géothermiques verticales (Source J. Bernier – Cours ENSAM)**

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



Pieux géothermiques (ou pieux énergétiques ou encore fondations géothermiques ou thermoactives)

Certains bâtiments importants nécessitent pour des raisons de portance d'être construits avec des fondations sur pieux en béton. Ces pieux sont préfabriqués en usine et, lors de cette opération, il est possible de les équiper de capteurs (tubes de polyéthylène noyés dans le pieu). Le système de captage est ensuite connecté à une pompe à chaleur au moment de la réalisation du bâtiment. On parle alors de pieux géothermiques. Plus de 300 bâtiments, en Europe, sont équipés d'un tel système.

Ce principe présente l'avantage de ne pas occasionner de surcoût de forage puisqu'il aurait fallu forer pour installer les fondations. L'étude COFOGE (Conception de Fondations Géothermiques) réalisée par le BRGM et le CSTB pour l'Ademe en 2007 présente un retour d'expérience sur une étude complète. Cette étude mériterait bien évidemment une étude de faisabilité approfondie intégrée à l'étude sur le bâtiment lui-même (structure et fondations du bâtiment). La solution technique des pieux géothermiques peut être couplée à la solution des sondes géothermiques verticales si les pieux de fondations ne présentent pas une longueur suffisante de sondes.

Pompes à chaleur Electriques et pieux géothermiques

Dans une pompe à chaleur électrique, le compresseur figurant sur les figures précédentes fonctionne avec une énergie électrique. Le liquide caloporteur circulant dans les sondes géothermiques transfère son énergie thermique à un gaz frigorigène et, refroidi, il retourne dans les sondes pour récupérer des calories dans le sol.

Le gaz frigorigène, ayant récupéré l'énergie thermique du sol, est ensuite réchauffé par compression. Il transfère alors son énergie à un liquide caloporteur qui circule dans les installations de chauffage collectif pour revenir en boucle chercher des calories à la pompe à chaleur.

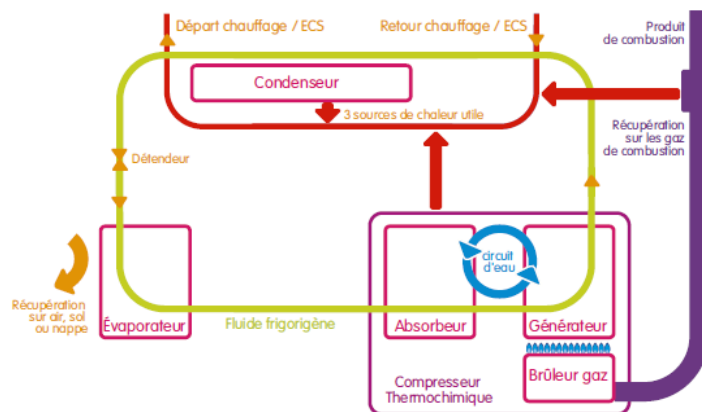
Après avoir transféré ses calories au liquide caloporteur, le gaz frigorigène est détendu, donc refroidi. Il récupère alors l'énergie calorifique provenant du liquide caloporteur provenant des sondes.

Pour une pompe à chaleur électrique, le COP usuel est de 3, c'est-à-dire qu'une puissance électrique de 1 kW permet d'obtenir une puissance thermique de 3 kW. Les 2 kW restant doivent être récupérés dans les sondes thermiques dont la longueur est fonction de la puissance.

Une puissance de 2 kW nécessite une longueur de sonde de 40 m.

Pompes à chaleur Gaz et pieux géothermiques

Schéma de fonctionnement d'une pompe à chaleur gaz (source GRDF)



Dans une pompe à chaleur gaz, le compresseur électrique est remplacé par un compresseur thermo-chimique dont la source d'énergie est un brûleur gaz. Ce système, amélioré par la récupération des calories des gaz de combustion comme sur une chaudière à condensation, permet d'obtenir un rendement de 170% (ou un COP de 1,7).

Avec une pompe à chaleur gaz à absorption, la chaleur environnante est portée, à l'aide d'un circuit de fluide frigorigène, d'une température faible à un niveau de température plus élevé. Ce fluide est dans ce cas l'ammoniac, dissous alternativement dans la machine sous forme gazeuse et dans de l'eau. L'entraînement du circuit est assuré par un brûleur à gaz, qui réchauffe la solution eau-ammoniac, faisant s'évaporer l'ammoniac de l'eau. Le gaz ammoniac chaud arrive dans le condenseur, dégage de la chaleur pour de l'énergie de chauffage et revient à l'état liquide. L'ammoniac liquide arrive ensuite dans le condenseur, où il absorbe de la chaleur environnante et retrouve sa forme gazeuse. A l'étape suivante, dans l'absorbeur, le gaz ammoniac se dissout dans l'eau, et dégage ainsi la chaleur absorbée. Le mélange eau-ammoniac est de nouveau pompé de l'absorbeur dans le générateur, et le circuit recommence. La pompe à chaleur à absorption à gaz permet également, en inversant le circuit, de produire du froid au lieu de la chaleur.

Une puissance gaz de 1,8 kW permet d'obtenir une puissance thermique de 3 kW. Les 1,2 kW restant doivent être récupérés dans les sondes thermiques dont la longueur est fonction de la puissance.

Une puissance de 1,2 kW nécessite une longueur de sonde de 24 m.

Synthèse pour la géothermie : Si la solution du réseau de chauffage urbain alimenté par une source d'énergie renouvelable (bois) ne pouvait pas être mise en œuvre, la technique des pieux géothermiques couplés avec une pompe à chaleur électrique ou à gaz mériterait d'être explorée dans le cadre de la conception des bâtiments destinés aux logements collectifs.

V. RECUPERATION DE LA CHALEUR DES EAUX USEES

Lors de leur évacuation, les eaux usées ont une température moyenne comprise entre 10° et 20° (selon la région et les saisons). Issues des cuisines, salles de bains, lave-linges et lave-vaisselles, les calories des ces eaux grises peuvent être utilisées pour le chauffage ou le refroidissement des bâtiments.

Fonctionnant sur le même principe qu'une VMC double flux pour l'air, un échangeur thermique permet de récupérer les calories dans les canalisations d'évacuations et de les transférer aux bâtiments via une pompe à chaleur.

Le système est réversible, il permet de rafraichir les bâtiments en été lorsque la température des eaux usées est inférieure à la température intérieure des bâtiments.

La Lyonnaise des Eaux propose un système de chauffage à partir de la récupération des calories des eaux usées. Baptisée "Degrés bleus". Cette offre est en particulier testée au centre aquatique de Levallois. Le coût d'un tel dispositif varie en fonction du contexte urbain (constructions nouvelles, anciennes, accessibilité...) pouvant être amorti en quelques années pour une durée de vie de 30 ans.

Comme la précédente, cette technique nécessite d'être étudiée dans le cadre de la conception du bâtiment.

Nous notons que les bâtiments d'habitations qui seront rénovés dans le cadre d'une opération GPRU sur Paris font intervenir une récupération des calories sur les eaux usées pour préchauffer l'eau chaude sanitaire, permettant d'économiser ainsi 12 kWh/m².

Synthèse pour la récupération d'énergie sur les eaux usées : Comme la géothermie sur pieux secs, cette technique mérite d'être intégrée dès la conception des bâtiments.

Synthèse globale du chapitre : Compte tenu du contexte, certaines sources d'énergies renouvelables et de récupération peuvent être abandonnées car elles ne sont pas adaptées alors que d'autres peuvent être envisagées. Parmi ces dernières, figurent : la création d'un petit réseau de chauffage urbain alimenté par une source d'énergie renouvelable (bois), la géothermie, la récupération de chaleur sur les eaux usées, le solaire thermique et le solaire photovoltaïque. L'enjeu est que les études spécifiques concernant ces différentes techniques soient intégrées dès la conception des bâtiments.

3 EFFETS DU PROJET

I. SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE

En termes de consommation d'énergie, le projet se doit d'être exemplaire pour répondre aux objectifs déjà mentionnés. La consommation d'énergie, tant pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire que pour les autres usages de l'énergie devra faire l'objet d'une attention particulière dans la conception des bâtiments. La performance thermique la plus élevée possible devra être recherchée tant pour les réhabilitations de bâtiments que pour la construction de nouveaux bâtiments. Le recours à des énergies moins carbonées devra être étudié.

ETUDE A REALISER / RECOMMANDATIONS

Attention particulière portée sur la performance thermique des bâtiments qui devra répondre aux spécifications décrites dans le chapitre « Besoins énergétiques du projet ».

La collectivité doit aussi se doter des moyens nécessaires au contrôle de l'application de la réglementation thermique de manière à s'assurer de la stricte application de cette réglementation.

II. SUR LA PRODUCTION/CONSOMMATION D'ENERGIE RENOUVELABLE

Le projet doit contribuer à diminuer les émissions de gaz à effet de serre du quartier en remplaçant des énergies fossiles par des énergies d'origine renouvelable lorsque c'est possible.

ETUDE A REALISER / RECOMMANDATIONS

Pour la construction des logements de la première phase faisant l'objet d'un concours, la création d'une chaufferie bois dans le bâtiment destiné aux logements collectifs avec desserte des maisons individuelles groupés par un petit réseau de chauffage urbain sera privilégiée. Si ce raccordement n'est pas possible, la technique des pieux géothermiques secs pourra être étudiée ainsi que la récupération de chaleur sur les eaux usées pour le bâtiment destiné aux logements collectifs. Cette énergie pourra être couplée avec le solaire thermique pour chauffer l'eau sanitaire. Une production d'électricité photovoltaïque est aussi envisageable.

4 COMPARAISON DES SCENARIOS

I. LES DIFFERENTS SCENARIOS

Parmi les besoins en énergie évalués, les besoins en électricité sont en général couverts par un raccordement au réseau électrique. La mise en œuvre d'une production photovoltaïque ne permet pas de couvrir les besoins puisque le raccordement au réseau de ces énergies renouvelables est plus avantageux (tarifs de rachat supérieurs au tarif de consommation).

Les besoins thermiques (chauffage et eau chaude sanitaire) peuvent être couverts de quatre manières :

- Chaudière individuelle dans chaque logement,
- Chaudière collective à condensation au gaz pour le bâtiment destiné aux logements collectifs, chaudière individuelle pour les logements individuels groupés,
- Technique des pieux secs géothermiques avec une pompe à chaleur gaz pour le bâtiment destiné aux logements collectifs, système géothermique à sonde verticale pour les logements individuels groupés,
- Chaufferie bois et création d'un petit réseau de chauffage urbain.

Faire le choix entre ces quatre solutions n'est pas anodin :

- Du point de vue de l'organisation : un chauffage collectif nécessite une entité organisatrice. Si le chauffage collectif est simple à mettre en œuvre au niveau d'un gestionnaire unique (organisme HLM ou promoteur), il nécessite une entité organisatrice si la chaufferie et le réseau alimentent des bâtiments gérés par différents gestionnaires.
- Du point de vue économique : les coûts d'investissement et d'exploitation seront différents entre les trois types d'alimentation en énergie thermique et suivant le type de technologie retenue.
- Du point de vue environnemental : les émissions de gaz à effet de serre seront différentes entre les quatre types d'alimentation en énergie thermique et suivant le type de technologie retenue. Le recours aux énergies renouvelables (bois, géothermie, solaire) permettra de diminuer la consommation d'énergie fossile (gaz) ou électrique, diminuant ainsi les émissions de gaz à effet de serre du projet.

La solution en général privilégiée, en absence d'effort particulier, est la chaudière gaz à condensation pour chacun des appartements. Cette solution constituera donc le **scénario 1**, scénario de référence auquel les autres scénarios seront comparés.

Dans le **scénario 2**, une chaudière collective gaz est installée dans le bâtiment destiné aux logements collectifs. Dans chaque logement individuel groupé, une chaudière gaz est installée.

Dans le **scénario 3**, le bâtiment destiné aux logements collectifs est alimenté par un système de pieux secs géothermiques associé avec une pompe à chaleur au gaz. Les logements individuels groupés peuvent être alimentés par des systèmes géothermiques à sonde verticale avec pompe à chaleur électrique.

Dans le **scénario 4**, les bâtiments sont reliés au réseau de chauffage urbain.

Chacun de ces scénarios peut être complété par des apports complémentaires en énergies renouvelables :

- Energie solaire thermique pour couvrir une partie des besoins en eau chaude sanitaire.
- Energie solaire photovoltaïque pour être vendue à EDF.

Les scénarios peuvent ensuite être comparés avec le scénario de référence (scénario 1) suivant les critères suivants :

- Difficultés de mise en œuvre organisationnelle,
- Difficultés de mise en œuvre technique,
- Consommation surfacique chauffage et ECS ($\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2$)
- Taux ENR chauffage et ECS (%)
- Emissions de gaz à effet de serre évitées (tCO_2 évitées)
- Investissement supplémentaire (I)
- Coût global actualisé ramené au MWh consommé
- Temps de retour brut de l'investissement supplémentaire (T_{rb})

II. RESULTATS DE L'ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE

A ce stade de l'étude, la comparaison technico-économique n'a pas encore été réalisée.

Le tableau ci-dessous compare les 4 scénarios du point de vue de l'organisation et de la mise en œuvre.

Comparaison du point de vue organisationnel et mise en œuvre

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Descriptif du scénario	Chaudières individuelles à condensation	Chaudières collectives à condensation	Géothermie sur pieux secs et sondes géothermiques verticales, pompes à chaleur	Chaufferie bois et réseau de chauffage urbain
Etudes à mener dès la conception des bâtiments	Aucune	aucune	Pieux secs géothermiques	Etude de la filière d'approvisionnement bois énergie dans l'Oise
Difficultés de mise en œuvre organisationnelle	Aucune	Distribution du chauffage au niveau du bâtiment destiné aux logements collectifs	Distribution du chauffage au niveau du bâtiment destiné aux logements collectifs	Implication de la commune pour gérer la gestion du réseau ou la déléguer
Difficultés de mise en œuvre technique	Adduction gaz	Adduction gaz	Forage et adduction gaz	Création d'un réseau

Comparaison du point de vue économique

Investissement :

Scénarios	Investissement	Montant (k€HT)	Montant public (1) (k€HT)	Clast
1 - Gaz individuel	Chaudières individuelles	136 k€HT		2
2 - Gaz collectif	Chaudières collectives et réseau interne au collectif + chaudières individuelles	121 k€HT		1
3 - Géothermie sur sondes + PAC	Forages + Pompes à chaleur + chaufferies + réseau interne au collectif	650 k€HT		4
4 - Chaufferie bois et réseau de chauffage	Chaufferie + réseau de chauffage externe + réseau interne au collectif	547 k€HT	517 k€HT	3

(1) : Investissement public

NB : Dans le scénario 4, l'investissement privé est de 30 k€HT = Réseau interne au collectif

Exploitation :

Scénarios	Coût d'exploitation	Montant	Classement
1 - Gaz individuel	Entretien et conso gaz supportée par l'occupation du logement	8,4 €TTC/m ² .an	4
2 - Gaz collectif	Entretien et consommation gaz	7,7 €TTC/m ² .an	3
3 - Géothermie sur sondes + PAC	Entretien et consommation gaz	5,5 €TTC/m ² .an	1
4 - Chaufferie bois et réseau de chauffage	Entretien et consommation bois/gaz	5,8 €TTC/m ² .an	2

Coût global avec hypothèse du coût du gaz fixe (tarif actuel) :

Scénarios	Coût global actualisé sur une durée de 20 ans (€TTC/MWh)	Classement	Evolution
1 - Gaz individuel	190	2	Indexé sur le prix du gaz
2 - Gaz collectif	175	1	
3 - Géothermie sur sondes + PAC	240	4	
4 - Chaufferie bois et réseau de chauffage	210	3	

Coût global avec le prix du gaz dans 10 ans après 7% d'augmentation chaque année

Pour mémoire : entre 2008 et 2013, le MWh de gaz est passé de 35 € à 70 €

Autres hypothèses pour l'augmentation du prix des autres énergies :

- Electricité : 2% par an = augmentation du prix de l'électricité entre 2007 et 2017,
- Bois : 2% par an : faute d'étude sur le sujet, 2% par an semble être un maximum correspondant à un effet d'opportunité sur la filière.

Scénarios	Coût global actualisé sur une durée de 20 ans (€TTC/MWh)	Classement	Evolution
1 - Gaz individuel	255	3	Perd une place
2 - Gaz collectif	240	2	Perd une place
3 - Géothermie sur sondes + PAC	265	4	
4 - Chaufferie bois et réseau de chauffage	235	1	Passé à la 1ère place

Comparaison du point de vue de l'évolution dans le temps

Scénarios	Evolutivité		Classement
1 - Gaz individuel	Forte dépendance à l'évolution du prix du gaz	Chaque construction est indépendante et peut faire l'objet d'un choix technique différent des autres	3
2 - Gaz collectif			3
3 - Géothermie sur sondes + PAC	Faible dépendance à l'évolution du prix du gaz		2
4 - Chaufferie bois et réseau de chauffage	Très faible dépendance à l'évolution du prix du gaz	Raccordement progressif des logements	1

Le scénario 2 est le scénario le plus intéressant du point de vue économique avec l'investissement le plus faible, en particulier plus faible que le scénario 1. A long terme, il est aussi très intéressant puisqu'il permet d'économiser sur les coûts de maintenance des installations et sur les coûts d'abonnement au réseau gaz par rapport au scénario 1. Avec certaines hypothèses d'augmentation du coût du gaz (7% par an, identique à l'augmentation annuelle entre 2008 et 2003), le scénario passe en 2^{ème} position sur le plan économique.

Le scénario 3 est économiquement le moins intéressant des 4 scénarios car la mutualisation des coûts d'investissement et de maintenance n'ont un impact que sur les logements collectifs. Le gain important réalisé sur le coût d'exploitation (peu de gaz consommé) ne suffit pas à compenser l'important sur-investissement par rapport aux deux premiers scénarios. Cela reste vrai avec une hypothèse d'augmentation importante du coût du gaz.

Le scénario 4 demande un investissement important. Le temps de retour de l'investissement dépendra du choix du mix énergétique choisi pour la chaufferie et du coût des travaux pour la création du réseau (ils peuvent être minimisés s'ils sont réalisés en même temps que l'aménagement). Avec une hypothèse d'augmentation du coût du gaz de 7% par an, ce temps de retour est d'environ 10 ans.

Comparaison du point de vue de l'impact environnemental (émissions de gaz à effet de serre évitées)

Scénarios	Tonnes CO2 sur les 20 ans	Classement
1 - Gaz individuel		3
2 - Gaz collectif		3
3 - Géothermie sur sondes + PAC	1 000	2
4 - Chaufferie bois et réseau de chauffage	1 400	1

Le scénario 3 est, du point de vue environnemental, plus intéressant que les précédents puisqu'il permet de consommer moins de gaz, grâce à un taux de couverture des énergies renouvelables qui peut atteindre 50%. Les émissions de gaz à effet de serre évitées peuvent atteindre un millier de tCO₂.

En ce qui concerne le scénario 4, avec un taux de couverture bois pouvant atteindre 80%, les émissions de gaz à effet de serre évitées peuvent être importantes et dépassent celles du scénario 3.

III. CONCLUSION

Compte tenu de ce qui précède, les scénarios envisagés peuvent être qualifiés de la manière suivante :

- Le plus volontariste : scénario 4. C'est en effet ce scénario qui potentiellement intègre le plus fort taux d'énergie renouvelable. Cette piste nécessite une étude approfondie en particulier sur la filière d'approvisionnement du bois-énergie.
- Le « plan B » (si le scénario 4 ne peut être réalisé) : scénario 3. Cette piste nécessite une étude de faisabilité technico-économique concernant les forages et le surcoût des pieux géothermique dans la conception du bâtiment destiné aux logements collectifs.
- Le meilleur compromis : scénario 2. Il peut être complété avec du solaire (thermique et photovoltaïque).

Chacun des scénarios peut être couplé avec l'énergie solaire thermique et photovoltaïque : Pour déployer ces technologies, il n'y a pas besoin d'étude de faisabilité supplémentaire. Pour le solaire thermique, le cahier des charges de maîtrise d'œuvre des constructions peut imposer un taux de couverture de 50% de l'eau chaude sanitaire. Pour le solaire photovoltaïque, le même cahier des charges peut spécifier l'intégration au bâti de capteurs photovoltaïques tels que des casquettes ou des gardes corps en façade sud ou encore de capteurs solaires photovoltaïques plans intégrés dans les toitures inclinées orientées au sud. Ces deux technologies peuvent être subventionnées par la région et par l'Ademe.

BIBLIOGRAPHIE

- Plan Climat Energie du département de l'Oise.
- Schéma Régional Climat Air Energie de la Picardie.
- Rapport final de l'étude COFOGE (Conception de Fondations Géothermiques) septembre 2007 pour l'Ademe (Etude BRGM et CSTB).
- Eude du Conseil Général des Mines « Les réseaux de chaleur » 29 mars 2006 pour le ministère de l'économie, des finances et de l'industrie.
- Documents sur les PAC gaz Géothermiques : GRDF, Robur.
- Arrêté du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.
- Document Ademe : « Le contenu en CO₂ du kWh électrique : Avantages comparés du contenu marginal et du contenu par usages sur la base de l'historique ».
- Document Ademe : « Passez aux énergies renouvelables avec le fonds chaleur ».
- Document Ademe : « Méthode de calcul du niveau d'aide 2010 ».