

Etudes sur le potentiel de développement en énergies renouvelables et de récupération pour le QPV du Bois de l'Etang à La Verrière

Etude d'opportunité



Sommaire

1	Introduction	3
1.1	<i>Contexte</i>	3
1.2	<i>Objectifs de l'étude</i>	3
2	Besoins énergétiques du site	4
2.1	<i>Le périmètre et la programmation</i>	4
2.2	<i>Les usages</i>	5
2.3	<i>Les Hypothèses d'étude</i>	6
2.4	<i>Estimation de la demande énergétique des bâtiments.....</i>	7
3	Etat des lieux des ressources énergétiques	11
3.1	<i>Réseaux de chaleur et de froid.....</i>	11
3.2	<i>Le potentiel solaire</i>	14
3.3	<i>Le potentiel éolien</i>	26
3.4	<i>Le bois-énergie.....</i>	31
3.5	<i>La géothermie.....</i>	40
3.6	<i>La valorisation des eaux usées.....</i>	48
3.7	<i>La récupération de chaleur fatale</i>	52
3.8	<i>Synthèse de l'état des lieux des ressources énergétiques</i>	55
4	Conclusion	61

1 Introduction

1.1 Contexte

Le projet du Quartier Prioritaire de la politique de la Ville (QPV) du Bois de l'Etang s'étend sur près de 13 hectares. Il s'agit d'une opération de renouvellement urbain qui compte redonner un nouveau souffle au quartier. Ce projet a pour objectif de diversifier l'offre de logements et rééquilibrer le parc social. Il prévoit également de redynamiser et renforcer la polarité « commerces/services/équipements » au sein du quartier. Une requalification des espaces publics ainsi que l'amélioration des liaisons intra et inter quartier notamment en direction de la gare est également au programme. Par ailleurs, le projet compte réduire les nuisances environnementales au travers, notamment, de l'enfouissement des lignes aériennes à haute tension.

La présente étude d'opportunité du développement des énergies renouvelables s'inscrit dans le cadre de la réalisation de l'étude d'impact environnemental du projet d'aménagement urbain du QPV du Bois de l'Etang, conformément à l'article L 300-1-1 du Code de l'Urbanisme.

1.2 Objectifs de l'étude

Une étude d'opportunité sur le développement des énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) a pour but de fournir à la Maitrise d'Ouvrage et aux aménageurs d'un projet des éléments d'aide à la décision quant aux possibilités locales d'approvisionnement énergétique du territoire, au regard de la demande future en énergie, en particulier la possibilité ou non d'avoir recours au raccordement à un réseau de chaleur ou de froid.

Cette étude tâchera d'apporter un éclairage sur :

- ▷ Les besoins énergétiques du périmètre d'étude,
- ▷ Les gisements en énergies renouvelables disponibles sur et à proximité immédiate du périmètre d'étude,
- ▷ Les technologies les plus adaptées à l'approvisionnement énergétique du site au vu des ressources disponibles.

2 Besoins énergétiques du site

2.1 Le périmètre et la programmation

L'étude de potentiels en énergie renouvelable concerne le QPV du Bois de l'Étang de la ville de La Verrière. Le quartier s'étend sur près de 13 ha.



Figure 1 : Périmètre du projet Bois de l'Étang

Au début des années 70, la ville de la Verrière construit le quartier du Bois de l'Étang pour répondre au besoin de logement des ouvriers de Renault.

Le projet de renouvellement urbain consiste à réhabiliter ce quartier enclavé et vieillissant avec la réhabilitation de logements (en rouge ci-dessous), la démolition de certains bâtiments, et la construction de nouveaux logements (en violet ci-dessous), commerces et équipements (scolaire, socio-culturel...) (en orange) ainsi que la requalification des voiries. La mosquée et le gymnase, constructions récentes qui ne sont pas impactées par le projet, n'ont pas été prise en compte dans l'étude énergétique.



Figure 2 : Plan guide d'aménagement du projet Bois de l'Etang (octobre 2024)

2.2 Les usages

Electricité

Les besoins en électricité regroupent deux catégories :

- **L'électricité conventionnelle** : On parle d'usage conventionnel de l'électricité pour regrouper les consommations liées au fonctionnement du bâti (éclairage, ventilation, rafraîchissement, auxiliaires). Elle concerne ici toutes les typologies de bâtiments.
- **L'électricité spécifique** : On parle d'usage spécifique de l'électricité pour regrouper les consommations directement liées à l'activité des occupants. Il s'agit par exemple des équipements de cuissons, des équipements de bureautiques (ordinateurs, téléphones, imprimantes, etc.) que l'on pourrait avoir au sein des logements mais aussi dans les bureaux, équipements et au sein des activités économiques du projet. L'électricité spécifique comprend notamment l'utilisation des ascenseurs.

Chauffage

Qu'il s'agisse d'un confort, du maintien de conditions thermiques particulières ou de l'apport énergétique nécessaire au fonctionnement de process industriels, le chauffage des espaces est une nécessité pour l'ensemble des bâtiments.

Froid

Le besoin en froid correspond principalement au confort thermique (rafraîchissement / climatisation) mais il est aussi requis pour certains process comme les commerces. Les besoins en froid des logements sont considérés comme nuls dans cette étude, en considérant que le climat en île de France ne justifie pas l'installation de climatisation et que la performance énergétique des logements permettra de limiter ce besoin.

Eau Chaude Sanitaire (ECS)

L'ECS est principalement utilisée dans les bâtiments résidentiels, et plus ponctuellement dans les bureaux, commerces et bâtiments d'enseignement.

2.3 Les Hypothèses d'étude

L'analyse de la demande en énergie d'un projet repose sur des objectifs de performance énergétique qui reflètent ses engagements environnementaux. Depuis le 1^{er} janvier 2022, une nouvelle Réglementation Environnementale est progressivement entrée en application pour les bâtiments neufs. Plus ambitieuse que la RT2012, elle est basée sur les retours de l'expérimentation E+C- et comporte ainsi deux volets : performances énergétiques, et analyse de cycle de vie. La prise en compte de cette réglementation est nécessaire pour inscrire projet dans les objectifs énergétiques nationaux.

Par ailleurs, les retours d'expérience des bâtiments à basse énergie montrent que la consommation effective est souvent nettement plus élevée que celle prévue à la conception. Cette différence provient notamment d'écarts en phase chantier et d'un comportement inadapté des utilisateurs. Un suivi attentif des phases de réalisation et d'exploitation sera nécessaire afin de s'assurer de la bonne atteinte des performances énergétiques visées par le projet.

Enfin, la juste évaluation de la demande énergétique du quartier doit prendre en compte une réalité : si le surdimensionnement des besoins énergétiques des bâtiments peut entraîner le choix d'une solution renouvelable qui n'aurait pas de réelle rentabilité, une sous-évaluation des besoins peut également conduire à écarter trop tôt des ressources renouvelables présentant un intérêt.

Les usages de l'énergie considérés ici sont :

- Le chauffage et les process chaud des entreprises,
- L'électricité spécifique,
- Le rafraîchissement estival des locaux et les process froids des commerces,
- L'Eau Chaude Sanitaire.

Ces deux derniers usages ne seront pris en compte que pour les bâtiments pour lesquels il existe un besoin suffisamment important pour justifier une approche à l'échelle de l'opération. Pour les autres bâtiments, nous considérerons par défaut des solutions de rafraîchissement passif et une conception bioclimatique efficace pour le froid, et des solutions individuelles pour les besoins ponctuels en ECS.

PowerDIS :

L'évaluation des besoins énergétiques a été réalisée à l'aide du logiciel PowerDIS développé par Efficacy, un centre de recherche et développement dédié à la transition énergétique des territoires urbains. Lancé en 2014, il rassemble les compétences de plus de 100 chercheurs issus de l'industrie, de l'ingénierie et de

la recherche publique. Sa vocation est de développer des solutions innovantes pour construire la ville de demain.

PowerDIS est dédié à la simulation des besoins énergétiques des bâtiments et du fonctionnement des systèmes énergétiques à l'échelle urbaine. À partir des données territoriales et des informations saisies par l'utilisateur, PowerDIS réalise une simulation au pas de temps horaire sur une année complète des besoins énergétiques des bâtiments d'un projet sur la base des données suivantes :

- Morphologie des bâtiments (surface de plancher, étages, forme)
- Niveau de performance énergétique des bâtiments
- Typologie d'usage des bâtiments

L'outil intègre de nombreux ratios issus de la réglementation en vigueur et met en œuvre la méthode Th-BCE de la RT2012. Le logiciel inclut également les niveaux Energie du label E+C- pour les bâtiments allant au-delà de cette réglementation (bâtiments résidentiels et de bureaux neufs notamment).

Dans le cadre du NPNRU de Bois de l'Etang de la Verrière, nous avons pris les hypothèses de performance énergétique suivantes :

- Pour les **bâtiments neufs**
 - Les **logements** (en libre accession, sociaux, intermédiaires, spécifiques ou BRS) : simulation du niveau E3 du label E+C- sans climatisation. Le niveau E3 correspond à des bâtiments allant légèrement au-delà de la RE2020, réglementaire pour cette typologie.
 - Les **commerces** : simulation du meilleur niveau de performance disponible, niveau de performance équivalent aux bâtiments construits entre 2015 et 2018. Il a été considéré par défaut que ces bâtiments étaient de type petits commerces (sur la base de scénarios disponibles dans PowerDIS). La climatisation a été prise en compte.
 - Les **équipements** : pour les établissements scolaires, le niveau E3 du label E+C- sans climatisation a été simulé. Pour le centre socio-culturel, le niveau de performance attribué correspond au meilleur disponible pour cette typologie, soit un niveau de performance équivalent aux bâtiments construits entre 2015 et 2018 avec climatisation.
- Pour les **bâtiments à réhabiliter** :
 - Tous les bâtiments réhabilités ont été simulés avec un niveau de performance équivalent aux bâtiments construits entre 2009 et 2014.

Les valeurs des consommations seront données par défaut en énergie finale (ef). **L'énergie finale est l'énergie livrée au pied de chaque bâtiment et permet de visualiser les consommations effectives du quartier.** Les consommations seront exprimées en MWh/an (ou en GWh/an) et les puissances en kW (ou en MW).

2.4 Estimation de la demande énergétique des bâtiments

Sur la base des hypothèses détaillées ci-dessus, nous avons paramétré le projet sous PowerDIS et en avons extrait les résultats suivants :

Tableau 1 : demande énergétique du projet du NPNRU Bois de l'Etang (source : PowerDIS)

Usages	Puissance max	Consommation
Chauffage	1 780 kW	1 700 MWh/an
ECS	855 kW	1 300 MWh/an
Climatisation	270 kW	80 MWh/an
Electricité spécifique	230 kW	1 040 MWh/an
Total	-	4 120 MWh/an

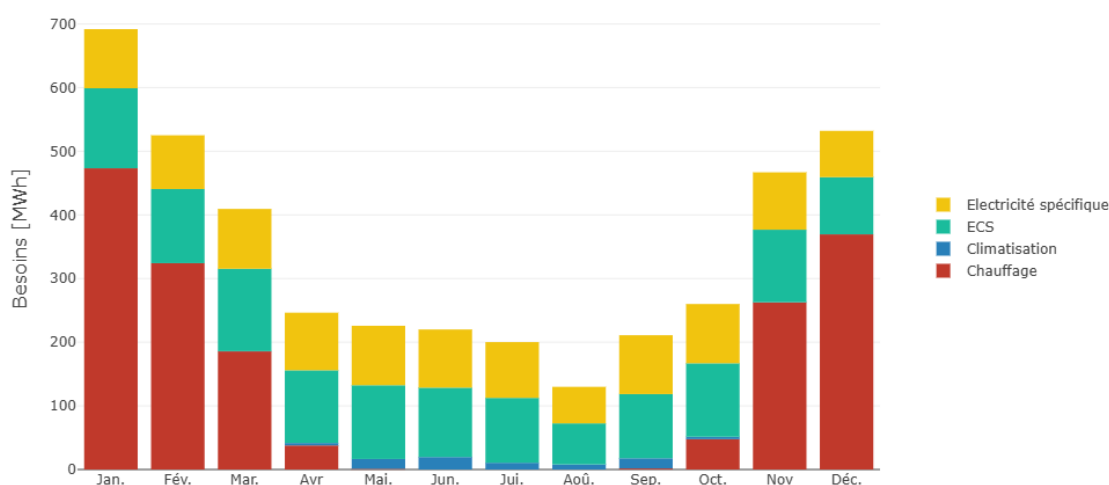


Figure 3 : Répartition mensuelle des besoins énergétiques par usage (source : PowerDIS)

Cette estimation montre une répartition des consommations d'énergie de 41% pour le chauffage, 31% pour l'ECS, 2% pour le rafraîchissement et 25% pour l'électricité spécifique. Ces résultats sont cohérents avec la typologie du projet, qui comporte 90% de surfaces de logements, dont 29% de logements neufs.

Il est important de préciser que plus un bâtiment est efficace énergétiquement, plus la part de l'électricité est importante puisque la part de confort thermique diminue. La réflexion autour de la production l'électricité renouvelable viendra compléter celle sur les besoins thermiques.

Besoins en Chauffage + ECS :

La figure suivante représente les consommations de chauffage et d'ECS rapportées au m² de bâtiment.

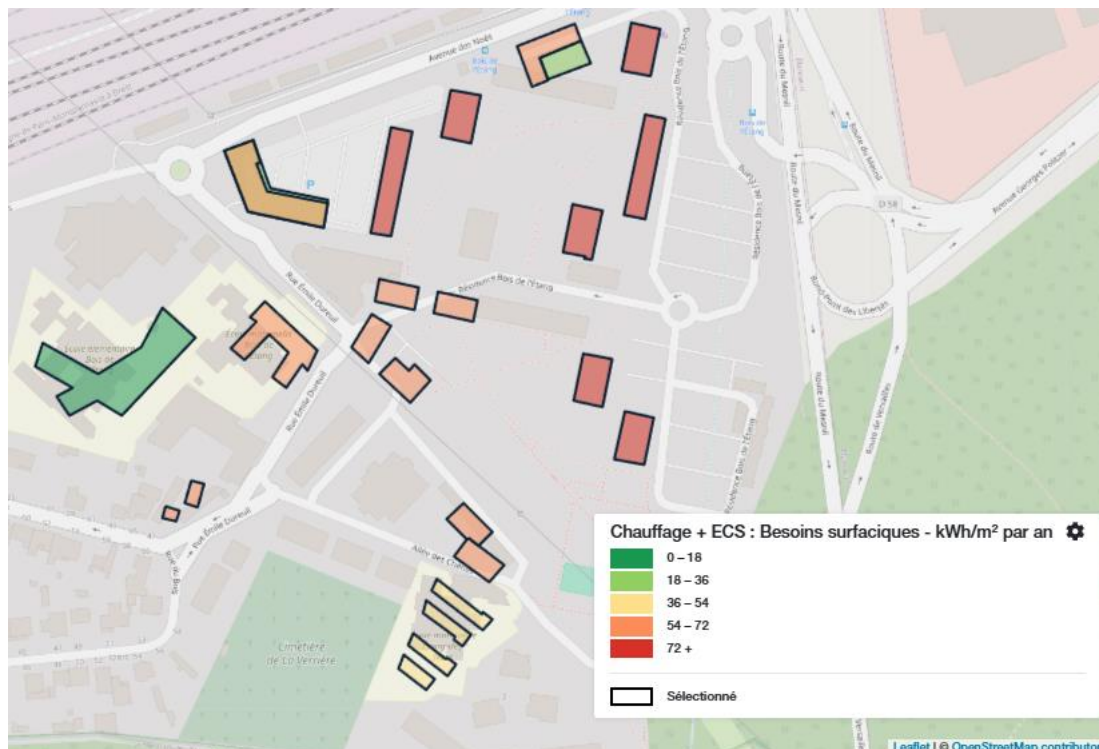


Figure 4 : Besoins surfaciques en chauffage et en Eau Chaude Sanitaire (Source : PowerDIS)

La monotone de puissances de chauffage et d'ECS pour les bâtiments neufs et existants ci-dessous permet de se rendre compte de la répartition des appels de puissances chauffage en fonction des jours de l'année. Les pics d'appels de puissance ne représentent qu'un très faible nombre de jours. Il n'y a donc pas d'intérêt à dimensionner une solution renouvelable par rapport à cette puissance maximale car elle ne fonctionnerait à puissance maximale qu'une très faible partie de l'année. Il est plus pertinent de viser un dimensionnement permettant de couvrir une large part des consommations, un appoint (de type gaz naturel par exemple) permettant d'assurer le reste de la production.

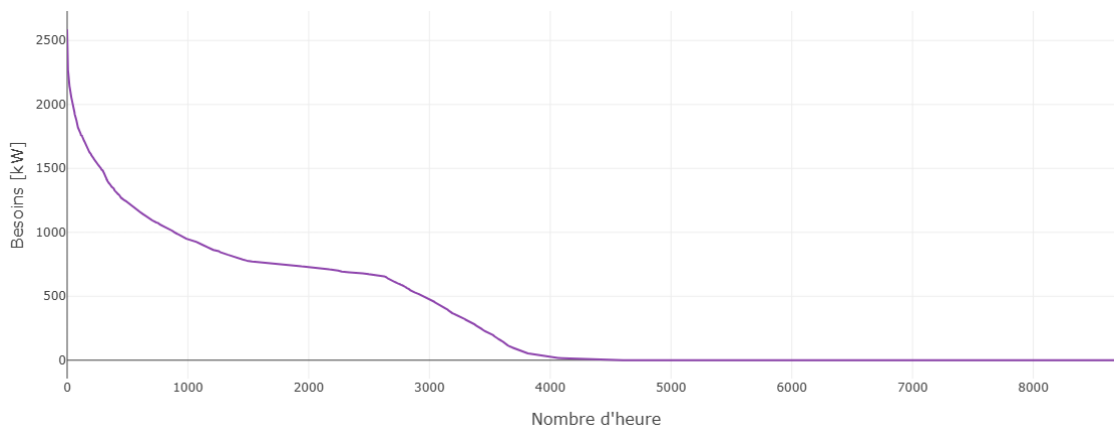


Figure 5 : Monotone des besoins en chauffage + ECS pour le périmètre du projet (Source : PowerDIS)

En complément, une bonne mixité permet de profiter d'un foisonnement des puissances thermiques, grâce auquel il est possible de limiter le dimensionnement des équipements dans le cas d'un système commun. Chaque type de bâtiment est caractérisé par un profil de consommation différent, lié notamment à ses heures de fréquentation. La mixité favorise aussi la valorisation des excédents de chaleur et de froid sans stockage d'un bâtiment vers un autre. Malgré une forte proportion de bâtiments de logement, le projet pourra capitaliser sur les équipements et les bâtiments d'activité pour limiter le dimensionnement de ces installations.

Electricité

La figure suivante représente les consommations d'électricité, rapportées au m² de bâtiment. La production de chauffage, d'ECS et de froid n'est pas reportée ici.

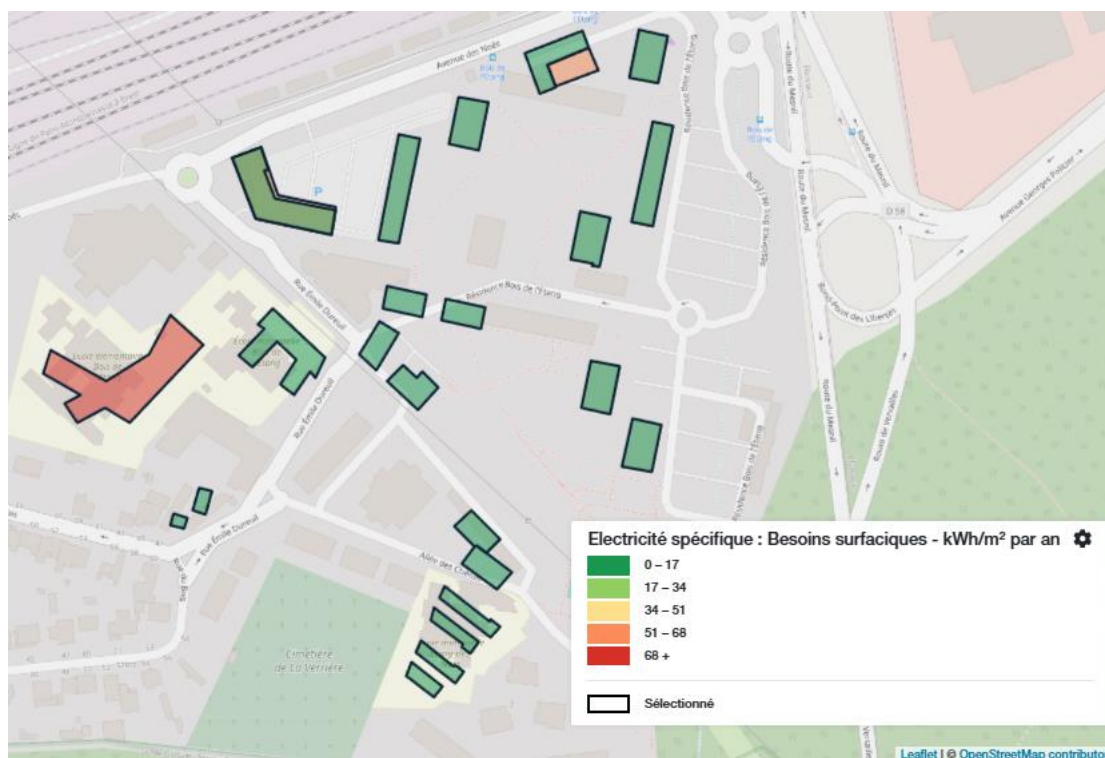


Figure 6 : Besoins surfaciques en électricité spécifique (Source : PowerDIS)

Le groupe scolaire est l'entité la plus consommatrice d'électricité spécifique rapportée au m².

3 Etat des lieux des ressources énergétiques

Les énergies renouvelables sont pour la plupart connues et exploitées depuis toujours. Les technologies ont évolué mais les principes d'utilisation de ces énergies sont les mêmes : combustion du bois, utilisation du rayonnement solaire pour produire de la chaleur, utilisation du vent, de la force hydraulique et de l'inertie thermique du sol, etc.

Aujourd'hui, certains systèmes exploitant les énergies renouvelables ont bénéficié d'avancées technologiques très importantes, qui leur permettent d'être fiables et d'avoir fait de grands progrès en termes de rendement énergétique et de rentabilité financière. D'autres technologies sont toujours en développement : elles ne trouvent pas encore de rentabilité économique sans un fort subventionnement, et sont généralement des installations exemplaires.

Ce chapitre présente un état des lieux des différentes filières renouvelables en présence sur le périmètre du quartier ou qui pourraient y être envisagées, au regard des spécificités de chacun des sites.

1. Le raccordement à un réseau de chaleur
2. L'énergie solaire
3. L'énergie éolienne
4. La biomasse
5. La géothermie sur aquifère et la géothermie sur sonde
6. La récupération de l'énergie des eaux usées / eaux grises
7. La récupération d'énergie fatale industrielle

Pour chacune des filières, ce chapitre développe :

- La ressource disponible sur le projet
- Les technologies existantes pour valoriser cette ressource
- Les caractéristiques technico – économiques et environnementales actuelles

Il faut garder en tête que les ressources renouvelables ne permettront pas nécessairement d'assurer l'intégralité des besoins énergétiques du site. L'intermittence de la production étant notamment très contraignante. Par ailleurs, il est rarement stratégique de viser 100% de consommation renouvelable puisque les EnR sont généralement onéreuses et présentent des contraintes d'exploitation qui ne sont pas toujours compatibles avec la réalité des sites. Une étude sur le potentiel de développement des EnR&R a pour objectif d'identifier le potentiel maximal d'EnR du site et à identifier des scénarios pertinents en s'appuyant sur un mix énergétique réaliste. Des systèmes d'appoint seront alors nécessaires.

3.1 Réseaux de chaleur et de froid

Cette partie s'attache à étudier les énergies renouvelables présentes ou envisagées sur le périmètre de la Verrière, afin de répondre aux besoins thermiques et électriques du quartier Bois de l'Etang estimés précédemment. Elle développe le potentiel des gisements et les différentes technologies, et présente les éléments réglementaires, administratifs ou économiques lorsque ceux-ci permettent de mieux appréhender ces ressources.

Principe de fonctionnement

Lorsqu'un projet présente des besoins en énergie importants et concentrés, il peut être judicieux de mettre en place une solution collective de façon à distribuer cette énergie depuis un lieu de production commun. Ce système permet entre autres une meilleure gestion de l'énergie et une diminution du surdimensionnement des installations par rapport à une production individuelle.

On parle généralement de solution collective pour désigner un raccordement de plusieurs bâtiments à un réseau de chaleur ou de froid commun. Il s'agit d'un mode de distribution de l'énergie et sa mise en place devra s'accompagner d'une installation de production d'énergie appropriée. Un réseau peut ainsi être alimenté par des ressources fossiles (gaz, fioul...), renouvelables (biogaz, biomasse...), ou par un mix de ces ressources (chaufferie biomasse appuyée par une chaudière à gaz, groupes froids électriques en soutien d'une installation de géothermie...). Le taux d'ENR du réseau correspond au taux d'ENR en sortie de son mix énergétique.

Réseau de chaleur



Figure 7 : Schéma réseau de chaleur

Il s'agit d'un système de distribution de chaleur produite de façon centralisée qui permet de desservir plusieurs usagers. Il comprend :

- Une ou plusieurs unités de production de chaleur

La chaleur peut être générée à partir de différentes sources d'énergie : fossiles (gaz ou fioul), renouvelables (biomasse, biogaz, géothermie profonde, etc.), énergie de récupération telle que la chaleur fatale lors de l'incinération des déchets dans les usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM) ou encore par un mix de ces ressources (chaufferie biomasse appuyée par une chaudière à gaz, groupes froids électriques en soutien d'une installation de géothermie...). En général, il y a une unité d'appoint utilisée pour les heures de pointe en plus de l'unité principale.

- Un réseau de distribution primaire

Ce sont des canalisations dans lesquelles un caloporteur transporte la chaleur. Le réseau fonctionne avec un circuit aller (rouge sur le schéma) et un circuit retour (bleu sur le schéma).

- Des sous-stations d'échange

Situées au pied des immeubles, elles permettent le transfert de chaleur entre les réseaux de distribution primaire et secondaire (immeuble ou petit groupe d'immeubles). Juridiquement, le réseau secondaire est à la charge du responsable de l'immeuble.

Réseau de froid

10% de l'électricité serait utilisée pour la climatisation dans le monde avec des besoins en augmentation¹. Les réseaux de froid pourraient constituer une réponse adaptée à ce besoin croissant.

Il faut garder en tête que le raccordement d'un bâtiment à un réseau de chaleur ou de froid nécessite que les modes de distribution de chaleur de ce bâtiment soient compatibles avec les niveaux de température du réseau. Les bâtiments neufs, équipés de systèmes de chauffage basse température, sont particulièrement adaptés à une alimentation par un réseau de chaleur. A l'inverse, des bâtiments présentant des systèmes de chauffage électrique ou à haute température seront peu pertinents.

En outre, afin de permettre la viabilité économique du réseau, il faut pouvoir assurer une densité thermique la plus élevée possible (quantité d'énergie, en kWh, par km de conduite) – cf. Partie Subvention.

Enfin, les besoins de chaleur ou de froid liés aux process industriels nécessitent la plupart du temps des niveaux de température particuliers qui ne sont pas toujours compatibles avec les usages de confort. Dans ce cas, le réseau de chaleur ou de froid ne sera en mesure de couvrir qu'une partie de ces besoins, le reste devant être assuré par des installations internes.

3.1.1 Réseaux existants

D'après les bases de données nationales, il n'existe, en ce jour, aucun réseau de chaleur sur la commune de La Verrière. Les réseaux de chaleur à moins de 10km sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

Réseau de Chaleur	Distance du quartier Bois de l'Etang	Taux d'EnR (%)	Contenu CO2 (gCO2/kWh)
Réseau de chaleur de la Verrière (en étude d'opportunité)	0 km	75%	?
Réseau de chaleur de Trappes (en étude de faisabilité)	Moins d'un kilomètre	?	?
Réseau d'Elancourt – Nouveaux Horizons	2 km	0%	Non renseigné
Réseau de Plaisir - Resop	6,7 km	76,3%	69

Tableau 2 : Liste des réseaux de chaleur et de froid situés dans un rayon de 10 km autour du projet

Une étude de faisabilité pour la création d'un réseau de chaleur sur la commune de la Verrière a été réalisée. Selon l'étude de Sage Energie de Septembre 2023, il comporterait 24 sous-stations et mesurerait 6000 ml. Il serait approvisionné à 93% par de la géothermie dont une part EnR de 75% et une part électricité par PAC de 19%. Cependant, il n'est pas prévu à ce stade de connecter les équipements du projet au réseau de chaleur, car celui-ci n'est pas suffisamment avancé.

Par ailleurs, Trappes, commune limitrophe à La Verrière porte également un projet de réseau de chaleur à base géothermale soutenu par l'ADEME et accompagné par le SIPPAREC. Dans le cas où ce projet voit le jour, un raccordement à la commune de La Verrière pourrait aussi s'avérer intéressant pour alimenter le quartier Bois de l'Etang. Il faudra toutefois prendre en considération la présence d'une voie ferrée au nord du quartier Bois de l'Etang qui risque d'être handicapant dans le cas d'un raccordement. Le réseau de la Verrière serait donc à privilégier.

¹ Dossier Presse « Réseaux de chaleur et de froid », Ministère en charge de la Transition énergétique (2019)
https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2019.10.07_eb_ew_dp_reseauxchaleurfroid.pdf

Le réseau de chaleur privé au gaz à Elancourt alimente le quartier des Nouveaux Horizons avec 4 points de livraison. Il n'est cependant pas alimenté par des énergies renouvelables ce qui engendre un contenu CO2 relativement défavorable (reposant 100% sur du gaz fossile). Il s'agit du réseau de chaleur le plus proche du quartier Bois de l'Etang mais aucune information quant à une extension potentielle n'est renseignée.

Une extension du réseau de Plaisir a déjà été opérée en février 2023², de nouveaux travaux d'extension ne semblent pas être prévus. De plus, au-delà de 2km, le réseau est trop éloigné pour envisager un raccordement.

Il est intéressant de préciser que dans le cas où le seuil d'EnR dépasse 50%, les utilisateurs bénéficient d'un taux de TVA réduit à 5,5%. Toutefois, il faut garder à l'esprit qu'une augmentation des consommations d'énergie appelée sur un réseau de chaleur tend en général à dégrader le taux d'EnR de ce dernier. En effet, l'augmentation de la demande est souvent apportée par des énergies fossiles (dans le cas de ce réseau cela pourrait être le gaz), les énergies renouvelables étant utilisées à la puissance maximale. Pour compenser cette réduction voire améliorer le contenu CO2, il peut être envisagé le développement d'une installation de production d'énergie renouvelable complémentaire. Ce type d'installation nécessite une **emprise foncière**, qui doit être anticipée.

Subventions

L'extension et la création d'un réseau de chaleur peut bénéficier d'aides de l'ADEME au titre du Fonds Chaleur sous réserve de la satisfaction de plusieurs conditions :

- Dans le cas d'un projet couplant une installation de production de chaleur renouvelable avec un réseau de distribution de chaleur, et injectant moins de 12 GWh EnR&R supplémentaires par an, l'aide sera constituée de la somme de l'aide à l'installation de production et de celle attribuée au réseau de distribution de chaleur. Au-delà de 12 GWh, il existe une autre méthode de calcul.
- L'aide aux réseaux en création est conditionnée au fait que le réseau soit alimenté au minimum par 65% d'EnR&R associés à des unités physiques de production d'EnR&R des secteurs de la biomasse, du solaire thermique, de la géothermie, de la méthanisation, de la récupération de chaleur fatale (sur process industriel, UIOM, ...), ou de cogénération EnR&R.
- Une longueur minimale de 200 mètres linéaires ainsi qu'une injection supplémentaire de plus de 300 MWh EnR&R par an doivent être atteintes.
- Dans le cas d'une extension, les besoins supplémentaires seront couverts au minimum à 65% par une production supplémentaire d'EnR&R et le réseau après extension sera alimenté globalement, extension comprise, au minimum par 55% d'EnR&R.
- La densité thermique du réseau est supérieure ou égale à 1,5 MWh/mètre linéaire/an. Une densité thermique comprise entre 1 et 1,5 MWh/ml/an peut être acceptée pour certains projets.

Les bâtiments de la résidence sont tout de même alimentés à l'heure actuelle par un réseau privé, qui dessert l'ensemble des bâtiments du bailleur.

3.2 Le potentiel solaire

L'énergie solaire peut être valorisée pour des usages **thermiques** ou pour la production **d'électricité** :

² <https://www.ville-plaisir.fr/>

- **Les panneaux solaires thermiques** captent une partie du rayonnement solaire qu'ils reçoivent (l'autre partie étant réfléchi), pour chauffer un fluide caloporteur. Le solaire thermique peut avoir plusieurs utilisations. Dans le cas du quartier Bois de l'Etang, nous nous intéresserons plus particulièrement aux possibilités suivantes :
 - o **Production d'eau chaude sanitaire**
 - o **Chauffage des bâtiments**
- L'énergie solaire peut aussi être valorisée pour la production d'électricité, on parle alors de **solaire photovoltaïque**.

3.2.1 La ressource solaire sur le périmètre

Le rayonnement solaire pour la commune de la Verrière est donné ci-après, pour un plan orienté Sud d'inclinaison 30° (facteur correspondant à une production maximisée) :

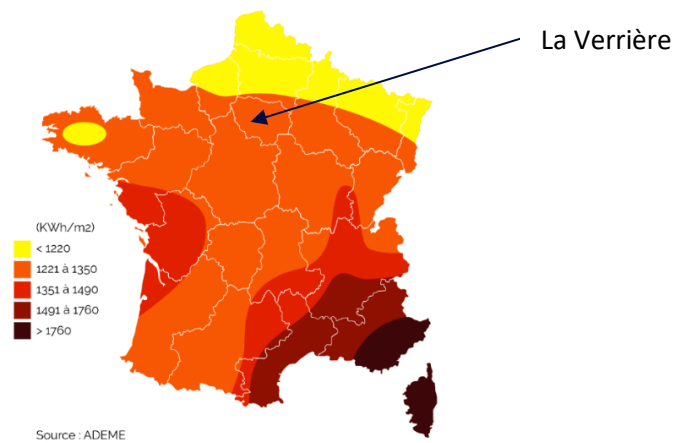


Figure 8 : Valeur de l'énergie du rayonnement solaire (gisement solaire) en kWh/m² par an en France Métropolitaine

L'énergie solaire est une ressource intermittente : elle n'est pas constante durant l'année. Elle ne fournit donc pas la même quantité d'énergie selon les mois. Le graphique ci-dessous présente les variations de l'ensoleillement horizontal à la Verrière au cours d'une année.

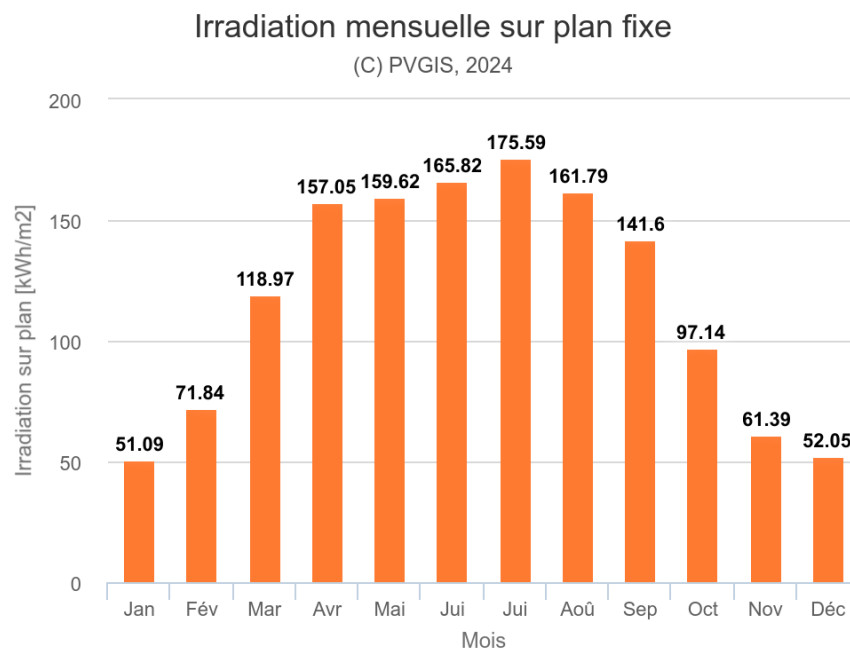


Figure 9 : Ensoleillement en kWh/m²

La Verrière bénéficie d'un ensoleillement moyen relativement important d'environ 1413 kWh/m²/an⁴, ce qui permet d'envisager la mise en place de systèmes de production solaire. De plus, la production d'énergie serait de l'ordre de 1140 kWh/kWc/an et l'angle optimal de 38°.

3.2.2 Dispositions réglementaires et administratives relatives à l'installation de panneaux

L'installation de panneaux solaires sur un bâtiment modifie son aspect extérieur. Dans le cas d'un bâtiment neuf, ils doivent figurer sur le permis de construire. Dans le cas d'un bâtiment existant, les travaux sont soumis à une déclaration préalable. La proximité de sites protégés, de monuments historiques ou encore d'aéroports peut nécessiter une étude spécifique et une réflexion en concertation avec les parties concernées.

D'après les informations disponibles sur l'atlas des patrimoines du ministère de la Culture et de la Communication, aucune partie du quartier Bois de l'Etang ne se trouve dans le périmètre d'un bâtiment historique. Il n'y a donc aucune contrainte spécifique quant à l'installation de panneaux.

³ Site PVGIS, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/



Figure 10 : Périmètre de protection des monuments historiques en rouge⁴

3.2.3 L'énergie solaire thermique

3.2.3.1 Principe de fonctionnement

Le solaire thermique peut avoir plusieurs utilisations, comme la production de chauffage ou de froid, mais il est principalement employé pour la fourniture d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) pour laquelle les niveaux de température atteints présentent un réel intérêt. La technologie utilisée dépend de l'énergie produite.

Eau Chaude Sanitaire (ECS)

Les capteurs solaires les plus couramment utilisés sont des capteurs de type plan. Ils se composent d'un absorbeur situé dans un coffrage isolé en face arrière, constitué d'un vitrage en face avant et d'une couche sélective. 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 circulant dans l'absorbeur vient transmettre sa chaleur via un échangeur à l'eau sanitaire. De ce fait, le circuit solaire est totalement indépendant du circuit consommateur. L'ECS produite est ensuite stockée dans un ballon.

Un système d'appoint est indispensable : d'une part, le solaire ne peut pas couvrir l'ensemble des besoins. D'autre part, lorsque la couverture est maximale en période estivale il est nécessaire de veiller à ce que les capteurs ne surchauffent pas, ce qui peut être réalisé en dimensionnant dans une moindre mesure l'installation solaire. L'appoint est aussi nécessaire pour éviter la prolifération des bactéries (légionelles) en maintenant une température toujours supérieure à 55°C.

⁴ Atlas des patrimoines – site du Ministère en charge de la Culture

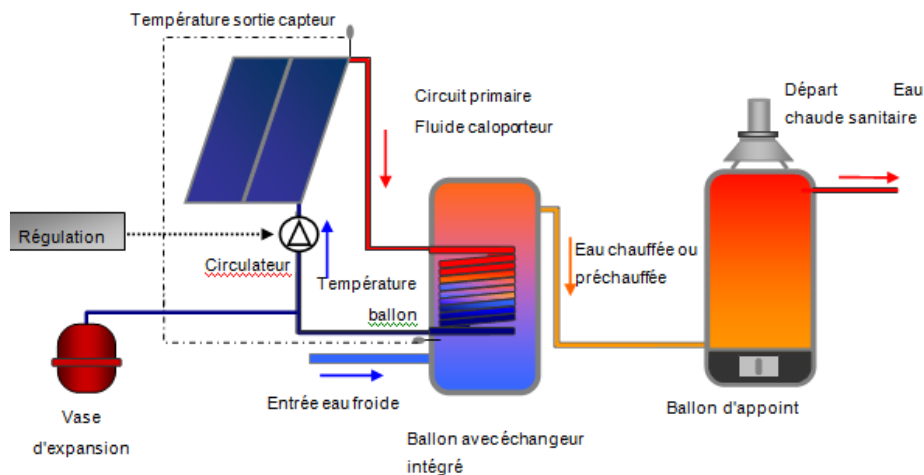


Figure 11 : Schéma de principe de fonctionnement d'une installation d'eau chaude solaire

Chauffage

La technologie est équivalente à celle permettant la production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) mais l'énergie thermique récupérée est distribuée via des émetteurs spécifiques comme des radiateurs de grande surface ou dans des planchers chauffants qui peuvent être envisagés dans les bâtiments neufs. Ces éléments émettant la chaleur à l'intérieur des locaux fonctionnent à basse température (aux alentours de 40°C). De même que pour la production d'ECS, une énergie complémentaire sera nécessaire car la période de productivité la plus faible (l'hiver) correspond aux pics de demande en chauffage.

Cette technologie permet de couvrir environ 35 % des besoins en chauffage. Ce type d'installation est généralement couplé à une production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS), on parle alors de Système Solaire Combiné (SSC).

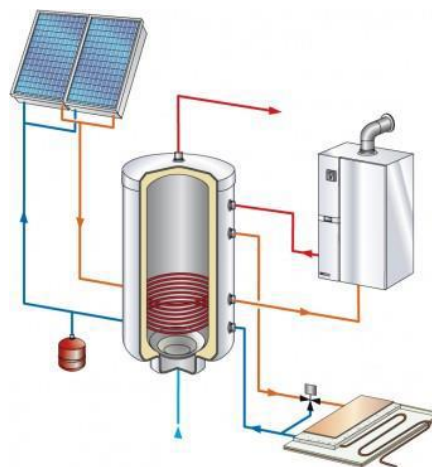


Figure 12 : Schéma de principe d'un Système Solaire Combiné

Implantation

Dans tous les cas, l'implantation des panneaux solaires thermiques peut être envisagée de plusieurs façons :

- **Intégration à la toiture** : les panneaux sont montés directement sur une charpente et leur mise en place garantit l'étanchéité de la toiture. Ils remplacent les éléments comme les tuiles. Ce type d'installation est plus souvent mis en place sur les toits de petite taille, dont l'angle d'inclinaison est satisfaisant.
- **Intégration simplifiée au bâti** : les panneaux sont simplement posés sur la toiture par le biais de rails et n'en assurent pas l'étanchéité. Ce mode d'intégration peut s'effectuer sur tous types

de bâtiments. Les panneaux sont fixés sur des rails à une dizaine de centimètres au-dessus de la toiture.

- **Non intégrés au bâti** : les panneaux ne sont pas parallèles à la toiture. Ils sont fixés à la toiture sur des plots, de façon à atteindre une inclinaison optimale. Ce principe est plus souvent utilisé pour les grandes surfaces au sol ou les toitures terrasses mais a l'inconvénient de créer des ombres supplémentaires.



Figure 13 : Capteurs solaires thermiques sur rails (à gauche), intégrés (au milieu) et non-intégrés sur plots de fixation (à droite)

3.2.3.2 Considérations économiques

Investissements

Le coût d'investissement d'un système solaire thermique varie selon le type d'installation choisi. A titre d'exemple, les coûts des projets de chauffe-eau solaires collectifs comprenant les travaux et les études d'ingénierie s'inscrivent entre 900 à 1200 €/m² (700 à 900 €/m² pour des capteurs vitrés) et décroissent avec la surface de l'installation solaire. L'investissement moyen pour un bâtiment individuel de 100 à 150 m² habitables est de 10 000 € pour un système solaire combiné à appoint séparé et de 17 000 à 23 000 € pour un système solaire combiné à appoint intégré. Ces coûts incluent les capteurs, le stockage, les éléments de circulation et de régulation, mais pas l'appoint (ballon placé en aval alimenté par une chaudière ou une résistance électrique).

Pour un chauffage solaire, il faut compter environ 160 €/m² de surface à chauffer. Ce coût comprend le matériel et la pose.

Subventions

L'ADEME a mis en place un Fonds Chaleur dans le cadre du Grenelle de l'environnement afin de financer des projets de production d'eau chaude solaire. Cette aide concerne les installations de production collective à destination de logement collectif et des secteurs tertiaires, industriels et agricoles. Ce dispositif est aujourd'hui compatible avec les aides de Certificats d'Economie d'Energie.

Pour la filière solaire thermique, le Fonds Chaleur est géré par les délégations régionales de l'ADEME et les Régions dans le cadre des Contrats de Plan Etat-Région. Des aides sont alors octroyées pour des projets comportant au **minimum 25m²** de capteurs et des procédures de monitoring pour le suivi de la production. Si plusieurs bâtiments du projet sont équipés, chacun d'entre eux doit comporter au moins 15 m² de panneaux. Cette mesure a pour but de soutenir financièrement les projets pour rendre compétitif le kWh renouvelable. Les projets pour lesquels une pompe à chaleur est employée en plus des panneaux et ceux éligibles au crédit d'impôts ne peuvent pas bénéficier du Fonds Chaleur.

Le tableau ci-dessous présente les aides forfaitaires pour les installations supérieures à 25 m² de capteurs. La commune de la Verrière est située en zone Nord du découpage considéré dans le Fonds Chaleur. Il est important de noter que les données qui suivent sont amenées à varier régulièrement.

Zone Géographique	Productivité solaire utile minimale estimée [kWh utile/m ²]	Aide Forfaitaire [€/MWh solaire utile] sur 20 ans
Nord	350	63
Sud	400	56
Méditerranée	450	50

Tableau 3 : Grille des aides forfaitaires pour les installations de 25 à 500 m² de capteurs solaires thermiques

Les opérations sur réseau de chaleur dont la surface de capteurs solaires est supérieure ou égale à 500 m² sont éligibles à une aide déterminée par l'ADEME par une analyse économique conventionnelle. Cependant, un montant indicatif est présenté dans le tableau ci-dessous :

Zone Géographique	Productivité solaire utile minimale estimée [kWh utile/m ²]	Type de pose	Aide indicative [€/MWh solaire utile] sur 20 ans
Nord	350	Toiture	40
		Sol	35
Sud	400	Toiture	35
		Sol	30
Méditerranée	450	Toiture	30
		Sol	25

Tableau 4 : Grille des aides indicatives pour les installations couplées à un réseau de chaleur de surface de capteurs solaires de plus de 500 m²

Pour les projets dédiés de surface de capteurs solaires supérieure à 500 m² et les opérations de surface de capteurs solaires supérieure à 1500 m² en réseaux de chaleur, il est possible de candidater à l'Appel à Projets Grandes Installations Solaires Thermiques.

3.2.3.3 Potentiel du solaire thermique

La production d'Eau Chaude Sanitaire solaire est particulièrement adaptée aux besoins en ECS importants et réguliers pendant l'année. Le solaire thermique peut donc être mis en place pour des logements collectifs, des résidences étudiantes, des établissements tertiaires avec des consommations élevées (restauration, sport...).

Le quartier de Bois de l'Etang comprend en grande partie des bâtiments résidentiels collectifs et le projet de renouvellement urbain prévoit l'augmentation du nombre de logements. Pour les bâtiments résidentiels neufs, il est très facile d'intégrer à la conception des panneaux solaires. Les chiffres clés de l'ADEME montrent que l'ECS représente près de 13 % des consommations finales d'énergie des bâtiments résidentiels en 2019. En raison de la présence d'autres équipements en toiture, on considère généralement que 30 à 50% (plus proche des 30%) des surfaces totales de toitures pourront être exploitées pour le solaire.

Il est rappelé qu'il n'est pas intéressant de dimensionner pour 100% de solaire thermique (hiver notamment).

D'après les données de l'ADEME et avec un coût moyen de l'ordre de 1200 €/m², le coût de l'énergie produite peut ainsi varier entre 0,2 et 0,7 €/kWh sans subvention.

3.2.4 L'énergie solaire photovoltaïque

3.2.4.1 Principe de fonctionnement

Le solaire photovoltaïque (PV) utilise le rayonnement solaire pour produire de l'électricité. Les modules photovoltaïques sont caractérisés par leur puissance crête (exprimée en Watt-crête). Celle-ci correspond à la puissance que les panneaux PV pourront délivrer dans des conditions optimales de fonctionnement - soit un ensoleillement de 1000 W/m², une température de 25°C et une inclinaison favorable. Dès que la température des panneaux solaires dépasse les 25°C, leur rendement diminue jusqu'à 0,5% par degré supplémentaire⁵. Les modules ont une puissance entre 150 et 400 Wc/m² et sont interconnectés entre eux.

Il existe deux principaux types de modules photovoltaïques, constitués de cellules distinctes :

- **Mono et polycristallins** : la différence entre ces deux technologies vient de la technique de refroidissement du silicium, le matériau qui compose les modules. Les cellules monocristallines ont un rendement un peu supérieur aux polycristallines mais un coût plus élevé. Leur aspect est différent, ce qui peut constituer un critère de choix selon l'architecture du bâtiment qui sera équipé. Les cellules monocristallines créent des modules d'un bleu uniforme alors que les polycristallines créent des modules avec des cristaux irisés. Le rendement de ces deux types de cellules diminue en cas de faible éclairage ou d'éclairage diffus (sous une couverture nuageuse par exemple).
- **Les modules à couche mince** : Ces modules sont constitués de cellules fabriquées à partir de silicium amorphe ou d'autres matériaux. Ils sont moins onéreux mais leur rendement est assez faible sous un bon rayonnement solaire. En revanche, ce rendement est moins sensible aux variations de l'éclairage et diminue moins que celui des modules mono ou polycristallins lorsque le rayonnement est diffus. Ces modules sont de plus en plus utilisés et représentent désormais 10% des modules installés. Le silicium amorphe présente également l'avantage de pouvoir être utilisé sur des modules très légers et souples de type « moquette » qui s'adaptent particulièrement à des bâtiments dont la charpente ne peut pas nécessairement supporter un surpoids.

Les cellules à couche mince utilisent plus de substances nocives que la technologie à base de silicium. Les plus performantes sont celles CIGS et CdTe. Les éléments Cadmium (Cd), Indium (I), Sélénium (S), Gallium (G) sont connus pour leur toxicité. Ces gaz peuvent poser un réel risque de santé si le fabricant ne les traite pas correctement ; des brèches dans les cellules peuvent libérer des gaz toxiques.



⁵ IRISOLARIS, Panneaux solaires et canicule : amis et ennemis ?

Figure 14 : Cellules à couche mince (à gauche), polycristallines (au milieu) et monocristallines (à droite)

D'autres composants constituent le système photovoltaïque. L'un des composants majeurs est l'onduleur qui va transformer le courant continu produit par les modules en courant alternatif pouvant être injecté sur le réseau. Le courant peut être monophasé à 230 V ou triphasé à 400 V selon la puissance de l'installation.

L'implantation des panneaux solaires peut être envisagée de plusieurs façons, tout comme le solaire thermique :

- **Intégration au bâti** : les panneaux sont montés directement sur une charpente et leur mise en place garantit l'étanchéité de la toiture. Ils remplacent les éléments comme les tuiles. Ce type d'installation est plus souvent mis en place sur les toits de petite taille. Ce type d'intégration pose la question de la ventilation des panneaux qui est un paramètre essentiel pour le rendement des installations.
- **Intégration simplifiée au bâti** : les panneaux sont simplement posés sur la toiture et n'en assurent pas l'étanchéité. Ce mode d'intégration peut s'effectuer sur tous types de bâtiments. Les panneaux sont fixés sur des rails à une dizaine de centimètres au-dessus de la toiture.
- **Non intégrés au bâti** : les panneaux ne sont pas parallèles à la toiture. Ce principe est plus souvent utilisé pour les grandes surfaces au sol ou les toitures terrasses.

Afin de limiter les pertes de rendement liées à la surchauffe des panneaux solaires, il est préférable d'installer les panneaux en surimposition plutôt qu'en intégration car cela favorise la circulation de l'air et le refroidissement naturel des panneaux. En outre, une toiture végétalisée permet de rafraîchir les panneaux grâce aux phénomènes de « transpiration » et d'évaporation d'eau. Un point de vigilance doit néanmoins être apporté afin de ne pas créer d'ombres sur les panneaux⁶.

Le solaire photovoltaïque peut également faire l'objet de structures dédiées, via l'implantation d'ombrières. Cette solution peut s'avérer particulièrement propice à installer sur des parkings comme illustré sur l'image ci-dessous, sous-réserves que les conditions de températures et d'ensoleillement (ombres portées des bâtiments) y soient idéales. Le potentiel d'installation de modules photovoltaïques sur toiture présente néanmoins un potentiel relativement faible dans le cas de tours d'immeubles.

De façon plus anecdotique, on peut enfin citer le développement de murs photovoltaïques et de cellules solaire organiques.

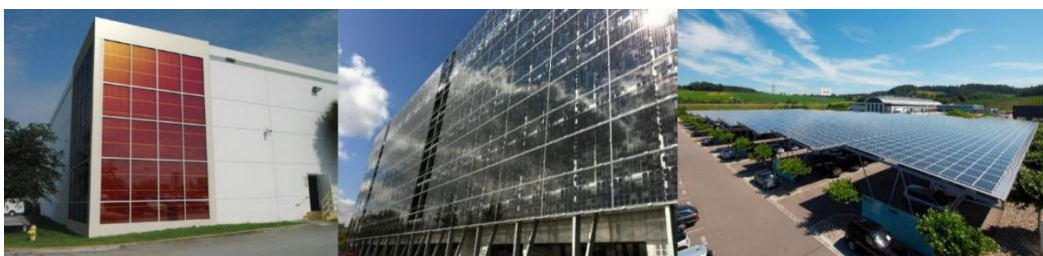


Figure 15 : Photovoltaïque organique (à gauche), intégré en façade (au milieu) et en ombrière (à droite)

3.2.4.2 Cadrage réglementaire

L'électricité produite par les panneaux photovoltaïques peut être directement consommée par les bâtiments du site accueillant les panneaux (on parle alors de système autonome ou d'autoconsommation) ou réinjectée dans le réseau. Les tarifs préférentiels d'achats de l'électricité photovoltaïque permettent

⁶ ENGIE My Power, Canicule : quelles conséquences sur vos panneaux solaires ?

une bien meilleure rentabilité en cas de revente de cette énergie à un opérateur d'électricité. Cependant, l'évolution de la réglementation sur l'autoconsommation, encadrés par les arrêtés de mai 2017, tend toutefois à faire évoluer la situation en faveur de l'autoconsommation.

La loi du 26 février 2017, qui ratifie l'ordonnance du 27 juillet 2016 relative à l'autoconsommation d'électricité, distingue deux opérations d'autoconsommation possibles :

- **L'autoconsommation individuelle** consiste pour un producteur à consommer lui-même et sur un même site tout ou une partie de l'électricité produite par son installation. Le producteur est alors appelé « auto-producteur ». Ce système permet une consommation instantanée ou un stockage de la production.
- **L'autoconsommation collective** se définit par une fourniture d'électricité entre un ou plusieurs producteurs et consommateurs finaux, liés entre eux au sein d'une même personne morale. Les points de soutirages et d'injection doivent être situés en aval d'un même poste public de transformation d'électricité, de moyenne à basse tension et doivent être distant de 2 km au maximum. Cette disposition récente permet de raccorder plusieurs acteurs sur des échelles réduites comme un quartier.

Le raccordement des systèmes photovoltaïques au réseau public de distribution d'électricité doit se faire de manière sécuritaire et ceci, afin de rentrer en adéquation avec le contrat de raccordement passé avec le gestionnaire de réseau. En effet, le système ne doit mettre en péril ni la sécurité des personnes ou des biens, ni celle du réseau (les risques de chocs électriques ou d'incendies pouvant être présents en cas de non-conformité de l'installation).

3.2.4.3 Considérations économiques

Investissements

Le coût d'une installation photovoltaïque diminue en fonction de la puissance totale installée. Ces prix évoluent très vite en fonction du contexte réglementaire et de l'évolution des technologies, il est donc difficile de prédire le coût d'une installation au moment des travaux. Le prix varie également fortement selon les équipements, les garanties et la complexité de l'installation. A titre d'information, les prix moyens d'une installation de 3 kWc en toiture étaient de 10 000 / 12 000 € en 2015 et tournent autour de 6 500 / 10 000 € en 2022. Pour une installation de 9 kWc, les coûts sont passés de 25 000 / 35 000 € en 2015 à en moyenne 19 000€ en 2021.

Le coût final de l'installation dépend également de la facilité du raccordement de l'installation au réseau électrique. La proximité du poste source joue un rôle majeur sur le coût total et peut se chiffrer à plusieurs dizaines de milliers d'euros.

Subventions et tarifs d'achat

Les conditions de vente et les aides apportées aux installations photovoltaïques ont été revues pour les installations de moins de 500 kWc par l'Arrêté du 6 octobre 2021. Les surplus de production peuvent être vendus à un opérateur d'électricité ou cédés à titre gracieux au réseau. Des obligations d'achat de l'électricité et une prime à l'investissement sont prévues, selon la puissance nominale de l'installation.

Type de Tarif	Puissance Totale (P+Q)	Prime à l'investissement (€/Wc) du 01/11/22 au 31/01/23	Prime à l'investissement (€/Wc) du 01/02/23 au 30/04/23	Rémunération de l'énergie injectée (c€/kWh hors TVA) du 01/02/23 au 30/04/2023	Plafond de rémunération et rémunération au-delà du plafond
Prime dit Pa	< 3 kWc	0,48	0,50	13,13	Plafond : produit de la puissance installée par une durée de 1600 heures Rémunération à 5c€/kWh hors TVA au-delà du plafond non soumise à indexation
	< 9 kWc	0,36	0,37	13,13	
Prime dit Pb	< 36 kWc	0,20	0,21	7,88	
	< 100 kWc	0,10	0,11	7,88	

Tableau 5 : Rémunération de l'énergie injectée et prime à l'investissement pour une injection des surplus⁷

La production d'électricité peut également être vendue en intégralité à un opérateur. Les installations de moins de 100 kWc peuvent bénéficier d'un contrat d'achat sur 20 ans à un tarif fixé selon leur puissance nominale. Les prix de rachat de l'électricité ont tendance à diminuer.

Type de Tarif	Puissance Totale (P+Q)	Du 01/11/22 au 31/01/23 (c€/kWh hors TVA)	Du 01/02/23 au 30/04/23 (c€/kWh hors TVA)	Plafond de rémunération et rémunération au-delà du plafond
Tarif dit Ta	< 3 kWc	22,42	23,49	Plafond : produit de la puissance installée par une durée de 1600 heures Rémunération à 5c€/kWh hors TVA au-delà du plafond non soumise à indexation
	< 9 kWc	19,06	19,96	
Tarif dit Tb	< 36 kWc	13,65	14,30	
	< 100 kWc	11,87	12,43	

Tableau 6 : Tarifs d'achat pour une revente totale⁹

Les projets entre 100 kWc et 500 kWc sont également concernés par ces dispositions.

Type de Tarif	Type d'installation	Puissance Totale (P+Q)	Du 01/08/22 au 31/10/22 (c€/kWh hors TVA)	Du 01/11/22 au 31/01/23 (c€/kWh hors TVA)	Du 01/02/23 au 30/04/23 (c€/kWh hors TVA)	Plafond de rémunération et rémunération au-delà du plafond
Tarif dit Tc	Sur bâtiment, ombrière ou hangar et respectant les critères généraux d'implantation	Entre 100 et 500 kWc	11,07	12,28*K _{N+2} /K _N	12,87*K _{N+2} /K _N	Plafond : produit de la puissance installée par une durée de 1100 heures Rémunération à 4c€/kWh hors TVA au-delà du plafond non soumise à indexation

Tableau 7 : Tarifs d'achats pour une revente totale et une injection des surplus pour une puissance entre 100 et 500 kWc⁸

Les tarifs sont indexés sur un coefficient K_N qui comporte sept indices.

Les projets de plus 100 kWc ne sont pas concernés par ces dispositions. Des aides spécifiques peuvent être demandées pour ces projets en déposant un dossier de candidature lors d'appels d'offre, par exemple auprès de la Commission de Régulation de l'Energie (CRE) ou de l'ADEME. Une subvention régionale peut également être demandée, selon la politique d'aides de la région.

⁷ [https://www.photovoltaique.info/fr/tarifs-dachat-et-autoconsommation/tarifs-dachat/arrete-tarifaire-en-vigueur/#tarifs de vente et primes autoconsommation 100 kw](https://www.photovoltaique.info/fr/tarifs-dachat-et-autoconsommation/tarifs-dachat/arrete-tarifaire-en-vigueur/#tarifs%20de%20vente%20et%20primes%20autoconsommation%20100%20kw)

⁸ [https://www.photovoltaique.info/fr/tarifs-dachat-et-autoconsommation/tarifs-dachat/arrete-tarifaire-en-vigueur/#vente de la totalie ou surplus 100 a 500 kw](https://www.photovoltaique.info/fr/tarifs-dachat-et-autoconsommation/tarifs-dachat/arrete-tarifaire-en-vigueur/#vente%20de%20la%20totalie%20ou%20surplus%20100%20a%20500%20kw)

3.2.4.4 Potentiel du solaire photovoltaïque

Lorsque les panneaux solaires sont installés sur plan incliné en toiture, il est préconisé de les espacer d'au moins trois fois leur hauteur afin de ne pas générer d'ombres portées entre panneaux. Par ailleurs, des zones de circulation doivent être prévues autour des panneaux et des équipements en toiture, conformément aux règles de l'art sur ces technologies.

Le tableau ci-dessous synthétise le potentiel des panneaux solaires sur le projet pour l'implantation de 100% de solaire PV par typologie.

D'un point de vue gisement, la principale source est celle des toitures. En première approche, celui-ci représente d'environ 9840 m². Seule une partie de ces toitures peut être équipée en panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques (PV). La surface de panneaux envisageable est de l'ordre de 2 950 m². Le potentiel PV est donc de l'ordre de 590 kWc soit une production annuelle de 675 MWh/an⁹.

Tableau 8: Surfaces de toiture mobilisables par typologie de bâtiment

Typologie	Surface de toiture mobilisable	Surface de panneau pour la typologie	Puissance crête** pour 100% PV (indicatif)
Logements collectifs réhabilités	3 170 m ²	950 m ²	190 kWc
Logements collectifs neufs	3 900 m ²	1 170 m ²	234 kWc
Maisons individuelles	720 m ²	220 m ²	43 kWc
Centre culturel	300 m ²	90 m ²	18 kWc
Etablissement scolaire	1750 m ²	525 m ²	105 kWc

*Solaire photovoltaïque (30% des surfaces mobilisables)

**Panneau solaire monocristallin : 150-400 Wc/m² environ (hypothèse considérée : 200 Wc/m²)

⁹ 1140 KWh/kWc installé en pose libre à la Verrière (source: PVGIS)

3.2.5 Bilan du gisement solaire

Synthèse du potentiel solaire du quartier Bois de l'Etang

1) Le solaire thermique sera intéressant sur les ilots résidentiels afin de couvrir les besoins en ECS de ces derniers, d'autant que ce besoin en chaleur est constant sur l'année.

2) Le solaire photovoltaïque pourrait être utilisé à des fins de production d'électricité dans le but de compenser une partie des besoins d'électricité du site.

Par ailleurs, il est rappelé que le solaire thermique, le solaire photovoltaïque et la végétalisation des toitures sont en concurrence pour l'utilisation des surfaces disponibles sur les toits.

La production d'énergie solaire étant intermittente, il est plus judicieux de dimensionner les installations solaires en fonction d'une moyenne des besoins annuels pour ne pas surdimensionner (énergie solaire intermittente). Il faudra recourir à une autre ressource comme appoint et secours. Il est également possible d'envisager une revente des excédents de production du solaire photovoltaïque vers le réseau électrique.

3.3 Le potentiel éolien

3.3.1 Principe de fonctionnement

Une éolienne permet de convertir de l'énergie cinétique fournie par le vent en énergie mécanique, puis en énergie électrique : une turbine récupère l'énergie cinétique du vent sur les pales pour la convertir en énergie mécanique de rotation, un arbre transmet cette énergie à une génératrice électrique qui la convertit ensuite en énergie électrique. La puissance maximale que peut produire une éolienne dépend fortement de la longueur de ses pales. En pratique, on distingue quatre catégories d'éoliennes :

- **Le micro-éolien** rassemble les technologies adaptées à une utilisation urbaine, qui cherchent à valoriser les mouvements d'air plus faibles et turbulents des villes et des abords de bâtiments. Cette catégorie se développe depuis peu et comprend un grand nombre de systèmes sur axe vertical ou horizontal. Elle reste limitée en termes de puissance.
- **Le petit éolien** désigne les installations d'une puissance de moins de 36 kW, pour des mâts de moins de 12m. Il est généralement utilisé pour des usages locaux ou domestiques.
- **L'éolien de moyenne puissance** comprend les éoliennes d'une puissance inférieure 250 kW, pour des hauteurs de moins de 50m.
- **Le grand éolien** désigne les structures de puissance unitaire supérieure à 250 kW. Elles constituent le principal potentiel de la production d'énergie éolienne et peuvent atteindre 160 m de hauteur pour des puissances généralement supérieures à 1 MW. La production d'énergie électrique par le grand éolien se fait principalement dans des parcs éoliens, qui rassemblent plusieurs dizaines de mâts.

3.3.2 Gisement de vent

La station météorologique la plus proche présentant des données sur le vent est la station Montigny-le-Bretonneux (7 km). Les vents enregistrés proviennent majoritairement de la direction Ouest. La vitesse moyenne du vent sur un an est de 11 km/h, avec une moyenne minimale de 9 km/h en août-octobre et une moyenne maximale de 13 km/h en février. Par la suite, on conservera une valeur moyenne de 11,0 km/h soit 3,0 m/s.

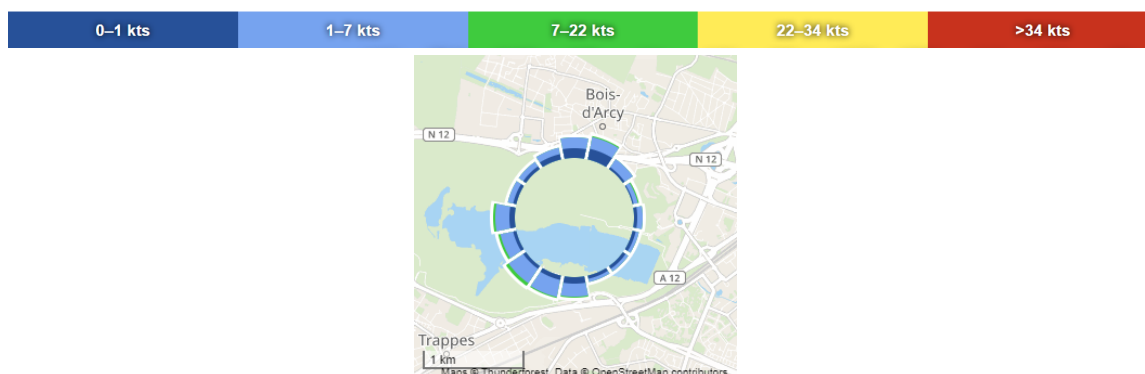


Figure 16 : Rose des vents moyenne sur la station Montigny-le-Brettonneux¹⁰

3.3.3 Moyen et grand éolien

Depuis l'adoption de la Loi BROTTE en avril 2013, les possibilités d'implantation des éoliennes sont données par le Schéma Régional Eolien (SRE) en vigueur sur le périmètre concerné. Cette disposition vise à faciliter un plus grand nombre de projets en spécifiant les zones favorables au développement de moyen et de grand éolien.

Le SRE d'Ile de France, qui concerne la Verrière, a été annulé en première instance par le tribunal administratif de Paris en novembre 2014 puis confirmée par le conseil d'état en décembre 2017. Cependant le document est consultable et indique que le projet est situé sur une zone défavorable à l'implantation d'éolien, notamment en raison du contexte urbain dense.

L'éolien de moyenne et grande taille implique en effet des contraintes importantes en matière d'accès au vent, de sécurité et d'impact auditif qui rendent son installation inadaptée aux sites proches de zones urbaines.

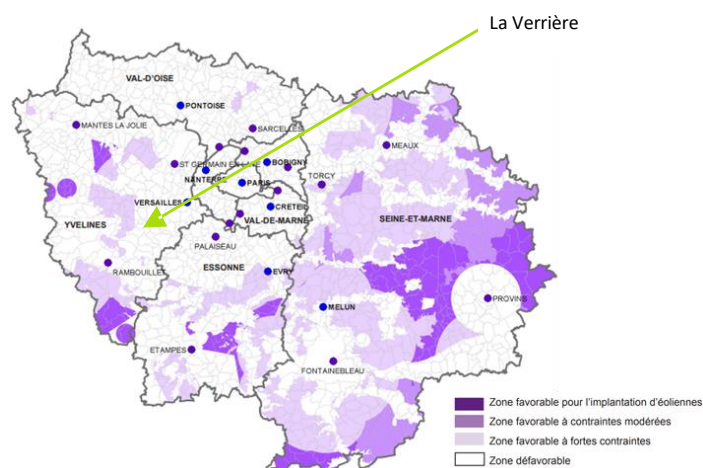


Figure 17 : Carte représentant les zones favorables et défavorables à l'implantation d'éoliennes¹¹

¹⁰ Windfinder

¹¹ Source : Schéma Directeur Eolien d'Ile de France - septembre 2012

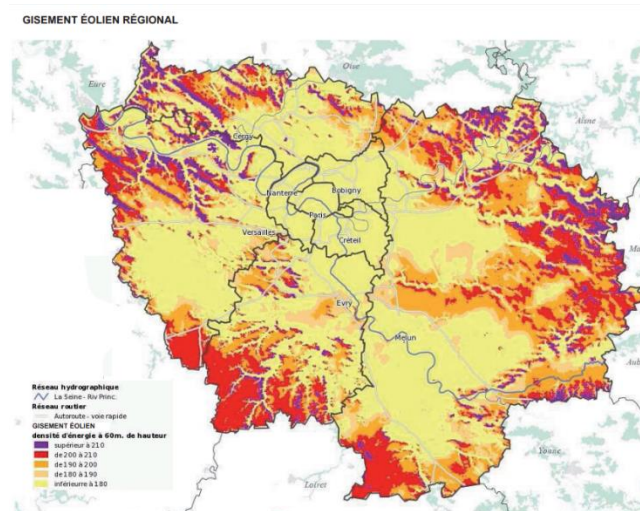


Figure 18 : Carte représentant la densité énergétique à 60 m de l'île de France¹²

Au vu du contexte urbain de la Verrière, il n'apparaît pas pertinent de proposer une implantation de moyen ou de grand éolien sur le périmètre du projet ou à proximité directe.

3.3.4 Petit et micro-éolien

3.3.4.1 Eoliennes urbaines

Le contexte urbanisé du site nécessite une adaptation des technologies d'éoliennes de façon à tirer parti d'une ressource plus contrainte, pour des altitudes limitées. Le vent est affecté par l'environnement : il est plus tourbillonnant et sa vitesse est modifiée par les obstacles voisins. Les sommets des bâtiments présentent ainsi une couche turbulente au-dessus de laquelle le vent est accéléré. Le bruit et les vibrations induites sur le bâtiment d'accueil doivent être contrôlés.

Plus récentes que les éoliennes de grande taille, les éoliennes urbaines se déclinent selon de nombreuses technologies. Il existe deux grands types d'éoliennes urbaines :

- **Les éoliennes à axe horizontal** captent difficilement les vents turbulents au sommet des bâtiments et doivent être positionnées à une hauteur de plus de 35% à 50% de la hauteur du bâtiment au-dessus du toit. Elles permettent d'atteindre des puissances intéressantes, mais génèrent du bruit et des vibrations sur le bâtiment. Des problèmes de sécurité peuvent également se poser (rupture des pales...);
- **Les éoliennes à axe vertical** sont plus adaptées pour capter les turbulences, mais seront installées de préférence au-dessus de la couche turbulente (le profil des vents étant modifié en fonction des obstacles environnants) pour avoir un rendement énergétique intéressant. La vitesse de rotation de ces éoliennes est plus faible, d'où une moindre nuisance sonore (aux alentours de 35 dB pour les nouvelles générations) et des vibrations réduites. Ces modèles sont plus résistants aux vents forts.

L'éolien urbain peut être installé à même le sol afin de ne pas monopoliser les surfaces de toitures. L'esthétique des modèles au sol est généralement au cœur du développement des modèles, ce qui permet une assez bonne intégration urbaine.

D'un point de vue réglementaire, les éoliennes dont la hauteur (mât et nacelle) est inférieure à 12m sont considérées comme de très faible importance architecturale et ne nécessitent pas de déclaration au titre du Code de l'Urbanisme. Cette dispense n'est valable qu'à l'extérieur des sites patrimoniaux

remarquables, des abords des monuments historiques et des sites inscrits et classés. Le quartier de Bois de l'Etang est donc concerné par cette dispense.



Figure 19 : Eoliennes urbaines de type Savonius (à gauche), Venturi (au milieu) et Darrieus (à droite)

3.3.4.2 Estimation du potentiel

La puissance pouvant être fournie par un système de micro-éolien n'excède pas 1 kW. Des installations pourront être mises en place à titre démonstratif afin de bénéficier de l'image environnementale associée, par exemple pour des usages non réglementaires comme la signalisation routière ou l'éclairage. La participation du micro-éolien à la production d'énergie du quartier de Bois de l'Etang restera cependant négligeable au vu des coûts requis et des contraintes liées à la mise en place d'un grand nombre d'éoliennes.

Réglementairement, la puissance pouvant être atteinte par une petite éolienne est de 36 kW pour une hauteur de l'ordre de 30m. L'installation peut viser le régime de déclaration au titre du Code de l'Urbanisme en s'inscrivant sous la limite de 12m de hauteur pour une puissance d'environ 5 kW, ce qui permet son implantation sans autorisation préalable ou permis de construire.

Pour évaluer le potentiel de production du petit éolien, nous nous basons sur trois exemples d'installations. La figure ci-contre représente le modèle « Easy HE », une éolienne urbaine à axe vertical d'une puissance nominale de 1 kW. Les données du fabricant ROPATEC font état d'un diamètre du rotor de 1.6 m et d'une entrée en rotation pour des vents supérieurs à 3 m/s.



Pour un vent moyen de 5 m/s, la production indiquée est d'environ 950 kWh/an.



Le modèle « Evance R9000 » représenté ci-contre est une éolienne domestique à axe horizontal de 12m de hauteur pour une puissance nominale de 5 kW (atteinte lors de rafales à 12 m/s). Les données du distributeur CAP ENERGIE font état d'un diamètre du rotor de 5.5 m et l'entrée en rotation s'effectue pour des vents supérieurs à 3 m/s.

Pour un vent moyen de 5 m/s, la production indiquée est d'environ 9 167 kWh/an. Pour 4 m/s, cette production est de 4 962 kWh/an.

On trouve aussi des modèles plus innovants, comme « l'arbre à vent ». Ce système fabriqué par NEWWIND met en jeu une soixantaine de petites éoliennes à axe vertical implantées sur une structure en forme d'arbre. Les dimensions sont de 10m de haut pour 8m de large pour une puissance nominale de 4.1 kW, et les données du fabricant indiquent une production à partir 2 m/s.

La production moyenne indiquée est d'environ 2 400 kWh/an.



Toutefois, pour installer une petite/micro éolien il faut respecter les hauteurs maximales autorisées par les PLU des communes concernées. Dans le cadre de la Verrière, les dispositifs situés en toiture permettant l'exploitation des énergies renouvelables (panneaux photovoltaïques, éoliennes) sont exclus du calcul de la hauteur des ouvrages techniques.

3.3.4.3 Considérations économiques

Investissements

Le faible développement du marché des éoliennes urbaines rend difficile d'estimer les coûts d'installation et de maintenance. Sur la base d'informations collectées auprès des constructeurs et des installateurs d'éolien urbain, le tableau suivant reprend les coûts d'installation. Les coûts d'exploitation dus à la maintenance sont très variables. Ils seraient de l'ordre de quelques centaines d'euros, auxquels s'ajoute un changement de matériel (onduleur essentiellement) tous les 10 ans environ. La durée de vie annoncée par les constructeurs pour de telles installations est de l'ordre de 20 à 25 ans. Cette valeur légèrement inférieure à celle du grand éolien s'explique par une vitesse de rotation accélérée des ailes, qui entraîne une usure mécanique plus rapide.

A l'heure actuelle, les éoliennes à axe horizontal sont moins chères que les éoliennes à axe vertical et connaissent également de meilleurs rendements énergétiques. Notons toutefois que les coûts varient fortement selon les constructeurs, la technologie employée, l'intégration dans le paysage et le degré d'innovation apporté à l'éolienne. Le prix d'une éolienne « classique » (modèle Evance R9000) est autour de 35 000 €, contre 50 000 € pour un « arbre à vent » (New Wind) d'une puissance équivalente.

Coûts d'investissements		Coûts d'exploitation	
Eolienne	Installation	Raccordement	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Axe horizontal : 7 à 10 k€/kW ○ Axe vertical : 10 à 25 k€/kW 	2,2 à 2,9 k€/kW selon le modèle d'éolienne	1 k€/kW selon le modèle d'éolienne	200 à 850 €/an pour la maintenance + coût du changement de certains matériels (type onduleur, soit un peu plus de 1 000 €)

Tableau 9 : Données économiques pour l'éolien urbain¹²

Subventions

Soutenu pendant plusieurs années, l'éolien urbain est aujourd'hui jugé trop coûteux vu ses performances et les systèmes d'aide s'en détachent peu à peu. Le taux de TVA réduit est, par exemple, passé de 5,5% à 10%.

Les installations éoliennes définies au 7° de l'article D. 314-23 du Code de l'Energie, c'est-à-dire toute installation comprenant au plus 6 éoliennes de puissance nominale inférieure à 3 MW, peuvent bénéficier d'un complément de rémunération conformément à l'Arrêté du 6 mai 2017. Des aides peuvent enfin être obtenues depuis l'Union Européenne (FEDER), des conseils régionaux ou généraux.

3.3.5 Bilan du gisement éolien

Synthèse du potentiel éolien du quartier Bois de l'Etang

Il ne semble pas envisageable d'implanter du **grand ou moyen éolien** au sein du quartier Bois de l'Etang en raison du contexte urbain.

Des éoliennes urbaines (micro-éolien) peuvent être envisagées. Elles présentent toutefois des contraintes fortes : emprise foncière pour les installations au sol, vibrations et concurrence avec le solaire ou la végétalisation pour les toitures. **La rentabilité économique de ces technologies est faible** et leur mise en place pourra plutôt être envisagée dans un but d'image.

¹² UrbanWind.net

3.4 Le bois-énergie

Les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre fixés par la France vont dans le sens de l'utilisation d'énergies à faible contenu carbone. A ce titre, le développement de l'usage de la biomasse en substitution des énergies fossiles pour les usages de chauffage est une priorité nationale. La biomasse correspond à la fraction biodégradable des produits et déchets et regroupe aussi bien les produits du bois que des déchets de l'agriculture (paille, fumier...) et de l'industrie (palettes...). Nous étudions ici le bois-énergie.

Aujourd'hui, la biomasse est principalement valorisée sous forme de bois de feu dans les cheminées. Cette utilisation est peu efficace (rendement de l'ordre de 40%) et est en partie responsable des arguments opposés à l'utilisation du bois énergie comme la pollution atmosphérique. Il s'agit d'une ressource renouvelable mais limitée, qui doit être utilisée de manière efficace et optimale en substitution aux combustibles fossiles en chauffage et avec des rendements élevés. Pour cela, des chaufferies performantes doivent être mises en place. Enfin, la biomasse peut être utilisée dans des installations de cogénération afin de produire à la fois de la chaleur et de l'électricité.

Les ressources utilisées pour la production de biomasse sont nombreuses mais au vu du contexte urbain, cette étude se concentrera sur le potentiel de la filière Bois-Energie à proximité du site. Les ressources sont évaluées pour l'ensemble du projet et les installations de production individuelles, de type « poêle à bois » par exemple, ne seront pas prises en compte au vu de leur inadéquation avec la taille des bâtiments concernés par le projet.

3.4.1 Gisements potentiels

La filière bois énergie peut faire appel à des ressources bois de natures différentes. Le gisement bois énergie est généralement composé de :

- **Produits forestiers**
- **Sous-produits de l'industrie du bois** (sciures, copeaux, écorces, etc.)
- **Broyat de bois de rebut**, que l'on peut différencier selon leur degré de propreté (généralement lié à leur provenance : par exemple, les bois d'élagage sont assimilables à du bois forestier).

Type de combustible

Pour être utilisés, ces produits peuvent être valorisés sous différentes formes :

- **Les granulés de bois** sont produits par compression et agglomération de sciure, sans agent de liaison. Ce sont de petits cylindres de 6 à 10 mm de diamètre et de 2 cm de long. Ils sont utilisés dans les poêles et les chaudières à alimentation automatique (secteur de l'habitat individuel). Leur coût est plus élevé que celui des autres combustibles bois mais leur pouvoir calorifique est meilleur du fait de leur grande densité et de leur hygrométrie plus faible. Pour mettre en place une unité de production de granulés, il est nécessaire de pouvoir disposer de la ressource (sciure) localement. Il faut donc que des entreprises de première ou deuxième transformation du bois soient présentes sur le territoire ou dans ses environs. L'avantage de cette forme de combustible est l'existence d'une norme allemande qui régule les caractéristiques du combustible.
- **Les bûches** : de 33 ou 50 cm de long le plus généralement, les bûches sont le combustible des appareils à alimentation manuelle. Elles sont généralement utilisées pour des systèmes de production du type insert (cheminée pour particulier).

- **Les plaquettes (ou bois déchiqueté)** sont obtenues par déchetage d'arbres, de branches, de sous-produits de l'industrie du bois. Elles n'entrent pas en concurrence avec les usages plus nobles du bois et présentent des prix bas. Elles peuvent être utilisées dans des chaudières automatiques.



Figure 20 : Bois sous forme de buches (à gauche), de plaquettes (au milieu) et de granulés (à droite)

Etat de la ressource

En avril 2020, la Région Ile de France et l'ADEME ont publié le Schéma Régional Biomasse d'Ile de France. Ce rapport est un état des lieux sur les ressources, les usages et les prévisions pour la filière biomasse en Ile de France.

Ce rapport s'appuie sur les chiffres des récoltes de 2018. Le territoire possède 263 000 ha de forêt (recouvrant 23% du territoire francilien) dont 62 120 ha sont classés en forêt de protection. La forêt francilienne est composée de 94% de feuillus. Environ 742 000 m³ de bois sont prélevés par an, dont 63% pour le bois-énergie. La production biologique annuelle correspond à l'augmentation de volume de bois sur pied en un an. En Ile-de-France, elle est prélevée à hauteur de 53%. La région reste donc excédentaire en matière de ressource biomasse.

A noter que 67% de ces forêts sont privées (27% appartiennent à l'Etat et 6% appartiennent aux collectivités). La propriété forestière en Île-de-France est très morcelée, ce qui limite l'exploitation de la forêt privée. En outre, le parc des engins forestiers est actuellement insuffisant pour atteindre la mobilisation voulue.

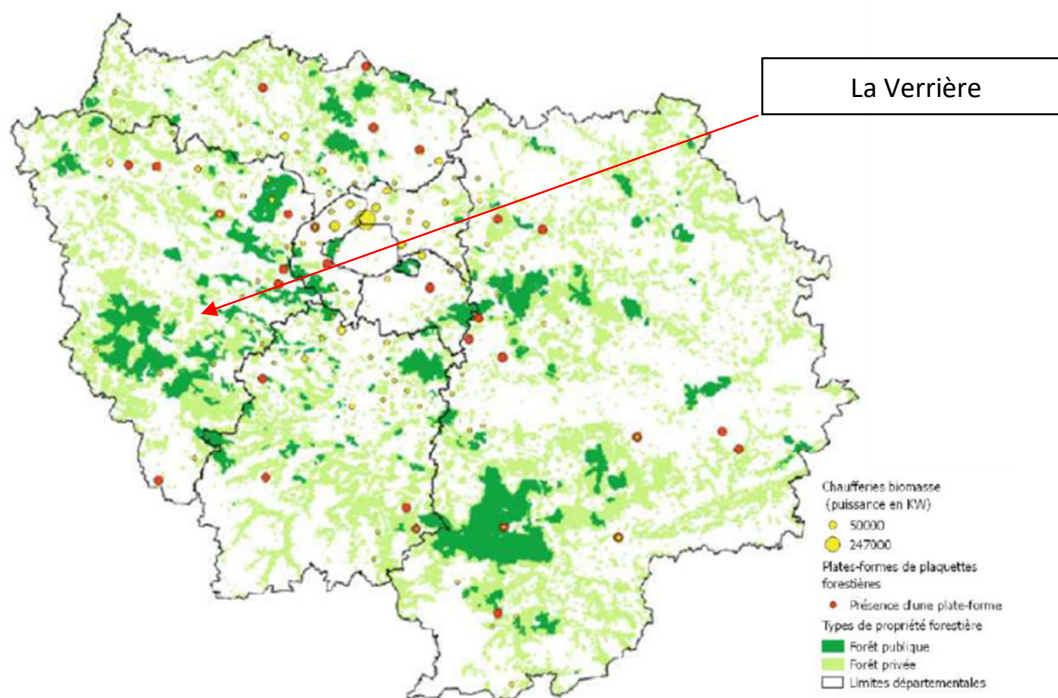


Figure 21 : Répartition des forêts d'Ile de France Source : Schéma Régional Biomasse d'Ile de France/ Institut Forestier National (IFN)

Au-delà de la région Ile de France, la ressource biomasse en France reste excédentaire. En 2016, l'ADEME avait proposé plusieurs scénarios d'exploitation des forêts françaises et quantifiait la ressource par département en 2035. Le graphique ci-dessous présente les ressources dans les départements proches de l'Ile de France pour une gestion constante et dynamique progressive.

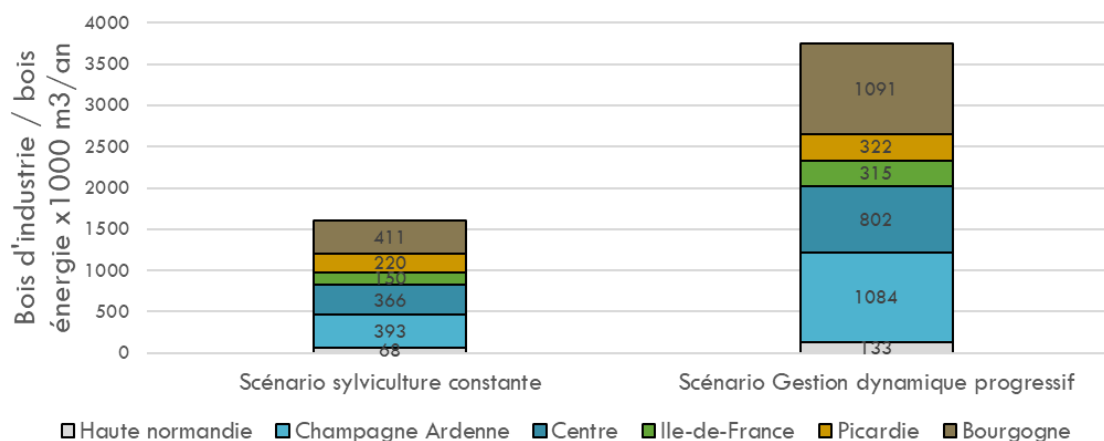


Figure 22 : Disponibilités forestières pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035 (Source : ADEME, 2016)

Le Schéma Régional Biomasse de l'Île-de-France identifie la biomasse à statut de déchets comme un gisement important au vu de la densité de la population et des activités économiques. Ce sont notamment les déchets de bois qui sont intéressants dans cette partie. Entre 2018 et 2050, le potentiel de mobilisation passerait de 216 000 GWhep à 370 400 GWhep. Néanmoins, les gisements de ce type de biomasse sont encore très diffus et difficiles à mobiliser bien que cette filière se soit grandement développée depuis les années 2000.

Logistique

Au-delà de la disponibilité globale de la ressource, l'acheminement du combustible représente un point essentiel de la réflexion autour d'une chaufferie biomasse. Celui-ci est majoritairement réalisé par poids-lourds et représente donc un facteur d'émissions de GES et de coûts non négligeable. On considère généralement que pour une distance supérieure à une centaine de kilomètres entre le projet et le point d'origine du bois, le bilan carbone de cette solution ne présente plus de réel intérêt.

On peut envisager d'imposer au fournisseur une origine locale du combustible. Le choix de l'origine du combustible peut également venir d'un compromis coût/éloignement en fonction des parcelles pouvant être exploitées au cours de l'année. Selon la technologie choisie (granulés, plaquettes, buches), la disponibilité de la ressource devra être établie par rapport aux fournisseurs de combustibles existants.

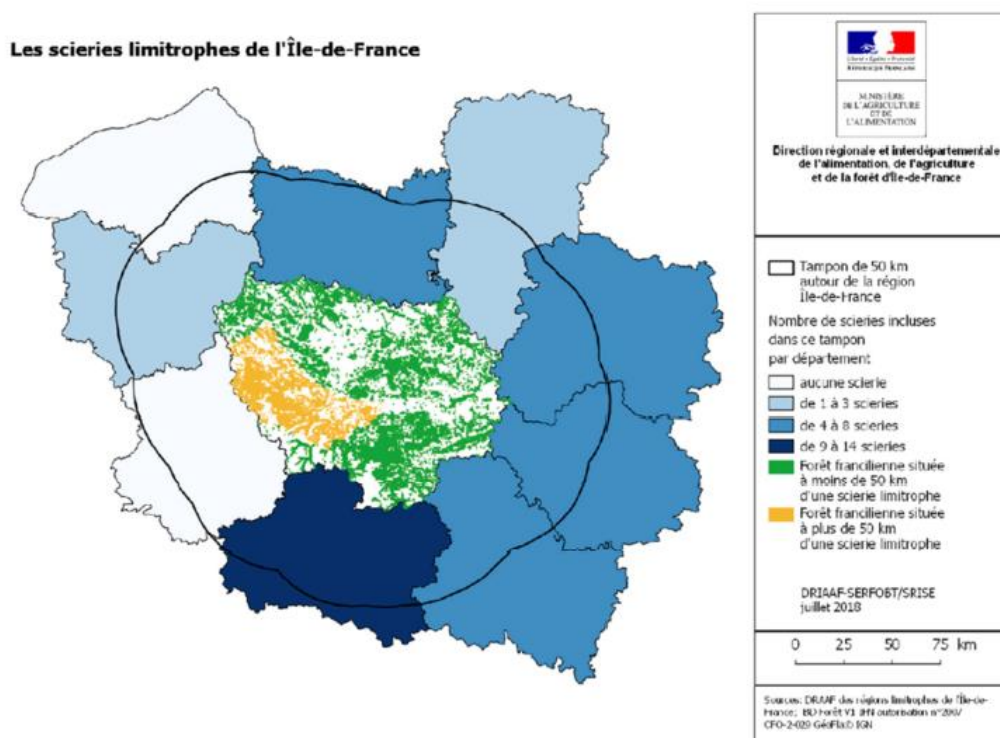


Figure 10 : Les scieries limitrophes de l'Île-de-France

Source : DRIAAF

Figure 23 - Carte des forêts et scieries en Ile-de-France

Comme on peut le voir sur la carte ci-dessus, la majorité des forêts franciliennes se situent à moins de 50 km d'une scierie limitrophe. L'approvisionnement en bois du projet pourra donc se faire en Île-de-France.

Les besoins énergétiques prépondérants du quartier seront l'électricité et la chaleur. On peut envisager trois types d'installations pour les bâtiments de la copropriété : une installation à l'échelle d'un bâtiment, une centrale de production de chaleur, et une unité de cogénération.

Chaufferie individuelle

Installées à l'échelle d'un ou plusieurs bâtiments proches, ces chaufferies peuvent assurer les besoins en chaleur de bâtiments. Elles sont particulièrement adaptées à un combustible de type granulé, dense et fluide. Il nécessite un espace de stockage assez faible et un approvisionnement moins fréquent que pour les autres ressources bois-énergie. Cet avantage en termes de contrainte foncière peut contrebalancer les coûts d'investissement et d'achat du combustible.

Les granulés sont livrés en vrac par camion souffleur et descendent par gravité dans le silo. Ceux-ci sont progressivement amenés au brûleur où ils se consomment. Les cendres sont récupérées dans un bac dédié, et sont traitées selon les normes en vigueur. Les fumées sont également traitées avant d'être évacuées. La chaleur dégagée sert à chauffer de l'eau qui alimente les bâtiments en chauffage et en ECS. Le rendement est de l'ordre de 80 à 85%.

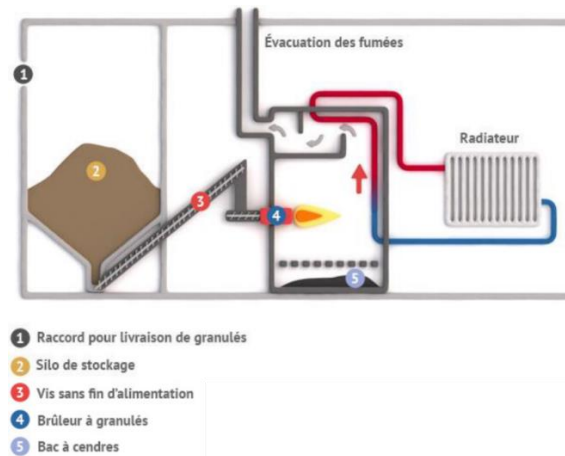


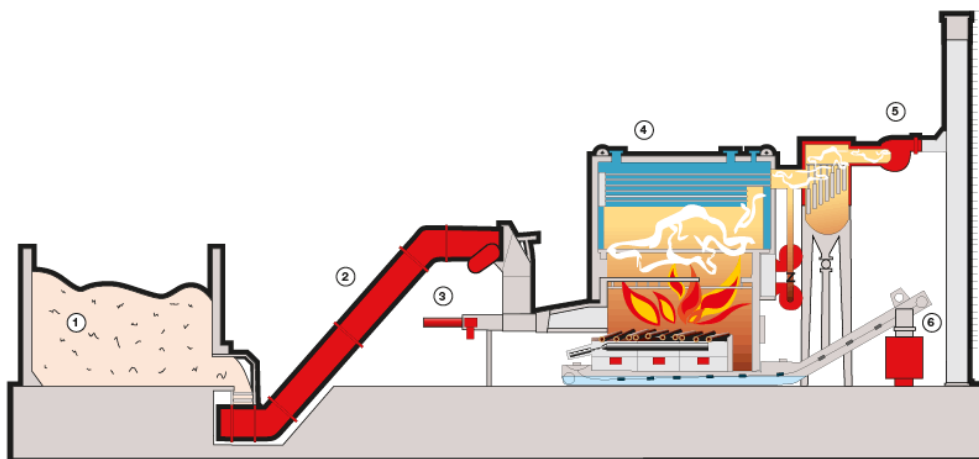
Figure 24 : Principe de fonctionnement d'une chaudière à granulés

L'intérêt économique de cette solution dépend fortement de la constance des besoins. Elle est particulièrement adaptée à des bâtiments présentant des besoins en ECS élevés et peut présenter un réel intérêt dans les cas du quartier de Bois de l'Etang où les besoins en chaleur restent importants tout au long de l'année. **L'installation d'une chaudière automatique à granulés ne pourra être envisagée que pour les bâtiments présentant les besoins en chaleur les plus élevés, si la stabilité de la demande annuelle peut justifier un tel investissement.**

Chaufferie commune reliée à un réseau de chaleur

Un réseau de chaleur urbain relie les bâtiments du site à une chaufferie commune, comprenant une chaudière biomasse qui permet d'assurer les besoins en chaleur de la zone. La centralisation de la production permet une meilleure rentabilité de l'installation et facilite les questions d'approvisionnement et de stockage du combustible. Le bois déchiqueté est la ressource la plus adaptée.

Comme pour les granulés, le bois déchiqueté est livré par des Poids-Lourds et stocké dans un silo. Il est ensuite progressivement amené au brûleur où ils sont incinérés. Les cendres sont récupérées dans un bac dédié, et sont traitées selon les normes en vigueur tandis que les fumées sont également traitées avant d'être évacuées. La chaleur dégagée sert à chauffer de l'eau qui alimente les bâtiments en chauffage et en ECS. Le rendement est de l'ordre de 90%.



- 1- Silo de stockage
- 2- Transporteur à chaînes
- 3- Poussoir hydraulique d'alimentation
- 4- Foyer grille mécanique/chaudière
- 5- Dépoussiéreur multi-cyclone/cheminée
- 6- Benne à cendres

Figure 25 : Principe de fonctionnement d'une chaudière à bois déchiqueté

Il est indispensable de prévoir une disposition foncière suffisante pour accueillir la chaufferie et le silo, mais aussi pour permettre les manœuvres des camions de livraison. La taille de cet espace de stockage déterminera l'autonomie de l'installation et donc la fréquence de livraison nécessaire à son fonctionnement. On considère généralement une autonomie de 3 jours à pleine puissance pour dimensionner un tel système.

Unité de cogénération biomasse

Une unité de cogénération est conçue de façon à produire à la fois de l'électricité et de la chaleur. Cette installation peut être mise en place à l'échelle d'un bâtiment aux consommations élevées, ou pour l'ensemble du quartier selon le principe d'une chaufferie commune.

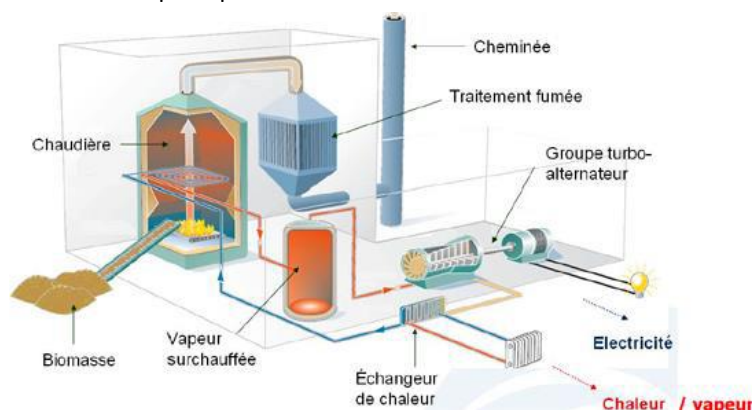


Figure 26 : Principe de fonctionnement d'une unité de cogénération biomasse

Les unités de cogénération à l'échelle d'un quartier sont dimensionnées pour produire de l'électricité. Une partie de la chaleur perdue lors de cette production est récupérée, ce qui permet d'atteindre des rendements totaux presque deux fois plus élevés que dans une production d'électricité classique. La chaudière biomasse va augmenter la température d'un circuit d'eau qui va servir à mettre en mouvement une turbine afin de produire de l'électricité. Le fluide en sortie de cette turbine est encore très chaud et va céder ses calories à un circuit de chauffage, atteignant des rendements de l'ordre de 45% en thermique.

et 40% en électrique. Le fonctionnement de la chaudière en tant que telle est identique à une chaufferie classique.

Plus récemment, des unités de micro-cogénération ont fait leur apparition sur le marché de l'énergie. Ces installations réduites à l'échelle d'un bâtiment sont dimensionnées pour couvrir les besoins thermiques et la production d'électricité vient en parallèle. La principale différence entre ces deux systèmes est que **dans le cas d'une micro-cogénération, la production d'électricité ne se fait que lorsqu'il y a des besoins en chaleur**. Le coût d'investissement de ces installations reste trop élevé pour que cette technologie puisse produire de l'énergie rentable économiquement.

Mix énergétique

Pour des raisons technico-économiques, **la plupart des chaufferies biomasse sont des chaufferies mixtes « bois / gaz »**. Le coût d'investissement d'une chaufferie bois est nettement plus élevé que le coût de la même puissance en gaz. On dimensionne donc la chaufferie biomasse de façon à couvrir la majorité des besoins annuels, mais sans chercher à satisfaire l'intégralité des pointes de consommation hivernales.

Ce dimensionnement est particulièrement important, car l'économie du projet repose sur une bonne optimisation des puissances installées. Une chaudière surdimensionnée entraînera un surinvestissement et un mauvais fonctionnement à bas régime : en dessous de 30% de la puissance installée, le rendement se dégrade fortement, limitant l'intérêt de l'utilisation du bois. La chaufferie bois sera, par conséquent, utilisée en priorité pendant les périodes où la puissance nécessaire est au-dessus de cette valeur seuil. **La présence de besoins en ECS sur le périmètre du quartier de Bois de l'Etang permet d'envisager de faire tourner des chaufferies biomasse dans des conditions satisfaisantes en dehors des périodes de chauffe**. Cette possibilité reste à étudier plus en détail afin de dimensionner de manière optimale leur installation et de décider ou non de leur recours en été pour répondre aux besoins en ECS.

3.4.2 Considérations économiques et réglementaires

La biomasse est la deuxième énergie renouvelable en France, derrière l'hydraulique. La filière bois-énergie en particulier est facilement exploitable puisqu'elle se base sur des technologies matures et maîtrisées et présente un potentiel de développement conséquent. A ce titre, sa croissance est encouragée sous réserve d'une gestion réfléchie de la ressource et d'une maîtrise de ses impacts, comme la qualité de l'air.

Investissement

Combustible	Investissement/kW	Quantité	Coût annuel (2022)
Fioul	100 à 200 € HT	1,50 t/an	1971 €/an
Buches sèches	150 à 300 € HT	7,57 t/an	785 €/an
Plaquettes	600 à 800 € HT	3,75 t/an	540 €/an
Granulés	600 à 800 € HT	3,26 t/an	1956 €/an

Tableau 10 : Coût d'une chaudière biomasse en fonction du combustible¹³

Le tableau ci-dessus présente une estimation de la quantité de combustible et du prix associé pour une production de 15 MWh/an. Les investissements sont très variables et dépendent de la qualité de l'installation, de ses performances et de sa taille. L'équivalent au fioul est présenté à titre de comparaison. Il existe aujourd'hui peu de retours d'expérience sur la mise en place de micro-cogénérations bois. Les fabricants ne donnent pas de coûts précis des installations mais parlent d'un prix très supérieur à celui

¹³ Suez Consulting

d'une chaudière gaz de puissance équivalente. Il faut également considérer le coût du raccordement au réseau électrique pour la vente de l'électricité.

Subventions

Les chaufferies biomasse pour le secteur collectif/tertiaire peuvent être éligibles au Fonds Chaleur de l'ADEME si elles permettent de produire un minimum de 1 200 MWh/an. Les chaufferies pour le secteur industrie/agricole sont également éligibles pour une production annuelle de 1 200 à 12 000 MWh/an. Ce Fonds n'intègre pas les ressources biomasse les plus conflictuelles, comme les ordures ménagères, les céréales destinées à l'alimentation et les effluents d'élevage. Les risques de conflits d'usage liés à l'approvisionnement en ressource (et notamment la perte de surfaces agricoles destinée à des cultures alimentaires) doivent ainsi faire l'objet d'une justification.

Dans le cas du bois-énergie, l'utilisation de granulés (issus du compactage des sciures) ou de plaquettes (qui proviennent des déchets de la filière bois et de ses usages) ne crée pas de conflit d'usage. La problématique de l'approvisionnement peut également faire valoir une réflexion autour du transport fluvial en remplacement d'une partie du transport terrestre : cette solution est moins carbonée et génère moins de nuisances que le transport routier. Bien que cette solution soit écologiquement avantageuse, le transport fluvial reste cependant bien plus onéreux. Des aides régionales peuvent être sollicitées pour les installations automatiques.

Pour une cogénération biomasse, les aides du Fonds Chaleur ne concernent que la partie thermique. Les équipements liés à la production d'électricité ne sont pas éligibles. Les installations peuvent cependant prétendre à une aide dans le cadre des Appels à Projet de la Commission de Régulation de l'Energie (CRE). Enfin, l'électricité produite par une unité de cogénération peut bénéficier de tarifs préférentiels avec obligation d'achat sous réserve de respecter des performances minimales, comme détaillé dans la partie Cogénération.

Réglementation

La loi relative à la Transition Energétique pour la Croissance Verte du 17 août 2015 a introduit les Schémas Régionaux Biomasse afin de préciser la stratégie régionale par rapport à cette ressource. Ce document a été soumis en 2020 à l'autorité environnementale du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable.

Un respect des objectifs de qualité de l'air et d'émissions de polluants est défini dans le Code de l'Environnement. Un traitement efficace des particules et des poussières, par la mise en place de filtres, sera toutefois indispensable.

Pour toute chaufferie de plus de 2 MW, une hauteur minimale de la cheminée est également définie de façon à supprimer tout risque lié aux fumées pour les usagers au sol :

TYPE DE COMBUSTIBLE	> 2 MW et < 4 MW	4 MW et < 6 MW	6 MW et < 10 MW	10 MW et < 15 MW	15 MW et < 20 MW
Biomasse	12 m	14 m	17 m	19 m (28 m)	21 m (31 m)
Autres combustibles solides	16 m	19 m	22 m	26 m (30 m)	29 m (34 m)
Fioul domestique	7 m	10 m		12 m (15 m)	
Autres combustibles liquides (1)	21 m	24 m	28 m	32 m (37 m)	35 m (41 m)
Gaz naturel	6 m	8 m		9 m (14 m)	
Gaz de pétrole liquéfiés	7 m	10 m		12 m (15 m)	
(1) Si les combustibles consommés ont une teneur en soufre inférieure à 0,25 g/MJ, la hauteur de la cheminée peut être réduite du tiers de la hauteur donnée dans les tableaux ci-dessus pour la puissance correspondante (valeur arrondie à l'unité supérieure).					

Tableau 11 : Hauteurs réglementaires de cheminée d'une chaufferie Article 60 de l'arrêté du 24 septembre 2013

3.4.3 Bilan du gisement de bois-énergie

Synthèse du potentiel de bois-énergie du quartier Bois de l'Etang

1) Le bois énergie est une **ressource importante** en Île-de-France, notamment avec **les déchets de bois** dont les quantités mobilisables sont potentiellement très élevées. Néanmoins, bien que la filière de déchets de bois se soit bien développée, des problèmes logistiques et économiques se posent encore. Un travail avec les acteurs de la filière à l'échelle interrégionale est nécessaire pour définir une trajectoire et des modalités de mobilisation.

2) Les besoins en ECS du quartier peuvent laisser envisager une utilisation plus optimale d'une chaufferie biomasse en dehors des simples périodes de chauffe. Les **solutions individuelles** ne seront adaptées qu'aux consommations les plus constantes et requièrent des espaces de stockage et d'approvisionnement à proximité, permettant manœuvres et rechargement des silos.

Une solution centralisée, alimentant un réseau de chaleur est envisageable mais la faisabilité économique devra être finement étudiée.

3) La **cogénération biomasse** peut permettre de répondre à une partie des besoins d'électricité tout en assurant le chauffage des bâtiments. Cette installation présente des coûts élevés et une analyse de l'intérêt économique doit être menée.

Il est rappelé que les besoins de rafraîchissement ne pourront pas être couverts par une installation biomasse mais que le bois énergie reste une bonne alternative au gaz. A noter également que la combustion de biomasse produit des cendres résiduelles et des particules fines qui se dispersent dans l'air ambiant. Des mesures de vigilance doivent être prises lors de l'installation de chaufferies biomasse afin de limiter la dégradation de la qualité de l'air.

3.5 La géothermie

Une installation géothermique vise à valoriser l'énergie du sous-sol. Cette énergie est majoritairement originaire de réactions nucléaires liées à la présence d'éléments radioactifs dans la croûte terrestre, elle est donc inépuisable et indépendante des conditions climatiques externe dès une profondeur de quelques dizaines de mètres. On distingue plusieurs catégories de géothermie suivant la température de la ressource.

3.5.1 La géothermie de surface

La technologie de la géothermie de surface permet de capter l'énergie contenue dans les aquifères peu profonds ou le sous-sol immédiat. La température de cette ressource est pratiquement indépendante des conditions climatiques et reste donc relativement constante tout au long de l'année. En hiver, elle est plus importante que celle de l'air extérieur et il est possible de récupérer une partie des calories pour chauffer un bâtiment. Il faut cependant recourir à une Pompe à Chaleur pour atteindre un niveau de température suffisant pour le chauffage. En été, elle est plus basse que l'air ambiant et peut servir à rafraîchir les bâtiments.

Selon la ressource valorisée, on distingue deux types de géothermie de surface : la géothermie sur nappe valorise les aquifères présents à de faibles profondeurs tandis que la géothermie sur sol (sondes, pieux, fondations thermoactives) utilise l'énergie présente dans les roches et les matériaux constituant le sous-sol.

3.5.1.1 Géothermie sur nappe / système ouvert (de surface < 200 m)

Les aquifères sont des milieux assez granuleux, poreux ou fissurés pour permettre le passage d'eau dans le sous-sol. Ces milieux forment des zones souterraines gorgées d'eau, dans laquelle il existe une circulation par un écoulement naturel. L'eau souterraine est isolée de l'air ambiant et sa température est peu affectée par les conditions climatiques extérieures, donc globalement constante au long de l'année et d'autant plus chaude que l'aquifère est profond

Principe de fonctionnement

La géothermie sur nappe consiste à pomper l'eau d'un aquifère jusqu'à la surface grâce à un forage, à l'acheminer jusqu'aux systèmes de production thermique (pompes à chaleur, échangeurs), puis à la réinjecter par le biais d'un deuxième forage. Sauf cas particuliers, la législation française impose de renvoyer l'eau prélevée dans son aquifère d'origine pour ne pas épuiser la ressource. Il est important d'éloigner les points de prélèvement et de réinjection afin de ne pas récupérer une eau déjà appauvrie en chaleur. Un système de géothermie sur nappe consiste donc en un doublet ou un triplet de forages : un puits de pompage, et un à deux puits de restitution.

Un aquifère de surface présente des températures généralement comprises entre 10 et 30 °C. Ces valeurs sont trop faibles pour les niveaux de températures attendus dans le chauffage des bâtiments et une Pompe à Chaleurs eau/eau (PAC) devra être intégrée au système. La géothermie sur nappe peut alimenter un réseau de chaleur Basse Température, un réseau tempéré ou un réseau de froid. Il n'est pas probant de viser une température élevée (ECS, chaleur industrielle) à partir des calories d'une nappe de surface car l'écart de température très important va nécessiter un fort apport des PAC, et dégrader les performances de l'ensemble du système.

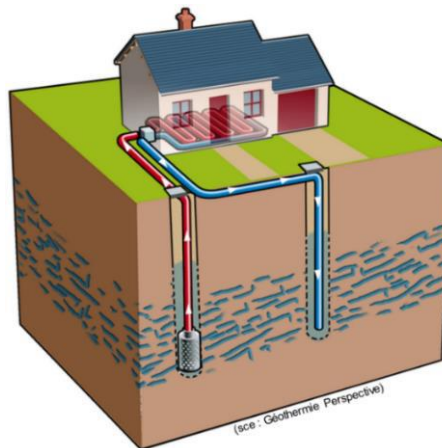


Figure 27 : Schéma de principe d'un doublet géothermique sur nappe de surface

La géothermie de surface nécessite l'utilisation d'une PAC.

Dans le cas d'une production de froid géothermique, la PAC va réchauffer l'eau de la nappe pour produire du froid dans le bâtiment ou le réseau. Dans le cas d'une production de chaud, la PAC va extraire les calories de la nappe pour les injecter au réseau, ce qui va refroidir la ressource.

La production de chaleur et de froid peut être réalisée sur une même pompe à chaleur. On parle alors de thermofrigopompe si la production de chaud et de froid est simultanée (elle est techniquement plus performante mais a un coût plus élevé), ou de PAC réversible si elle est fonction des saisons. Si la ressource est à une température de 10 à 15°C, on peut aussi se passer de PAC et réaliser un rafraîchissement direct par le biais d'un échangeur. On parle alors de freecooling (ou geocooling) et les coefficients de performance peuvent être très élevés.

État de la ressource

Le potentiel de la ressource est qualifié de moyen sur le quartier de Bois de l'Étang.

D'après les analyses du BRGM, les ressources disponibles sont celles de la nappe de l'Eocène moyen et inférieur et celles de la nappe de l'Oligocène. La production de ces aquifères est comprise entre 2 et 10m³/h avec une température évoluant entre 12°C (en hiver) et 16°C (en été). Afin d'éviter le gel des canalisations en hiver, nous prenons l'hypothèse de ne pas rejeter l'eau à moins de 5°C soit un écart de température entre le prélèvement et le rejet de 9 degrés en moyenne.



Figure 28 : Potentiels géothermiques du périmètre du quartier Bois de l'Étang¹⁴

En se basant sur ces données, la puissance extraite de la nappe est estimée à **20 kW** pour un doublet / triplet de forage. Ainsi, pour une pompe à chaleur avec un coefficient de performance de 4, la puissance fournie au bâtiment est estimée à **30 kW**.

Il faut également noter que les données sont indicatives et que seuls des forages tests permettront de s'assurer de la présence effective de la ressource et de déterminer précisément les caractéristiques de la nappe. Les durées de ces tests et de l'instruction d'un dossier de géothermie peuvent atteindre deux ou trois ans. **Il est par ailleurs important de rappeler que l'ajout d'un forage peut réduire la productivité d'opérations déjà existantes.** Il existe notamment un ouvrage de géothermie sur aquifère à Elancourt et Jouars-Pontchartrain.

3.5.1.2 Géothermie en système fermé (de surface < 200 m)

La géothermie sèche consiste en l'utilisation de l'énergie présente non pas dans les eaux sous-terraines mais dans les roches constituant le sous-sol. À partir de 20m de profondeur, la température du sous-sol n'est plus influencée par les conditions climatiques et augmente en moyenne de 3°C tous les 100m.

La géothermie sur sondes est la technologie la plus répandue. On peut également citer la géothermie sur fondations thermoactives (pieux, radiers, voussoirs...) dans laquelle les systèmes géothermiques sont intégrés à des infrastructures de soutènement afin de limiter les coûts de forage. Ce type de géothermie est surtout adapté à des ouvrages de grande taille avec des fondations importantes et ne sera pas détaillé dans cette étude.

¹⁴ Geothermies

Principe de fonctionnement

L'énergie est récupérée par des capteurs géothermiques, des échangeurs thermiques qui prélèvent de la chaleur emmagasinée dans le sous-sol par conduction. De l'eau glycolée circule à l'intérieur des tubes pour capter cette chaleur, qui est ensuite exploitée au moyen d'une pompe à chaleur (PAC). Comme la géothermie sur nappe de surface, ce type de système ne peut alimenter que des émetteurs de chauffage « Basse Température ». La ressource peut également servir à refroidir le bâtiment en été.

L'échange réalisé dans la sonde géothermique permet de récupérer une eau dont la température est de l'ordre de la dizaine de degrés, ce qui explique le recours à une PAC pour subvenir aux besoins de chauffage et permet une circulation de fluide froid en été.

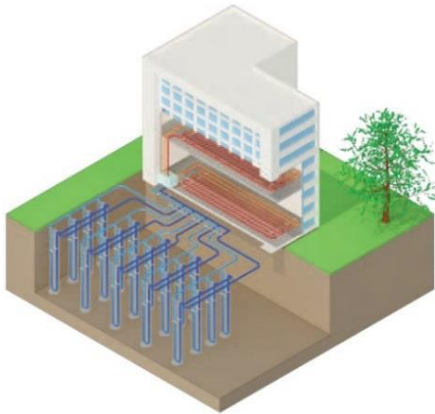


Figure 29 : Schéma de principe de la géothermie sur sondes

Il existe deux types de sondes :

- Échangeurs verticaux : Les sondes géothermiques peuvent atteindre jusqu'à 200m de profondeur.
- Échangeurs horizontaux : Les capteurs sont disposés de manière horizontale, à une profondeur comprise entre 0.6 et 1.2 m. Les coûts d'investissement sont généralement moins élevés que les sondes verticales mais les capteurs nécessitent une grande surface de pose : 2.5 à 3 fois la surface chauffée.

État de la ressource

Dans l'ensemble, la géothermie sur sondes reste moins efficace que la géothermie sur nappe de surface. Elle est privilégiée quand il n'y a pas de ressource en eau, ou pour des bâtiments avec des fondations particulières qui peuvent éviter de faire des forages supplémentaires.

Les caractéristiques du sous-sol jouent un rôle fondamental dans une opération géothermique sur sondes verticales, notamment : conductivité, chaleur spécifique, structure, perméabilité... Ces éléments influent sur le dimensionnement de l'installation et sur les techniques de forages à mettre en œuvre et donc sur le coût final du projet.

Au sein du quartier de Bois de l'Etang, aucun forages tests n'a été réalisé.

Type de terrain	Puissance spécifique extraite	
	pour 1 800 h/an	pour 2 400 h/an
Valeurs générales indicatives		
• Sous-sols pauvres (sédiments secs)	25 W/m	20 W/m
• Sous-sols normalement rocheux et sédiments saturés en eau	60 W/m	50 W/m
• Roches consolidées à conductivité thermique élevée	84 W/m	70 W/m
Roches spécifiques		
Graviers et sables secs	< 25W/m	< 20 W/m
Graviers et sables saturés en eau	65 à 80 W/m	55 à 65 W/m
Argile humide	35 à 50 W/m	30 à 40 W/m
Calcaire massif	55 à 70 W/m	45 à 60 W/m
Grès	65 à 80 W/m	55 à 65 W/m
Granite	65 à 85 W/m	55 à 70 W/m
Basalte	40 à 65 W/m	35 à 55 W/m
Gneiss	70 à 85 W/m	60 à 70 W/m

Tableau 12 : Puissance d'extraction en fonction des types de sol¹⁵

Dans le cas de production de chaleur, la puissance maximale fournie par le sous-sol décroît en fonction du nombre d'heures de production. Un nombre d'heures de fonctionnement annuel autour de 1 800 heures est d'ailleurs recommandé pour ne pas extraire du sous-sol une quantité trop importante de calories qui conduirait à terme à la gélification.

Ainsi, la puissance soutirée au sol est d'environ **40 W/m** de sonde verticale, en considérant l'argile comme le composant géologique principal du sous-sol en surface (cf tableau 14). Dans ces conditions, pour obtenir une puissance de chauffage de 100 kW, il est nécessaire d'implanter **13 sondes verticales de 200 mètres**.

L'exemple précédent n'a pour seul objectif de présenter un ordre de grandeur du potentiel énergétique récupérable pour ce type de géothermie mais **l'estimation de ce potentiel ne pourra être établie qu'à partir d'une analyse détaillée** réalisée par un bureau d'étude spécialisé en sous-sol. Elle reposera sur des tests in situ afin de déterminer les caractéristiques physiques du site. En outre, il sera important de vérifier l'existence et la disposition de réseaux sous le sol avant de percer.

Le stockage saisonnier

La géothermie sur sondes repose sur l'exploitation de calories existantes dans le sous-sol, dans le but de produire de la chaleur et/ou du froid à partir de cette ressource existante. La présence d'un aquifère dans le sous-sol favorise la régénération thermique du sol puisqu'il implique une circulation d'eau. Il permet ainsi d'éviter de déséquilibrer la température du sous-sol d'année en année et améliore la pérennité du système.

L'inertie thermique du sous-sol peut être valorisée pour stocker des calories issues d'un excédent de production, afin de les récupérer par la suite. Le principe de fonctionnement des sondes est le même : la récupération et l'injection de calories sont réalisées par la circulation d'eau glycolée dans le système, mais elles sont réalisées dans un but de stockage saisonnier. L'absence d'aquifère permet d'assurer la stabilité de la ressource, afin d'éviter que l'énergie stockée ne « s'écoule » en aval.

Il s'agit d'une gestion alternative des sondes géothermiques, et non d'une technologie différente. Ce mode peut être envisagé lorsqu'un bâtiment présente des surproductions temporaires de chaleur ou de froid, par exemple s'il possède un autre système renouvelable. Un équilibre chaud/froid à l'année reste préférable : si le sous-sol se réchauffe (ou se refroidit) avec le temps, les performances de l'ensemble du système diminueront.

¹⁵ Source : NIT-259 : CSTC-WTCB

3.5.2 Géothermie basse température (> 200 m)

La géothermie basse température utilise les ressources présentes dans :

- Les aquifères profonds pour un usage direct en réseau de chaleur
- Les zones volcaniques pour la production d'électricité
- Les fossés d'effondrement pour la production d'électricité et/ou de chaleur de cogénération

La France métropolitaine possède des aquifères profonds dans ses bassins sédimentaires et fossés d'effondrement.

Etat de la ressource :

L'Ile-de-France comporte plusieurs aquifères favorables à la mise en place d'opérations de géothermie basse température. Les nappes profondes permettent d'accéder à une eau plus chaude qui permet de meilleures performances des systèmes géothermiques. Le coût des forages rend l'équilibre entre production et consommation essentiel. Il faut une demande en chaleur suffisante pour espérer rentabiliser les investissements.

4 aquifères sont présents dans les sous-sols d'Ile-de-France :

- ❖ Sur les Grès du Trias (-1950 m), la température serait de 81°C¹⁶. Une étude du BRGM montre un potentiel non négligeable de cet aquifère mais son hétérogénéité rend les projets plus compliqués. Une tentative à Achères n'a notamment pas abouti.
- ❖ Sur le Dogger (-1650 m) : La température moyenne est de 50°C.
- ❖ Le Lusitanien (-1150 m) est un aquifère peu connu et peu exploité. La température moyenne serait d'environ 50°C.
- ❖ Sur l'Albien (-610 m) et le Néocomien (-800 m) : La température moyenne serait de 28°C et 32°C. Ce dernier est notamment utilisé par le réseau de l'EcoQuartier Clichy Batignolles depuis 2021. Des installations récentes à Issy-les-Moulineaux et au Plessis-Robinson montrent des difficultés d'exploitation dues à un colmatage des puits. Enfin, ces ressources stratégiques en eau potable sont encadrées et les procédures d'autorisation d'exploitation pourront être complexes.

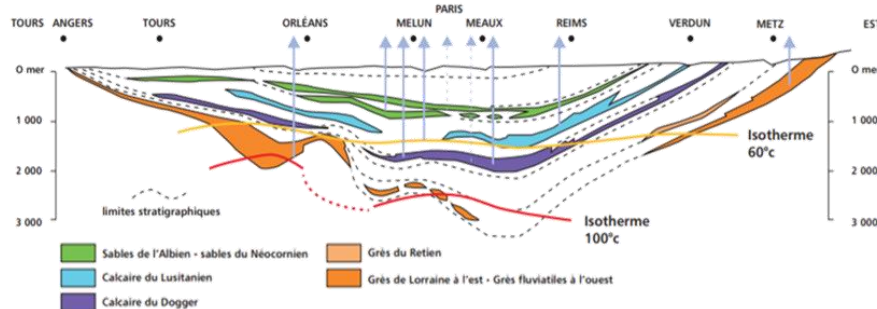


Figure 30 : Représentation des nappes présentes sous l'île de France¹⁷

Dans un rayon de 5 km autour du projet, aucun forage profond n'est détecté.

3.5.3 Considérations économiques et réglementaires

¹⁶ <https://www.geothermies.fr/les-technologies-de-geothermie-profonde>

¹⁷ Source: ADEME - BRGM

La géothermie est une ressource maîtrisée et présentant un potentiel très conséquent. Si son développement est encouragé en raison des grandes performances énergétiques qu'elle est capable d'atteindre, il existe toutefois des réglementations strictes visant à protéger cette ressource sur le long terme et à limiter ses risques pour les installations de surface.

Investissements

Le principal poste de coût d'une installation géothermique vient des forages nécessaires à la mise en place des sondes ou des puits. Il oscille entre 800 et 2 000 € HT par mètre linéaire de forage, selon la composition du sous-sol et le nombre d'acteur (et donc de concurrence) présente dans le secteur. Pour les deux technologies, il faut ajouter un coût lié aux pompes de circulation et aux systèmes de régulation. Pour un débit de 60 à 100 m³/h, soit le double de ce qui peut être attendu par les aquifères de l'Éocène ou le débit estimé pour certains aquifères plus profonds, ce coût varie entre 25 000 € HT et 70 000 € HT. Il faut ensuite compter le coût des pompes à chaleur, des éléments de distribution et d'émission pour environ 300 € HT/kWh.

Les coûts de maintenance des pompes à chaleur varient de 4 500 € HT/an, pour une pompe de 100 à 200 kW, à 15 000 € HT/an pour une pompe de 800 à 1 000 kW. Les puits nécessitent une maintenance annuelle (1 500 à 3 000 € HT/an) et des examens exceptionnels tous les 10 ans environ (10 000 € HT). En comparaison, la maintenance d'un système sur sondes est très réduite et les coûts négligeables, mais les installations ne peuvent pas être renouvelées en fin de vie.

Les coûts d'exploitation sont très faibles et peu dépendants des variations des prix de l'énergie. D'après une étude basée sur des sites en Ile-de-France, ils sont compris entre 25 et 40 € HT/MWh. À noter qu'un système de secours (gaz par exemple) sera nécessaire et pourra servir à faire l'appoint pour les périodes les plus froides afin de limiter les coûts liés à un surdimensionnement.

Réglementation

Selon leurs dimensions et l'usage qu'elles font de la ressource souterraine, les installations de géothermie peuvent être soumises :

- Au code minier (en particulier titre V)
- Au code de l'environnement (livre II, titre 1er « loi sur l'eau » ou livre V, titre 1er « installations classées pour la protection de l'environnement ») ;
- Au code de la santé publique (en particulier dans le cas des opérations mixtes où l'eau extraite est également destinée à un usage alimentaire) : liste des déclarations et autorisations en Mairie.

Code Minier

Les gîtes géothermiques sont divisés en trois catégories : haute température, basse température et minime importance.

La Géothermie de Minime Importance (GMI) constitue un statut particulier qui sous réserve de certaines conditions, permet de s'affranchir de l'obtention d'un permis d'exploitation. Un projet de doublet géothermique est éligible à ce régime si :

- La puissance totale extraite du sol ne dépasse pas 500 KW
- Les puits ne dépassent pas une profondeur de 200m
- L'eau injectée est à une température inférieure à 25°C.
- Le débit de pompage est inférieur à 80 m³/h.
- Le projet ne se situe pas en zone « rouge »



Figure 31 : Eligibilité à la GMI pour les systèmes ouverts (à gauche) et fermés (à droite) pour des profondeurs de 10 à 200m¹⁸

La totalité du quartier Bois de l'Étang se trouve en **zone éligible à la GMI** pour les systèmes fermés et ouverts.

Tout sondage de plus de 10 m de profondeur, y compris pour un gîte géothermique de minime importance, doit être déclaré à l'ingénieur en chef des mines (Code Minier art. 131). Cette imposition s'applique à tous les forages, quel que soit leur usage (eau potable, géothermie, etc.). L'exploitation de l'installation est soumise à la législation minière. D'après le décret n°95- 696, l'autorisation minière vaut autorisation au titre du Code de l'Environnement (anciennement Loi sur l'Eau).

- La recherche et l'exploitation de gîtes géothermiques à haute température (eau de plus de 150°C) sont soumises à la réglementation minière générale : il sera notamment nécessaire d'obtenir un permis exclusif de recherche par arrêté ministériel ou une concession par décret en Conseil d'État (Code Minier - notamment les titres II et III - et décret n°95-427).
- La recherche et l'exploitation de gîtes géothermiques à basse température (eau de moins de 150°C) sont soumises à l'obtention d'un permis de recherche ou d'exploitation minier, délivré par la préfecture (code Minier, articles 98 à 103, et décret n°78-498).
- Sont exemptés de la réglementation minière les gîtes géothermiques dits de "minime importance" (décret n°78-498 du 28 mars 1978), qui répondent aux caractéristiques suivantes : une profondeur inférieure à 100 m et un débit calorifique inférieur à 200 thermies par heure (= 232 kW), par rapport à une température extérieure de référence de 20°C.

Lorsqu'elle est nécessaire, l'autorisation au titre du Code Minier doit être obtenue avant tout travaux dans le sous-sol. Cette mesure s'applique aussi pour les essais de pompage qui vérifieront le potentiel des nappes.

Code de l'Environnement (anciennement Loi sur l'Eau n°92-3 du 3 janvier 1992)

Tout prélèvement de moins de 1 000 m³ par an est considéré comme « à usage domestique », et n'est donc pas soumis à cette réglementation. Dans les autres cas, le texte qui s'applique plus particulièrement est le décret n°2006-881 du 17 juillet 2006 modifiant le décret n°93-743 du 29 mars 1993 relatif à la nomenclature des opérations soumises à autorisation préfectorale ou à déclaration, pris en application des articles L. 214-1 à 214- 6 du Code de l'Environnement.

Les rubriques concernent en particulier les prélèvements et les rejets d'eau et dépendent du débit exploité, et du milieu dans lequel la ressource est récupérée (aquifère, mais aussi lacs, cours d'eau, mer). Dans le cas d'un système géothermique sur aquifère, la réglementation ne permet un rejet hors de son aquifère d'origine que sous certaines conditions afin de limiter l'impact d'un tel prélèvement. Des prescriptions nationales ou locales peuvent limiter ou interdire les prises d'eau ou les rejets (Police des

¹⁸ Source: Géothermies.fr

eaux : Code de l'Environnement, articles L. 211-2 et suivants). Certaines ressources sont ainsi considérées comme stratégiques, ou présenter des niveaux de pollution incompatibles avec un usage géothermique. Si la géothermie est retenue pour la production d'énergie, il sera nécessaire de compléter l'étude d'impact. Les résultats de l'étude de faisabilité et des essais de mesures sont généralement nécessaires pour pouvoir évaluer ces impacts. Sous réserve d'un accord de la DRIEE, il est possible de prévoir une mise à jour de l'étude d'impact une fois que ces informations auront été obtenues. Elle devra être mentionnée dans le dossier initial.

Subventions

Les systèmes géothermiques produisant de la chaleur peuvent être éligibles au Fonds Chaleur de l'ADEME, sous réserve d'un respect des conditions de performances et de la réglementation en vigueur. Ces subventions sont valables pour les systèmes mettant en jeu une récupération directe de calories sur des ressources à haute température, mais aussi des installations comportant des PAC.

Enfin, la garantie AQUAPAC permet de couvrir les investissements des forages. Si les tests réalisés sur le site et les essais de pompage concluent à une absence d'eau ou une ressource insuffisante, cette garantie rembourse tout ou partie des investissements.

3.5.4 Bilan du gisement géothermique

Synthèse du potentiel géothermique du quartier de Bois de l'Etang

1) Le potentiel de la géothermie sur nappe de surface est assez important pour l'envisager pour des bâtiments neufs qui possèdent des besoins en climatisation et chauffage équilibrés.

2) La géothermie sur sondes est également envisageable sur l'ensemble du périmètre du projet.

Les deux types de géothermie peuvent assurer une production de chaleur et de froid. La géothermie sur sondes se distingue de celle sur nappe car elle s'affranchit des contraintes administratives liées aux prélèvements et rejets d'eau. Cela peut permettre de raccourcir les délais de mise en œuvre.

Des forages tests seront nécessaires pour le potentiel géothermique de surface.

3) Le quartier de Bois de l'Etang est située sur une zone favorable à la géothermie basse température. La chaleur de l'aquifère du Dogger est notamment déjà valorisée. Les caractéristiques de la nappe du Dogger permettent, en effet, de subvenir aux besoins en chaleur des infrastructures. Si une nouvelle centrale géothermique sur le Dogger est envisagée, le projet devra s'assurer qu'elle n'impacte pas les installations existantes.

3.6 La valorisation des eaux usées

3.6.1 Principe de fonctionnement

Les eaux usées désignent les eaux d'évacuation modifiées par les activités humaines (domestiques, industrielles, agricoles, etc.). Pour les eaux usées domestiques, on distingue les eaux noires (eau de toilettes) des eaux grises (autres eaux domestiques : douches, lavabos, lave-linge, cuisine...). Une partie de ces eaux usées ont été réchauffées par certaines activités comme les douches, la cuisine ou les process industriels et constituent ainsi une source de chaleur. En temps normal, cette chaleur est évacuée en même temps que les eaux usées et est donc « perdue ». Le fonctionnement de la récupération de l'énergie thermique présente dans les eaux usées ou des eaux grises est semblable à celui de la géothermie dans son principe de récupération des calories. En effet, alors que la géothermie consiste à récupérer les calories de l'eau souterraine, l'utilisation de l'énergie des eaux usées consiste à récupérer les calories présentes dans l'eau circulant dans les réseaux d'assainissement.

Cette eau a une température globalement stable, d'environ 20°C l'été et de 12 à 15°C en hiver. L'utilisation de pompes à chaleur est nécessaire afin d'augmenter la température à un niveau suffisant pour une utilisation en chauffage basse température. Il faut également prévoir une production en appoint pour les jours où la consommation énergétique est la plus importante. Par ailleurs, il est possible d'envisager une réversibilité du système afin de rafraîchir les bâtiments en été.

La récupération d'énergie sur les eaux usées peut se faire sur trois points du réseau d'assainissement :

- **Au niveau des bâtiments** : Le principe de cette solution repose sur un préchauffage de l'eau froide entrante dans le bâtiment grâce aux eaux grises qui en ressortent, encore chaudes, avant leur rejet dans les égouts. Une PAC ou chaudière gaz permet ensuite d'élever la température de cette eau préchauffée pour alimenter les bâtiments en ECS et éventuellement en chauffage. Cette technologie nécessite le respect de plusieurs paramètres structurants, notamment le fait que les eaux grises et les eaux de vannes (sanitaires) doivent être séparées. De plus, la température des eaux grises doit s'élever à au moins 28°C. (Elle est assez adaptée à un projet de logement, dont les eaux usées sont en grande partie constituées des sorties de cuisines et de salles de bain).
- **Dans les canalisations** : des échangeurs sont installés à l'intérieur d'une canalisation majeure acheminant les eaux usées depuis les bâtiments jusqu'aux stations d'épuration. Un fluide caloporteur circule dans cet échangeur et récupère une partie des calories portées par les eaux usées lors de leur passage dans la canalisation. Ces calories sont ensuite transférées à un réseau via une Pompe à Chaleur, et utilisées pour alimenter des émetteurs de chauffage Basse Température (de type plancher chauffant). Le potentiel de récupération des calories dépend du débit dans les canalisations et de leur diamètre. Les échangeurs étant directement installés dans les canalisations, un diamètre minimum de 400 mm est nécessaire pour un réseau neuf (800 mm pour un réseau existant). La chaufferie doit pouvoir être installée entre 100 et 300 m de l'échangeur. Il est également possible de créer une **dérivation à partir du système d'assainissement** pour s'affranchir de la contrainte du diamètre, mais ce système nécessite un débit conséquent.
- **Au niveau de la station d'épuration** : Les stations d'épuration centralisent de grandes quantités d'eaux usées pour les traiter. Le potentiel de récupération de chaleur sur ces eaux usées est conséquent mais sort du cadre de ce projet.



Figure 32 : Systèmes de récupération de chaleur sur bâtiment (à droite), sur canalisation neuve (au milieu) et existante (à gauche)

3.6.2 Potentiel des eaux usées

Pied d'immeuble

Il est envisageable de récupérer la chaleur des eaux grises directement sur les tuyaux de collecte des bâtiments. Ces technologies de récupération de chaleur peuvent être mises en œuvre au sein des bâtiments neufs, et venir ainsi contribuer au préchauffage de l'eau froide de ces derniers, ou encore contribuer aux besoins en chaleur des bâtiments. Elle nécessite d'être anticipée au moment de la conception.

Canalisations

Cette solution pourra être envisagée si de nouvelles canalisations d'un diamètre suffisant sont créées (avec un diamètre suffisant supérieur à 400 mm) ou si des travaux de renouvellement sont engagés. Toutefois, la mise en place des technologies de récupération de chaleur sur canalisations est conditionnée par des données de températures et de débits qui ne sont pas connues à ce jour ne permettent donc pas de conclure sur ce potentiel.

Station d'épuration

Afin de pouvoir utiliser la chaleur fatale d'une station d'épuration pour l'alimentation en chaleur du quartier il est nécessaire que cette station soit située dans un rayon de 2-3 kilomètres (sauf en cas de très grande capacité). Il existe une STEP à proximité du quartier de Bois de l'Etang, toutefois sa capacité nominale de 600 EH n'est pas suffisante pour la stabilité du gisement et l'intérêt économique du projet.

3.6.3 Considérations économiques

Investissements

La récupération de chaleur sur les eaux usées est relativement récente en France et les projets réalisés ne permettent pas de définir de façon précise un coût moyen. Les systèmes suivants sont présentés à titre d'information :

- Montereau : 86 mètres linéaires de canalisations (soit 157 m² d'échangeurs) ont été équipées pour un coût total de 1 470 000 €, déduction faite des subventions et les aides apportées au projet. Le système produit environ 1 000 MWh/an d'énergie renouvelable. Le débit dans les conduites est d'environ 300 m³/h.
- Arras : une déviation a été faite depuis les canalisations jusqu'à un centre aquatique, pour un coût de 60 000 €. Le système permet de produire 150 MWh/an d'énergie renouvelable.
- Un récupérateur sur un petit bâtiment (type « Power Pipe » de NORELLAGG) coûte entre 800 € et 1500 €.

Les coûts d'exploitation sont faibles et peu dépendants des variations des prix de l'énergie. A noter qu'un système de secours, par exemple au gaz, sera nécessaire et pourra servir à faire l'appoint pour les périodes les plus froides afin de limiter les coûts liés à un surdimensionnement.

Subventions

La récupération de chaleur sur les eaux usées bénéficie de subventions de la part du Fonds Chaleur de l'ADEME, qui permet de financer les projets d'installations produisant et distribuant la chaleur renouvelable dans les secteurs de l'habitat collectif, du tertiaire et de l'industrie. Les projets doivent répondre à des conditions définies par l'ADEME : des pompes à chaleur possédant de bons coefficients de performance, une production minimale de 12 MWh extraits par an, et un nombre d'heures de fonctionnement conséquent. Les systèmes de dérivation depuis les canalisations bénéficient des mêmes subventions du Fonds Chaleur. Tous les projets de ce type réalisés en France ont bénéficié de ces aides.

Il est enfin possible de cumuler ces aides avec les subventions du Fonds Chaleur pour la création d'un réseau de chaleur ou de froid.

3.6.4 Bilan du gisement de récupération sur les eaux usées

Synthèse du potentiel de valorisation des eaux usées du quartier Bois de l'Etang

Récupération de chaleur sur station d'épuration : le potentiel de cette solution ne semble pas intéressant en raison de la capacité nominale trop faible de celle-ci.

Récupération d'énergie des eaux usées dans les canalisations : les diamètres des canalisations au droit du projet ne sont pas connus et conditionnent le potentiel. Si le projet intègre le renouvellement ou la création de réseaux, la solution pourrait être envisagée. Toutefois, la connaissance d'autres paramètres structurants (débit, températures, profondeur) est indispensable pour conclure sur cette opportunité. Si cette solution est mise en œuvre, elle permettrait de répondre à une partie des besoins de chauffage et de rafraîchissement des quartiers (vérifier la concurrence avec la récupération de chaleur en pied de bâtiment).

Récupération de chaleur en sortie des bâtiments : cette solution pourrait être mise en œuvre sur le quartier en particulier pour les bâtiments neufs. Les logements seraient concernés, rejetant suffisamment d'eaux grises et ayant des besoins d'ECS conséquents.

3.7 La récupération de chaleur fatale

3.7.1 Principe de fonctionnement

Du fait de leurs procédés de production, certaines industries produisent une énergie thermique qui n'est pas forcément utilisée dans sa totalité. Cette chaleur est appelée « chaleur fatale » car sa production est inévitable au regard du process. Si aucune solution de valorisation n'est prévue, cette énergie sera perdue par rejet à l'atmosphère (fumées), aux réseaux d'épuration (eaux usées) ou au milieu ambiant (refroidissement par une source d'eau, etc.).

La mise en place de dispositifs de récupération peut permettre de valoriser une partie de cette énergie perdue. Elle peut se faire en interne par la création de boucles courtes qui diminuent mécaniquement la consommation du site industriel, ou en externe en approvisionnant en énergie un autre ou un réseau de chaleur urbain.

La recherche de synergies entre les projets urbains et les process industriels entre dans une logique d'économie circulaire : d'une part, elle permet d'améliorer l'efficacité énergétique de l'entreprise en limitant les rejets. D'autre part, elle permet de satisfaire certains besoins en énergie thermique. Il s'agit également d'un moyen de pérenniser l'activité d'une industrie sur le territoire, en l'associant directement à la vie de ce dernier.

Il existe une multitude de sources de chaleur fatale, les technologies qui permettent de la récupérer sont donc nombreuses et variées. Elles doivent être sélectionnées spécifiquement. Il est alors très difficile d'estimer les coûts et le gisement énergétique de ce genre de système.

3.7.2 Potentiel de la chaleur fatale

Les entreprises peuvent être des gisements importants de chaleur fatale. Certaines doivent refroidir leurs installations que ce soit pour des raisons techniques, réglementaires, etc. ...

En l'absence d'une valorisation de cette chaleur fatale, le refroidissement des process représente une dépense énergétique et un poste de coût parfois important pour les entreprises. Elles peuvent donc être intéressées par le raccordement à un réseau de chaleur leur permettant de valoriser leur trop plein d'énergie. La proximité de ces gisements au réseau de chaleur est également nécessaire pour conserver la densité énergétique de l'ensemble du projet.

Parmi les entreprises grandes productrices de chaleur, on compte les data centers, les entreprises de sidérurgie, de métallurgie, de chimie, les entrepôts frigorifiques ou encore les UVE. Aux alentours du quartier de Bois de l'Étang, plusieurs entreprises peuvent être intéressantes :

Nom	Type de chaleur	Distance du quartier (km)	Potentiel
SOFRILOG TRAPPES	Entrepôt frigorifique	0,3	Température 35°C
SYME	Fabrication produits minéraux non métalliques	0,4	Non renseigné
METRO FRANCE	Entrepôt frigorifique	0,7	Température 35°C
GEC 4 (ex SCOR)		1	Puissance haute température : 4 900 kW
SOCIETE PARISIENNE DES MATERIAUX ENROBES	Entrepôt Station d'enrobage au bitume de matériaux routiers	1,2	Non renseigné
LAFARGE BETONS	Production de béton	1,3	Puissance haute température : 240kW
SFR	Data center	2.6	960 kW

Tableau 13 : Sources de chaleur fatale et distances du quartier Bois de l'Etang¹⁹

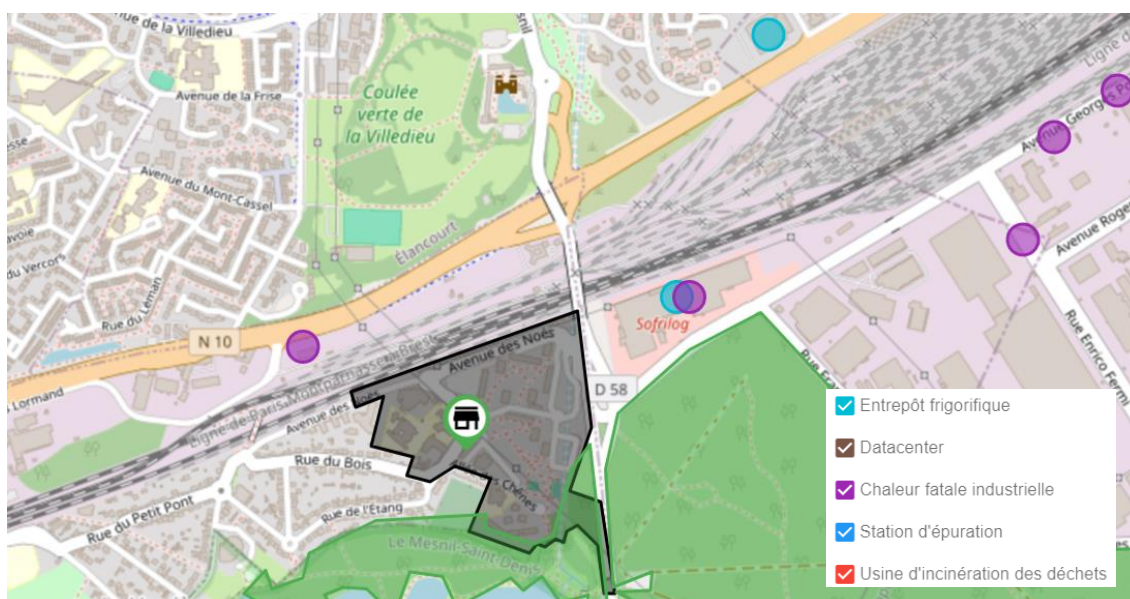


Figure 33 : Sources de chaleur fatale aux abords du quartier Bois de l'Etang¹⁹

Outre, la récupération de chaleur sur les entreprises ou bâtiments publics, certains grands acteurs peuvent être intéressants à intégrer pour viabiliser le fonctionnement d'un réseau de chaleur car grands consommateurs de chaleur. Le réseau de chaleur pourra ainsi s'appuyer sur certains bâtiments à proximité tels que les écoles, le gymnase et la résidence du Bois de l'Etang.

¹⁹ Source: EnergyMapper

3.7.3 Bilan du gisement de récupération de chaleur fatale

Synthèse du potentiel en chaleur fatale du quartier Bois de l'Etang

Plusieurs entreprises autour et dans le projet ont été identifiées. Elles pourraient être source de chaleur fatale pour le développement d'un réseau de chaleur sur le quartier Bois de l'Etang, en particulier dans le cadre du développement du réseau de chaleur urbain de la Verrière. Ces gisements potentiels devront être confirmés et caractérisés auprès des industriels.

Des équipements ont également été identifiés qui pourraient renforcer la rentabilité du développement d'un réseau de chaleur sur le quartier compte tenu de leurs besoins de chaleur.

3.8 Synthèse de l'état des lieux des ressources énergétiques

Le tableau qui suit présente la synthèse de l'étude des potentiels de développement des énergies renouvelables du quartier Bois de l'Etang. Cette synthèse présente, pour chacune des solutions, un rapide aperçu des principaux enjeux liés et les grandes clés de décision associées.

Intérêt potentiel :

	Favorable
	Gisement à confirmer
	Peu favorable à l'échelle du projet, mais envisageable à l'échelle d'un bâtiment ou à titre d'exemple
	Défavorable ou inexistant

Ressource	Avantage	Inconvénient	Type d'énergie	Intérêt pour le projet	Gisement pour le projet
RESEAU DE CHALEUR ET DE FROID					
Réseau de la Verrière (en étude de faisabilité)	<ul style="list-style-type: none"> Ce réseau pourrait alimenter le quartier du Bois de l'Etang. Il possède notamment un fort taux EnR (75%) grâce à l'exploitation de la géothermie profonde. 	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier que la concrétisation du projet. 	Chaleur		Le réseau devrait répondre à des besoins en chauffage et ECS de près de 25 700 MWh.
Réseau de Trappes (en étude de faisabilité)	<ul style="list-style-type: none"> Le réseau serait à proximité du quartier de Bois de l'Etang 	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier la concrétisation du projet. Présence de la voie ferrée. 	Chaleur		<i>Non renseigné</i>
Réseau d'Elancourt – Nouveaux Horizons	<ul style="list-style-type: none"> Il se situe à environ 2km du quartier de Bois de l'Etang 	<ul style="list-style-type: none"> Taux d'EnR nul car il repose à 100% sur du gaz 	Chaleur		Il permet une livraison totale de chaleur de 5,6 GWh.

Ressource	Avantage	Inconvénient	Type d'énergie	Intérêt pour le projet	Gisement pour le projet
		<ul style="list-style-type: none"> Nécessité de rajouter une nouvelle production de chaleur pour satisfaire les besoins supplémentaires éventuels. Présence de la voie ferrée 			
Réseau de Plaisir	<ul style="list-style-type: none"> Il possède un fort taux d'EnR (76,3%) grâce à la valorisation énergétique de déchets. 	<ul style="list-style-type: none"> Il se situe à plus de 6km du quartier de Bois de l'Étang. Nécessité de rajouter une nouvelle production de chaleur pour satisfaire les besoins supplémentaires éventuels. Taux d'EnR à maintenir. Présence de la voie ferrée. 			

SOLAIRE					
Thermique	<ul style="list-style-type: none"> • Installation simple et technologie maîtrisée • Bonnes performances 	<ul style="list-style-type: none"> • Concurrence avec la végétalisation des toitures et le solaire photovoltaïque. 	Chaleur		Intéressant sur les toitures des logements collectifs (besoins en ECS).
Photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> • Gisement important qui dépend des bâtiments sélectionnés • Installation simple et technologie maîtrisée, • Compatible avec la végétalisation des toitures sous certaines conditions (renforcement des structures, choix des espèces...). 	<ul style="list-style-type: none"> • Investissements élevés • Concurrence avec le solaire thermique 	Electricité		9840 m ² de toiture mobilisable, pour un productible de 675 MWh/an
EOLIEN					
Grand éolien	<ul style="list-style-type: none"> • Production importante d'électricité 	<ul style="list-style-type: none"> • Fortes contraintes d'intégration • Technologie non adaptée au contexte urbain 	Electricité		Non pertinent sur le site du projet
Eolien urbain	<ul style="list-style-type: none"> • Nombreuses technologies, qui s'adaptent au bâti, • Image d'exemplarité affichée, consommation et émissions nulles en exploitation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Potentiel très limité • Investissements élevés • Contraintes techniques d'installations. • En toiture, compétition avec d'autres EnR 	Electricité		Vitesse moyenne du vent : 3,0 m/s Solution envisageable localement pour accentuer la visibilité du projet

GEOOTHERMIE					
Géothermie basse température	<ul style="list-style-type: none"> N'émet pas de GES en fonctionnement. Pilotable : la production d'énergie peut donc être adaptée en fonction de la demande. La Ville de La Verrière souhaite s'appuyer sur son potentiel pour développer son réseau de chaleur urbain. 		Chaleur		<p>Le gisement est favorable mais des études complémentaires devront être menées pour vérifier l'absence d'interaction avec les installations proches.</p> <p>L'aquifère le plus intéressant au droit du projet est celui du Dogger. Cette solution est surdimensionnée pour les seuls besoins du quartier, mais peut être envisagée dans un cadre plus large.</p>
Géothermie en surface	<ul style="list-style-type: none"> Peut subvenir aux besoins de chauffage et de rafraîchissement Compatible avec un réseau de chaleur Basse Température ou un réseau de froid, 	<ul style="list-style-type: none"> La ressource est mal connue localement : des tests de pompage sont nécessaires pour caractériser le potentiel Contraintes administratives 	Chaleur (voire froid)		<p>La totalité du quartier Bois de l'Etang se trouvent en zone éligible à la GMI pour les systèmes fermés et ouverts.</p> <p>La géothermie sur nappe ou sur sondes pourra être mobilisée ponctuellement pour des bâtiments ayant des besoins équilibrés, si la ressource est confirmée.</p>
BOIS-ENERGIE					
Bois énergie	<ul style="list-style-type: none"> Pilotable Peut alimenter un réseau de chaleur (chauffage et ECS) La cogénération est plus coûteuse mais permet une production simultanée d'électricité et de chaleur. 	<ul style="list-style-type: none"> Circulation régulière de poids-lourds pour l'approvisionnement à moins d'un approvisionnement fluvial, Bilan carbone dépendant de la distance d'approvisionnement. 	Chaleur		<p>Potentiel a priori encore excédentaire en Ile-de-France (742 000 m3).</p> <p>Possibilité de s'approvisionner dans les régions voisines mais avec une augmentation du contenu CO2.</p> <p>Des problèmes logistiques et économiques se posent encore. Un travail avec les acteurs de la filière à l'échelle interrégionale est nécessaire</p>

		<ul style="list-style-type: none"> Sensible au phasage du projet 			pour définir une trajectoire et des modalités de mobilisation.
RECUPERATION DE CHALEUR FACTALE SUR EAUX USEES					
Pied de bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> Diminution des consommations, valorisable en Titre V, Pas de maintenance et installation aisée si elle est anticipée 	<ul style="list-style-type: none"> Intéressante uniquement pour les bâtiments, importants (> R+2) avec des besoins d'ECS réguliers (résidentiel collectif et intermédiaire). 	Récupération de chaleur fatale		Elle doit être anticipée lors de la construction des nouveaux bâtiments.
Canalisations	<ul style="list-style-type: none"> Système réversible : production de chaleur et de froid. 	<ul style="list-style-type: none"> Dépendant des caractéristiques du réseau EU (diamètre, débit, température), Technologies aux investissements élevés, adaptée un bâtiment très consommateur ou un petit réseau de chaleur. 	Récupération de chaleur fatale		Manque d'information sur les canalisations existantes. Pourrait être envisagé en cas de renouvellement ou création de réseau.
Station d'épuration	<ul style="list-style-type: none"> Fourniture de chaleur pour l'ECS en été : diminution des risques de dépassement des seuils thermiques de rejet. La STEP de la Verrière est à proximité du quartier de Bois de l'Etang 	<ul style="list-style-type: none"> Doit être pensée à une échelle plus large que celle du projet compte tenu du gisement mobilisable. 	Récupération de chaleur fatale		La STEP de la Verrière présente une capacité en EH trop faible (inférieure à 30 000 EH)

AUTRES GISEMENTS DE CHALEUR FATALE					
Entreprises	<ul style="list-style-type: none"> • Production d'énergie de récupération en grandes quantités, • Baisse des risques environnementaux et sanitaires. 	<ul style="list-style-type: none"> • Echanges parfois très complexes avec les industriels (données sensibles, confidentialité), • Des acteurs différents avec des objectifs distincts, • Faisabilité et coût spécifiques, à étudier au cas par cas. 	Récupération de chaleur fatale		Plusieurs entreprises identifiées autour du projet : <ul style="list-style-type: none"> - Entrepôt frigorifique - Usine fabrication minéraux et matériaux (béton)
Autres acteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Grands consommateurs de chaleur qui auraient pour projet d'être intégrés si le réseau de chaleur était développé sur le quartier pour favoriser la rentabilité du projet. 				Différents acteurs identifiés : les écoles du quartier, le gymnase, la résidence du Bois de l'Etang.

4 Conclusion

Ce rapport a permis de donner un aperçu des différents potentiels d'énergies renouvelables et de récupération sur le périmètre du quartier de Bois de l'Étang de la Verrière.

Plusieurs solutions viables (parfois à confirmer) et durables apparaissent, à sélectionner en suivant la méthode EnR'Choix de l'ADEME en ce qui concerne les énergies thermiques, cette méthode permettant de prioriser les solutions pour l'alimentation en énergie thermique d'un quartier :

- Le raccordement au réseau de la Verrière.
- La récupération de chaleur sur les eaux usées en pied de bâtiment.
- La géothermie
- Le solaire thermique à privilégier sur les toitures des logements collectifs ;
- Le bois-énergie
- Le solaire photovoltaïque ;

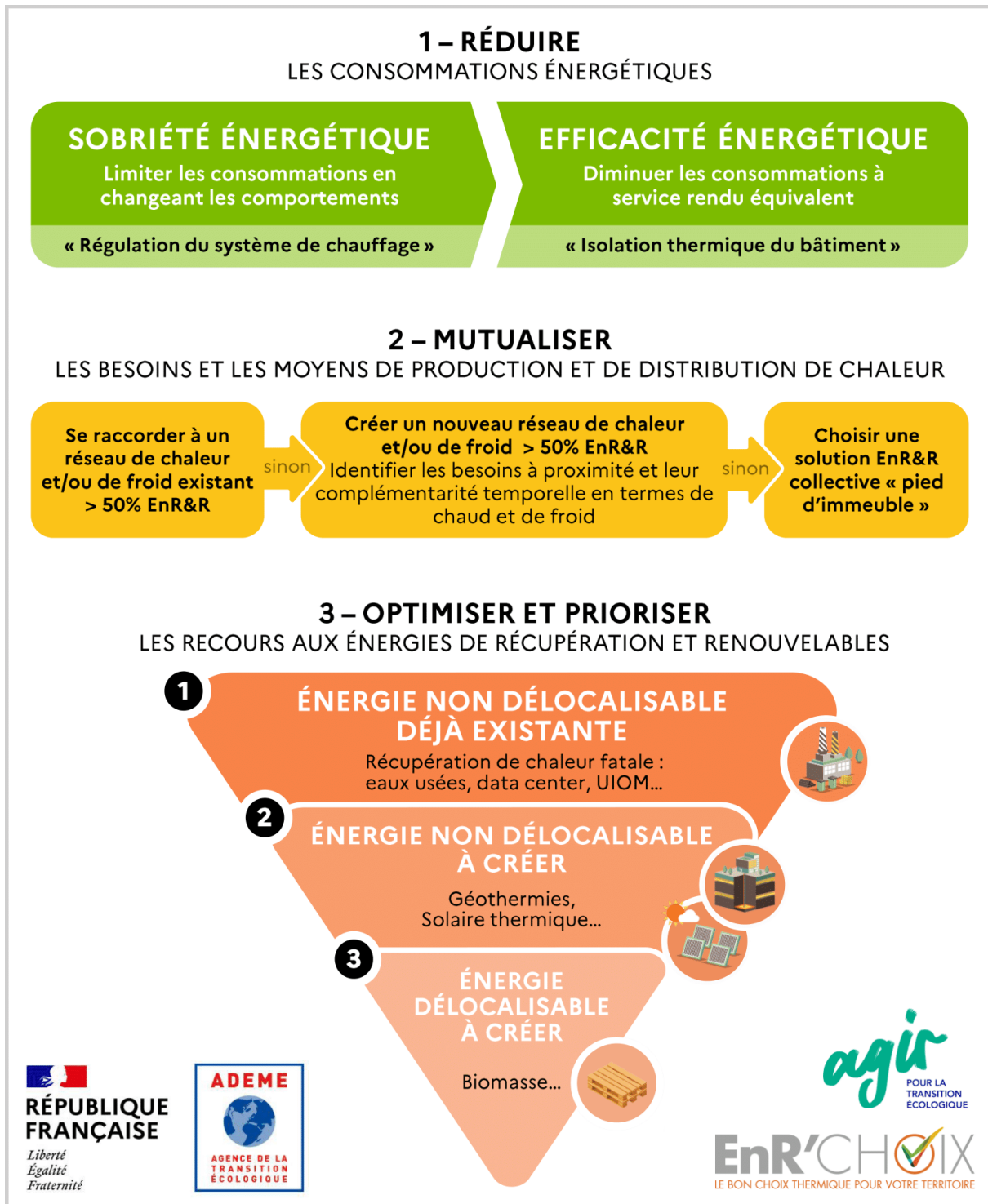


Figure 34: EnR'Choix méthode de l'ADEME pour prioriser les énergies thermiques