



Etude de potentiel en énergies renouvelables

Projet d'aménagement du secteur Lallier

Juillet 2020

Sommaire

Projet d'aménagement du secteur Lallier	1
Sommaire	2
1. DESCRIPTION ET CONTEXTE DU SITE	4
1.1 Contexte politique	4
Des enjeux internationaux à intégrer localement	4
Un cadre réglementaire structurant	4
1.2 Contexte du site	8
Localisation	8
Le climat	9
Topographie	11
Desserte énergétique actuelle du quartier	12
Contexte socio-économique lié à l'énergie	13
Programmation et organisation du projet d'aménagement du secteur Lallier	14
Contexte territorial	17
1.3 Les besoins énergétiques associés au projet	19
Descriptif des besoins estimés.....	19
Estimation des besoins énergétiques.....	24
2. POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES.....	28
2.1 L'énergie solaire	28
2.1.1 Solaire passif.....	28
2.1.2 Solaire thermique	29
2.1.3 La climatisation solaire.....	31
2.1.4 Le solaire photovoltaïque.....	31
2.1.5 Le gisement solaire local	34
2.2 L'énergie éolienne	37
2.2.1 Le grand éolien et le petit éolien	37
2.2.2 L'éolien urbain	39
2.2.3 Gisement éolien local.....	40
2.3 L'énergie géothermique	43
2.3.1 Haute énergie.....	43
2.3.2 Basse énergie.....	43
2.3.3 Très basse énergie	44
2.3.4 Potentiel géothermique du secteur de L'Haÿ-les-Roses	47
2.3.5 Les réseaux de chaleur alimentés par géothermie	48
2.4 La biomasse	51
2.4.1 Le gisement biomasse	51
2.4.2 Bois-énergie.....	51

2.4.3	Le bois énergie – cogénération	53
2.4.4	Potentiel bois énergie	54
2.5	La récupération de chaleur fatale	58
2.5.1	Récupération de chaleur sur les eaux grises	58
2.5.2	Récupération de chaleur fatale industrielle (ou data center).....	59
2.6	Les autres technologies existantes	60
2.6.1	Le biogaz et les biocarburants	60
2.6.2	Aérothermie	63
3.	PREDIMENSIONNEMENT ET SCENARII	69
3.1	Hypothèses pour l'analyse	70
	Hypothèses prises pour l'analyse :	70
	Données environnementales.....	70
	Données économiques	71
	Coûts d'exploitation	71
	Rendements des installations :.....	71
3.2	Analyse économique	72
	Sans évolution des coûts de l'énergie.....	72
	Avec évolution des coûts de l'énergie	72
3.3	Analyse environnementale	73
4.	CONCLUSION	75

1. DESCRIPTION ET CONTEXTE DU SITE

1.1 Contexte politique

La présente « Etude du potentiel de développement des énergies renouvelables » a été réalisée conformément à l'art. L128-4 du Code de l'urbanisme.

Des enjeux internationaux à intégrer localement

A l'heure où les questions énergétiques et climatiques deviennent des enjeux majeurs à l'échelle planétaire, leur gestion représente un véritable défi. Le réchauffement climatique et la raréfaction des ressources naturelles, notamment fossiles, sont aujourd'hui, de réelles problématiques qui nécessitent la mise en place d'actions concrètes et durables. Au fur et à mesure de la prise de conscience de ces enjeux, les pouvoirs publics ont instauré des objectifs à atteindre afin de permettre l'atténuation de ces phénomènes. Ces ambitions, définies à différentes échelles d'intervention (mondiale, nationale, régionale, communale...), se sont vues déclinées en stratégies contextualisées à chaque territoire à travers notamment, l'adoption de lois cadres et l'élaboration de documents de planification. Le projet d'aménagement du site Lallier de L'Haÿ-les-Roses est à ce titre soumis à des exigences environnementales. Concerné notamment par le Grenelle de l'environnement à l'échelle nationale, il doit également répondre aux ambitions régionales et locales qui ont fait de la politique énergétique une politique prioritaire.

Un cadre réglementaire structurant

Depuis le sommet de Rio de 1992, les réglementations visant à diminuer les consommations énergétiques et à développer les énergies renouvelables se sont multipliées, incitant les différents acteurs (publics et privés) et les citoyens à entreprendre et développer des actions concrètes sur leur territoire. A l'échelle nationale, la loi de programme applicable sur le territoire français découle de la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. Définitivement adoptée le 3 août 2009, elle « fixe les objectifs, définit le cadre d'action, organise la gouvernance à long terme et énonce les instruments de la politique mise en œuvre pour lutter contre le changement climatique ». En matière énergétique, elle confirme les engagements précédents, notamment concernant le facteur 4 à l'horizon 2012, la part de 23% des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie en 2020, la réduction de 20% des émissions de gaz à effet de serre dans les transports, la consommation maximale de 50 kWh/m².an en 2013 (bâtiment à énergie positive en 2020) et la baisse d'au moins 38% des consommations énergétiques dans les bâtiments existants d'ici 2020. La loi Grenelle 2, adoptée le 12 juillet 2010 complète quant à elle, la loi Grenelle 1, en définissant les mesures à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs fixés précédemment. En parallèle, divers documents cadres réalisés aux différentes échelles d'intervention ont été élaborés et viennent encadrer tout nouveau projet d'aménagement.

La loi de la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) a été publiée en août 2015 et s'accompagne de plans d'action qui visent à permettre au territoire national de contribuer efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et à la préservation de l'environnement. La loi vise également à renforcer l'indépendance énergétique de la France en offrant aux entreprises et ses citoyens un accès à l'énergie à un coût compétitif.

Ainsi, pour donner un cadre à l'action conjointe des citoyens, des entreprises, des territoires et de l'Etat, la loi TECV fixe des objectifs en matière d'énergie à moyen et long terme :

- Réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 (facteur 4) ;
- Réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence 2012 en visant un objectif intermédiaire de 20 % en 2030 ;
- Réduire la consommation énergétique primaire d'énergies fossiles de 30 % en 2030 par rapport à la référence 2012 ;
- Porter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % de la consommation finale brute d'énergie en 2030 ;
- Porter la part du nucléaire dans la production d'énergie à 50 % à l'horizon 2025 ;
- Atteindre un niveau de performance énergétique conforme aux normes « bâtiment basse consommation » pour l'ensemble du parc de logements à 2050 ;
- Lutter contre la précarité énergétique ;
- Affirmer un droit à l'accès de tous à l'énergie sans coût excessif au regard des ressources des ménages ;

Actuellement, pour tout projet de construction, la réglementation thermique RT 2012 est applicable. La RT 2012 est rendu obligatoire par le Grenelle de l'Environnement depuis 2013. La norme à respecter avec cette RT est une consommation énergétique max de 50 kWh/m²/an, comprenant 5 usages (refroidissement, chauffage, production d'eau chaude sanitaire, éclairage et auxiliaires).

A partir de l'été 2021, la RE 2020 sera la norme thermique à respecter dans la construction neuve. La RE 2020 va mettre en œuvre le concept de bâtiment à énergie positive, appelé aussi « BEPOS » au sein du Plan Bâtiment Durable. Les bâtiments à énergie positive sont des bâtiments qui produisent plus d'énergie (chaleur, électricité) qu'ils n'en consomment. En général, ces bâtiments sont très performants et fortement équipés en moyens de production énergétique par rapport à leurs besoins en énergie.

Les bâtiments à énergie positive, et à partir de l'été 2021 les nouvelles constructions, doivent remplir les critères suivants :

- Une consommation de chauffage inférieure à 12 kWh/m² ;
- Une consommation totale d'énergie inférieure à 100 kWh/m² ;
- La capacité de produire de l'énergie pour que le bilan énergétique soit positif sur les 5 usages (chauffage, luminaires, eau chaude, climatisation, auxiliaires).

La nouvelle réglementation n'étant pas encore parue, les labels de préfiguration sont utilisés comme équivalents dans l'étude.

Schéma Régional Climat Air Energie de l'Île-de-France

Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie de l'île de France contient des objectifs chiffrés spécifiques à chaque secteur pour atteindre les objectifs du Facteur 4. Les principaux objectifs du SRCAE à l'horizon 2020 sont les suivants :

Au niveau du parc bâti :

- Réduire de 5 % les consommations énergétiques par des comportements plus sobres ;
- Améliorer la qualité des rénovations pour atteindre 25 % de réhabilitations de type BBC (Bâtiment Basse Consommation) ;
- Réhabiliter 125 000 logements par an soit une multiplication par 3 du rythme actuel ;
- Réhabiliter 7 millions de m² de surfaces tertiaires par an soit une multiplication par 2 du rythme actuel ;

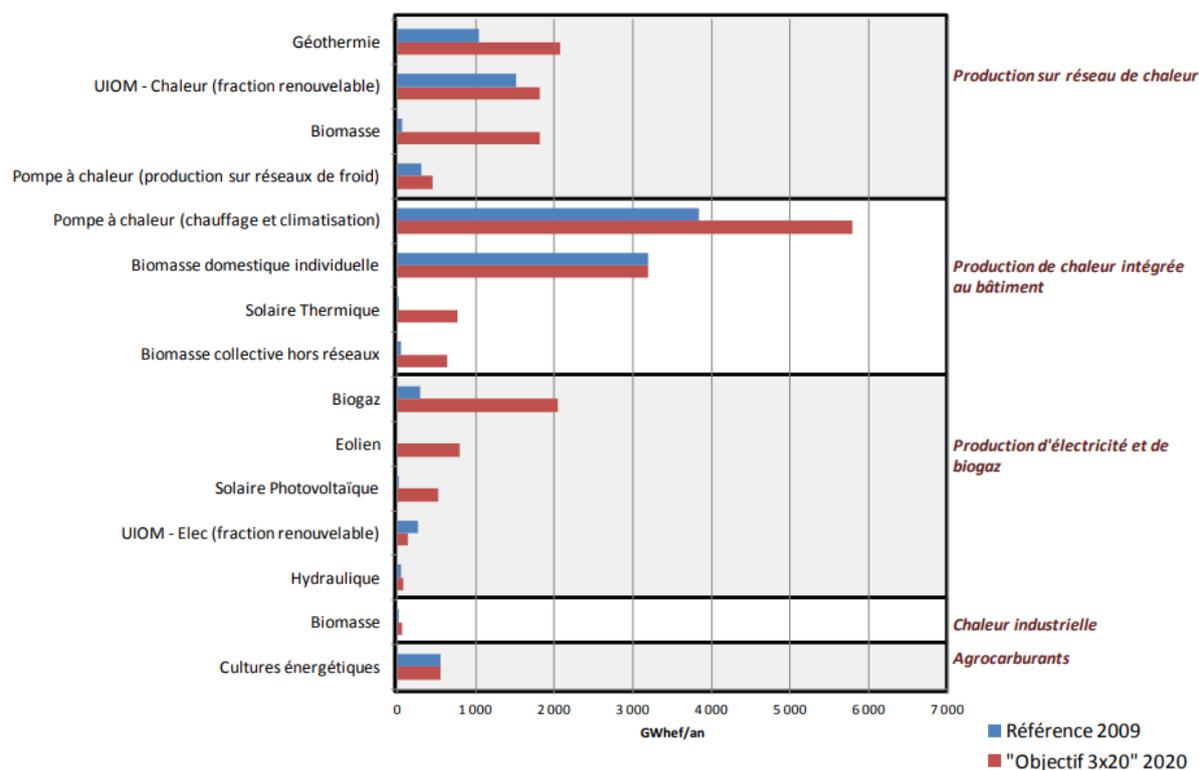
Aménagement du secteur Lallier à L'Haÿ-les-Roses (94)

- Raccorder 450 000 logements supplémentaires au chauffage urbain (soit + 40 % par rapport à aujourd'hui) ;

Au niveau de la production énergétique :

- Faire passer de 30 % à 50 % la part de la chaleur distribuée par les réseaux de chaleur à partir d'énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) : Usine d'incinération d'ordures ménagères, géothermie, biomasse... ;
- Augmenter la production par pompes à chaleur de 50 % ;
- Multiplier par 7 la production de biogaz valorisé sous forme de chaleur, d'électricité ou par injection directe sur le réseau gaz de ville ;
- Installer 100 à 180 éoliennes ;
- Equiper 10 % des logements existants en solaire thermique ;
- Passer de 15 à 520 MWe pour le solaire photovoltaïque ;
- Stabiliser les consommations de bois individuelles grâce à l'utilisation d'équipements plus performants ;
- Stabiliser la production d'agro-carburants.

Les objectifs, pour chaque type de sources d'énergie renouvelables sont les suivants :



Evolution de la production d'énergie renouvelable suivant le scénario 3X20 – Source : SRCAE Ile-de-France

Plan Local d'Urbanisme (PLU) de L'Haÿ-les-Roses

Projet d'Aménagement de Développement Durable (PADD) du Plan Local d'Urbanisme (PLU) de L'Haÿ-les-Roses

- > Soutenir la rénovation du parc de logements
 - o Veiller à ce que les bailleurs sociaux réalisent les rénovations et les nouvelles constructions conformes aux exigences des différentes réglementations, et anticipent leurs évolutions, notamment la RT 2020. Impulser une politique de

requalification-réhabilitation et de traitement des espaces communs des quartiers d'habitat collectif fragilisés.

- Favoriser une évolution des quartiers existants vers une plus grande qualité environnementale (utilisation des énergies renouvelables, traitement des eaux pluviales, amélioration de la biodiversité) :
 - Pour les constructions existantes : favoriser prioritairement les économies d'énergie par une meilleure isolation du bâti.
 - Pour les constructions nouvelles : donner la possibilité de mettre en œuvre les principes de l'architecture bioclimatique (choix des matériaux, orientation des bâtiments, logements traversants, larges ouvertures du côté Sud), utilisation des énergies renouvelables, notamment la géothermie
- Engager un grand plan de rénovation des quartiers Paul Hochart et Lallier-Bicêtre en s'appuyant sur l'Agence Nationale de Rénovation Urbaine, la Société du Grand Paris (SGP) et les partenaires institutionnels. En termes d'équipements, ce projet ANRU intègre la création de locaux associatifs, la restructuration de l'école et la création d'un nouveau groupe scolaire, la création d'équipements sportifs de proximité, la réalisation de voiries de désenclavement, et la réalisation d'une Maison de l'Emploi et des Entreprises.

Le projet d'aménagement du secteur Lallier s'inscrira dans le suivi de ces documents cadres.

1.2 Contexte du site

Localisation

L'Haÿ-les-Roses se situe en Île-de-France. La commune est relativement proche du cœur de Paris (seulement à 10 km de Paris Notre-Dame), riveraine avec les villes de Cachan, Villejuif, Chevilly-Larue, Fresnes et Bourg-la-Reine. Six quartiers composent le territoire (Les Blondeaux, Le Centre, Le Jardin Parisien, Lallier-Bicêtre, Le Petit Robinson et La Vallée-aux-Renards).

La ville de L'Haÿ-les-Roses fait partie l'Etablissement Public Territorial Grand-Orly Seine Bièvre, composé de 24 communes et accueillant environ 700 00 habitants.



Emplacement de L'Haÿ-les-Roses en Ile-de-France

Le site dénommé « Lallier » se trouve à l'est de L'Haÿ-les-Roses, en limite communale avec Chevilly-Larue. Il est délimité par les rues Lallier et Bicêtre à l'ouest, et la rue Paul Hochart au sud.

La particularité du site est sa mixité fonctionnelle. A dominante résidentielle (logements sociaux), il compte également des équipements communaux importants à échelle locale : deux groupes scolaires, un gymnase, une chapelle, une maison de quartier, ainsi que deux structures commerciales (une première structure composée d'un Leader Price et de 4 petits commerces ; une seconde structure composée d'un supermarché Auchan et de 5 petits commerces).

Des travaux sont d'ores et déjà en cours en vue de la création de la gare « Trois Communes » de la ligne 14 du Grand Paris Express. Cette gare sera établie au sein du site, en limite sud-ouest.



Extrait du mode d'occupation des sols – Source : Institut Paris Région

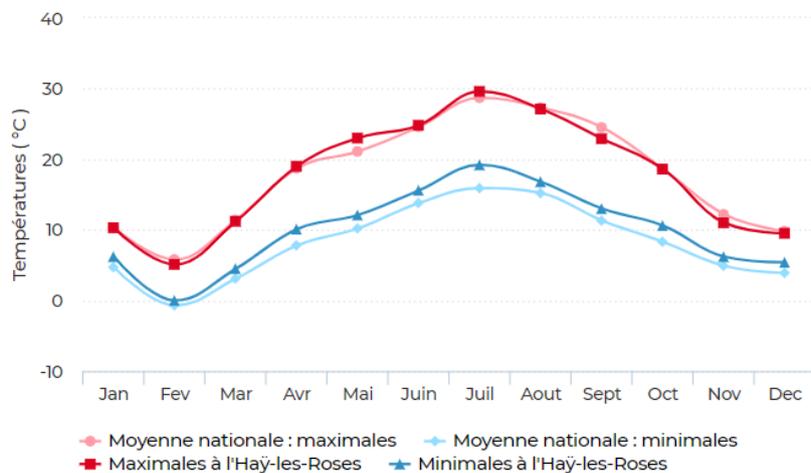
Le climat

Commune de L'Haÿ-les-Roses

L'Haÿ-les-Roses jouit d'un climat semi-continentale, marqué par deux types d'influences climatiques : une influence continentale marquée par des arrivées de masses d'air de nord et d'est généralement froides, et une influence océanique de masses d'air plus douces. Le climat local est donc principalement marqué par des étés chauds et des hivers froids.

> Les températures

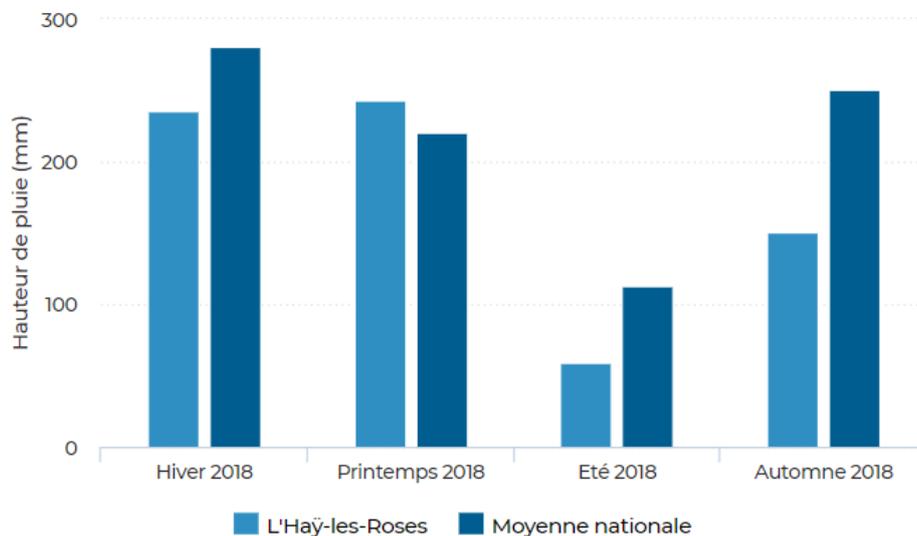
Le climat à L'Haÿ-les-Roses est un climat tempéré, doux et humide de type océanique dégradé caractéristique de celui de l'Île-de-France. Les températures moyennes sont comprises entre 2 et 5 °C en hiver et 14 et 25 °C en été. Les moyennes sont à peu près égales aux moyennes nationales. La moyenne annuelle est de 10,5°C.



Températures mesurées à L'Haÿ-les-Roses en 2018 – Source : Météo France

> Les précipitations

Le département du Val-de-Marne est soumis à un climat tempéré, doux et humide. Le paramètre le plus marquant de cette région reste toutefois la fréquence des pluies. En effet, les précipitations sont présentes tout au long de l'année. Elles restent cependant faibles en quantité, par rapport à la moyenne nationale.



Précipitations mesurées à L'Haÿ-les-Roses en 2018 – Source : Météo France

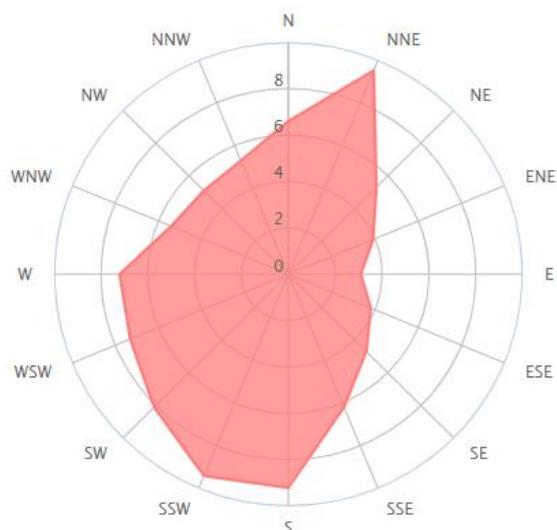
La commune de L'Haÿ-les-Roses a connu 689 millimètres de pluie en 2018, contre une moyenne nationale des villes de 865 millimètres de précipitations.

> Le vent

Les vents sont mesurés à la station de Paris/Montsouris, située à cinq kilomètres de L'Haÿ-les-Roses.

Les vents les plus forts sont dirigés Sud-Sud-Ouest et Nord-Nord-Est.

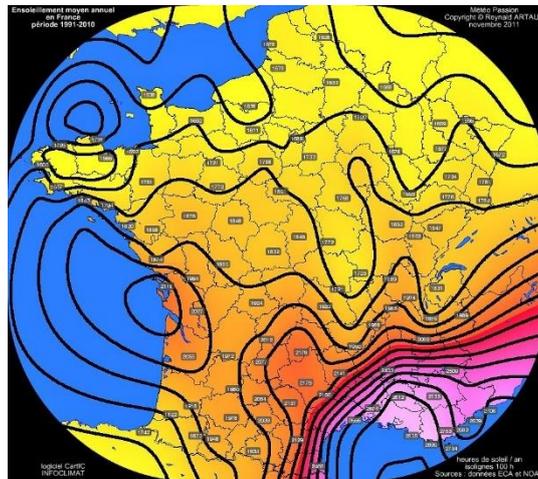
Distribution de la direction du vent en //%



Rose des vents sur la station de Paris/Montsouris – Source : Windfinder

> **L'ensoleillement**

L'analyse de l'ensoleillement décrit une moyenne annuelle voisine de 1700 heures d'ensoleillement.



Courbes des moyennes d'ensoleillement annuel au niveau de la France (1981-2010). (Source : ECA et NOAA.)

Topographie

Les relevés topographiques indiquent un dénivelé relativement plat sur le site de la ZAC Lallier entre le sud du site, situé à +91m, et le nord du site situé à +93m.

Le profil sud-nord présenté ci-dessous donne une idée de la configuration du site.



Profil altimétrique du site – Source : Géoportail

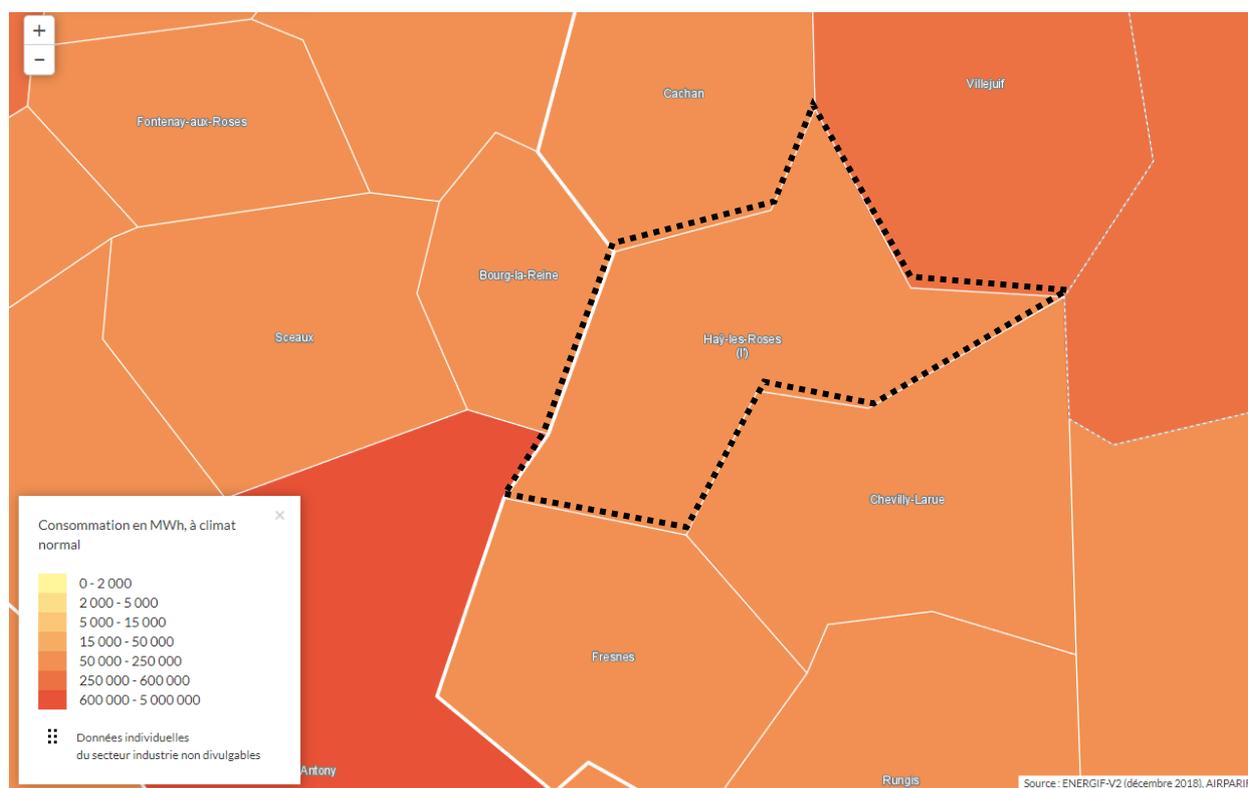
Desserte énergétique actuelle du quartier

Les réseaux électriques et de gaz

Le site est alimenté par les réseaux d'électricité et de gaz.

Consommation énergétique locale

La ville de L'Haÿ-les-Roses est située dans une zone urbaine dense présentant de fortes consommations énergétiques. Paris intra-muros et sa première couronne sont, de par leur densité et l'ancienneté de la plupart des bâtiments, de gros consommateurs énergétiques. Le parc résidentiel de la ville de L'Haÿ-les-Roses est donc consommateur de 50 à 250 GWh par an pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.



Consommation en MWh du secteur résidentiel – Source : Energif

La production d'énergie renouvelable locale concerne principalement les besoins en chaud de la ville. En effet, le réseau de chaleur qui alimente L'Haÿ-les-Roses et Chevilly est alimenté par la géothermie basse énergie, et la seule autre ressource mobilisée à L'Haÿ-les-Roses actuellement est le solaire, qui représente entre 5 et 20 MWh produits en 2014.

Au total, ce réseau de chaleur alimente en chauffage et eau chaude sanitaire des équipements publics, logements sociaux, copropriétés et entreprises sur les communes de Chevilly-Larue, L'Haÿ-les-Roses et Villejuif, pour un total de 27 000 équivalent-logements.

Ce sont 46 500 MWh/an issus du réseau de chaleur urbain qui sont consommés sur la commune de L'Haÿ-les-Roses pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, soit 22% de l'énergie consommée à l'échelle communale pour ces deux postes de consommation.

Roses, qui est de 22 273€, et de Paris, qui s'élève à plus de 28 000 €, les revenus sur le secteur Lallier sont plutôt bas.

D'après les bases de données INSEE sur les indicateurs des revenus disponibles des ménages par unité de consommation en 2015, le revenu médian annuel des ménages par UC est de :

- > Quartier Lallier = 13 968 €
- > L'Haÿ-les-Roses = 22 273 €
- > Paris = 28 587 €

Or ce sont les populations les plus modestes qui sont le plus souvent touchées par le phénomène de précarité énergétique.

La précarité énergétique a été définie et inscrite dans la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 (Grenelle II). Ainsi, est en situation de précarité énergétique au titre de la loi Grenelle II, une personne qui « éprouve dans son logement des difficultés particulières à disposer de la fourniture d'énergie nécessaire à la satisfaction de ses besoins élémentaires en raison de l'inadaptation de ses ressources ou de ses conditions d'habitat ». C'est en somme l'incapacité de pouvoir chauffer son logement à un coût décent.

En effet, selon l'ADEME, en France, les 20% des ménages les plus pauvres consacrent à l'énergie une part de budget 2.5 fois plus élevée que les 20% les plus riches. Les causes de cette disparité sont d'un côté l'état des logements dont la performance énergétique est généralement mauvaise ; d'autre part les équipements de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire souvent vétustes participent également à l'alourdissement de la facture énergétique. Les impayés énergétiques sont en constante augmentation, alors que les diagnostics effectués au domicile des ménages en difficulté révèlent souvent que ces derniers se privent de chauffage afin de limiter le poids des factures.

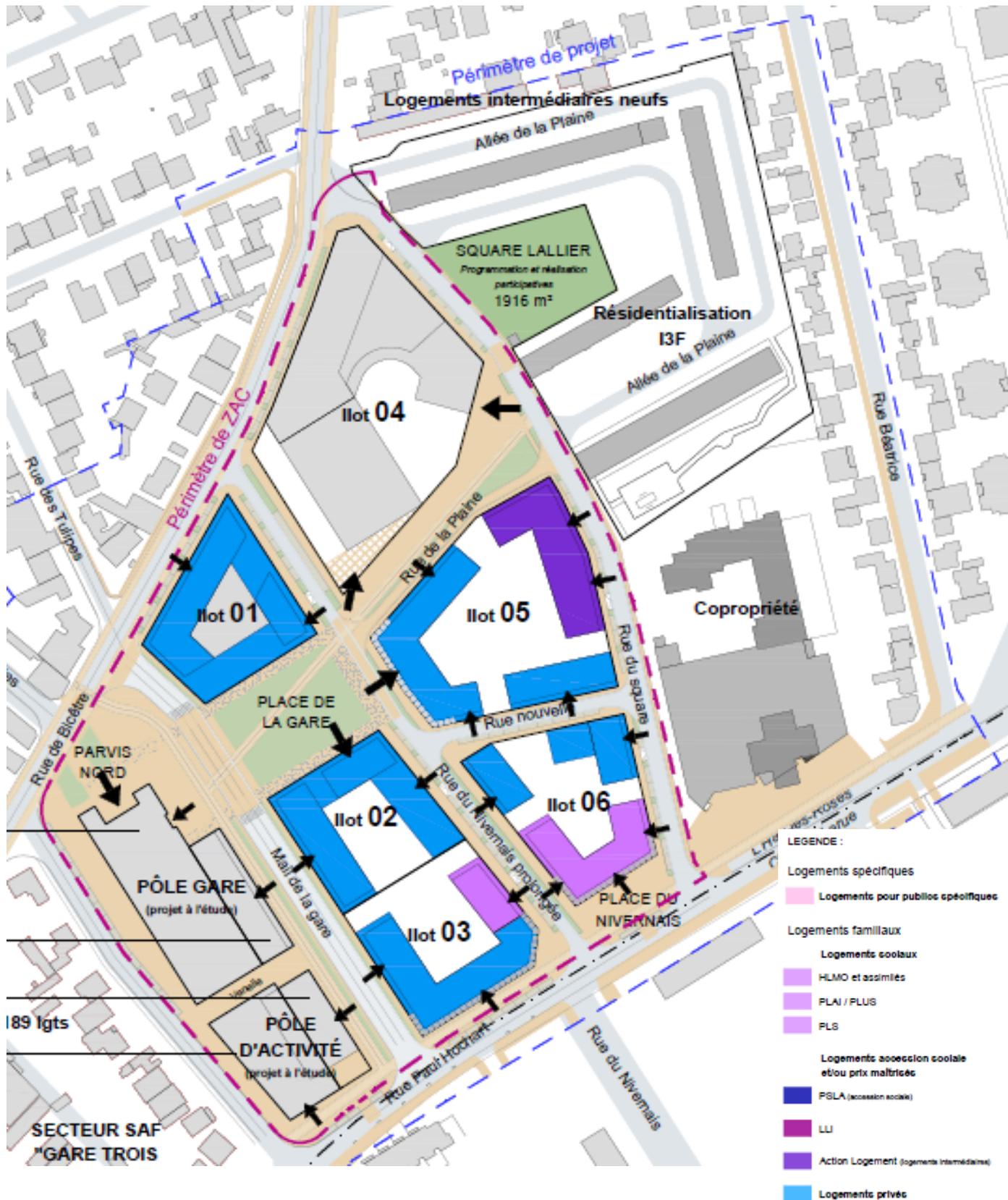
La dimension sociale des futures installations en chauffage et énergie devra être prise en compte afin de limiter au maximum le risque de précarité énergétique sur le quartier.

Programmation et organisation du projet d'aménagement du secteur Lallier

Le projet prévoit la démolition de la quasi-totalité du quartier. Seront ensuite reconstruits environ 61 900 m² SDP, répartis de la manière suivante :

- Logements : 51 000 m²
- Equipements (groupe scolaire, gymnase, maison de quartier) : 7 600 m²
- Commerces : 3 300 m²

De plus, 4 voies plantées, une place publique seront créées, et une rue transverse vers le square Lallier sera aménagée.



Programmation de l'habitat sur le secteur Lallier – Source : Atelier Choiseul, dossier NPNRU

Les ilots I3F entourant le square Lallier n'ont pas été intégrés aux calculs des besoins et des scénarios d'approvisionnement, étant donné qu'ils ont déjà fait l'objet d'une réhabilitation très récente (2019/2020) et qu'il n'est pas prévu de nouveaux travaux / branchements sur cet îlot.

La copropriété au sud est du site n'a pas non plus été intégrée étant donné qu'il n'y aura peut-être aucun travaux sur ce lot (décision de la copropriété seule).

Enfin, les besoins du pôle gare n'ont pas non plus été pris en compte dans l'étude d'approvisionnement étant donné que les travaux y sont déjà en cours et que la gare implique des contraintes de réseaux souterrains dont la compatibilité avec le raccordement réseau de chaleur est à vérifier. N'ayant pas été prévu dans les autorisations déposées, il ne sera pas possible d'intégrer ce bâtiment à la stratégie globale de quartier.

Contexte territorial

Projets alentours en cours d'opération

Plusieurs projets à proximité du site :

- La ZAC Paul Hochart, sur la commune de L'Haÿ-les-Roses
- Le projet Locarno, à L'Haÿ-les-Roses
- Le réaménagement du Cœur de Ville de L'Haÿ-les-Roses
- Les quartiers Les Lozaites et Lebon à Villejuif, concerné par le programme NPNRU
- La ZAC Chérioux, à Vitry-sur-Seine
- Le Campus Grand Parc, campus centré sur la recherche et l'innovation dans le domaine de la santé



Projets aux alentours du site Lallier

1.3 Les besoins énergétiques associés au projet

Descriptif des besoins estimés

Les besoins estimés dans la présente étude seront calculés vis-à-vis de plusieurs usages :



Besoins de chauffage : il s'agit du chauffage des bâtiments construits et/ou réhabilités. Le calcul se fera de façon à s'approcher au maximum de la réalité des besoins des futurs usagers.



Besoins d'eau chaude sanitaire (ECS) : ils correspondent aux besoins d'eau chaude sanitaire pour les bâtiments construits et réhabilités. Il sera estimé en fonction du taux d'occupation et notamment de la typologie du bâtiment.



Besoins de froid : ils permettent d'étudier les besoins en refroidissement des bâtiments construits et réhabilités. Il s'agira ici de calculer, au même titre que le chauffage, un estimatif qui se rapproche au plus de la réalité.



Besoins d'électricité : ils correspondent aux besoins auxiliaires liés aux ensembles des postes ayant recours à une énergie électrique. Le calcul estimatif ne prendra pas seulement en compte les postes compris dans la Réglementation Thermique mais également les besoins électriques des différents appareils et équipements électroniques (électroménager, multimédia, etc.).

L'analyse de besoins sera étudiée suivant trois niveaux de performance énergétique pour la construction neuve afin de comparer les besoins à prendre en compte selon les niveaux de performance thermique du bâti.

La rénovation énergétique sera étudiée selon l'objectif Rénovation du Plan Climat Energie de la ville de Paris qui se base sur les niveaux correspondant au label Effinergie Rénovation.

Les trois niveaux de performance étudiés dans la présente étude seront les suivants :

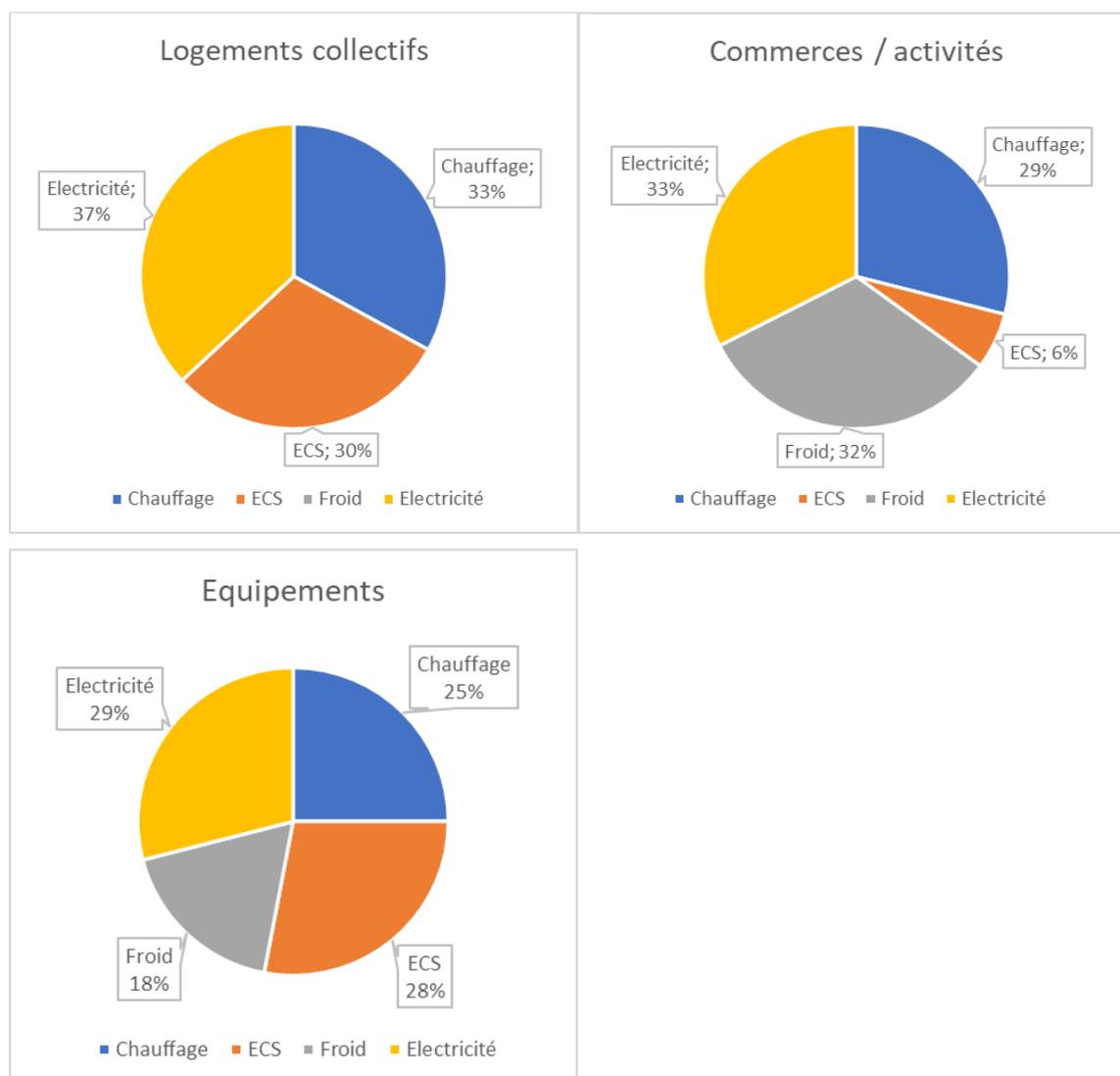
Niveau réglementaire / RT 2012

Il correspond au niveau de performance minimal actuel, à titre de « calibrage bas » pour l'étude. Même s'il est réglementaire, il est déjà ambitieux par rapport à l'existant puisqu'il impose un niveau de consommations en énergie primaire inférieur de 50% par rapport à la précédente Réglementation Thermique RT 2005.

Le calcul des besoins des nouvelles constructions se base sur des ratios de besoins utiles par m² pour des constructions respectant la RT 2012. Ces ratios, présentés dans le tableau ci-dessous, ont été estimés :

- 1- Sur la base des données climatiques du secteur ;
- 2- Selon la nature des bâtiments ;

Pour les différents usages de chauffage, de production d'ECS, de refroidissement et d'électricité.



Ratios de répartition par usages de consommation :

	Logements collectifs	Commerces / activités	Equipements
CEP MAX RT 2012 (kWh/m ² /an)	57,5	175	150

RT2012				
Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)
Logements collectifs	19,0	17,3	0,0	21,3
Commerces / activités	50,8	10,5	56,9	56,9
Equipements	37,5	42,0	27,0	43,5

Niveau ambitieux / RT 2012 - 20 %

Il correspond à un niveau équivalent aux exigences fixées par le référentiel Energie+ Carbone- pour les bâtiments neufs. Ce référentiel intègre des critères environnementaux qui complètent les exigences actuelles de performances énergétiques pour les projets de construction. Le référentiel a pour but de préparer la prochaine réglementation thermique RT 2020.

Il définit la performance du bâtiment à travers :

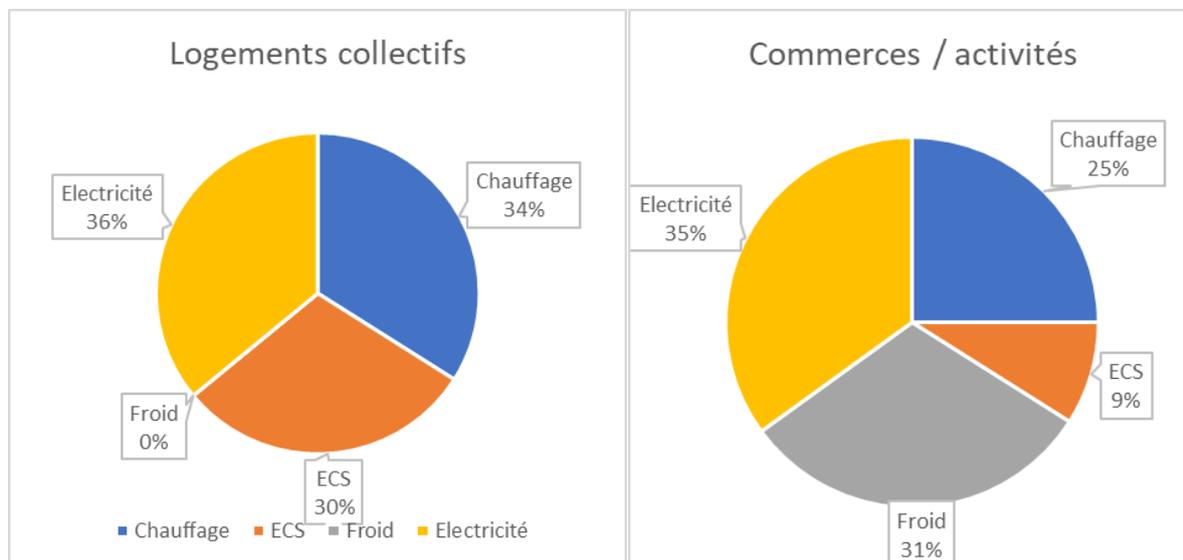
- 1- L'évaluation son bilan énergétique sur l'ensemble des usages (bilan énergétique BEPOS) ;
- 2- L'évaluation de ses émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble de son cycle de vie ainsi que pour les produits de construction et les équipements utilisés.

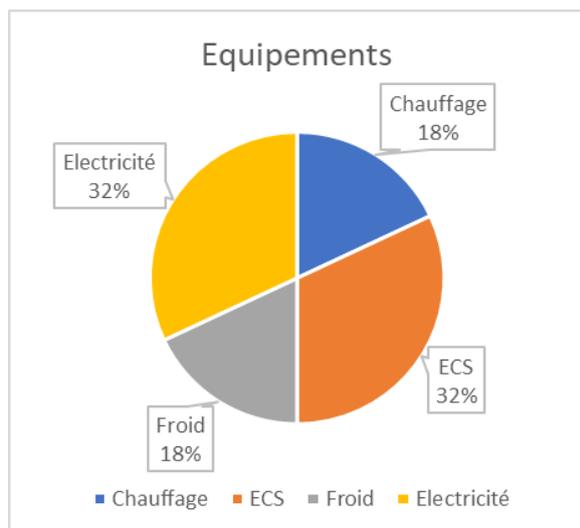
Les niveaux de performance possibles sont les suivants :

Niveaux de performance	Bilan énergétique		Emissions de GES	
	Energie 1 Energie 2 Energie 3 Energie 4		Bilan énergétique nul	Carbone 1 Carbone 2

Les projets futurs devront mettre en œuvre un effort en termes d'efficacité énergétique du bâti et des systèmes et recourir aux énergies renouvelables, qu'elles produisent de la chaleur ou de l'électricité renouvelable.

La conception optimisée des projets de construction permettra de réduire leur impact environnemental en limitant les consommations d'énergie grise.





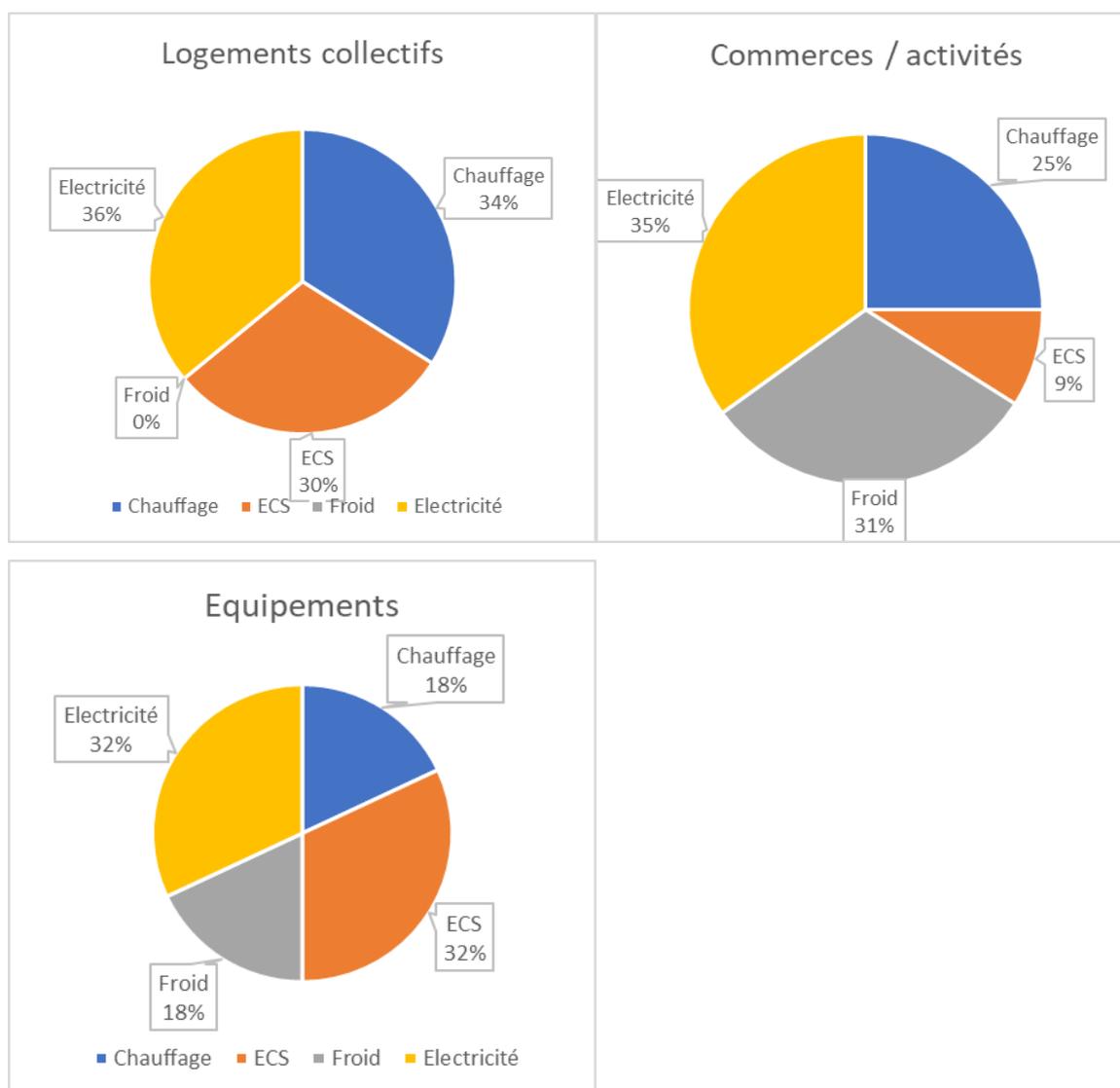
Ratios de répartition par usages de consommation :

	Logements collectifs	Commerces / activités	Equipements
CEP MAX RT 2012 -20% (kWh/m ² /an)	46	140	120

RT2012 -20%				
Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)
Logements collectifs	15,2	13,8	0,0	17,0
Commerces / activités	40,6	8,4	45,5	45,5
Equipements	30,0	33,6	21,6	34,8

Niveau exemplaire / Bâtiments passifs

Il correspond à un niveau exemplaire en comparaison avec la réglementation en vigueur. Une performance thermique de niveau passif peut permettre de réduire les besoins énergétiques de 35 à 40 % par rapport au niveau réglementaire actuel RT 2012. Une construction respectant ce niveau d'exigence permet notamment de réduire le poste des besoins de consommation liés au chauffage.



Ratios de répartition par usage de consommation :

	Logements collectifs	Commerces / activités	Equipements
CEP MAX Passif (kWh _{ep} /m ² /an)	37	114	98

Passif				
Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)
Logements collectifs	12,7	11,2	0,0	13,5
Commerces / activités	28,4	10,2	35,3	39,8
Equipements	17,6	31,2	17,6	31,2

Estimation des besoins énergétiques

Sur la base des différentes hypothèses précisées précédemment à l'aide de ratios selon différents niveaux d'exigences de performance thermique, une estimation des besoins énergétiques à l'échelle du secteur peut être effectuée.

Ci-après les estimations des besoins énergétiques calculées selon les différents niveaux d'exigence énergétique.

Niveaux réglementaires pour les constructions neuves

Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)	Surface de plancher construite (m ²)	Besoins en chauffage (kWh/an)	Besoins en ECS (kWh/an)	Besoins en Froid (kWh/an)	Besoins en électricité (kWh/an)	Besoins totaux (kWh/an)	Besoins totaux (GWh/an)
CONSTRUCTIONS NEUVES (RT 2012)											
Logements collectifs	19	17	-	21	51 000	967 725	879 750	-	1 085 025	2 932 500	2,93
Commerces / activités	51	11	57	57	3 300	167 475	34 650	187 688	187 688	577 500	0,58
Equipements	38	42	27	44	7 600	285 000	319 200	205 200	330 600	1 140 000	1,14
				TOTAL	61 900	1 420 200	1 233 600	392 888	1 603 313	4 650 000	4,65
									TOTAL	4 650 000	4,65

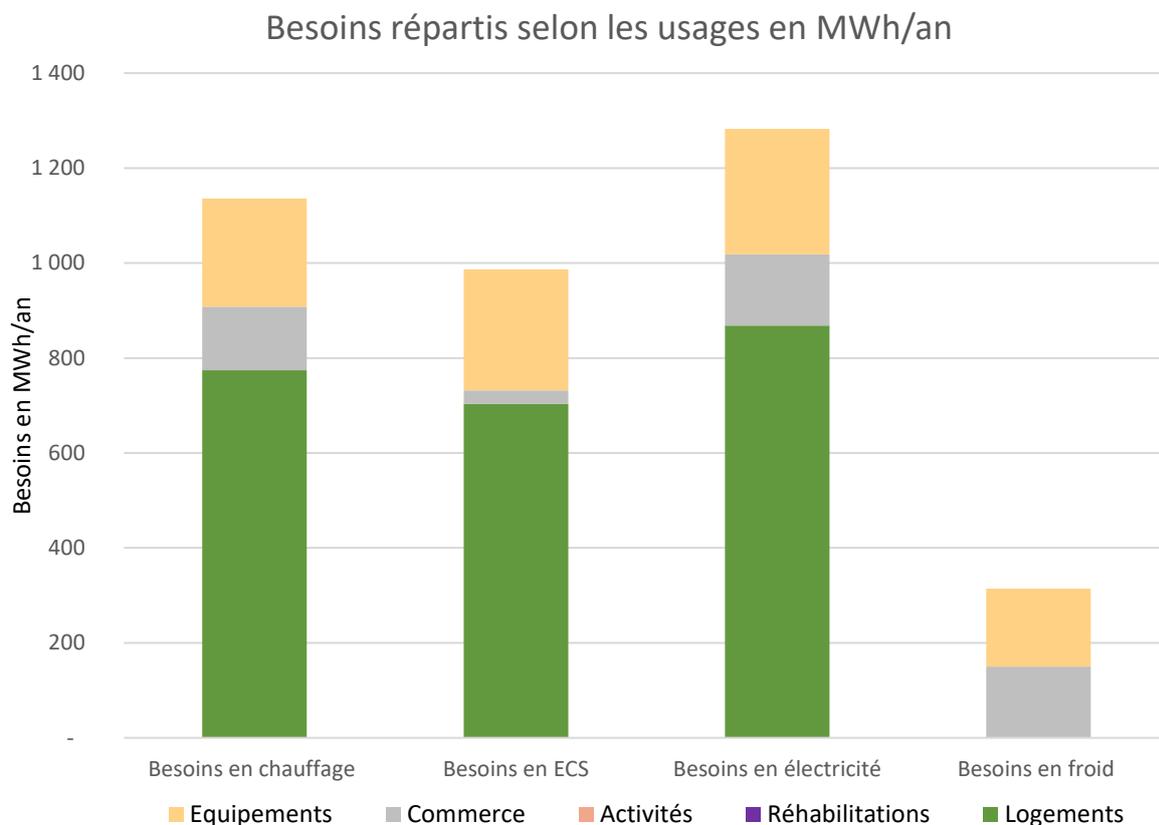
Niveaux ambitieux pour les constructions neuves

Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)	Surface de plancher construite (m ²)	Besoins en chauffage (kWh/an)	Besoins en ECS (kWh/an)	Besoins en Froid (kWh/an)	Besoins en électricité (kWh/an)	Besoins totaux (kWh/an)	Besoins totaux (GWh/an)
Logements collectifs	15,18	13,80	-	17,02	51 000	774 180	703 800	-	868 020	2 346 000	2,35
Commerces / activités	40,60	8,40	45,50	45,50	3 300	133 980	27 720	150 150	150 150	462 000	0,46
Equipements	30,00	33,60	21,60	34,80	7 600	228 000	255 360	164 160	264 480	912 000	0,91
				TOTAL	61 900	1 136 160	986 880	314 310	1 282 650	3 720 000	3,72
									TOTAL	3 720 000	3,72

Niveaux exemplaires pour les constructions

Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)	Surface de plancher construite (m ²)	Besoins en chauffage (kWh/an)	Besoins en ECS (kWh/an)	Besoins en Froid (kWh/an)	Besoins en électricité (kWh/an)	Besoins totaux (kWh/an)	Besoins totaux (GWh/an)
CONSTRUCTIONS NEUVES (PASSIF)											
Logements collectifs	12,71	11,21	-	13,46	51 000	648 083	571 838	-	686 205	1 906 125	1,91
Commerces / activités	28,44	10,24	35,26	39,81	3 300	93 844	33 784	116 366	131 381	375 375	0,38
Equipements	17,55	31,20	17,55	31,20	7 600	133 380	237 120	133 380	237 120	741 000	0,74
				TOTAL	61 900	875 306	842 741	249 746	1 054 706	3 022 500	3,02
									TOTAL	3 022 500	3,02

Analyse des besoins énergétiques nécessaires à destination des différents usages construits sur le secteur Lallier :

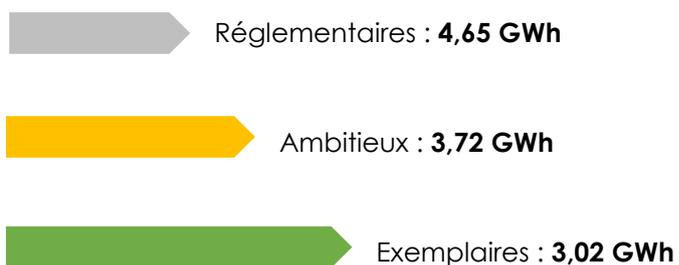


Les besoins estimés les plus importants recensés pour le secteur Lallier sont l'électricité et le chauffage. Suivent ensuite les besoins en eau chaude sanitaire relevés notamment pour les logements et les équipements. Les besoins en froid sont nettement moins importants que les autres postes, ils sont essentiellement demandés pour les commerces et équipements.

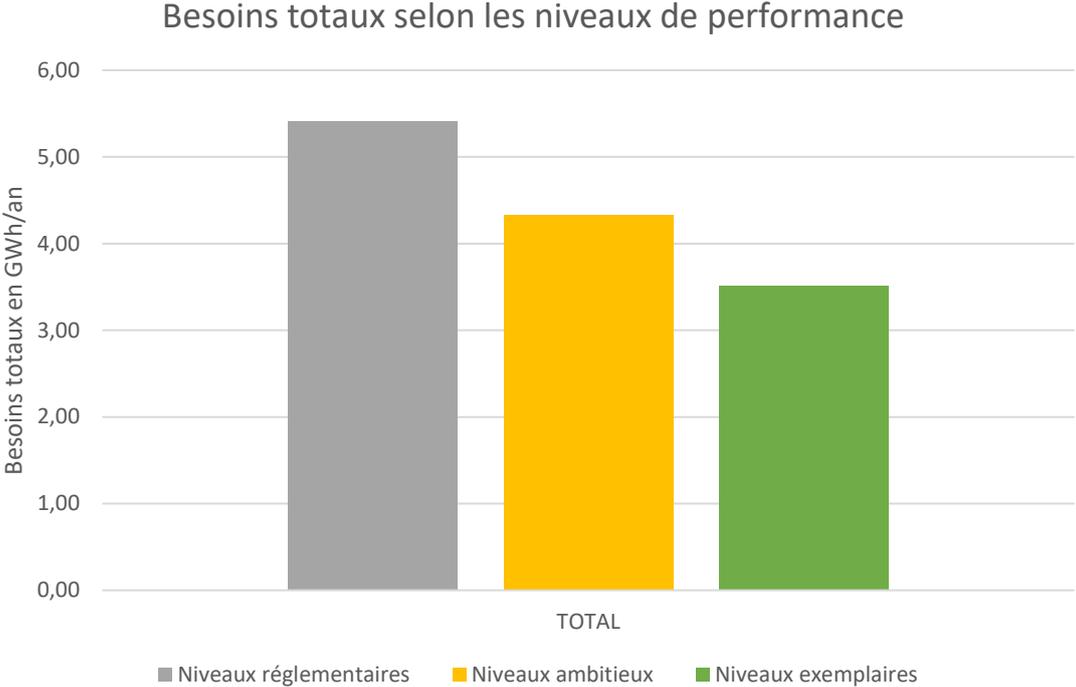
Comparaison des besoins énergétiques par usages de consommation selon les ambitions de performance



Comparaison des besoins énergétiques selon les niveaux de performance étudiés



Sur la base de ces hypothèses, les besoins totaux en énergie du site Lallier seront compris entre 3,02 et 4,65 GWh/an.



2. POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES

Cette partie de l'étude s'attache à présenter un large éventail de technologies recensées en matière d'exploitation des énergies renouvelables. Ces systèmes, une fois décrits dans leur fonctionnement global, sont ensuite confrontés aux contraintes et aux potentiels existants sur le secteur. Dans un milieu très urbanisé tel que celui du secteur Lallier à L'Haÿ-les-Roses, on démontrera ainsi que les solutions alternatives de ressources énergétiques sont pour la plupart inadaptées au contexte local et on tentera ainsi de pointer les rares possibilités s'offrant à lui pour la suite du projet.

2.1 L'énergie solaire

L'énergie solaire peut être valorisée à travers l'implantation de divers dispositifs :

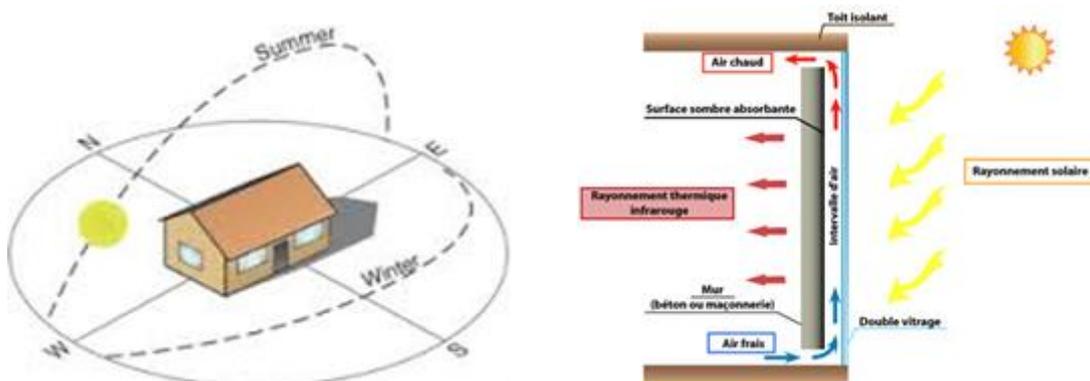
- La conception adaptée des bâtiments, qui permet d'exploiter au mieux les apports solaires pour couvrir les besoins de chauffage ;
- Les panneaux solaires thermiques peuvent être utilisés pour la production d'eau chaude sanitaire, pour le chauffage des constructions ou encore pour la production de froid. Leur fonctionnement consiste à capter la chaleur d'une partie des rayonnements solaires qu'ils reçoivent (l'autre partie étant réfléchi) et à la transférer à un fluide caloporteur ;
- Les panneaux photovoltaïques permettent de produire de l'électricité par conversion de lumière en électricité.

2.1.1 Solaire passif

Le solaire passif regroupe les solutions, essentiellement constructives, qui utilisent passivement l'énergie du soleil pour le chauffage des locaux en hiver. Quel que soit la conception des bâtiments, ces derniers bénéficient d'une part de solaire passif, le tout étant d'optimiser l'apport de solaire passif pour en retirer le plus de bénéfice. Afin que le recours à ce solaire passif soit pertinent, il faut pouvoir en bénéficier en hiver mais s'en prémunir en été pour éviter les surchauffes dans le bâtiment et donc des consommations de rafraîchissement plus importantes.

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

- Recul suffisant entre les bâtiments ou partie du bâtiment lui-même (patios) pour permettre un accès au soleil jusqu'aux façades des étages bas ;
- Ouverture de la façade au Sud, Est et Ouest pour profiter au maximum des apports solaires passifs par les surfaces vitrées ou grâce à des dispositifs comme un mur trombe.

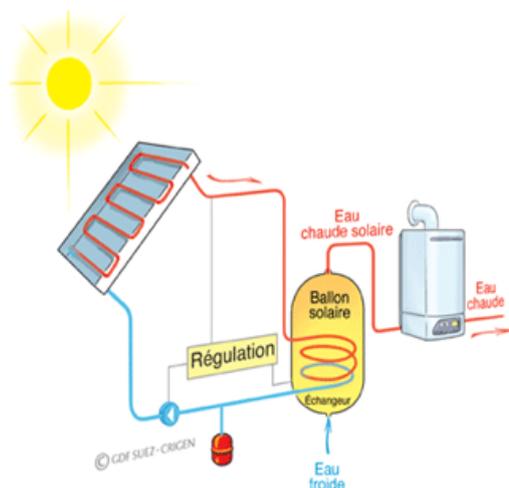


Ensoleillement des façades à gauche et mur trombe à droite

Ces techniques de constructions sont uniquement des optimisations de la conception et n'engendrent aucun surcoût particulier à l'échelle d'un projet.

2.1.2 Solaire thermique

Principe de fonctionnement



Principe de fonctionnement d'une installation solaire thermique.

Le principe de fonctionnement du solaire thermique consiste à utiliser l'énergie provenant du rayonnement solaire pour la convertir en énergie thermique. Il permet de récupérer l'énergie solaire grâce à un fluide caloporteur qui circule dans les capteurs. Par l'intermédiaire d'un échangeur thermique, l'énergie est transférée dans le ballon solaire pour préchauffer l'eau de la ville. Une énergie d'appoint apporte le complément d'énergie si l'ensoleillement n'est pas suffisant. Un thermostat associé à cet appoint permet de garantir le maintien de la température de sortie de l'eau à la consigne désirée.

Echelle d'exploitation

Le solaire thermique est une énergie valorisable à l'échelle du bâtiment. Cette technologie est pertinente dès lors que les besoins d'ECS sont importants et stables. C'est notamment le cas pour les logements, ou pour certains équipements publics (crèches, hôpitaux, etc.). Diverses solutions techniques existent aujourd'hui que ce soit pour les maisons individuelles ou les logements collectifs :

- **Pour les maisons individuelles** : Des systèmes de production solaire optimisés sont disponibles. Ces systèmes présentent une efficacité comparable à un système de production solaire classique (jusqu'à 50% de couverture des besoins d'ECS), mais présentent moins de contraintes techniques et économiques : surface de panneaux solaire et taille du ballon de stockage réduite, et par conséquent coût d'investissement plus faible (3000 à 3500 euros posé fourni).
- **Pour les immeubles collectifs**, plusieurs types de solutions sont possibles. Ces solutions couvrent jusqu'à 50% des besoins d'ECS du bâtiment. Le coût de revient est d'environ 1 500 euros par logement. Ces technologies sont éligibles au fonds chaleur.

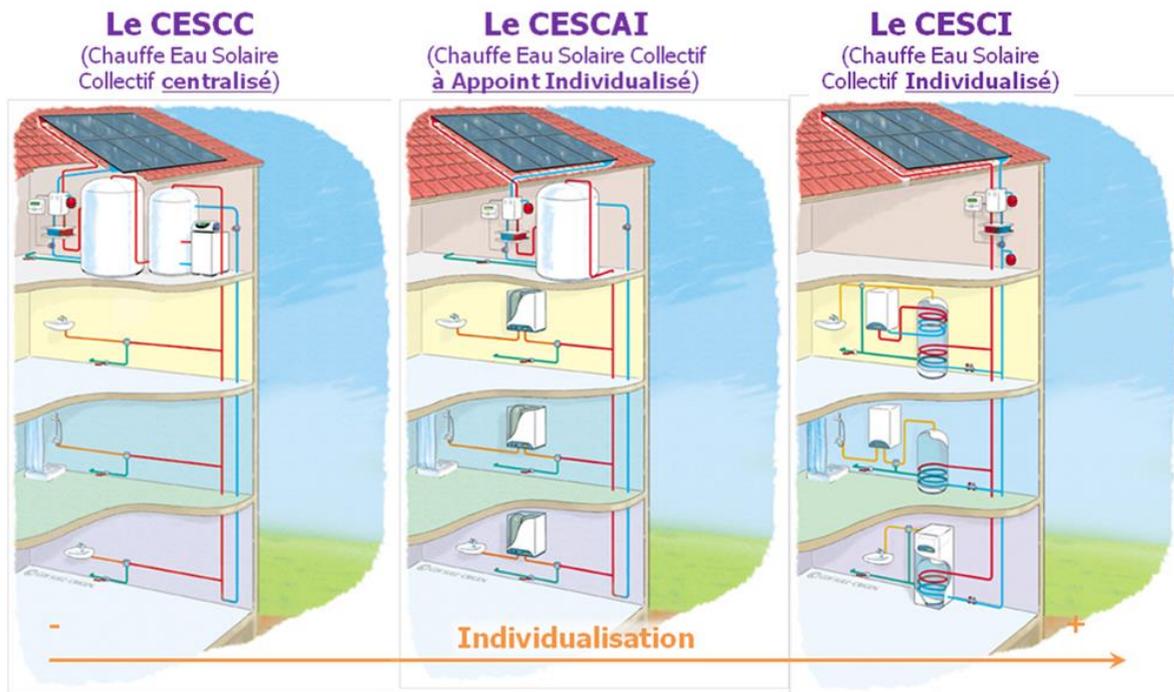


Schéma des différents types de chauffe-eau solaires.

Coût global de la technologie

Le coût d'investissement d'une installation solaire varie selon la technologie choisie. En considérant le coût des travaux et celui des études d'ingénierie pour la conception et l'installation d'un chauffe-eau solaire collectif, le coût global s'élève (pour des bâtiments neufs) à :

- 1 500€ HT/m² pour une installation d'une taille inférieure à 50 m² ;
- 1 000€ HT/m² pour une installation d'une taille inférieure à 100 m² ;
- 800€ HT/m² pour une installation d'une taille supérieure à 100 m².

Les coûts d'installations de dispositifs de type moquette solaire sont d'environ 650 €/HT/m².

Pendant la phase d'exploitation, les coûts d'entretien sont évalués à environ 300€/an pour une installation de taille supérieure à 100 m². Ils sont forfaitaires et ne dépendent pas réellement de la puissance installée.

Les temps de retour sur investissement constatés varient entre 12 et 15 ans.

Subventions 2019

L'ADEME subventionne ce type d'installation par le biais du « fond de chaleur ». Celui-ci est calculé en fonction du nombre de tonnes équivalent pétrole (TEP) évitées. Une TEP est équivalente à 11 630 kWh. Cette aide est soumise à certaines conditions. En effet, le Fonds Chaleur se focalise prioritairement sur les installations de chauffe-eau solaires collectifs (CESC) pour les secteurs suivants :

- Le logement collectif et, par extension, tout hébergement permanent ou de longue durée avec des besoins similaires en eau chaude sanitaire (secteur hospitalier et sanitaire, structures d'accueil, maisons de retraite...) ;
- Les secteurs Tertiaire, Industrie et Agriculture (TIA) comprenant les hôtels et hôtels de plein air à usage non saisonnier (campings utilisés au-delà des seuls mois de juillet et août), les piscines collectives, les restaurants, les cantines d'entreprises, les activités agricoles consommatrices d'ECS (laiteries, fromageries...) et les processus industriels consommateurs d'eau chaude.

Les aides Fonds Chaleur sont octroyées « aux projets optimisés » qui répondent à un certain nombre de critères, comme notamment la surface de capteurs minimum (25 m²), la productivité solaire minimum par m² en fonction de la région (350 kWh utile/m²), ainsi que la mise en place systématique d'une procédure de monitoring de l'installation.

D'autres aides existent également : différentes réductions en provenance de l'Etat (crédit d'impôt, taux de TVA réduit), de la banque (éco-prêt à taux zéro), de l'ANAH, ou encore de la région, département ou commune.

Les installations pouvant bénéficier du crédit d'impôt ne sont pas éligibles au « fond de chaleur ».

2.1.3 La climatisation solaire

Présentation de la technologie :

La climatisation solaire peut être utilisée pour des bâtiments tertiaires dès lors que la conception implique la mise en œuvre d'un système de rafraîchissement.

Dans le cadre de la réalisation d'un projet d'aménagement, les capteurs solaires « sous vides » sont à privilégier. Ce type de système fonctionnant à une température avoisinant les 100°C, le fluide caloporteur présent dans ce type de capteurs permet de supporter la montée en température nécessaire à l'atteinte de la température optimale. Deux systèmes (les plus courants) peuvent être envisagés :

- Les systèmes fermés à absorption : de l'eau glacée est produite par un groupe froid à absorption, utilisable dans une centrale de traitement d'air ou dans un réseau d'eau glacée alimentant des installations décentralisées.
- Les systèmes ouverts dans lesquels l'air est directement traité en fonction du confort souhaité.

Coût global de la technologie

Le coût d'investissement d'une installation de climatisation solaire est d'environ (estimation basée sur les quelques retours d'expérience de réalisations en Europe) : 1 500 € HT/m² de capteurs solaires (système à absorption avec capteurs sous vides).

Les coûts d'entretien pour la phase d'exploitation sont difficilement quantifiables, étant donné le peu de retour d'expérience. Néanmoins, les coûts de maintenance peuvent être considérés comme similaires à ceux d'un système à absorption avec des capteurs.

Subventions 2019

Aucune aide spécifique à la climatisation solaire n'existe actuellement. Néanmoins, les quelques projets réalisés en Europe ont bénéficié d'aides ponctuelles de l'ADEME, de l'Union Européenne et d'EDF.

2.1.4 Le solaire photovoltaïque

Présentation de la technologie

Le solaire photovoltaïque utilise le rayonnement solaire pour produire de l'électricité. La production peut être soit utilisée pour couvrir directement une partie des besoins en électricité des bâtiments sur lesquels sont positionnés les capteurs (système autonome) soit réinjectée dans le réseau (lorsque le système y est raccordé) ou encore stockée (système encore peu développé).

Dans le cadre de la réalisation d'un projet d'aménagement en milieu urbain, le choix de la seconde option semble plus pertinent étant donné que les systèmes autonomes sont plus

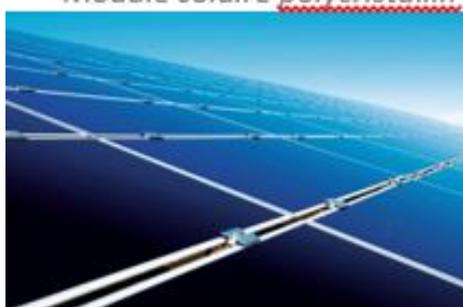
rentables dans le cas d'habitations isolées (rentabilité supérieure lorsque l'électricité est réinjectée dans le réseau).

Différents systèmes et modules existent sur le marché pour la production d'électricité par photovoltaïque :

- Les modules solaires monocristallins : ils possèdent un meilleur rendement au m² (18-19%), et sont essentiellement utilisés lorsque les espaces sont restreints. Le coût, plus élevé que celui d'une autre installation de même puissance, limite le développement de cette technique.
- Les modules solaires polycristallins : actuellement, ils présentent le meilleur rapport qualité/prix et sont les plus utilisés. Ils ont un bon rendement (15-16%) et une durée de vie importante (plus de 35 ans). Ils présentent l'avantage de pouvoir être produits à partir du recyclage de déchets électroniques.
- Les modules solaires amorphes : ces modules ont un avenir prometteur car ils peuvent être souples et ont une meilleure production lorsque l'ensoleillement est faible. Le silicium amorphe possède un rendement divisé moindre par rapport aux systèmes cristallins (8%), ce qui nécessite plus de surface pour la même puissance installée. Toutefois, le prix au m² installé est plus faible que pour des panneaux solaires composés de cellules.
- Les modules solaires en couche mince : ces modules ont un rendement moyen (12%) mais des coûts de production plus faibles que les panneaux cristallins.



Module solaire polycristallin



Module solaire amorphe



Module solaire couche mince

Coût global de la technologie

Le coût d'investissement diminue en fonction de la puissance totale installée, mais également en fonction du cadre réglementaire. Celui-ci évoluant très vite, il est difficile de connaître avec certitude le coût d'une installation d'ici 1 à 2 ans. A titre indicatif, les coûts donnés par l'ADEME se situent dans les tranches suivantes :

- entre 2,7 et 3,7 euros HT/W pour des systèmes de puissance nominale inférieure à 10 kW, selon le niveau d'intégration au bâtiment des modules ;

Aménagement du secteur Lallier à L'Hay-les-Roses (94)

- de l'ordre de 2 euros HT/W pour un système de moyenne puissance supérieure à 36 kW, installé sur une grande surface de toiture (toitures commerciales, industrielles, agricoles) ;
- de l'ordre de 1,6 euros HT/W pour une centrale au sol de puissance supérieure à 1 MW.

Si le choix d'exploitation de l'énergie photovoltaïque se porte sur un raccordement au réseau, le prix est différent. Ce coût n'est pas forcément proportionnel à la puissance que l'on souhaite raccorder car il dépend de la faisabilité et de la facilité du raccordement. En effet, la proximité du poste source joue considérablement sur le coût global ; ainsi une petite installation nécessitant de grands travaux pour le raccordement aura un coût bien supérieur à celui d'une installation plus conséquente mais localisée à une distance plus proche (prix évalué par ERDF lors de l'établissement de la proposition technique et financière pouvant aller de 1 000€ à plusieurs dizaines de milliers d'euros).

Le coût d'exploitation est lié principalement à la maintenance des modules (nettoyage, intervention...).

A titre d'exemple, la maintenance d'une installation d'environ 200 kWc (correspond à la puissance que le module peut délivrer dans des conditions optimales de fonctionnement - ensoleillement de 1 000 W/m² et température de 25°C) nécessite un coût d'exploitation estimé à 6 000€/an.

Le coût global et les revenus générés d'une installation photovoltaïque dépendent également du coût de rachat de l'électricité par EDF. Un arrêté relatif au tarif d'achat de l'énergie photovoltaïque a été examiné le 1er juillet 2012 par la Commission de Régulation de l'Energie instituant le réajustement (à la baisse) du tarif chaque trimestre en fonction du volume de projets déposés durant le trimestre passé.

Tarif de rachat

Les tarifs applicables pour les installations sur toiture dépendent de la puissance crête et du degré d'intégration au bâti des installations. Ils sont indexés chaque trimestre selon le volume de projets entrés en file d'attente au trimestre précédent.

Au-delà de 100 kWc, les tarifs sont octroyés par appels d'offres.

Le dispositif de soutien au photovoltaïque prévoit des tarifs d'achat, ajustés chaque trimestre.

Les tarifs d'achats photovoltaïques sont garantis sur une durée de 20 ans et permettent de rentabiliser l'installation de panneaux solaires photovoltaïques. Il existe plusieurs niveaux de tarifs en fonction de la nature et de la puissance de l'installation.

A ce jour (1^{er} trimestre 2018), les prix de rachat en cas de vente totale de l'énergie produite et selon les technologies disponibles, sont les suivants :

2018	Type installation	Puissance Kilowatt/crête	Tarif achat
01/04 au 30/06	IAB*	≤3	20.05 €
01/04 au 30/06	IAB*	≤9	17.26 €
01/04 au 30/06	ISB*	≤3	18.55 €
01/04 au 30/06	ISB	≤9	15.76 €
01/04 au 30/06	NIB IAB/ISB < 100kWc	≤ 36	12.07 €
01/04 au 30/06	NIB IAB/ISB < 100kWc	≤ 100	11.24 €

IAB = Intégration au bâti
ISB = Intégration simplifiée au bâti
NIB = Non intégration au bâti

Source : Picbleu.fr

Subventions 2019

Pour les collectivités, l'installation peut être éligible à une subvention de la région de l'ordre de 30% du montant total du projet hors raccordement et de l'ADEME à hauteur de 30% en cofinancement.

	Taux d'autoconsommation	Puissance	Montant de l'aide	Plafond de l'aide
Collectivités et Associations/	Inférieur à 70 %	≥ 3 kWc	200 €/kWc	100 premiers kWc par point de raccordement et 30 % du montant total HT du projet hors raccordement et solution de référence déduite.
Collectivités /Associations/ Entreprises / Bailleurs sociaux / Copropriétés/Bailleur privé	Supérieur à 70 %	entre 3 et 9 kWc	200 €/kWc	
		entre 9 et 36 kWc	250 €/kWc	
		≥ 36 kWc	300 €/kWc	
Projets participatifs et citoyens sans maîtrise citoyenne de la gouvernance	0 % / 100 %	≥ 3 kWc	200 €/kWc	
Projets participatifs et citoyens avec maîtrise citoyenne de la gouvernance	0 % / 100 %	≥ 3 kWc	400 €/kWc	
Site Isolé	100 %	≥ 3 kWc	300 €/kWc	100 premiers kWc et 30 % du montant total HT du projet incluant les coûts des batteries et solution de référence déduite

En revanche le système de crédit d'impôts a été supprimé pour les panneaux solaire photovoltaïques depuis le 1er septembre 2014, et les prix de rachat de l'électricité produite par le photovoltaïque est en baisse au fil des trimestres.

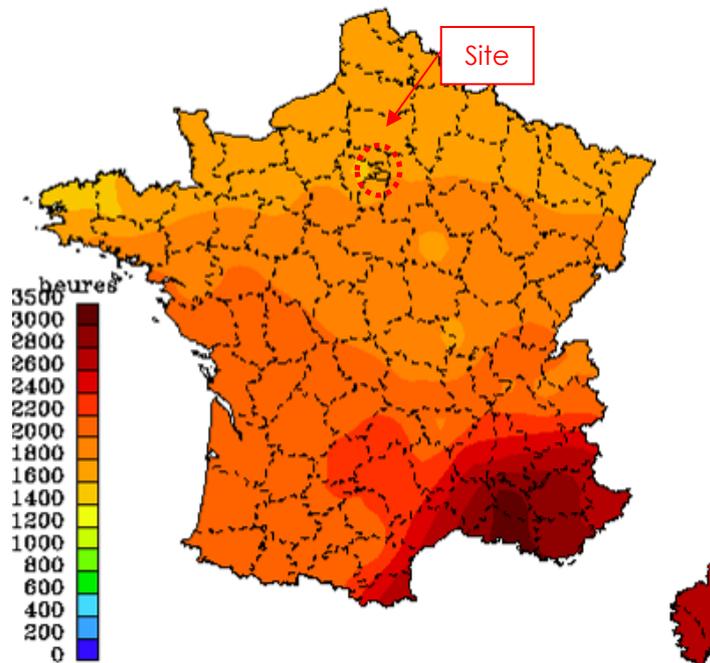
Des primes d'investissement existent pour soutenir le développement de centrales intégrées au bâti en cas de vente partielle de l'énergie. Elles sont, à ce jour, de l'ordre de 90 à 390€/kWc selon la puissance totale de l'installation. Dans ce cas, la rémunération de l'énergie injectée au réseau varie de 6 à 10 c€/kWh et est fixée par l'arrêté du 9 mai 2017.

Puissance de l'installation	Montant de la prime pour une installation
Inférieure ou égale à 3 kWc	390 €/kWc
Entre 3 et 9 kWc	290 €/kWc
Entre 9 et 36 kWc	190 €/kWc
Entre 36 et 100 kWc	90 €/kWc

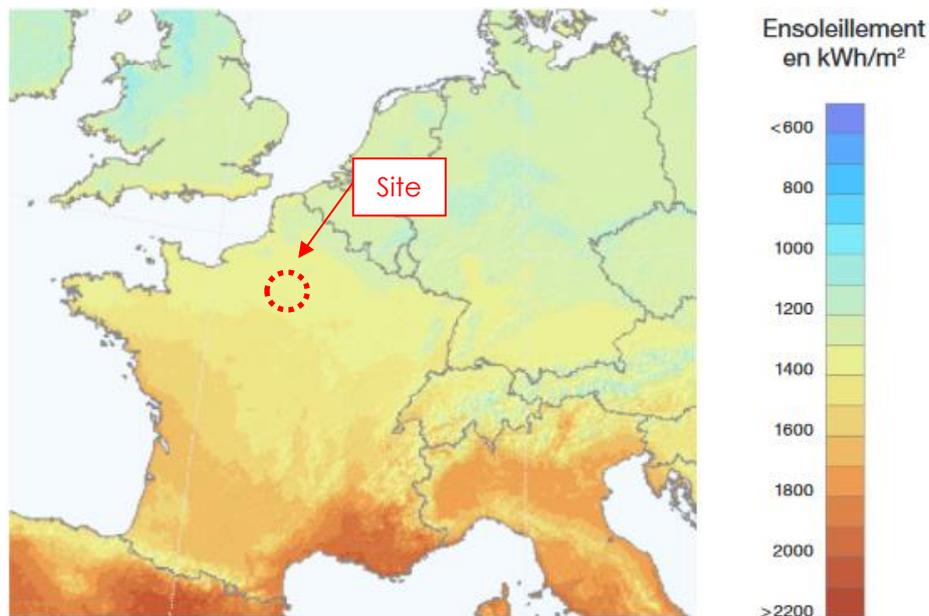
Puissance de l'installation	Prix de revente en surplus au kWh
Inférieure ou égale à 9 kWc	10 centimes d'euros
Entre 9 et 100 kWc	6 centimes d'euros

2.1.5 Le gisement solaire local

A l'échelle de l'agglomération, Météo France et l'Internaute ont pu calculer sur la ville de L'Haÿ-les-Roses, 1 985 heures d'ensoleillement durant l'année 2018, soit 3% de moins que la moyenne nationale.



Carte d'ensoleillement en France - Source : Météo France



Ensoleillement annuel en kWh par m² - Source : JRC-Ispra, Commission européenne

Le gisement solaire local est compris entre 1 300 et 1 500 kWh/m².an, donc un potentiel moyen mais qui reste exploitable.

Les toitures des différents bâtiments représentent des surfaces favorables à l'implantation de panneaux solaires.

Il est possible d'estimer l'irradiation des toitures et des éventuels modules solaires qui y sont implantés sur le capteur de Paris-le Bourget, la simulation n'étant pas disponible pour la ville de

Aménagement du secteur Lallier à L'Haÿ-les-Roses (94)

L'Haÿ-les-Roses.

Les résultats seront cohérents, Le Bourget étant distant de seulement 20km.

Nous avons considéré une orientation sud des capteurs et une inclinaison du plan à 30° par rapport à l'horizontale.

Mois	Energie solaire reçue plan horizontal (Wh/m ² .j)	Energie solaire reçue 30° par rapport à l'horizontal (Wh/m ² .j)
Janvier	870	1210
Février	1520	1930
Mars	2880	3460
Avril	3920	4190
Mai	5010	5010
Juin	5590	5420
Juillet	5330	5230
Août	4440	4600
Septembre	3380	3870
Octobre	1980	2510
Novembre	990	1320
Décembre	720	1020

Irradiation solaire à Paris-Le Bourget (et L'Haÿ-les-Roses) - Source : Calsol

Selon les technologies disponibles, une simulation à l'aide du site Tecsol permet d'estimer la production d'énergie pour des capteurs solaires installés en toiture. Les hypothèses retenues pour les simulations sont les suivantes :

- Surface de capteurs de 100 m² ;
- Orientation : 0° par rapport au Sud ;
- Inclinaison : 30 ° par rapport à l'horizontale.

Station Météo		Paris			
Latitude du lieu	48°49				
Modules PV	Générique Si multicristallin	Générique Si monocristallin	Générique Si amorphe	Générique Si CdTe	
	Puissance 172 Wc	Puissance 217 Wc	Puissance 90 Wc	Puissance 75 Wc	
Orientation	0° Sud				
Inclinaison	30° / horizontale				
Surface utile	99 m ²				
Total énergie produite (kWh/an)	10 475	13 393	5 334	9 732	
Total CO₂ évité (kg/an)	3 771	4 821	1 992	3 504	
Productivité (kWh/kWc.an)	923	935	932	948	

Estimation de la production d'énergie pour des capteurs solaires à Paris – Source : Tecsol

Sur le site, 100 m² de panneaux solaires permettraient donc de produire entre 5 334 et 13 393 kWh/an selon la technologie choisie.

Le site est donc globalement favorable à l'implantation de panneaux solaires thermiques et photovoltaïques.

2.2 L'énergie éolienne

2.2.1 Le grand éolien et le petit éolien

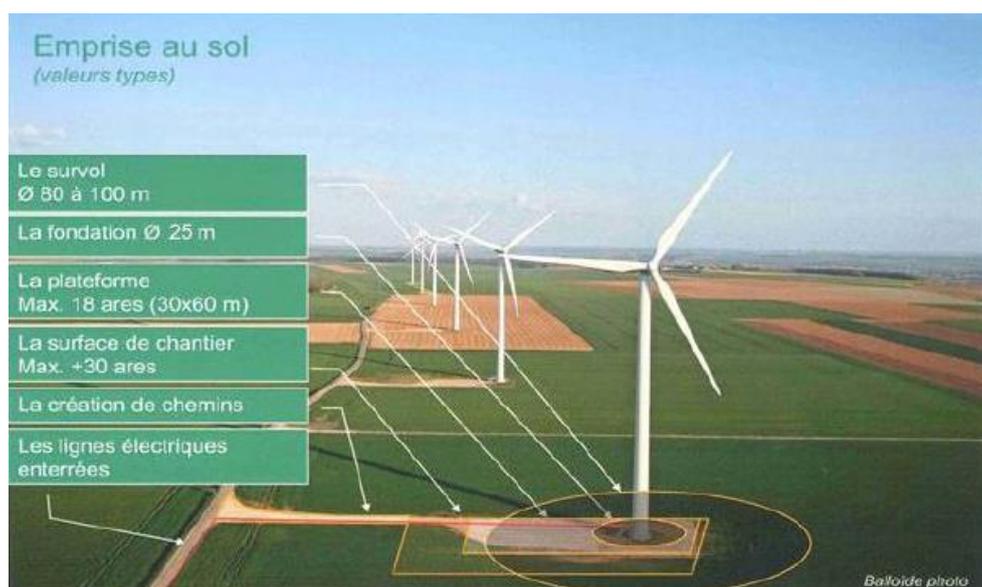
Le grand éolien désigne les aérogénérateurs dont la puissance est comprise entre 1 500 kW et 2 500 kW et d'une hauteur en général supérieure à 50m. Ils sont destinés à la production d'électricité pour le réseau. Deux types de technologies peuvent être utilisés :

- Les grandes éoliennes à axe horizontal : ce sont les plus répandues et elles se caractérisent par une dimension de plus en plus imposante (ne fonctionnent pas dans des conditions particulières de vitesse de vent)
- Les grandes éoliennes à axe vertical : plus petites que les précédentes, elles ont l'avantage de pouvoir fonctionner dans des conditions climatiques plus défavorables.



Eoliennes à axe vertical et horizontal

Le petit éolien correspond à des éoliennes dont la puissance varie entre 0,1 et 36 kW et leur mât mesure entre 10 et 35 m.



Description de l'emprise au sol d'une éolienne de 2,5 MW – Source : Theolia France

Coût global de la technologie

Le coût d'investissement moyen d'une grande éolienne est d'environ 1 300 à 1 500 €/kW installé, comprenant :

- Le coût du matériel ;
- Le raccordement ;
- L'installation ;
- Les études préalables ;
- Le démantèlement en fin de vie.

Le coût annuel d'exploitation d'une grande éolienne équivaut à environ 2 à 3 % du coût d'investissement.

Pour une éolienne de 2 000 kW, cela représente :

- Un investissement de 2,8 M€ ;
- Un coût d'exploitation de 70 000 € annuels.

Le coût global et les revenus générés d'une installation éolienne dépendent également, comme pour le photovoltaïque du coût de rachat de l'électricité. La France a choisi de soutenir le développement de l'éolien par la mise en place d'une obligation d'achat de l'électricité produite à partir de l'énergie éolienne. Ce tarif est particulièrement favorable au grand éolien en revanche, il ne s'applique pas vraiment aux caractéristiques du petit éolien qui pourtant connaît des coûts d'installation et de production plus élevés. Le tarif de rachat de l'énergie éolienne fixé par l'arrêté du 10 juillet 2006 est d'environ 8,2 c€/kWh pour les dix premières années (suivant l'année de mise en service); et entre 2,8 et 8,2 pour les cinq années suivantes (il est fixé en fonction de la durée annuelle de fonctionnement de référence.

Le temps de retour sur investissement constaté varie de 8 à 10 ans selon le type d'installation.

Subventions 2019

Le contrat doit être conclu pour 15 ans avec le fournisseur d'électricité (après cette période l'électricité peut continuer à être revendue mais au tarif normal de l'électricité du réseau).

Depuis 2008, le tarif de rachat est fixé à 8.4 c€/ kWh pendant les 10 premières années puis entre 2.6 et 8.2 c€/ kWh pendant les 5 années suivantes (déterminé selon le nombre d'heures de production/an).

Durée annuelle de fonctionnement de référence (quotient de l'énergie produite pendant une année par la puissance maximale installée)	TARIF des 10 premières années c€ /kWh	TARIF des 5 années suivantes c€ /kWh
2 400 heures et moins	8.4	8,2
Entre 2 400 et 2 800 heures	8.4	Interpolation linéaire
2 800 heures	8.4	6,8
Entre 2 800 et 3 600 heures	8.4	Interpolation linéaire
3 600 heures et plus	8.4	2,8

Tarif de rachat de l'électricité produite par l'énergie éolienne, arrêté du 10 juillet 2006

En revanche, si certaines régions subventionnent le grand éolien, l'Île de France n'accorde pas d'aides financières pour ce type de projet. En effet, les subventions pour le développement des énergies renouvelables sont essentiellement pour les domaines de transport, les lycées ou encore pour les initiatives des particuliers.

2.2.2 L'éolien urbain

Présentation de la technologie

Le petit éolien, ou éolien domestique, désigne les éoliennes de petites et moyennes puissances (de 100 watts à environ 20 kilowatts) montées sur des mâts de 5 à 20 mètres, elles peuvent être raccordées au réseau ou bien autonomes en site isolé. Certaines éoliennes sont de très petite taille, avec pour objectif de pouvoir les installer sur les toitures terrasses des immeubles d'habitation dans les villes, ou sur les toitures des immeubles industriels et commerciaux, dans des gammes de puissances allant de quelques kW à quelques dizaines de kW.



Eoliennes urbaines

Leur vitesse de rotation est faible et indépendante de la vitesse du vent. Leur puissance varie linéairement avec la vitesse du vent (entre 5 km/h jusqu'à plus de 200 km/h) sans nécessiter la « mise en drapeau » des éoliennes à pales. Elles peuvent être à axe horizontal ou vertical.

Coût global de la technologie

Le marché peu développé des éoliennes urbaines rend difficile l'estimation du coût global (installation et maintenance). Selon le site urbawind.org et les premiers retours d'expérience, le coût d'investissement serait pour une petite éolienne à axe horizontal de 7 000 à 10 000 €/kW et pour une petite éolienne à axe vertical de 10 000 à 25 000 €/kW (fabrication et matériaux). Le coût d'installation serait évalué entre 2 200 et 2 900 €/kW et le raccordement à environ 1 000 €/kW (prix dépendant du modèle de l'éolienne).

Pour la phase d'exploitation, le coût de la maintenance serait de l'ordre de 200 à 850 €/an auxquels s'ajoute le coût de changement de certains matériels tels que l'onduleur (environ 1 000 €).

Le temps de retour sur investissement constaté varie de 60 à 140 ans selon le type d'installation.

Subventions 2019

Pour l'année 2019, le Crédit d'Impôt pour la Transition Énergétique (CITE) qui autorise les particuliers à répercuter 30% du coût de leur rénovation énergétique directement sur leurs impôts n'est donc plus à l'ordre du jour en ce qui concerne l'installation d'éoliennes, quel que soit leur potentiel énergétique. Il en est ainsi de même pour l'Éco-prêt à taux zéro, un crédit à taux d'intérêt nul bien pratique ordinairement destiné aux propriétaires voulant rénover leur logement.

De manière générale l'ADEME supprime progressivement ses aides à l'éolien pour des raisons qui lui sont propres : difficiles d'accès en milieu urbain et produites majoritairement à l'étranger, les éoliennes intéressent peu l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie qui préfère se rabattre sur des solutions plus sûres comme le photovoltaïque, les pompes à chaleur, ou plus simplement les travaux classiques d'isolation.

Seule la TVA à taux réduit de 10% (et non 5,5% comme auparavant puisque les éoliennes ne sont plus éligibles au CITE) est encore d'actualité.

Potentiel éolien local

La productivité d'une éolienne qu'elle soit grande ou petite, verticale ou horizontales, dépend de la vitesse du vent. Pour commencer à fonctionner, sa vitesse ne doit pas être inférieure à

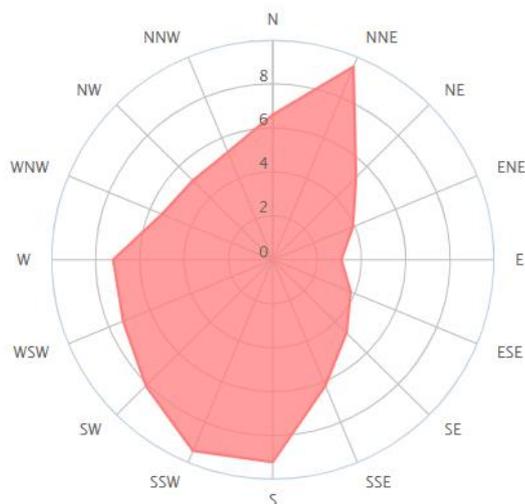
4m/s, une vitesse trop forte en revanche suspendra le fonctionnement de l'éolienne (vitesse maximum dépendant du type d'éoliennes), arrêtant la production d'électricité.

2.2.3 Gisement éolien local

Grand éolien

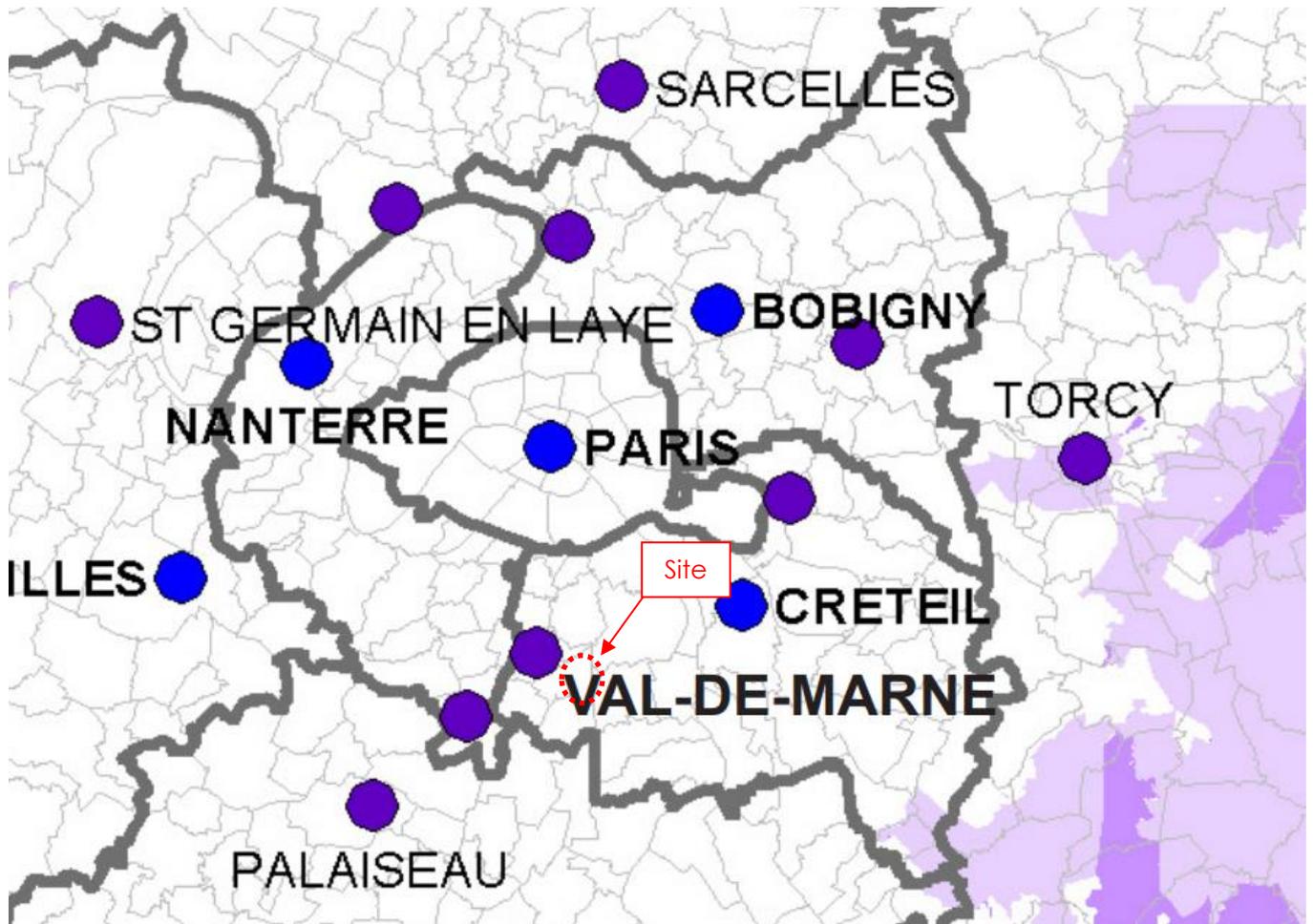
La distribution du vent sur le site peut être assimilée à celle de la station météo Paris/Montsouris, compte tenu de leur proximité.

Distribution de la direction du vent en //%



Rose des vents sur la station de Paris/Montsouris – Source : Windfinder

Le Schéma Régional Eolien (SRE) de l'ancienne délimitation du territoire régional n'identifie pas la commune de L'Haÿ-les-Roses comme étant favorable au développement d'installations de grande puissance.



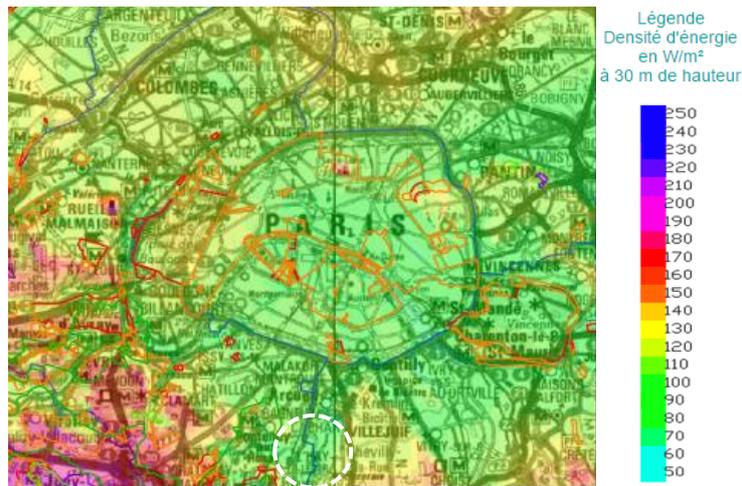
-  Zone favorable pour l'implantation d'éoliennes
-  Zone favorable à contraintes modérées
-  Zone favorable à fortes contraintes
-  Zone défavorable
-  Préfectures
-  Sous-préfectures

Carte des communes disposant de zones favorables de taille suffisante pour le développement de l'énergie éolienne – Source : SRE Ile-de-France

Le site ne paraît pas adapté à l'implantation de sources de production énergétique à base d'énergie éolienne.

Petit éolien

Le milieu urbain a pour effet de réduire la vitesse de vent, les constructions, les plantations sont des éléments qui contraignent en effet le passage du vent. Considérant les mesures de vent prises à 30m de hauteur et en prenant en compte la rugosité engendrée par le milieu urbain et les grands ensembles qui entourent la zone de projet, on peut estimer la densité d'énergie assez faible de 100 W/m².



Source : Atlas éolien de l'ARENE IdF

Compte tenu de cette vitesse plutôt faible et de la présence d'obstacles pour le passage du vent (zones urbanisées), l'implantation d'éoliennes urbaines, si cette technologie est choisie, devra être privilégiée en toiture des bâtiments collectifs ou les équipements collectifs de hauteur conséquente afin d'assurer une prise aux vents optimale et une vitesse de vents suffisante pour que l'éolienne fonctionne correctement et que son installation soit rentable.

Néanmoins, au regard des tentatives infructueuses réalisées à Paris pour l'exploitation de cette ressource, la solution éolienne urbaine n'est pas non plus recommandée pour répondre aux besoins énergétiques du secteur.

2.3 L'énergie géothermique

Le principe consiste à extraire l'énergie géothermique contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou pour la transformer en électricité. Il existe un flux géothermique naturel à la surface du globe, mais il est si faible qu'il ne peut être directement capté. En réalité on exploite la chaleur accumulée, stockée dans certaines parties du sous-sol (nappes d'eau).

Selon les régions, l'augmentation de la température avec la profondeur est plus ou moins forte. Ce gradient géothermique varie de 3 °C par 100 m en moyenne jusqu'à 15°C ou même 30°C. La plus grande partie de la chaleur de la Terre est produite par la radioactivité naturelle des roches qui constituent la croûte terrestre : c'est l'énergie nucléaire produite par la désintégration de l'uranium, du thorium et du potassium.

Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). C'est donc une source d'énergie quasi-continue car elle est interrompue uniquement par des opérations de maintenance sur la centrale géothermique ou le réseau de distribution de l'énergie. Les gisements géothermiques ont une durée de vie de plusieurs dizaines d'années.

2.3.1 Haute énergie

Utilisation des sources hydrothermales très chaudes, ou forage très profond.

Principale utilisation : la production d'électricité.

La géothermie haute énergie, ou géothermie profonde, appelée plus rarement géothermie haute température est une source d'énergie contenue dans des réservoirs localisés à plus de 1500 mètres de profondeur et dont la température est supérieure à 80°C.

Ce type de ressource est géographiquement très localisé.

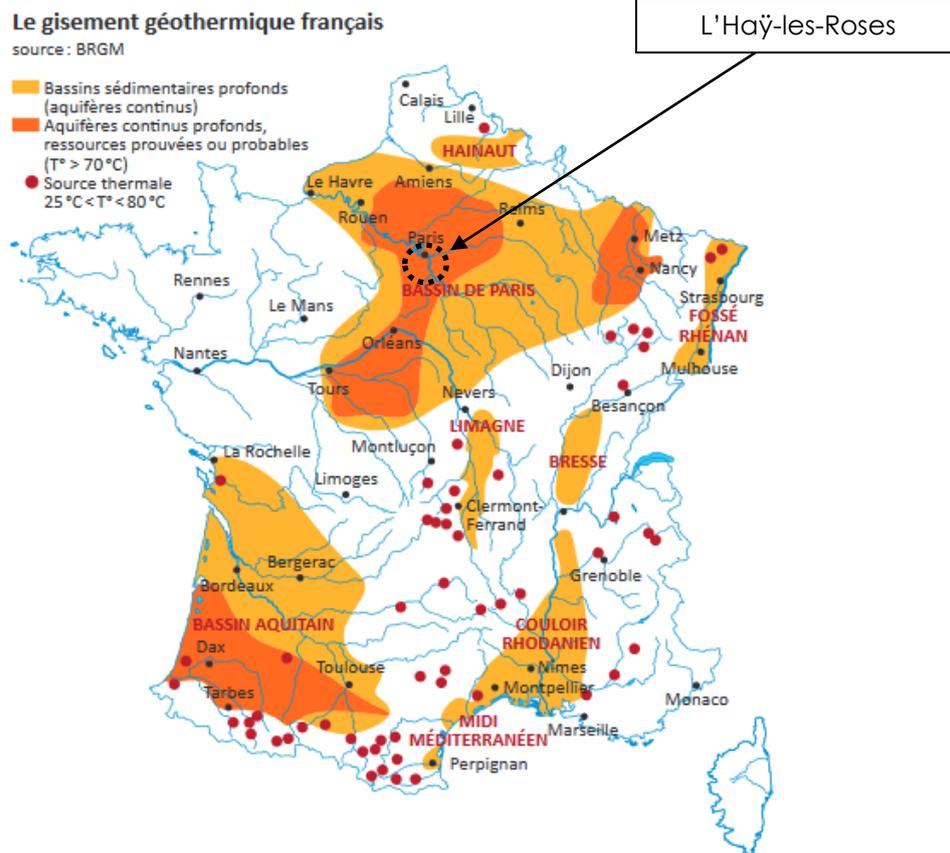
Un tel contexte ne se retrouve pas en région Ile de France. La production d'électricité par géothermie haute énergie n'est donc pas pertinente.

2.3.2 Basse énergie

Consiste en l'extraction d'une eau chaude (entre 50 et 90°C) dans des gisements situés entre 1500m et 2500m de profondeur. Le niveau de chaleur est directement adapté au chauffage des bâtiments.

Principale utilisation : les réseaux de chauffage urbain.

En France, plus de 30 réseaux de chaleur urbain sont alimentés par géothermie profonde type « Basse énergie ». En particulier en région parisienne, l'eau de l'aquifère profond du Dogger (Jurassique) est captée à environ 2000m de profondeur à une température comprise entre 60 et 80°C.



Carte du gisement géothermique en France - Source : BRGM

Le meilleur aquifère (Trias inférieur) représente un potentiel géothermique faible au niveau du site. La mise en place d'un forage avec une profondeur importante ($> 2000\text{m}$) s'avèrerait alors nécessaire.

La mise en œuvre d'un forage de ce type se fait généralement dans le cadre de projets d'ampleur considérable (environ 5000 équivalent logement). Comme cela a été le cas lors de la réalisation de l'EcoQuartier Boule/Sainte-Genève en région Ile-de-France.

2.3.3 Très basse énergie

Pompes-à-chaleur (PAC) sur eau de nappe

Cela concerne les aquifères peu profonds dont les eaux présentent une température inférieure à 30°C . Dans ce cas, la chaleur provient non pas des profondeurs de la croûte terrestre, mais du soleil et du ruissellement de l'eau de pluie, le sol du terrain jouant un rôle d'inertie thermique. La température étant très basse, elle doit être utilisée avec une pompe à chaleur pour atteindre des températures supérieures adaptées au chauffage des bâtiments.

La pompe-à-chaleur permet de prélever la chaleur basse température dans l'eau (boucle primaire) et de la restituer à plus haute température dans un autre milieu via un fluide caloporteur (boucle secondaire).

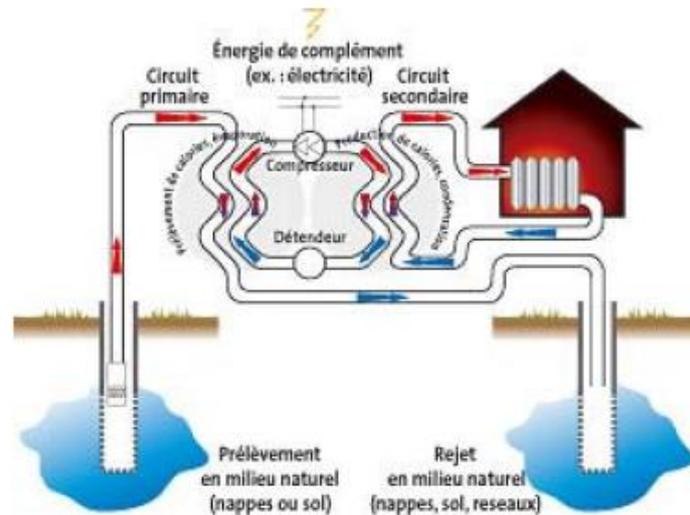


Schéma de principe de fonctionnement d'une pompe-à-chaleur sur eau de nappe

Le système est basé sur la réalisation d'un doublet de forages : un forage de prélèvement et un forage de réinjection. Ainsi, l'intégralité des volumes prélevés sont réinjectés dans l'aquifère. Il n'y a donc aucun impact quantitatif sur la ressource en eau, à partir du moment où les températures de réinjection dans l'aquifère sont respectées. Par inversion de cycle, certaines pompes-à-chaleur sont réversibles et peuvent produire alternativement du chaud et du froid selon les saisons.

Ce dispositif consomme de l'énergie électrique pour faire fonctionner le compresseur, 1 kWh d'énergie électrique consommée peut fournir 3 à 5 kWh d'énergie utile en fonction de la performance de la pompe-à-chaleur. Cette performance est mesurée au travers d'un COP (Coefficient de performance) en mode de production de chaud et d'un EER (Coefficient d'efficacité frigorifique) en mode de production de froid.

Ce mode de production de chaud et de froid à partir de géothermie très basse énergie est utilisé pour le chauffage et le rafraîchissement ainsi que la production d'Eau Chaude Sanitaire pour les maisons individuelles mais également les logements collectifs et bâtiments tertiaires.

Les forages sur eau de nappe sont soumis aux procédures de déclaration et d'autorisation préalables au titre de la « Loi sur l'Eau », selon les volumes annuels prélevés dans la nappe.

Sondes géothermiques

La géothermie très basse énergie peut également exploiter la chaleur du sous-sol par l'installation de capteurs peu profonds horizontaux ou verticaux faisant circuler un fluide caloporteur en circuit fermé. Ces installations nécessitent également l'utilisation d'une pompe-à-chaleur fonctionnant à l'électricité.

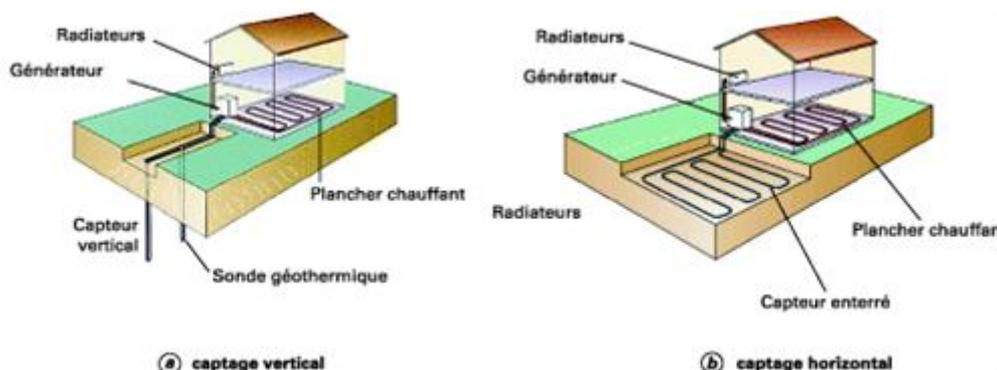


Schéma de principe des sondes géothermiques verticales ou horizontales

Aménagement du secteur Lallier à L'Haÿ-les-Roses (94)

Ce dispositif permet de ne pas avoir à mobiliser l'eau des aquifères. De plus, les sondes géothermiques sont moins impactantes pour la stabilité des sols que les prélèvements sur eaux de nappe.

Le coût est d'environ 70 €HT / m linéaire (incluant les frais de raccordement). Il faudra cependant ajouter en plus le coût de la pompe-à-chaleur.

Pieux géothermiques

Dans le cadre de la construction de bâtiments nécessitant des pieux à grandes profondeurs, il est possible d'utiliser ces structures en béton pour capter l'énergie thermique du sol. Les capteurs sont alors installés au cœur des fondations.

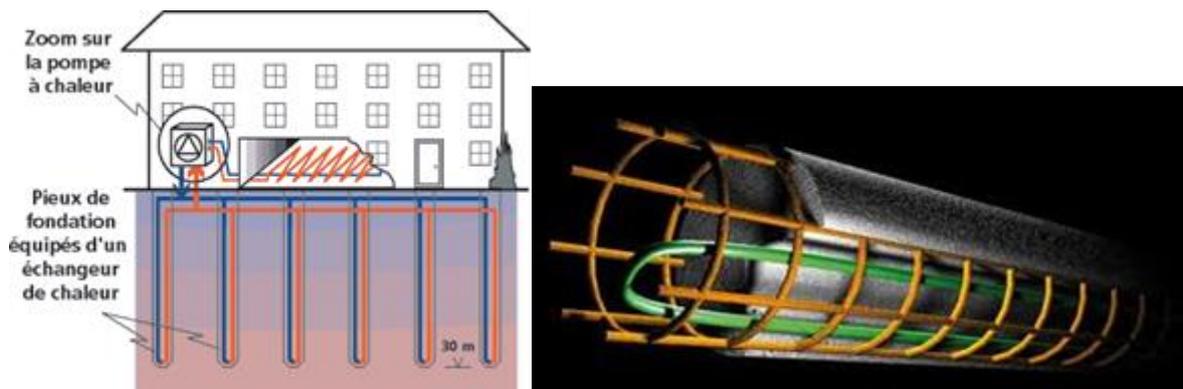


Schéma de principe des capteurs géothermiques intégrés aux pieux

Coût global de la technologie géothermie sur aquifères

Le coût d'un forage seul (hors équipements, réseaux, électricité) varie entre 800 et 2 000€ HT/ML. Pour les autres équipements, le coût varie beaucoup en fonction des pompes, des systèmes ou encore des capteurs utilisés, en considérant par exemple un débit compris entre 60 et 100 m³, le coût peut varier de 25 000 à 70 000 € HT. S'ajoute à cette estimation le coût de la PAC d'environ 300€ HT du kW et celui des études de faisabilité qui s'élève à un montant compris entre 12 000 et 20 000€.

Le coût de la maintenance pendant la phase d'exploitation semble varier entre 1 500 et 3 000€ HT auquel s'ajoute tous les 10 à 15 ans des examens endoscopiques des forages estimés à 2 500 € HT et un examen des pompes pour 8 000€. En ce qui concerne les pompes à chaleur, le coût de maintenance se situe entre 4 500€ HT/an pour une pompe de 100 à 200kW et 15 000€ HT/an pour une pompe de 800 à 1 000kW.

Subventions 2019

Les aides représentent 60% des dépenses éligibles pour des opérations sur champ de sondes (soit un niveau d'aide pour les opérations sur champ de sondes compris entre 3 500 et 8 500 €/ (tep sortie installation/an)) pour l'unité de production géothermale et 40% des dépenses éligibles pour des opérations sur eau de nappe (soit un niveau d'aide compris entre 1 000 et 2 500 €/ (tep sortie installation/an) pour l'unité de production géothermale.

La productivité et la pérennité de l'aquifère n'étant jamais sûre à 100%, les organismes en liaison avec la géothermie ont mis en place un outil financier de garantie. La garantie Aquapac® a été initiée en 1983 sous l'égide de l'ADEME (AFME à l'époque), d'EDF et du BRGM. Elle est destinée à favoriser le développement des opérations de pompes à chaleur sur nappe aquifère. Pour cela, elle offre une double garantie portant sur les ressources en eau de ces nappes aquifères :

- La garantie « recherche » couvre le risque d'échec consécutif à la découverte d'une ressource en eau souterraine insuffisante pour fournir le débit d'eau nécessaire. Le taux

de cotisation pour cette garantie est désormais de 5% du montant des ouvrages garantis en recherche.

- La garantie « pérennité » couvre le risque de diminution ou de détérioration de la ressource, en cours d'exploitation. La durée de cette garantie est de 10 ans, et le taux de cotisation pour cette garantie est de 4% du montant des ouvrages garantis.

Le taux de TVA 2019 est réduit à 5.5 % pour une pompe à chaleur géothermique.

La fourniture et l'installation d'une pompe à chaleur bénéficient d'un taux de TVA réduit à 5.5 %, (depuis le 1er janvier 2014) si l'entreprise qui vend le matériel en assure aussi la pose. Les travaux doivent être réalisés dans des habitations achevées depuis plus de deux ans.

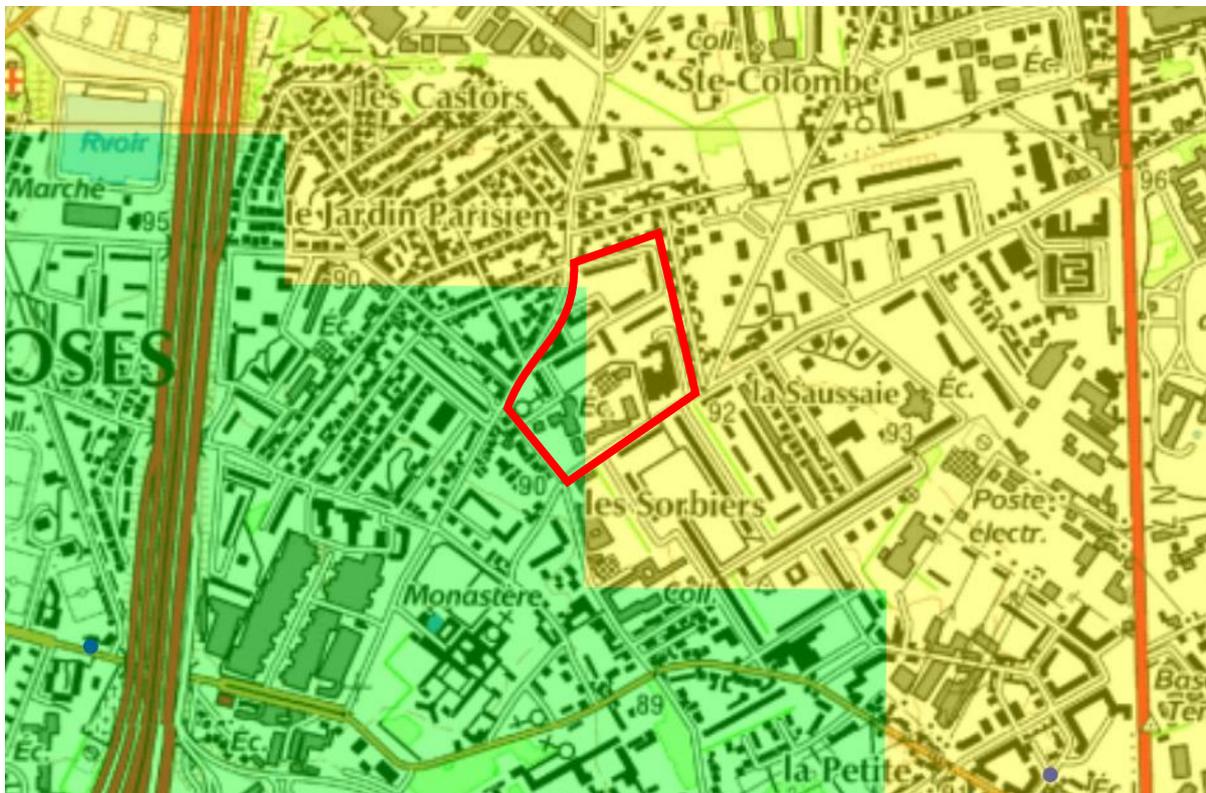
2.3.4 Potentiel géothermique du secteur de L'Haÿ-les-Roses

Au regard des différentes technologies géothermiques présentes actuellement sur le marché, plusieurs possibilités s'offrent au secteur de L'Haÿ-les-Roses.

Les dispositifs installés pourraient fonctionner à l'échelle du bâtiment. Les bâtiments collectifs pourraient, s'ils sont implantés sur un sol présentant une composition à base d'argile et donc s'ils nécessitent des fondations sur pieux, être équipés de sondes géothermiques sur sol ou aquifères pour chauffer et refroidir le bâtiment (mise en place d'une PAC réversible pour les bâtiments présentant des besoins de froid). En couplant fondations et sondes, les coûts de forage sont optimisés.

Géothermie sur nappe aquifère superficielle

Le site est situé en faiblement favorable vis-à-vis du développement de la géothermie depuis la nappe du meilleur aquifère.





Potentiel géothermique – Source : Géothermie Perspectives

La nature du sous-sol rend envisageable une exploitation géothermique pour l'approvisionnement énergétique du secteur de la ZAC Lallier. L'exploitation des calories du sous-sol serait assurée par la technologie de la pompe à chaleur. La géothermie sur sondes verticales est moins consommatrice de surface de sol comparée à la géothermie horizontale, mais occupe quand même une surface plus ou moins grande en fonction de la taille du projet.

L'exploitation du potentiel géothermique peut rendre disponible la ressource pour le projet.

2.3.5 Les réseaux de chaleur alimentés par géothermie

Présentation de la technologie

Le Grenelle de l'Environnement a redonné sa place aux réseaux de chaleur en rappelant leur rôle indispensable pour le développement des Energies Renouvelables et de Récupération. Conforté avec la RT 2012, le réseau de chaleur est présenté comme la solution la plus adaptée pour développer une technologie mobilisant massivement les énergies renouvelables.

Conformément aux objectifs du Grenelle de l'Environnement, les réseaux de chaleur devront contribuer à hauteur de 25% au développement de la chaleur renouvelable. La loi sur la Transition Energétique et la croissance verte fixe comme objectif de multiplier par 5 la quantité d'énergie renouvelable et de récupération distribuée par les réseaux de chaleur d'ici à 2030. Cela nécessitera d'augmenter le taux d'EnR mais également de raccorder l'équivalent de 7 millions d'équivalents logements supplémentaires.

Le réseau de chaleur de la SEMHACH

Le site est aujourd'hui alimenté par le réseau de chaleur de la SEMHACH. Ce réseau de géothermie, le plus grand d'Europe, est alimenté par deux centrales de géothermie. Ces centrales alimentent un réseau d'eau basse température (< 100°C), totalement optimisé pour la valorisation de la chaleur géothermique. Il contient environ 2000 m³ d'eau adoucie et traitée pour limiter la corrosion interne et la formation de boues.

L'ensemble du réseau représente 80 km de tube, de 50 à 300 mm de diamètre, supportant une pression nominale de 25 bars, déployés dans 23 km de tranchées. Selon les secteurs, il est constitué de :

- tubes en fonte (réseau historique) : La fonte est peu sensible à la corrosion, mais elle est cassante, et ne peut être soudée. Les sections de tube sont emboîtées les unes dans les autres. Ce type de tube ne se fabrique plus.
- tubes en fibre de verre : Insensible à la corrosion, économique, leur mise en œuvre est rapide (légèreté, assemblage par collage). Dotés d'une paroi interne très lisse, leurs pertes de charge sont moindres. La durabilité de la fibre de verre est assez hétérogène selon les types et les conditions d'utilisation.
- tubes en acier : L'acier est plus sensible à la corrosion, mais l'eau du réseau est traitée en conséquence. L'acier est souple et robuste. Les sections de tube sont assemblées par soudure à l'arc.



Plan du réseau de chaleur de Chevilly-Larue et L'Haÿ-les-Roses sur le site – Source – SEMHACH

Le PLU de la commune prévoit le raccord de toute nouvelle construction au réseau de chaleur. La mise en œuvre de ce raccordement implique d'adapter le tracé du réseau actuel aux trames urbaines futures (travaux de VRD), de s'assurer de la capacité des centrales à couvrir les nouveaux besoins, et de prévoir des locaux dédiés à une sous-station dans chaque lot (en général une trentaine de m² de surface à réserver). Il faut également permettre l'accessibilité des locaux techniques dédiés dans chaque lot pour les opérations de maintenance.

Subvention 2019

Le fond de chaleur (engagement majeur du Grenelle de l'environnement) géré par l'Ademe permet de financer la mise en œuvre de systèmes pour la production de chaleur à partir des énergies renouvelables (destinée à habitat collectif, collectivité et entreprises).

Cette aide est plafonnée selon la production de chaleur, pour les réseaux et sous stations, elle ne peut dépasser les 60%. Pour une installation comprise entre 0 et 250tep, l'aide est plafonnée à 1750€/tep, entre 250 et 500tep, à 1250 €/tep, entre 500 et 1000tep et pour une installation supérieure à 1 000 tep à 300€/tep.

Aménagement du secteur Lallier à L'Hay-les-Roses (94)

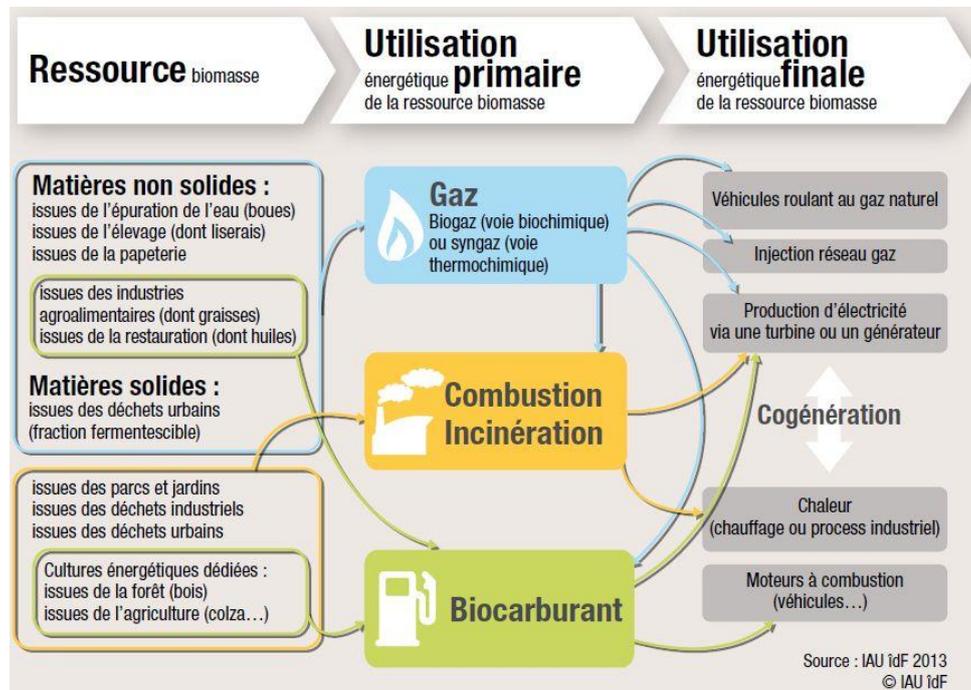
Seules les opérations de valorisation thermique de ressources géothermales profondes suivantes sont éligibles :

- La réalisation d'un doublet (ou autre configuration spécifique (triplet...)) et la création d'un réseau de chaleur associé ;
- La réalisation d'un doublet (ou autre configuration spécifique (triplet...)) et l'adaptation d'un réseau de chaleur existant.

2.4 La biomasse

2.4.1 Le gisement biomasse

La biomasse mobilisable pour être exploitée sous forme de biogaz, de vapeur, chaleur ou de biocarburant provient de multiples sources. Les principales sont décrites dans le schéma présenté ci-après.



Source : ADEME

Le choix de valoriser la ressource biomasse doit se faire en tenant compte de la distance à parcourir pour aller la chercher. Les valeurs données pour déterminer la ressource seront donc représentatives de la ressource présente dans un rayon de 150 km autour du site et proviendront des informations disponibles à l'échelle régionale. Au-delà de cette distance, les coûts et les émissions engendrées par le transport font de cette solution, une option non rentable et non viable économiquement et écologiquement.

2.4.2 Bois-énergie

Le bois-énergie est une ressource naturelle et renouvelable, qui permet de valoriser des sous-produits ou déchets locaux.

Le gisement bois-énergie est composé de divers produits issus de l'exploitation forestière ainsi que des matières organiques issues de l'industrie :

- la ressource forestière (boisement, taillis, rémanents d'exploitation...) et les résidus d'élagage ;
- les sous-produits de l'industrie du bois (sciures, copeaux, écorces...) ;
- les bois de rebut non souillés (palettes, cagettes...).

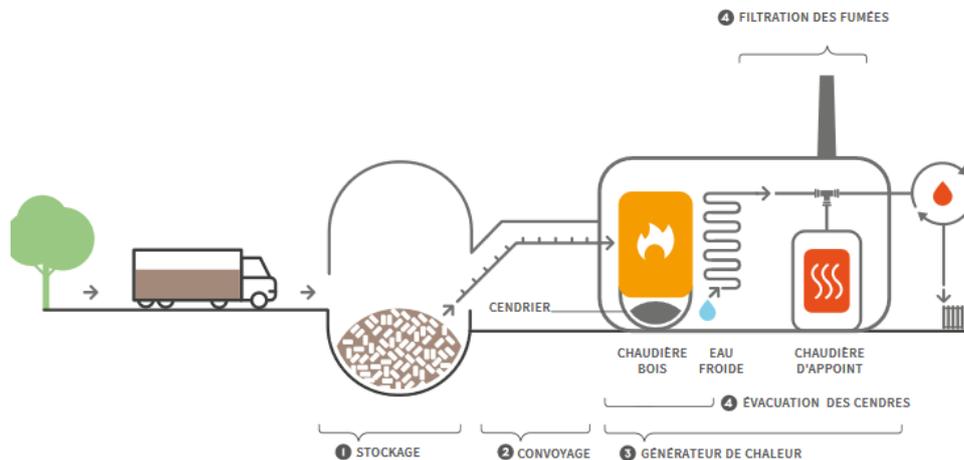
La disponibilité de la ressource est très dépendante de la distance entre le lieu de production et d'exploitation, ainsi que des infrastructures disponibles permettant son transport.

Le bois énergie peut être utilisé :

- A l'échelle du quartier, grâce une chaufferie collective et un réseau de chaleur : la combustion du bois est faite dans une chaufferie collective. L'énergie est ensuite transportée vers les différents bâtiments via un réseau de chaleur urbain.

- A l'échelle du bâtiment (immeuble collectif ou maisons individuelles).

Le bois énergie est considéré comme une énergie renouvelable, à condition que le stock prélevé chaque année soit reconstitué. Le bois énergie est donc une énergie renouvelable mais limitée. Elle doit donc être utilisée de manière efficace avec des systèmes performants. A ce titre, il peut être plus pertinent de développer le bois énergie grâce à un système collectif comme les réseaux de chaleur, car la mise en place de systèmes collectifs peut permettre d'utiliser des systèmes plus efficaces et de mieux gérer les contraintes (pollution atmosphérique liée à la combustion du bois, livraison de bois).



1 LE SILO DE STOCKAGE

Le combustible bois livré en chaufferie est déchargé dans le silo de stockage. Il permet d'alimenter la chaudière en combustible. On distingue différents types de silos : enterré, de plain-pied, en conteneur, pour camion souffleur.

2 LE CONVOYAGE

L'alimentation automatique d'une chaufferie bois permet d'acheminer le combustible depuis le silo jusqu'au foyer. Elle comprend trois étapes :
 - le dessilage du combustible
 - le convoiyage
 - l'introduction dans le foyer

3 GÉNÉRATEUR DE CHALEUR

C'est l'enceinte dans laquelle l'énergie contenue dans le bois est libérée et transmise au fluide caloporteur. Il est généralement composé de deux éléments principaux :
 - le foyer
 - l'échangeur de chaleur

4 FILTRATION DES FUMÉES ET ÉVACUATION DES CENDRES

Une installation de combustion biomasse génère deux types de résidus : les cendres sous foyer et les cendres volantes. Les premières tombent dans un cendrier situé sous la chaudière et sont extraites par voie sèche ou voie humide. Leur valorisation agronomique permet de restituer ces éléments au sol afin qu'ils soient réutilisés par les arbres ou les cultures. Les cendres volantes, également appelées particules de filtration des fumées émanent des systèmes de dépoussiérage.

Mise en place d'une chaufferie biomasse – Source : Ademe

Cout global de la technologie

Le coût d'investissement d'une chaufferie biomasse dépend essentiellement de la taille de la chaufferie, du réseau et des sous stations. Le mètre linéaire de réseau coûte entre 600 et 800€ HT et chaque sous station à un coût d'investissement de 20 000€ HT. En moyenne, le coût de la chaufferie bois individuelle serait compris entre 600 et 800€ HT/kW biocombustibles,

Au coût d'investissement s'ajoute celui des combustibles : plaquettes industrielles entre 25 et 30€/MWh, granulés entre 25 et 36€/MWh et bois de rebut entre 7 et 13€/MWh. Bien que ces prix semblent beaucoup moins importants que ceux pour une chaufferie gaz (55€ HT/MWh), les coûts d'exploitation des chaufferies biomasses sont plus conséquents (personnel d'exploitation plus nombreux, maintenance plus régulière...). Néanmoins, ces coûts sont moins soumis à la volatilité des prix des combustibles.

Subventions 2019

Le fond de chaleur (engagement majeur du Grenelle de l'environnement) géré par l'Ademe permet de financer la mise en œuvre de systèmes pour la production de chaleur à partir des énergies renouvelables (destiné à habitat collectif, collectivité et entreprises). Cependant pour être éligible à cette aide, l'installation doit respecter certains critères qui sont :

- Être une installation collective, industrielle ou agricole
- Avoir une production énergétique minimum (100 tep/an biomasse sortie chaudière)
- Avoir un système de traitement des fumées performant
- Assurer une performance énergétique et environnementale du projet
- Être approvisionné partiellement ou totalement en plaquettes forestière
- Être raccordé à un réseau d'une densité énergétique minimale de 1.5 MWh/ml/an

Cette aide est plafonnée selon la production de chaleur, pour les réseaux et sous stations, elle ne peut dépasser les 60%. Pour une installation comprise entre 0 et 250 tep, l'aide est plafonnée à 1750 €/tep, entre 250 et 500 tep, à 1250 €/tep, entre 500 et 1000 tep et pour une installation supérieure à 1 000 tep à 300€/tep.

Les appareils de production de chaleur ou d'eau chaude sanitaire bois ou autre biomasse sont également éligibles au crédit d'impôt pour la transition énergétique et à la TVA à taux réduit mis en place depuis le 1er janvier 2014.

2.4.3 Le bois énergie – cogénération

Présentation de la technologie

Ce système permet à la fois de produire de la chaleur et de l'électricité. C'est une alternative intéressante à l'énergie solaire et éolienne. La chaleur issue de la combustion est utilisée pour le chauffage mais aussi, dans le cas de la cogénération, pour alimenter une turbine à vapeur qui va produire de l'électricité. Il existe des turbines à vapeur d'une puissance de quelques dizaines de kW à plusieurs centaines de MW, avec des vitesses de rotation allant de 5 000 à 15 000 tr/min et des rendements électriques de 12 à 20% pour les modèles à condensation. La quantité de combustible nécessaire pour les installations de puissance importante, pousse à diversifier les sources d'approvisionnement.

L'utilisation de petite turbine possédant une puissance minimale s'apparente à la technologie de la micro-cogénération biomasse. Si actuellement, cette technologie est encore peu mature et présente des coûts d'investissement importants, elle représente une réelle opportunité pour le développement des énergies renouvelables.

Il existe 3 familles de cogénérations, permettant de délivrer des puissances électriques plus ou moins importantes et de s'adapter à une grande variété de projets. On parle de micro

cogénération lorsque la puissance nominale est inférieure à 36 kWe et de mini cogénération lorsque celle-ci est comprise entre 36 et 250 kWe.



Source : GRDF

Il est à noter que les systèmes de mini et micro cogénérations peuvent être installés à l'échelle de bâtiments. En revanche, les systèmes de cogénération à moteur Stirling (éco générateur) sont plutôt utilisés à l'échelle individuelle (adaptée pour des maisons individuelles).

Coût global de la technologie

Les coûts d'investissement sont de l'ordre de 1,8 millions d'euros par MW électrique installé. Le temps de retour sur investissement couramment observé est de 8 à 10 ans.

Les coûts annuels d'exploitation sont généralement de l'ordre de 1 à 3% des coûts d'investissement pour les installations à contrepression et de l'ordre de 4 à 5% pour les ensembles à condensation.

Subventions 2019

Les aides à l'investissement pour ce type d'installation sont allouées après une étude au cas par cas. Les aides de l'Ademe sont plafonnées à 30% sur le coût des travaux. En ce qui concerne la micro-cogénération, les aides sont du même ordre, 20% maximum du coût des travaux pour les aides de la région et 40% maximum du coût éligible pour le financement de l'Ademe (aides accordées ou non selon le degré d'innovations de l'opération, leur dimension de communication...).

Un tarif de rachat préférentiel pour l'électricité produite par un système de cogénération a été mis en place. Il est de l'ordre de 18c€/kWh dont 3c€ dépendent de la valorisation énergétique de l'installation. Le taux de valorisation de la chaleur produite est souvent déterminant pour la rentabilité d'un projet. Entre 30 et 35% de l'énergie primaire est valorisée en électricité, le reste est de l'énergie thermique.

2.4.4 Potentiel bois énergie

Le gisement bois-énergie ne se compose pas seulement de la ressource forestière (boisement, taillis, rémanents d'exploitation...) mais également des sous-produits de l'industrie du bois (sciures, copeaux, écorces...), des bois de rebut non souillés (palettes, cagettes...) et des résidus d'élagage. Pour utiliser ces divers matériaux, une transformation est souvent nécessaire avant utilisation dans une chaudière.

Le choix de valoriser la ressource biomasse doit se faire en tenant compte de la distance à parcourir pour aller la chercher. Les valeurs données pour déterminer la ressource seront donc représentatives de la ressource présente dans un rayon de 150 km autour du site et proviendront des informations disponibles à l'échelle régionale. Au-delà de cette distance, les coûts et les émissions engendrées par le transport font de cette solution, une option non rentable et non viable économiquement et écologiquement. La problématique de la monopolisation de la ressource implique également la définition de ce périmètre restreint, afin de permettre aux installations prévues dans les communes contiguës à ces ressources de disposer d'une ressource de proximité.

Le bois énergie peut être utilisé :

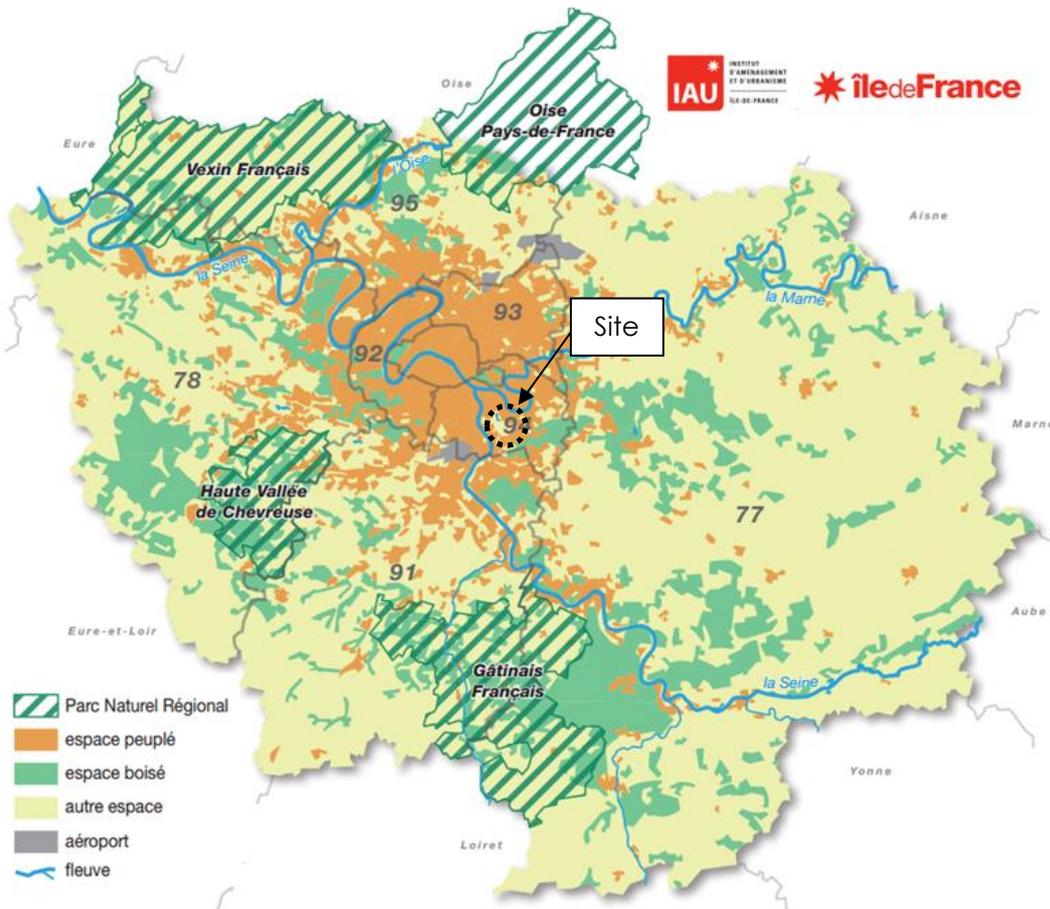
- A l'**échelle du quartier**, grâce une chaufferie collective et un réseau de chaleur : la combustion du bois est faite dans une chaufferie collective. L'énergie est ensuite transportée vers les différents bâtiments via un réseau de chaleur urbain.
- A l'**échelle du bâtiment** (immeuble collectif ou maisons individuelles)

Le bois énergie est considéré comme une énergie renouvelable, à condition que le stock prélevé chaque année soit reconstitué. Le bois énergie est donc **une énergie renouvelable mais limitée**. Elle doit donc être utilisée de manière efficace avec des systèmes performants. A ce titre, il peut être plus pertinent de développer le bois énergie grâce à un système collectif comme les réseaux de chaleur, car la mise en place de systèmes collectifs peut permettre d'utiliser des systèmes plus efficaces et de mieux gérer les contraintes (pollution atmosphérique liée à la combustion du bois, livraison de bois).

Ressource forestière

Les données générales sont issues des inventaires forestiers effectués à l'échelle des anciennes délimitations de régions, dans l'attente de nouvelles données propres à la fusion des régions.

Selon l'Inventaire Forestier National (IFN), les forêts dans le Val-de-Marne occupent une petite place du territoire. Avec 12% de sa surface recouverte par la forêt, celles de Notre-Dame et de la Grange sont les plus importantes forêts domaniales du département.



Occupation du sol – Source : IFN

D'après l'étude sur la disponibilité forestière pour l'énergie et les matériaux (ADEME, 2015), la disponibilité de la ressource en France est assurée et les capacités de la forêt française permettent une augmentation importante de la récolte à l'horizon 2035. En tablant sur un statu-quo au niveau de la gestion des forêts, la disponibilité de la ressource pour du bois-énergie pourrait atteindre plus de 2 300 m³ par an et être sensiblement augmentée en cas mise en place de mesures de gestion dynamique de la ressource.

Les besoins en matière première pour le bois énergie progressent depuis quelques années. Le nombre de chaufferie bois en fonctionnement ou en cours de construction est significatif.

Le bois déchet

Actuellement, les déchets sont une source d'énergie bois utilisée en France. Ils comprennent : le bois d'élagage et d'abattage, les composts et les bois en fin de vie. Les espaces verts du territoire régional, communal et les voiries représentent donc un potentiel énergétique non négligeable. En effet, leur entretien dégage des volumes de déchets verts dont la fraction ligneuse peut être extraite et intégrée à la filière énergétique.

L'évaluation de ce potentiel doit faire l'objet d'une étude in-situ qui permettra de déterminer les surfaces et les linéaires à potentiel de productions.

La filière bois-énergie

La filière bois d'Ile-de-France est peu développée, notamment à cause du foncier qui ne permet pas l'installation de structures et d'infrastructures nécessaire à sa structuration (en particulier pour les entreprises de première transformation nécessaires à la filière) et de la sous exploitation du bois présente en Ile-de-France. Mais depuis 2008, un comité régional de l'interprofession pour l'Ile-de-France, FrancilBois a été créé afin de promouvoir et de développer la filière bois régionale. Actuellement, le bois énergie issu des forêts est

Aménagement du secteur Lallier à L'Hay-les-Roses (94)

principalement le bois buche (21% de la récolte) directement utilisé par les petits consommateurs, les autres combustibles comme les plaquettes ou les granulés étant encore très peu développés.

A Bagnolet, la chaufferie des Roses qui alimente le réseau de chaleur urbain de la commune a été rénovée en janvier 2015 de manière à produire de la chaleur par combustion de bois (2 chaudières bois de 10MW chacune). La biomasse permettra ainsi d'obtenir un réseau de chaleur alimenté à plus de 57% par une énergie renouvelable.

Le contexte est néanmoins différent pour L'Hay-les-Roses qui ne fera pas l'objet d'une création de réseau de chaleur avec centre de production. L'option de chaufferies bois individuelles peut être considérée, mais elle ne sera pas la solution optimale pour le projet au regard de l'éloignement de la ressource et des besoins importants liées aux bâtiments de logements collectifs, activités et équipements.

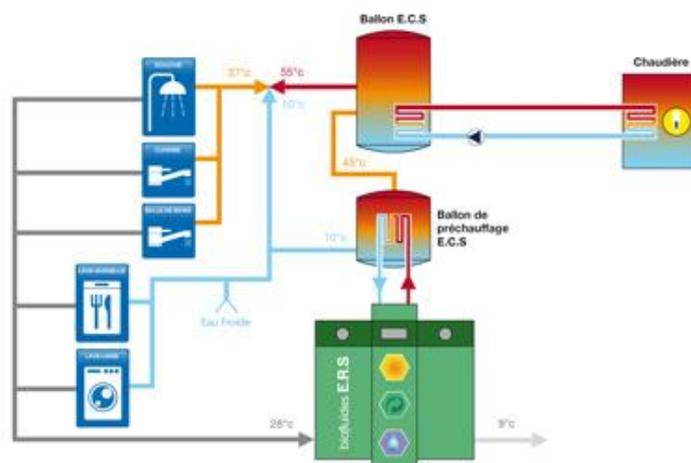
2.5 La récupération de chaleur fatale

2.5.1 Récupération de chaleur sur les eaux grises

La récupération de chaleur sur les eaux domestiques consiste au remplissage de ballons d'eau chaude à l'aide d'eau préchauffée. L'eau est préchauffée au contact des eaux grises et usées, via un échangeur de chaleur.

Ce dispositif passif permet de réduire de 20 à 30 % les consommations liées à l'ECS.

Des études complémentaires sont nécessaires pour quantifier le potentiel de récupération de l'énergie des eaux grises. Le potentiel thermique des eaux usées est, dans tous les cas, bien adapté aux besoins des bâtiments collectifs. Les projets d'investissement peuvent être accompagnés par les directions régionales de l'ADEME en termes de conseils, d'expertise ou de soutiens financiers.



Fonctionnement de la technologie à eaux grises

Ces technologies permettent de réduire les consommations d'ECS à l'aide du préchauffage de l'eau du réseau. Elles sont particulièrement adaptées aux bâtiments n'étant pas raccordés à un réseau de chaleur, ce qui n'est pas le cas du secteur Lallier. Elles peuvent potentiellement diminuer la densité énergétique dans le cas d'un réseau de chaleur.

Ces systèmes d'installation représentent toutefois des contraintes puisqu'ils nécessitent de séparer les eaux vannes et les eaux grises. Ils doivent ainsi être pensés dès la conception des bâtiments.

Coût global de la technologie

Le coût d'investissement global pour l'installation de ce type de technologie est compris entre 1 800€ et 2 000€ pour un système de type Recoh HT. Ce prix englobe les coûts de système, de matériel associé et de la main d'œuvre. L'entretien et la maintenance ne nécessite que de faibles coûts.

Subventions 2019

L'Ademe peut soutenir l'installation d'équipements de captage de la chaleur des eaux usées à travers le Fond Chaleur. Un exemple est celui de la pompe à chaleur sur eaux usées de la résidence Les Nouveaux Chartreux à Marseille (13), ou bien d'une résidence à Courcouronnes (91) dont le coût s'est élevé à 89 k€ et pour laquelle l'ADEME a contribué à hauteur de 39 k€.

Sur le secteur Lallier, des études complémentaires seraient nécessaires afin de quantifier le potentiel de récupération de l'énergie des eaux grises. Le potentiel thermique des eaux usées est, en tous les cas, bien adapté aux besoins des bâtiments collectifs.

2.5.2 Récupération de chaleur fatale industrielle (ou data center)

La chaleur fatale est la chaleur produite lors d'un processus, mais ne correspondant pas à l'objet premier de ce dernier, et qui est, de fait, perdue sans être utilisée. Elle peut provenir de sources diverses : industries, usines d'incinération, stations d'épuration, data-centers...

Le contexte urbain du site ne permet pas d'identifier de gisement de chaleur fatale potentielle liée à une activité industrielle à proximité du secteur à l'étude.

Les datacenters sont des sites physiques qui hébergent des systèmes nécessaires au fonctionnement d'applications informatiques. Ils permettent de stocker et de traiter des données. Ils sont constitués de composants informatiques, comme des serveurs, des unités de stockage informatique ou encore des équipements de réseau de télécommunication et d'éléments non informatiques, comme des systèmes de refroidissement aussi appelés groupes froid.

Ces équipements rejettent des calories prélevées dans les salles de serveurs afin d'y maintenir une température idéale de fonctionnement et d'éviter les surchauffes.



Implantation des data-center autour du site – Source : datacentermap

Le gisement maximal total de chaleur fatale en Île-de-France s'élève à 490 GWh d'après l'ADEME. Il précise toutefois que cette estimation n'est pas exhaustive à l'échelle de l'Île-de-France du fait de la confidentialité des données et du manque de retour de la part des Data Centers.

Quelques datacenters sont identifiés à proximité du secteur Lallier et notamment un centre localisé dans la commune voisine, Vitry-sur-Seine. Toutefois ces installations ne sont pas situées à proximité immédiate du site, le potentiel est donc faible.

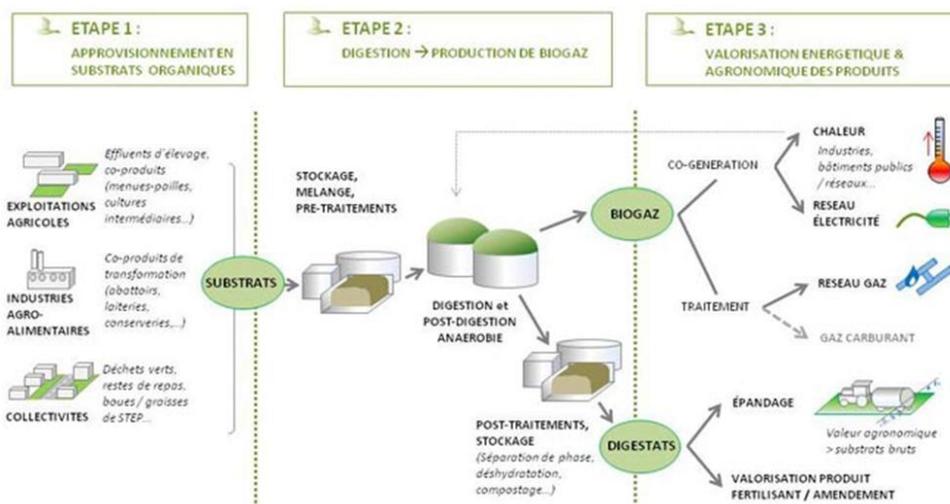
2.6 Les autres technologies existantes

2.6.1 Le biogaz et les biocarburants

Le biogaz, issu de la méthanisation ou de la fermentation des déchets organiques, peut être utilisé pour produire de la chaleur et/ou de l'électricité.

Les substrats organiques permettant la méthanisation peuvent se décomposer en trois grandes familles :

- Les effluents d'élevage : fumier, paille ; cultures...
- Les industries-agroalimentaires : co-produits de transformation provenant des abattoirs, des laiteries, des conserveries...
- Les collectivités : déchets verts, déchets ménagers, boues d'épuration...



Principe de la méthanisation

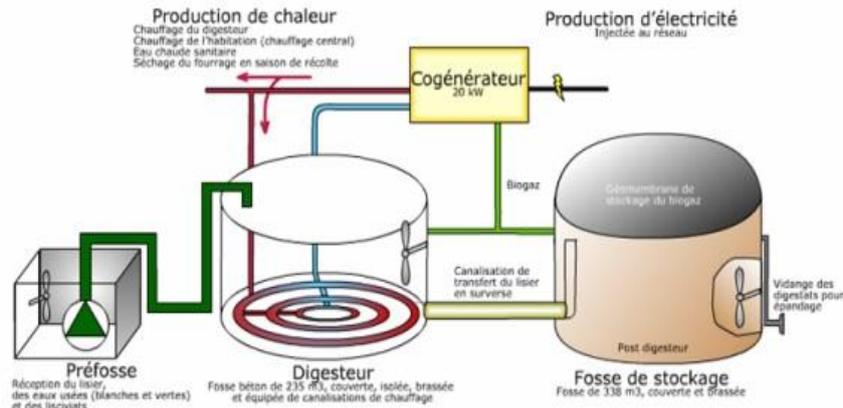
La valorisation énergétique du biogaz peut se faire de différentes manières :

- La production de chaleur : solution viable uniquement si une forte demande de chaleur à proximité du site est capable d'absorber la chaleur produite toute l'année (ceci, afin de limiter les coûts d'investissement et d'exploitation : réseau de chaleur, déperdition...)
- La production d'électricité
- La production de chaleur et d'électricité par cogénération (comme pour la biomasse)
- Une nouvelle valorisation, autorisée depuis 2003 par une directive européenne, est en train de se développer. Il s'agit de la production de biogaz issue d'installation de méthanisation, pour injection dans le réseau public de transport ou de distribution de gaz naturel.

La valorisation du digestat produit est essentiellement utilisée dans le domaine de l'agriculture : matière extraite en sortie du digesteur après fermentation et extraction du biogaz, le digestat possède des propriétés intéressantes (plus fluide, plus assimilable par les cultures, moins odorant...) lui permettant d'être utilisé directement comme fertilisant pour les terres agricoles.

Une suite de réactions biologiques conduit à la formation de biogaz (contient 2/3 de méthane et 1/3 de gaz carbonique) et d'un digestat (répandu sur les cultures comme engrais). Pour augmenter les rendements, la matière est placée à l'intérieur d'une grosse cuve (le digesteur) fermée, chauffée, brassée sans entrée d'air et à l'abri de la lumière. Elle peut être sèche ou humide.

Méthanisation sur les boues et les effluents



Principe de fonctionnement de la méthanisation

Une installation de méthanisation est composée principalement d'un équipement de séparation des impuretés, d'un mélangeur/malaxeur pour que la matière organique soit introduite de façon homogène dans le digesteur, du digesteur, d'un système de brassage, d'un système d'extraction et de pressage du digestat et d'un système de traitement, de stockage et de valorisation du digestat.

Le digesteur est un réacteur hermétique, imperméable à la lumière et maintenu à température constante (35°C pour les bactéries mésophiles ou 55°C pour les bactéries thermophiles) à laquelle la digestion anaérobie se produit. La digestion mésophile dure environ 30 à 40 jours, tandis que la digestion thermophile est plus rapide, durant une quinzaine de jours. Si la digestion thermophile est plus rapide et présente un meilleur rendement de méthanisation par tonne de matière digérée, les installations nécessaires sont plus coûteuses et plus délicates. Les coûts d'investissement rapportés à la puissance électrique sont toutefois très proches.

Echelle d'exploitation

Le biogaz produit peut être valorisé à l'échelle du secteur dès lors qu'il est transformé en biométhane (biogaz épuré) et injecté dans le réseau de gaz naturel. L'intérêt de l'injection est de pouvoir utiliser une énergie renouvelable en utilisant un réseau de distribution déjà présent sur le territoire.

Depuis novembre 2011, il est désormais possible d'injecter du biométhane dans le réseau de distribution GRDF. Pour valoriser cette énergie « verte » injectée dans le réseau, un système de garanties d'origine a été mis en place afin que chaque consommateur, individuel ou collectif, puisse acheter du gaz garanti 100% biométhane, donc 100% Energie Renouvelable.

Le biogaz produit peut être valorisé à l'échelle du projet et même à une échelle plus large (commune) dès lors qu'il est transformé en biométhane (biogaz épuré) et injecté dans le réseau de gaz naturel. L'intérêt de l'injection est de pouvoir utiliser une énergie renouvelable en utilisant un réseau de distribution déjà présent sur le territoire.

Coût global de la technologie

Les coûts à l'investissement sont de l'ordre de 850 à 1 000€/kW pour une installation de 30 kWe. La rentabilité du projet dépend de la valorisation du biogaz (vente d'électricité, valorisation de la chaleur ou injection d'un biogaz épuré dans un réseau de distribution) et de la rémunération liée au traitement de déchets extérieurs. La pérennité et le montant de cette rémunération peuvent varier sous l'effet de la concurrence locale.

Les données économiques pour les unités de méthanisation fonctionnant avec les boues d'épuration sont peu nombreuses et disparates selon la capacité des unités (exprimée en équivalents-habitants et en €/Tonne de matière sèche) :

- Pour une capacité < à 10 000EH : 2 000 à 3000€/Tonne de MS
- Pour les capacités supérieures à 10 000EH : 500 à 3000€/Tonne de MS (ADEME).

Subventions 2019

La création d'une unité de méthanisation pourrait bénéficier du Fond Chaleur de l'ADEME ou bien encore du Fond Déchet (taux de soutien des investissements de l'ordre de 30%). Les études de faisabilité sont également cofinancées par l'ADEME à hauteur de 50 à 70% du coût global.

Dans le cas d'une production d'électricité, l'installation bénéficie d'une obligation d'achat ainsi que d'un tarif de rachat. Depuis juillet 2011, le tarif de rachat a connu une hausse de près de 50%, de 7,5 à 9c€/kWh il est passé de 11,19 à 13,37c€/kWh (selon la puissance électrique installée + prime pour la méthanisation des effluents comprise entre 0 et 2,6c€/KWh, variable selon le taux d'effluents et la puissance électrique installée + prime sur l'efficacité énergétique totale (0 à 4c/KWh selon les performances de la valorisation)).

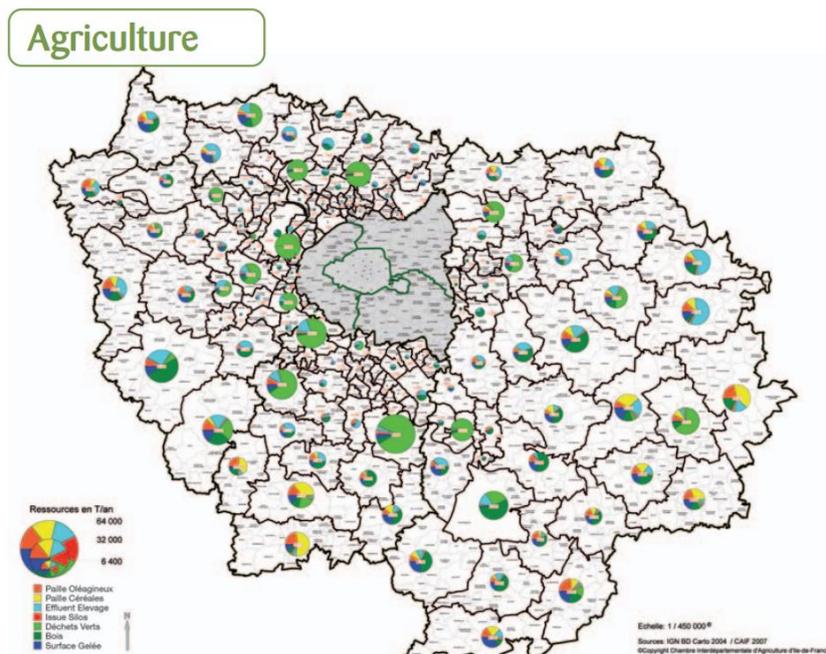
En ce qui concerne le biogaz et depuis mai 2011, le tarif de rachat est compris entre 8,121 et 9,745c€/ kWh défini selon la puissance auquel s'ajoute une prime à l'efficacité énergétique comprise entre 0 à 4c/kWh.

Potentiel local

Le potentiel énergétique des effluents en Ile-de-France prend en considération tous les élevages (bovin, équins, caprins, ovins et volailles) présents sur le territoire régional.

La mise en œuvre d'une unité de production de biogaz est très dépendante du lieu de production de la matière première. Ce type d'installation nécessite des emprises foncières conséquentes.

La commune de L'Hay-les-Roses est cependant éloignée de ces ressources agricoles, les exploitations les plus proches se trouvant à environ 40 km du site, ce qui pose des difficultés d'acheminement du biogaz. Cette solution paraît donc peu adaptée au contexte du projet.



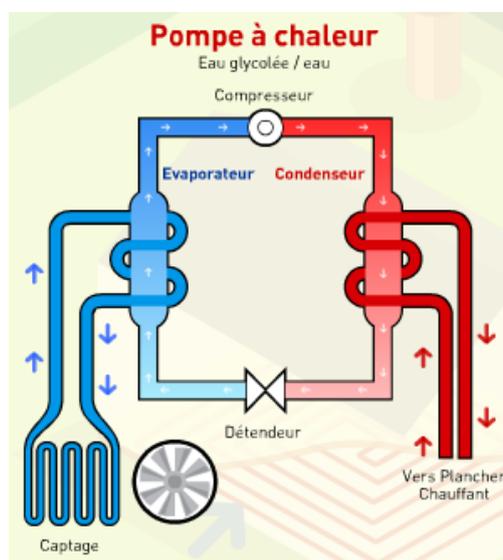
Les agro-ressources en Ile-de-France (carte ressource effluents) – Source : Chambre interdépartementale d'Agriculture d'Ile-de-France, 2007

2.6.2 Aérothermie

Principe de fonctionnement

Le principe de l'aérothermie est de capter les calories dans l'air extérieur. De la même manière que pour la géothermie très basse énergie, le puisage des calories de l'air nécessite l'utilisation d'un système de pompes à chaleur, qui peut être électrique ou à absorption gaz. La fluctuation des températures de l'air extérieur influence la performance des systèmes de pompes à chaleur. En effet par temps froid, les besoins de chauffage sont au maximum alors que la quantité d'énergie pouvant être extraite dans l'air est a contrario minimale, d'où une baisse de la performance.

Dans le cas de pompes à chaleur gaz à absorption, l'impact des températures extérieures est cependant moins important que pour des pompes à chaleur classiques, puisqu'une partie de la chaleur est fournie par la réaction d'absorption. Les PAC gaz à absorption permettent aussi de produire de l'eau chaude sanitaire à 60 / 65 °C, avec des performances supérieures à celles des pompes à chaleur électriques.



Source : GRDF

Echelle d'exploitation

Les PAC aérothermiques sont utilisables à l'échelle du bâtiment. Plusieurs systèmes de pompes à chaleur aérothermiques existent aujourd'hui. Dans le cas des PAC gaz à absorption, des modules de 40 kW sont disponibles. Cette technologie est donc plus adaptée pour des bâtiments collectifs.

Potentiel aérothermique local

Etant donné le climat à influence océanique que l'on retrouve sur le territoire local, bénéficiant de fortes variations de températures de l'air, l'utilisation de pompes à chaleur gaz à absorption peut être plus pertinente. En effet, la performance énergétique de ce système sera moins impactée que dans le cas de pompes à chaleur électriques.

Le potentiel est donc faible sur la commune de L'Haÿ-les-Roses et donc sur le secteur Lallier.

Aménagement du secteur Lallier à L'Hay-les-Roses (94)

Le tableau ci-après présente une synthèse des énergies renouvelables et de récupération mobilisables sur le site et une appréciation de leur performance ainsi que de leur possibilité de mise en œuvre pour le projet.

Energie	Utilisation	Coût d'investissement	Coût de l'énergie - variations possibles	Retour sur investissement	Durée de vie	Performance écologique	Autres	Disponibilité sur site	Orientation pour le projet
Solaire	Solaire passif	quasi nul	nul - stable	+++	50 ans	+++	- fiable et robuste	+++	A intégrer au projet
	Solaire thermique	modéré 800 à 1500 €/m ²	très faible - stable	++	20 ans	++	- fiable et robuste	++	Non étudié : les besoins en chauffage et eau chaude sanitaire sont couverts par le réseau de chaleur
	Climatisation solaire	1500 €/m ²	faible - stable	++	30 ans	++	- peu de retours d'expérience fluide caloporteur nécessaire	+++	Non étudié : besoins de froid non suffisant en comparaison aux besoins de chaud
	Solaire photovoltaïque	700 à 1000 €/m ²	faible - stable	++	25 à 30 ans	++	- énergie grise des produits importante	++	Intégré dans les scénarii : envisageable pour les besoins en électricité
Eolien	Grand et petit éolien	1 300 à 1500 €/kW	très faible - stable	+++	20 ans	+++	- très dépendant de l'environnement du site faible énergie grise impact paysager	-	Non étudié : site urbain peu propice à ce genre d'installation
	Eolien urbain	1,6 à 2M€/MW	très faible - stable	+++	20 à 25 ans	++	- peu de retours d'expérience	+	Non étudié : uniquement si valeur pédagogique/communication recherchée
Géothermie	Haute énergie	très important	faible - peu fluctuant	++	Pompe à chaleur : 15 à 20 ans Sondes	++	- production constante toute l'année - consommations électriques des auxiliaires non négligeable - fluide caloporteur nécessaire	-	Non étudié : non disponible sur site

Temps de retour sur investissement :



Energie	Utilisation	Coût d'investissement	Coût de l'énergie - variations possibles	Retour sur investissement	Durée de vie	Performance écologique	Autres	Disponibilité sur site	Orientation pour le projet
	Basse énergie (sur nappe)	important		++	/ pieux > 30 ans	+++	<ul style="list-style-type: none"> - production constante toute l'année - fluide caloporteur nécessaire - autorisations administratives spécifiques nécessaires 	++	Non étudié : le potentiel géothermique du site est déjà exploité par le réseau de chaleur urbain
	Très basse énergie - PAC sur pieux	faible		+++		++	<ul style="list-style-type: none"> - production constante toute l'année - consommations électriques des auxiliaires non négligeable - fluide caloporteur nécessaire 	++	Non étudié : le potentiel géothermique du site est déjà exploité par le réseau de chaleur urbain
	Très basse énergie - PAC sur sondes	faible à modéré selon technologie		+++		++	<ul style="list-style-type: none"> - production constante toute l'année - consommations électriques des auxiliaires non négligeable - fluide caloporteur nécessaire 	++	Non étudié : le potentiel géothermique du site est déjà exploité par le réseau de chaleur urbain
Biomasse	Bois-énergie	Important 1 M€/MW	Très faible - stable	+++	50 ans	++	<ul style="list-style-type: none"> - mise en place d'un système de traitement des fumées performant nécessaire - taille des locaux de stockage combustible importante - développement filières locales, valorisation de sous-produits // transports routiers induits 	++	Non étudié : site urbain peu propice à ce genre d'installation

Energie	Utilisation	Coût d'investissement	Coût de l'énergie - variations possibles	Retour sur investissement	Durée de vie	Performance écologique	Autres	Disponibilité sur site	Orientation pour le projet
	Méthanisation / biogaz	2 M€/MW	Faible - stable	+++	50 ans	+++	<ul style="list-style-type: none"> - injection dans le réseau gaz de ville possible - alternative au gaz naturel - valorisation des déchets organiques ou effluents - développement filières locales // transports routiers induits - autorisations administratives spécifiques nécessaires - emprises importantes nécessaires sur site 	++	Non étudié : emprises du projet non adaptées à ce système
Chaleur fatale	Récupération sur eaux grises	Modéré	Très faible - stable	+++	?	++	<ul style="list-style-type: none"> - retours d'expérience limités - intégration de la technologie en amont du projet pour limiter coûts d'investissement 	+	Non étudié, a priori peu rentable à cette échelle
	Récupération sur eaux usées	Modéré	Très faible - stable	+++	?	++	<ul style="list-style-type: none"> - retours d'expérience limités - intégration de la technologie en amont du projet pour limiter coûts d'investissement 	+	Non étudié : Envisageable si mutualisation de la production (réseau de chaleur), mais a priori peu rentable à l'échelle du site
	Récupération sur process industriel	Dépendant du contexte	Très faible - peu fluctuant	?	?	+	<ul style="list-style-type: none"> - présence d'installations industrielles importantes à proximité nécessaire 	-	Non étudié : aucune source de chaleur exploitable à proximité immédiate
Aérothermie	Pompe à chaleur air/air	Faible	Modéré - fluctuant	+	15 ans	+	<ul style="list-style-type: none"> - consommations électriques importantes - faibles rendements 	+++	Non étudié : peu adapté du fait des besoins ECS importants

Energie	Utilisation	Coût d'investissement	Coût de l'énergie - variations possibles	Retour sur investissement	Durée de vie	Performance écologique	Autres	Disponibilité sur site	Orientation pour le projet
	Puits canadien	Très faible	Très faible - peu fluctuant	++	50 ans	++	- installation mutualisée avec les travaux de terrassements / fondations	+++	Non étudié : peu adapté du fait des volumes chauffés importants
Hydrolienne	Installation dans cours d'eau	Important 3,5 M€/MW	Modéré	++	20 ans	+	- peu de retours d'expériences - impact sur milieu aquatique à étudier - besoins d'entretien importants	-	Non étudié : aucun cours d'eau permettant ce type d'installation sur site ou à ses abords
Réseau de chaleur	Raccordement au réseau urbain (géothermie)	Important	Stable	+++	?	++	- Stabilité des prix de vente de la chaleur livrée - Part importante d'énergie renouvelable - Centralisation de la maintenance - Maîtrise des émissions polluantes sur les productions centralisées - Peu d'investissements du fait de l'existence initiale du réseau	+++	A intégrer au projet : réseau de chaleur de la SEMHACH présent sur le site

3. PREDIMENSIONNEMENT ET SCENARII

Nous étudions les possibilités d'approvisionnement à partir des sources d'énergie disponibles sur site et des objectifs énergétiques fixés (RT 2012 - 20%). En effet, des solutions de production électriques ou au fioul ne seraient pas envisageables car non conformes aux objectifs de consommations énergétiques et d'émissions de gaz à effet de serre.

Les besoins en puissance des différents lots sont estimés au regard de la programmation dont nous disposons actuellement (datant de février 2020). Ils dépendent également des besoins énergétiques estimés au début de notre étude. Rappelons que ces estimations ont été calculées selon des hypothèses fixées pour notre étude en raison de l'absence de données qui sont aujourd'hui sommaires et provisoires.

Secteur	Logements (m ²)	Commerce (m ²)	Equipement (m ²)	Puissance totale (kW)
Quartier Lallier	51 000	3 300	7 600	4 937

A partir des besoins en puissances estimés, 3 scénarii sont étudiés selon la solution de desserte envisagée (décentralisée) :

- **Scénario 1 (de référence)** : Chaudières gaz individuelles pour chaque logement ;
- **Scénario 2** : Réseau de chaleur pour tous les bâtiments, couvrant la totalité des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire ;
- **Scénario 3** : Réseau de chaleur pour tous les bâtiments, couvrant la totalité des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire ; couplé à du solaire photovoltaïque pour produire 15% de l'électricité consommée sur le site Lallier.

Les scénarii 2 et 3 exposent des solutions décentralisées à l'échelle du site Lallier dans sa globalité.

La mutualisation des moyens par secteur (au lieu d'une unité de chauffage par logement ou par bâtiment) et de l'entretien est un atout de la décentralisation des systèmes énergétiques.

L'analyse des diverses solutions est basée sur deux critères : budgétaire et environnemental.

Les besoins énergétiques sont des besoins utiles, c'est-à-dire livrés à l'utilisateur, on ne prend donc pas en compte les pertes sur le réseau ou les pertes de combustion, qui ne sont pas les mêmes pour le gaz et peuvent ainsi entraîner une variation du coût d'exploitation réel.

L'étude permet de comparer, globalement l'impact économique et environnemental lié au choix de la source d'énergie principale utilisée pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et le refroidissement.

Il est rappelé que les chiffres affichés dans le présent rapport ne sont qu'indicatifs et seront à confirmer et affiner dans les étapes suivantes de la conception, en partenariat avec les gestionnaires.

3.1 Hypothèses pour l'analyse

Les estimatifs de besoins énergétiques, coûts à l'investissement et à l'exploitation sont donnés à titre indicatif et seront sujet à des variations en fonction de l'évolution du projet et de l'affinage des données techniques, qui demeurent aujourd'hui sommaires et provisoires.

Hypothèses prises pour l'analyse :

L'analyse en coût global est réalisée sur une durée de 50 ans ;

Les besoins énergétiques sont des besoins utiles, c'est-à-dire livrés à l'utilisateur, on ne prend donc pas en compte les pertes sur le réseau ou les pertes de combustion, qui ne sont pas les mêmes pour le gaz ou pour le réseau de chaleur et peuvent ainsi entraîner une variation du coût d'exploitation réel ;

Les coûts d'investissement sont donnés sans préoccupation de leur répartition entre les différents acteurs du projet d'aménagement (Ville, bailleurs, promoteurs, etc.), qui seront à déterminer par la suite ;

Les coûts estimés ne prennent pas en compte la fourniture et la mise en œuvre des organes de distribution de la chaleur dans les bâtiments ;

- **Scénario 1 (de référence)** : Chaudières gaz individuelles pour chaque logement ;
- **Scénario 2** : Réseau de chaleur pour tous les bâtiments, couvrant la totalité des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire ;
- **Scénario 3** : Réseau de chaleur pour tous les bâtiments, couvrant la totalité des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire ; couplé à du solaire photovoltaïque pour produire 15% de l'électricité consommée sur le site Lallier.

Données environnementales

Les facteurs d'émission de gaz à effet de serre (GES) retenus pour les calculs sont ceux définis dans l'annexe 4 de l'arrêté du 15 septembre 2006 relatif au diagnostic DPE et dans une étude RTE/ADEME.

D'après l'étude sur les modes de chauffage et le prix de vente de la chaleur (données AMORCE/ADEME), les facteurs d'émission pour l'ensemble du poste de chauffage (y compris les consommations liées au fonctionnement des auxiliaires) sont les suivants :

	Facteurs d'émission du poste chauffage par mode de chauffage (en gCO₂/kWh_{Eu}) l'étude sur les modes de chauffage et le prix de vente de la chaleur (données AMORCE/ADEME)
Réseau de chaleur de la SEMHACH	87 (aujourd'hui)
Chaudière gaz à condensation	276
Photovoltaïque	0

Données économiques

L'analyse économique réalisée ici ne doit être considérée que comme indicative : en effet, étant donné l'avancement du projet, celle-ci est réalisée à partir de ratios et en prenant un certain nombre d'hypothèses.

L'analyse économique est réalisée d'un point de vue global. Les scénarios sont comparés selon le coût global moyen à l'échelle du secteur, exprimée en € TTC / MWh. Ce coût global prend en compte l'ensemble des coûts d'investissements et d'exploitation pour chacun des scénarios :

P1 : consommations énergétiques

P1' : consommations des auxiliaires nécessaires à la production énergétique ;

P2 : conduite et petit entretien ;

P3 : gros entretien et renouvellement à l'identique des installations ;

P4 : amortissement des installations

A noter que les coûts sont indiqués dans leur globalité, sans indications de répartition des coûts de portage. Tous ces frais ne relèvent pas uniquement de la maîtrise d'ouvrage.

Les coûts unitaires présentés ci-dessous sont des estimatifs et s'appliquent à l'ensemble des lots pour lesquels nous ne disposons pas de données précises.

Coûts d'investissement (en € HT) (Source : diverses)		
Réseau de chaleur	1200	€/ml
Solaire photovoltaïque	600	€/kW
Chaudière individuelle gaz à condensation	100	€/kW

Coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation sont estimés en prenant en compte le coût de l'énergie (consommations et abonnement), les coûts de maintenance type P2 +P3 et le renouvellement de l'installation (P4). Les hypothèses de prix de l'énergie se basent sur les tarifs en offre de marché.

Rendements des installations :

Les rendements pris en compte sont :

- 95 % pour les chaudières gaz à condensation ;

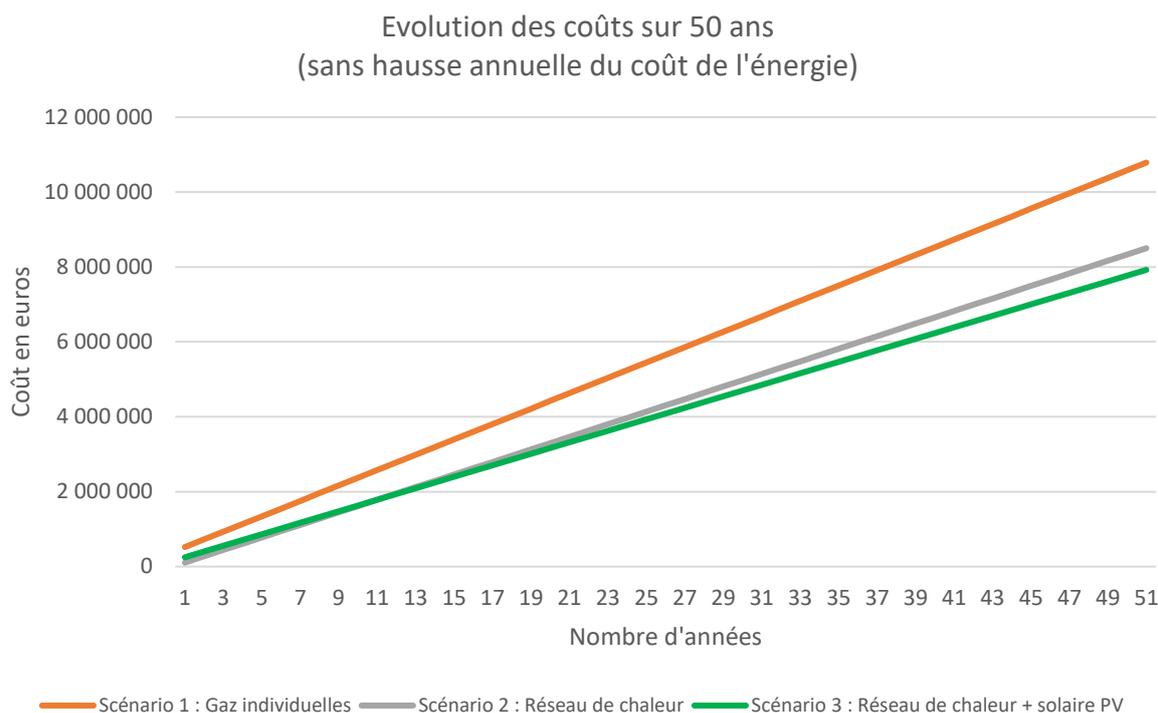
- 15 % pour les panneaux solaires photovoltaïques.

- 85 % pour le réseau de chaleur, prenant en compte le rendement de l'échangeur de chaleur en sous-station, et celui du circuit interne de distribution et émetteur de chaleur.

3.2 Analyse économique

Sans évolution des coûts de l'énergie

Pour l'ensemble des lots, l'analyse économique réalisée ici ne doit être considérée que comme indicative. Etant donné l'avancement du projet, celle-ci est réalisée à partir de ratios et en prenant un certain nombre d'hypothèses.



Sans tenir compte de l'évolution des coûts de l'énergie, le recours au réseau de chaleur est le plus rentable économiquement. Du fait de sa présence initiale sur le site, les coûts d'investissement sont relativement faibles (quelques mètres linéaires de réseaux, quelques sous-stations). De plus, la chaleur du réseau de la SEMHACH est moins onéreuse que les énergies fossiles.

En couplant ce réseau de chaleur à des panneaux solaires photovoltaïques pour la production de 15% des besoins en électricité, le système est encore plus rentable, puisque l'électricité produite est « gratuite ». Ce scénario est valable sous réserve de l'accord du concessionnaire de la mise en place d'une production d'énergie complémentaire au réseau de chaleur.

En négligeant les tendances évolutives actuelles, l'investissement d'une installation de chaudières gaz à condensation individuelles est défavorable d'un point de vue économique.

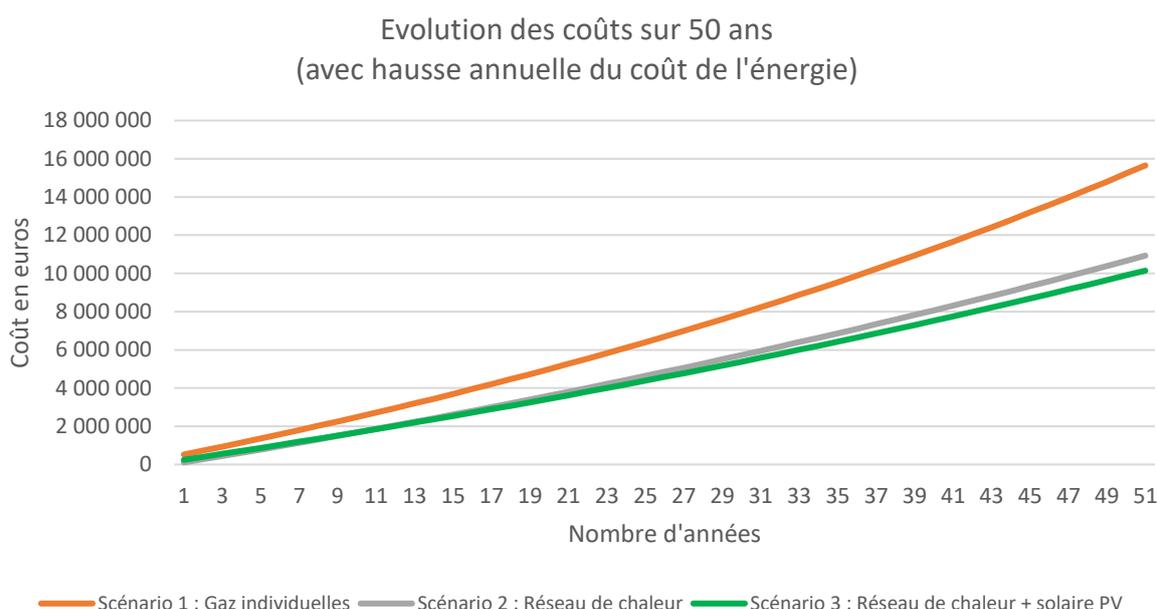
Avec évolution des coûts de l'énergie

L'étude Amorce-ADEME : comparatif des modes de chauffage et prix de vente de la chaleur (2015) prend en compte les évolutions annuelles des prix des énergies suivantes :

- 2% pour les réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des EnR ;
- 4,1% sur le prix du gaz ;
- 3% sur le prix de l'électricité.

Pour notre étude, nous prenons les hypothèses suivantes :

	Gaz naturel	Réseau de chaleur	Solaire photovoltaïque
Tendance hausse	Moyenne	Moyenne à faible	/
Evolution annuelle des prix de l'énergie (P1+P2+P3)	+ 3 %	+ 2 %	+ 0 %

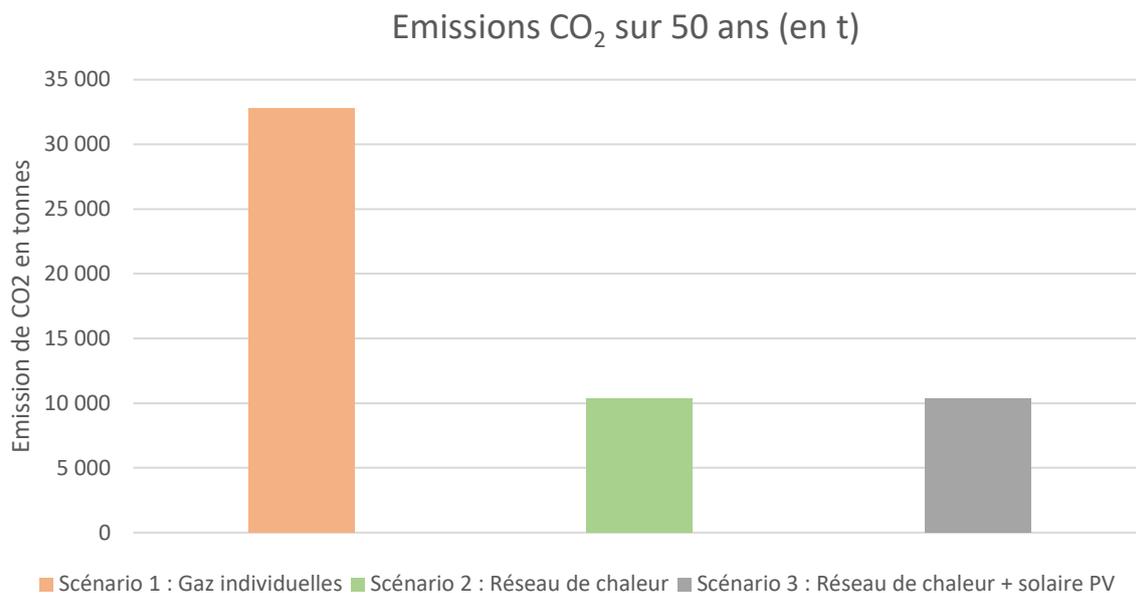


Là aussi, en tenant compte des tendances constatées et de l'évolution des coûts des énergies, cette analyse des coûts montre que les solutions mobilisant le réseau de chaleur sont plus avantageuses économiquement. En effet, la hausse de leur coût est plus limitée que celle des énergies fossiles. De même, le coût d'investissement initial est inférieur.

3.3 Analyse environnementale

Nous avons établi des estimatifs selon les données de références précisées plus haut dans notre étude. Ainsi, les émissions estimées de CO₂ générées, suivant les scénarii, sont les suivantes :

	Scénario 1 : Gaz individuelles	Scénario 2 : Réseau de chaleur	Scénario 3 : Réseau de chaleur + solaire PV
Besoins en Chaud en kWh	2 379 006		
Emissions annuelles CO ₂ (en T/an)	657	207	207
Emissions CO ₂ sur 50 ans (en T)	32 830	10 349	10 349



Le scénario 1 est le plus désavantageux environnementalement parlant puisque dépendant des énergies fossiles, dont la combustion est à la base des émissions de CO₂.

Les scénarii 2 et 3 ont la même empreinte carbone du fait de la production non carbonée de l'électricité en France, via le nucléaire. Toutefois, ce mode de production engendre d'autres problématiques environnementales (risques industriels, déchets nucléaires, etc...).

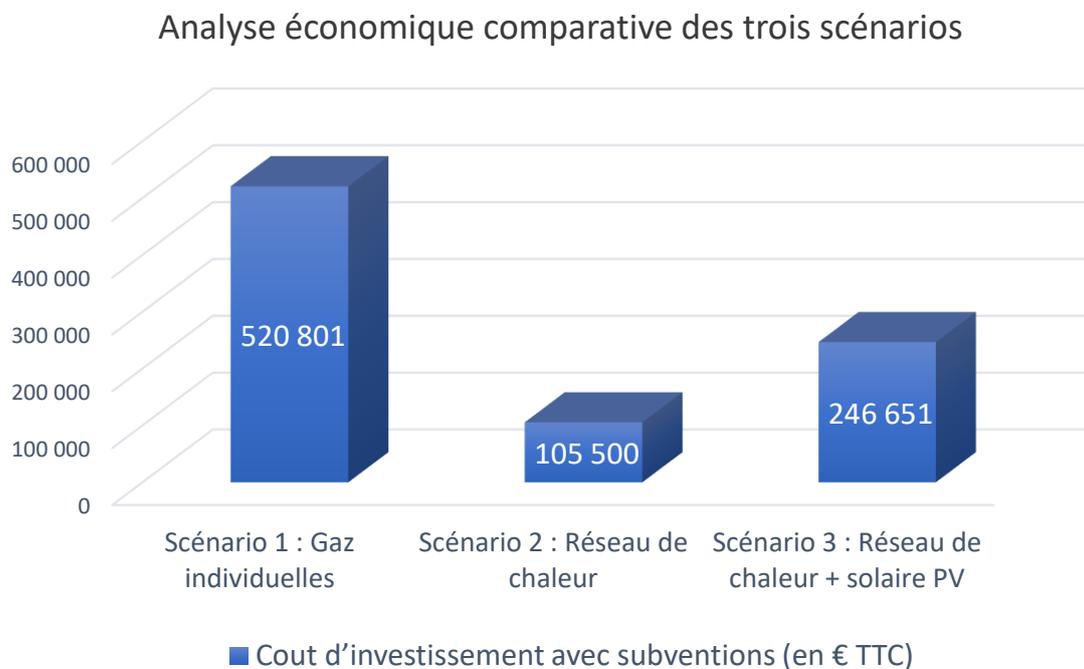
Ainsi, sur le plan environnemental, les solutions les plus intéressantes sur les trois scénarii étudiés sont celles à base du réseau de chaleur, qui a un impact carbone bien moindre que les énergies fossiles.

NB : cette estimation a été faite sur le contenu CO₂ actuel du réseau de chaleur de la SEMHACH (87 gCO₂/kWh_{eu}), qui pourrait toutefois fluctuer à la marge au cours des prochaines années.

4. CONCLUSION

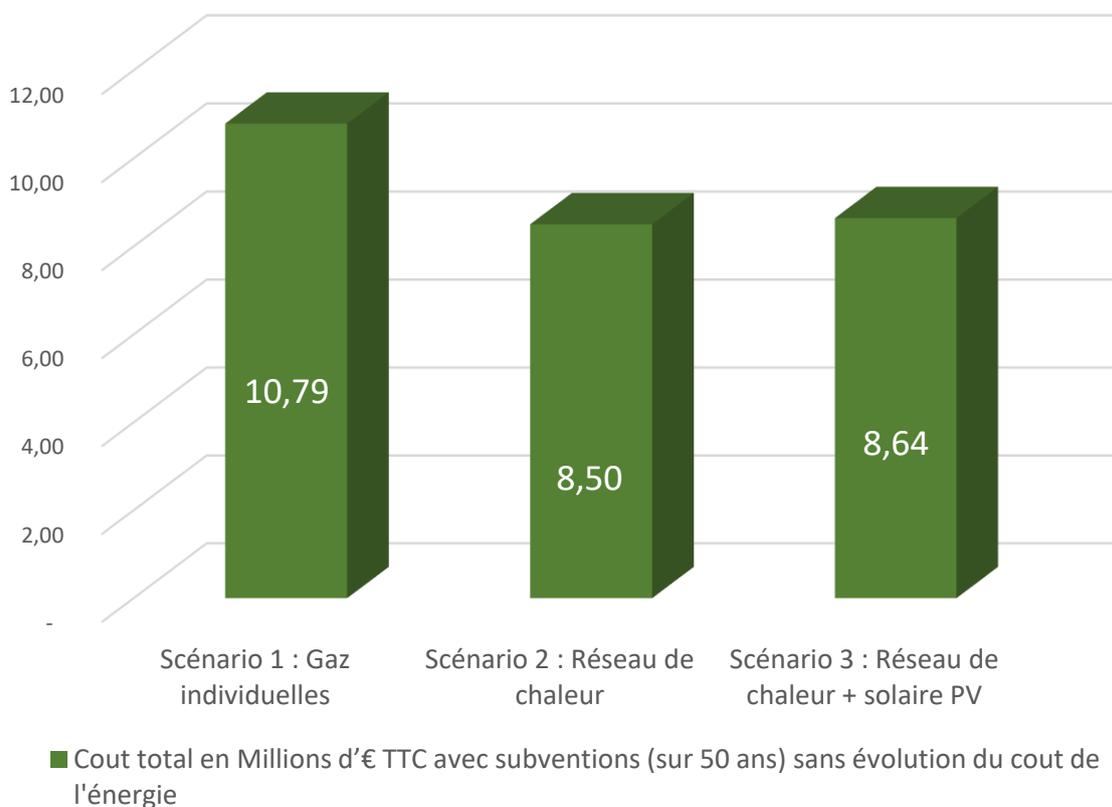
Les graphiques suivants permettent de comparer les différents scénarii analysés dans l'étude au regard des critères suivants :

Analyse économique comparative à l'investissement initial des différents scénarios :



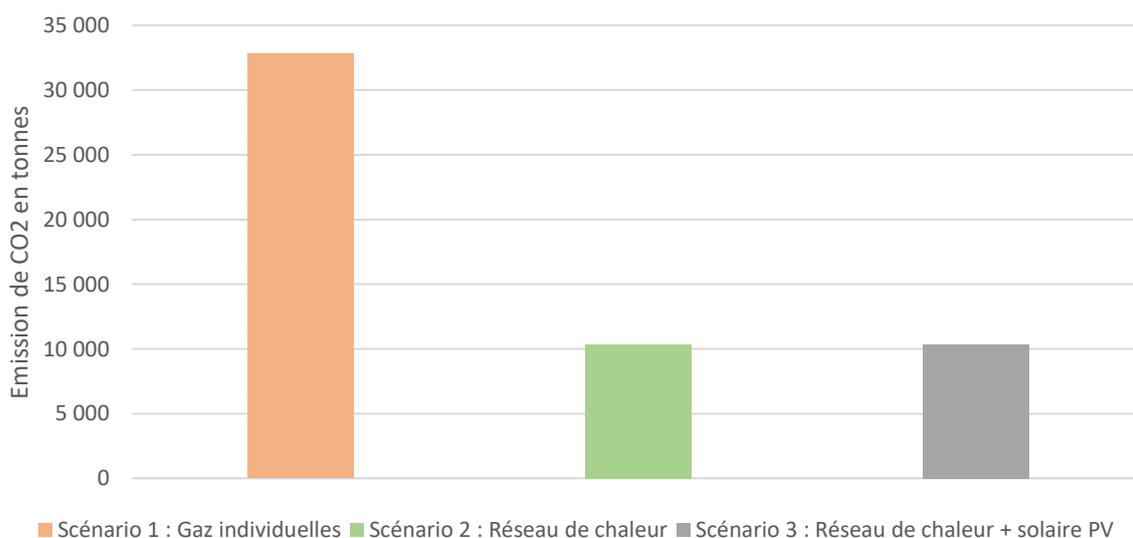
Analyse économique comparative sur le coût total des différents scénarios :

Analyse économique comparative sur 50 ans des différents scénarios



Analyse environnementale comparative des différents scénarios :

Emissions CO₂ sur 50 ans (en t)



Si la réflexion se porte sur un investissement à long terme, et en tenant compte des évolutions du coût de l'énergie, le scénario 2 semble être le plus intéressant d'un point de vue économique.

La solution ayant recours à une installation de chaudières gaz individuelles ne semble pas être la plus avantageuse. Il est à prendre en compte le bilan environnemental négatif ainsi que l'évolution du coût de cette énergie non renouvelable qui a tendance à augmenter fortement, rendant la solution moins rentable financièrement sur le long terme.

La solution « réseau de chaleur couplé à des panneaux solaires photovoltaïques » implique un léger surcoût à l'investissement. Toutefois, au-delà d'une dizaine d'années d'exploitation, l'investissement devient rentable comparé au seul réseau de chaleur.

	Avantages	Inconvénients
Scénario 1 : Gaz à condensation individuelles	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'investissement raisonnable • Facilité d'installation et d'entretien • Coût de maintenance modéré 	<ul style="list-style-type: none"> • Emissions de gaz à effet de serre importantes • Incertitude sur la disponibilité de la ressource à long terme • Risque élevé d'augmentation du coût de l'énergie
Scénario 2 : Réseau de chaleur SEMHACH	<ul style="list-style-type: none"> • Gain financier à long terme • Bilan environnemental plus vertueux • Stabilité de l'énergie sur le long terme • Un investissement initial relativement faible du fait de la présence du réseau de chaleur sur le site 	<ul style="list-style-type: none"> • Un maillage du réseau à repenser en fonction du projet
Scénario 3 : Réseau de chaleur SEMHACH + solaire PV	<ul style="list-style-type: none"> • Gain financier à long terme • Bilan environnemental plus vertueux • Stabilité de l'énergie sur le long terme • Ressource inépuisable • Réponse au fort besoin en électricité du site, dans une certaine mesure 	<ul style="list-style-type: none"> • Surcoût d'investissement et de maintenance • Production d'électricité non régulière