

Missions de maîtrise d'œuvre environnemental pour l'extension de la ZAC de Bois-Plaisance à Lachelle



Rapport d'étude sur le potentiel de développement en énergies renouvelables

ITG FORMATION – 24 juin 2022

SOMMAIRE

Contexte, enjeux et objectifs de l'étude	page 3
Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques	page 8
<i>Localisation et périmètre du site</i>	<i>page 9</i>
<i>Climatologie du site</i>	<i>page 11</i>
<i>Synthèse du programme d'aménagement</i>	<i>page 22</i>
<i>Evaluation des besoins énergétiques</i>	<i>Page 24</i>
<i>Synthèse des besoins énergétiques</i>	<i>page 30</i>
Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles	page 33
<i>Réseaux électriques</i>	<i>page 34</i>
<i>Réseaux gaziers</i>	<i>page 45</i>
<i>L'énergie solaire</i>	<i>page 53</i>
<i>L'énergie éolienne</i>	<i>page 80</i>
<i>Le Bois Energie</i>	<i>page 93</i>
<i>La méthanisation des biodéchets</i>	<i>page 124</i>
<i>La géothermie</i>	<i>Page 136</i>
<i>L'aérothermie</i>	<i>page 149</i>
<i>L'énergie de récupération</i>	<i>page 152</i>
<i>Création d'un réseau de chaleur EnR</i>	<i>page 162</i>
<i>Création d'une boucle d'eau tempérée</i>	<i>page 167</i>
<i>Récapitulatif des énergies renouvelables mobilisables</i>	<i>page 170</i>
Phase III : analyse des opportunités et orientations possibles	page 171
<i>Hiérarchisation des solutions EnR</i>	<i>page 172</i>
<i>Préconisations</i>	<i>page 175</i>
<i>Conclusions et recommandations</i>	<i>page 176</i>
ANNEXES	page 180

CONTEXTE, ENJEUX ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le contexte en quelques points :

- Créée en 2004 et dédiée aux entreprises tertiaires et industrielles, la Zone d'Activité de Bois-de-Plaisance occupe actuellement 126 ha sur le territoire de Venette, une commune limitrophe de Compiègne et constitutive de l'intercommunalité de l'Agglomération de la Région de Compiègne et de la Basse Automne (l'ARCBA).
- Devenu le parc d'activités de référence du territoire, avec la signature de grands groupes internationaux, il se destine à des centres de Recherche et Développement, des industries et des sociétés de service.
- Actuellement, 16 entreprises, représentant 1 350 emplois, sont réparties sur le site qui ne suffit plus à répondre aux attentes des structures souhaitant s'installer.
- Pour satisfaire cette demande, une extension d'environ 20 ha va être aménagée sur l'emprise de la ferme d'Aiguisy, localisée sur la commune de Lachelle, permettant d'aménager de 1 à 7 lots.
- Dans ce cadre, l'ARCBA a désigné un prestataire chargé des différentes études environnementales qui doivent être conduites en vue de la constitution du dossier d'étude d'impact et du dossier environnemental.
- Indépendamment de cette mission, à titre complémentaire, l'ARCBA souhaite engager la réalisation d'une étude de faisabilité sur le développement des énergies renouvelables.
- Les objectifs sont de réaliser une étude du potentiel d'utilisation des énergies renouvelables répondant aux exigences définies par les articles L128-4 et L 300-1 du Code de l'urbanisme et l'article R.122-5-VII du Code de l'Environnement.

Principaux objectifs de la mission :

Dans le cadre de cette mission d'étude de faisabilité du potentiel de développement en énergies renouvelables, il s'agit principalement :

- d'étudier les possibilités d'approvisionnement en énergie renouvelable et/ou de récupération du projet d'aménagement et appréhender la faisabilité de différents systèmes énergétiques de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire ;
- d'estimer les besoins liés au projet et la puissance productive à mettre en place ;
- d'identifier le potentiel local en énergies renouvelables ;
- d'identifier les enjeux et impacts liés à l'utilisation d'énergies renouvelables ;
- d'offrir une première approche en matière de dimensionnement et de rentabilité économique des installations énergétiques d'origine renouvelable envisageables.

Les objectifs de l'étude :

Les objectifs exprimés par l'ARCBA e sont de réaliser une étude du potentiel d'utilisation des énergies renouvelables, conforme aux exigences définies par l'article L128-4 du Code de l'urbanisme.

Cadre juridique et réglementaire de l'étude :

L'étude répond à l'article L128-4 du Code de l'urbanisme indiquant 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 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 » .

L'article L300-1 du Code de l'urbanisme définit les actions et opérations d'aménagement par leurs objets qui peuvent être :

- de mettre en œuvre un projet urbain,
- de mettre en œuvre une politique locale de l'habitat,
- d'organiser le maintien, l'extension ou l'accueil des activités économiques,
- de favoriser le développement des loisirs et du tourisme,
- de réaliser des équipements collectifs ou des locaux de recherche ou d'enseignement supérieur, de lutter contre l'insalubrité,

- de permettre le renouvellement urbain,
- de sauvegarder ou de mettre en valeur le patrimoine bâti ou non bâti et les espaces naturels.

Définition des Énergies renouvelables et de récupération :

Énergies renouvelables :

Aux termes de l'article L211-2 du Code de l'énergie, les sources d'énergies renouvelables sont :

« les énergies éolienne, solaire, géothermique, aérothermique, hydrothermique, marine et hydraulique, ainsi que l'énergie issue de la biomasse, du gaz de décharge, du gaz de stations d'épuration d'eaux usées et du biogaz.

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

Énergies dites « de récupération » ou « fatales » :

L'article R712-1 du Code de l'énergie les définit ainsi :

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

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques

Localisation et périmètre du site

Localisé sur la commune de LACHELLE (60), la future extension de la ZAC de Bois de Plaisance s'inscrit sur une surface d'environ 20 hectares, dans un triangle délimité au nord par la RD 36E, à l'ouest par la RD 36 et à l'Est par le Bois de Plaisance proprement dit.

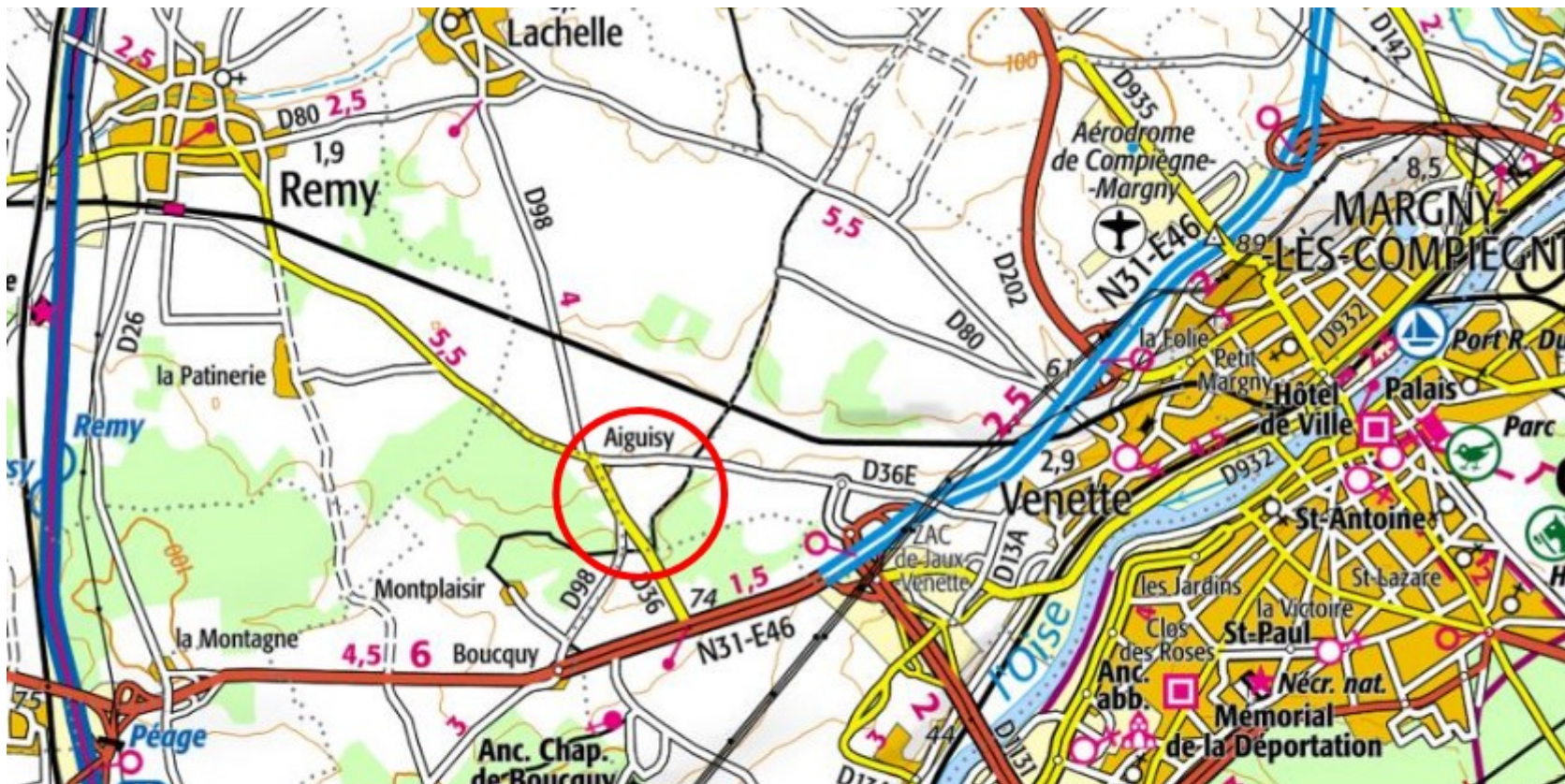


Illustration 1: Localisation du site de l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance.

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance à Lachelle

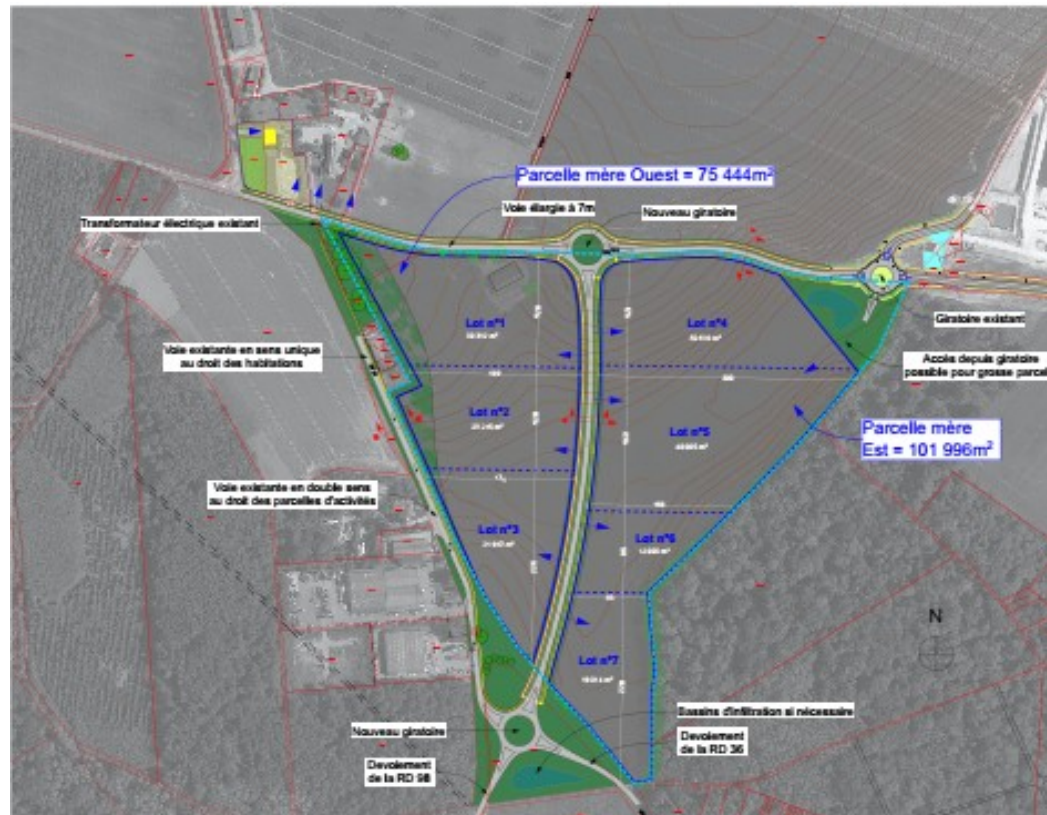


Illustration 2: Schéma directeur d'aménagement de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance - Avant projet en date du 13/05/2022.

CLIMATOLOGIE DU SITE :

Le climat du département de l'Oise est à caractère océanique, marqué par des nuances continentales vers l'intérieur des terres. Les hivers sont doux, les étés chauds et les saisons intermédiaires longues et variées.

Station météorologique de référence

La station météorologique de Météo-France la plus proche est celle de l'aérodrome situé sur la commune de Margny-lès-Compiègne, mise en service en 1947 et qui se trouve à 4 km à vol d'oiseau.



Illustration 3: Localisation de la station météorologique de référence de Margny-lès-Compiègne

Normales climatiques

Données solaires moyennes

La commune de Lachelle a connu 1 760 heures d'ensoleillement en 2021, contre une moyenne nationale des villes de 2 005 heures de soleil.

Lachelle a bénéficié de l'équivalent de 73 jours de soleil en 2021.

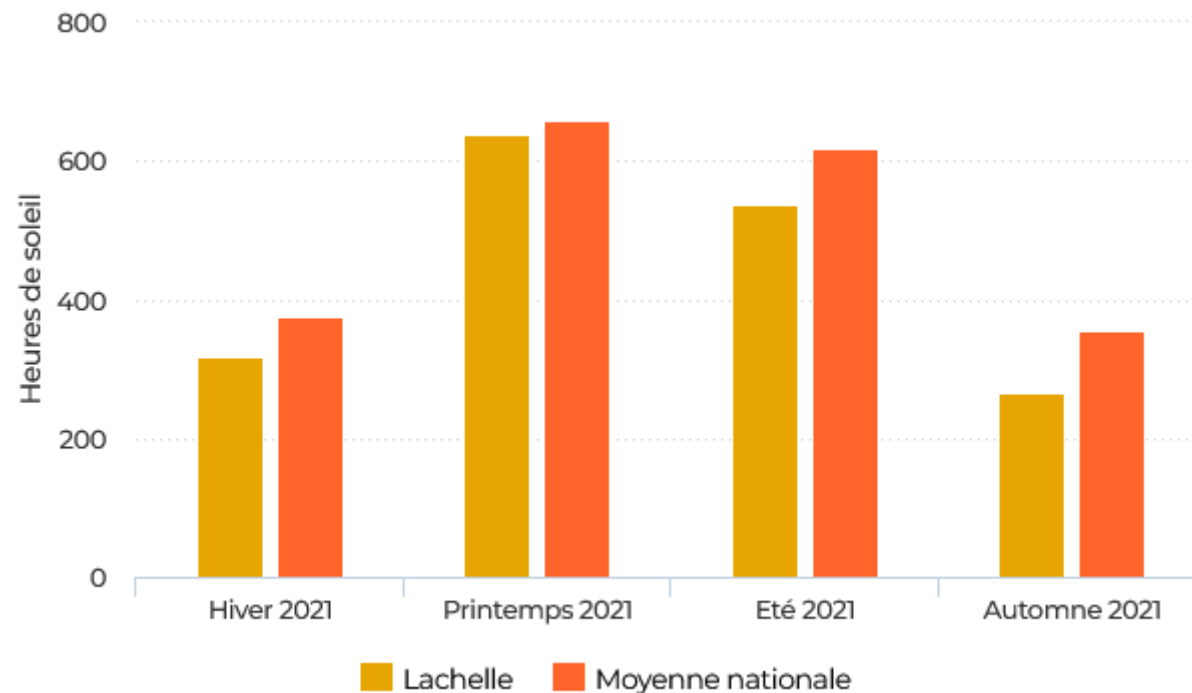


Illustration 4: Heures d'ensoleillement de la commune de Lachelle

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance à Lachelle

Rose des vents

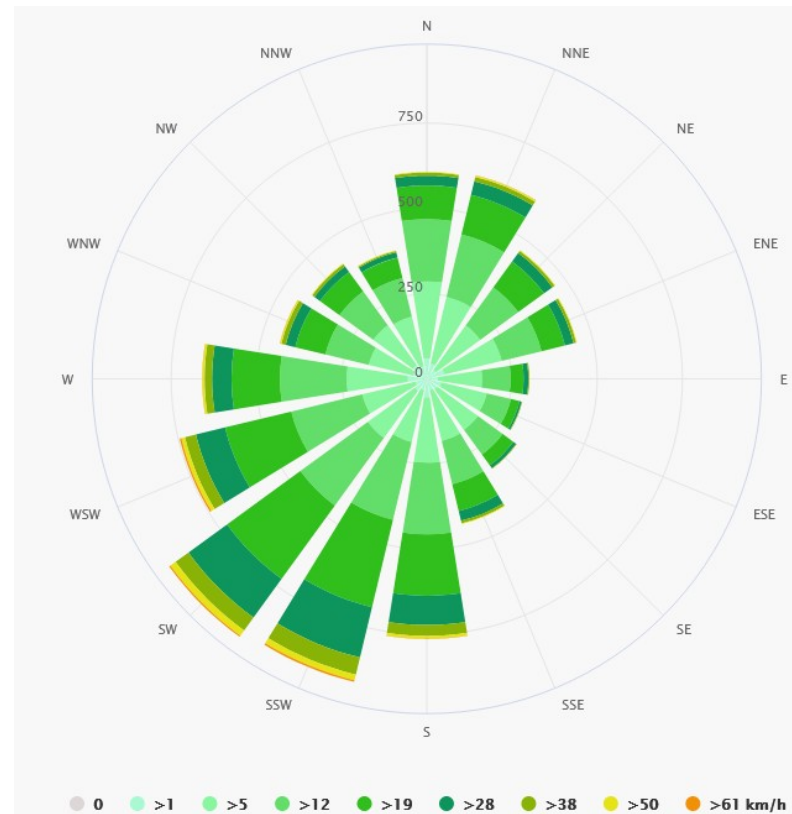


Illustration 5: Rose des Vents observé sur la commune de Lachelle

Vitesse du vent à Lachelle

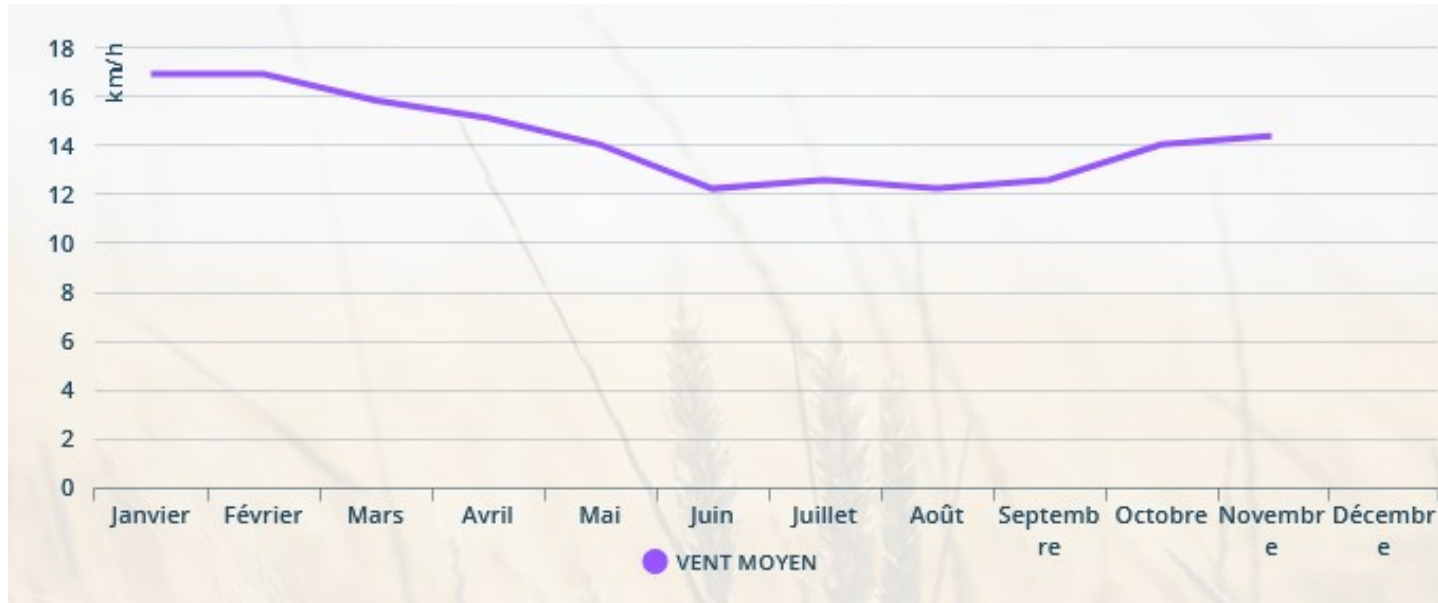


Illustration 6: Variations de la vitesse mensuelle moyenne des vents mesurée sur la commune de Lachelle.

Températures maximales

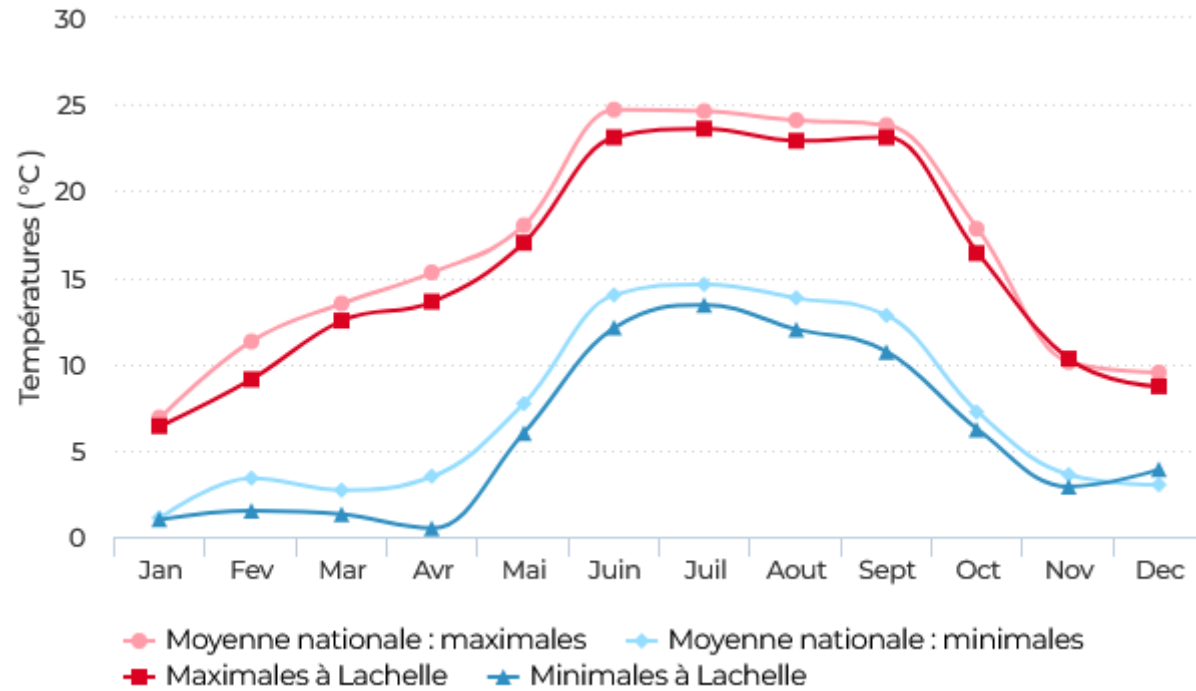


Illustration 7: Températures mensuelles maximales et minimales sur la commune de Lachelle.

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance à Lachelle

Degrés jours unifiés (DJU)

La consommation d'énergie dépend de la température extérieure : chauffage quand il fait froid, climatisation quand il fait chaud. Quand on analyse les évolutions annuelles de la consommation, on peut souhaiter neutraliser ce facteur exogène, et donc effectuer une « correction des variations climatiques » (CVC). Cette correction est fondée sur la notion de « degrés-jours unifiés » (DJU).

Pour chaque jour de l'année, on compare la température observée à un seuil, fixé à 18°C. Plus précisément, on calcule

- T, moyenne des extrema des températures sur une journée :
- $T = (T_{\text{minimum}} + T_{\text{maximum}}) / 2$

Le nombre de degrés-jours de cette journée est égale à :

- $18 - T$ si $T < 18^\circ\text{C}$,
- à 0 sinon.

On appelle degrés-jours unifiés, DJU, la somme des degrés-jours de tous les jours de la « saison de chauffe », période de l'année qui va par convention de janvier à mai et d'octobre à décembre. De même, en ce qui concerne les DJU correspondant à la période d'utilisation de la Climatisation d'avril à octobre.

Tableau 1: DJU « Chauffage » - Température de référence 18°C - Beauvais-Tille (60)

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
2020	379,7	295,1	335,2	195,9	16,2	80,2	61,4	36,6	89,8	190,9	281,8	373,4	2483,2
2021	444,4	355,3	347,5	330,2	208,4	65,4	41,6	60,7	80,4	209,3	343,1	363,1	2849,4

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance à Lachelle

Tableau 2: DJU « Climatisation » - Température de référence 18°C - Beauvais-Tille (60)

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Total
2020	0	0	0	16	23	49	69	120	53	1	0	0	329
2021	0	0,1	3	1,1	5,9	52,5	56,4	43,4	47,8	1,3	0	0	211,5

Effets du changement climatique

Une étude réalisée en 2014 par la Direction générale de l'Énergie et du Climat complétée par des études régionales prévoit que la température moyenne devrait croître et la pluviométrie moyenne baisser, avec toutefois de fortes variations régionales.

Ces changements peuvent être constatés sur la station météorologique de Météo-France la plus proche, « Margny-les-Compiègne », où la température moyenne annuelle est de 11,1 °C et la hauteur de précipitations de 662,2 mm pour la période 1981-2010.

Sur la station météorologique historique de « Beauvais-Tillé », sur la commune de Tillé, mise en service en 1944 et localisée à 45 km, la température moyenne annuelle évolue de 10,4 °C pour la période 1971-2000 à 10,6 °C pour 1981-2010, puis à 11,1 °C pour 1991-2021.

Hausse des températures moyennes

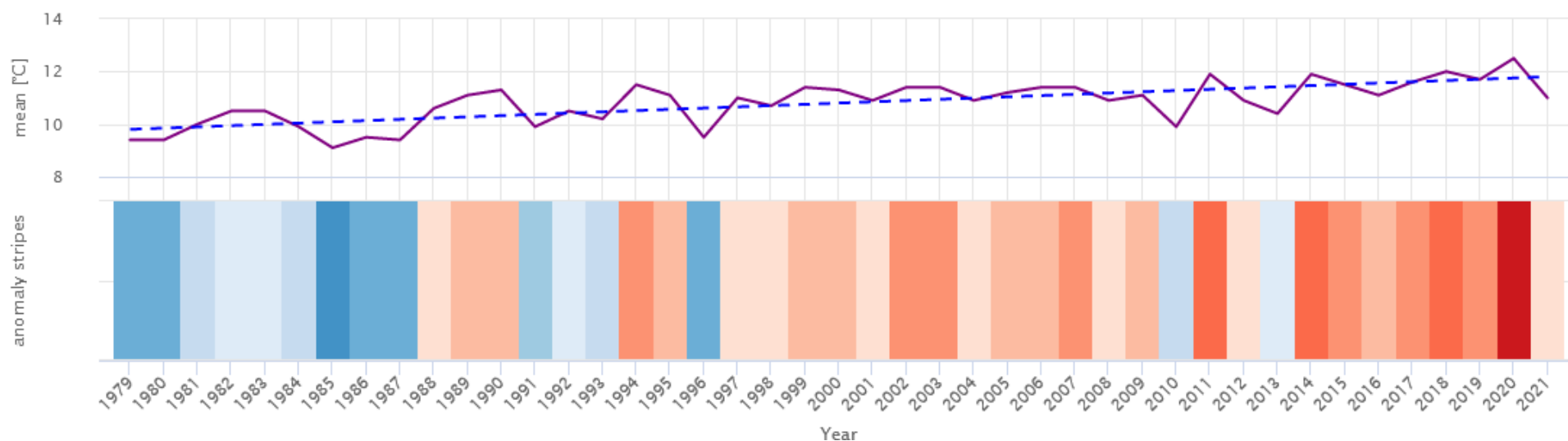


Illustration 8: températures annuelles moyennes, évolution et anomalies (1979-2022) - Margny-lès-Compiègne, 49,43 N, 2,82 E – Source : Météo-France

L'illustration présente l'évolution des températures moyennes annuelles pour la région de Margny-lès-Compiègne.

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance à Lachelle

Dans la partie inférieure du graphique figurent les "bandes de réchauffement". Chaque bande de couleur représente la température moyenne d'une année - bleu pour les années plus froides et rouge pour les années plus chaudes.

On constate que la température moyenne annuelle a augmenté de près de 2°C au cours des 40 dernières années.

Changement dans le régime des précipitations

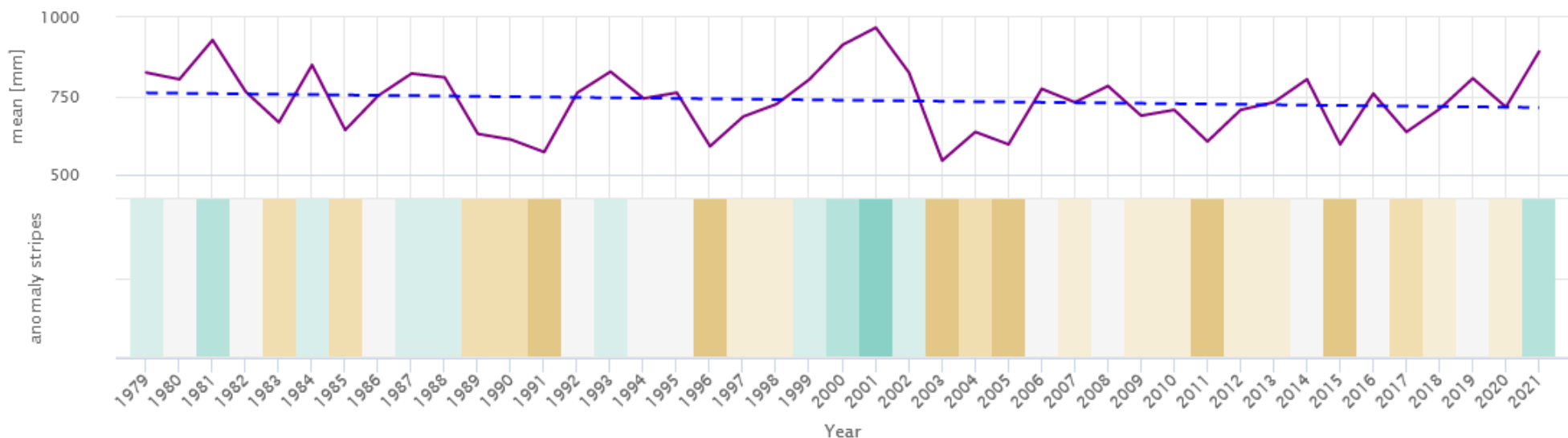


Illustration 9: précipitations annuelles moyennes, évolution et anomalies (1979-2022) - Margny-lès-Compiègne, 49,43 N, 2,82 E – Source : MétéoFrance

Le graphique supérieur présente l'évolution des précipitations totales moyennes pour la région de Margny-lès-Compiègne. La ligne bleue en pointillés représente la tendance linéaire du changement climatique.

Le graphique inférieur présente les bandes des précipitations. Chaque bande de couleur représente les précipitations totales d'une année - vert pour les années les plus humides et marron pour les années les plus sèches.

Incidences prévisibles du changement climatique sur le projet

Quel que soit le scénario et les choix politiques, le réchauffement annuel se poursuivra jusqu'aux années 2050,.

Le scénario intégrant une politique climatique visant à faire baisser les concentrations en CO₂ serait le seul qui stabiliserait le réchauffement sur la seconde moitié du XXI^e siècle.

Le scénario tendanciel sans politique climatique développé par Météo-France pour le département de l'Oise prévoit :

- ***Une hausse des températures sur la seconde moitié du XXI^e siècle***
 - Le réchauffement pourrait dépasser 3°C à l'horizon 2071-2100.
- ***Des hivers de plus en plus doux***
 - La hausse des températures hivernales pourrait augmenter de près de 4°C à l'horizon 2071-2100.
- ***Des étés toujours plus chauds***
 - La hausse des températures estivales pourrait dépasser 4°C à l'horizon 2071-2100.
- ***Pas de changement notable des précipitations annuelles***
 - Quel que soit le scénario considéré, les projections climatiques montrent peu d'évolution des précipitations annuelles d'ici la fin du XXI^e siècle.
 - Cette absence de changement en moyenne annuelle masque des contrastes saisonniers.
- ***Davantage de pluie en hiver selon certains scénarios***
 - Quel que soit le scénario considéré, les projections climatiques montrent peu d'évolution des précipitations hivernales jusqu'aux années 2050.
 - Sur la seconde moitié du XXI^e siècle, selon le scénario sans politique climatique, les projections indiquent une augmentation des précipitations hivernales.
- ***Pas de changement notable des précipitations estivales***
 - Quel que soit le scénario considéré, les projections climatiques montrent peu d'évolution des précipitations estivales au cours du XXI^e siècle.

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance à Lachelle

- **Augmentation du nombre de journées chaudes au cours du XXI^e siècle, quel que soit le scénario**
 - Augmentation du nombre de journées chaudes en lien avec la poursuite du réchauffement.
 - Sur la première partie du XXI^e siècle, cette augmentation est similaire quel que soit le scénario.
 - À l'horizon 2071-2100, cette augmentation serait de l'ordre de 12 jours par rapport à la période 1976-2005 selon le scénario avec une politique climatique visant à stabiliser les concentrations en CO₂, et de 34 jours selon le scénario sans politique climatique.
- **Diminution du nombre de gelées au cours du XXI^e siècle, quel que soit le scénario.**
 - Diminution du nombre de jours de gel en lien avec la poursuite du réchauffement.
 - Jusqu'au milieu du XXI^e siècle cette diminution est assez similaire d'un scénario à l'autre.
 - À l'horizon 2071-2100, cette diminution serait de l'ordre de 22 jours par rapport à la période 1976-2005 selon le scénario avec une politique climatique visant à stabiliser les concentrations en CO₂, et de 32 jours selon le scénario sans politique climatique.
- **Un sol de plus en plus sec en toute saison**
 - Assèchement important en toute saison.
 - En termes d'impact potentiel pour la végétation et les cultures non irriguées, cette évolution se traduit par un allongement moyen de la période de sol sec de l'ordre de 2 à 4 mois tandis que la période humide se réduit dans les mêmes proportions.
 - L'humidité moyenne du sol en fin de siècle pourrait correspondre aux situations sèches extrêmes d'aujourd'hui.
- **Des besoins en chauffage à la baisse**
 - Diminution des besoins en chauffage jusqu'aux années 2050, quel que soit le scénario.
 - Sur la seconde moitié du XXI^e siècle, le scénario intégrant une politique climatique visant à faire baisser les concentrations en CO₂ permet une stabilisation des besoins autour de 2050. Selon le scénario sans politique climatique, les besoins diminueraient d'environ 3% par décennie à l'horizon 2071-2100.
- **Des besoins en climatisation à la hausse**
 - Augmentation des besoins en climatisation jusqu'aux années 2050, quel que soit le scénario.
 - Sur la seconde moitié du XXI^e siècle, le scénario intégrant une politique climatique visant à faire baisser les concentrations en CO₂ permet une stabilisation des besoins autour de 2050. Selon le scénario sans politique climatique, les besoins augmenteraient très significativement à l'horizon 2071-2100.

Synthèse du programme d'aménagement

L'extension de la ZAC du Bois Plaisance s'inscrit sur la commune de LACHELLE (60) le long des routes départementales D36 et D36E au droit des parcelles cadastrales n°005 et 016 de la section ZE. et porte sur une surface d'environ 20 hectares. Il s'agit actuellement d'une parcelle agricole libre de toute construction.

Le projet aura pour vocation d'accueillir des activités économiques industrielles et tertiaires, des services administratifs et de recherche et développement dans les conditions fixées par le Plan Local d'Urbanisme intercommunal de l'ARC tel qu'approuvé le 14 novembre 2019.

L'extension projetée est située en zone 1AUR du PLUi.H.

Au total, l'extension concerne 7 lots à aménager selon des surfaces modulables comprises entre 1 et 4 hectares.

Tableau 3: Tableau des surfaces par lots (indicatif)

N° lot	Surface totale du lot	Emprise au sol maximum selon PLUi	Surface de plancher maximum selon règlement ZAC	Places de parking selon règlement ZAC
1	30 312 m ²	15 156 m ²	24 250 m ²	242
2	23 215 m ²	11 608 m ²	18 572 m ²	186
3	21 917 m ²	10 959 m ²	17 534 m ²	175
4	30 616 m ²	15 308 m ²	24 493 m ²	245
5	40 065 m ²	20 033 m ²	32 052 m ²	321
6	12 000 m ²	6 000 m ²	9 600 m ²	96
7	19 314 m ²	9 657 m ²	15 451 m ²	155
Total	177 439 m²	88 720 m²	141 951 m²	1 420

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance à Lachelle

Les constructions projetées sont des bâtiments commerciaux et artisanaux dont les caractéristiques (nombre de bâtiments, implantations, calages altimétriques des niveaux-bas, emprises au sol...) restent à préciser au moment de la présente étude.

Le projet prévoit également l'aménagement d'espaces publics qui comprendront la création de voiries, d'aires de stationnement, de cheminements piétons, de réseaux secs et humides ainsi que des ouvrages paysagers pour la gestion des eaux pluviales

C'est donc un total de près de **142 000 m² de surface de plancher** qui servira de base à l'évaluation des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance.

Evaluation des besoins énergétiques.

Remarque préliminaire

- L'**énergie primaire** est l'énergie « potentielle » contenue dans les ressources naturelles (comme le bois, le gaz, le pétrole, etc) avant toute transformation.
- L'**énergie finale** est l'énergie consommée et facturée à chaque bâtiment, en tenant compte des pertes lors de la production, du transport et de la transformation du combustible.

En conformité avec les Réglementations Thermiques, les résultats sont détaillés en énergie primaire. Cela a l'intérêt de pouvoir mieux comparer les différentes énergies entre elles.

Mis à part l'énergie électrique, le taux de conversion de toutes les autres énergies est de 1 (énergie primaire = énergie finale).

Pour l'électricité, 1 kWh en énergie finale équivaut à 2.58 kWh en énergie primaire (RT 2012).

Dans le cadre de la RE 2020, cette équivalence est réduite à 2,3.

Chauffage des locaux et électricité spécifique

En se basant sur les données du programme et sur les exigences de la RE 2020 (Chauffage 12 kWh_{ep}/m².an, consommation totale : 100 kWh_{ep}/m².an), on peut estimer les consommations énergétiques associées aux bâtiments qui seront construits sur la future ZAC, hors besoins associés au process, comme ci-après :

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance à Lachelle

N° lot	Surface de plancher	Eclairage (kWh _{ef})	Ventilation (kWh _{ef})	Auxiliaires (kWh _{ef})	Divers électriques (kWh _{ef})	Total (kWh _{ef})
1	24 250 m ²	700 MWh	100 MWh	100 MWh	2 700 MWh	3 600 MWh
2	18 572 m ²	600 MWh	100 MWh	0 MWh	2 000 MWh	2 700 MWh
3	17 534 m ²	500 MWh	100 MWh	0 MWh	1 900 MWh	2 500 MWh
4	24 493 m ²	700 MWh	100 MWh	100 MWh	2 700 MWh	3 600 MWh
5	32 052 m ²	1 000 MWh	200 MWh	100 MWh	3 500 MWh	4 800 MWh
6	9 600 m ²	300 MWh	0 MWh	0 MWh	1 100 MWh	1 400 MWh
7	15 451 m ²	500 MWh	100 MWh	0 MWh	1 700 MWh	2 300 MWh
Total	141 951 m²	4 300 MWh	700 MWh	400 MWh	15 600 MWh	21 000 MWh

Tableau 4: valuation des besoins en énergie primaire des bâtiments de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance(hors Climatisation, ECS et Process).

Production d'Eau Chaude Sanitaire

La nature précise des besoins d'eau chaude sanitaire dépend du type d'activité des entreprises qui s'établiront sur l'extension de la ZAC et de leurs effectifs et sont donc inconnus à ce stade de l'étude.

On peut cependant établir une première estimation, « en ordre de grandeur » de la demande énergétique associée aux besoins d'ECS en appliquant des ratios observés dans des situations relativement semblables.

Le COSTIC a observé qu'en moyenne dans les locaux d'activité légère, il y avait 1 employé pour 150 m² de SHON construits et que les besoins journaliers d'ECS s'élevaient à environ 50 litres d'eau à 50°C par jour et par personne.

En toute première estimation, sur la base de ces ratios on peut évaluer à une centaine le nombre de salariés qui seront présents sur la future extension, et donc estimer les besoins énergétiques associés à l'ECS autours de 1 150 m³ d'ECS par an, soit un besoin thermique de l'ordre de **650 kWh/an, arrondi à 1 MWh/an** en énergie finale, ce qui est négligeable au regard des besoins de chauffage des locaux.

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance à Lachelle

Besoins énergétiques « process »

En se basant sur les données du Programme concernant le type d'activités des entreprises qui s'établiront sur l'extension de la ZAC, on peut évaluer les besoins énergétiques associés à leur process en appliquant les ratios de consommation énergétiques observés par le CSTB. Ces ratios sont regroupés dans une base de données concernant 1 300 immeubles tertiaires et totalisation 16 millions de m².

En appliquant le ratio de consommation énergétique observé pour les locaux d'activité légère, soit 259 kWh énergie finale/m² SHON/an, on peut estimer la demande d'énergie finale totale des futurs bâtiments à 36 800 MWh_{ef}/an, arrondis à 37 000 Wh_{ef}/an pour les besoins des activités qu'ils abriteront.

Cette demande d'énergie associée aux process se répartie en énergie thermique et en usage spécifique de l'électricité (force motrice, par exemple comme suit :

N° lot	Chaleur (kWh _{ef})a	Electricité (kWh _{ef})	Total (kWh _{ef})
1	4 100 MWh	2 200 MWh	6 300 MWh
2	3 100 MWh	1 700 MWh	4 800 MWh
3	3 000 MWh	1 600 MWh	4 500 MWh
4	4 100 MWh	2 200 MWh	6 300 MWh
5	5 400 MWh	2 900 MWh	8 300 MWh
6	1 600 MWh	900 MWh	2 500 MWh
7	2 600 MWh	1 400 MWh	4 000 MWh
Total	23 900 MWh	12 900 MWh	36 800 MWh

Tableau 5: Besoins en énergie finale associés aux process sur l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance

Besoins énergétiques associés à l'éclairage urbain

Le schéma directeur d'aménagement de la ZAC (scénario 1) prévoit le dévoiement de la RD98, la création d'un giratoire et la création de plusieurs voies nouvelles.

Au total, le linéaire de voirie aménagée représente 2,150 km.

Selon les statistiques concernant les dépenses énergétiques des communes établies par l'ADEME, l'AITF, EDF, GDF Suez en 2005, la consommation annuelle moyenne d'éclairage public est de 16 000 kWh/km.an.

S'agissant d'une moyenne, cette valeur est établie sur des situations très contrastées, l'Excellence côtoyant des situations très dégradées.

Selon l'ADEME, les meilleures technologies disponibles actuellement concernant les lampes, les dispositifs optiques et les réflecteurs, les candélabres, les équipements de régulation et de télécontrôle, ainsi que l'optimisation de l'implantation des points lumineux, des horaires de fonctionnement, permettent de diviser par 4 cette consommation énergétique, soit 4 000 kWh/km.an.

En se basant sur cette consommation cible, les besoins énergétiques annuels associés à l'éclairage urbain des voies desservant l'extension peuvent être estimée à **6 MWh_{ep}/an en énergie finale, soit 13,8 MWh_{ep}/an**.

Notons que cette évaluation est purement indicative et qu'une étude d'optimisation de l'éclairage devra être engagée lorsque le tracé des voies et leurs usages seront définitivement arrêtés.

Infrastructures de recharge des véhicules électriques (IRVE)

La loi Transition énergétique pose en effet l'objectif d'installation d'au moins 7 millions de points de charge sur les places de stationnement des ensembles d'habitations et autres types de bâtiments, ou sur des places de stationnement accessibles au public ou des emplacements réservés aux professionnels, à l'horizon 2030.

La réglementation impose le pré-équipements nécessaires à l'alimentation d'une prise de recharge pour véhicules électriques et d'infrastructures pour le stationnement des vélos aux immeubles neufs (d'habitation ou de bureaux), mais également depuis le 1er janvier 2017 à d'autres catégories de bâtiments (bâtiments industriels, centres commerciaux, cinémas, bâtiments accueillant un service public).

Dans le cas d'un bâtiment neuf à usage tertiaire ou industriel, équipé d'un parc de stationnement, le niveau d'obligation est modulé en fonction du seuil de 40 places (pour un minimum de 10% de places à desservir en deçà du seuil et 20% au-delà).

L'arrêté du 13 juillet 2016 étend à 22 kW le minimum de puissance nominale unitaire d'un équipement de recharge de véhicules électriques ou hybrides équipant un bâtiment tertiaire ou industriel. Cette puissance correspond à celle nécessaire pour une recharge « accélérée » d'une batterie en 1 à 2 heures.

Cependant, dans la mesure où certains points de recharges seraient alimentés à partir d'installations locales de production ou de stockage d'énergie renouvelable, la puissance nominale unitaire de ces points de recharge pourra être ajustée entre 7,4 kW et 22 kW.

Une annexe explicative du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, relative aux installations dédiées à la recharge des véhicules électriques ou hybrides, du 17 janvier 2016, précise les modalités d'application, distinguant entre interprétation « rigide » des dispositions réglementaires et application « raisonnée » : chaque point de charge unitaire doit être équipé d'un câble permettant de supporter une charge unitaire de 22 kW, mais la charge « intelligente », tenant compte du niveau de charge de la batterie et de la demande de recharge des véhicules, pourrait se faire à une puissance dite « normale » de 3,7 kW.

L'estimation de la consommation énergétique annuelle des infrastructures de recharges des véhicules électriques repose sur les facteurs suivants :

- Le nombre de point de recharge
- La durée de recharge, elle même dépendant de la capacité de la batterie, de l'état de décharge de la batterie, et de la puissance de charge disponible
- De la fréquentation des bornes, c'est-à-dire du nombre de véhicules s'y approvisionnant sur l'année.

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance à Lachelle

Si le nombre de bornes peut être déterminé des obligations réglementaires, et si la durée de recharge moyenne peut être évaluée à partir des capacités actuelles et futures des batteries et de la puissance des bornes, la fréquentation des infrastructures de recharge est plus ou moins complexe à déterminer selon la nature des sites équipés.

Dans le cas de parking d'entreprises, il est vraisemblable que les véhicules seront alimentés chaque fois que cela est possible (« biberonnage »), durant toutes les heures de travail en ce qui concerne les véhicules personnels des employés, et en dehors des heures de travail pour la flotte d'entreprise.

La durée de recharge d'une batterie de 30-40 kWh, du type de celles qui équipent les véhicules électriques de la dernière génération, est de l'ordre de 5 heures avec une borne d'une puissance de 7 kW.

Cette durée permet donc d'assurer 2 cycles de charge complets par jour de présence des employés (soit 1 cycle par demie-journée) et 1 cycle de nuit pour les véhicules appartenant à l'entreprise, soit au total 15 heures de charge par jour ouvré.

En ce basant sur une moyenne de 250 jours ouvrés par an, chaque borne représente donc une consommation de 26 250 kWh par an.

Sur la base des surfaces constructibles prévues pour l'extension et d'un ratio d'une place de stationnement pour 100 mètres carrés de surface de plancher, on peut évaluer le nombre de places de parking à prévoir et y appliquer le ratio réglementaire d'une borne de recharge pour 20 places, afin de connaître le nombre total de bornes, ainsi que la demande d'électricité associée :

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance à Lachelle

	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4	Lot 5	Lot 6	Lot 7	Total
Surface de plancher constructible	24 250 m ²	18 572 m ²	17 534 m ²	24 493 m ²	32 052 m ²	9 600 m ²	15 451 m ²	141 951 m ²
Ratio place de parking/surface de plancher	1/100	1/100	1/100	1/100	1/100	1/100	1/100	-
Nombre de place de parking	240	186	175	245	321	96	155	1417
Ratio borne/place	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-
Nombre de bornes	12	9	9	12	16	5	8	71
Puissance moyenne (kW)	7	7	7	7	7	7	7	-
Heures de charges (h)	3750	3750	3750	3750	3750	3750	3750	-
Consommation annuelle (MWh _{sp} /an)	315	244	230	321	421	126	203	1860
Consommation annuelle (MWh _{sp} /an)	725	561	529	739	968	290	466	4277

Tableau 6: Demande d'énergie des IRVE par lots

Synthèse des besoins énergétiques

Au total, les besoins annuels en *énergie primaire* de la future extension de la ZAC du Bois de Plaisance sont estimés 159,5 GWh et se répartissent comme ci-après :

	Extension ZAC Bois de Plaisance	% des besoins (énergie primaire)
Chauffage	4 300 MWh/an	2,96 %
Electricité spécifique	48 300 MWh/an	33,25 %
Process (thermique)	23 900 MWh/an	16,45 %
Process (électricité)	29 670 MWh/an	20,42 %
Eclairage urbain	34 817 MWh/an	23,97 %
IRVE	4 277 MWh/an	2,94 %
Total énergie primaire	145 265 MWh/an	100,00 %

Tableau 7: besoins d'énergie primaire de l'extension de la Zac de Bois de Plaisance

Les besoins énergétiques associés au process des entreprises représentent la plus grande part des besoins énergétiques de l'extension.

Ces besoins associés au process ne sont qu'indicatifs, en raison des inconnues pesant actuellement sur la nature des activités qui seront implantées sur ces deux extensions.

Phase I : définition et analyse des besoins énergétiques de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance à Lachelle

- La part des usages spécifiques de l'électricité (process, auxiliaires des bâtiments, éclairage internet et éclairage public, recharge des véhicules électriques) est prépondérante avec plus des 4/5^{ème} des besoins d'énergie primaire.
- Les infrastructures de recharge des véhicules électriques représentent près de 1 % de la demande énergétique.
- Les besoins associés à l'éclairage des voiries sont négligeables.
- Les usages thermiques (chauffage, ECS, process) représentent une part sensiblement plus faible, mais où dominant également les besoins associés aux process .
- Les besoins thermiques directement associés aux bâtiments sont sensiblement plus faibles, du fait de la part relativement faible des locaux chauffés dans l'ensemble des surfaces de plancher mais également en raison des besoins en ECS limités.

	Extension ZAC Bois de Plaisance	% des besoins (énergie primaire)
Electricité	131 278 MWh/an	82,32 %
Energie thermique	28 200 MWh/an	17,68 %
Total énergie primaire	159 478 MWh/an	100,00 %

Tableau 8: Répartition des besoins d'énergies primaires électricité et thermique de l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Recensement des solutions d'approvisionnement en énergies conventionnelles

Réseaux électriques

L'électricité, difficilement stockable, a l'avantage d'être simple à utiliser et très polyvalente.

Il s'agit d'une énergie « secondaire », provenant de la transformation d'énergies primaires, telle que l'énergie solaire, le flux de chaleur géothermique, les combustibles fossiles ou issus de la biomasse, l'énergie des chutes d'eau, ou de l'énergie cinétique du vent, de la mer ou des cours d'eau, etc.

Il n'y a en effet pas de source énergétique délivrant directement de l'énergie électrique, si ce n'est la foudre.

Il convient donc de qualifier l'électricité de « vecteur énergétique » car elle est un moyen commode de transporter, de stocker et d'utiliser l'énergie provenant de ressources « primaires ».

L'impact de l'électricité sur l'environnement est principalement lié au mauvais rendement de production de l'électricité. En effet, uniquement un tiers de l'énergie primaire qui entre dans la centrale ressortira sous forme d'électricité. Dans la majorité des cas, les deux tiers restant sont perdus.

Ce mauvais rendement conduit l'électricité à être une grande consommatrice de ressources fossiles (uranium, gaz, charbon, fioul) et donc à être défavorablement pris en compte dans l'approche écologique de l'énergie.

Il convient ainsi de réserver l'électricité aux usages spécifiques : éclairage, force motrice « propre », bureautique, électroménager etc.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Les réseaux électriques désignent l'ensemble des ouvrages, lignes et postes de transformation, qui permettent d'acheminer l'énergie électrique des centres de production aux zones de consommation.

On distingue :

- **Les réseaux de transport sont à haute tension (HTB)** (400 kV ou 225 kV) et ont pour but de transporter l'énergie des grands centres de production vers les régions consommatrices d'électricité. En France, contrairement à la production, le transport de l'électricité demeure une activité monopolistique confiée par l'État à Réseau de transport d'électricité (RTE), filiale d'EDF. Cette activité s'exerce sous le contrôle de la Commission de régulation de l'énergie (CRE). ;
- **Les réseaux régionaux de répartition** sont à haute tension et ont pour but d'assurer à l'échelle régionale la fourniture d'électricité. L'énergie y est injectée essentiellement par le réseau de transport via des transformateurs, mais également par des centrales électriques de moyennes puissances (inférieures à environ 100 MW). Les réseaux de répartition sont distribués de manière assez homogène sur le territoire d'une région. Ces réseaux alimentent également les gros clients industriels en 225 kV, 90 kV et 63 kV.
- **les réseaux publics de distribution**, composés des lignes de tension inférieure à 50 kV, qui desservent l'échelon local. Ce réseau est dit de « moyenne tension » ou « HTA » pour les tensions inférieures à 50 KV et supérieures à 1 kV, et de « basse tension » ou « BT » pour les tensions inférieures ou égales à 1 kV.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

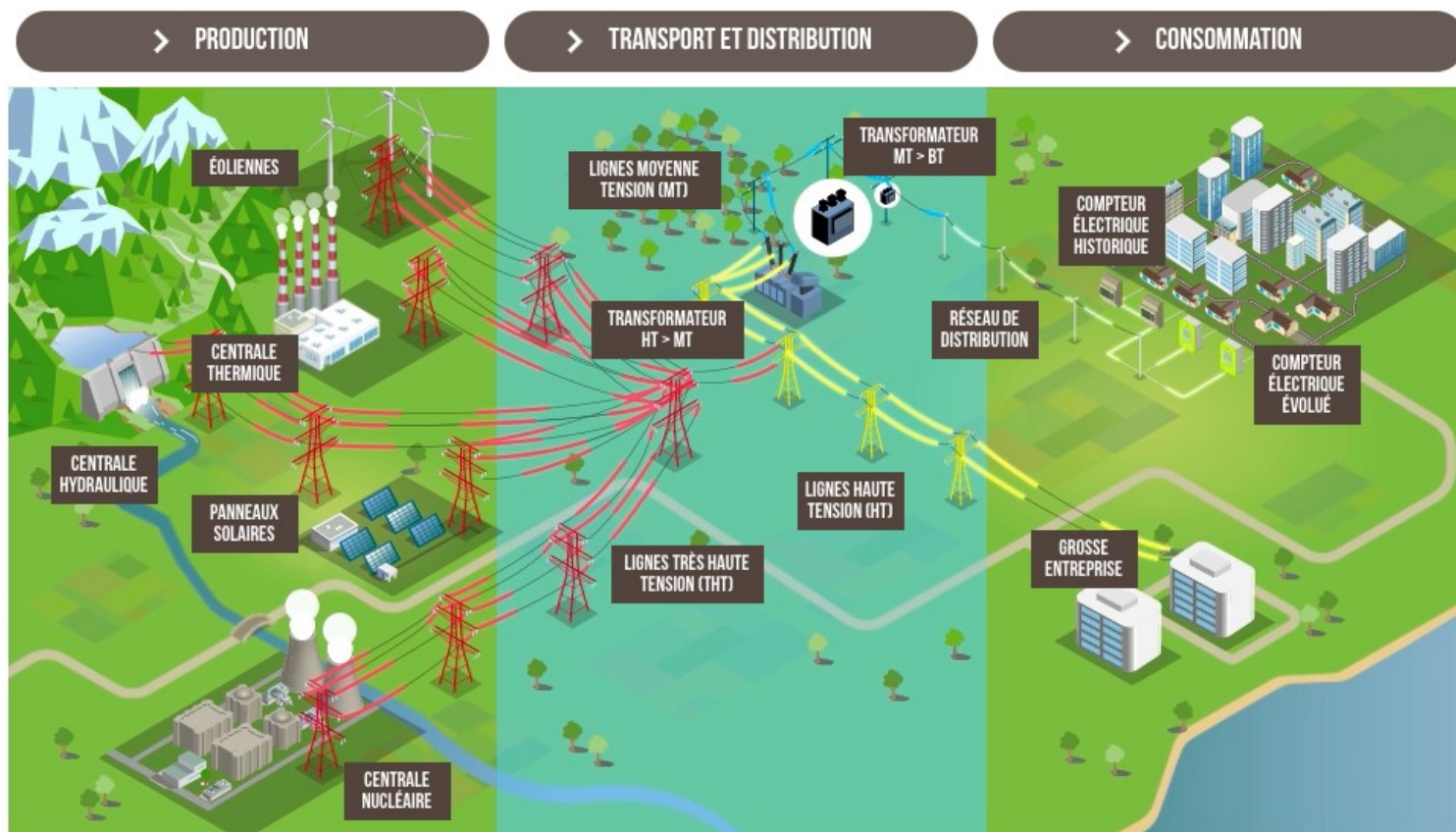


Illustration 10: Production, transport et distribution de l'électricité.

Source : Commission de régulation de l'énergie, Module pédagogique sur l'électricité

Réseau de transport de l'électricité :

Les canalisations du réseau de transport de l'électricité identifiées comme desservant l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance sont les suivantes :

- Compiègne – Moru 225 kV ;
- Compiègne – Moru 63 kV ;
- Compiègne – Peupleraie dérivation Longueil 63 kv

Les lignes électriques traversant la commune de Venette se situent à l'est du projet, à environ 1,5 km de ce dernier. Les servitudes ne sont donc pas applicables au projet.

Réseau de distribution de l'électricité

Les réseaux de distribution ont pour but d'alimenter l'ensemble des consommateurs. Ils s'étendent des postes sources jusqu'aux compteurs des usagers.

Il existe deux sous niveaux de tension :

- les réseaux moyenne tension (anciennement MT devenu HTA de 3 à 50 kV)
- les réseaux basse tension (anciennement BT devenu BTB de 110 à 600 V), sur lesquels sont raccordés les utilisateurs domestiques.

La loi du 15 juin 1906 a reconnu les communes propriétaires des réseaux en moyenne tension (HTA) et basse tension (BT). La loi de nationalisation du 8 avril 1946 a laissé subsister les régies et les entreprises locales de distribution (ELD) créées sous la forme de sociétés d'économie mixte ou de sociétés coopératives par les communes qui n'avaient pas eu recours à des entreprises privées pour la construction et l'exploitation de leur réseau d'électricité.

Le Syndicat des Energies Zone Est de l'Oise (SEZEO) est l'autorité organisatrice de la distribution d'électricité sur le périmètre concernant l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance. La gestion du réseau de distribution d'électricité a été confiée au travers d'une concession à SICAE OISE.

Au-delà de son rôle d'Autorité Organisatrice de la Distribution d'Électricité [AODE] le SEZEO développe des missions optionnelles au service des communes : gestion de l'éclairage public, déploiement des bornes de recharges pour véhicules électriques, groupement d'achats d'énergies, accompagnement à la transition énergétique des collectivités...

Le gestionnaire de réseau (GRD) assure la distribution d'électricité et reste le fournisseur d'électricité pour les usagers bénéficiant des tarifs réglementés.

Réseau HTA et BT

L'extension de la ZAC de Bois de Plaisance sera alimentée en électricité par un réseau HTA bouclé avec des postes de transformation.



Illustration 11: Plan des réseaux de la ZAC de Bois de Plaisance (Commune de Lachelle)



Illustration 12: Réseau électrique H.T. desservant l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance. Source : SICAE Oise



Illustration 13: Réseau électrique B.T. desservant l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance. Source : SICAE Oise

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

A ce stade, le projet prévoit, un emplacement en tranchée commune pour un réseau HTA sur l'ensemble des voiries du projet permettant la desserte des ilots et également l'intégration d'un rétablissement des liaisons HTA.

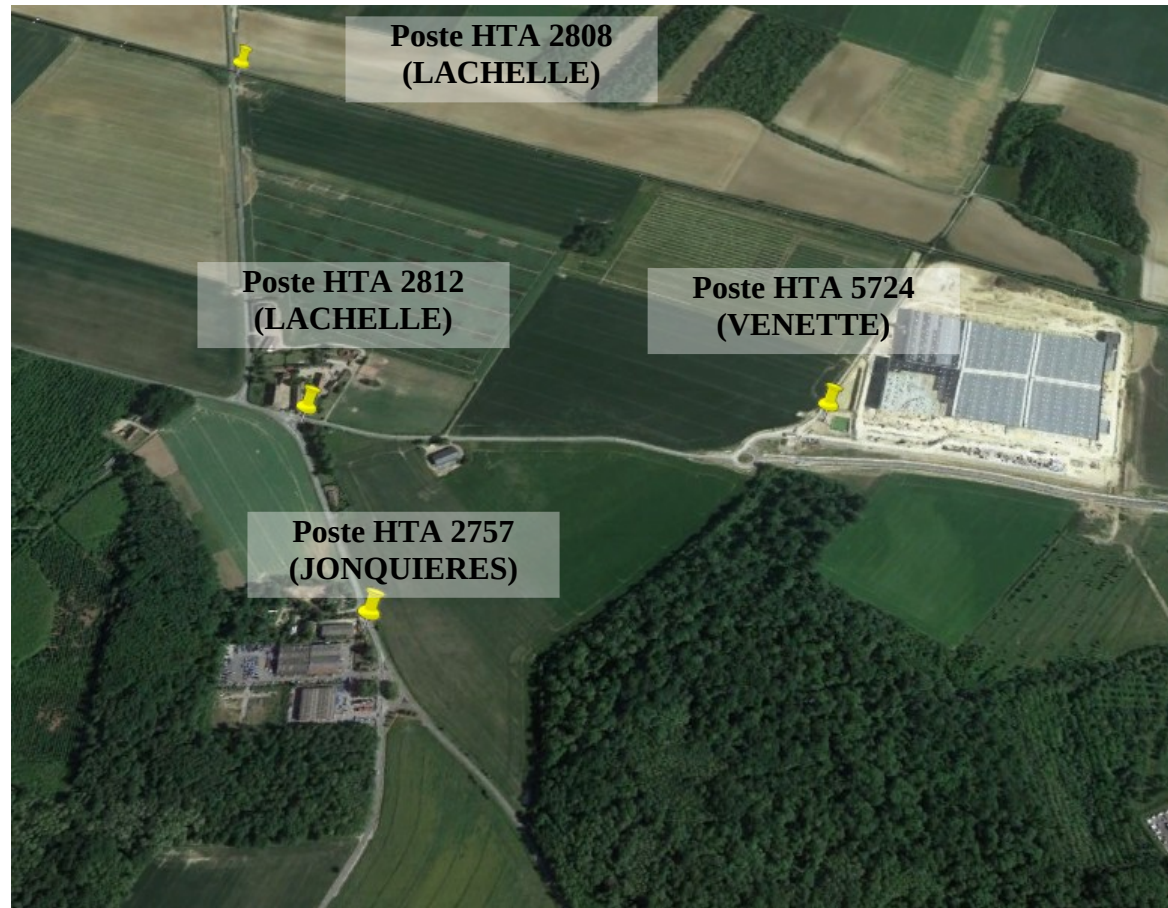


Illustration 14: Localisation des postes électriques de livraison actuels sur le périmètre de l'extension future de la ZAC de bois de Plaisance.

Raccordement des parcelles

Il sera réalisé en domaine privé un coffret de branchement BT lors des travaux de la ZAC pour chaque lot identifié au plan masse.

Raccordement au réseau électrique des installations EnR

Le raccordement au réseau est un paramètre technico-économique nécessaire à prendre en compte dans le cadre d'un projet d'installations de production d'électricité par énergies renouvelables (installations photovoltaïques, éoliennes, hydroélectriques, ...).

Il est en effet indispensable de connaître les conditions (parcours, délai, coût) de raccordement de la centrale au réseau public de distribution de l'électricité HTA/HTB.

Le raccordement est réalisé sous maîtrise d'ouvrage d'ENEDIS (applications des dispositions de la loi n°85-704 du 12 juillet 1985, dite « MOP »). La solution de raccordement sera définie par ENEDIS dans le cadre de la Proposition Technique et Financière soumise au producteur, demandeur du raccordement.

Selon la procédure d'accès au réseau, ENEDIS étudie, à la demande du producteur, les différentes solutions techniques de raccordement et a obligation de lui présenter la solution de moindre coût.

Les travaux de construction/aménagement des infrastructures à faire par ENEDIS démarrent généralement une fois que la Convention de Raccordement a été acceptée et signée par le producteur. Si de nouvelles lignes électriques doivent être installées, elles seront enterrées par ENEDIS et suivront prioritairement la voirie existante (concession publique).

Le poste de livraison de la centrale est situé sur le site d'implantation mais comporte une ouverture sur l'extérieur de la parcelle afin de rester accessible par les services techniques d'ENEDIS. Le poste de livraison constitue le point de départ du raccordement au réseau public de distribution.

Le site Caparéseau informe les porteurs de projets d'installations de production d'électricité sur les possibilités de raccordement aux réseaux de transport et de distribution des installations de production d'électricité.

Il est réalisé en collaboration par RTE et les gestionnaires de réseaux de distribution.

L'information publiée sur le site des capacités d'accueil du réseau s'adresse à tous les producteurs. Toutefois, dans le cadre des Schémas régionaux de raccordement au réseau des énergies renouvelables (S3REnR), les gestionnaires de réseaux développent et réservent des capacités d'accueil pour les EnR. Ainsi, le site Caparéseau fournit des informations supplémentaires pour l'accueil des EnR et l'avancement de ces schémas.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Les installations de production d'électricité valorisant les énergies renouvelables qui seront développées sur l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance devront être raccordées, via leurs postes de livraison, à un « poste source ».

Deux postes de livraison sont localisés non loin du site de la future extension :

- poste de Compiègne dans la commune de Clairoux ;
- poste d'Estrees, dans la commune de Rémy ;

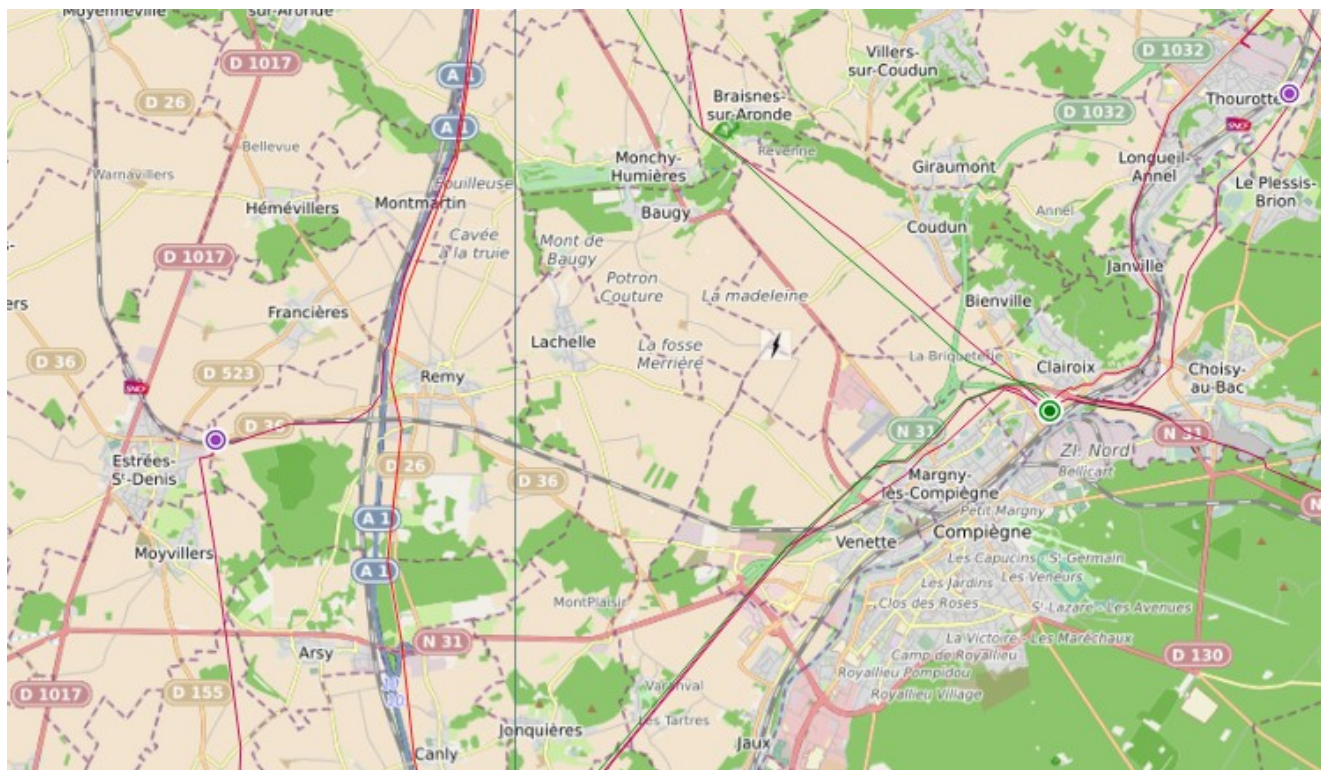


Illustration 15: Localisation des postes disposant de capacités d'accueil pour le raccordement aux réseaux de transport et de distribution des installations de production d'électricité d'origines renouvelables – Source : CAPARESEAU

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Celui de Compiègne disposait de capacités réservées aux EnR au titre du S3REnR, mais celles-ci ont été intégralement utilisées.

En revanche, celui d'Estrées dispose de 19,0 MW de capacités réservés aux EnR, dont 7,6 MW ont déjà été affectées à des projets existants, et 7,2 MW le seront pour des projets en cours. La puissance restante de 4,2 MW est encore disponible, mais devrait être rapidement affectée compte tenu de la saturation des capacités d'accueil dans la région.

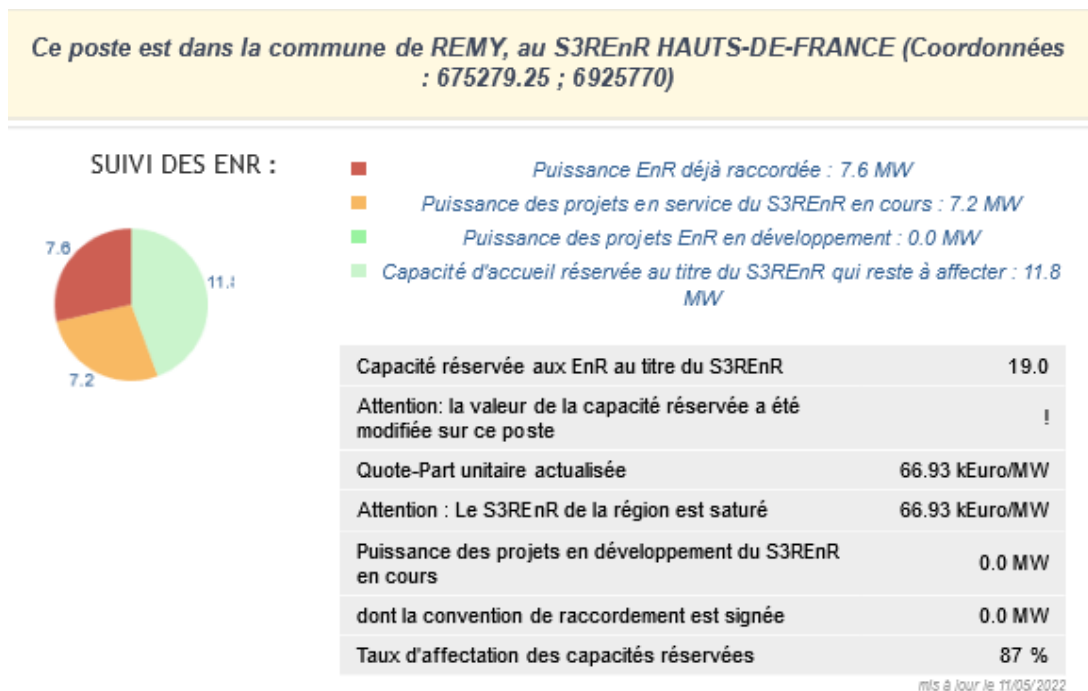


Illustration 16: Capacités d'acueil du poste d'Estrées, sur la commune de Rémy

Réseaux gaziers

Le gaz naturel est une énergie non renouvelable, mélange d'hydrocarbures légers dont le composant principal est le méthane (au moins 90 %). La grande pureté du gaz naturel lui donne des domaines d'application très étendus. Il est utilisé tel quel dans l'industrie chimique comme matière première. De nouveaux procédés de conversion permettent d'envisager, dans le futur, son utilisation pour la production d'éthylène ou de carburant automobile.

Dans le secteur industriel, il est principalement utilisé pour produire de l'énergie thermique : chauffage des locaux, chaudières de toutes puissances, fours, applications spécifiques à une production industrielle. La chaleur produite par sa combustion peut également servir à produire du froid par le biais de machines frigorifiques à absorption.

Enfin, il est utilisé pour produire de l'énergie mécanique ou électrique. Ainsi, on l'emploie non seulement comme carburant, mais aussi pour la production décentralisée d'électricité par l'intermédiaire de moteurs ou de turbines à gaz (cogénération). Il est considéré comme un combustible possible pour les piles à combustible.

Le gaz naturel est une énergie fossile comme le fioul. Sa combustion rejette cependant légèrement moins de CO₂ que le fioul à énergie produite équivalente. Le gaz naturel est acheminé par des canalisations terrestres, ou sous forme liquéfiée par voie maritime.

Le gaz naturel est considéré comme un combustible propre. Sous sa forme commercialisable, il ne contient presque pas de soufre et ne produit pratiquement aucun dioxyde de soufre (SO₂). A quantité d'énergie utile égale, ses émissions d'oxydes d'azote (NO_x) sont plus faibles que celles du pétrole ou du charbon et celles de gaz carbonique (CO₂) inférieures à celles des autres combustibles fossiles (selon Eurogas de 40 à 50 % de moins que le charbon et de 25 à 30 % de moins que le pétrole).

Cependant, il suffit que le taux de fuite du puits à l'utilisation finale soit de 4 % (taux certainement rencontré sur certaines installations russes par exemple) pour que l'utilisation du gaz naturel soit équivalente à celle du charbon en termes de gaz à effet de serre.

Par ailleurs, son utilisation, en tant que combustible, mais également comme matière première de l'industrie chimique (engrais) ou pour la production d'hydrogène, libère d'importantes quantités de gaz à effet de serre.

Du fait de l'importance et de la répartition géographique des gisements gaziers sur l'ensemble de la planète, les risques géopolitiques associés au gaz naturel sont potentiellement plus faibles que pour le pétrole. Cependant, le gaz naturel est une énergie « régionale » et il convient d'analyser les risques géostratégiques à cette échelle.

Par ailleurs, la nature des infrastructures associées à son transport (gazoduc, usine de liquéfaction et terminal méthanier) peut constituer un risque potentiel au niveau de la sécurité d'approvisionnement (risque terroriste ou technologique).

Indexés sur les prix du pétrole et soumis à des risques géopolitiques non négligeables (cf. les tensions sur l'approvisionnement de gaz naturel d'origine Russe), le gaz naturel contribue de façon sensible à la vulnérabilité énergétique des collectivités, des entreprises et des ménages.

Les réseaux de transport de gaz naturel

Le réseau de transport, infrastructure constituée de canalisations et de stations de compression, est structuré en :

- un réseau principal, ensemble des canalisations à haute pression et de grand diamètre qui relie les points d'interconnexion avec les réseaux voisins, les stockages souterrains et les terminaux méthaniers. Le réseau régional et les plus importants consommateurs industriels lui sont raccordés ;
- un réseau régional qui assure l'acheminement du gaz naturel vers les réseaux de distribution et vers les clients finals grands consommateurs, directement raccordés à ce réseau.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles



Illustration 17: Les infrastructures de transport et de stockage du gaz naturel dans le nord de la France - Source GRTgaz

Zoom sur les installations de stockage de gaz naturel

Les stockages souterrains servent à adapter les approvisionnements, réguliers tout au long de l'année, à la consommation des clients finals qui varie selon les saisons.

Éléments majeurs de la sécurité d'approvisionnement, ils sont aussi un outil indispensable de flexibilité, notamment pour l'équilibrage des réseaux.

Indispensables au bon fonctionnement du marché du gaz naturel, ces infrastructures sont gérées par deux opérateurs de stockage :

- Storengy gère 12 sites répartis sur tout le territoire sauf le Sud-Ouest et propriétés de Storengy ou de Géométhane.
- TIGF gère 2 sites dans le Sud-Ouest (Izaute et Lussagnet).

Mis en service en 1976, le site de Gournay-sur-Aronde (60) est un stockage en nappe aquifère, qui se situe à 15 km au nord-ouest de Compiègne et s'étend sur 28 communes de l'Oise.

Le site est exploité par Storengy, filiale de GDF Suez, qui opère un parc de douze sites de stockage souterrain en France et d'autres en Allemagne, Grande-Bretagne et au Canada.

Le gaz est stocké dans deux réservoirs principaux situés dans les niveaux supérieurs et inférieurs de la nappe aquifère du Séquanien située à environ 750 m de profondeur par rapport au niveau du sol. Le volume de stockage est de 3 130 millions de m³ (n).

La surface que peut atteindre en plan la bulle de gaz dépasse 30 km² et s'étend sur 28 communes de l'Oise.

Le site de Gournay-sur-Aronde est classé Seveso. L'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter du 08 juillet 2014 régit les activités du site.

L'étude de dangers du site est mise à jour périodiquement.

Le Périmètre de la zone à Risque (PPI) concerne les communes de Gournay-sur-Aronde, Cuvilly, Lataule, Ressons-sur-Matz, Méry-la-Bataille, Antheuil-Portes, Belloy

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

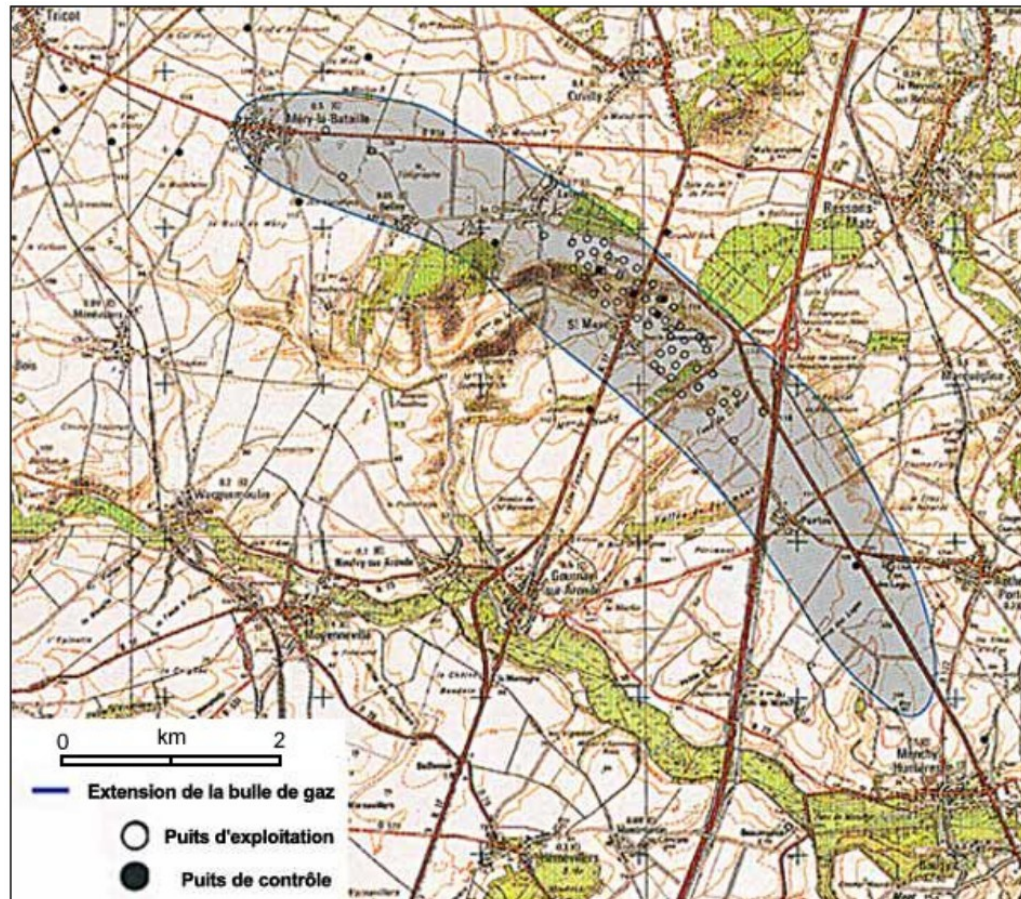


Illustration 18: Bulle de gaz maximale du réservoir sur aquifère de Gournay-sur-Aronde

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

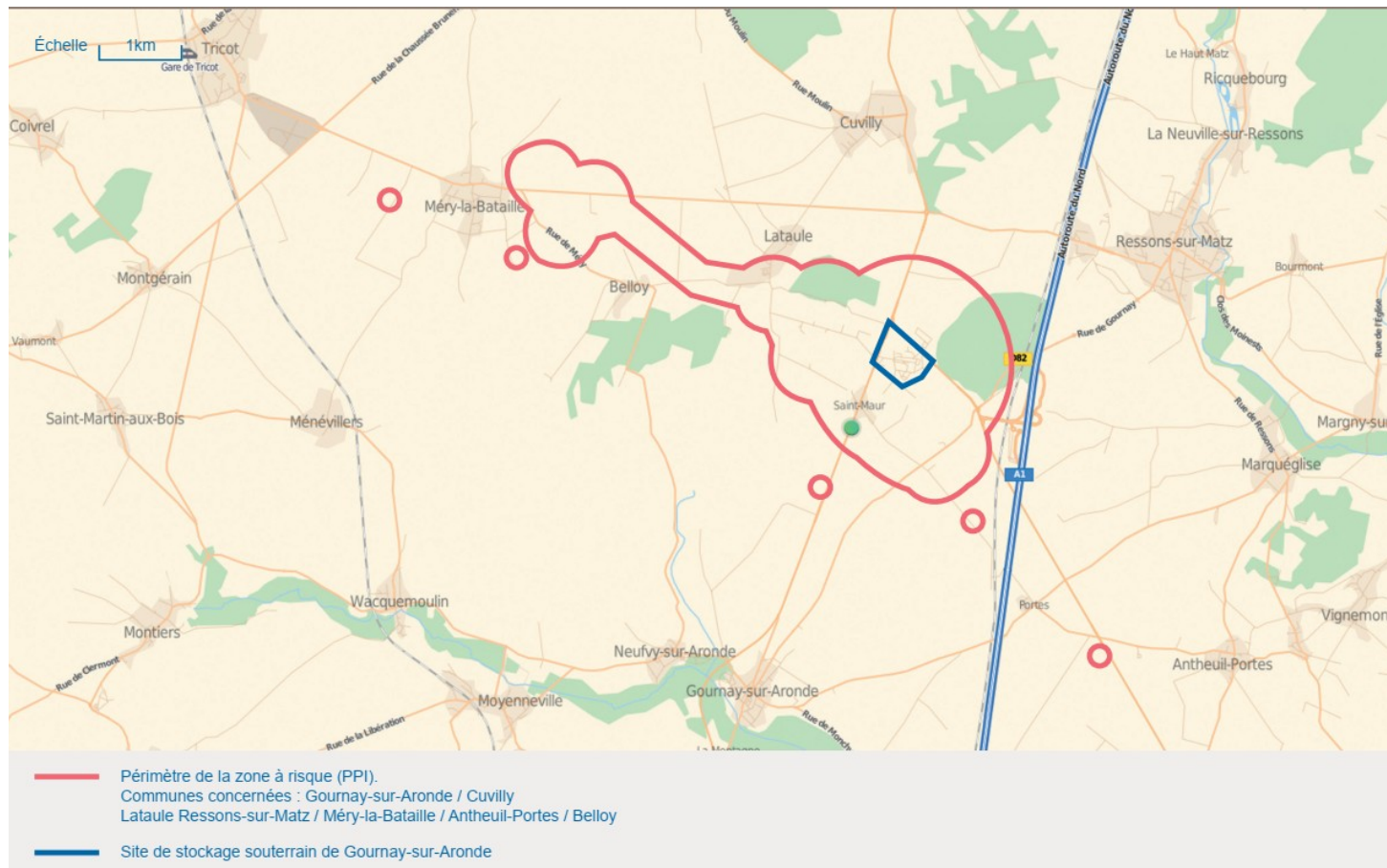


Illustration 19: Carte du zonage du Périmètre de la Zone à Risque (PPI) du site de stockage en nappe aquifère de Goumay-sur-Aronde.

Réseau gazier desservant la ZAC

Le réseau gaz sera réalisé en PEHD depuis le réseau existant par GRDF.

Energies renouvelables

La disponibilité de certaines énergies renouvelables et les possibilités de les mobiliser peuvent rapidement évoluer en fonction de nombreux facteurs, c'est le cas notamment pour la biomasse ou la géothermie sur aquifère.

La disponibilité de ces énergies pourra être réétudiée ultérieurement plus précisément :

Dans le cadre des études de réalisation ;

- Dans le cadre de la conception de chaque projet de construction : via la réalisation des études d'approvisionnement en énergie pour les bâtiments, extensions de bâtiments ou groupes de bâtiments de plus de 1000 m². Cette étude est une pièce obligatoire du permis de construire (décret 2007-363 du 19 mars 2007).
- D'autre part, l'évaluation des possibilités de mobiliser certaines ressources nécessite des investigations complémentaires qui ne peuvent être réalisées dans le cadre des études préalables d'aménagement et dont les conclusions peuvent aller à l'encontre des informations contenues dans les documents sources précédemment cités.

Dans tous les cas, les incertitudes entourant l'évaluation des gisements de certaines énergies renouvelables ne peuvent en aucun cas conduire à les écarter de l'étude. Dans le doute, ces dernières sont intégrées et la faisabilité effective de leur mobilisation sera soumise à des investigations complémentaires ultérieures.

Cependant, au stade de la présente étude, certaines énergies peuvent être logiquement éliminées en raison de l'absence de ressource ou de besoin sur la zone d'étude :

- Énergie thermique solaire de puissance (four solaire)
- Énergies des mers ;
- Énergie potentielle hydraulique (barrages) ;
- Énergie cinétique hydraulique (hydroliennes fluviales)

Nous comparerons techniquement et économiquement les solutions retenues à une solution de référence.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Les couleurs du tableau ci-contre donne une première indication de probabilité d'existence des ENR sur l'aménagement de l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance :

Ressource	Utilisation	Technologie de valorisation	Echelle de déploiement
Eolien	Electricité	Micro et petit éolien	Bâtiment / Quartier
		Grand éolien	> Commune
Solaire thermique	Chaleur	Panneaux solaires thermiques	Bâtiment
		Climatisation solaire	Bâtiment
		Ensemble de panneaux solaires thermiques	Quartier / Ville
Solaire photovoltaïque	Electricité	Panneaux solaires photovoltaïques	Bâtiment
		Ferme solaire PV	Quartier / Ville
Géothermie	Chaleur / froid	Géothermie très basse énergie sur aquifère	Bâtiment / Quartier
		Géothermie très basse énergie sur sondes	Bâtiment / Quartier
		Géothermie profonde avec réseau de chaleur	Quartier / Ville
Aérothermie	Chaleur / froid	Pompes à chaleur	Bâtiment
Energies des mers	Electricité	Hydroliennes	> Commune
		Usine marémotrice	> Commune
		Centrale houlomotrice	> Commune
		Centrale Energie Thermique des Mers	> Commune
Energie potentielle hydraulique	Electricité	Pico et micro-hydroélectricité	Bâtiment / Quartier
		Grand hydraulique	> Commune
Energie cinétique fluviale		Hydrolienne fluviale	> Commune
Biomasse	Chaleur /Electricité	Chauffage bois individuel	Bâtiment
		Chaufferie bois collective	Bâtiment / Quartier
		Cogénération	Bâtiment
Biogaz	Chaleur /Electricité	Injection dans le réseau gazier	> Commune
		Utilisation comme carburant BioGNV	> Commune
		Chaufferie gaz	Bâtiment / Quartier
		Cogénération	Bâtiment / Quartier
Récupération de la chaleur fatale	Chaleur /Electricité	Récupération de chaleur sur les groupes de froid	Bâtiment
		Récupération de chaleur sur les compresseurs	Bâtiment
		Récupération de chaleur sur les moteurs	Bâtiment
		Récupération de chaleur sur le process industriel	Bâtiment
		Récupération de chaleur sur les eaux usées sur le bâtiment	Bâtiment
		Récupération de chaleur sur le réseau d'eaux usées	Quartier / Ville

	Probable
	Possible
	Peu probable ou exclu

L'énergie solaire

Le soleil déverse annuellement sur terre une énergie environ 10 000 fois supérieure à la totalité de la production énergétique de l'homme, toutes sources confondues. Cependant cette énergie est variable, intermittente et peu dense, sa puissance en un point donné est faible.

Il s'agit d'une énergie de flux (tout comme le vent) qui existe à l'état naturel. L'énergie solaire fait partie des cinq énergies renouvelables.

Le rayonnement solaire dans les couches supérieures de l'atmosphère atteint 1 400 W/m². Sur terre, environ 70 % de ce rayonnement, soit 1 000 W/m², reste à disposition dans des conditions favorables.

A la surface de la terre, le rayonnement solaire comprend :

- 5 % d'ultraviolet,
- 40 % de lumière visible,
- 55 % d'infrarouges, porteurs essentiels de l'énergie thermique.

Le rayonnement global, est composé de la lumière qui nous parvient directement du soleil (rayonnement direct) et du rayonnement diffus émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments, etc.).

Ce rayonnement est défini comme l'éclairement énergétique que reçoit une surface horizontale en un temps donné, il peut être exprimé en Wh/m².jour.

Avec 1 622 heures d'ensoleillement par an, l'Oise fait partie, comme ses voisins picards, des départements les moins ensoleillés de France métropolitaine loin derrière les Bouches du Rhône, le Var ou le Vaucluse et leurs 2 800 heures annuelles.

Cependant, le taux d'ensoleillement du département n'est certainement pas un obstacle, comme le montrent de nombreux pays à moindre ensoleillement, tels que l'Allemagne, le Danemark ou encore l'Ecosse.

Par ailleurs, le territoire détient un potentiel de développement important en termes de surfaces à aménager, notamment sur des bâtiments résidentiels et tertiaires, mais aussi sur des friches inexploitées qui pourraient devenir des fermes au sol.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

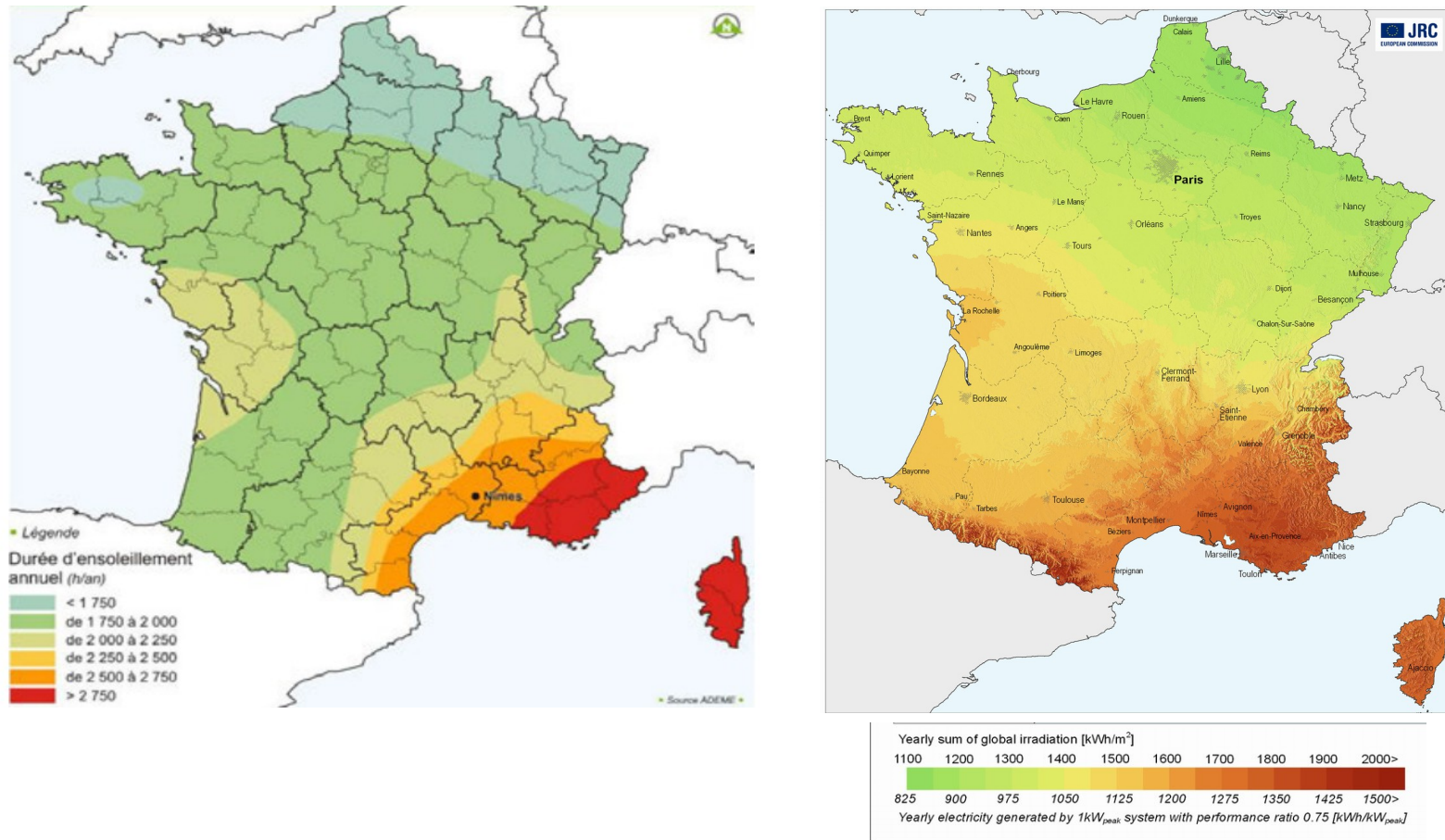


Illustration 20: Durée annuelle d'ensoleillement de la France et Irradiation solaire et potentiel de production photovoltaïque associée

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Gisement solaire local

La commune de Lachelle a connu 1 760 heures d'ensoleillement en 2021, contre une moyenne nationale des villes de 2 005 heures de soleil.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Irradiation globale horizontale H(h) m	27,2	49,2	87,2	138,6	166,8	174,2	177,5	150,5	107,7	62,9	35,6	25,4
Irradiation directe normale H(i opt) m	45,4	77,7	112,7	158,6	168,5	167,6	173,9	162,6	134,5	88,7	61,8	49,3
Irradiation globale angle optimal Hb(n) m	34,0	64,8	89,8	139,4	144,2	143,6	147,2	134,5	110,5	65,8	50,0	41,4
Ratio diffus/global Kd	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Température moyenne mensuelle T2m	4,4	5,0	7,4	10,8	14,3	18,1	20,3	20,0	16,3	12,3	8,0	5,9

Tableau 9: Insolation mensuelle moyenn en 2021 de la commune de Lachelle

Potentiel Solaire

Masque solaire lointain

Les ombrages lointains sont dû à la ligne d'horizon, donc aux montagnes, aux immeubles et aux gros arbres situés à une grande distance. Ces objets lointains génèrent par leur taille et leur distance une ombre qui couvre à certains horaires l'intégralité d'une installation solaire.

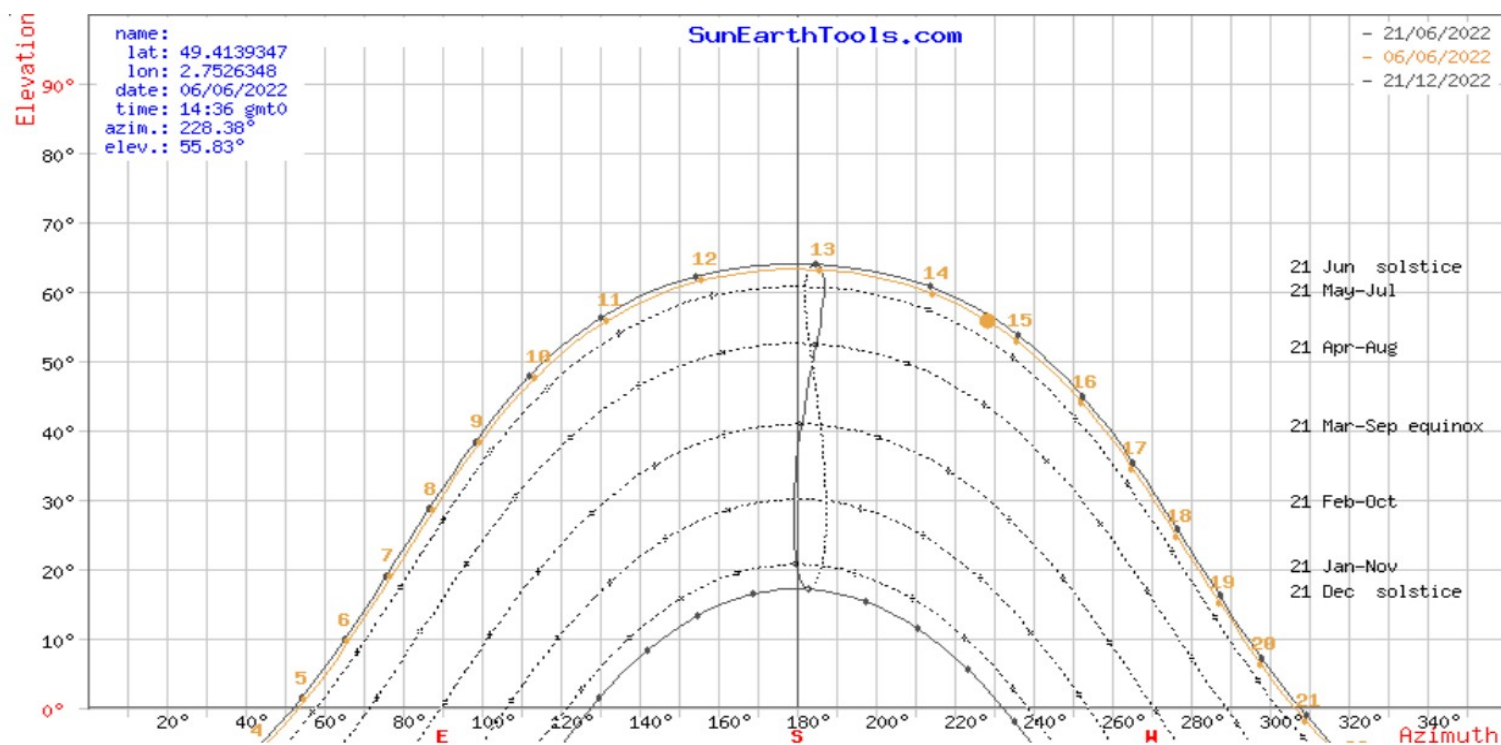


Illustration 21: Simulation des masques solaires lointains sur le site de l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance

Sur le site, en son état actuel, aucun obstacle lointain n'est susceptible de générer des ombres susceptibles de limiter les performances d'installations solaires.

Masque solaire proche

En l'état actuel des connaissances de l'aménagement des différentes parcelles, il n'est pas possible de déterminer la présence de masque solaire proche.

Les technologies de valorisation

L'énergie solaire est utilisée essentiellement pour deux usages :

- la production d'électricité (énergie solaire photovoltaïque ou énergie solaire thermodynamique)
- la production de chaleur (énergie solaire thermique).

L'énergie solaire photovoltaïque transforme le rayonnement solaire en électricité grâce à des cellules photovoltaïques intégrées à des panneaux qui peuvent être installés sur des bâtiments ou posés sur le sol alors que l'énergie solaire thermodynamique produit de l'électricité via une production de chaleur.

L'électricité produite peut être utilisée sur place ou réinjectée dans le réseau de distribution électrique.

L'énergie solaire thermique produit de la chaleur qui peut être utilisée pour le chauffage domestique ou la production d'eau chaude sanitaire.

Energie Solaire thermique

Il est possible de convertir directement l'énergie solaire en énergie thermique (par le biais de techniques constructives « passives », de concentrateurs ou de capteur plans) ou encore en énergie électrique (procédé photovoltaïque) .

Solaire passif (architecture bioclimatique)

Le solaire passif regroupe les solutions, essentiellement constructives, qui utilisent passivement l'énergie du soleil pour le chauffage des locaux en hiver. La conception des bâtiments, dite « conception bioclimatique », permet d'optimiser l'apport de solaire passif pour en retirer le plus de bénéfice. Afin que le recours à ce solaire passif soit pertinent, il faut non seulement pouvoir en bénéficier en hiver, mais éviter les apports solaires en été sources de surchauffes dans le bâtiment et donc de consommations de rafraîchissement plus importantes.

Typiquement, pour favoriser les apports solaires l'hiver et les limiter l'été, l'architecture bioclimatique fait appel à des solutions telles qu'écrans végétaux et rideaux d'arbres à feuilles caduques, claustras et « casquettes » en surplomb

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

- Écart suffisant entre les bâtiments ou partie du bâtiment lui-même (patios) pour permettre un accès au soleil jusqu'aux façades des étages bas ;

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

- Ouverture de la façade au Sud, Est et Ouest pour profiter au maximum des apports solaires passifs par les surfaces vitrées ou grâce à des dispositifs comme un mur trombe.

Les techniques solaire passif sont des optimisations de la conception et n'engendrent aucun surcoût d'investissement et d'exploitation particulier à l'échelle d'un projet et sont à privilégier dans le cadre de projets de bâtiments « passifs ».

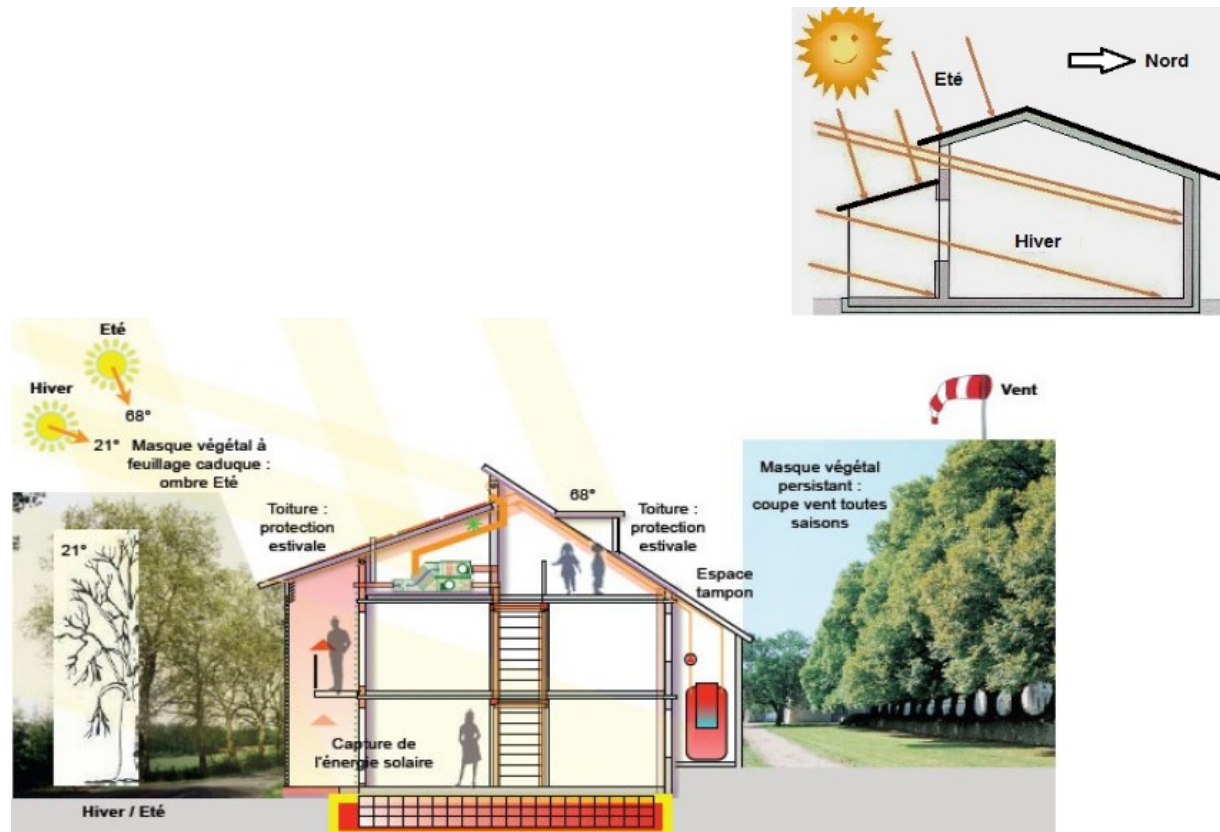


Illustration 22: Insolation Eté et Hiver d'un bâtiment utilisant les techniques solaires passives.

Concentrateurs

Le principe est très simple, plusieurs miroirs captent le rayonnement solaire sur leur surface et concentrent cette énergie sur une surface plus réduite. Le facteur de concentration peut atteindre 20 000/1 (cas des miroirs paraboliques). Les concentrateurs sont utilisés pour élever la température d'un fluide caloporteur, ou même d'un récipient (cuisson solaire).

Capteurs solaires thermiques

Les capteurs solaires de type plan sont les plus couramment utilisés. Ils se composent d'un absorbeur situé dans un coffrage isolé en face arrière et constitué d'un vitrage en face avant. Cet absorbeur possède une couche sélective qui augmente la captation de l'énergie solaire tout en limitant les pertes par rayonnement. Le vitrage évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent et crée un effet de serre qui augmente le rendement du capteur. L'isolation à l'arrière du capteur diminue les pertes de chaleur.

C'est à la surface de l'absorbeur que le rayonnement solaire est converti en chaleur. Un liquide caloporteur circule dans l'absorbeur et vient transmettre sa chaleur, via un échangeur, à l'eau sanitaire. Le circuit solaire est totalement indépendant du circuit consommateur.

Les capteurs plans sont utilisés pour la production d'eau chaude sanitaire sur des installations collectives. Un premier ballon de stockage solaire est généralement placé en amont d'un deuxième ballon d'appoint (au gaz, fioul ou électrique), celui-ci assure le maintien à la température de consigne de l'eau chaude. La chaleur captée peut également être transformée en froid par une machine à absorption.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

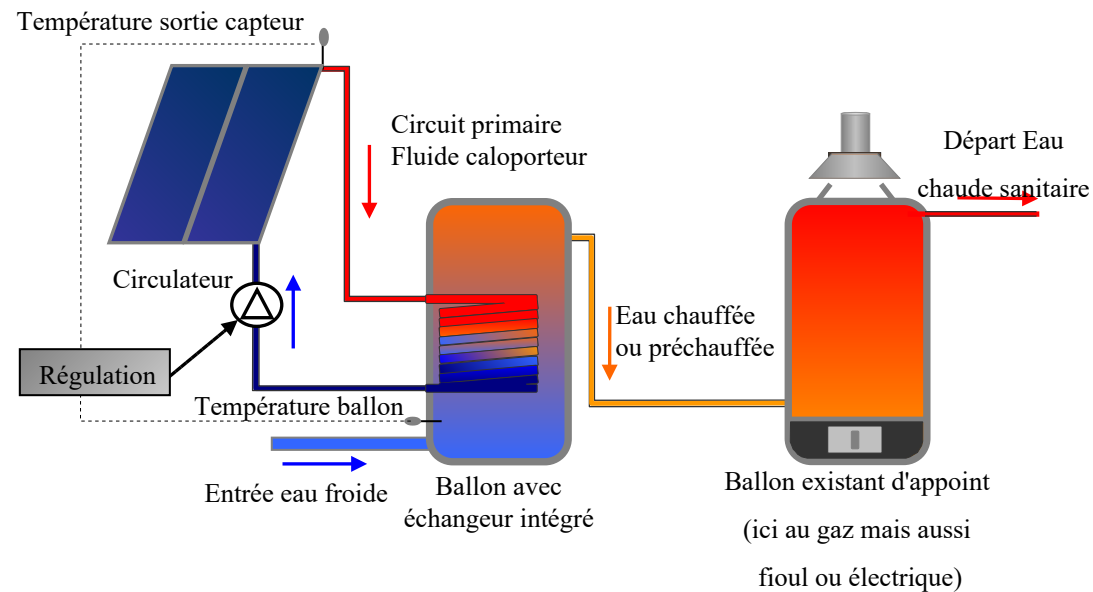


Illustration 23: Schéma de principe d'un système solaire de production Eau Chaude Sanitaire

Applications :

L'énergie solaire thermique trouve de nombreuses applications :

- la production d'eau chaude,
- le chauffage des locaux
- le chauffage de l'eau des piscines,
- le séchage des récoltes,
- la réfrigération par absorption pour les bâtiments,
- la production de très haute température.

Potentiel de production local

Malgré des conditions moins favorables que dans les régions plus méridionales, le niveau d'ensoleillement et d'irradiation solaire dont bénéficie le site de l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance rend techniquement et économiquement envisageable la valorisation thermique de l'énergie solaire.

Compte tenu du gisement solaire favorable sur le site, on peut cependant considérer que la production d'ECS par capteurs solaires thermiques installés sur les différents bâtiments à usage industriels ou tertiaires couvrirait sans difficulté les besoins du personnel .

En revanche, en ce qui concerne la satisfaction des besoins de rafraîchissement, la rentabilité des climatiseurs solaires à absorption, technologie encore très peu développée, est très douteuse. Les solutions bioclimatiques lui seront préférées pour un coût moindre.

Conditions de mise en œuvre

Plusieurs éléments doivent être pris en compte dans le cadre d'un projet solaire thermique :

Le niveau et la variabilité des besoins thermiques

La production d'énergie solaire reposant sur l'ensoleillement, elle est bien plus importante en été qu'en hiver. Deux conséquences directes de ce mode de fonctionnement doivent être prises en compte dans la réalisation d'une installation solaire thermique :

l'installation est dimensionnée en fonction de la couverture des besoins qu'elle permet l'été et non l'hiver : idéalement elle couvre 90 % des besoins estivaux. Sa production ne doit pas dépasser les besoins. Ce dépassement peut être autorisé à condition que l'énergie excédentaire soit valorisée par ailleurs (chauffage d'une piscine, process, etc.) ;

l'installation doit être installée sur un bâtiment ayant des besoins en eau chaude en été : les établissements scolaires et les groupes sportifs inutilisés l'été ne constituent pas des bâtiments sur lesquelles l'installation sera correctement exploitée et rentabilisée. Les établissements ayant une consommation très irrégulière au long de l'année sont moins adaptés car ils ne permettent pas une utilisation optimisée de l'installation.

Le positionnement des capteurs

Le positionnement des capteurs et leur intégration au bâtiment ou au site doivent être étudiés précisément de manière à garantir un rendement satisfaisant tout en respectant les règlements d'urbanisme.

L'orientation et l'inclinaison des capteurs

Les installations solaires délivrent le maximum de leur puissance lorsque le rayonnement solaire est perpendiculaire au plan de leurs capteurs. Ceux-ci étant fixes, la détermination de leur orientation et leur inclinaison résultent d'un compromis entre cet optimum et les contraintes techniques (emplacement dispo-

nible, masques environnants tels que végétation et bâtiments voisins), mais également de la variabilité des besoins de chaleur (dans la journée, dans l'année).

Conditions de mise en œuvre

Les coûts d'investissement et de fonctionnement varient sensiblement selon la taille et le type d'installation.

Pour une installation « collective », les coûts d'investissement varient entre 800 et 1200 € HT/m², tandis que les coûts de maintenance sont compris entre 200 et 500 €/an.

Ces coûts constituent des ordres de grandeur ; il s'agit d'une gamme de prix moyen qui n'intègre pas le système d'appoint, mais qui comprend l'ensemble des équipements (capteurs, stockage, circulateurs, régulation) et leurs installations.

Le montant indiqué pour les coûts de fonctionnement correspondant à la GRS (Garantie de Résultats Solaires) plus une visite annuelle d'entretien.

Le contrat de garantie solaire (GRS) est un contrat par lequel le soumissionnaire s'engage envers le Maître d'Ouvrage à concevoir, mettre en œuvre, livrer en parfait ordre de marche et exploiter pendant une durée fixée dans le contrat, une installation de production d'eau chaude sanitaire solaire dont il garantit et démontre sur site la capacité à assurer une production énergétique annuelle minimale d'origine solaire pendant cette même durée. La quantité annuelle moyenne d'énergie thermique d'origine solaire prévue est subordonnée à la consommation d'eau chaude sanitaire.

La mesure de la quantité d'énergie fournie et de la consommation réelle d'eau chaude sanitaire s'effectue à l'aide du système de comptage faisant partie intégrante de l'installation.

La garantie est assumée solidairement par l'ensemble des intervenants représentés par le soumissionnaire, qui font leur affaire des litiges éventuels qui pourraient survenir entre eux à ce propos. Ce type de contrat est engagé pour des installations dont la surface de capteurs solaires dépasse 50 m².

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Solaire thermique						
Installation	Sur toiture			Au sol		
Type de capteur	Plan	Plan double vitrage	Tubes sous vide	Plan	Plan double vitrage	Tubes sous vide
Caractéristiques techniques						
Productivité (kWh/m ² /an)	350 – 650	389 – 722	445 – 826	350 – 650	389 – 722	445 – 826
Durée de fonctionnement (année)	20	20	20	20	20	20
Coûts						
Investissement (€/m ²)	800 – 900	825 – 925	1 000 – 1 100	450 – 650	475 – 675	650 – 850
Exploitation fixe (€/m ² /an)	6,4 – 7,2	6,6 – 7,4	10,0 – 11,0	2,3 – 3,3	2,4 – 3,4	5,2 – 6,8
Coûts de production (€/Mh utile) en fonction du taux d'actualisation						
3,00 %	92,6 – 191,1	86,0 – 177,0	93,5 – 188,8	50,0 – 131,3	47,5 – 122,9	59,2 – 140,2
5,00 %	108,6 – 224,6	100,9 – 208,0	109,3 – 221,1	59,0 – 155,5	56,1 – 145,5	69,5 – 165,1
8,00 %	135,2 – 280,2	125,6 – 259,5	135,5 – 274,5	74,0 – 195,6	70,3 – 183,1	86,5 – 206,5
10,00 %	154,4 – 320,3	143,5 – 296,7	154,4 – 313,2	84,8 – 224,6	80,6 – 210,2	98,8 – 236,3

Tableau 10: Hypothèses et coûts de production du solaire thermique en industrie en France
 Source : ADEME, « Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'Industrie », mars 2018

Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Valorisation d'un gisement relativement abondant, renouvelable	L'intégration au bâti des capteurs thermiques doit s'effectuer avec soin (étanchéité, résistance de la charpente, etc.)
Technologie fiable et maîtrisée par les prescripteurs et installateurs compétents	Les capteurs solaires doivent être associés à une source complémentaire de chaleur si l'on veut assurer une fourniture constante d'eau chaude sanitaire.

Energie solaire photovoltaïque

Conversion photo-voltaïque

Le composant principal d'un module photovoltaïque est la cellule. Celle-ci est principalement constituée de silicium (généralement des déchets de l'industrie électronique). Lorsqu'un photon de lumière vient frapper la face avant de la cellule, cette énergie permet un déplacement des électrons, et donc la création d'une différence de potentiel au niveau de la jonction. Un module photovoltaïque se compose généralement d'un circuit de 36 cellules en série encapsulées entre deux plaques de verre ou une plaque de verre à l'avant et un matériau composite à l'arrière. Le cadre en aluminium permet la fixation de ce module.

Un générateur photovoltaïque est composé lui-même d'un champ de modules interconnectés entre eux en série / parallèle (le nombre de modules en série détermine la tension nominale du générateur, on parle alors d'une branche de module). Des structures de montage permettent d'intégrer le champ photovoltaïque en toiture, en façade, au sol, en brise-soleil, sur une terrasse, etc. Le rendement des modules photovoltaïques est compris entre 11% et 15% selon leur technologie.

L'électricité produite par un module photovoltaïque est fonction de l'ensoleillement qu'il reçoit, de son positionnement (inclinaison et orientation), de la température ambiante et du lieu d'implantation.

L'énergie photovoltaïque ne fait appel à aucune pièce en mouvement, il n'y a aucun bruit et aucune émission de gaz : c'est une énergie totalement propre.

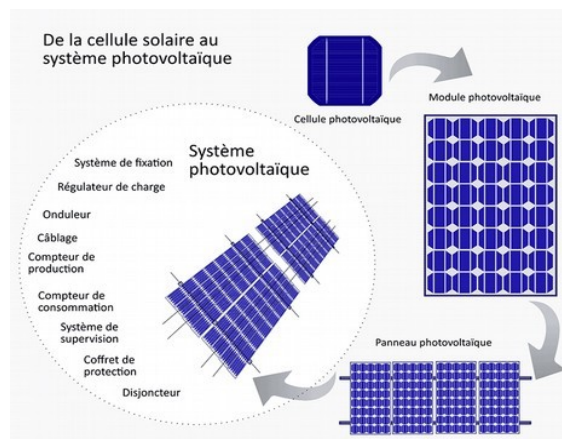


Illustration 24: De la cellule solaire au système photovoltaïque - Source : Engie

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Le tableau suivant présente la quantité estimée d'électricité mensuelle et annuelle pour un module PV de 1,5 m² (0,2 kWc), située au niveau de la station météorologique la plus proche (Compiègne). Les paramètres correspondent aux conditions optimales :

Station Météo	Compiègne		
Latitude du lieu	49°24		
Modules PV	Générique Si multicristalin (Verre/Tedla) Puissance 172 Wc Surface unitaire 1,5 m ²		
Orientation	- 4 ° /Sud		
Inclinaison	38 ° /horizontale		
Surface utile (m²)	1,5		
Puissance crête (kWc)	0,2		
Mois	Energie solaire reçue plan horizontal Wh/m².j	Energie solaire reçue plan des capteurs Wh/m².j	Electricité produite par le système kWh/mois
Janvier	762	1102	4
Février	1501	2061	7
Mars	2476	2949	12
Avril	3834	4102	16
Mai	4661	4580	18
Juin	5065	4800	18
Juillet	5303	5126	20
Août	4463	4621	18
Septembre	3138	3612	14
Octobre	1898	2479	10
Novembre	1048	1582	6
Décembre	596	875	3
Total énergie (kWh/an)			146
Total CO2 évité (kg/an)(*)			53
Productivité (kWh/kWc.an)			859

Tableau 11: productivité d'un module de 1 kWc optimisé pour l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance.

Source : ALKAEST Conseil, d'après outil de calcul « Générateur PV » de TECSOL

(*) 360g/kWh coefficient européen

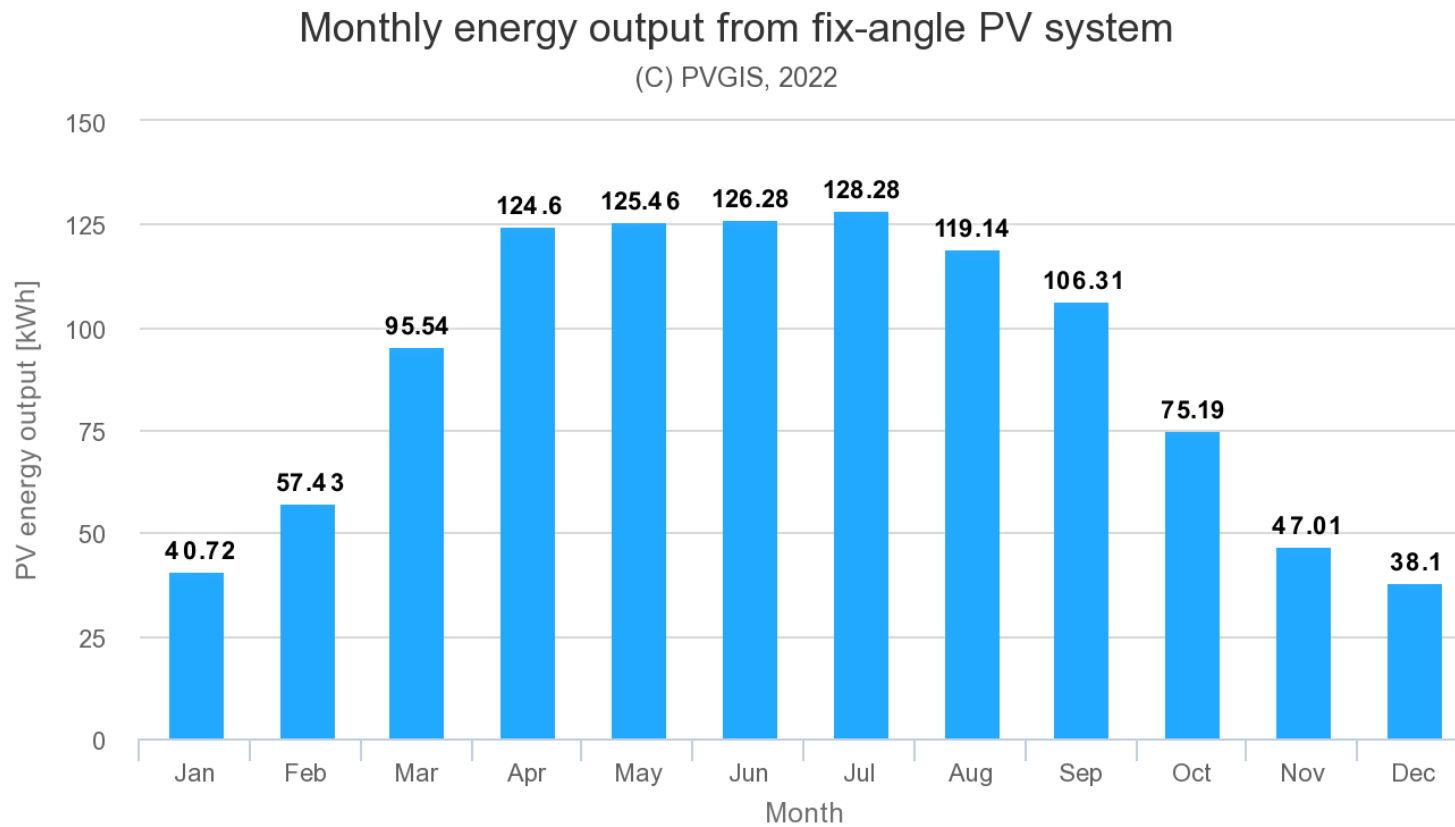


Illustration 25: Productible mensuelle d'un panneau de 1 kW_c positionné de façon optimale sur le site de l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance.

Conditions de mise en œuvre

Installation sur bâtiments :

Les panneaux photovoltaïques peuvent être installés sur des bâtiments selon plusieurs configurations :

- **Intégration au bâti (IAB)** : les panneaux sont incorporés et assurent également la fonction d'étanchéité. Cette solution est la plus esthétique et permet de réduire la charge supportée par la charpente. Dans le cas de rénovation, cela peut être une solution attractive, la « toiture » se finançant elle-même (pour une part variable selon les cas). Cependant, l'absence de ventilation sous les panneaux amène à une dégradation du rendement électrique en raison de l'échauffement des cellules photoélectriques. Par ailleurs la pente du toit et son orientation ne sont pas forcément optimisées pour permettre la meilleure productivité. La baisse du coût des installations PV rend de plus en plus acceptable ces facteurs limitants. Enfin, les conditions de rachats de l'électricité produite sont les plus attractives.
- **Intégration simplifiée au bâti (ISB)** : c'est le système entier (sous-face métallique, plastique ou composite, par exemple) qui assure l'étanchéité de la toiture, et pas seulement les panneaux. Les tarifs de rachat de l'électricité produite étant réduit de moitié par rapport à l'IAB, ce type d'intégration économique la réserve à l'autoconsommation.
- **Surimposition de toiture** : les panneaux photovoltaïques sont installés directement au dessus de la toiture, des supports permettant de ménager un espace entre les deux plans. Moins esthétique que l'intégration, ce type de montage ne nécessite pas de modification de la toiture et augmente le rendement de l'installation grâce à la ventilation et à l'ajustement éventuel de la pente des panneaux. En revanche, il est nécessaire de vérifier que la surcharge sera supportée par la charpente. Les tarifs de rachats sont moins attractifs que dans le cas d'installations intégrés.
- **Intégration en façade** : les panneaux se substituent à un élément du clos latéral. L'inclinaison des panneaux est proche de la verticale, ce qui favorise la productivité lorsque le soleil est bas sur l'horizon (hiver, matin ou après-midi. Dans l'existant, cette configuration est recherchée lorsqu'on souhaite financer la réfection d'une façade par la vente de l'électricité produite par les panneaux.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles



Illustration 26: Intégration au bâti (IAB)

Source : SolaireBox



Illustration 27: Intégration simplifiée au bâti (ISAB)

Source : SolaireBox



Illustration 28: Intégration en façade

Source : SolaireBox



Illustration 29: Intégration en pare-soleil

Source : lepanneausolaire.net

Ombrières photovoltaïques

Les ombrières de parking sont des installations photovoltaïques surélevées de façon à ce que les voitures puissent se garer en dessous.

Au-delà de la recette provenant de la vente de l'électricité produite et du confort offert aux usagers, clients et membres du personnel, les ombrières photovoltaïques s'inscrivent dans une démarche de mobilité durable puisqu'elles peuvent alimenter des bornes de recharge pour véhicules électriques.

Le coût d'investissement typique est de l'ordre de 2 100 €/KWc, celui de génération de l'électricité est estimé à 8 c€/kWh .

A noter : pour les ombrières, il est prévu qu'elles soient soumises à étude d'impact au cas par cas dès lors que leur puissance est supérieure à 250 kWc (décision de l'Autorité environnementale).

En dessous de ce seuil, l'article R. 122-2 du Code de l'environnement exclut, à tort, toute évaluation environnementale (en attente d'un décret).

Illustration 30: Exemples d'ombrières photovoltaïques



Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Conditions économiques de mise en œuvre

Les coûts d'investissement et de fonctionnement varient sensiblement selon le type d'installation.

PV au sol					
Données techniques et structure de coûts		2020	2030	2040	2050
Durée de vie (ans)		25	25-30	25-30	25-30
CAPEX (€2018/kW)	Médian	750	600	520	480
	Haut	750	615	565	530
	Bas	750	560	500	430
OPEX (€2018/kW/an)	Médian	11	10	9	8
	Haut	11	10	10	9
	Bas	11	9	8	7
PV grandes toitures					
Données techniques et structure de coûts		2020	2030	2040	2050
Durée de vie (ans)		25	25-30	25-30	25-30
CAPEX (€2018/kW)	Médian	1070	870	760	680
	Haut	1070	900	830	770
	Bas	1070	820	700	600
OPEX (€2018/kW/an)	Médian	20	20	15	15
	Haut	20	20	20	20
	Bas	20	20	15	15
PV résidentiel					
Données techniques et structure de coûts		2020	2030	2040	2050
Durée de vie (ans)		25	25-30	25-30	25-30
CAPEX (€2018/kW)	Médian	2370	1920	1670	1490
	Haut	2370	2000	1830	1703
	Bas	2370	1810	1530	1330
OPEX (€2018/kW/an)	Médian	70	60	55	50
	Haut	70	65	60	60
	Bas	70	60	50	50

Tableau 12: Evolutions prévisionnels du solaire photovoltaïque en France

Source : RTE, Groupe de travail « coûts », de la Commission perspectives système et réseau – septembre 2021

■ **Panneaux photovoltaïques au sol**

Les ombrières de parking sont des installations photovoltaïques surélevées de façon à ce que les voitures puissent se garer en dessous. Potentiel de production sur le site de l'extension de la ZAC.

■ **Toits photovoltaïques :**

A partir des éléments actuellement disponibles concernant le programme, il est possible d'estimer la surface de toits des futurs bâtiments susceptibles d'être équipés en panneaux photovoltaïques et d'en déduire la production théorique annuelle.

Le plan de masse n'étant pas établi au moment de l'étude, nous proposons de considérer que les surfaces de toiture correspondent à 95 % des surfaces de plancher.

Rappelons en premier lieu que l'article L111-18-1 du code de l'urbanisme (modifié par la Loi Énergie et Climat du 8 novembre 2019) oblige désormais à tout bâtiment à construire et d'une emprise au sol supérieure à 1 000 m² d'intégrer sur 30 % de la surface des toitures soit des panneaux photovoltaïques, soit un système de végétalisation, soit « tout autre procédé » pouvant apporter la preuve qu'il aboutit au même résultat en matière de production de performance énergétique ou d'isolation thermique (y compris les mécanismes de compensation).

Nous proposons trois scénarios concernant le taux d'occupation des toitures par des équipements de production photovoltaïques :

- Un scénario bas, correspondant aux obligations réglementaires d'un taux d'occupation de 30 % des surfaces de toitures ;
- Un scénario intermédiaire, avec un taux d'occupation de 60 % des surfaces de toitures
- Un scénario haut, correspondant à un taux d'occupation de 95 %, le reste de la surface des toitures étant occupés par les tourelles de ventilation, systèmes de désenfumage, etc.

Pour mémoire, les besoins annuels en électricité des bâtiments de la future extension sont estimés à 21 000 MWh_{ef}/an, hors besoins associés aux process.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Les estimations de production d'énergie électriques qui résultent de ces trois scénarios sont les suivantes :

	Scénario « réglementaire »	Scénario médian	Scénario haut
Surface de plancher (m ²)	142 000		
Surface de toits (m ²)	135 000		
Tx d'occupation de la surface des toits par le PV	30%	60%	95%
Surface de capteurs (m ²)	40 500	81 000	128 250
Puissance installée (kWc)	5 400	10 800	17 100
Production annuelle (MWh/an)	3 942	7 884	12 483
Taux de couverture des besoins d'électricité des bâtiments	19 %	38 %	59 %
Total CO ₂ évité (t/an)	1 431	2 862	4 532

Tableau 13: Estimations des productions photovoltaïques et du taux de couverture des besoins d'électricité (hors process) des bâtiments de la ZAC en fonction du taux d'occupation des toitures.

On constate que le scénario « réglementaire, correspondant au respect des obligations réglementaires, permet déjà de couvrir près de 20 % des besoins d'électricité des bâtiments de l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance et cela malgré des conditions d'ensoleillement à priori relativement peu favorables.

Dans le scénario « haut, en couvrant le maximum de la surface des toits, la production d'électricité permettrait de couvrir 60 % des besoins d'électricité des bâtiments.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

■ Ombrières photovoltaïques :

De même, en appliquant les ratios usuels concernant le nombre de places de stationnement par rapport à la surface construite, on peut estimer le nombre de places à prévoir et évaluer la production énergétique d'ombrières photovoltaïques :

	Extension ZAC Bois de Plaisance
Surface au sol	141 951
Ratio Place /SCHON	1/50
Nombre de places de parking	2839
Surface panneau PV/place	10
Surface de capteurs (m ²)	28 390
Puissance installée (kWc)	3 785
Production annuelle (MWh/an)	2 763
Besoin d'électricité des IRVE Production annuelle (MWh _{an} /an)	1 860
Taux de couverture des besoins des IRVE	149 %
Total CO2 évité (t/an)(*)	1 003

Tableau 14: Estimations de la production d'électricité photovoltaïque et du taux de couverture des besoins des infrastructures de recharge de véhicules électriques par les ombrières PV

On constate que la couverture de l'intégralité des places de parking par des ombrières photovoltaïques permettrait de couvrir près de 1,5 fois les besoins des installations de recharges des véhicules électriques.

L'autonomie énergétique des IRVE est donc atteignable sans difficulté et l'excédent pourrait servir à couvrir également les besoins des bâtiments des parcelles où sont installées les ombrières photovoltaïques ?

Cadre réglementaire

L'installation de dispositifs photovoltaïques est soumise à plusieurs réglementations (code de l'urbanisme, de la construction, de l'environnement, droit électrique...) et nécessite d'effectuer un certain nombre de démarches préalables suivant le type de l'installation.

Outre les démarches à réaliser pour bénéficier d'un dispositif de soutien, l'implantation d'un dispositif photovoltaïque est soumise à la réalisation de trois types distincts de démarches :

Démarches au titre de l'urbanisme : déclaration préalable ou permis de construire. L'implantation d'un dispositif photovoltaïque se doit d'être compatible avec les règlements d'urbanisme en vigueur (POS, PLU, règlement national d'urbanisme) ;

Démarches au titre de l'environnement : études d'impact environnemental et enquêtes publiques pour les installations au sol et ombrières de plus de 250 kWc, prise en compte des risques d'inondations et incendies, loi littoral, loi montagne ...

Démarches au titre de l'électricité : conformité électrique Consuel, autorisation d'exploiter pour les puissances supérieures à 50 MWc

Compte tenu de l'évolution rapide de la législation, une veille réglementaire est assurée par le site Photovoltaïque.info (<http://www.photovoltaïque.info/Liste-des-textes-reglementaires.html>).

Zoom sur les appels d'offres sur bâtiments et ombrières

En France, les appels d'offres constituent un levier important du déploiement du photovoltaïque. Le ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer lance régulièrement des appels d'offres pour développer de nouvelles capacités de production. La Commission de régulation de l'énergie (CRE) est l'autorité administrative qui s'occupe de la mise en place de ces appels d'offres. Elle est en charge de la rédaction du cahier des charges.

Le prix de l'électricité produite est proposé par les porteurs de projet qui candidatent à l'appel d'offres.

C'est un critère de choix primordial dans la sélection des projets, dans un contexte de grande compétition, ce qui permet de tirer à la baisse le prix de l'électricité photovoltaïque ainsi que le coût global des projets.

La cible annuelle de puissance visée par chacun des appels d'offres est précisée dans son cahier des charges. Pour une période donnée, la puissance cumulée pourra être révisée à la hausse ou à la baisse par le Ministère, après l'examen initial des offres par la CRE, en relation aux questions de compétitivité notamment.

A la date de rédaction de la présente étude, un appel d'offres est en cours jusqu'au 1^{er} juillet 2022 portant sur la réalisation et l'exploitation d'Installations de production d'électricité à partir de l'énergie solaire « Centrales sur bâtiments, serres et hangars agricoles et ombrières de parking de puissance supérieure à 500 kWc »

Cet appel d'offres est consultable sur le site de la CRE :

<https://www.cre.fr/Documents/Appels-d-offres/appele-d-offres-portant-sur-la-realisation-et-l-exploitation-d-installations-de-production-d-electricite-a-partir-de-l-energie-solaire-centrales-s2>

Potentiel d'économie d'énergie associé à l'architecture et l'urbanisme bioclimatiques

Dans le cadre de la Réglementation Thermique RT 2012, l'efficacité énergétique minimale du bâti était définie par le coefficient «Bbiomax» (besoins bioclimatiques). Cette exigence imposait une limitation simultanée du besoin en énergie pour les composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage), imposant ainsi son optimisation indépendamment des systèmes énergétiques mis en œuvre.

La RE 2020 reprend l'intégration de l'architecture bioclimatique dans ses exigences, favorisant ainsi la compacité, les orientations des bâtiments basée sur la course du soleil plus que sur l'alignement des voies, les masques solaires (confort d'été), les espaces traversants, les prolongements extérieurs, le choix des procédés constructifs, l'inertie des matériaux, les toits végétalisés, etc.

Dans l'attente de la publication des exigences imposées par la RE 2020 aux bâtiments autres qu'à usage d'habitation, de bureaux ou d'enseignement primaire, tels que ceux destinés au Commerce, à la Restauration, aux hôpitaux, aux usages industriels, ceux sont les exigences de la RT 2012 qui s'appliquent « par défaut » pour ces derniers.

Cependant La RE 2012 ne s'applique pas à certains bâtiments, pour des « contraintes liées à leur usage », ainsi qu'aux bâtiments ou parties de bâtiment chauffés ou refroidis pour un usage dédié à un procédé industriel (« à usage de process »).

Au terme de la réglementation en vigueur, un local à usage de process est un local dont les fonctions de chauffage et/ou climatisation et/ou de ventilation ne répondent qu'à des besoins spécifiques et exclusifs liés aux processus de fabrication ou de conservation de produits ou tout autre utilisation imposant des conditions particulières de température ou de renouvellement d'air. Ces processus sont spécifiques s'ils imposent des « conditions particulières de température, d'hygrométrie ou de qualité de l'air » des locaux.

Dans de tels locaux, le chauffage ou la climatisation ne sont pas conçus pour assurer une ambiance confortable pour les personnes mais plutôt pour permettre par exemple à la fabrication ou à la conservation des produits de se faire dans des conditions adéquates.

En pratique :

- un bâtiment entièrement dédié au process est actuellement exclue de la RT 2012
- les locaux d'un bâtiment dédiés au process, et seulement ces locaux, sont exclus du champ d'application de la RT2012.

Le Bbio d'un projet est un indice de la bonne conception bioclimatique du bâtiment, s'il est inférieur ou égal à ce Bbiomax

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Le coefficient Bbiomax du bâtiment ou de la partie de bâtiment est déterminé comme suit :

$$Bbiomax = Bbiomaxmoyen \times (Mbgéo + Mbalt + Mbsurf)$$

Avec :

- Bbiomaxmoyen : valeur moyenne du Bbiomax définie par type de bâtiment ou de partie de bâtiment et par catégorie CE1/CE2 ;
- Mbgéo : coefficient de modulation selon la localisation géographique ;
- Mbalt : coefficient de modulation selon l'altitude ;
- Mbsurf : pour les bâtiments de commerce et les établissements sportifs, coefficient de modulation selon la surface du bâtiment ou de la partie de bâtiment ;

Le potentiel d'économie d'énergie associé à l'architecture bioclimatique sur les futurs bâtiments qui seront construits sur l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance ne peut être quantifié, les caractéristiques et usages de ces constructions n'étant pas encore connus.

Au niveau urbanistique, la prise en compte des principes bioclimatiques va également favoriser un aménagement qualitatif des zones d'activités économiques en privilégiant leur végétalisation, la gestion à la source des eaux pluviales et la maîtrise des pollutions des eaux de process rejetées au réseau d'assainissement.

Dans la conception amont du projet de ZAC, cela passe donc par la prise en compte de l'ensemble des éléments du site : topographie et végétation (« coulée verte ») pour l'hygrométrie, protection contre les vents dominants, gestion des eaux pluviales à la parcelle, orientation et volumétries des nouvelles constructions selon l'ensoleillement et les masques solaires...), choix de matériaux de voirie à fort albédo et à faible inertie thermique (pour éviter de générer des îlots de chaleur), en complémentarité aux éléments propres des bâtiments projetés (matériaux, formes des toitures, cloisonnement, circulation de l'air intérieur...).

Cette prise en compte de l'urbanisme bioclimatique peut s'inscrire dans les documents d'urbanisme (PLU) comme le prévoit l'article 14 de la loi portant Engagement National pour l'Environnement (dite Grenelle 2) du 12 juillet 2010.

Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Valorisation d'un gisement relativement abondant, renouvelable	L'intégration au bâti des panneaux photovoltaïques doit s'effectuer avec soin (étanchéité, résistance de la charpente, etc.)
Technologie fiable et maîtrisée par les prescripteurs et installateurs compétents	Les capteurs solaires doivent être associés à une source complémentaire de chaleur si l'on veut assurer une fourniture constante d'eau chaude sanitaire.

L'énergie éolienne

Principe

L'énergie éolienne est l'énergie cinétique présente dans l'air en mouvement.

- La quantité d'énergie produite dépend principalement de la vitesse du vent, mais elle est aussi légèrement affectée par la densité de l'air, cette dernière étant déterminée à son tour par la température, la pression barométrique et l'altitude.
- Les éoliennes, ou aérogénérateurs, convertissent l'énergie éolienne en une énergie mécanique, qui alimente ensuite un générateur électrique, où elle est convertie en énergie électrique.
- D'autres dispositifs exploitent également l'énergie éolienne en la convertissant en une énergie mécanique, comme les voiliers ou les éoliennes de pompage. L'énergie produite par l'éolienne est proportionnelle au cube de la vitesse du vent.

Le gisement est déterminé par :

- la distribution des vitesses du vent
- le régime du vent
- la propagation du vent, autrement dit l'absence d'obstacles

Le gisement éolien

Le gisement éolien national est relativement bien connu et la France apparaît comme un des pays européens disposant des conditions les plus favorables.

Les zones géographiques où le gisement éolien est le plus important sont localisées sur les côtes, de l'Atlantique et de la Manche, mais également sur celles du Languedoc Roussillon.

La région Hauts-de-France présente un territoire attractif et compétitif pour développer la filière éolienne. En effet, elle présente notamment un potentiel éolien (force, fréquence et régularité des vents) de qualité, principalement sur le littoral et l'arrière-pays.

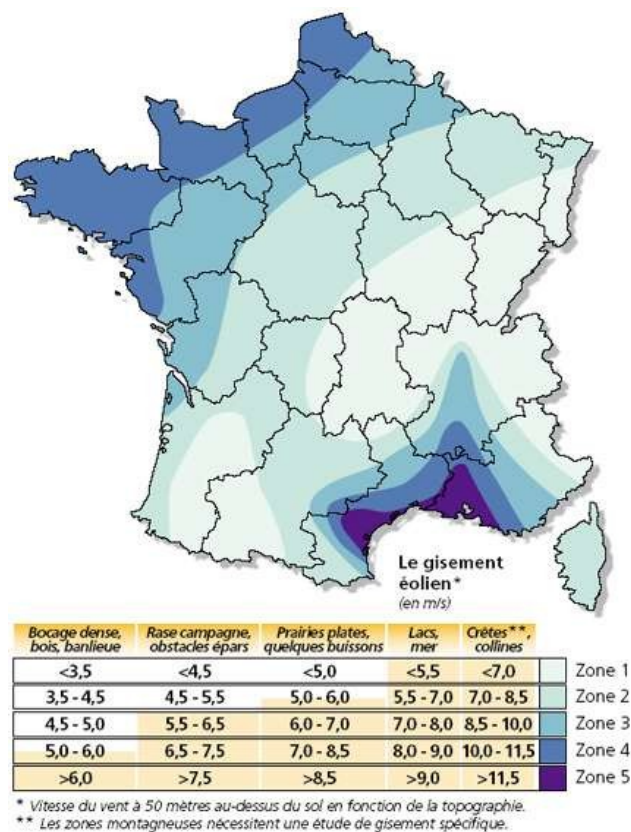


Illustration 31: Carte du potentiel éolien terrestre en France métropolitaine. © Ademe

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

De fait, les Hauts-de-France constituent la 1^{ère} région en termes de puissance éolienne : en septembre 2021, 2 049 éoliennes y représentaient 50 % du parc en activité et 28 % de la puissance installée en métropole, soit 4 867 MW.

Cependant, le potentiel régional est concentré dans la Somme, le Pas-de-Calais et l'Aisne et la contribution de l'Oise à l'électricité éolienne régionale en production est de 10 % environ. Dans l'Oise, le nord des arrondissements de Clermont et de Beauvais présente les puissances autorisées les plus élevées du département (respectivement 332 MW et 283 MW) Par ailleurs, près de 450 MW de projets sont en instruction soit 132 mâts L'arrondissement de Compiègne est lui-même peu favorable au développement de l'énergie éolienne, du fait de vitesses de vent plus faibles que dans le reste du département comme le montrent la carte ci-après.

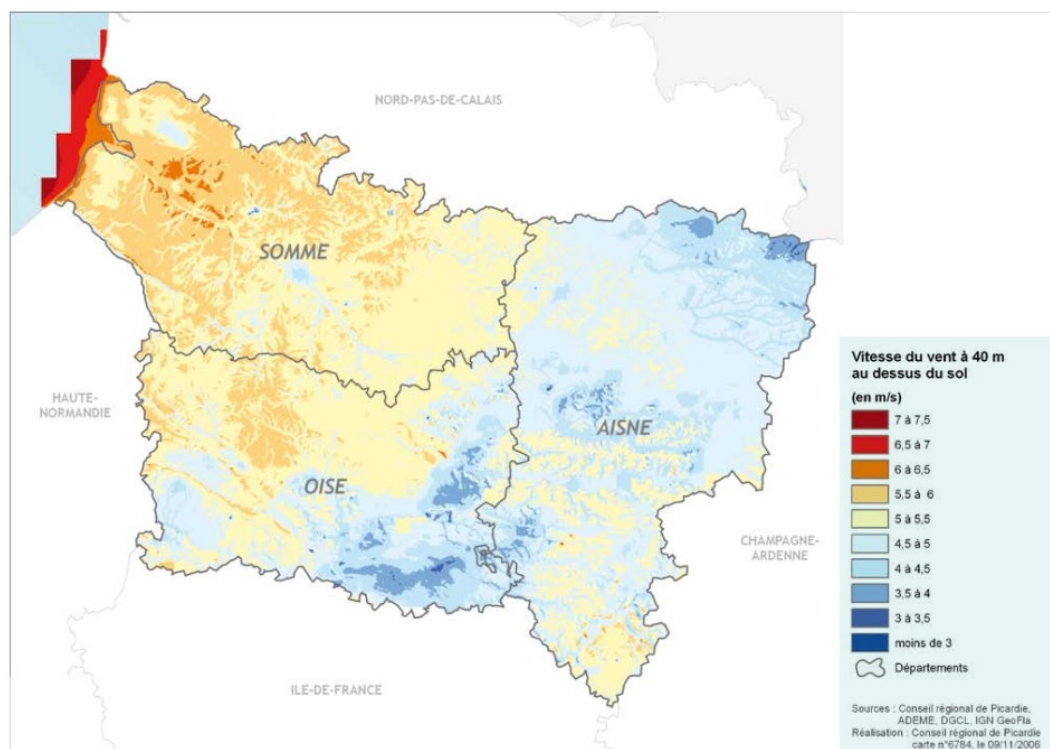


Illustration 32: Cartographie des vitesses de vent dans le département de l'Oise et les départements limitrophes.

Gisement éolien local

La zone d'étude est relativement bien ventée avec en moyenne annuelle 229 jours de vents d'une vitesse supérieure à 5 m/s, sans que cependant les vents y soient violents

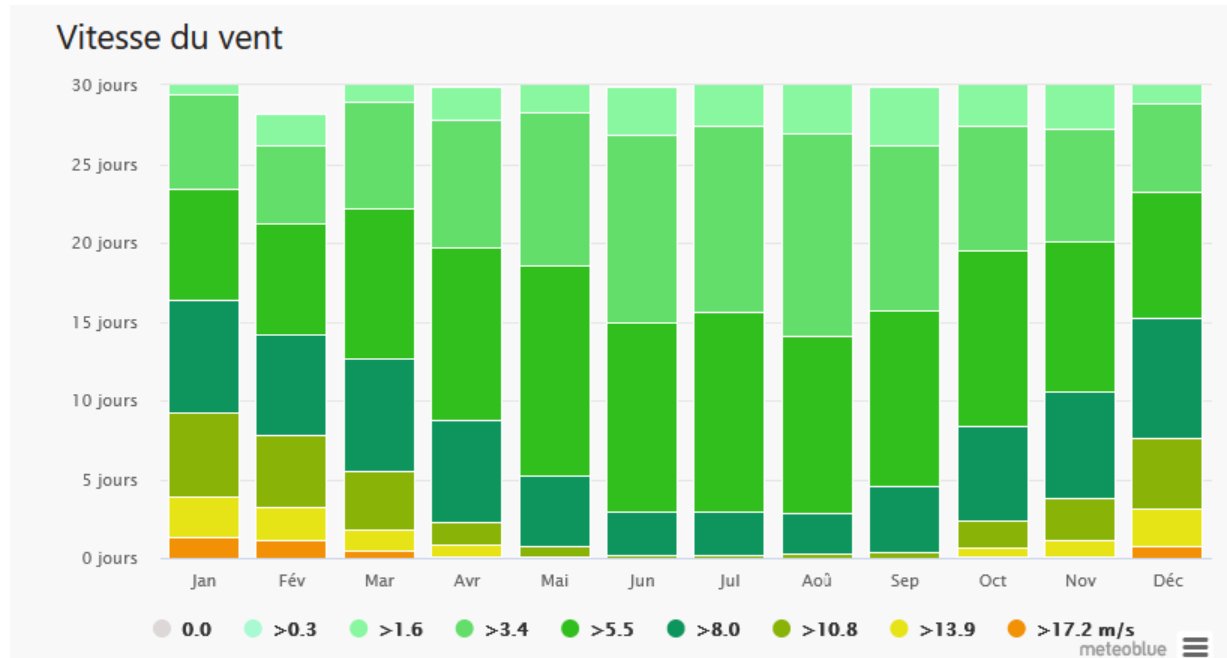


Illustration 33: Répartition mensuelle des vitesses de vent observées à Lachelle (source : Meteoblue)

La carte ci-après est extraite du Schéma Régional Eolien, annexe du Schéma Régional Climat Air Energie et présente les zones favorables au développement de l'éolien qui avaient été à l'époque identifiées sur la base des données de Météo-France.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

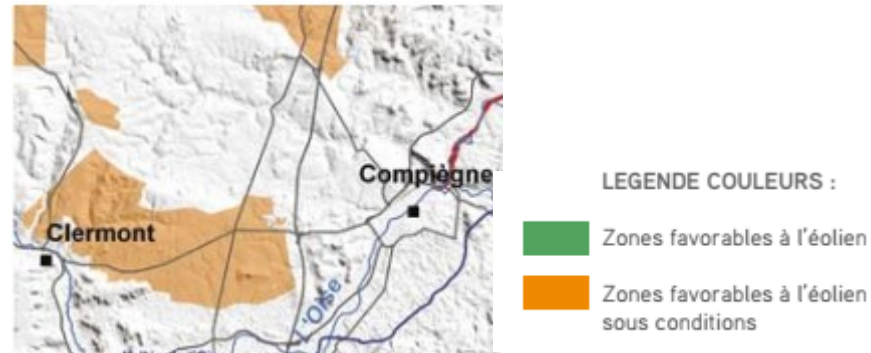


Illustration 34: Zones favorables au développement de l'éolien sur le département de l'Oise (extrait de l'Atlas éolien du Schéma Régional de l'Eolien de la région Picardie)

La zone où se situe l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance présente donc un régime des vents suffisamment important et constant pour permettre d'y envisager l'implantation d'éoliennes.

Cela est également illustré par la rose des vents présentant la répartition des vents mesurés à la station météorologique de Margny-lès-Compiègne

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

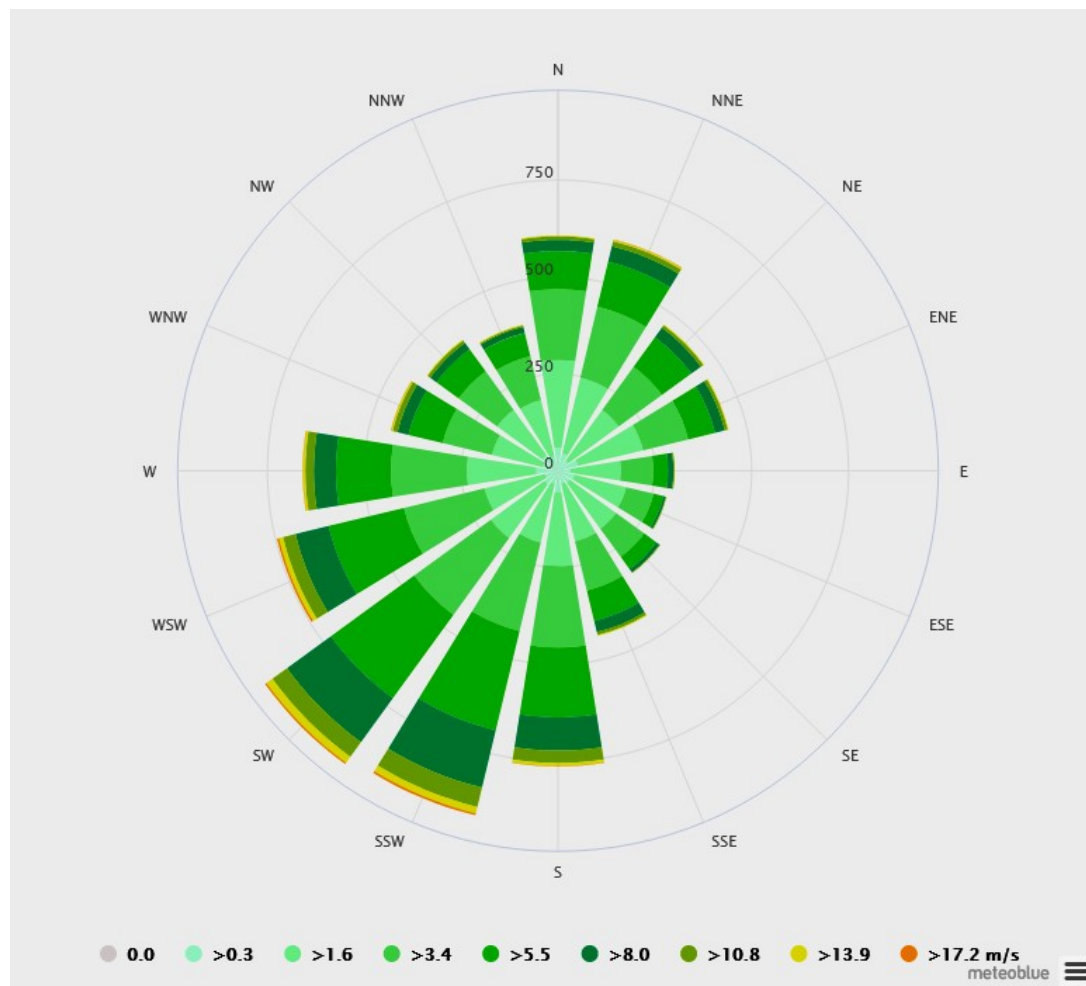


Illustration 35: Rose des Ventes observé à la station météorologique de Margny-lès-Compiègne

Technologies de valorisation

En France, il est d'usage de distinguer :

- Le Grand Eolien, qui incluse les éoliennes dont la puissance est supérieure au mégawatt,
- Le Moyen éolien, qui concerne des machines de puissances comprises entre 36 kW et 1 MW
- Le petit éolien, qui se limite aux éoliennes dont la puissance atteint jusqu'à 36 kW.

Dans le cadre de cette étude de faisabilité, nous appliquerons le terme de « petit éolien » aux aérogénérateurs présentant une puissance inférieure ou égale de 36 kW.

Ce seuil correspond à une contrainte technique en France : jusqu'à cette puissance, il est relativement facile de raccorder les aérogénérateurs au réseau de distribution électrique basse tension. Par ailleurs, les éoliennes n'excédant pas 12 m de hauteur ne nécessitent pas de permis de construire.

Nous proposons de limiter l'étude de faisabilité à ces seules éoliennes.

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 inclut la hauteur du bâtiment. Les études nécessaires à la réalisation d'une notice d'impact accompagnant un permis de construire sont coûteuses et les délais d'instruction et d'obtention d'un permis de construire peuvent être longs.

Les mâts de ces petites éoliennes n'excèdent généralement pas une vingtaine de mètres, et le diamètre de leur rotor, une quinzaine grande maximum, ces caractéristiques les rendent relativement faciles à implanter à intégrer dans le paysage.

Les turbulences que pourraient induire les bâtiments qui seront construits sur le site de l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance imposent par ailleurs l'utilisation d'éoliennes à axes verticaux ou hélicoïdaux de type Darrieus ou Savonius. Cependant, ces éoliennes ont un rendement en général inférieur aux éoliennes à axe horizontal.

L'éolienne de modèle Darrieus se caractérise par la forme en C de ces pales qui rappelle vaguement un batteur. Elle est normalement constituée de deux ou trois pales. L'éolienne utilise l'effet de la portance. Il existe différents types de machine utilisant ce principe : conique, cylindrique ou parabolique. L'éolienne peut être fixée par des haubans. L'éolienne WindWall est un exemple de machine Darrieus alors que le modèle Turby est basé sur un design Darrieus modifié.

L'éolienne de modèle Savonius utilise la traînée et est constituée de parties cylindriques en opposition. Un couple se crée mettant alors le générateur en mouvement. La vitesse de démarrage de ces machines est plutôt basse, autour de 2 m/s. Les éoliennes à axe vertical s'adaptent particulièrement bien aux effets de la turbulence. De plus, ce design ne fait pas beaucoup de bruit et convient bien au milieu urbain.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles



Illustration 36: Éolienne de type Darrieus



Illustration 37: Éolienne de type Savonius

Ce type d'éolienne devra de préférence être installé sur un bâtiment placé perpendiculairement aux vents dominants et de préférence au niveau des zones de contournement de manière à bénéficier de l'Effet tunnel (ou effet Venturi). Il est également possible d'optimiser l'architecture du bâtiment pour en améliorer l'aérodynamisme et créer ainsi un tel effet tunnel.

Une autre possibilité de valoriser le gisement éolien sur le site de la future extension est d'installer des lampadaires autonomes d'éclairage public : associés à des lampes à très haute performance (LED, d'une durée de vie moyenne de 70 000 heures de fonctionnement) et à un stockage de stockage de l'électricité produite très compact et intégré dans le mat (batteries d'une durée de vie de 5 à 6 ans, récupérée pour échange et recyclage en fin de vie), ces éoliennes permettent d'assurer l'éclairage de la voirie sans avoir à y déployer au préalable un réseau d'alimentation dédié.

L'autonomie de ces lampadaires en cas d'absence de vent ou de soleil est de 4 à 5 nuits.

Ce type d'éclairage peut être également mixte, associant à l'éolienne des panneaux photovoltaïque, de façon à suppléer au manque éventuel de vent et donc d'augmenter l'autonomie.

Cette solution est particulièrement intéressante pour les collectivités territoriales : le budget « éclairage public » constitue en effet un poste important du budget de fonctionnement. Selon l'ADEME, en effet, en France, dans le budget d'une commune, l'éclairage public représente 23 % de la facture globale d'énergie et 38 % de la facture d'électricité.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles



Illustration 38: Exemple de maté d'éclairage équipés de micro-éoliennes

D'un point de vue strictement technique, la zone de la future ZAC est favorable à l'installation de ce type d'aérogénérateurs. En effet, dans un milieu de type «ouvert» comme celui de la zone d'étude, la vitesse du vent n'est que relativement peu modifiée par la «rugosité» induite par les bâtiments voisins, les arbres, etc.

En ce basant sur une vitesse moyenne des vents de 5 m/s en terrain dégagé, on peut considérer que cette vitesse sera ramenée à 2,5 m/s, vitesse généralement trop faible pour les éoliennes à axe horizontal, mais pouvant convenir à des éoliennes à axe vertical.

Le potentiel de vent sur le périmètre de la ZAC apparaît suffisant pour permettre l'installation de petites éoliennes urbaines, notamment pour alimenter des lampadaires sur les voies publiques et les parkings.

Des éoliennes de petite puissance peuvent également être installées à des endroits favorisant l'accélération du vent par effet venturi, par exemple entre deux bâtiments.

Cependant, ces éoliennes ne présentent pas d'avantage économique significatif par rapport à la technologie concurrente d'alimentation par panneaux photovoltaïques dont les coûts d'exploitation sont très réduits et la fiabilité a priori supérieure.

Conditions de mise en œuvre

Au-delà des contraintes techniques, l'intérêt économique de ce type de production éolienne sur le site de la future ZAC n'est absolument pas garanti aujourd'hui : les éventuelles installations éoliennes ne bénéficieraient pas de l'obligation d'achat, et le rachat de l'électricité produite par un opérateur du marché de l'électricité s'effectuerait selon une procédure de gré à gré, sans garantie de bonne fin.

Il est également difficile d'évaluer les coûts d'investissement et d'exploitation de ce type de machine : le marché des petites éoliennes n'est pas encore assez mature pour bénéficier d'économies d'échelle. Frais d'installation et raccordement compris, il est souvent cité une fourchette allant de 5 000 € à 10 000 € le kW installé, ce qui en fait une technologie de production électrique chère.

Le prix d'installation dépendra de différents facteurs, notamment selon :

- le fait que l'éolienne est installée au sol ou sur un bâtiment (recours à une grue ou un ascenseur, type de fondation ou ancrage au bâtiment,...);
- le type et la hauteur de l'éolienne : une éolienne avec un rotor d'un plus grand diamètre qui est mieux adapté aux zones avec moins de vents forts, est plus chère qu'une éolienne adaptée aux vents forts (rotor de plus petit diamètre) ;
- le type et la puissance des batteries et la longueur du câble qui doit être tiré pour en assurer le raccordement au réseau.

Le coût d'installation peut ainsi représenter la moitié voire 100% du coût de l'investissement. Enfin, l'installation sur un bâtiment peut aussi avoir des impacts sur le coût de la structure du bâtiment (surcharge et vibrations).

Pour un estimatif complet il faut tenir compte du coût de la maintenance qui s'élève à $\pm 3\%$ de l'investissement par an.

Aux conditions économiques actuelles, l'installation d'éoliennes sur le site ne serait donc pas rentable et le choix de cet investissement répondrait alors à des critères autres qu'économiques, par exemple comme moyen d'affirmer la prise en compte de la préservation de l'environnement par une collectivité soucieuse de s'affirmer comme écoresponsable.

Cadre réglementaire

Depuis la loi n°2103-312 du 15 avril 2013 visant à préparer la transition vers un système énergétique sobre apporte plus précisément des dispositions législatives répondant à l'engagement du Gouvernement de simplifier le cadre juridique de l'éolien terrestre, tout en assurant la prise en compte de tous les enjeux environnementaux et paysagers. En particulier, les producteurs d'énergie éolienne terrestre peuvent désormais bénéficier de l'obligation d'achat sans condition d'implantation, ni limite de puissance.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Pour l'éolien terrestre, l'arrêté du 17 juin 2014 fixe les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie mécanique du vent implantées à terre. Il s'agit d'un tarif fixe d'achat garanti pendant une durée donnée. Ce tarif est actualisé chaque année en fonction d'un indice des coûts horaires du travail et d'un indice des prix à la production.

La Commission européenne, par une décision du 27 mars 2014, a validé ce dispositif en jugeant que le régime français octroyant un soutien à la production d'électricité à partir d'éoliennes terrestres était compatible avec les règles de l'Union Européenne en matière d'aides d'État.

Servitudes aéronautiques

Pour des motifs de sécurité publique, l'implantation d'éoliennes de grande hauteur doit tenir compte des contraintes techniques liées à la circulation aérienne et à certains équipements ou installations mis en place ou exploités par :

- le ministère de la Défense ;
- la direction générale de l'aviation civile (DGAC) ;
- la direction technique eau, mer et fleuves du centre d'études et d'expertises sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA) ;
- Météo-France.

les aérogénérateurs doivent être implantés dans le respect des distances minimales d'éloignement réglementaires sauf si l'exploitant dispose de l'accord écrit du ministère en charge de l'aviation civile (DGAC), de l'établissement public chargé des missions de l'État en matière de sécurité météorologique des personnes et des biens (Météo-France) ou de l'autorité portuaire en charge de l'exploitation du radar (CE REMA).

L'extension de la ZAC de Bois de Plaisance est proche du périmètre de « servitudes aéronautiques » de l'aérodrome de Compiègne-Margny, mais n'est pas formellement concernée de ce point de vue spécifique par une interdiction concernant des éoliennes de grande hauteur.

A fortiori, les éoliennes de moindre hauteur, et en particulier celles de moins de 12 mètres de hauteur et qui ne nécessitent pas de permis de construire peuvent être installées sans restriction réglementaire.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

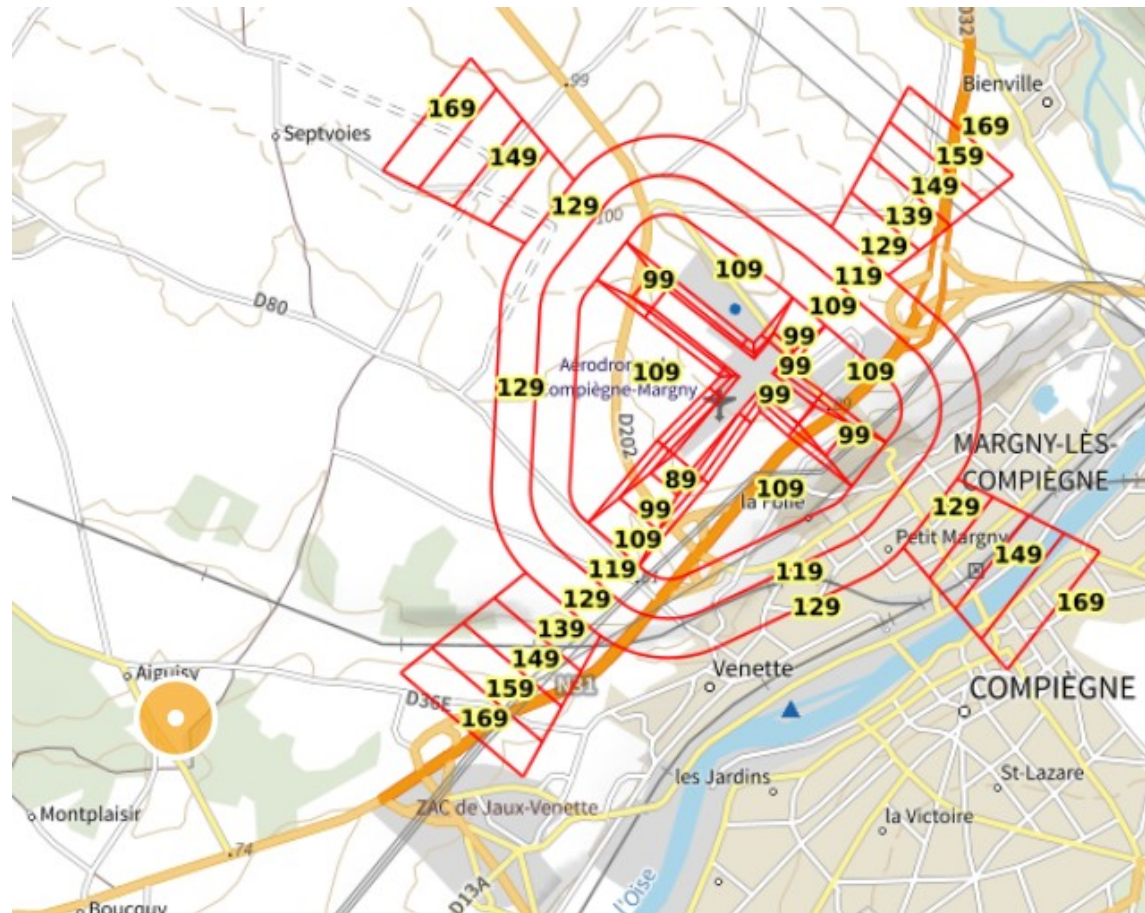


Illustration 39: Servitudes aéronautiques de l'aérodrome de Compiègne-Margny

Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Valorisation d'un gisement relativement abondant, renouvelable	Analyse de cycle de vie des petites éoliennes encore peu connue actuellement
Fiabilité d'une technologie ne nécessitant que peu de maintenance	Bruits et vibrations pouvant être sensibles à vitesse de rotation élevée
Bilan carbone quasi-nul lors de la phase d'exploitation	Les émissions de gaz à effet de serre émis lors de la fabrication et le transport depuis le pays d'origine des modules (Chine, par exemple) sont élevées.
Possibilité d'auto-consommation de fonctionnement en autonomie énergétique : lampadaire couplé à une mini-éolienne (éventuellement associée à un panneau PV)	Contraintes réglementaires faibles : permis de construire au-delà de 12 mètres. En deçà, une déclaration doit être déposée en mairie. Une assurance spécifique doit être contractée (couverture des risques pour les riverains en cas de tempête).

Synthèse sur l'énergie éolienne

Le potentiel éolien est sensiblement plus faible que dans le nord du département de l'Oise et plus encore que dans les départements côtiers de la région des Hauts-de-France.

Le petit éolien peut y trouver des possibilités de s'y déployer sous réserve d'études approfondies concernant l'optimisation de l'implantation des aérogénérateurs et leur intégration architecturale.

Cependant, pour la plupart des applications, les systèmes photovoltaïques seront très probablement plus intéressants du point de vue économique et de leur intégration dans le projet d'extension de la ZAC de Bois de Plaisance.

Le Bois Energie

Gisement

Avec 129 000 hectares, les bois et les forêts occupent 22 % de la surface du département de l'Oise, soit légèrement moins que la moyenne nationale 27 %.

La répartition est très contrastée entre l'est du département avec de grands massifs boisés dans le Valois et le Soissonnais (30 %) et la partie nord-ouest (Plateau picard 7,5 %).

Les feuillus représentent 92 % du volume sur pied avec une prédominance pour le Peuplier, le Hêtre et le Chêne.

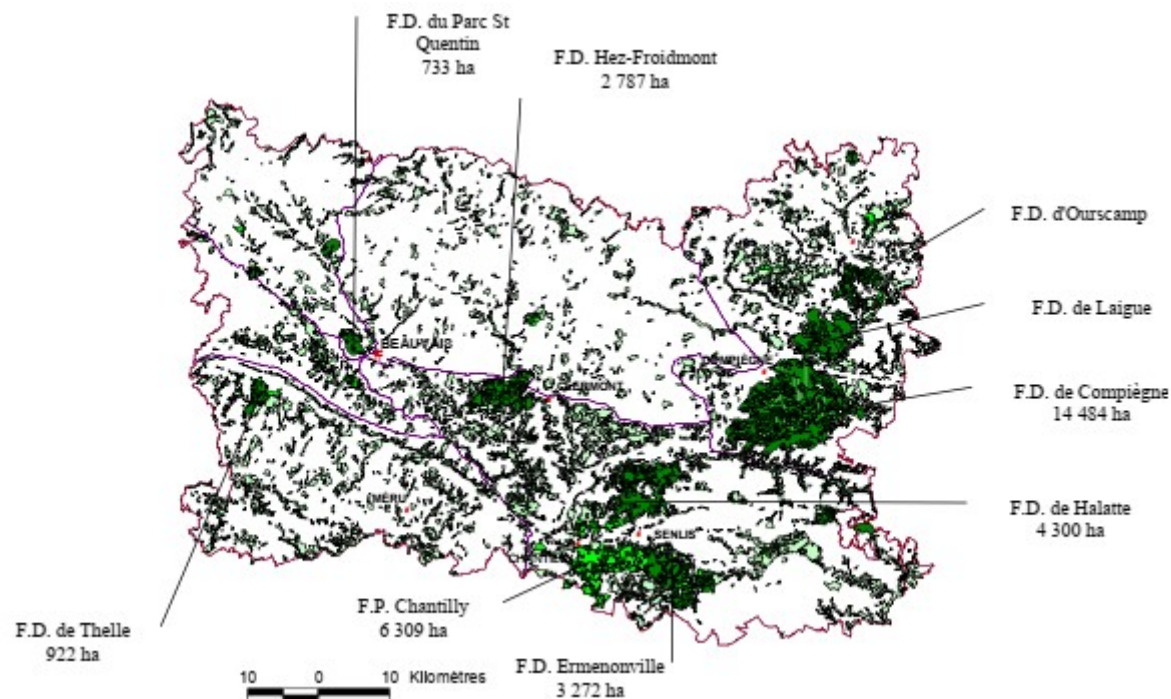


Illustration 40: Carte des principales forêts de l'Oise - Source : Inventaire Forestier National

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Les forêts domaniales, relevant du domaine privé de l'État, représentent 32 811 ha, celle des établissements publics 6,900 ha (dont 5 370 ha du domaine de Chantilly appartenant à l'Institut de France, tandis que les forêts communales ne représentent que 2 000 ha.

On peut relever tout particulièrement l'importance de la **forêt de Compiègne**, d'une superficie de 1294 hectares (65 % du territoire de l'ARC), qui un des grands massifs forestiers de France et la cinquième forêt domaniale de France métropolitaine par sa taille. Cet espace forestier est essentiellement constitué de hêtres et de chênes, mais également d'au moins 5 600 espèces végétales. Sa diversité floristique et faunistique a amené à classer en « réserve biologique » le site des Beaux-Monts. Elle fournit 1/4 de la production régionale en chêne et hêtre, et joue un rôle clé dans le marché local du bois.

Ainsi, Environ 80 000 m³ de bois y sont produits par an (soit 17% de la production départementale), dont 93 % issus de forêts domaniales. En termes de débouchés, on estime que le volume produit est réparti approximativement entre 55 % de bois d'œuvre (dont 3 000 m³ de grande qualité), 37 % de bois industrie et 8 % de bois de chauffage (principalement bois buche).

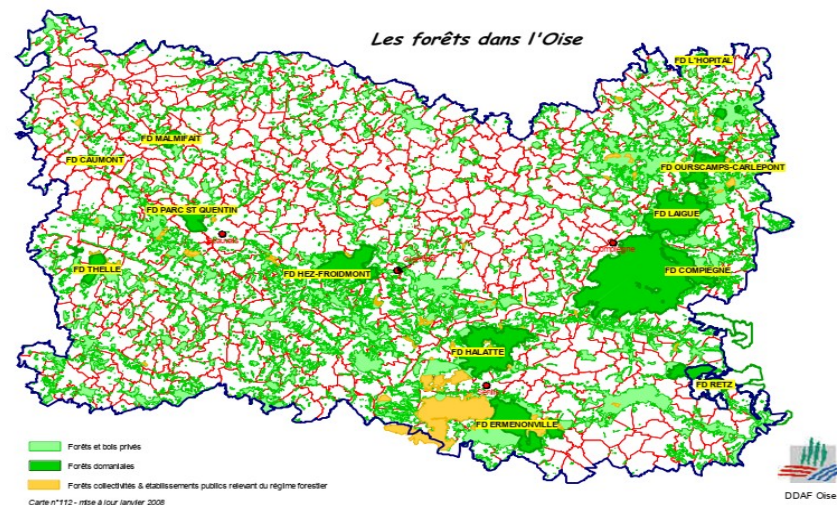
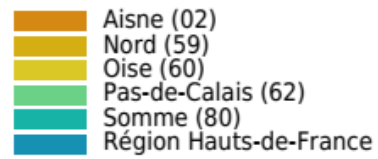


Illustration 41: Bois et forêts de l'Oise. - Source DDAF Oise

Bien qu'étant le département le plus densément boisé de la région Hauts-de-France (22 % de taux de boisement), l'Oise est le second producteur de bois avec une production de bois proportionnellement plus faible que le département de l'Aisne pourtant moins forestier (19%).

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles



Unité : Superficie de la forêt par rapport à la superficie totale du territoire concerné

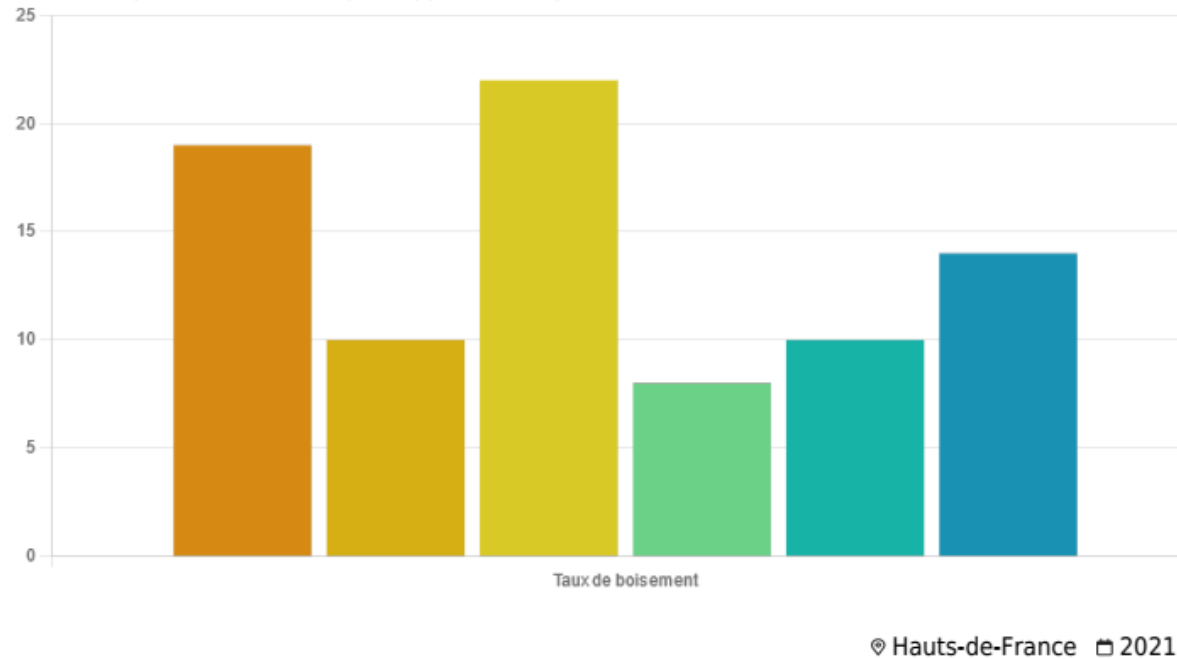
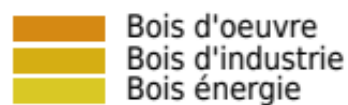


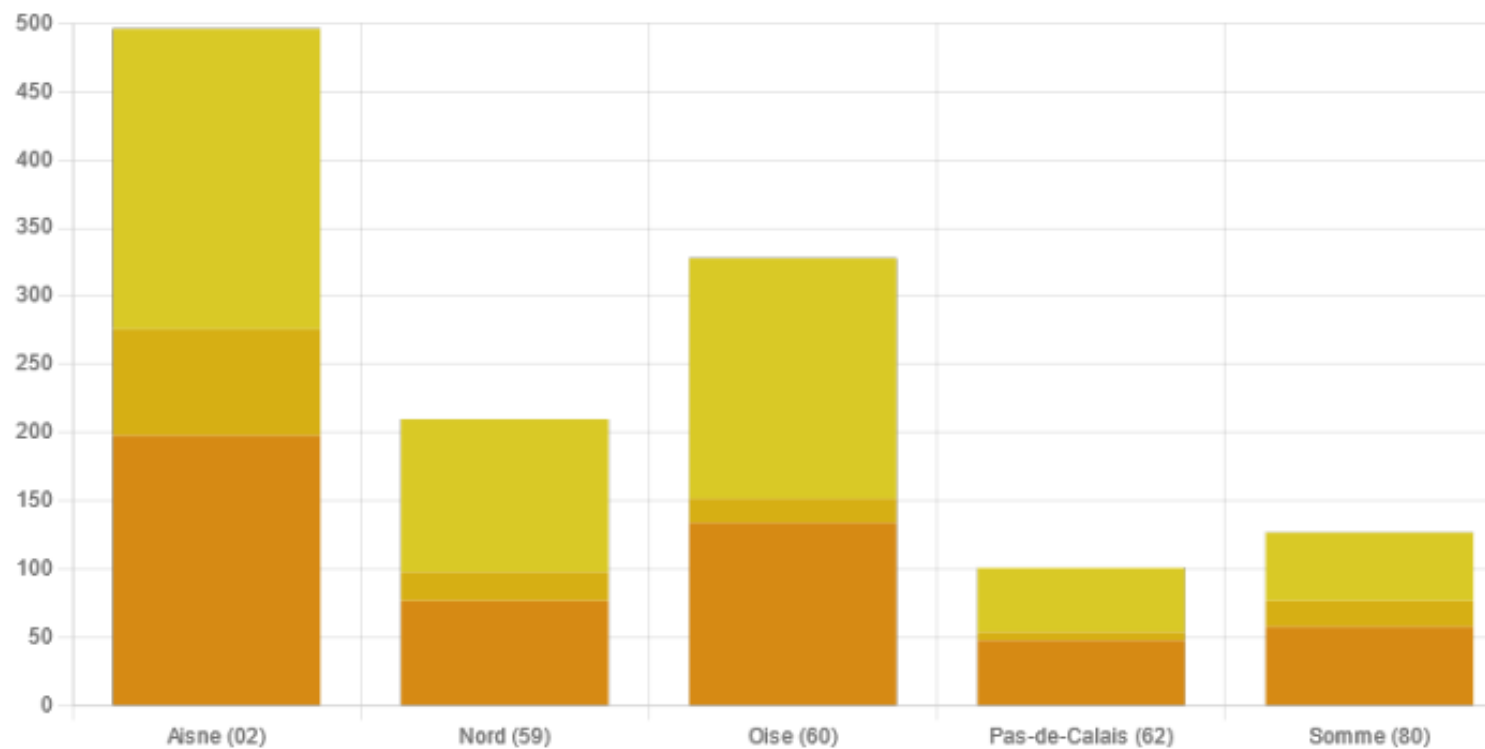
Illustration 42: Taux de boisement en Hauts-de-France (par département)

Source : IGN - Inventaire forestier national 2009-2019

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles



Unité : En millier de m3 de bois rond



Hauts-de-France 2021

Illustration 43: Récolte de bois en Hauts-de-France en 2019 par type de bois et selon le département de récolte.

Source : Agreste - Enquête annuelle de branche sur les exploitations forestières et scieries 2020

La production de bois énergie est importante avec 183 000 m³, soit 45,5 % du bois produit annuellement (plus du double du ratio national), et est destinés à approvisionner d'importantes installations de cogénérations et de chaufferie, en région et aux alentours

Comme souvent en France, les espaces forestiers privés sont partagés entre de nombreux petits propriétaires, souvent en indivisions, et qui n'ont pas les moyens, la culture ou même l'intérêt de valoriser cette ressource forestière. On constate ainsi que 26 % des propriétaires ont moins de 4 ha de bois, surface trop faible pour organiser une exploitation rentable de la ressource forestière.

Bien qu'important, le gisement forestier des espaces boisés privés est donc souvent mal exploité.

L'exploitation des forêts publiques rencontre également des limites, en particulier l'opposition du Public aux coupes d'exploitation des grandes forêts périurbaines,

Types de combustibles

Les plaquettes forestières (plaquettes « vertes »)

Les travaux forestiers et l'entretien des forêts linéaires » (haies, bordures arborées des routes, lisières de rivières, etc.) produisent un grand nombre de branches et de résidus susceptibles d'être déchiquetés sous la forme de « plaquettes » qui alimenteront des petites chaudières automatiques, des chaufferies collectives, des réseaux de chaleur.

La production de plaquettes peut se faire pour les petits chantiers par des déchiqueteuses à disque entraînées par un tracteur et alimentées manuellement ou par des déchiqueteuses autonomes à disque ou à tambour munies d'une grue pour les plus gros chantiers.

On peut déchiqueter du bois vert dont l'humidité proche de 50 % diminuera rapidement du fait des phénomènes de fermentation dans le tas. On peut également déchiqueter du bois sec (30 à 35 % d'humidité après un été de séchage) entreposé en forêt ou dans un lieu intermédiaire.

Dans tous les cas, on obtient après plusieurs mois un produit à 20-25 % d'humidité. Celui-ci a un contenu énergétique d'environ 3 300 à 3 900 kWh par tonne. Le volume apparent, le MAP (mètre cube apparent de plaquettes), est plus généralement utilisé comme unité de mesure.

La qualité d'une plaquette se définit par sa granulométrie c'est-à-dire les dimensions de la plaquette, sa masse volumique apparente, son pouvoir calorifique inférieure (énergie produite) et son taux de cendres (importance des résidus minéraux après combustion). Ces 4 paramètres peuvent être adaptés aux besoins du client (choix du type de broyage, de l'essence, du mode de séchage).

Les produits connexes de l'industrie de la 1ère et 2nd transformation du bois

Avec une quantité totale estimée à 7 millions de tonnes par an, les déchets de l'industrie du bois contribuent pour une part très importante de la quantité de déchets industriels banals produits en France.

Les principaux gisements de déchets et sciures de la seconde transformation du bois sont représentés par les industries de l'Ameublement et de la Menuiserie Industrielle. Dans une moindre mesure, on peut identifier d'autres ressources exploitables dans la production de granulés de bois dans l'industrie des contre-plaqués et dans l'industrie panneautière, cependant, ces sous-produits sont de plus en plus valorisés en interne par les industriels

D'un point de vue technique, le gisement potentiel de déchets issus de ces activités est plus faible que celui observé dans la 1ère Transformation du Bois, du fait que les rendements matières y sont souvent supérieurs (jusqu'à 95% dans le travail des plaquages dans les menuiseries industrielles contre 50 à 60% dans les scieries de la 1ère transformation du bois).

Le gisement proche de la ZAC de Bois de Plaisance est cependant très faible : la petite industrie de fabrication de meubles, de jouets en bois, de talons a aujourd'hui disparu, et il n'existe pas de grosse scierie dans la région. Il existe pourtant des opportunités avec l'essor de la construction bois, en s'appuyant sur le pôle industrie agro-ressources. Cependant, l'importance de ce gisement est à confirmer.

Les broyâts de palettes et autres emballages

Avec près de 65 millions de palettes produites chaque année, la France est le premier producteur européen de cet outil important de la chaîne logistique.

Quelle soit à usage unique ou destinée à effectuer plusieurs rotations, une palette a une durée de vie limitée du fait de l'usure ou de la casse des différents éléments qui la constituent. Toutes les fois que cela est possible, ces composants sont remplacés, soit par les fabricants de palettes eux-mêmes, soit par des entreprises spécialisées (les "reconditionneurs").

On estime que 46% des palettes fabriquées chaque année font l'objet d'une remise sur le marché après réparation et on évalue à 13% de la production annuelle, soit environ 8,5 millions d'unités, le nombre de palettes non réparables.

Ces dernières sont valorisées, soit par réemploi des éléments sains dans la réparation des palettes remises sur le marché, soit sous formes de broyâts, une fraction résiduelle d'entre-elles étant enfin éliminée par diverses autres voies.

Les broyâts de palettes font l'objet, soit d'une valorisation "matière", le plus souvent sous forme de panneaux de particules ou de palettes en bois moulé, soit d'une valorisation énergétique dans des chaufferies collectives, ou en process industriel.

La valeur énergétique du broyât de palette est élevée, de l'ordre de 4 kWh/kg à 20% d'humidité sur sec, soit 1,5 fois celui des plaquettes de scierie à 80% d'humidité.

La production annuelle de broyât à partir des palettes irréparables ou non recyclables par les industriels reconditionneurs est évaluée à 100 000 tonnes.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Les travaux du Centre Technique du Bois et de l'Ameublement sur le cycle de vie des palettes et sur leur éco-toxicité ont montré que le broyât de palettes apparaissait proche du broyât de bois brut, du point de vue des rejets de combustion (dioxines, métaux lourds, etc).

Autres déchets de bois

Les déchets de bois comprennent l'ensemble des déchets produits par l'exploitation forestière, par les industries de première transformation (scieries) et les industries de deuxième transformation (fabricants de meubles, de parquet, ...).

S'y ajoutent les rebuts, avec une distinction entre :

- les bois non souillés ou bois de classe A comprenant notamment la plupart des emballages (palettes, cagettes, caisses, ...);
- les bois souillés et/ou traités ou bois de classe B (meubles, charpentes, bois de démolition, ...), considérés comme banals ou spéciaux, selon leurs impuretés.

D'un point de vue réglementaire, les bois de rebut sont classés selon leur trois classes :

Bois de classe A



Bois non ou faiblement adjuvanté au sens du CEN TC 335 (Comité Européen de Normalisation)

Bois de classe B



Produits bois en fin de vie potentiellement adjuvantés au sens de l'ADEME

Bois de classe C



Produits bois en fin de vie fortement adjuvantés

Illustration 44: Typologies des déchets de bois

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Classe A ou bois non-traité :

Cette classe regroupe principalement les palettes, cagettes et bois blancs usagés. Une partie de ces produits est recyclée par des entreprises pour produire des palettes ou emballages reconditionnés (“vampirisation” des éléments de palettes hors d’usage pour en fabriquer de nouvelles).

Le restant non utilisable (dimension non recyclable, éléments de palettes abîmée) est broyé et utilisé soit en bois énergie après déferrailage, soit pour la fabrication de panneaux de bois. Ces produits non-souillés sont acceptés dans tous types de chaufferies (exempt de trace de traitement ou de corps étrangers pouvant induire une dégradation qualitative des produits de la combustion (fumées / cendres).

Classe B :

Tous types de bois entrent dans cette catégorie. Ils sont broyés et déferrailés.

Classe C :

Tous types de bois entrent dans cette catégorie. Ils sont broyés et déferrailés. Cependant ils ne sont pas triés et contiennent d’autres matériaux (plastique, métaux non ferreux, peinture, colle ...). Ces produits broyés sont recyclés pour la fabrication de panneaux (en Italie mais aussi dans les Landes).

On observe en France l’émergence d’une filière de valorisation énergétique, à l’image d’autres pays de l’Union Européenne, tels que l’Allemagne ou le Royaume-Uni où ces déchets sont utilisés comme combustibles dans des installations de cogénération.

Dans les Hauts-de-France, les deux principaux exutoires des déchets de catégorie A, fonction de la qualité du déchet, sont la valorisation énergétique et la valorisation matière.

Les déchets de bois admis en valorisation énergétique sont acheminés principalement dans les 5 chaufferies bois situées sur le territoire des Hauts-de-France Les déchets de bois admis en valorisation matière sont majoritairement acheminés chez SPANO / UNILIN Panels en Belgique

Granulés de bois (pellets)

Les granulés de bois (“*pellets*”) sont apparus aux USA au début des années 70 afin de permettre la valorisation énergétique des déchets provenant de l’industrie du bois : sciures, copeaux, délignures, etc.

Utilisés comme combustible, tant pour des appareils de chauffage domestiques (poêles et chaudières automatiques) que pour le chauffage collectif-tertiaire ou même pour des besoins professionnels (chauffage de serre, par exemple), les granulés de bois présentent des avantages techniques et économiques très intéressants : facilité de transport, de stockage et de manipulation, pouvoir calorifique élevé, bas taux de cendre, prix inférieurs à ceux des énergies commerciales fossiles, maturité des technologies des chaudières, etc.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Les granulés de bois à usage domestique sont produit à partir de sciures et co-produits de la première transformation du bois, tandis que ceux destinés à un usage « collectif-tertiaire » ou « industriel » peuvent valoriser des bois de rebus et être utilisés dans des chaufferies équipés de dispositifs de traitement des fumées.

L'offre de granulés de bois sur l'ensemble du territoire métropolitain est aujourd'hui bien structurée avec plusieurs dizaines de producteurs et importateurs, et un nombre important de distributeurs, souvent équipés de camions « souffleurs » permettant d'effectuer la livraison de granulés en vrac directement à la chaufferie.

Ce type de combustible est bien adapté à un usage en zone péri-urbaine et peut être également utilisé dans des chaudières « tertiaires » ou une chaufferie alimentant un mini-réseau de chaleur.

Le gisement local

Plaquettes forestières

En ce qui concerne l'approvisionnement en plaquettes forestières de chaufferies automatiques qui seraient installées sur le périmètre de la ZAC de Bois de Plaisance, la proximité de la forêt de Compiègne apparaît comme un atout important en faveur de cette solution énergétique.

Cependant, l'importance de ce gisement forestier de proximité est à nuancer fortement : en effet, s'il existe très peu d'informations, on peut effectuer des estimations à partir des statistiques concernant les débouchés des bois issus de la forêt de Compiègne.

Pour le bois d'œuvre, la filière export (Chine principalement) est largement majoritaire à près de 80 %.

La filière bois industrie est en perte de vitesse (fermetures d'usines de trituration, réduction d'activité de panneautier) et l'exportation (Belgique) reste une destination importante.

La filière bois-énergie constitue un marché à développer, tant pour le bois bûche, principal débouché actuel auprès des particuliers sur le marché local, que pour les plaquettes forestières et les granulés. Cependant, il ne peut s'agir que d'une ré-affectation des bois produits (notamment de ceux qui étaient absorbés par les usines de trituration et de fabrication de panneaux), car la forêt domaniale est totalement exploitée, et son potentiel de développement du bois-énergie reste limité en l'état actuel de la structure des débouchés. Les tensions fortes sur les marchés des bois d'œuvre et d'industrie n'augurent pas favorablement d'un développement du bois énergie.

Broyâts de palette et emballages en bois

Le gisement local représenté par palettes et autres emballages de bois usagés autour de la ZAC de Bois de Plaisance est inconnu mais très certainement important du fait de la présence d'importantes plateformes logistiques sur le périmètre de la Zone d'activités et alentours.

Ainsi, le site de Stokomani devrait produire 100 tonnes/an de déchets de palettes.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Dans le quart sud-est du département , le long de l'Oise, se sont développées des plateformes logistiques sur la ZI Nord de Compiègne, la ZI de Le Meux, le Parc d'activités Sud de Nogent sur Oise, le Parc d'activités de Crépy en valois, la zone de Creil Alata, les zones d'activité de Plessis-Belleville et Lagny le Sec, Paris-Oise à Longueil Sainte Marie...

Notons que ce gisement approvisionne déjà le réseau de chaleur de Compiègne et que la logistique de collecte et d'approvisionnement est en place.

La présence de nombreuses entreprises sur le bassin d'activités de l'ARC, et tout particulièrement des entreprises de transport ou des plates-formes logistiques, génère d'importants volumes de DIB ligneux : palettes hors d'usage, cagettes et caisses, ...

Ces déchets, notamment les palettes hors d'usage, sont déposées dans certaines déchetteries ou font l'objet d'une collecte par des organisations relevant de l'économie sociale et solidaires, ou encore par des entreprises spécialisées dans la collecte, le tri et la valorisation des déchets.

Au total, le volume que représentent ces déchets mobilisables à des fins énergétiques représenterait encore plusieurs centaines de tonnes par an.

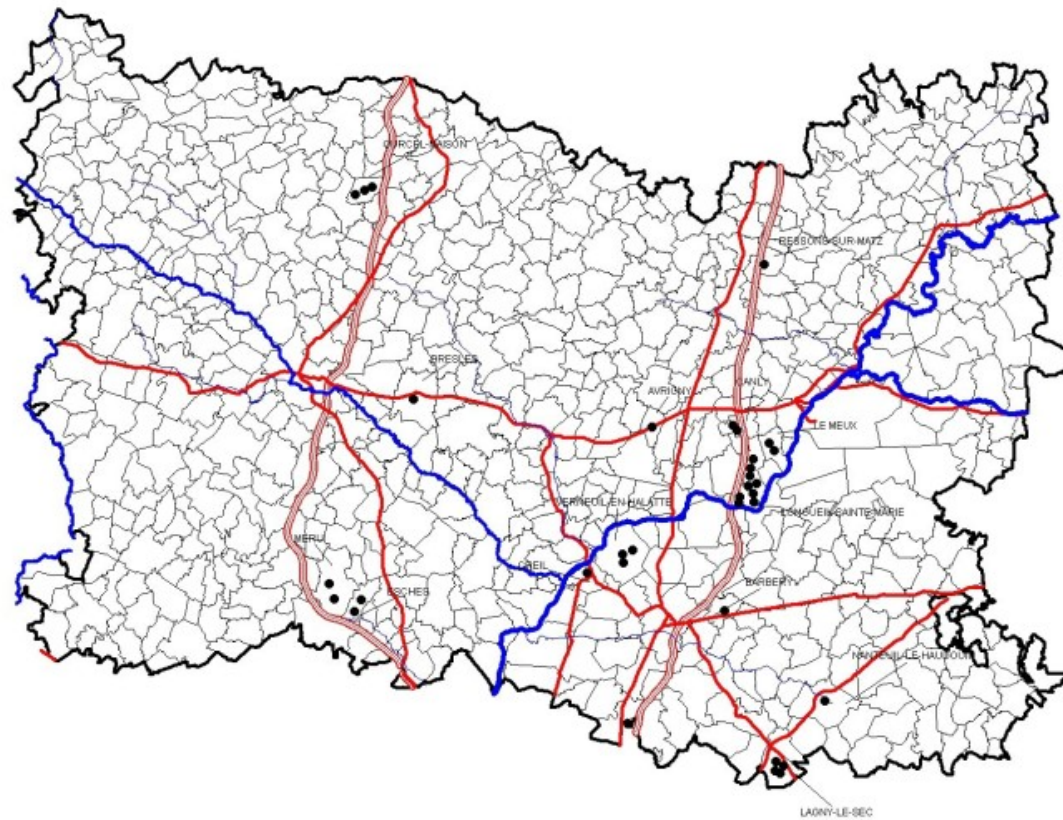


Illustration 45: Localisation des entrepôts de plus de 10 000 m² autorisés depuis 1998 dans l'Oise (source : DDE de l'Oise - Sitadel)

Caractéristiques physiques et énergétiques des combustibles Bois Energie

Le pouvoir calorifique des combustibles issus du bois est inversement proportionnel au taux d'humidité. Celui-ci varie en fonction de la granulométrie : plus un combustible présente une granulométrie faible et plus rapidement son humidité diminue et son pouvoir calorifique augmente.

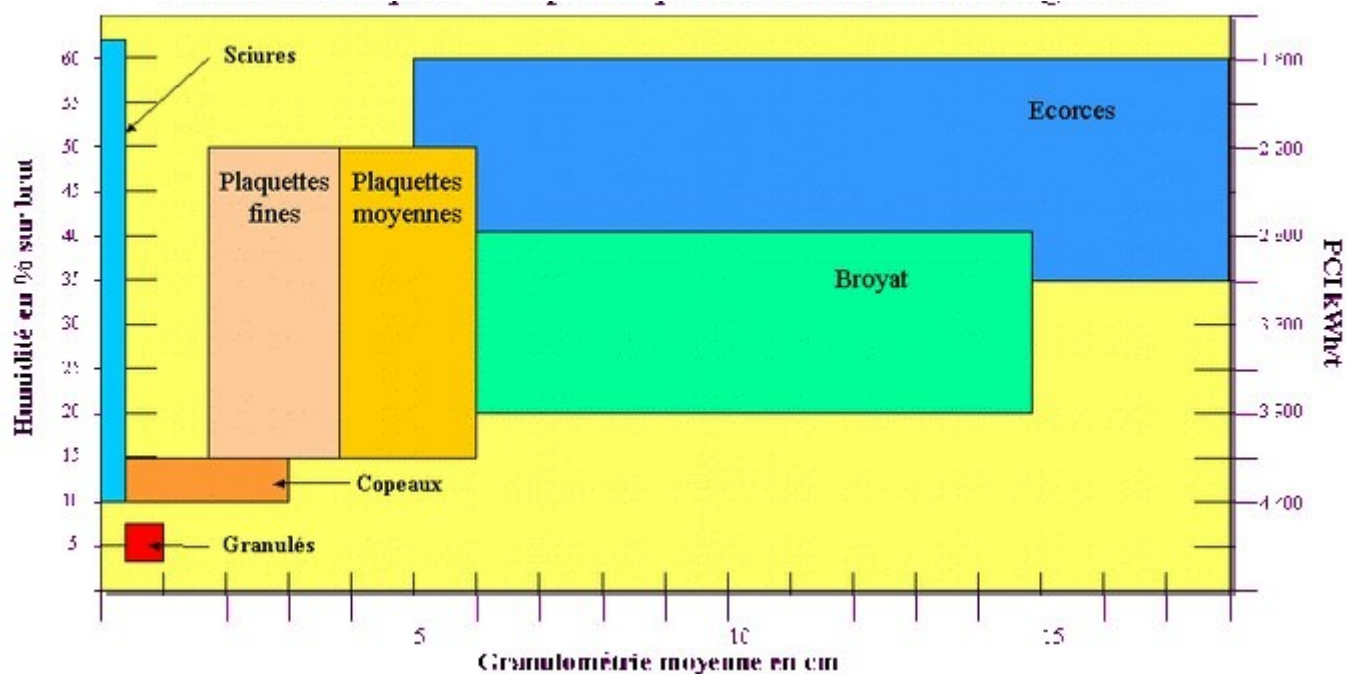


Illustration 46: Caractéristiques des principaux combustibles ligneux

Fournisseurs de combustibles Bois Energie

Les coûts de livraison des combustibles Bois Energie sont fortement dépendant sdes coûts de transport, et il est économiquement intéressant de s'adresser à des fournisseurs proches des chaufferies à approvisionner.

On considère généralement qu'une durée de transport d'une demi-heure est favorable.

La carte ci-après présente l'espace couvert par l'Isochrone « 30 minutes » à partir de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance :

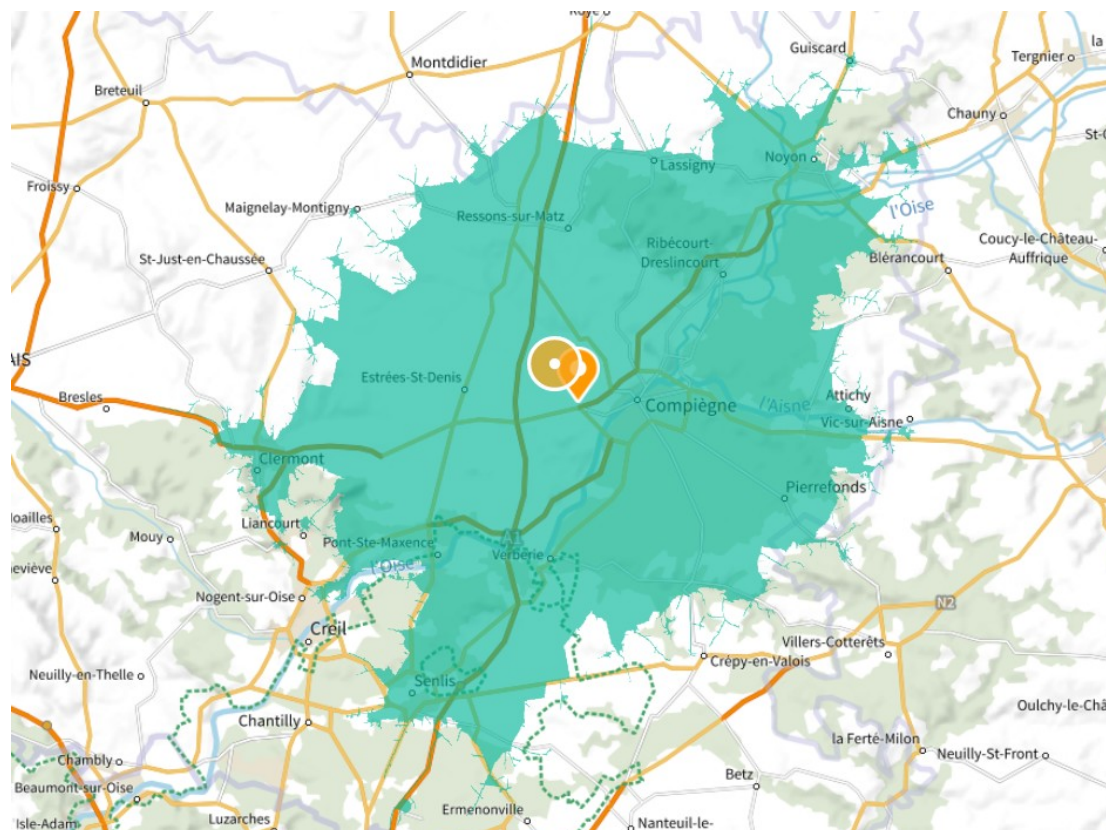


Illustration 47: Isochrone 30 minutes centré sur l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Le matériel de livraison envisageable diffère selon le type de combustibles et le volume à livrer :

- Un tracteur agricole et une remorque permettent de livrer en vrac entre 8 et 15 m³ de combustible, ce qui convient pour les petites chaufferies (de 50 à 200 kW).
- Les chaufferies moyennes (100 à 500 kW) sont livrées en big bag ou en vrac par camion avec benne ou container de 30 à 40 m³.
- Les grosses chaufferies (plus de 500 kW) sont livrées en vrac par semi-remorque de 70 à 90 m³. Les semi-remorques à fond mouvant déchargent les combustibles grâce à un système de racleurs placés au fond de la remorque.
- Les véhicules à système pneumatique, quant à eux, permettent une livraison par soufflage des combustibles de la citerne du camion vers le silo.

Dans une logique de durabilité et pour optimiser le bilan énergétique de la filière, un maximum de 1 km/m³ de volume transporté doit être respecté.

On considérera la distance de transport entre la plate-forme et le lieu de livraison final.

Exemples :

- 20 m³ pour une remorque agricole = 20 km de rayon d'action (aller)
- 90 m³ pour un semi remorque = 90 km de rayon d'action (aller)

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

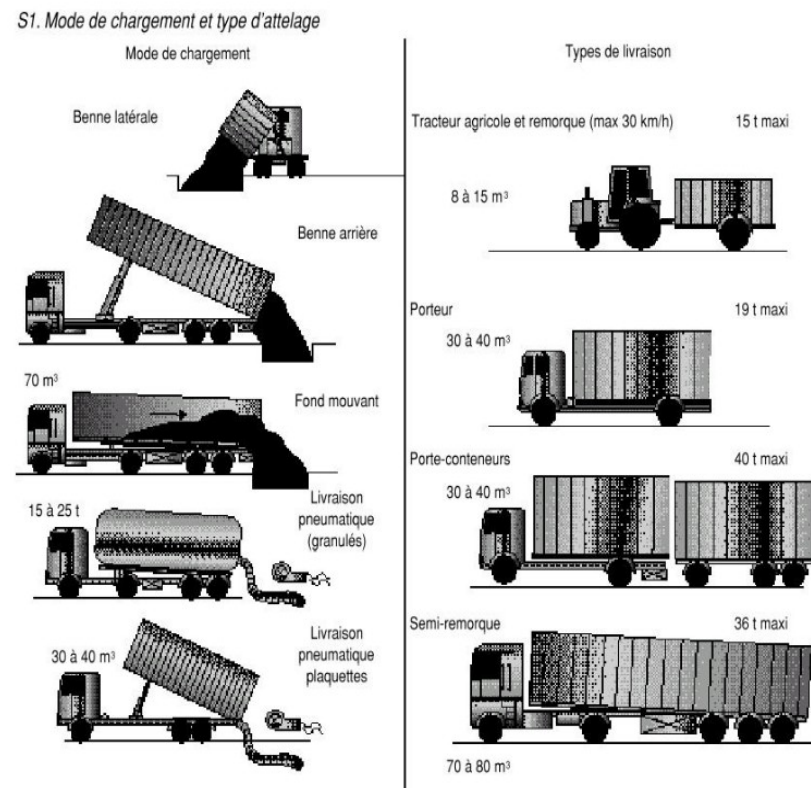


Illustration 48: Equipements de livraison de plaquettes ou de granulés combustibles

Plusieurs fournisseurs potentiels de bois de rebus et de DIB ligneux ont été identifiés dans un proche périmètre de la ZAC du Bois de Plaisance, certains localisés à moins de 30 minutes du site.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Entreprise	Adresse	Distance (km)	Durée trajet (mn)
Sylvabois	11 Rue des Veneurs, 60200 Compiègne	9	12
Compost'Oise	Ferme du bois, 60113 Monchy Humières	11	13
Bi-Vert SARL	Localisation3 r Templiers, 60173 Ivry le Temple	22	24
BOIS ENERGIE NORD OUEST BENO	8 Espace Economique Jean Louis Girault r Marcel Rinn, 60350 Berneuil sur Aisne	23	25
Decaux Combustibles	Rue du Bois Prévost, 60130 Saint-Just-en-Chaussée	30	30
Deblois Frères sarl	10 Rue du Général Maunoury, 02290 Vic-sur-Aisne	31	35
ValFRance Energie	126 Av. du Poteau, 60300 Senlis	35	28
Environnement Forêts	72 route de Soissons - 02290 Fontenoy	37	40
Idelot Pere Et Fils	10 Rue Ernest Roch, 02600 Villers-Cotterêts	40	43
Adit02	49 Rue de la Barre, 02300 Abbécourt	43	35
Fercourts SARL	6 Rte de Compiègne, 02200 Mercin-et-Vaux	43	44
LES BOIS D'ILE DE FRANCE	14 rue ricard 60000 BEAUVAIS	54	48
SABEHF (PICARDIE BIOMASSE ENERGIE)	Rte de Chaulnes, 80190 Nesle	55	40
Picardie Energie Bois	Rte de Thennes, 80110 Moreuil	70	49
D.B. Energies	44 Rue de Couvron, 02870 Crépy	72	60
Ets Josseaume Stéphane	160 Rte D Héricourt, 60650 Ons-en-Bray	72,4	59
PETIT SAS	Route de Clermont 60360 CREVECOEUR LE GRAND	73	55
Gérard Philippe	17, rue Pasteur, Origny-Sainte-Benoîte	86	70
Person Ets.	5 rue de Lannoy, 02210 Brancourt-le-Grand	94	80
Atelier Agriculture Avesnois Thiérache (AAAT)	43 Rue du Général de Gaulle, 02260 La Capelle	122	100
HFL Services	13 Rue de Lorraine, 02500 Hirson	127	110
Minucci SARL	22 Rue Delaporte, 02500 Mondrepuis	132	110
PPE Environnement	9 Rue Charles de Gaulle, 77760 Boissy-aux-Cailles	152	120

Tableau 15: Fournisseurs de combustibles bois autour de la ZAC de Bois de Plaisance

Zoom sur quelques fournisseurs :

- ***CIC Picardie Energie Bois***

Cette structure coopérative est née d'une volonté conjointe du Conseil Régional, des 3 Conseils Généraux et de l'ADEME de structurer une filière d'approvisionnement locale et durable des chaufferies bois, en s'appuyant sur le tissu des entreprises locales.

Picardie Energie Bois regroupe une cinquantaine de professionnels régionaux détenteurs de ressource bois-énergie (propriété forestière et agricole, exploitants forestiers, scieurs, recycleurs, etc.) et des prestataires de services. Cette structure permet aux acteurs régionaux de la filière de mutualiser leurs ressources (gisements, plateformes, équipements, etc.), et de développer un maillage cohérent de plateformes en lien avec le développement des chaufferies, tout en garantissant l'origine locale de la ressource.

Pour bâtir les plans d'approvisionnement qu'elle établit pour ses clients, Picardie Energie Bois passe des contrats de fourniture avec les propriétaires de matière ligneuse. La société a fourni en 2013 environ 22 000 tonnes de bois déchiqueté aux chaufferies picardes, surtout en plaquettes forestières, mais aussi en broyats de déchets de bois de classe A et en connexes de scierie.

Afin de limiter les investissements et d'optimiser l'utilisation des équipements existants, la SCIC ne possède pas de plateforme ou d'équipements en propre, mais utilise ceux dont dispose ses sociétaires par le biais de contrat de location (baux commerciaux) et de prestation de service.

La société s'appuie sur un réseau de 5 plateformes principales en Picardie. De nombreuses autres plateformes de ses sociétaires peuvent être utilisées de manière plus ponctuelle, afin d'optimiser le maillage en fonction des chaufferies à approvisionner. Pour limiter les coûts, environ 40 % des bois sont livrés en flux direct aux chaufferies, le reste transitant par le réseau de plateformes.

En ce qui concerne la transformation (broyage, criblage...) et la livraison du combustible, la SCIC fait appel à des prestataires (en général parmi ses sociétaires). Elle a néanmoins investi dans un caisson souffleur plaquettes de 30 m³ pour la livraison des petites chaufferies non adaptées à une livraison par benne (silo de plain-pied ou difficile d'accès).

Picardie Energie Bois propose également une prestation de récupération des cendres, qui sont en général valorisées en co-compostage avec des déchets verts. Elle dispose par ailleurs d'un laboratoire lui permettant d'effectuer des contrôles réguliers de la qualité (humidité, granulométrie) du combustible.

- ***BENO (Bois Energie Nord Ouest)***

Il s'agit de la filiale de l'exploitant de chauffage DALKIA, chargée de l'approvisionnement des chaufferies que gère cette société.

En 2013, BENO a fourni environ 60 000 tonnes de bois déchiqueté en Picardie, majoritairement en plaquettes forestières, mais également en broyats de déchets de bois de classe A et en granulés.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

BENO utilise 2 plateformes dédiées à l’approvisionnement des chaufferies picardes à Berneuil (60) et Boves (80).

- **SOVEN**

Il s’agit de la filiale de l’exploitant de chauffage COFELY, qui approvisionne les chaufferies gérées par cette société.

SOVEN fournit environ 5 000 tonnes de bois déchiqueté par an, en grande majorité des plaquettes forestières, complété par du broyat de déchets de bois de classe A.

SOVEN dispose d’une plate-forme de stockage en Picardie à Rougemaison (60).

- **SABEHF**

La Société Biomasse Energie des Hauts de France (SABEHF) s’est formée pour assurer l’approvisionnement des projets de cogénération biomasse de Nesle (KOGEBAN : 240 000 t/an) et Estrée-Mons (CBEM : 150 000 t/an). Cette société est une filiale de Nerea-Akuo et de 2 exploitants forestiers de la région. Elle produit du bois déchiqueté à partir de ressource forestière. Elle s’approvisionne principalement en bois ronds qui sont stockés et broyés sur la plateforme de Nesle.

Les technologies de valorisation

Chaufferies automatiques pour logements collectifs, bâtiments tertiaires, locaux d’activités.

Les bâtiments de logements collectifs, les locaux tertiaires ou d’activités, etc. peuvent être chauffés par des chaudières à alimentation automatique utilisant comme combustible du bois déchiqueté (« plaquettes ») ou des granulés de bois (« pellets »).

Certaines chaudières sont poly-combustibles et peuvent accepter d’autres formes de combustibles : granulés produits à partir de déchets agricoles ou de cultures énergétiques (« agro-pellets »).

Le granulé de bois ou les plaquettes de bois sèches et calibrées sont des combustibles relativement fluides qui permettent une utilisation dans des conditions de maintenance et de stockage comparables à celles du fioul domestique.

En milieu urbain, le combustible bois est généralement livré par camion benne, mais il peut également être livré par camion souffleur ; il est alors transvasé dans le silo de stockage au moyen d’un tuyau qui est relié à une bouche donnant accès au silo. La deuxième bouche permet d’aspirer la poussière émise lors de la livraison. Ces bouches doivent se situer à hauteur d’homme (1.20 m à 1.50 m) et facilement accessibles. Au besoin, le manchon extérieur sera prolongé d’un coude à 90° et d’une longueur de tube pour placer idéalement le raccord,.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Ces bouches devront être placées sur la partie haute du silo parallèlement au plafond à un minimum de 10 cm. La distance maximale entre le camion et le silo est de 20 mètres linéaires. Plus il y a de distance et de coudes, plus les granulés peuvent se détériorer.

A titre indicatif, la livraison de 5 tonnes de granulés dure de 30 à parfois plus de 60 minutes selon la longueur des tuyaux à installer pour la livraison et selon la facilité d'accès. Les livraisons devront être planifiées pour minimiser les contraintes qu'elles pourraient induire (stationnement du véhicule, bruit du compresseur).

La voirie et les abords du silo doivent être en mesure de supporter la charge et l'encombrement du camion de livraison.

Une attention devra être portée aux lignes électriques et téléphoniques, aux avancés de toits et branches d'arbres et tout autre obstacles qui pourraient gêner ou empêcher la livraison.

La fréquence des livraisons peut varier selon les besoins, la taille du camion (10 à 30 m³) et le volume du silo. Le volume minimal d'un silo est de 3 m³ pour une quantité minimum de 3 tonnes de granulés (densité de 680 kg/m³).

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles



Illustration 49: Exemples de chaufferies et de silos biomasse

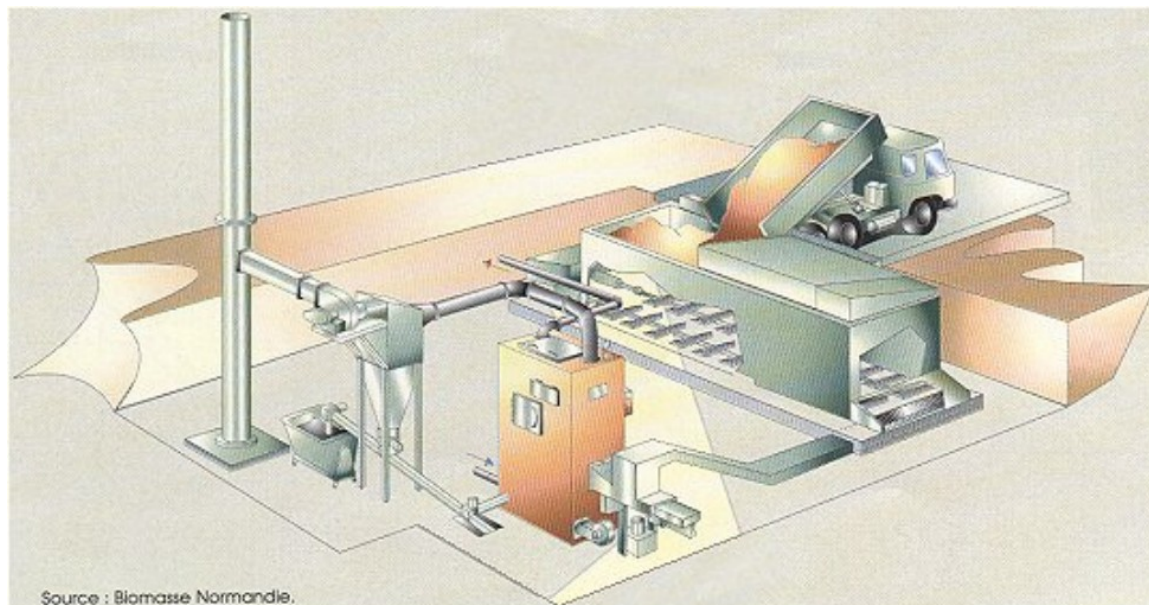


Illustration 50: Schéma de principe d'une chaufferie Bois Energie de moyenne puissance pour bâtiments Collectif/Tertiaire

Poêles-hydro

Les locaux tertiaires ou d'activités de petite surface(jusqu'à 200 m²) peuvent être également chauffés par des poêles chaudières à granulés, encore appelé poêle bouilleur ou « poêles hydro », permettant d'assurer le chauffage de plusieurs pièces par le biais d'un chauffage central conventionnel associant des radiateurs ou un plancher chauffant.

Les poêles hydrauliques à granulés sont plus onéreux que les poêles a granulés ordinaires mais moins chers que des chaudières automatiques.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Leur esthétique et l'attractivité du foyer visible permettent de les installer dans des locaux d'activités, des magasins ou des bureaux. Les poêles hydrauliques sont disponibles dans une grande variété de styles et de coloris. Offrant une vision attractive de leur foyer, ils contribuent à la qualité esthétique des locaux recevant du public ou des bureaux. La sortie des fumées peut s'effectuer par le dessus ou l'arrière de l'appareil. Fonctionnant en circuit étanche avec prise d'air de combustion sur l'extérieur, ils sont compatibles avec une VMC.

Ce type de poêle peut être combiné à d'autres solutions de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire : pompe à chaleur, solaire, chaudière classique. Il apporte une grande flexibilité et une excellente rentabilité à court terme.

Certains modèles permettent la production d'ECS, soit en instantané, soit par le biais d'un ballon tampon. En mi-saison, la vanne 3 voies dirige le flux de chaleur uniquement vers l'eau chaude sanitaire. En été, il faut prévoir une énergie d'appoint (électrique ou solaire).

Les poêles hydrauliques doivent être dotés d'un contrôleur thermostatique qui permet de définir et maintenir une température de fonctionnement.

Pour les modèles qui assurent uniquement le chauffage, la puissance varie généralement entre 11 et 24 kW. Les poêles à granulés hydro capables de chauffer l'eau chaude sanitaire ont plutôt une puissance comprise 22 et 34 kW.

Les poêles à granulés hydro sont donc des appareils puissants, conçus pour la rénovation et capables de chauffer des surfaces importantes (200 m²). Pour le dimensionnement de la puissance de chauffage, on compte généralement 1 kW pour 10m²

Certains poêles peuvent être alimentés en automatique par le biais d'un silo externe, pouvant être réalimenté par camion souffleur ou par Big-Bag de 1 tonne.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

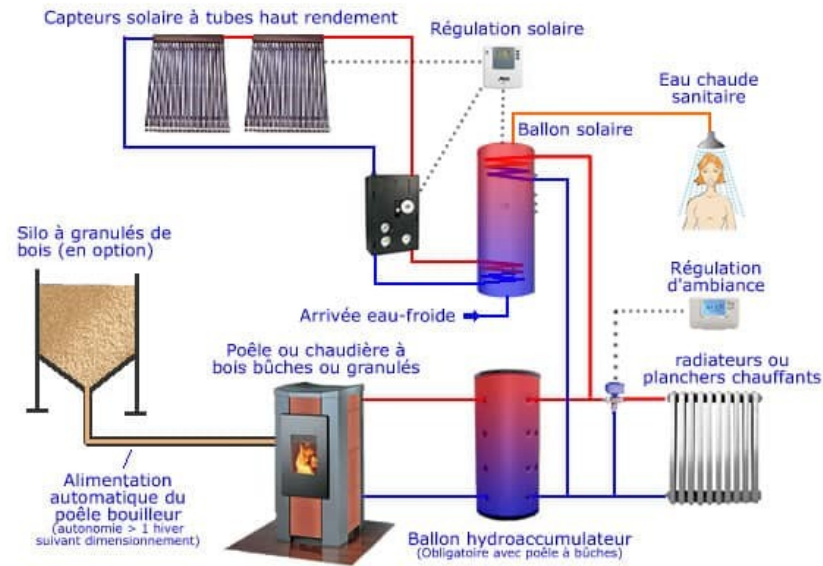


Illustration 51: Schéma de principe d'une installation associant poêle-bouilleur à granulés et panneaux solaires - Source Welem

Conditions de mise en œuvre

Chaudières automatiques

T Y P E	Chaufferies collectives et tertiaires				
	Puissance (kW)	< 500	500 – 1 000	1 000 – 3 000	> 3 MW
H Y P O T H È S E S	Caractéristiques techniques				
	Facteur de charge (%) *	22	36	37	48
	Rendement	87			
	Taux d'actualisation	3			
	Durée de fonctionnement (année)	25			
	Coûts				
	(p.m. CAPEX en €/kW)	846 à 1 765	811 à 1 424	797 à 1 247	542 à 864
	CAPEX (€/Mwh/an)	317 à 614	292 à 452	243 à 492	132 à 242
	Exploitation (€/MWh)	17 à 27	17 à 27	17 à 27	17 à 27
	Prix du combustible (€ HT/MWh)**	26 à 33	26 à 33	26 à 33	26 à 33
Coûts de production (€/MWh utile) en fonction du taux d'actualisation					
R É S U L T A T S	LCOE	62 à 96	60 à 86	57 à 89	51 à 74
	Décomposition du LCOE				
	- Coût APEX	18 à 35	17 à 26	14 à 28	8 à 14
	- Coût OPEX	17 à 27	17 à 27	17 à 27	17 à 27
	- Energie	26 à 33	26 à 33	26 à 33	26 à 33
	LCOE avec Taux 2 %	59,7 à 91,8	58,0 à 83,5	55,4 à 85,5	49,8 à 72,7
LCOE avec taux 4 %	63,7 à 99,6	61,7 à 89,3	58,5 à 91,8	51,5 à 75,8	

* à la puissance nominale ; ** € par MWh en sortie de chaufferie

Tableau 16: Hypothèses et couts d'investissement et d'exploitation de chaufferies automatiques Bois Energie
Source : ADEME, « Coûts des énergies renouvelables et de récupération en France », 2019

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

BIOMASSE				
Installation	Chauffage direct		Cogénération	
Puissance	< 3 MW	> 3 MW	> 3 MW (ORC)	> 3 MW (vapeur)
Caractéristiques techniques				
Productivité (kWh/kW/an)	3 000 – 4 000	5000	30000	26250
Durée de fonctionnement (année)	20	20	20	20
Rendement électrique	-	-	20,00 %	20,00 %
Rendement global	85,00 %	85,00 %	80,00 %	70,00 %
Coûts				
Investissement (€/kW)	940 – 1 100	610	5 000 – 6 000	2 500 – 5 000
Exploitation variable (€/MWh utile)	7	7	10 – 15	10 – 15
Coût du combustible (€/MWh utile)	29	29	30 – 35	30 – 35
Coûts de production (€/MWh utile) en fonction du taux d'actualisation				
3,00 %	51,8 – 60,6	44,2	51,2 – 63,4	46,4 – 42,8
5,00 %	54,9 – 65,4	45,8	53,4 – 66,0	47,6 – 65,3
8,00 %	59,9 – 73,3	48,4	57,0 – 70,4	49,7 – 69,4
10,00 %	63,6 – 79,1	50,3	59,6 – 73,5	51,2 – 72,4

Illustration 52: Tableau 12: Hypothèses et coûts d'investissement et d'exploitation de chaufferies automatiques Bois Energie Source : ADEME, « Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'Industrie », mars 2018

Poêles-hydro à granulés

Comme pour une chaudière, un entretien annuel par un professionnel est obligatoire, de même qu'un à deux ramonages par an.

Les poêles à granulés hydro sont plus coûteux que les poêles à granulés classiques (3 000€ HT en moyenne) mais bien moins que les chaudières à granulés (de 5 000€ à 10 000€ HT).

Le prix des poêles à granulés hydro va de 3 500€ à 5 000€ HT pour les modèles assurant uniquement le chauffage. La plus-value pour un ventilateur de soufflerie est faible : environ 300€ HT (poêle hydro ventilé).

Pour les modèles avec ECS (Eau Chaude Sanitaire), les prix vont de 4 000€ à 6 000€ HT. Il faut rajouter le prix d'un ballon tampon, autour de 1 500€ HT. Généralement, le système de radiateurs est déjà présent.

D'un point de vue esthétique, il sera aussi intéressant de masquer les éléments hydrauliques et la fumisterie par un coffrage (entre 300 et 500€ HT).

Au total, une installation avec création d'une fumisterie reviendra entre 6 500€ et 11 000€ HT.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

La consommation moyenne d'un poêle à granulés hydro est d'environ 20 à 25 kg par jour (en considérant une surface à chauffer d'au moins 120 m²), ce qui correspond à une consommation annuelle de l'ordre de 2 tonnes.

Les granulés pourront être livrés par sac de 15 kg en palettes d'une tonne, à entreposer à l'abri de l'humidité.

Prix des combustibles

Les différents combustibles issus du Bois Energie sont le plus souvent produits localement ou dans la région. Ils sont de ce fait beaucoup moins sensibles que les énergies fossiles aux variations du contexte géopolitique et sont donc plus stables.

Les prix observés sont par ailleurs sensiblement plus bas que les prix des énergies fossiles, du fait de leur caractère moins spéculatif, du caractère renouvelables des ressources dont ils sont issus, du caractère beaucoup moins capitalistique des moyens de production, de transformation et de transport, d'une chaîne logistique beaucoup plus courte, ...

Dans le « temps long », les prix observés sont stables en « prix réel », suivant l'évolution de l'inflation. À plus court terme, on observe des variations saisonnières qui sont liés au cycle d'activité de la filière et des achats par les clients.

De temps à autre, on observe cependant des hausses ponctuelles des prix qui traduisent un décalage entre une demande en rapide croissance des différentes formes de combustibles bois, et l'offre régionale plus longue à s'adapter. Le niveau des stocks des producteurs et des consommateurs dépend de la rigueur de la saison de chauffe et cela se répercute sur les prix.

Ainsi, après un hiver 2020-2021 doux, l'année 2021 se caractérise par une hausse sensible des prix, en particulier en ce qui concerne les granulés. Le conflit Ukrainien en cours en 2022 a incité certains acteurs à s'équiper en installations de chauffage Bois énergie, tandis que d'autres surstockent pour parer à une éventuelle hausse durable.

Malgré cette hausse qui s'explique par un contexte très particulier, le granulé de bois est resté une énergie encore très compétitive puisqu'à fin décembre 2021, le kWh de gaz était au moins 40% plus cher, celui du fioul 50% plus cher et l'électricité 3 fois plus chère.

Cette hausse est également observée pour les mêmes raisons pour le bois déchiqueté, mais reste cependant modérée.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

	Prix (H.T.)			Indice	Variation (%)	
	2021 – T1	2021 – T4	2022 – T1		2022 – T1 2021 – T4	2022 – T1 2021 – T1
Plaquettes forestières				Base 100 : Janvier 2012		
C1 – Petite granulométrie	n.c.	n.c.	n.c.	132,1	9,90 %	20,50 %
C2 – Moyenne granulométrie	n.c.	n.c.	n.c.	115	15,30 %	15,50 %
C3 – Granulométrie grossière	n.c.	n.c.	n.c.	126,6	7,40 %	12,50 %
Broyat emballage SSD (ex. Broyats de recyclage de classe A)				Base 100 : Janvier 2012		
Bois déferrailés et broyés en dimensions compatibles avec les contraintes des chaudières						
Gran. moyenne et grossière, humidité <25% tonne	49,8	53	55,9	166	5,60 %	12,30 %
PCI retenu (4,00) Mwh	12,45	13,25	13,99			
Granulés Producteurs				Base 100 : Octobre 2006		
Vrac, tonne	188	207,7	235,8	130,1	13,60 %	25,40 %
Sac, tonne	215,9	227,2	254,3	99,7	11,90 %	17,80 %
Big Bag, tonne	199,3	216,9	231,4	11,3	6,70 %	16,10 %
Granulés Distributeurs				Base 100 : Octobre 2013		
Vrac, par 5 tonnes livrées à 50 km	283,8	304	340,3	128	11,90 %	19,90 %

Tableau 17: Prix et indices nationaux du Bois Energie (1er Trimestre 2022). Source CEEB – 18 mai 2022

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

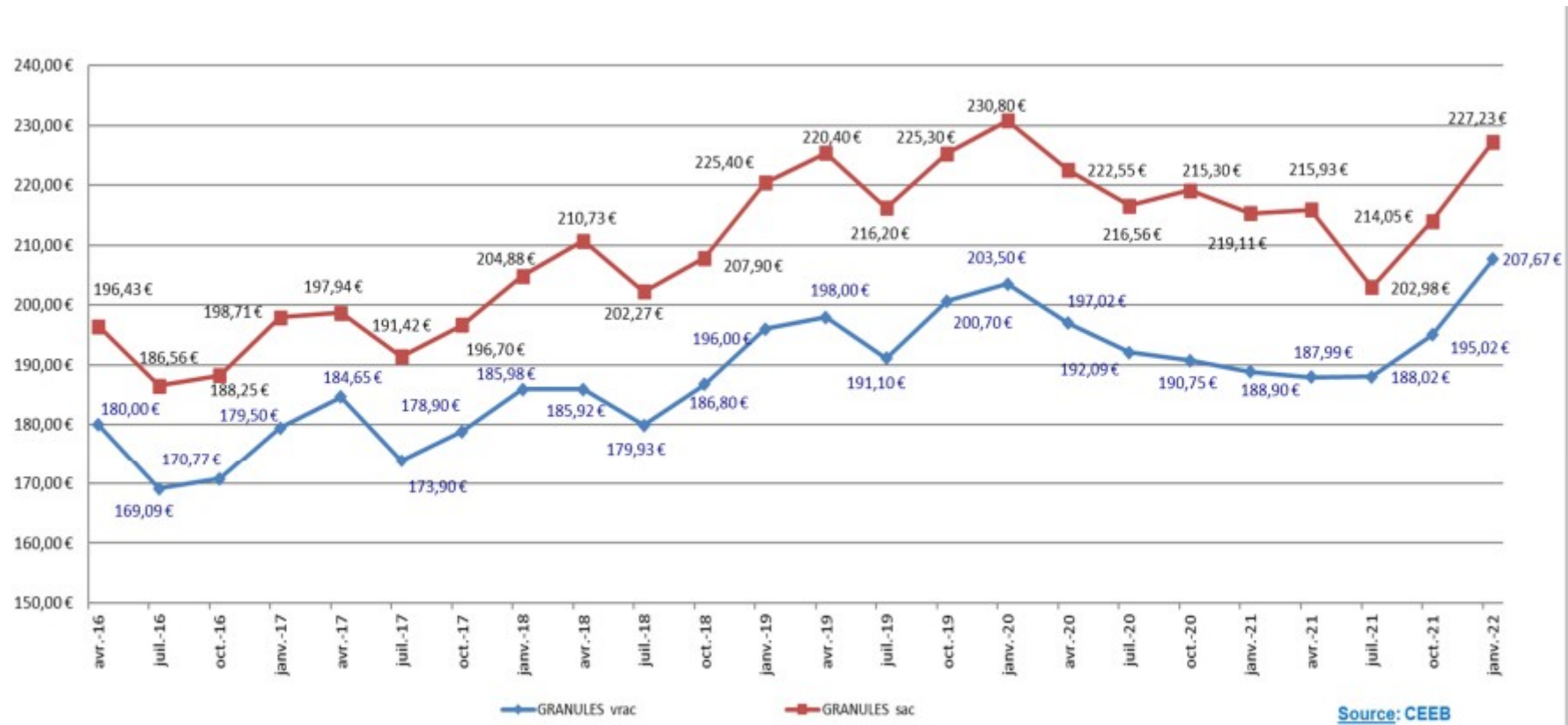


Illustration 53: Variation des prix "producteurs" du granulés 2016 - 2021

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

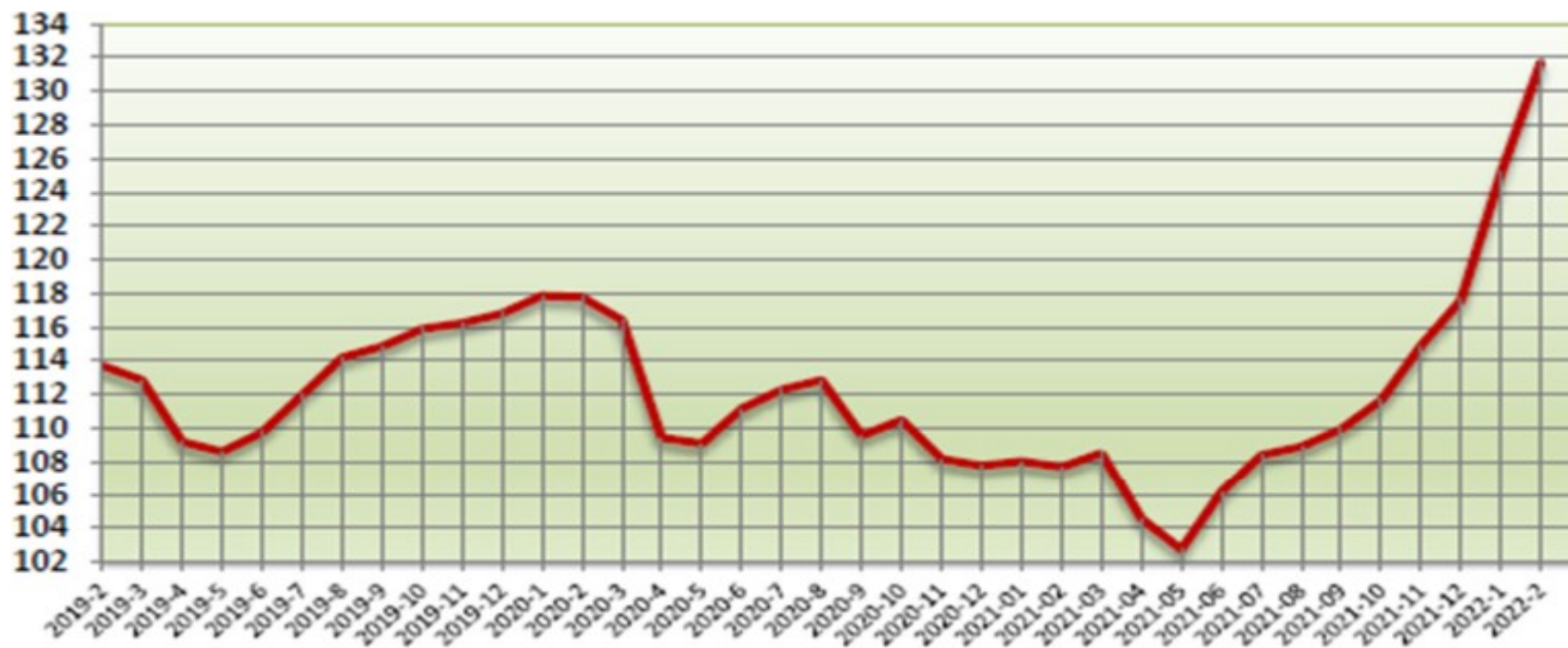


Illustration 54: Indice du prix mensuel du granulé en vrac - Base 100 en octobre 2016 – Source CEEB « Comité Utilisateurs »

Cadre réglementaire

Statut des chaufferies

D'un point de vue législatif, réglementaire et fiscale, il convient de distinguer trois catégories de projets « Bois Energie :

1. les chaufferies desservant une entreprise industrielle ou un ensemble immobilier de statut privé (copropriété, association...), l'opération se monte dans le cadre d'un marché de droit privé et le maître d'ouvrage doit simplement respecter les règlements d'urbanisme, environnementaux (ICPE...) en vigueur.
2. les chaufferies dédiées à un établissement public (hôpital, lycée...) ou à un ensemble immobilier de type HLM ; dans ce cas (livraison de chaleur à soi même), le maître d'ouvrage est soumis au code des marchés publics ;
3. les réseaux de chaleur (au sens de la loi de 1980), où un gestionnaire (collectivité territoriale ou exploitant de chauffage) vend de la chaleur à des tiers ; la collectivité doit créer une régie, elle-même soumise au code des marchés publics ou confier la gestion/exploitation du réseau à un opérateur, au moyen d'une délégation de service public (DSP) mise en œuvre dans le cadre de la loi « Sapin ».

Statut du combustible

L'arrêté du 29 juillet fixant les "critères de sortie du statut de déchet pour les broyats d'emballages en bois pour un usage comme combustible de type biomasse dans une installation de combustion" a été publié le 8 août 2014. Selon ce texte, les chaufferies doivent exiger de leurs fournisseurs les attestations de sortie du statut de déchet sans lesquelles ils ne peuvent maintenir les approvisionnements existants.

La procédure de Sortie de Statut de Déchet (SSD) est donc assumée par les plate-formes d'approvisionnement en bois et ces attestations sont délivrées après vérification du respect des dispositions prévues par l'arrêté, à savoir, l'identification d'une zone de déchargement permettant un contrôle facilité du produit, la formation des personnels en charge aux nouvelles procédures de contrôle ou encore la réalisation d'analyses chimiques sur des échantillons pour s'assurer que la présence de certains composés est inférieure aux limites fixées.

La sortie du statut de déchet pour les broyats d'emballages en bois permet à la fois, une meilleure valorisation énergétique du gisement des déchets de bois, un apaisement des tensions liées à la mobilisation de la biomasse, et la certification du respect environnemental des déchets brûlés.

Concernant la valorisation énergétique des bois de rebut de la Classe B, la très forte exigence sur la qualité des émissions gazeuses et particulaires issues de la combustion impose des traitements de fumées et un écoulement et une utilisation spécifiques des cendres (ICPE 2910 B).

Cette réglementation ICPE 2910 B soumet à Autorisation toute installation appelée à être alimentée par ce type de combustible, dès lors que sa puissance est supérieure à 100 kW.

Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Valorisation d'un gisement régional abondant, notamment en ce qui concerne les bois de rebus (palettes hors d'usage)	Des tensions peuvent apparaître du fait d'une demande importante au regard du niveau de structuration de l'offre actuelle.
Technologie mature, bien maîtrisée par les professionnels (B.E., équipementiers, installateurs, exploitants,) formés aux spécificités du Bois Energie	Contraintes de mobilisation du gisement des palettes hors d'usage : tri, déferrailage, broyage, ...
Possibilité de cogénération, voire de trigénération (production de froid pour les entrepôts frigorifiques) ou de rafraîchissement des bureaux.	Les émissions de gaz à effet de serre émis lors de la fabrication et le transport depuis le pays d'origine des modules (Chine, par exemple) sont élevées.
Des appels à projets lancés par l'ADEME (Fonds Chaleur) ou la CRE (installations de cogénération biomasse) peuvent présenter des opportunités intéressantes de financement.	Les installations Biomasse (chaufferies et silos) nécessitent de réduire en amont les éventuelles nuisances : rotation et circulation des camions d'approvisionnement, bruits et poussières, ...

Synthèse sur le Bois Energie

Le potentiel de développement du Bois Energie des forêts de l'Oise est globalement relativement limité du fait d'une exploitation déjà bien engagé pour satisfaire les besoins des chaufferies et réseaux de chaleur existant. Par ailleurs, les marchés du Bois d'OEuvre et du Bois d'Industrie offrent des débouchés attractifs qui limitent encore son développement.

C'est surtout la valorisation des déchets ligneux (DIB) provenant des plaquettes hors d'usage provenant des nombreuses plateformes logistiques qui constitue la ressource potentielle la plus importante.

Le site de la ZAC de Bois de Plaisance est bien adapté à l'implantation de chaufferies biomasse : bonne accessibilité par le réseau routier et autoroutier et absence de zones résidentielles à proximité.

Dans ce contexte, en raison d'un important gisement de proximité, les chaufferies automatiques fonctionnant avec du bois déchiqueté issus de cette filière apparaissent attractives pour le chauffage des bâtiments l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance .

La faisabilité d'un mini-réseau alimenté par une chaufferie centrale peut être éventuellement confirmée par une étude approfondie.

La possibilité de valoriser la chaleur en production de froid (climatisation par machine à absorption) permettrait d'accroître encore l'intérêt technique et économique des chaufferies Bois Energie.

Méthanisation des biodéchets

La ressource

La fermentation anaérobie est la décomposition biologique des matières organiques par une activité microbienne naturelle ou contrôlée, dans un milieu pauvre en oxygène. Selon le type de déchets et les conditions de température et de pression dans lesquelles ce traitement biologique s'effectue, cette fermentation conduit à la production de biogaz.

Le biogaz est un gaz combustible mélange de gaz carbonique et de méthane, qui peut comporter des éléments difficiles à traiter, notamment des substances halogénées (chlore et fluor) selon la composition des déchets dont il est issu (présence de plastiques, de déchets toxiques ...).

Il existe plusieurs sources d'émission de biogaz, avec chacune leurs caractéristiques :

- Les boues des stations d'épuration. Le biogaz provient des matières organiques contenues dans les eaux. C'est un gaz riche en méthane, en hydrogène sulfuré, mais aussi en métaux lourds, provenant du recueil des eaux polluées par le lessivage des routes par la pluie ;
- Les industries agro-alimentaires, le lisier;
- Le compostage (unités spécifiques de méthanisation). Normalement, il n'y a pas de biogaz en cas de compostage, puisque ce dernier nécessite, au contraire de la méthanisation, un traitement avec apport d'air. Mais il existe aujourd'hui des procédés mixtes qui permettent de produire à la fois de l'amendement organique et du biogaz ;
- La méthanisation de déchets solides ménagers et assimilables triés en digesteurs ;
- Les décharges. Elles produisent spontanément du biogaz, car les déchets fermentescibles y sont régulièrement déposés.

Conditions de mise en oeuvre

La méthanisation ou fermentation anaérobie est la décomposition biologique des matières organiques par une activité microbienne naturelle ou contrôlée, dans un milieu en raréfaction d'air. Selon le type de déchets et les conditions de température et de pression dans lesquelles ce traitement biologique s'effectue, cette fermentation conduit à la production de biogaz.

Le biogaz est un gaz combustible mélange de gaz carbonique et de méthane, qui peut comporter des éléments difficiles à traiter, notamment les organes halogénés (chlore et fluor) selon la composition des déchets dont il est issu (présence parmi les matières fermentescibles de plastiques, et de déchets toxiques ...). Le biogaz épuré est appelé « biométhane ».

Ses caractéristiques physico-chimiques sont strictement identiques à celles du « gaz naturel », constitué de méthane (CH₄) d'origine fossile.

Cependant, à la différence notable de ce dernier, le biométhane est renouvelable et son incidence en terme de pouvoir de réchauffement global (effet de serre) est bien moindre.

Ainsi, le facteur d'émission du gaz naturel fossile est de 227g CO₂eq / kWh PCI pour le gaz naturel (Source Base Carbone®) contre 23,4g CO₂eq / kWh PCI pour le biométhane (Source Etude ENEA Quantis 2017), soit dix fois plus important que ce dernier.

Production

La méthanisation consiste à stocker la matière organique (en l'espèce les déchets) dans une cuve hermétique ou " digesteur ", ou " méthaniseur ", dans laquelle elle sera soumise à l'action des bactéries. Un brassage des matières, éventuellement un apport d'eau, mais surtout un chauffage, accélèrent la fermentation et la production de gaz qui dure environ deux semaines. La production peut alors être de 500 m³ de gaz par tonne de déchets.

Le volume du digesteur est fonction des quantités à traiter de quelques centaines à plusieurs milliers de m³. Un digesteur peut traiter des substrats homogènes ou des mélanges, ce qui offre des opportunités pour traiter à l'échelle d'un bassin de vie divers types de déchets organiques (agricoles, industriels, municipaux) tout en produisant une énergie renouvelable valorisable et un fertilisant (résidu stabilisé et désodorisé dont la valeur agronomique n'est pas altérée).

Plusieurs types de digesteurs existent en fonction de la nature des déchets, plus ou moins liquides, et de leurs volumes, mais également des contraintes d'implantation .

Des technologies de « micro-méthanisation » existent ou sont en cours de développement pour traiter en milieu urbain des « petits » gisements de bio-déchets.

On peut mentionner en particulier le projet européen Decisive visant à démontrer la faisabilité de la micro-méthanisation urbaine sur plusieurs sites de démonstration (à Lyon et en Catalogne).

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Ce programme est soutenu financièrement par l'Union Européenne.



Micro-digesteur SeaB Energy



Projet Modulo de Tryon Environnement

Illustration 55: Exemples d'unités compactes de méthanisation pour sites urbains ou péri-urbains

Usages du biométhane

Les principaux usages du biométhane sont :

- L'utilisation en tant que combustible dans des chaudières, ou des fours ;
- L'injection dans un réseau de gaz naturel ;
- L'utilisation en tant que carburant ;
- La production d'électricité seule et la cogénération.

Dans le cas de la combustion les temps de retour sont courts (<4 ans) et évoluent très rapidement avec l'importance du débit valorisé, ce qui montre le soin qui doit être apporté à l'installation de production, ainsi que l'adaptation correcte du couple production-utilisation.

Les temps de retour sont relativement long pour la production d'électricité (7 ans minimum) sauf dans le cas de la turbine à vapeur (<5 ans). Ces temps de retour peuvent être réduits sensiblement en cas de cogénération, ou si l'on auto-consomme la plus grande partie de l'électricité produite.

La valorisation du biogaz carburant est d'ores et déjà rentable pour des unités de production de plus de 100Nm³/h de biogaz carburant, pour un fonctionnement correct pendant les 6000 heures prévues. Ce carburant présente en outre un avantage déterminant au niveau de la qualité de l'air par rapport aux véhicules essence et diesel, pour des autonomies et des puissances de véhicules de plus en plus proches de celles des véhicules traditionnels.

Sur le site de la ZAC du Bois de Plaisance, les biodéchets valorisables seront très certainement en quantités insuffisantes pour justifier à une unité de méthanisation, même de petite taille. En revanche, la faisabilité d'une unité de valorisation traitant les biodéchets provenant d'un périmètre de collecte à l'échelle de l'unité urbaine Compiègne mériterait probablement d'être explorée.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Biogaz				
Installation	Chauffage direct		Cogénération	
Origine intrant	Sur site	Territoire	Sur site	Territoire
Caractéristiques techniques				
Productivité (kWh/kW/an)	3 000 – 5 000	3 000 – 5 000	6 560 – 7 380	6 560 – 7 380
Durée de fonctionnement (année)	20	20	20	20
Coûts				
Investissement (€/kW)	1 500 – 2 100	1 500 – 2 100	4600	4600
Exploitation fixe (€/kW/an)	80	80	-	-
Exploitation variable (€/MWh utile/an)	-	-	148,8	148,8
Coût de l'entrant (€/MWh utile/an)	-	13,6	-	1,3
Coûts de production (€/MWh utile) en fonction du taux d'actualisation				
	3,00 %	36,2 – 73,7	49,8 – 87,3	190,6 – 195,9
	5,00 %	40,1 – 82,8	53,7 – 96,4	198,8 – 205,0
	8,00 %	46,6 – 98,0	60,2 – 111,6	212,2 – 220,2
	10,00 %	51,2 – 108,9	64,8 – 122,5	222,0 – 231,1

Illustration 56: Hypothèses et coûts de production de la filière biogaz en industrie en France.

Source : ADEME, « Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'Industrie », mars 2018

Gisement local

Au niveau des entreprises identifiées ou susceptibles de s'installer sur la ZAC de Bois de Plaisance, il n'existe pour l'instant pas de gisement de déchets fermentescibles susceptibles d'être méthanisés.

Cependant, on peut relever de nombreux installations valorisant les matières fermentescibles, que ce soit sur le département ou même sur le territoire de l'Arc.

Méthanisation agricole

Département agricole, l'Oise est propice au développement de la méthanisation agricole. De nombreux de ces projets ont vu le jour : en septembre 2021, la Chambre d'agriculture de l'Oise recensait 13 unités de méthanisation agricole sur les 15 unités en fonctionnement sur le territoire, les deux plus importants étant celle de la Ferti Oise, à Coudun, et Valois énergie, à Senlis, tandis que 32 autres projets étaient en cours d'élaboration.

La finalité de ces projets est de produire du biométhane qui sera injecté dans le réseaux gazier, apportant ainsi une nouvelle source de revenus aux agriculteurs. L'ensemble des méthaniseurs représente une puissance totale d'un plus de 30MW, dont 28 MW sont d'origine agricole, soit 20 000 logements approvisionné en biométhane.

Les installations de méthanisation agricole s'approvisionnent en matières fermentescibles sur un périmètre de 15 km au maximum autour du méthaniseur, de façon à ce que les coûts de transport n'en pénalisent pas la rentabilité.

Les matières fermentescibles sont principalement des **cultures intermédiaires** à fort pouvoir méthanogène, produites entre deux cultures principales, qui n'arrivent pas au bout du cycle de mûrissement. Par exemple, entre la moisson le blé en été et le semis des betteraves au mois de mars de l'année suivante, l'intervalle est mis à profit pour une culture intermédiaire. Le méthaniseur se nourrit également de déchets agricoles et de produits agricoles non conformes à la distribution. Ce lit de fermentation est complété en récupérant les tontes des espaces verts, le printemps principalement.

Le digestat utilisé comme engrais que les agriculteurs vont épandre sur leurs terres, bouclant ainsi le cycle.

Pour accompagner le développement de ces projets et en faciliter l'acceptabilité sociale (parfois difficile du fait d'une mauvaise information du Grand Public qui craint des nuisances olfactives par exemple), une stratégie départementale a été mise en place - par la préfecture et la Chambre d'agriculture de l'Oise - structurant ainsi les projets et mettant en lien les différents acteurs jusqu'aux habitants.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

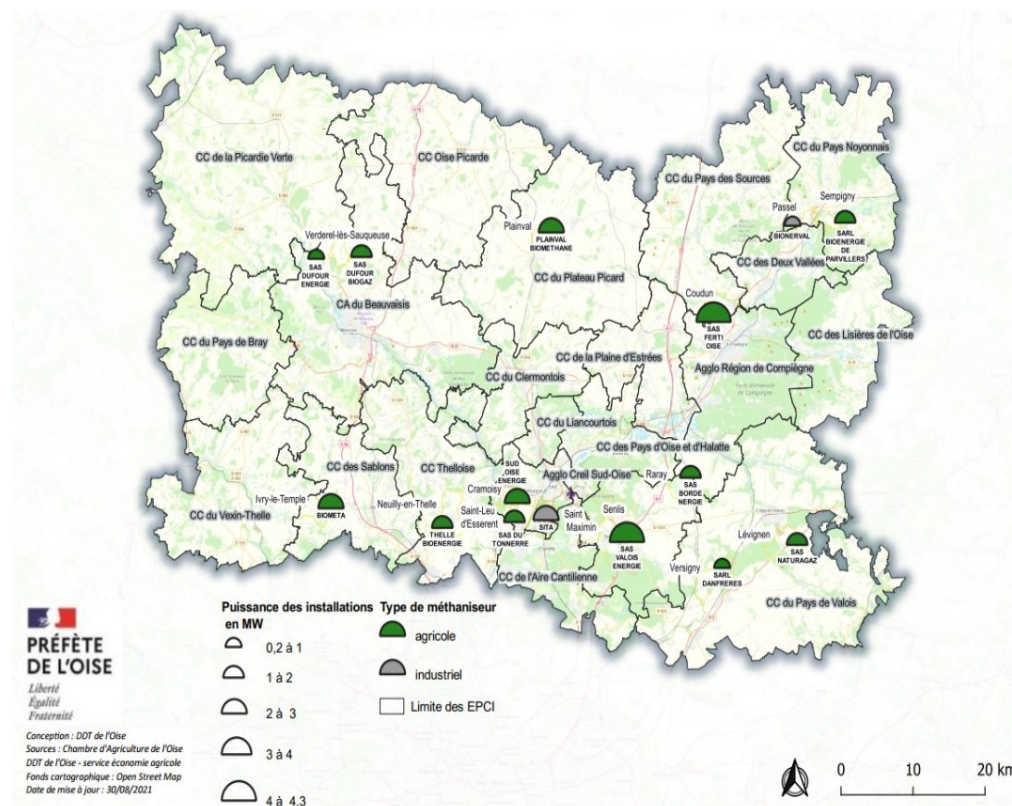


Illustration 57: Unités de méthanisation en fonctionnement dans l'Oise et puissance associée en MW

Méthanisation de boues de stations d'épuration

Depuis de nombreuses années, certaines stations de traitement des eaux usées procèdent à la méthanisation des boues qu'elles génèrent.

Le biométhane ainsi produit est utilisé sur place, par exemple pour chauffer les locaux et bureaux, pour alimenter une unité de cogénération, ou pour être injecté sur le réseau gazier.

C'est ainsi le cas pour les STEP de Choisy-au-Bac et de Lacroix-Saint-Ouen, cumulant une capacité de 132 000 équivalent-habitants, sur une douzaine de communes, dont Compiègne, Lachelle et Venette.

Autres matières fermentescibles

La méthanisation d'autres matières fermentescibles est également envisagée sur le département : un partenariat est en cours de réflexion avec la SMDO (Syndicat mixte du département de l'Oise) – qui gère la valorisation des déchets - pour intégrer les biodéchets, c'est-à-dire la revalorisation des invendus des grandes surfaces, des déchets des cantines, des déchets verts communaux ou encore des coopératives.

Autres filières de production de biométhane :

Méthanisation à partir d'algues de culture

En partenariat avec le Pôle Métropolitain regroupant les Agglomérations de Beauvais, Creil et Compiègne, le groupement constitué par l'Institut Polytechnique Uni-LaSalle , l'UTC et GRT Gaz travaille sur un projet de création à Beauvais du démonstrateur Algues 4 Biométhane (A4B) une plate-forme expérimentale de bio-méthanisation à partir de culture d'algues associées à des entrants agricoles. L'objectif est de trouver le bon mélange entre le fumier et les algues afin de pouvoir, à terme, utiliser un tel méthaniseur à l'échelle d'une grande ville. Ce projet prévoit en effet l'installation d'un immense méthaniseur pour alimenter le réseau de chauffage urbain de Beauvais.

Le démonstrateur Algues 4 Biométhane est le premier projet du pôle métropolitain de l'Oise et devrait permettre le développement d'installations plus importantes permettant, outre l'injection du biométhane produit dans le réseau gazier, de produire également des molécules à moyenne et à haute valeur ajoutée destinées à la Chimie Verte, à l'agro-alimentaire, etc

Méthanisation couplée à la pyrolyse gazéification

Pour mémoire, mentionnons le projet Synthane installé à Compiègne, associant ETIA Ecotechnologie et GRTgaz, et qui couple la méthanisation à la pyrolyse-gazéification (chauffage à très haute température de la matière organique en l'absence d'oxygène) afin de produire un biométhane à partir de la biomasse forestière et de plastiques non recyclables.

Cadre réglementaire

L'article 204 de la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement dite loi Grenelle 2, codifié à l'article L. 541-21-1 du code de l'environnement, prévoit que les personnes qui produisent ou détiennent une quantité importante de déchets composés majoritairement de biodéchets sont tenues d'en assurer le tri à la source en vue de leur valorisation organique.

Publié en juillet 2011, le décret sur le tri et la collecte des biodéchets définit les modalités de tri et de collecte séparée pour les producteurs de biodéchets qui produisent plus de 60 litres d'huiles usagées ou 10 tonnes de biodéchets par an. Cette obligation est entrée progressivement en vigueur entre 2012 et 2016.

Les modalités d'application de l'obligation du tri à la source des biodéchets par les gros producteurs ont été précisées par la circulaire du 10/01/12 du Ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement.

Ce cadre réglementaire a été renforcé par la loi du 17 août 2015 sur la transition énergétique pour la croissance verte, qui instaure l'obligation de généraliser le tri à la source des déchets à l'horizon 2025.

En ce qui concerne les installations de méthanisation, depuis octobre 2009, une rubrique ICPE n°2781, spécifique à la méthanisation a été créée. Prévoyant à l'origine un régime de déclaration et un d'autorisation, elle inclut depuis juillet 2010 un régime intermédiaire dit d'enregistrement. Auparavant, le classement des installations de méthanisation était effectué en 2170, 167c, 322B3 ou 2730 en fonction des déchets traités.

Le régime de l'installation (autorisation, enregistrement ou déclaration) définit les règles procédurales à respecter pour avoir le droit d'exploiter une unité de méthanisation ainsi que les mesures à respecter durant l'exploitation.

Concernant la micro-méthanisation en milieu urbain, il n'existe pour l'instant aucun cadre réglementaire spécifique et elle continue à relever de la réglementation complexe des ICPE. Les acteurs industriels restent donc dans l'expectative.

Les contraintes d'implantation sont importantes:

- La distance entre les digesteurs et les habitations occupées par des tiers ne peut pas être inférieure à 50 mètres,
- l'aire ou les équipements de stockage des matières entrantes et des digestats sont distants d'au moins 35 mètres de toute installation souterraine ou semi-enterrée utilisée pour le stockage des eaux destinées à l'arrosage des cultures maraîchères.

Le stockage de gaz, matière dangereuse, en zone urbaine, dans un secteur où des actes de dégradation peuvent être commis, doit également être pris en considération.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

L'arrêté du 13 décembre 2016. fixe les conditions d'achat pour l'électricité produite par les installations utilisant à titre principal le biogaz produit par méthanisation de déchets non dangereux et de matière végétale brute implantées sur le territoire métropolitain continental d'une puissance installée inférieure à 500 kW introduit de nouveaux mécanismes pour ces installations (hors STEP et ISDND).

Concernant les conditions de rachats du biométhane injecté sur le réseau gazier, l'évolution rapide de la réglementation ne permet pas de lister les textes s'y appliquant.

Le Club Biogaz de l'ATEE informe de l'actualité réglementaire sur son site : <http://atee.fr/biogaz/injection-du-biogaz-dans-le-r%C3%A9seau>

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Valorisation d'un gisement local (déchets carnés, déchets de restauration)	La méthanisation est méconnue des élus et du grand public. La crainte non justifiées de nuisances (odeurs, risque d'explosion) nécessite un travail d'information important afin d'éviter les réactions de rejet.
L'injection sur le réseau gazier permet de découpler dans le temps et dans l'espace la production de méthane et son utilisation.	Contraintes réglementaires pouvant être fortes (installation classée)
Les tarifs actuels de rachat du biométhane sont attractifs et devraient le demeurer compte tenu du contexte géopolitique actuel et de la politique de décarbonation de l'économie.	Incertitude sur les tarifs futurs du rachat de l'énergie (gaz et/ou électricité), mais l'auto-consommation peut réduire les risques.
Des technologies existent permettant de méthaniser des volumes relativement réduits de déchets organiques, et pouvant s'intégrer facilement dans un site d'activités économiques de type ZAC.	

Synthèse sur la méthanisation

Les informations actuellement disponibles concernant l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance ne permettent pas d'identifier de gisement de matières organiques fermentescibles susceptibles d'être méthanisées.

En revanche, l'utilisation de biométhane acheté avec la garantie d'origine apparaît possible pour alimenter les chaufferies et les équipements de process fonctionnant habituellement au gaz naturel fossile.

Dans l'optique d'une labellisation « bas carbone » de la ZAC, la mutualisation des achats de biométhane serait certainement intéressante.

Géothermie

La ressource

La géothermie désigne l'exploitation de l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur, puis le cas échéant en énergie mécanique et électrique (utilisation de la vapeur dans un groupe turbo-alternateur) .

Pour capter l'énergie géothermique, on fait circuler un fluide dans les profondeurs de la Terre. Ce fluide peut être celui d'une nappe d'eau chaude captive naturelle, ou de l'eau injectée sous pression pour fracturer une roche chaude et imperméable. Dans les deux cas, le fluide se réchauffe et remonte chargé de calories (énergie thermique). Ces calories sont utilisées directement ou converties partiellement en électricité.

On distingue typiquement :

- La Géothermie profonde de haute énergie avec une température de l'ordre de 150° C ou plus, est notamment utilisée pour la production d'électricité ou en application industrielle, avec des forages allant jusqu'à plusieurs milliers de mètres de profondeur ;
- La Géothermie basse énergie capable de produire de la chaleur directement. Elle nécessite la mise en place d'un réseau de capteurs enterré horizontalement ou verticalement captant les calories du sol ou de la nappe d'eau souterraine. Les échanges de chaleur entre les fluides s'effectuent par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur eau/eau ou sol/eau (PAC) fonctionnant à l'électricité. Des forages de 1 000 à 2 000 m peuvent fournir une eau entre 50 et 80°C, utilisée directement ou à l'aide de pompes à chaleur ;
- La Géothermie dite de « très basse énergie » et/ou « de minime importance » pour la production de chaleur par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur et permettant de chauffer et climatiser des bâtiments ou des réseaux de chaleur avec des forages de moins de 200 m :
 - ✓ sur champ de sondes ;
 - ✓ sur aquifères superficiels.

Gisement

Géothermie profonde

Le bassin parisien qui s'étend au sud de l'Oise est un bassin sédimentaire présentant un fort potentiel pour la géothermie profonde, le sud picard disposant toutefois de températures moins élevées (< à 70°C) qu'en Île 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 5000 équivalents logements.

Géothermie très basse température sur nappes superficielles

Cette technologie est particulièrement adaptée pour le chauffage de bâtiments de grande taille, logements collectifs, tertiaires, industrie, ou l'alimentation de réseaux de chaleur basse température, une pompe à chaleur étant nécessaire dans tous les cas (à noter qu'un rafraîchissement « passif » des locaux en été peut être réalisé par freecooling si l'installation a été dimensionnée à cette fin)

Selon le Schéma Régional Climat Air Energie de l'ex-région Picardie et sur la base des informations communiquées par le BRGM, l'Oise dispose de 2 aquifères importants permettant d'envisager le développement de la géothermie très basse température sur nappes superficielles :

- 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 (l'équivalent de 200 logements collectifs peu performants) ;
- les nappes de l'Eocène recouvrent la Craie au sud de la région, notamment l'Oise et sont exploitables.

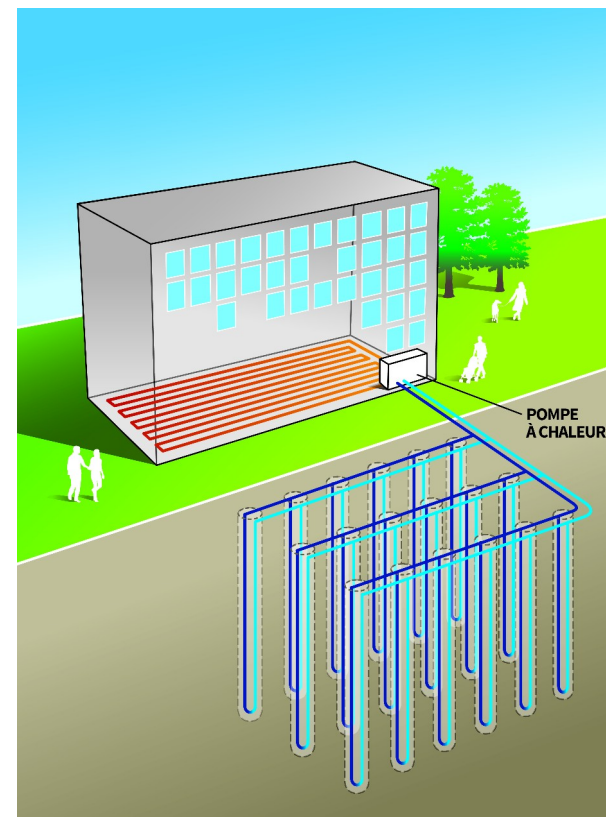
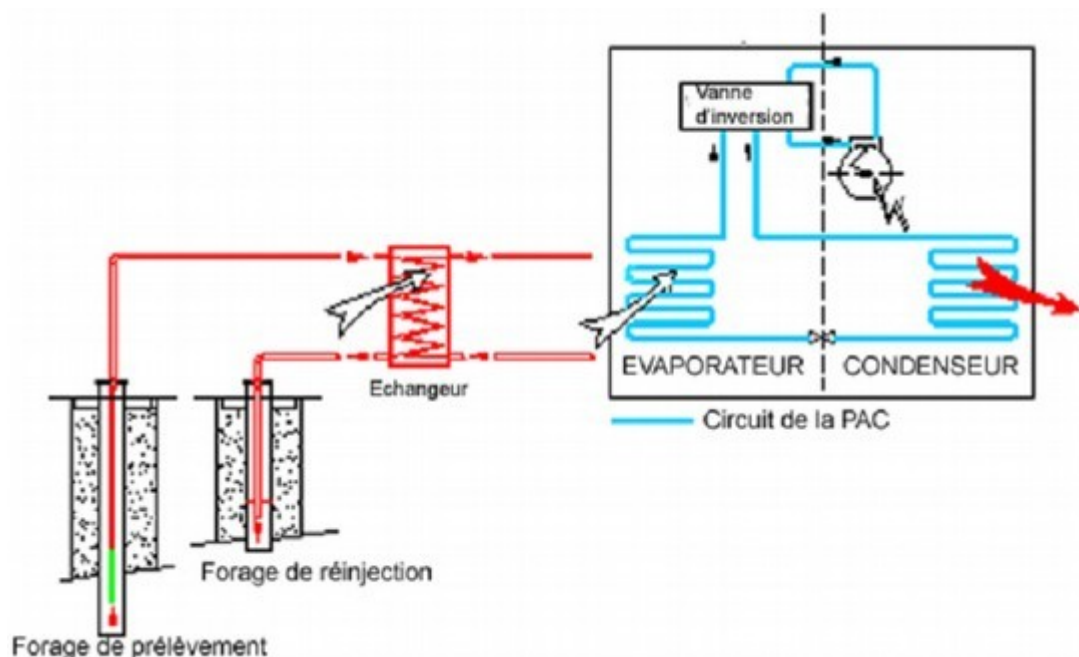


Illustration 58: Géothermie sur aquifère : chaleur extraite d'une nappe d'eau souterraine, prélevée et réinjectée dans le sous-sol par un doublet de forages. Sources : ALTO-BRGM, et ADEME

Géothermie sur sondes verticales

Les sondes verticales peuvent être implantées quasiment partout dès lors que les contraintes techniques (zones urbaines denses par exemple) ou réglementaires (zone de protection de captage) le permettent.

La productivité est en moyenne de 50 W/m pour des longueurs inférieures à 100 m (au-delà une procédure d'autorisation est requise).

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Cette technologie est à privilégier pour l'habitat individuel afin de limiter la taille des champs de sondes (une à deux sondes nécessaires selon la taille et la performance thermique du bâtiment) qui peuvent néanmoins être constitués de plusieurs dizaines de puits.

Potentiel de production local

D'après les données hydrogéologiques disponibles et l'étude géotechnique réalisée par le cabinet ECR Environnement sur le secteur, la zone d'étude est vraisemblablement baignée par la nappe de la craie établie vers 20/25 m de profondeur par rapport au terrain naturel actuel.

En revanche, les nappes superficielles sont inexistantes, selon les informations de l'étude d'impact de l'extension du parc d'activités du Bois de Plaisance.

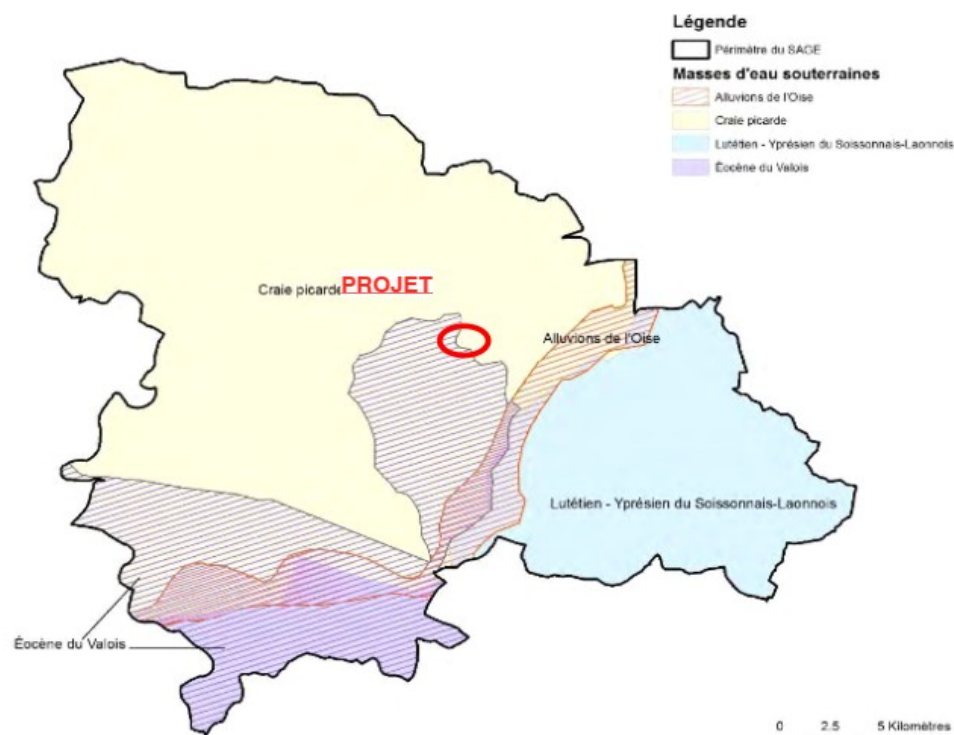


Illustration 59: Cartographie des masses d'eau souterraines concernant la ZAC de Bois de Plaisance

La carte ci-après précise l'importance de ce gisement exploitable au niveau de la ZAC de bois de Plaisance :

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

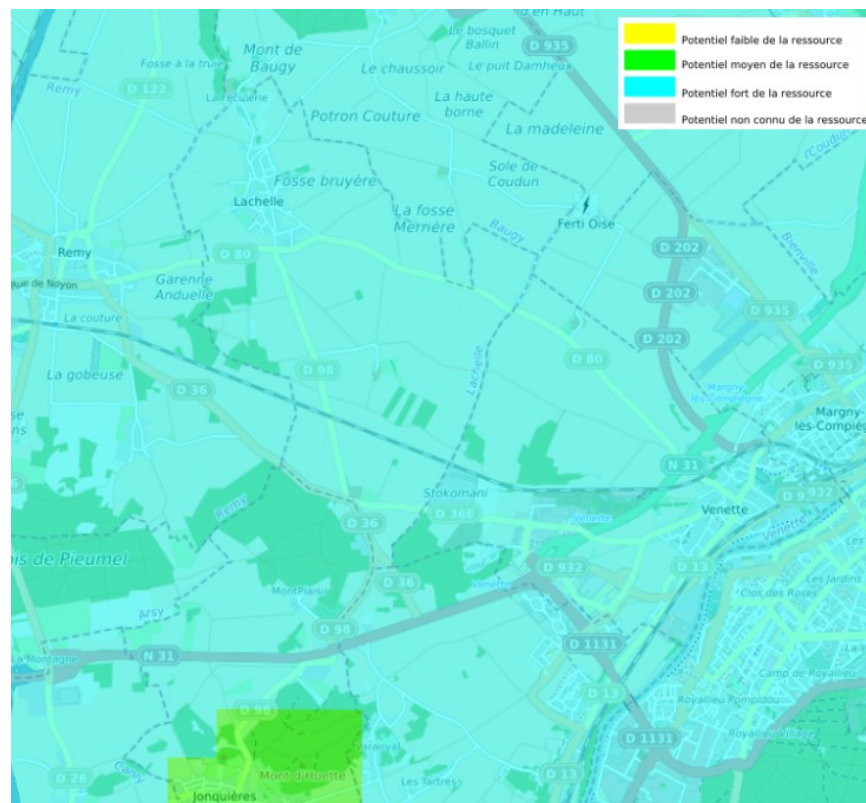


Illustration 60: Cartographie du gisement géothermique autour de la ZAC de Bois de Plaisance. - Source : BRGM

Sous réserve d'une confirmation par une étude géologique dédiée, la valorisation de l'énergie géothermique sur le périmètre de la future extension de la ZAC apparaît donc possible et probablement économiquement intéressant.

Cette valorisation permettrait de chauffer les bâtiments isolément, ou encore par le biais d'un réseau de chaleur plus ou moins étendu.

Il serait également possible de valoriser ce gisement géothermique en produisant du froid par le biais de machines à absorption utilisant des couples eau/bromure de lithium (pour obtenir des températures positives) ou eau/ammoniac (pour les températures négatives).

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Cette production de froid permettrait être utilisée par les entrepôts frigorifiques présents sur la future ZAC, mais également pour la climatisation des autres bâtiments.

Un réseau de chaleur alimenté par un ou plusieurs doublés géothermiques permettrait de desservir non seulement les bâtiments de la zone, mais également les quartiers voisins.

Conditions de mise en oeuvre

La mobilisation de l'énergie géothermique s'opère à l'échelle d'un bâtiment ou de plusieurs petits bâtiments., voire d'un quartier.

Des pompes à chaleur pourront être prévues en chaufferies des bâtiments. Dans ce cas, les pompes à chaleur seront dimensionnées à seulement 30 % ou 50 % des besoins en puissance pour couvrir 50 % à 80 % des besoins thermiques. Une chaudière gaz ou bois, des panneaux solaires ou un appoint électrique peuvent assurer la relève ainsi que la production d'ECS si nécessaire, les pompes à chaleur se prêtant mal à la haute température et les performances optimales étant observées pour des régimes d'eau les plus faibles possibles.

Il pourra être intéressant de mettre en place de la géothermie au niveau des lots activités et tertiaires, surtout si les besoins sont réduits comme le prévoit la Réglementation Thermique. Au niveau des bâtiments de l'extension de la ZAC, la pertinence de la solution géothermique dépendra de l'activité qui y sera installée.

Si cette activité nécessite des besoins énergétiques relativement faibles et continus, la géothermie peut être envisagée. En revanche, si des activités industrielles demandant beaucoup d'énergie et par intermittence sont installées, la géothermie n'est pas compatible avec cet usage.

Les installations de géothermie nécessitent des emprises au sol relativement importantes :

- Pour les capteurs horizontaux, la surface à mobiliser est de 1,5 à 2 fois la surface à chauffer. Dans le cas d'une zone d'activités, cette technologie n'est pas pertinente (parking, voirie, ...)
- Pour les capteurs verticaux (sondes ou forages), l'emprise au sol est plus réduite, mais le champ de sondes ou les forages doivent respecter des distances minimales de séparation. Les sondes peuvent selon les cas être introduites dans les piliers de fondation (fondations «thermo-actives»).

En France, le coût total de production des pompes à chaleur géothermiques est estimé entre 52 €/MWh et 129 €/MWh pour la géothermie sur aquifère superficiel, et entre 70 €/MWh et 135 €/MWh pour la géothermie superficielle sur champs de sondes.

Cette plage de variation s'explique notamment par le coût d'investissement, le coût de mobilisation de la ressource (profondeur de l'aquifère ou longueur de sonde), et le taux d'actualisation.

Le tableau ci-après présente les coûts de production de la géothermie TBE appliquée à des bâtiments en France, tels qu'observés en 2017.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Géothermie TBE				
Installation	Sur champ de sondes		Sur aquifère / nappe	
Puissance	100 < 500 kW	> 500 kW	100 < 500 kW	> 500 kW
Caractéristiques techniques				
Productivité (kWh/kW/an)	1800	1800	1800	1800
Durée de fonctionnement (année)	20	20	20	20
Coûts				
Investissement (€/kW)	1 200 – 1 800	1 300 – 2 000	500 – 1 400	700
Exploitation fixe (€/kW/an)	45 – 60	45 – 60	60 – 90	60 – 90
Coûts de production (€/MWh utile) en fonction du taux d'actualisation				
3,00 %	69,8 – 100,5	73,5 – 108,0	52,0 – 102,3	59,5 – 76,1
5,00 %	78,5 – 113,6	83,0 – 122,5	55,6 – 112,4	64,5 – 81,2
8,00 %	92,9 – 135,2	98,6 – 146,5	61,6 – 129,2	72,9 – 89,6
10,00 %	103,3 – 150,8	109,8 – 163,8	66,0 – 141,4	79,0 – 95,7

Tableau 18: Hypothèses et coûts de production de la géothermie TBE en industrie en France.

Source : ADEME, « Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'Industrie », mars 2018

Par ailleurs, l'animation géothermie, de l'association UniLaSalle, l'ADEME Hauts-de-France et la Région Hauts-de-France ont mené une étude des coûts de la géothermie dans la Région Hauts-de-France en analysant une cinquantaine d'opérations conduites sur la période 2015-2020, afin de se concentrer sur des données régionales et plus récentes.

Les données ci-après concernent les coûts observés pour des installations de géothermie de Très Basse Energie assistées par pompe à chaleur sur sondes et sur nappes.

Ces coûts observés ne préjugent pas des temps de retours sur investissement des installations qui demeurent spécifiques à chaque projet.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Tableau 19: Coûts de la géothermie sur sondes Très Basse Energie assistée par pompe à chaleur en Hauts-de-France - Source : UniLaSalle

Prestations	Coût moyen observé (€ H.T.)	Coût minimum observé (€ H.T.)	Coût maximum observé (€ H.T.)
Etude de géothermie sur sondes (hors forage d'essai)	9 700 €	2 750 €	20 050 €
Forage d'essai	107 €/ml	75 €/ml	151 €/ml
Essais (test de réponse thermique, dimensionnement du champ de sonde)	5 300 €	3 250	11 500 €
Etude de faisabilité thermique	4 700 €	3 200 €	6 500 €
Coûts de chantiers annexes	100 /ml	70 €/ml	210 €/ml
Pompe à chaleur	530 €/kW sortie PAC	195 €/kW sortie PAC	645 €/kW sortie PAC
Régulation et métrologie	290 €/kW sortie PAC	100 €/kW sortie PAC	760 €/kW sortie PAC
Emetteurs	36 % des investissements de surface	11% des investissements de surface	67% des investissements de surface

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Tableau 20: Coûts de la géothermie sur nappe Très Basse Energie assistée par pompe à chaleur en Hauts-de-France – Source : UniLaSalle

Prestations	Coût moyen observé (€ H.T.)	Coût minimum observé (€ H.T.)	Coût maximum observé (€ H.T.)
Etude de géothermie sur nappe (hors forage d'essai)	13 600 €	3 600 €	33 300 €
Forage d'essai	790 €/ml	290 €/ml	1 660 €/ml
Essais (pompage par palier, pompage longue durée, tests d'absorption, analyses d'eau, diagraphies et pas- sages caméra, aménagements et équipements)	22 700 €	9 500 €	60 400 €
Etude de faisabilité thermique	12 250 €	3 200 €	39 150 €
Coûts de chantiers annexes	1 140 /ml	155 €/ml	4 000 €/ml
Pompe à chaleur	220 €/kW sortie PAC	145 €/kW sortie PAC	365 €/kW sortie PAC
Régulation et métrologie	290 €/kW sortie PAC	100 €/kW sortie PAC	760 €/kW sortie PAC
Emetteurs	36 % des investissements de surface	11% des investissements de surface	67% des investissements de surface

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Cadre réglementaire

Un projet de géothermie sur aquifère est soumis à la loi sur l'eau et au code minier.

Le code de l'environnement et le code de la santé publique peuvent également s'appliquer ainsi que des réglementations locales, non spécifiques à la géothermie de très basse température, peuvent s'appliquer : la réglementation relative à la préservation de la ressource en eau potable et de la qualité des nappes souterraines, la réglementation relative aux enjeux du sol et sous-sol (sols pollués, stockage de gaz et hydrocarbures, mouvement de terrain, ...).

Code minier : Une synthèse des différentes procédures prévues par le Code minier et applicables aux opérations géothermiques est présentée ci-après.

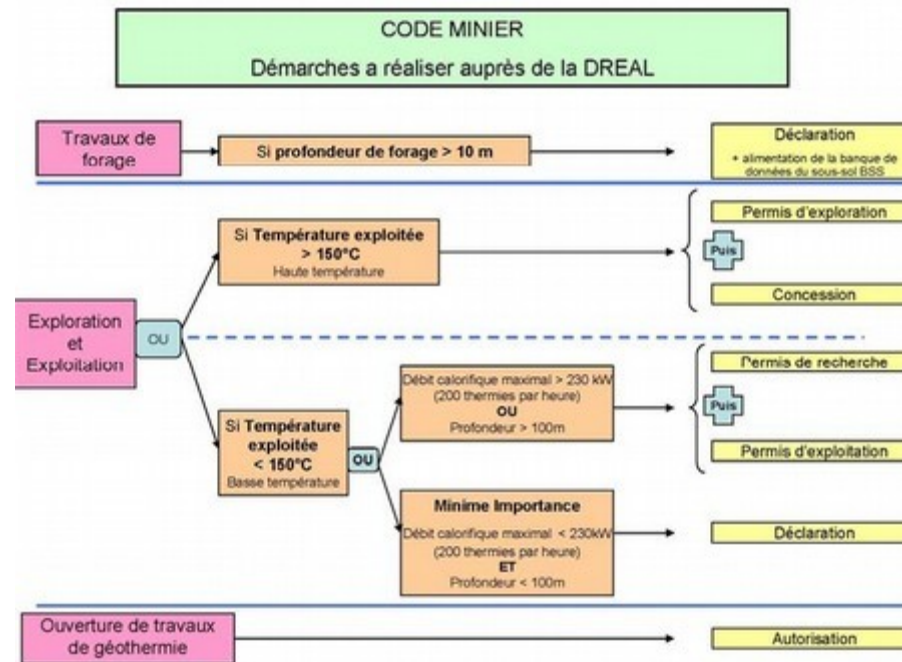


Illustration 61: Synoptique des procédures réglementaires imposées par le Code Minier concernant des projets géothermiques

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Code de l'environnement:

Le Code de l'environnement ne traite pas de la géothermie en particulier, mais uniquement, dans le cadre de la préservation des ressources en eau et de la prévention des pollutions, des risques et des nuisances associés à certaines activités pouvant avoir un impact sur la ressource en eau. En particulier, les dispositions exposées dans la partie du code relative à l'eau et aux milieux aquatiques (Livre II, Titre 1er) et dans la partie du code relative aux ICPE2 (Livre V, Titre 1er) peuvent concerner les opérations de géothermie

Les procédures du Code de l'environnement applicable à la géothermie sont présentées dans l'illustration ci-après.

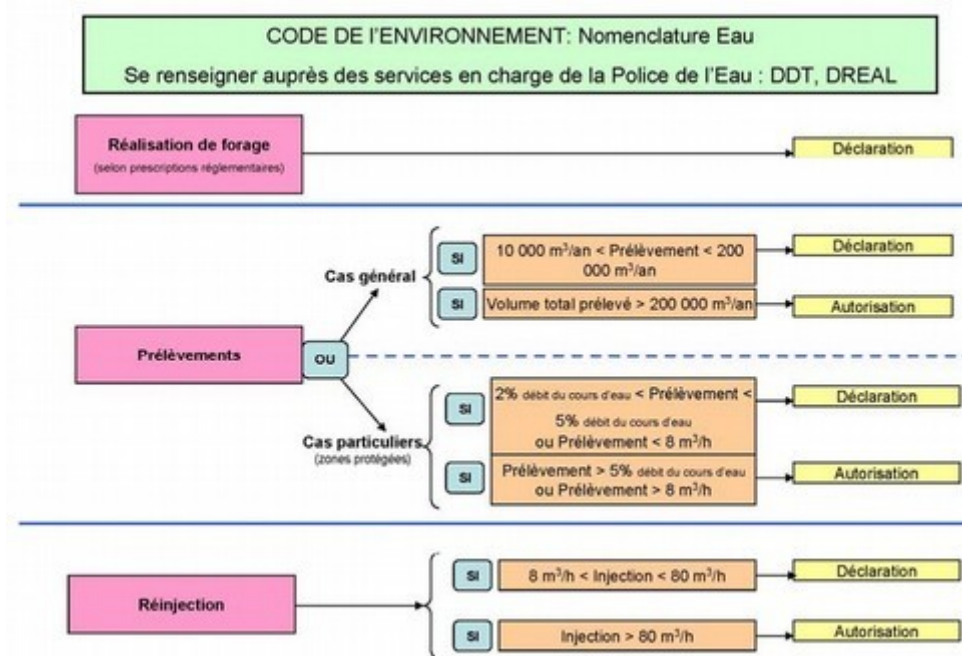


Illustration 62: Synoptique des procédures réglementaires imposées par le Code de l'Environnement concernant des projets géothermiques

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Les principaux textes d'application sont les suivants

Les décrets :

- ✓ Le décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié ;
- ✓ Le décret n°2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- ✓ Le décret n°2015-15 du 8 janvier 2015 ;
- ✓ Le décret n°2016-835 du 24 juin 2016 relatif à l'obligation d'assurance prévue à l'article L. 164-1-1 du code minier et portant diverses dispositions en matière de géothermie ;

Les arrêtés :

- ✓ L'arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables à la géothermie de minime importance ;
- ✓ L'arrêté du 25 juin 2015 relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance ;
- ✓ L'arrêté du 25 juin 2015 relatif à la qualification des entreprises de forage en matière de géothermie de minime importance ;
- ✓ L'arrêté du 25 juin 2015 relatif à l'agrément d'expert en matière de géothermie de minime importance ;
- ✓ L'arrêté du 4 septembre 2015 portant agrément des experts en matière de géothermie de minime importance ;
- ✓ L'arrêté du 5 août 2016 modifiant l'arrêté du 4 septembre 2015 ;
- ✓ L'arrêté du 9 octobre 2017 modifiant l'arrêté du 4 septembre 2015.

Conformément au décret n°2015-15 du 8 janvier 2015, il est prévu que pour les activités et installations relevant de la géothermie de minime importance (dont les critères sont fixés au paragraphe II de l'article 3 du décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié) :

- une déclaration soit établie conformément à l'article 22-2 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- la carte des zones relatives à la géothermie de minime importance soit prise en considération lors du choix de la localisation du forage d'un échangeur géothermique ;
- l'ouvrage géothermique soit mis en œuvre, par une entreprise de forage qualifiée, selon l'arrêté des prescriptions générales prévu par l'article 22-5 du décret n°2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- sur les zones orange, un expert agréé atteste de la compatibilité du projet aux regards des intérêts du code minier notamment la préservation de la solidité des édifices publics et privés et de la ressource en eau.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

D'autres prescriptions locales, non spécifiques à la géothermie de très basse température, peuvent s'appliquer : la réglementation relative à la préservation de la ressource en eau potable et de la qualité des nappes souterraines, la réglementation relative aux enjeux du sol et sous-sol (sols pollués, stockage de gaz et hydrocarbures, mouvement de terrain, ...).

Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Valorisation d'un gisement local, probablement abondant, gratuit, renouvelable et inépuisable	Pression croissante sur la ressource locale, exploitée par d'autres installations géothermiques ou des captages d'eau pour usage industriel
Bilan carbone quasi-nul lors de la phase d'exploitation	Contraintes réglementaires pouvant être fortes en ce qui concerne les puisages et rejets dans la nappe phréatique.
L'énergie captée peut servir au chauffage des locaux (pompe à chaleur), mais également pour le rafraîchissement d'été.	Connaissance imparfaite de la géologie à l'échelle de la ZAC : il convient d'être prudent et d'effectuer des études préalables, des micro-zones défavorables pouvant exister.

Synthèse sur l'énergie géothermique

Le potentiel de la géothermie sur nappe phréatique et de la géothermie par sonde est relativement important sur la zone de la future extension de la ZAC du Bois de Plaisance sous réserve d'études spécifiques complémentaires.

Cette énergie peut être très bien valorisée pour les bâtiments d'activités et tertiaires mais n'est pas forcément compatible avec une éventuelle activité industrielle.

Potentiel aérothermique (pompes à chaleur air/air, air/eau)

La ressources

L'énergie aérothermique est l'énergie thermique présente sous forme de chaleur dans l'air ambiant.

Une pompe à chaleur (PAC) permet de transférer cette énergie thermique contenu dans l'air (source dite « chaude ») vers un milieu à chauffer (« source froide »).

Technologies de valorisation

La technologie la plus courante pour valoriser cette énergie thermodynamique met en jeu les lois de la thermodynamique : un gaz comprimé voit sa température augmenter. La chaleur produite peut être valorisée, via un échangeur, pour monter la température de l'air (PAC AIR/AIR) ou d'un fluide caloporteur circulant dans le bâtiment à chauffer (AIR/EAU).

Une pompe à chaleur thermodynamique nécessite donc un compresseur, généralement entraîné par un moteur électrique, mais qu'il est possible de remplacer par un moteur lent alimenté en gaz naturel, voire en biogaz.

La performance d'une pompe à chaleur est fonction de son Coefficient de Performance : un COP de 4 signifie que la PAC produit (en moyenne) 4kWh de chaleur pour 1 kWh d'énergie consommée pour l'entraînement de son compresseur.

Son rendement dépend des variations de température : il sera d'autant plus faible que les écarts de température seront marqués entre l'intérieur à chauffer et l'extérieur où l'air est puisé. Pour cette raison, les PAC sont intéressantes pour assurer le chauffage « basse température » (plancher chauffant, radiateurs acier de grande dimension), et dans des zones aux hivers modérés. En revanche, elles sont inadaptées pour alimenter des radiateurs anciens (par exemple en fonte) ou pour produire de l'eau chaude à température élevée (process, établissements hospitaliers, par exemple).

La production d'ECS à température « normale » (50°C) est cependant possible avec des chauffe-eaux thermodynamiques ayant des COP élevés.

Gisement local

Avec des températures minimales moyennes de 2 à 3°C la climatologie du site n'est pas des plus favorable à l'utilisation de pompes à chaleur aérothermes, d'autant que des épisodes de grand froid peut faire en faire chuter le rendement, voire d'en interdire le fonctionnement par temps de brouillard givrant, possible sur les plateaux de l'Oise.

Ce risque pourra être sensiblement réduit en installant les unités extérieures à l'abri des vents porteurs d'humidité venant du secteur Nord, Nord Est.

Condition de mise en œuvre

Pour un système de chauffage ou de production d'ECS par aérothermie, ce sont le bruit ou la puissance des machines qui vont limiter l'installation. Il sera conseillé d'utiliser la PAC en appoint d'une chaufferie centralisée : la PAC assure la production quotidienne de chaleur, soutenue par la chaudière en période de pointe.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Les pompes à chaleur air/air sont peu recommandées au vu de leur faible performance et du caractère inesthétique des équipements et des nuisances sonores générées (installation en allège de fenêtre le plus souvent). Cependant, certaines PAC air/air, utilisées normalement pour assurer des besoins de climatisation, peuvent être utilisées pour le chauffage.

Au plan économique, par l'effet levier qu'induit le Coefficient de Performance, à puissance de chauffage égale, une pompe à chaleur consomme 3 à 4 fois moins d'énergie qu'un système conventionnel (convecteur électrique par exemple).

En fonctionnement, une pompe à chaleur coûte entre 3 et 7 €/m² par an d'électricité pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire hors abonnement électrique.

Les coûts d'investissement sont fonction de la technologie mise en œuvre (air/air, air/eau) et de la puissance, mais également du nombre d'émetteurs de chaleur, du linéaire de conduites les reliant à l'unité extérieure, etc.

Selon l'ADEME, les prix des machines observés sur le marché français varient comme suit :

- PAC air/air et air/eau : entre 60 et 90 euros TTC par m² chauffé.
- PAC sol/sol et sol/eau : entre 70 et 100 euros TTC par m² chauffé

Cadre réglementaire

Les PAC aérothermiques sont soumises à un certain nombre d'obligations réglementaires :

Décret N°2007-737 du 7 mai 2007

Ce décret concerne les appareils et les installations individuelles de climatisation et pompes à chaleur, lorsque leur charge en fluide frigorigène est supérieure à 2 kg. Il traite particulièrement de la récupération des fluides et de la justification professionnelle de l'entreprise assurant la mise en place et la maintenance.

Décret N°2006-1099 du 31 août 2006

Ce décret concerne la lutte contre les bruits de voisinage et indique des valeurs maximales entre le niveau ambiant et celui constitué par l'ensemble des bruits habituels.

Directive sur les Déchets d'Équipements Électriques et Electroniques - DEEE

La Directive Européenne 2002/96/CE sur les DEEE a été transposée en droit français par le décret 2005-829 du 20 juillet 2005 (revu avec le décret n°2012-617 du 2 mai 2012). Ce décret oblige les fabricants et distributeurs des équipements concernés (notamment ceux fonctionnant grâce à des courants électriques) à faire reprendre et traiter les DEEE dans les règles de l'art.

Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Valorisation d'un gisement local, gratuit, renouvelable et inépuisable	Les PAC voient leur rendement décroître avec l'augmentation du différentiel de température entre source froide et source chaude : par grand froid, le rendement se rapproche de 1, ce qui signifie que la PAC ne présente pas d'avantage particulier par rapport à un chauffage électrique par convecteur beaucoup moins coûteux à l'installation.
Technologie mature, largement diffusée et bien connue de nombreux professionnels prescripteurs et installateurs.	Les PAC air/air peuvent générer des nuisances esthétiques et sonores
La réversibilité de fonctionnement permis par les PAC air/air (climatisation réversible) permet d'assurer un confort d'été appréciable .	Contraintes réglementaires pouvant être fortes en ce qui concerne les puisages et rejets dans la nappe phréatique.
Les coûts énergétiques sont trois à quatre fois inférieurs au chauffage électrique par effet joule (convecteurs)	Par grand froid et temps humide, le risque de givrage de l'unité extérieure est important, ce qui peut compromettre le chauffage.

Synthèse sur l'aérothermie

- Valorisant un gisement énergétique « gratuit » et inépuisable, l'énergie aérothermique présente un réel intérêt pour le chauffage des locaux et la production d'ECS. Cependant, les performances des PAC se dégradent à mesure que les températures sont plus basses.
- Un complément de chauffage est à prévoir pour 1 jour par an durant lesquels la température est négative.
- L'été, le rafraîchissement des locaux peut s'effectuer par le biais de PAC réversible.
- L'alimentation en électricité de la PAC peut s'effectuer par le biais de panneaux solaires photovoltaïques, mais l'installation PV doit être dimensionnée en conséquence. Une étude de faisabilité est indispensable.
- L'intégration architecturale devra être soignée afin de limiter les nuisances : bruits, impacts esthétiques, risques sanitaires (légionellose).

Energie de récupération

La ressource

Par « énergie de récupération » ou « énergie fatale », on entend une production d'énergie (le plus souvent, de chaleur) dérivée d'un site de production, qui n'en constitue pas l'objet premier, et qui, de ce fait, n'est pas nécessairement récupérée.

En France, près d'un tiers (140 TWh) de la consommation énergétique industrielle française ressort sous forme d'énergie fatale chaque année (Source : EDF). La récupération et la valorisation d'énergie fatale contribue aux objectifs sur les énergies renouvelables.

Les énergies fatales sont de diverses natures (chaleur, froid, gaz, électricité). Elles sont issues de process, d'utilités ou de déchets : cogénération, fours, tours aéroréfrigérantes, compresseurs, fumées, incinération, biogaz, réacteurs, ventilation des locaux, des eaux usées...

En dehors des usines d'incinération des ordures ménagère (UIOM), dans l'industrie également, on trouve de nombreuses sources de chaleur fatale. Les secteurs de la sidérurgie, de la chimie, du ciment, de l'agro-alimentaire ou encore du verre, produisent ainsi une grosse quantité de chaleur qui est souvent perdue dans l'atmosphère.

A coté de ces importantes sources de chaleur, souvent élevée, il existe un grand nombre de gisements d'énergie thermique associées à la production de froid par procédé thermodynamique (installation de réfrigération ou climatisation), aux installations informatiques (« data center »), ou au refroidissement de moteurs à combustion interne (par exemple, groupes électrogènes, piles à combustible, turbine gaz).

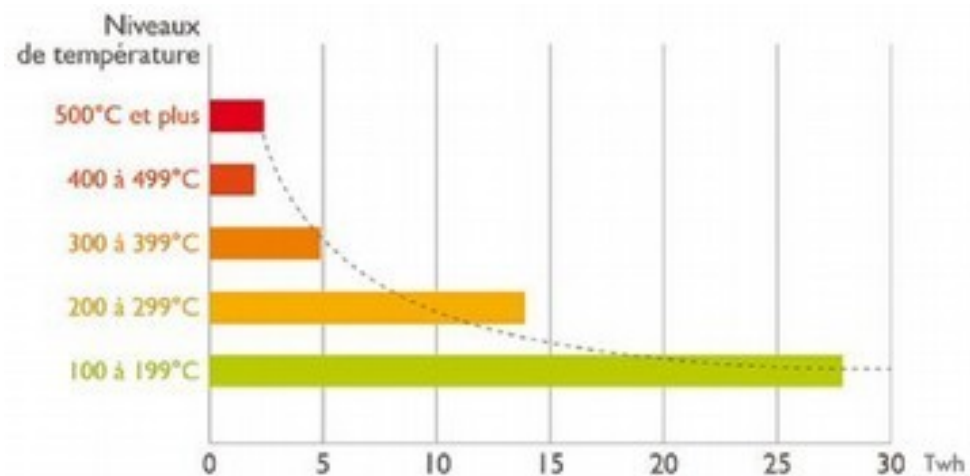


Illustration 63: Les gisements d'énergie fatale industrielle par niveaux de température - Source : ADEME

Gisement local

La présence probable sur le site de l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance d'entreprises logistiques disposant d'entrepôts réfrigérés (froid positif et froid négatif) pourrait constituer un gisement de chaleur fatale susceptible d'être exploité pour le chauffage des locaux attenants (bureaux) ou pour la production d'eau chaude sanitaire destinée au personnel.

La valorisation de ce gisement serait d'autant plus intéressante que les tourelles de refroidissement des groupes de froid alimentant les entrepôts frigorifiques jouxtent souvent des bureaux ainsi que l'illustre l'exemple suivant :

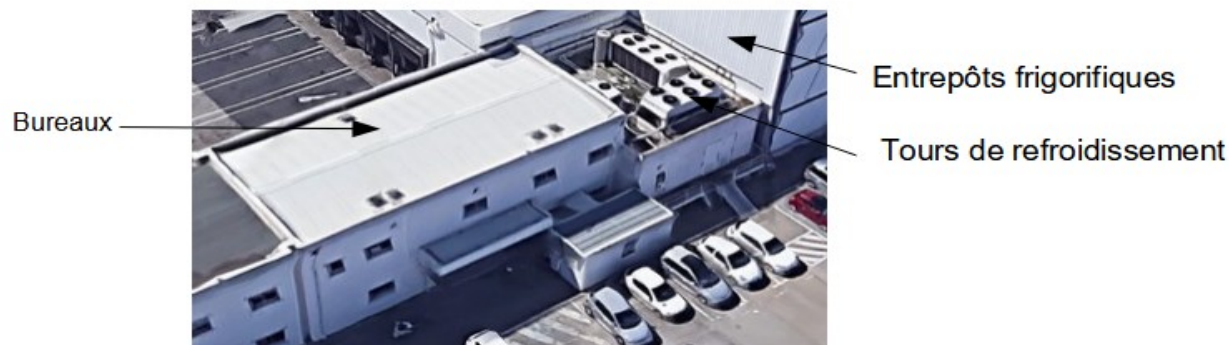


Illustration 64: Exemple de configuration permettant la valorisation de la chaleur fatale d'entrepôts frigorifiques. Source : ALKAEST Conseil

Technologies de valorisation

Les principales techniques de valorisation de la chaleur fatale sont bien connues et souvent simples à mettre en œuvre :

- Les échangeurs thermiques sont des technologies qui permettent de récupérer, en fin de process, un flux à haute température et de le combiner avec un flux froid de manière à le réchauffer. On peut procéder de façon inverse pour le refroidir. Cette méthode nécessite le recours à un groupe froid ou à un système de chauffage et génère donc d'importantes économies d'énergie.
- Les pompes à chaleur (PAC). Performantes pour de nombreuses installations industrielles, elles permettent à partir d'une énergie résiduelle à 40°C de remonter en température jusqu'à 80 ou 100 °C et de répondre ainsi à des besoins énergétiques sur le site.
- Le stockage thermique utilisé pour des opérations de type séquentiel. Il s'agit de récupérer l'énergie perdue dans une première opération pour initier une deuxième opération déphasée dans le temps tout en optimisant l'énergie fatale.

Moins connues sont les technologies permettant de valoriser en électricité les « basses températures » (machines à cycle de Rankine ou de Kalina couplée à un turbo-générateur).

Pour la production de froid, tant positif que négatif, les machines à absorption ou à adsorption, connues dès le XIX^e siècle, connaissent aujourd'hui un regain d'intérêt et permettent non seulement de valoriser les chaleurs fatales, mais également l'énergie solaire, la géothermie, etc.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

La récupération d'énergie fatale sur les systèmes de production de froid consiste le plus couramment en la récupération de chaleur sur une boucle d'eau dans le but de l'utiliser sur un système de chauffage ou de préparation d'eau chaude sanitaire. Ces récupérations d'énergie sont le plus souvent utilisables partiellement ou seulement de façon périodique, comme le chauffage et/ou la production d'eau chaude sanitaire ou pour le dégivrage des installations frigorifiques .

Le potentiel de récupération de chaleur le plus important se situe au niveau du condenseur de l'installation de réfrigération. C'est essentiellement pour des usages de chauffage que ce potentiel de chaleur est utilisé, et cela impose un circuit parallèle de refroidissement.

Toutefois, d'autres applications, externes mais également internes au système frigorifique sont possibles et utilisables à longueur d'année.

A l'échelle d'un îlot ou d'une zone plus importante, l'énergie des eaux usées ou épurées (température variable de 10 à 20°C selon les saisons et les régions) peut être valorisée, grâce à une PAC, sous forme de chaleur pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire ou le rafraîchissement de locaux (PAC réversibles).

Le système peut être installé dans des égouts qui ont assez de débit pour permettre la récupération thermique. L'efficacité du dispositif dépend en effet du débit des eaux usées qui doit être suffisant pour assurer une température constante. On estime que les eaux usées produites par 100 habitants permettent de chauffer 10 habitants.

Ce système a l'avantage de pouvoir se situer proche des preneurs de chaleur. Couplé à une chaudière et une pompe à chaleur, un tel dispositif permet éventuellement d'alimenter un chauffage collectif ou un petit réseau de chaleur

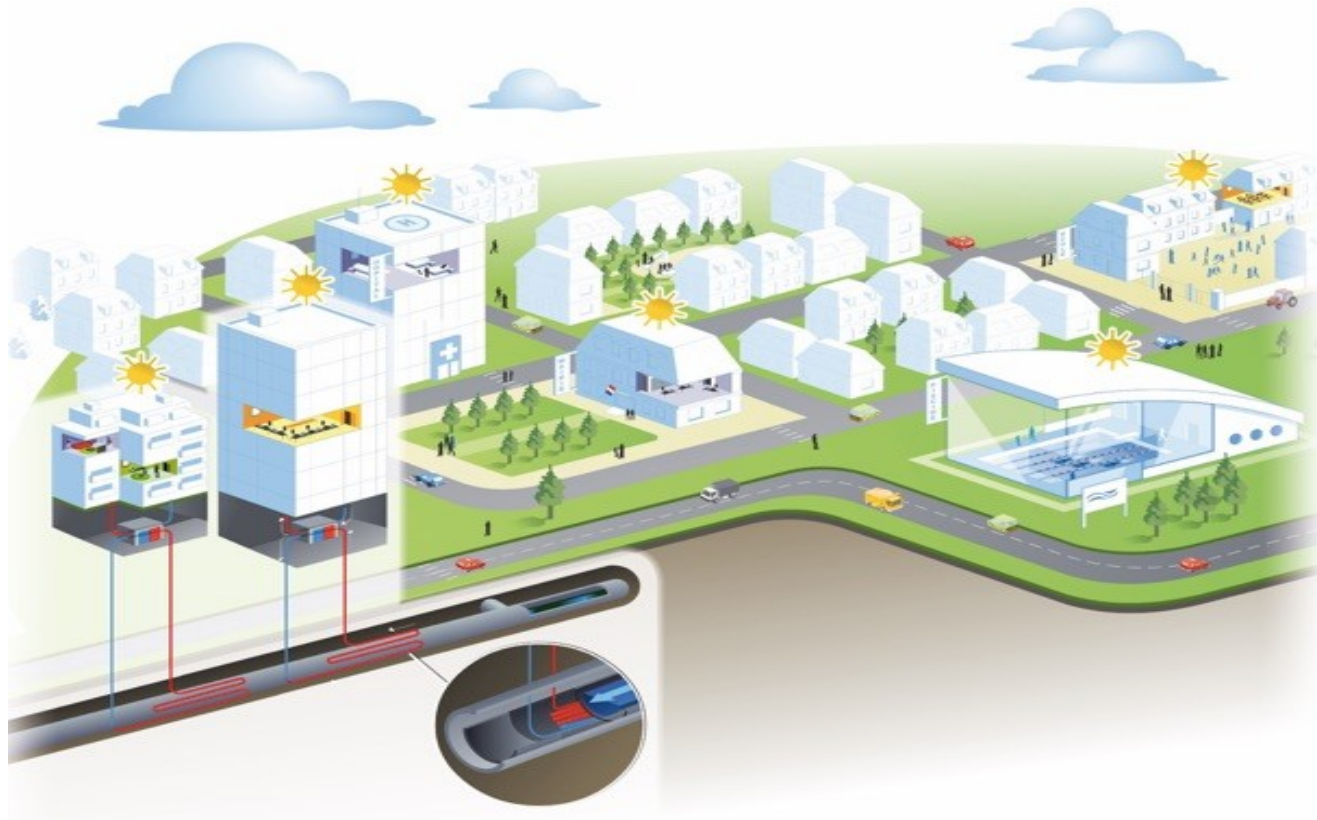
La récupération est donc indirecte avec déphasage possible des flux d'eau Froide Sanitaire et des eaux grises.

On distingue trois éléments clés :

- l'échangeur thermique, uniquement pour les récupérations sur eaux usées, est ajouté dans les canalisations existantes ou directement intégré dans les éléments préfabriqués des canalisations d'eaux usées (remplacement ou réseau neuf),
- la ou les pompes à chaleur (PAC) avec son circuit primaire,
- les émetteurs de chaleur (planchers chauffants basse température, ventilo-convecteurs, distribution de chaleur bitube ou monotube...).

Ce système de récupération de chaleur peut être mis en place dans certaines zones, comme les grands ensembles de bâtiments (écoles, complexes sportifs, bâtiments administratifs ...) ou dans des quartiers à forte consommation de chaleur. Le bâtiment à chauffer doit être proche de l'égout (500 mètres maximum) pour éviter les déperditions d'énergie.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles



*Illustration 65: Schéma de principe de la valorisation de la chaleur fatale des eaux usées.
Source : Degrés Bleux*

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Pour que la valorisation de la chaleur des eaux usées d'un réseau d'assainissement soit viable, des conditions de rentabilité économique minimum doivent être respectées :

- Débit d'eaux usées > 10 l/s (soit l'équivalent de 5 000 habitants);
- Proximité de la canalisation d'eaux usées et du secteur de projet;
- Nécessité d'avoir au moins 2 des 3 usages (chauffage, ECS, climatisation) pour avoir un appel de puissance continu toute l'année et permettre ainsi de réaliser un maximum d'économie.
- La puissance appelée doit provenir d'utilisateurs ayant un grand besoin en chauffage et être comprise entre 50 et 200 kW : des écoles, des crèches, immeuble public et centres commerciaux, hôpitaux, hôtels, piscines , des immeubles d'habitations.
- Petite distance entre le collecteur et la PAC (env 100m, Max 200m)
- La température du système pour l'utilisation de la chaleur (reflux) ne dépasse pas les 50° C Max.

Compte tenu de ces conditions et de la configuration du réseau public d'assainissement sur la zone d'étude, il n'apparaît pas envisageable de valoriser la chaleur des eaux usées sur le réseau d'assainissement.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Mode de valorisation	Technologie	Description
Captation/Transfert de chaleur	Echangeur thermique	La chaleur est <ul style="list-style-type: none"> - captée dans des échangeurs - transférée vers un fluide caloporteur - transportée vers le lieu d'utilisation
Augmentation du niveau de température	Pompe à chaleur Recompression Mécanique des Vapeurs	- la température ou la pression du fluide est augmentée en sortie Cela requiert un apport d'énergie (gaz ou électricité) qui est moindre que ce qui est produit en sortie
Transformation en électricité	Cycle de Rankine Cycle de Kalina	La chaleur est <ul style="list-style-type: none"> - captée dans des échangeurs - entraînement d'une turbine puis un générateur
Transformation en froid industriel	Machine à absorption ou adsorption	La compression nécessaire à la détente et donc à la production de froid est obtenue par ab ou adsorption sur un matériau solide, donc sans compresseur. Ce système est cyclé.

Tableau 21: Descriptifs et domaines d'application de technologies de valorisation de la chaleur fatale

Conditions de mise en œuvre

Les paramètres déterminants d'une installation de valorisation de la chaleur fatale sont :

- l'importance du gisement (quantité physique d'énergie thermique)
- le niveau de température de la source
- l'existence d'un besoin de chaleur à proximité
- la distance entre la source de chaleur fatale et la localisation du besoin de chaleur.

L'énergie fatale est valorisée à l'intérieur de l'entreprise qui la produit ou à l'extérieur, dans ce cas via un réseau de canalisations enterrés et un couple d'échangeur, similaire à un réseau de chaleur urbain.

La contractualisation de l'éventuelle vente de chaleur est à formaliser avec soin (garantie de fourniture, indexation du prix de l'énergie, etc.).

La mise en place d'une démarche de valorisation externe d'énergie fatale nécessite que les besoins en énergie thermique et les productions d'énergie fatale de chaque industriel soit connus sur le site par tous les acteurs.

Une cartographie, régulièrement mise à jour, peut-être réalisée par un bureau d'étude spécialisé afin de favoriser les initiatives.

Les typologies de projets de récupération sur condenseurs de groupes froids étant très diverses, les coûts sont plutôt détaillés par poste de dépense.

Selon la distance des tuyauteries de distribution de la chaleur et la nécessité d'ajouter une solution de stockage, les temps de retour sur investissement des projets de ce type sont autour de 2 à 4 ans.

Le tableau ci-après a été construit à partir des données de coûts par poste d'un retour d'expérience choisi comme un cas moyen.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Poste de coût	Coût unitaire moyen observé
Echangeur sur condenseur	35 € / kW
Echangeur sur désurchauffeur	190 – 380 € / kW
Ballon de stockage d'eau chaude	2,7 € / l
Electricité et automatismes	46 € / kW _{total}
Distribution de la chaleur	100 € / m _{linéaire}

Tableau 22: Détails des postes de coûts d'un projet de récupération sur condenseurs et désurchauffeurs de groupes froids. - Source : ADEME, « Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'Industrie », mars 2018

Cadre réglementaire

La directive européenne 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique rend obligatoire une analyse coûts-avantages pour la valorisation de la chaleur fatale à travers un projet de réseau de chaleur.

En application de cette Directive, depuis le 1er Janvier 2015, les ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) d'une puissance totale thermique supérieure à 20MW doivent réaliser une étude coûts-avantages de la valorisation de la chaleur fatale notamment via un réseau de chaleur, et cela en cas de rénovation substantielle ou de nouvelle installation, conformément à la directive du 25 octobre 2012 relative à l'efficacité énergétique.

L'état actuel des informations disponibles sur les entreprises qui s'établiront sur le site ne permet pas de savoir si cette obligation s'imposera.

Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Valorisation d'une énergie disponible sur place et « gratuite », peu soumise par nature aux variations saisonnières .	Il peut être complexe et coûteux de valoriser la chaleur fatale d'une installation existante, ancienne et mal adaptée .
Complémentarité possible des autres sources de chaleur renouvelables (solaire, géothermie).	Concurrence possible avec d'autres sources d'énergie renouvelables telles que le solaire : une étude technico-économique complète doit dicter le choix
L'énergie thermique peut être valorisée dans un réseau de chaleur ou une boucle d'eau tempérée alimentant d'autres bâtiments sur la ZAC	La récupération de la chaleur fatale des groupes de froids ne présente d'intérêt que si des besoins de chaleur significatif existent par ailleurs dans le bâtiment ou à proximité (réseau de chaleur)

Synthèse sur l'énergie de récupération

- Le potentiel d'énergie fatale est fortement dépendant des types d'industries qui s'installeront sur la l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance.
- Dans certains cas, le potentiel pourra être très important (par exemple sur des groupes de froid équipant des entrepôts frigorifiques) et être valorisé en interne ou en externe pour le chauffage des bâtiments, voire la production d'électricité ou de froid (climatisation ou process).
- Le recensement des sources d'énergie fatale et des besoins en énergie thermique tout au long du développement du programme permettrait de faciliter les échanges entre les industriels et de favoriser la mise en place de démarches de valorisation externe d'énergie fatale.

Création d'un réseau de chaleur EnR

Principes de fonctionnement d'un réseau de chaleur

Un réseau de chaleur est constitué d'une chaufferie centralisée et de canalisations de transports d'eau chauffée desservant des échangeurs thermiques situés dans des sous-stations de desserte ou des bâtiments (selon l'ampleur du réseau).

Dans le cadre de cette étude, il s'agit d'envisager la création d'une chaufferie alimentée par une énergie renouvelable.

A ce titre, plusieurs sources peuvent être utilisées a priori :

- La biomasse (bois déchiqueté) : la chaufferie est équipée de chaudière alimentée par du bois déchiqueté ;
- La géothermie sur nappe : la chaufferie est équipée d'une ou plusieurs pompes à chaleur reliées à deux forages puisant dans la nappe phréatique. Le contexte géologique rendait possible cette option pour la ZAC de Bois de Plaisance mais des investigations dépassant le cadre de cette étude devront le confirmer ;
- La solution «Boucle d'eau» consiste à valoriser une réserve d'eau (plan d'eau par ex.) comme source chaude d'une pompe à chaleur desservant les bâtiments raccordés au réseau de chaleur. Le gisement local est inexistant ;
- La valorisation en cogénération de biométhane agricole injecté sur le réseau gazier. Cette solution apparaît envisageable au niveau de la ZAE, mais devra faire l'objet d'une étude de faisabilité spécifique pour le confirmer.

Intérêts de recours à un réseau de chaleur

L'intérêt d'un réseau de chaleur repose sur les économies d'échelle et de ressources apportées par la mutualisation :

- Mutualisation de la livraison du combustible (prix négocié sur les volumes, sécurisation de l'approvisionnement, ...) ;
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre liées au transport ;
- Réduction des nuisances sonores et olfactives ;
- Mutualisation de l'investissement et de l'entretien : un système de production de chaleur pour l'ensemble des bâtiments de la ZAC ;
- Économie sur le prix d'achat de la chaleur qui doit être compétitive avec les énergies traditionnelles (gaz, électricité).

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

L'opportunité de recours à un réseau de chaleur s'apprécie au regard :

- De la densité desservie : distance entre bâtiments desservis la plus courte possible pour limiter les déperditions de chaleur ;
- De la demande en chaleur : un fort besoin en chaleur, sur une longue période de temps, apportera un temps de retour sur investissement plus rapide ;
- De la proximité de la ressource ;
- De la pérennité des filières locales.

Densité énergétique seuil

Afin de déterminer en première approche l'opportunité d'un réseau de chaleur à l'échelle d'un quartier, la valeur de la densité énergétique du futur réseau est utilisée comme indicateur. Il s'agit de l'énergie desservie par le réseau ramenée à la longueur du réseau.

Plus cette valeur est importante plus le réseau est rentable car il nécessite un investissement initial et des coûts de fonctionnement moindres pour une production d'énergie équivalente.

Cette approche permet d'identifier les réseaux potentiellement intéressants, une étude économique plus précise est ensuite nécessaire pour les réseaux retenus afin de déterminer si réellement ils présentent une opportunité.

En ce qui concerne les réseaux de chaleur alimentés par une chaufferie bois, en deçà de 4 à 5 MWh/ml par an, le coût d'amortissement du réseau a un impact important sur le prix de revient de l'énergie finale distribuée.

Biomasse Normandie et le Comité Interprofessionnel du Bois Énergie proposent une valeur «courante» de faisabilité de 3 MWh livrés/(ml.an). Ce seuil est un peu plus bas.

Nous retenons dans la présente étude la valeur seuil de 1,7 MW_{hef}/ml.an, correspondant au seuil de faisabilité technique retenu par le Fonds Chaleur de l'ADEME.

Evaluation sommaire de la densité énergétique d'un réseau

En faisant l'hypothèse qu'un réseau de chaleur emprunterait la voie principale desservant l'ensemble des lots de l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance, son extension représenterait environ 2 km.

Les besoins annuels de chaleur des bâtiments pouvant être construits sur le site ont été évalués à 4 300 MW_{hef}, ce qui amène à estimer la densité énergétique du réseau à 2,2 MW_{hef}/ml.an.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

En toute première approche, on peut estimer comme techniquement possible, mais probablement peu intéressant au plan économique la création d'un réseau de chaleur sur l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance.

Ceci devra cependant être confirmé par une étude de faisabilité approfondie, une fois mieux connus les besoins réels de chaleur des entreprises appelées à s'y installer.

Par ailleurs, on ne peut exclure l'intérêt économique que pourrait présenter un réseau de chaleur alimenté par la valorisation de la chaleur fatale d'un acteur industriel : l'énergie serait alors « gratuite » et la rentabilité du réseau bien mieux assurée.

Compte tenu du fait que l'aménagement de ces îlots relève principalement de l'initiative privée, il sera nécessaire de procéder au « classement » du réseau de chaleur afin rendre obligatoire le raccordement de toute installation d'un bâtiment neuf ou faisant l'objet de travaux de rénovation importants, dès lors que la puissance pour le chauffage, la climatisation ou la production d'eau chaude dépasse 30 kilowatts.

La procédure de classement d'un réseau de chaleur s'inscrit dans le cadre juridique défini par les articles L712-1 à L712-5 et le règlement R712-1 à R712-12 du Code de l'énergie, ainsi que l'arrêté du 22 décembre 2012 relatif au classement des réseaux de chaleur et de froid.

Trois conditions doivent être respectées afin qu'un réseau puisse être classé :

- Le réseau est alimenté à 50% ou plus par des énergies renouvelables et/ou de récupération (EnR&R), ce qui pourrait être le cas avec une chaufferie automatique alimentée en Bois Energie, ou bien par une pompe à chaleur
- Un comptage des quantités d'énergie livrées par point de livraison est assuré
- L'équilibre financier de l'opération pendant la période d'amortissement des installations est assuré

La décision de classement définit des zones dites zones de développement prioritaire (ZDP).

A l'intérieur de ces zones, le raccordement au réseau est obligatoire pour toute installation d'un bâtiment neuf ou faisant l'objet de travaux de rénovation importants, c'est-à-dire remplacement d'une installation de chauffage ou de refroidissement d'une puissance supérieure à 30 kW (ou remplacement d'une installation industrielle de production de chaleur ou de froid de plus de 30 kW).

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles

Une dérogation à cette obligation de raccordement est possible dans les cas suivants :

- les besoins de chaleur et de froid du bâtiment sont incompatibles techniquement avec l'offre du réseau
- le bâtiment ne peut être alimenté par le réseau dans les délais nécessaires à la satisfaction des besoins, sauf si l'exploitant du réseau met en place une solution transitoire
- une solution alternative alimentée par des énergies renouvelables et de récupération à un taux supérieur à celui du réseau est proposée.

Remarque : le statut public ou privé du réseau est sans incidence sur les possibilités de classement. Par ailleurs, L'obligation de raccordement n'existe donc que si le réseau de chaleur ou de froid apporte un bénéfice environnemental. Ces réseaux sont soumis à une TVA à taux réduit.

Création d'une boucle d'eau tempérée

Principe d'une boucle d'eau tempérée

Une boucle d'eau tempérée (BET) est un réseau d'énergie thermique, qui se différencie des réseaux de chaleur et/ou de froid classique. Elle fonctionne avec des pompes à chaleur réversibles raccordée à des sous-stations installées dans les différents lieux d'usage. Ces sous-stations sont équipées, soit de pompes à chaleur (génératrice) qui produisent l'eau chaude pour le chauffage (et le cas échéant l'eau chaude sanitaire) et l'eau froide pour le rafraîchissement dans les pièces des bâtiments, soit d'un échangeur en interface avec une source naturelle d'eau (nappe phréatique de surface dans le cas de la ZAC du Bois de Plaisance).

Dans le cadre d'un même bâtiment, la boucle d'eau est reliée à une panoplie de distribution, qui comprend plusieurs sous-réseaux. Chaque zone du bâtiment peut être équipée d'une pompe à chaleur individuelle de taille réduite. La production de chaleur se fait sur le lieu d'usage, ce qui permet d'ajuster la production thermique au plus près des besoins et réduit le risque de pertes thermiques liées à la distribution.

Le cœur de la technologie de la boucle d'eau tempérée repose sur les pompes à chaleur présentes dans chaque zones des bâtiments qui font le lien entre la température de l'eau de la boucle et la température demandée.

Le coefficient de performance (COP) de telle pompe à chaleur réversible peut aller jusqu'à 7, c'est-à-dire, en condition optimale, que pour chaque kWh d'électricité consommé, la pompe à chaleur en restitue 7 sous forme de chaleur – c'est l'une des valeurs les plus élevées du marché des pompes à chaleur.

La technologie de la boucle d'eau tempérée sur pompes à chaleur est composée de :

1. Un dispositif de captage (doublet géothermique sur nappe de surface ou autres ressources renouvelables, comme présenté dans le schéma précédent)
2. Un dispositif de mutualisation, qui correspond à la boucle d'eau,
3. Un dispositif de production (une pompe à chaleur),
4. Un dispositif de régulation (armoires électriques et contrôle-commande de l'installation).

La boucle d'eau tempérée se compose de plusieurs unités de production de chaleur, chacune installée dans une pièce ou dans un bâtiment raccordé à la boucle.

Phase II : identification des énergies disponibles et potentielles



Illustration 66: Les différentes sources de captage pour une boucle d'eau tempérée. Source : AFPG.

Ainsi, un système de production de chaleur décentralisée permet de fournir de la chaleur ou du refroidissement au cas par cas, selon les caractéristiques des zones dans lesquelles sont installées des pompes à chaleur.

Comme la température de la boucle reste modérée, celle-ci permet de fournir du chaud ou du froid facilement dans les différentes zones des bâtiments raccordés.

D'autre part, la boucle d'eau tempérée optimise les échanges calorifiques entre les différentes zones ou pièces du même bâtiment, en apportant de la chaleur/du froid en fonction des besoins et en récupérant l'énergie fatale produite par ces fonctions.

Elle est ainsi particulièrement adaptée aux bâtiments mixtes (dont les usages sont pluriels) et aux écoquartiers.

Cadre réglementaire

Le cadre réglementaire concernant une boucle d'eau tempérée est identique à celui régissant les réseaux de chaleur ou de froid.

La procédure de classement et les obligations de raccordement qui en découlent sont les mêmes.

Synthèse

La création d'une boucle d'eau tempérée sur le site de la ZAC Marché Gare permettrait de mutualiser les productions énergétiques et de satisfaire les besoins thermiques de chaque bâtiment qui y serait raccorder.

En première approche, la complémentarité des productions et des besoins énergétiques, la proximité des bâtiments et l'opportunité offerte par les travaux de requalification de la zone justifieraient la création de cette boucle d'eau tempérée.

Cependant, compte tenu du fait que l'aménagement de ces îlots relève principalement de l'initiative privée, il sera nécessaire de procéder au « classement » de cette boucle afin rendre obligatoire le raccordement de toute installation d'un bâtiment neuf ou faisant l'objet de travaux de rénovation importants, dès lors que la puissance pour le chauffage, la climatisation ou la production d'eau chaude dépasse 30 kilowatts.

Récapitulatif des énergies renouvelables mobilisables

L'étude des gisements énergétiques disponibles sur le site de l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance et des solutions techniques permettant de les valoriser a permis d'identifier leurs atouts et leurs limites que nous pouvons résumer dans le tableau ci-après :

Critère	PRODUCTION DE CHALEUR						Production d'électricité
	Solaire thermique	Aérothermie	Biomasse bois	Biométhane (production hors ZAC)	Géothermie sur sonde ou sur nappe	Energie fatale	Photovoltaïque
Gisement	Potentiel solaire moyen sur le site	Gisement aérothermique important	Ressources potentielles importantes au niveau local et régional.	Pas de gisement sur site, mais possibilité de fourniture en biométhane avec garantie d'origine locale	Potentiel du gisement local à confirmer par des études complémentaires.	Potentiel du gisement local à confirmer par des études complémentaires.	Bon potentiel sur le site : ensoleillement favorable et surfaces de toiture disponible
Usages	Conviertrait pour satisfaire les besoins en ECS	Conviertrait pour le chauffage des locaux ainsi que pour la production d'ECS	Conviertrait pour le chauffage des locaux ainsi que pour la production d'ECS	Conviertrait pour le chauffage des locaux ainsi que pour la production d'ECS	Conviertrait pour le chauffage des locaux ainsi que pour la production d'ECS	Conviertrait pour satisfaire les besoins en ECS	Production locale d'électricité verte
Economie	Energie économiquement compétitive	Energie économiquement compétitive	Energie économiquement compétitive	Achat du biométhane au prix du gaz naturel. Coûts d'investissement modérés (chaudières gaz) mais coût global actualisé restant élevé	Coûts d'investissement élevés au regard de l'importance faible des besoins	Compétitivité incertaine à valider par étude complémentaire	Energie économiquement compétitive Rentabilité dépendant de l'évolution des tarifs de rachat et du type d'intégration au bâti si revente au réseau.
Environnement	Bilan en gaz à effet de serre très favorable	L'intégration architecturale devra être soignée afin de limiter les nuisances Impacts possibles sur l'environnement : utilisation de fluides caloporteurs.	Bilan en gaz à effet de serre favorable Dispositions à prévoir pour limiter l'impact local sur la qualité de l'air (filtres)	Bilan en gaz à effet de serre très favorable	Bonne adéquation de la production énergétique avec les besoins de chaleur et de rafraîchissement des bâtiments d'activités et tertiaires Impacts possibles sur l'environnement : utilisation de fluides caloporteurs.	Bilan en gaz à effet de serre favorable. Impacts possibles sur l'environnement : utilisation de fluides caloporteurs.	Bilan en gaz à effet de serre favorable
Technique	Solutions techniques maîtrisées	Solutions techniques maîtrisées	Solutions techniques maîtrisées	Complémentaire aux solutions de traitement des déchets.	Technologie nécessitant des compétences encore rares	Technologie nécessitant des compétences encore rares	Solutions techniques maîtrisées et automatisées
Sociétal	Bonne acceptabilité sociétale	Bonne acceptabilité sociétale	Bonne acceptabilité sociétale	Acceptabilité sociale parfois difficile	Bonne acceptabilité sociétale	Bonne acceptabilité sociétale	Bonne acceptabilité sociétale
Organisationnel			Filière locale à structurer ou à renforcer				Possibilité d'autoconsommation, notamment pour couvrir les usages spécifiques des bureaux et pôles d'activités

Tableau 23: Applications, intérêts et limites des solutions EnR applicables sur le site de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance

Hiérarchisation des solutions EnR

Hiérarchisation des solutions EnR

Service	Usages	Importance des besoins	Technologies	Echelle de mutualisation recommandées	Potentiel local	Facilité de mise en œuvre	Intérêt économique	Intérêt environnemental
Thermique (chaleur)	Chauffage des bâtiments	Moyenne	Aérothermie	Logement/Bâtiment	**	***	***	**
			Chaufferie biomasse	Bâtiment/Îlot/ZAC	***	**	***	***
			Géothermie sur sonde	Bâtiment/Îlot	***	**	**	***
			Chaleur fatale des eaux grises	Logement/Bâtiment	*	*	*	**
	Chaleur fatale des eaux usées	Bâtiment/Îlot	*	***	*	**		
	ECS	Moyenne	Aérothermie	Logement/Bâtiment	**	***	**	**
Solaire thermique			Bâtiment/Îlot	**	**	***	***	
Chaleur fatale des eaux grises			Logement/Bâtiment	*	**	***	***	
Thermique (froid)	Raîchissement des bâtiments	Moyenne	Géothermie sur sonde	Bâtiment/Îlot	**	*	*	***
	Froid commercial	Forte (?)	Machine à absorption couplée à un réseau de chaleur	Bâtiment	**	*	**	**
Electricité	Usages spécifiques de l'électricité (ventilation, bureautique, ...)	Moyenne	Autoconsommation PV	Bâtiment/Îlot	**	***	**	***
	Eclairage voirie	Faible	Candélabres PV	Îlot/Quartier	**	***	***	***
	Recharge véhicules électriques	Moyenne	Ombrières électriques	Bâtiment/Îlot	**	***	***	***

Tableau 24: Récapitulatif des énergies renouvelables mobilisables

Phase III : analyse des opportunités et orientations possibles

Sur la base des solutions énergétiques identifiées comme techniquement envisageables, et en accordant une pondération reflétant des spécificités du site de l'extension de la Zac de Bois de Plaisance et du territoire de l'ARC, nous proposons la grille d'analyse suivante.

Les notes globales pondérées ainsi obtenues permettent de hiérarchiser les solutions énergétiques en fonction de leurs intérêts.

Pondération	Critères (note sur 5)	Solaire thermique	Biomasse bois	Méthanisation hors site	Géothermie	Aérothermie	Energie de récupération
5	Accessibilité et pérennité de la ressource	5	4	3	4	5	3
4	Critères réglementaires et juridiques	5	4	5	3	5	4
5	Critères économiques	5	4	4	4	5	3
4	Critères environnementaux	5	5	5	4	4	4
2	Acceptabilité sociale	5	5	4	5	5	5
2	Critères organisationnels et logistiques	5	3	5	4	5	4
	Note globale pondérée (/100)	100	84	85	78	96	73

Tableau 25: Energie thermique : hiérarchisation des solutions EnR

Phase III : analyse des opportunités et orientations possibles

Pondération	Critères (note sur 5)	Photovoltaïque	Petit Eolien
5	Accessibilité et pérennité de la ressource	5	3
3	Critères réglementaires et juridiques	4	3
3	Critères économiques	5	3
3	Critères environnementaux	5	5
2	Acceptabilité sociale	5	4
2	Critères organisationnels et logistiques	5	3
	Note globale pondérée (/100)	97	69

Tableau 26: Production d'électricité : hiérarchisation des solutions EnR

Préconisations

Suite à l'évaluation des potentiels en énergies renouvelables sur l'extension de la ZAC de Bois de Plaisance, nous préconisons en priorité les pistes suivantes pour l'approvisionnement en énergie de l'aménagement :

Type d'énergie finale	Usages et besoins	Sources à valoriser (par ordre de priorité)	Echelles de mutualisation recommandées
Thermique (chaleur)	ECS : faible	Panneaux solaires thermiques	Bâtiment
	Chauffage des locaux : faibles à modérés	Chauffage aérothermique	Bâtiment
		Géothermie sur sondes/nappes	Bâtiment / Parcelle
		Biomasse à granulés ou plaquette	Bâtiment / Parcelle /ZAC
Importants : éventuels process industriels	Energie de récupération sur groupes de froid, compresseurs, ou autres process industriels	Bâtiment / Parcelle	
Thermique (froid)	Importants à très importants :	Energie de récupération sur groupes de froid, compresseurs, ou autres process industriels, valorisée par machines à absorption	Bâtiment / Parcelle
Electricité	Usages spécifiques de l'électricité dans bâtiments	Solaire photovoltaïque	Bâtiment / Parcelle /ZAC
	Eclairage des bâtiments et des voiries		
	Recharge de véhicules électriques		
	Eventuels process industriels	Cogénération ou trigénération, alimentée à la biomasse, ou via des sources d'énergie fatale d'origine industrielle.	Bâtiment / Parcelle /ZAEC

Conclusions et recommandations

Energie solaire

Les conditions d'ensoleillement du site de la ZAC de Bois de Plaisance sont techniquement suffisantes pour permettre de déployer des équipements photovoltaïques et solaires thermiques.

En ce qui concerne le **Photovoltaïque**, aux conditions tarifaires **actuelles** de rachat de l'électricité, le temps de retours d'une installation PV est long (typiquement une quinzaine d'années) et ne présente d'intérêts que pour les projets relativement importants.

Cependant, dans un contexte d'augmentation très sensible des coûts de l'électricité (Loi NOME, augmentation des coûts du nucléaire, ...), et compte tenu de la baisse des équipements, la « parité réseau » devrait être atteinte prochainement dans l'Oise : l'auto-consommation de l'électricité PV s'avérera alors rentable, même pour des installations PV de moindre puissance.

En couvrant le maximum de la surface des toits, la production d'électricité permettrait de couvrir 60 % des besoins d'électricité des bâtiments.

L'autonomie énergétique des Installations de Recharge des Véhicules Electriques (IRVE) est atteint sans difficulté avec des ombrières photovoltaïques et l'excédent pourrait servir à couvrir également les besoins des bâtiments des parcelles où sont installées les ombrières photovoltaïques.

Le **Solaire Thermique** s'avère également techniquement intéressant pour couvrir les besoins en Eau Chaude Sanitaire, bien que ceux-ci soient limités pour des bâtiments d'activités. Il peut donc s'avérer plus intéressant de réserver les surfaces de toit disponibles à la production photovoltaïque.

L'aménageur des extensions de la ZAE devra intégrer dans son cahier des charges et son règlement la prise en compte des contraintes associées à l'énergie solaire : orientation des bâtiments, pentes des toitures, limitation des effets de masques solaires, intégration paysagère et architecturale.

Aérothermie

L'exploitation de l'énergie thermique de l'air ambiant par l'emploi de pompes à chaleur apparaît également attractive pour le chauffage des locaux et la production d'Eau Chaude Sanitaire sur les futurs bâtiments de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance.

Les technologies qui valorisent cette énergie renouvelable et gratuite sont matures et bien maîtrisées par les bureaux d'études, les installateurs et les entreprises de maintenance.

Les performances des pompes à chaleur sont de plus en plus élevées et certaines permettent, outre le chauffage, de rafraîchir l'été grâce à la réversibilité de leur fonctionnement.

Leur intégration sur les futurs bâtiments de la ZAC est aisée, toutefois il faudra prendre en compte la question des nuisances sonores et visuelles, mais également le risque de givrage toujours possible par temps froid et humide. L'implantation des unités extérieures des pompes à chaleur devra donc être optimisée dès de la conception des bâtiments.

Biométhane

Bien qu'il ne soit pas envisageable qu'une unité de méthanisation s'implante sur le site même de la ZAC du Bois de Plaisance, l'utilisation de biométhane est une option qui, à terme, peut s'avérer intéressante, que ce soit pour le chauffage des locaux, la production d'Eau Chaude Sanitaire ou même pour des usages thermiques de process.

En effet, le biométhane présente les avantages du gaz naturel « fossile », tels que disponibilité, absence de stock à payer à l'avance, ...), tout en ayant un impact en terme d'effet de serre dix fois moindre.

Les équipements utilisant le biométhane pour chauffer, produire de l'Eau Chaude Sanitaire, voir pour rafraîchir (climatisation des locaux) sont strictement identiques à ceux utilisés avec le gaz naturel. Il s'agit de technologies matures, très bien connues des bureaux d'études, des installateurs et des exploitants : chaufferies gaz, générateurs d'eau chaude sanitaire à accumulation, pompes à chaleur à absorption.

Sans pour autant que ce biométhane soit produit sur le site même de la ZAC, il est possible de contribuer de façon directe à l'Economie circulaire locale ou régionale à laquelle participe la méthanisation en souscrivant auprès des opérateurs gaziers des contrats de livraisons avec garantie d'origine.

Bois Energie

La ZAC du Bois de Plaisance s'inscrit au coeur d'une espace où de nombreuses plateformes logistiques sont implantées. Par ailleurs, sur son site actuel, à quelques centaines de mètres de l'extension prévue, est implantée un très important « hub » de la chaîne de magasins Stokomani.

L'ensemble de ces acteurs est à l'origine de quantités importantes de palettes hors d'usage, considérées comme Déchets Industriels Banals, mais qui peuvent être valorisées en ressource énergétique sous la forme de bois déchiqueté. Ces plaquettes constitueraient un combustible pour des chaufferies industrielles installées au niveau de chaque lot, voire pour alimenter un réseau de chaleur desservant l'ensemble de l'extension de la ZAC.

Géothermie

Les conditions géologiques offrent a priori la possibilité d'exploiter la ressource géothermique présente au droit de la ZAC, mais les conditions doivent en être confirmées au cas par cas.

Ce gisement géothermique permettrait d'assurer le chauffage et la production d'Eau Chaude sanitaire, mais également le rafraîchissement d'été des bâtiments implantés sur l'extension de la ZAC.

Réseau de chaleur EnR

L'opportunité d'un réseau de chaleur desservant les différents lots de l'extension a été étudiée.

Ce réseau pourrait être alimenté par plusieurs solutions techniques valorisant les énergies renouvelables : chaufferie centrale alimenté en broyats de palettes usagées, chaufferie alimentée en biométhane, pompe à chaleur géothermique, voire récupération de la chaleur fatale d'un process industriel ou d'entrepôts frigorifiques

La « densité énergétique » d'un tel réseau a été évaluée à 2,2 MWef/ml.an, ce qui est acceptable du point de vue des critères d'éligibilité du Fonds Chaleur de l'ADEME.

Il s'agit cependant d'une densité « limite » et de fortes incertitudes demeurent en ce qui concerne les besoins réels des bâtiments qui seront implantés sur l'extension de la ZAC.

En l'état actuel, il est donc difficile de statuer sur la faisabilité technico-économique d'un tel réseau alimenté par une ou plusieurs énergies renouvelables, mais cette option mérite d'être analysée de façon plus approfondie lorsque les besoins des futurs bâtiments seront mieux connus.

Boucle d'eau tempérée

L'intérêt d'une boucle d'eau tempérée a également été évaluée. Son principal avantage est qu'il permet, à l'échelle de l'extension de la ZAC, de « mutualiser » les besoins et les ressources énergétiques des différents lots, dès lors qu'ils peuvent être complémentaires, ce qui est souvent le cas dans de nombreuses zones d'activités économiques.

En l'état actuel des informations disponibles sur les futures activités, il est cependant impossible de statuer sur l'opportunité d'une telle boucle d'eau tempérée, mais cette option, comme celle d'un réseau de chaleur, doit rester ouverte.

Phase III : analyse des opportunités et orientations possibles

En fonction du calendrier d'aménagement de l'extension de la ZAC, nous préconisons donc d'aménager la voirie de telle façon qu'un fourreau et des piquages soient laissés disponibles pour accueillir les tuyaux aller et retours d'un éventuel réseau de chaleur ou une possible boucle d'eau tempérée et permettre le raccordement aux sous-stations si cela s'avérerait intéressant.

En complément des recommandations spécifiques aux énergies renouvelables susceptibles d'être déployées sur le périmètre de l'extension de la ZAC du Bois de Plaisance, il nous semble opportun de signaler la possibilité d'engager cet espace dans le processus de labellisation Bas Carbone.

Ce label va être très prochainement lancé officiellement pour distinguer les zones d'activités et quartiers engagés dans une démarche exemplaire de réduction des émissions de carbone à l'échelle de leur périmètre mais également au-delà (par la compensation Carbone en particulier).

Une telle démarche de labellisation renforcerait l'attractivité de l'ensemble de la ZAC du Bois de Plaisance, tant auprès des entreprises déjà engagées dans une politique active de décarbonation de leurs activités, qu'auprès des employés ainsi que des donneurs d'ordres et clients.

Enfin, pour la collectivité de l'ARC comme pour les communes accueillant la ZAC du Bois de Plaisance, cette labellisation pourrait s'inscrire en parfaite cohérence avec leurs pratiques de transition écologique, voire de concourir à leur labellisation Climat Air Energie (anciennement Cit'ergie).

ANNEXES

Zoom sur l'approvisionnement en Gaz Vert (Biométhane)

La Garantie d'Origine Biogaz

Le biométhane injecté sur le réseau gazier est chimiquement identique au méthane d'origine fossile communément appelé « gaz naturel », et il est donc impossible de les distinguer l'un de l'autre, comme il est impossible de distinguer l'électricité produite à partir de sources renouvelables de celle produite par des énergies non renouvelables.

Pour tous les utilisateurs soucieux de consommer un gaz d'origine renouvelable, il est nécessaire d'assurer la traçabilité du biométhane. C'est le rôle des garanties d'origine : chaque mégawattheure de biométhane injecté donne lieu à l'émission d'une garantie d'origine identifiée, grâce notamment à son lieu de production et aux déchets utilisés. Ainsi, l'utilisateur sait que le gaz qu'il consomme correspond à une quantité de biométhane effectivement produite.

Fin 2012, GRDF a été désigné par arrêté ministériel pour créer et gérer le registre national des garanties d'origine, dans le cadre d'une délégation de service public d'une durée de 5 ans. Cette désignation a été renouvelée pour 5 ans à compter du 1er avril 2018.

Les Garanties d'Origines (GO) associées aux contrats de fourniture de biométhane peuvent provenir d'installations françaises ou européennes. Toutefois, contrairement à l'électricité, il n'existe pas de registre de GO unifié à l'échelle de l'UE.

Coûts de la garantie d'origine Biogaz

Les GO biométhane restent particulièrement onéreuses au regard du prix du gaz, du fait d'une offre peu abondante, d'autant que l'exonération de TICGN renforce l'attrait financier de GO méthane françaises.

Par ailleurs, pour un usage thermique, 75% de la transaction sur les GO est reversée au fond de compensation géré par la caisse des dépôts, ce qui peut aussi avoir un effet à la hausse sur les prix.

Pour les GO biométhane françaises, il faut environ compter entre 10 et 18 €HT/MWh (auxquels s'appliquent l'exonération de TICGN).

Les GO d'origine européennes (non reconnues par les autorités françaises) peuvent être valorisées à un prix sensiblement inférieur (quelques €/HT/MWh).

Pour l'alimentation d'un bâtiment, la fourniture de garanties d'origine donne droit à une exonération de TICGN (8, 45€/MWh). Les GO étrangères ne conduisent pas à une exonération de TICGN.

Critères qualitatifs additionnels pour le biométhane

Il est possible de demander au fournisseur de biométhane de s'engager sur d'autres critères additionnels que celui de la traçabilité assurée par le mécanisme des Garanties d'Origines.

Pour rappel, le principe d'additionnalité appliqué à une offre d'énergie « verte » doit permettre, en contrepartie d'un surcoût financier, de conduire à l'amélioration de la situation écologique existante via un effet positif et mesurable sur l'environnement, et/ou au développement des énergies renouvelables.

On peut ainsi intégrer dans le marché l'ajout d'un critère basé sur le taux de culture principale à vocation énergétique ou alimentaire approvisionnant l'unité de méthanisation (15% maximum des intrants). Ce taux correspond à la réglementation française, et permet concrètement d'éviter des offres de biométhane issues de GO européennes. Les normes de production de biométhane varient en effet selon les pays de l'Union Européenne.

Le label Bas Carbone appliqué à une Zone d'Activité Economique

Le Label bas-carbone, lancé par le gouvernement en 2019, permet de certifier des projets de réduction d'émissions de gaz à effet de serre et de séquestration carbone dans tous les secteurs (forêt, agriculture, transport, bâtiment, déchets, etc.) et de les valoriser économiquement.

Si ce label a d'abord récompensé des projets agricoles et forestiers, il a été étendu à des quartiers (par exemple, Atlantech, un parc de 27 hectares situé sur la commune de Lagord, en bordure de la ville de la Rochelle).

Porté par l'association Association pour le Développement du Bâtiment Bas Carbone (BBCA), en partenariat avec Bouygues Immobilier et son aménageur Urbanera, BNP Paribas Real Estate, Elioth by Egis (pilote du projet) et le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CST, le label Bas Carbone a pour objectifs de :

- Fixer le périmètre des émissions carbone couvrant non seulement la matière, l'énergie mais aussi les leviers à la main des acteurs de l'aménagement (mobilité, déchets, services urbains)
- Déterminer les indicateurs de mesure permettant une approche centrée sur l'utilisateur
- Encourager les bonnes pratiques de réduction des émissions en proposant de nouvelles méthodes et outils de quantification
- Proposer des plafonds d'émissions pour valoriser les quartiers exemplaires dans leur démarche bas carbone
- Reposer sur un processus de certification en lien avec le temps long d'un quartier
- S'appuyer sur des outils de mesure robustes scientifiquement

Ce label sera officiellement lancé lors du salon de l'Immobilier Bas Carbone, SIBCA, qui se tiendra à Paris du 22 au 24 septembre 2022 à Paris

(Source : <https://cutt.ly/7bQrBgX>)