



ETUDE DU POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES PROJET DE RENOUVELLEMENT URBAIN DU QUARTIER EDOUARD VAILLANT - ABREUVOIR A BOBIGNY (93)

Août 2021

SOMMAIRE

I.	DESCRIPTION ET CONTEXTE DU PROJET	3
1.	CONTEXTE POLITIQUE.....	4
1.1.	Des enjeux internationaux à intégrer localement	4
1.2.	Un cadre réglementaire structurant.....	4
2.	CONTEXTE DU SITE	10
2.1.	Localisation du site	10
2.2.	Le climat	10
2.3.	Topographie	11
2.4.	Contexte énergétique de la commune.....	12
2.5.	Desserte énergétique du site.....	13
2.6.	Programmation et organisation spatiale du projet.....	13
2.7.	Les besoins énergétiques associés.....	15
II.	POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES.....	21
1.	L'ENERGIE SOLAIRE	22
1.1.	Solaire passif	22
1.2.	Solaire thermique	22
1.3.	Climatisation solaire.....	24
1.4.	Le solaire photovoltaïque	24
1.5.	Le gisement solaire local	26
2.	L'ENERGIE EOLIENNE.....	29
2.1.	Le grand éolien et le petit éolien	29
2.2.	L'éolien urbain	30
2.3.	Gisement éolien local	31
3.	L'ENERGIE GEOTHERMIQUE	33
3.1.	Haute énergie.....	33
3.2.	Basse énergie.....	33
3.3.	Très basse énergie	34
3.4.	Potentiel géothermique des sites	36
4.	LA BIOMASSE	37
4.1.	Le gisement biomasse	37
4.2.	Bois-énergie.....	37
4.3.	Le bois-énergie – cogénération	39
4.4.	Potentiel bois-énergie.....	39
5.	LA RECUPERATION DE CHALEUR DES EAUX DOMESTIQUES	42
5.1.	Récupération de chaleur sur les eaux grises.....	42
5.2.	Récupération de chaleur fatale industrielle (ou data center).....	43
6.	LES AUTRES TECHNOLOGIES EXISTANTES.....	44
6.1.	Le biogaz et les biocarburants.....	44
6.2.	Aérothermie	46
6.3.	L'énergie hydrolienne	46
6.4.	Les réseaux de chaleur	47
7.	SYNTHESE.....	50
III.	PREDIMENSIONNEMENT ET SCENARI.....	53
1.	DEFINITION DES SCENARI D'APPROVISIONNEMENT	54
1.1.	Hypothèses prises pour l'analyse	54

1.2.	Données environnementales.....	54
1.3.	Données économiques	54
1.4.	Coûts d'exploitation	55
1.5.	Rendement des installations	55
2.	ANALYSE ECONOMIQUE.....	55
2.1.	Sans évolution des coûts de l'énergie.....	55
2.2.	Avec évolution des coûts de l'énergie	56
3.	ANALYSE ENVIRONNEMENTALE	56

I. DESCRIPTION ET CONTEXTE DU PROJET



1. CONTEXTE POLITIQUE

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

1.1. 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 de NPNRU du quartier Edouard Vaillant- Abreuvoir 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.

1.2. 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 du 1^{er} janvier 2022, la Réglementation Environnementale 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 priorités de la RE2020, telles que décrites dans un communiqué de presse du gouvernement le 14 janvier 2020, sont les suivantes :

- Diminuer l'impact sur le climat des bâtiments neufs en prenant en compte l'ensemble des émissions du bâtiment sur son cycle de vie dès la construction ;
- Poursuivre l'amélioration de la performance énergétique et la baisse des consommations des bâtiments neufs, avec un renforcement du l'indicateur de besoin climatique, dit Bbio ;
- Garantir aux habitants que leur logement sera adapté aux conditions climatiques futures en introduisant un objectif de confort en été.

Ainsi, les exigences de la RE 2020, entrant en vigueur) au 1^{er} janvier 2022, s'orientent vers celles des bâtiments à énergie positives :

- 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 et auxiliaires).

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

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

Au niveau du parc bâti, les orientations sont les suivantes :

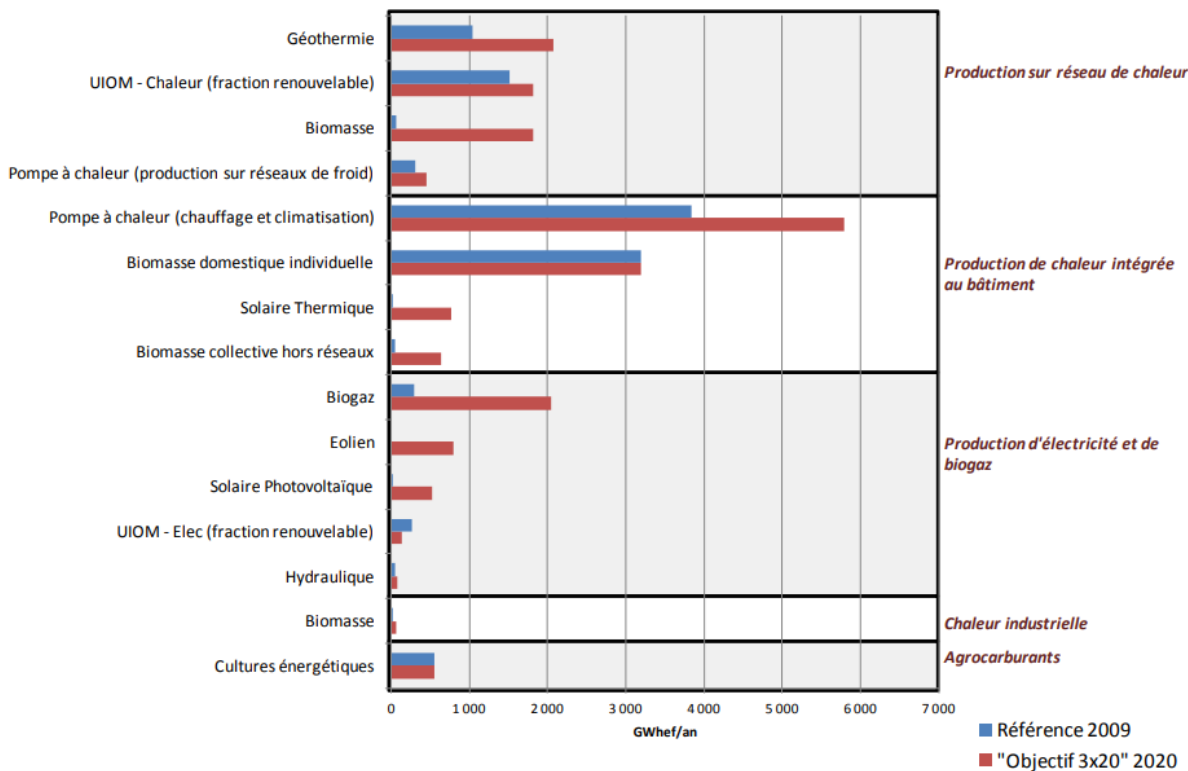
- Réduire de 5% les consommations énergétiques par des comportements plus sobres ;
- Améliorer la qualité des rénovations pour atteindre 25% de réhabilitations de type BBC (Bâtiment Basse Consommation) ;
- Réhabiliter 125 000 logements par an, soit une multiplication par 3 du rythme actuel ;

- Réhabiliter 7 millions de m² de surfaces tertiaires par an, soit une multiplication par 2 du rythme actuel ;
- Raccorder 450 000 logements supplémentaires au chauffage urbain, soit +40% par rapport à aujourd’hui).

Au niveau de la production énergétique, les orientations sont les suivantes :

- Faire passer de 30% à 50% la part de chaleur distribuée par les réseaux de chaleur à partir d’énergies renouvelables et de récupération (usine d’incinération d’ordures ménagères, géothermie, biomasse, etc.) ;
- 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 renouvelable sont les suivants :



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

b. Plan Local d’Urbanisme intercommunal d’Est Ensemble

Le PLUi d’Est Ensemble a été approuvé par délibération du Conseil de Territoire le 4 février 2020. Il couvre les communes de Bagnole, Bobigny, Bondy, Le Pré Saint-Gervais, Les Lilas, Montreuil, Noisy-le-Sec, Pantin et Romainville.

i. Projet d’Aménagement et de Développement Durable

Le PADD du PLUi d’Est Ensemble définit trois axes pour mener à bien la politique de développement de l’EPT. Cinq orientations principales sont fixées dans chacun des axes.

Le premier axe s’intitule « Vers une ville renaturée et de qualité pour tous ». Ses orientations sont d’affirmer les mixités fonctionnelles et les diversités des formes d’habitat, de cultiver une identité économique équilibrée et diversifiée, d’intégrer la nature en ville et la biodiversité dans la conception urbaine et l’aménagement pour renforcer la résilience du territoire, de favoriser à court et moyen termes l’amélioration et la création de transports collectifs et de valoriser et développer les qualités architecturales paysagères et urbaines dans les projets.

Le deuxième axe s’intitule « l’humain et le vivre ensemble au cœur du projet ». Ses orientations sont les suivantes :

- Répondre qualitativement aux besoins des populations et favoriser leurs mixités ;
- Rapprocher la formation et l’emploi, d’agir pour un environnement vecteur de santé publique, de développer et diversifier les moyens de se déplacer
- Valoriser les pratiques et initiatives citoyennes dans les usages et l’évolution du territoire.

Le troisième axe du PADD, qui concerne plus particulièrement les enjeux énergétiques, est « l’héritage, la résilience et la transition écologique comme moteurs d’une évolution maîtrisée ». Ses orientations sont de :

- Maîtriser l’évolution du territoire ;
- Favoriser et initier l’innovation et l’expérimentation sur le territoire ;
- Rendre le territoire résilient face au dérèglement climatique ;
- Réduire l’impact des coupures urbaines ;
- Améliorer les espaces déqualifiés du territoire ;
- Valoriser le patrimoine existant et l’histoire du territoire.

ii. Orientations d’Aménagement et de Programmation sectorielle

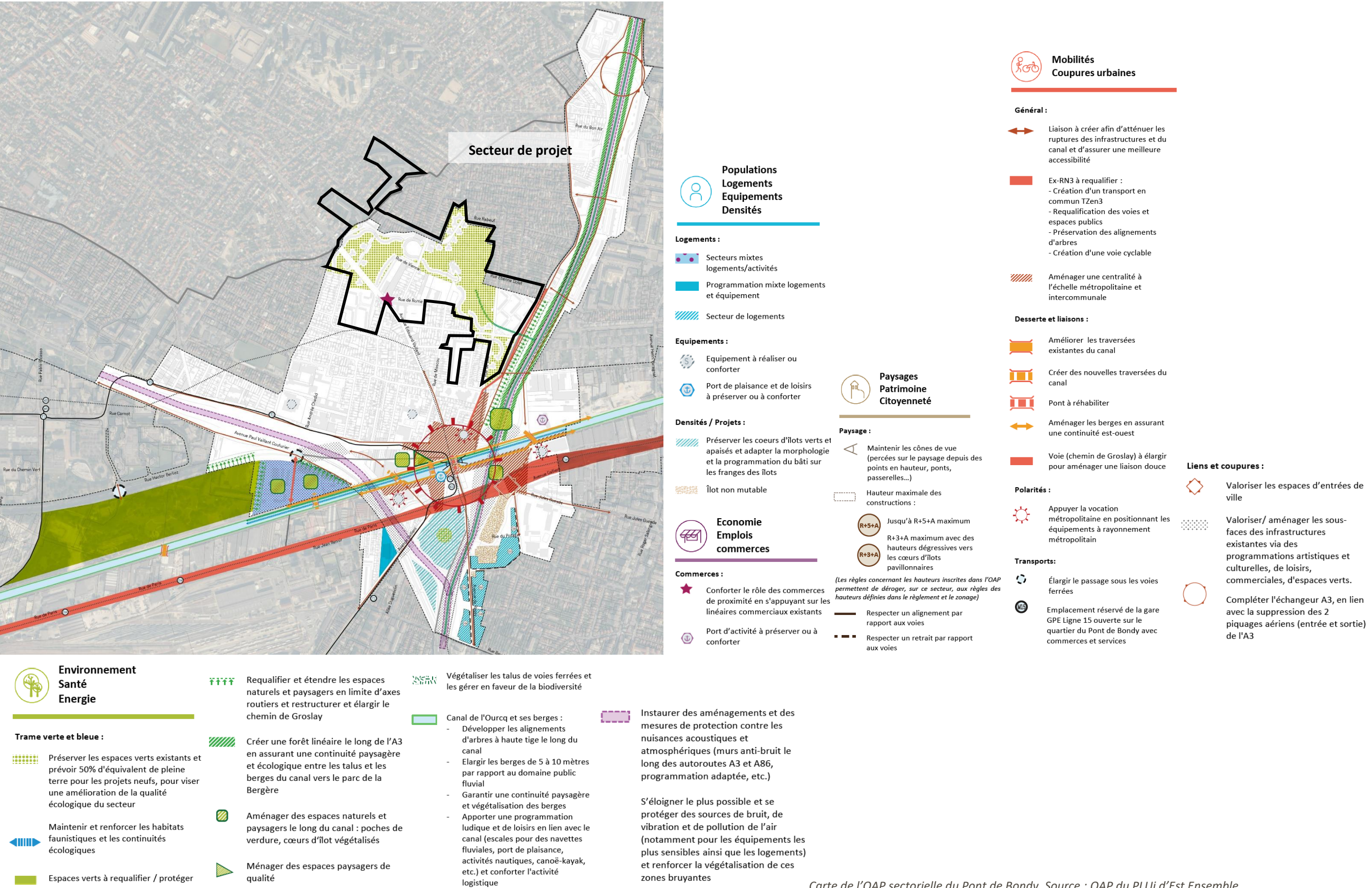
Le site de projet est situé dans l’OAP « Pont de Bondy ». Quatre grands principes lui sont attribués :

- Améliorer les conditions d’habitat pour créer un lieu de vie à part entière (valoriser les continuités vertes, renforcer l’attractivité économique des linéaires commerciaux...)
- Amplifier les usages du canal
- Valoriser les abords des infrastructures (développer une forêt linéaire de long de l’autoroute A3 entre Bobigny et Bondy, améliorer la transformation de la perception des infrastructures...)
- Développer la plateforme multimodale du 21^{ème} siècle (programmation de logements, d’activités et d’espaces publics adaptés et qualitatifs)

Des objectifs à l’échelle de l’OAP concernent également le site de projet :

- Préserver les espaces verts existants et prévoir 50% d’équivalent de pleine terre pour les projets neufs, pour viser une amélioration de la qualité écologique du secteur ;
- Conforter le rôle des commerces de proximité en s’appuyant sur les linéaires commerciaux existants.

La carte ci-dessous présente les orientations et objectifs à l’échelle de l’OAP.



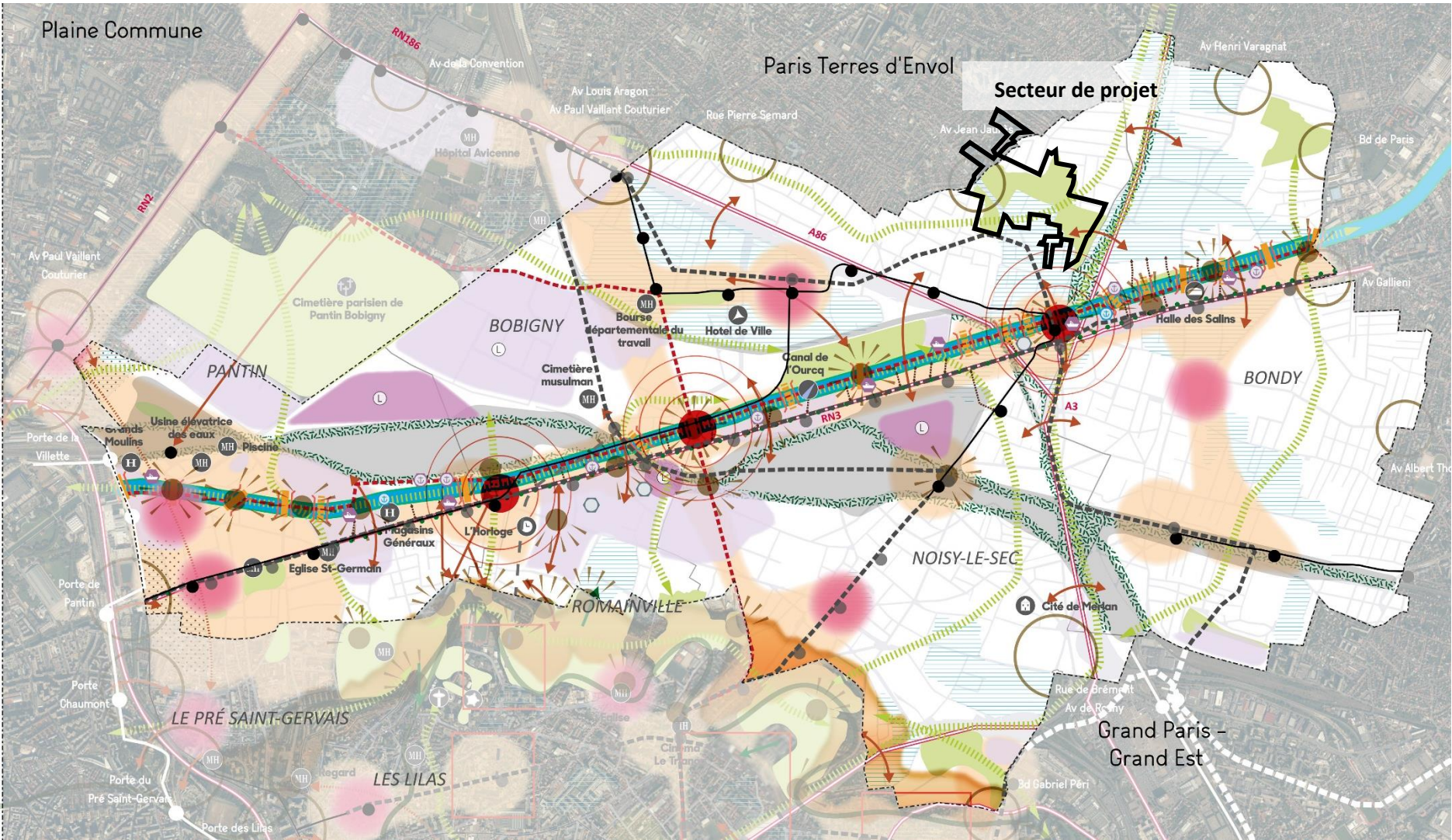
iii. Orientations d'Aménagement et de Programmation Territoire

Le PADD met en avant trois « territoires d'entraînement » au sein d'Est Ensemble, issus de la géographie et de l'histoire de son développement : « le Faubourg » à l'ouest, « le Parc de Hauteurs » au sud et « la Plaine de de l'Ourcq » au nord. **Bobigny se situe dans l'OAP Territoires « la Plaine de l'Ourcq ».**

Le projet situé à l'Abreuvoir est concerné par plusieurs objectifs poursuivis dans le développement de la Plaine de l'Ourcq :

- Construire beau et sain (prise en compte des nuisances atmosphériques et sonores à proximité des infrastructures, utilisation de matériaux durables)
- Favoriser la mixité des fonctions urbaines (mixer les activités au sein des programmes...)
- Viser 100% des rez-de-chaussée actifs (locaux d'activité, d'artistes, commerciaux, mutualisés pour les logements, services privés ou publics)
- Utiliser les matériaux biosourcés, recyclés voire réemployés (favoriser l'économie circulaire, faire des inventaires de matériaux lors des déconstructions, identifier un réemploi aux matériaux...)

La carte ci-après présente la synthèse des enjeux de l'OAP.



Mobilités
Coups urbaines

Desserte et liaisons :

Traverses RN3/Canal à créer, à améliorer à travers la végétalisation, les mobilités douces et la gestion alternative des eaux de pluie

Favoriser les modes actifs en s'appuyant sur les grands tracés internationaux (eurovélo 3) et la dimension événementielle (JO 2024)

Améliorer les traversées existantes du canal

Créer des nouvelles traversées du canal

Polarités:
Conforter les 3 centralités habitées complémentaires aux polarités de centre-ville : Raymond Queneau, La Folie et Pont de Bondy en développant des services à rayonnement métropolitain et la mixité urbaine

Transports:

Développer les transports collectifs structurants pour permettre les circulations intra et extra territoriales

Soutenir l'amélioration de l'offre de transport existante

Liens et coupures :

Entrées de ville/territoire à valoriser, développer ou qualifier

Atténuer les coupures naturelles ou d'infrastructures de transport en favorisant les franchissements

Environnement
Santé
Energie

Trame verte :

Préserver, améliorer et valoriser les réservoirs de biodiversité majeurs ou en devenir et le patrimoine vert (Espace de nature ouvert au public)

Maintenir et renforcer les habitats faunistiques et les continuités écologiques

Végétaliser et gérer de manière différenciée aux abords du faisceau ferroviaire, des autoroutes et de leurs abords

Préserver et développer/compléter l'alignement d'arbres le long de la RN3

Trame bleue:

Aménager le canal (voir la coupe ci-après) :

- Créer ou préserver des alignements d'arbres de haute tige
- Élargir les berges (10 à 15m de part et d'autre du canal), les végétaliser et les utiliser pour la gestion alternative des eaux pluviales
- Permettre la circulation technique du service des canaux sur 4 m
- Permettre la circulation piétonne et cycle sur les deux berges

Santé:

S'écloigner le plus possible et se protéger des sources de bruit, de vibrations et de pollution de l'air (notamment pour les équipements les plus sensibles ainsi que les logements) et renforcer la végétalisation de ces zones bruyantes

Populations
Logements
Equipements
Densités

Equipements :

- Grands équipements et services
- Ports de plaisance et de loisirs à créer
- Port d'activité existant à préserver et créer
- Escales pour péniches à préserver

Densités / projets :

- Secteurs préférentiels de développement mixte
- Renforcer les liaisons intercommunales et entre les quartiers (notamment pour les Quartiers « Politique de la Ville »). Requalifier les quartiers inscrits dans le Programme de Renouvellement Urbain et les inscrire dans une démarche d'intégration complète au reste du territoire

Economie
Emplois
commerces

Commerces :

- Logistique urbaine à préserver ou à créer
- Renforcer les principales centralités de centre-ville et conforter leurs dimensions commerciales, artisanales, et de services
- Maintenir et conforter la dimension économique des secteurs présentant une forte densité d'emplois, d'activités et de bureaux

Paysages
Patrimoine
Citoyenneté

Paysage :

Préserver les cônes de vue, depuis et sur les lieux identifiés et créer des effets belvédères permettant de multiplier les points de vue sur le grand paysage tout en limitant au maximum le nombre d'arbres coupés et en compensant ces coupes d'arbres par des arbres replantés dans le cadre du projet "Parc des Hauteurs"

Patrimoine

- Valoriser et mettre en scène les « totems » du Territoire
- MH : Monuments historiques

Carte de l'OAP territoire « Plaine de l'Ourcq » - Source : OAP du PLUi Est Ensemble

c. Plan Climat Air Energie Territorial d’Est Ensemble

Le Plan Climat Air Energie Territorial d’Est Ensemble a été adopté lors du Conseil de territoire du 21 février 2017 après avis conforme de la Métropole du Grand Paris. La version projet de ce plan avait été approuvée en décembre 2015 par le conseil communautaire. Les diagnostics ont été menés en partenariat avec l’ensemble des villes du territoire intercommunal et avec les 7 bailleurs sociaux publics communaux d’Est Ensemble afin de disposer :

- > Sur le volet territoire, d’un profil climat-énergie regroupant l’état des lieux des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre (bilan carbone territoire) ;
- > Sur le volet interne, d’un bilan carbone patrimoine et compétence.

Le Plan Climat comprend un ensemble de 43 fiches actions permettant de traiter les enjeux de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de pollution atmosphérique ainsi que de l’adaptation au changement climatique.

Les principales orientations du PCAET sont les suivantes :

- Orientation 1 : Aménager un territoire capable de faire face aux défis du changement climatique
- Orientation 2 : Permettre à tous de se déplacer en polluant moins
- Orientation 3 : Agir contre la précarité et la dépendance énergétique des ménages
- Orientation 4 : Soutenir la croissance verte et l’économie circulaire
- Orientation 5 : Développer les énergies renouvelables et locales
- Orientation 6 : Rendre les citoyens acteurs de la transition énergétique de leur territoire
- Orientation 7 : Rendre exemplaire l’administration d’Est Ensemble
- Orientation 8 : Engager et coordonner la politique de transition énergétique du territoire

d. Référentiel d’Aménagement Durable d’Est Ensemble

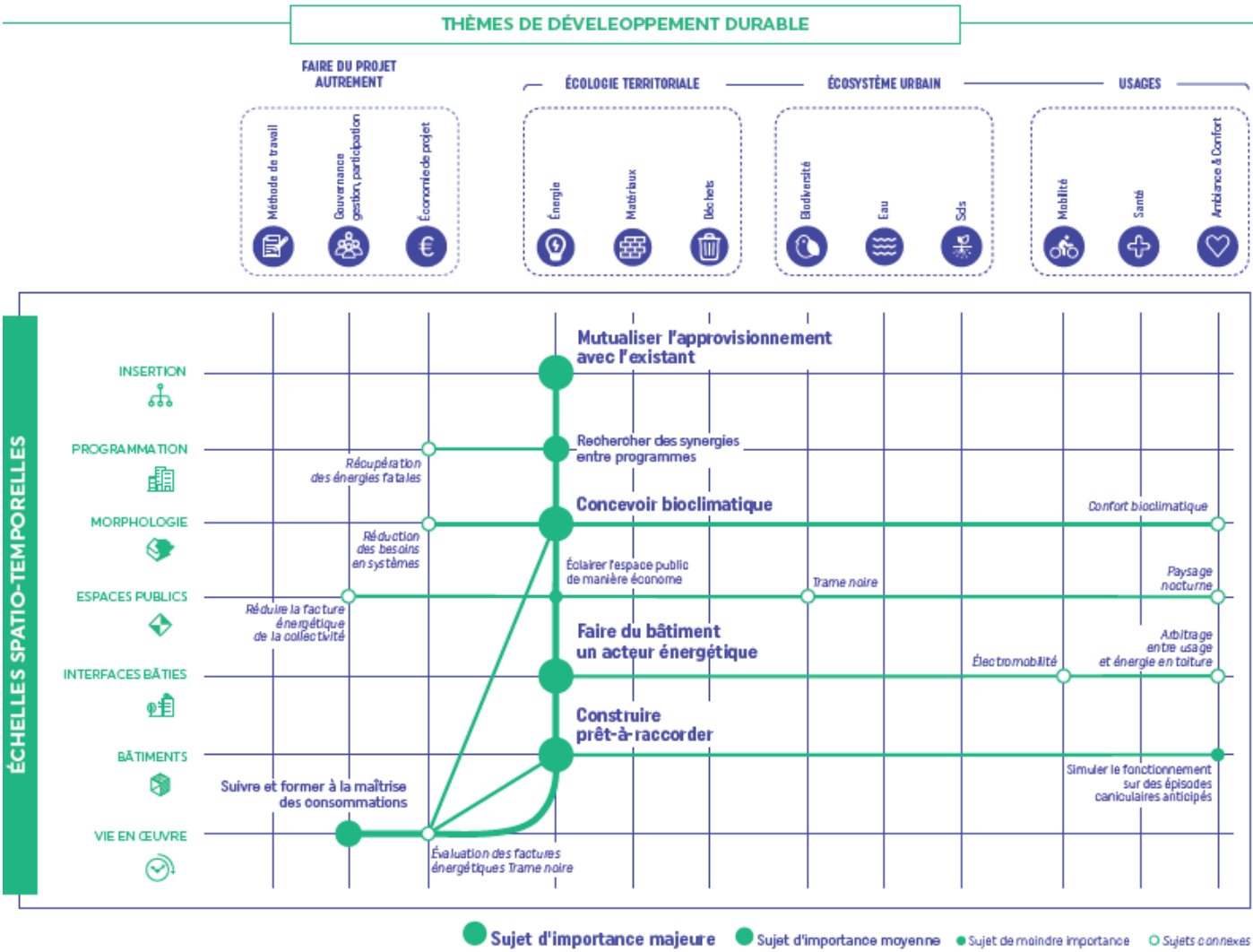
Est Ensemble s’est dotée d’un référentiel qui encadre tous les projets d’aménagement de son territoire.

Celui-ci se déploie par la méthodologie dite des « 4 vues » et autour de 9 thèmes environnementaux, visant à couvrir tous les aspects du développement durable, dans une logique transversale et contextualisée.



Ce document est applicable au projet de renouvellement urbain Edouard Vaillant – Abreuvoir, et guide l’évaluation environnementale de celui-ci.

Sur le thème de l’énergie, le référentiel identifie plus particulièrement les objectifs suivants :



- La mutualisation de l’approvisionnement avec l’existant ;
- La conception bioclimatique ;
- Faire du bâtiment un acteur énergétique ;
- La construction prêt-à-raccorder ;

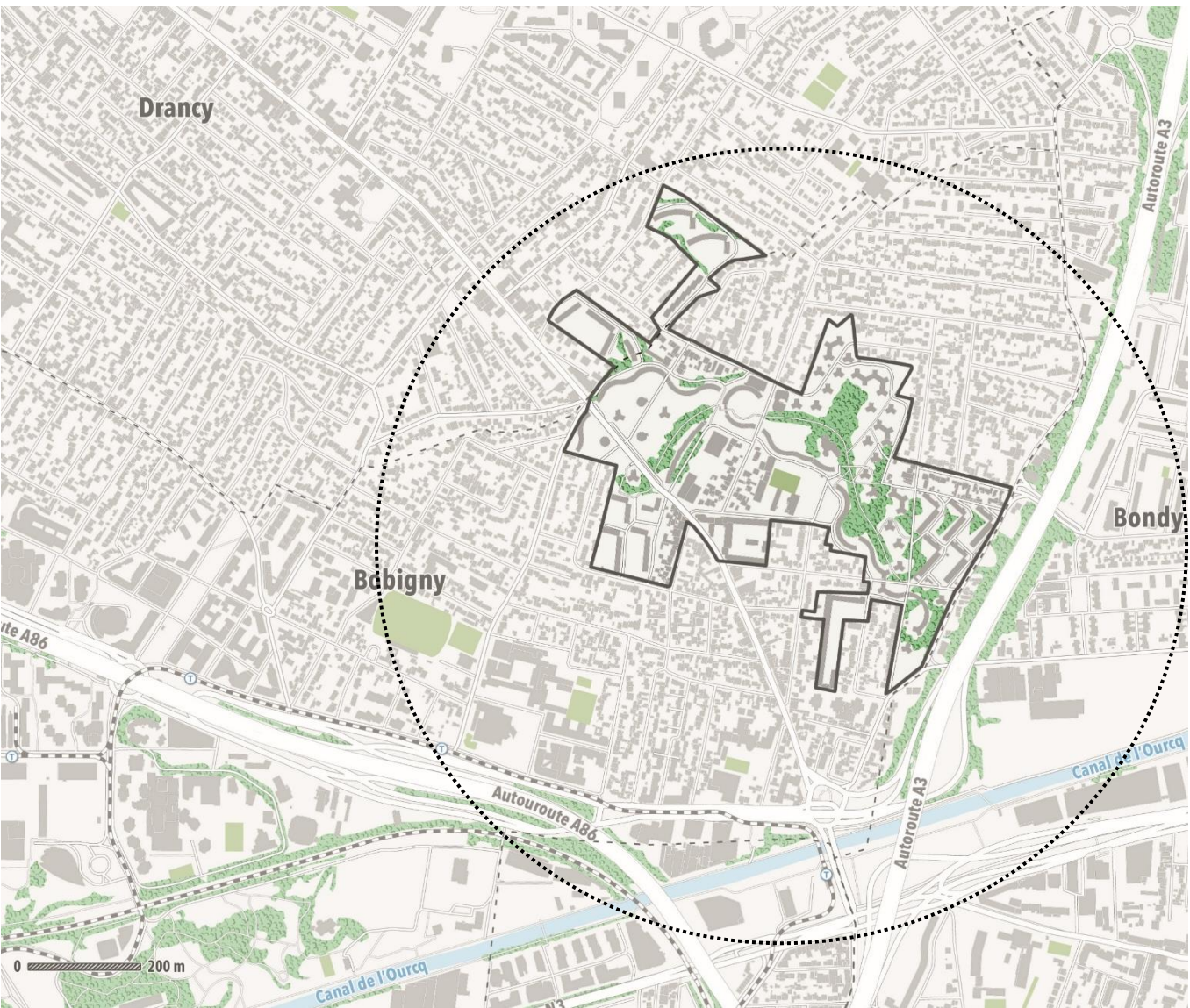
Sont particulièrement mis en avant dans ces intentions.

2. CONTEXTE DU SITE

2.1. Localisation du site

Le site du projet se situe à l’est de Bobigny et au sud-est de Drancy, dans la cité de l’Abreuvoir, laquelle fait partie du Quartier Politique de la Ville (QPV) Edouard Vaillant-Abreuvoir. Cette cité est un grand ensemble de 1 509 logements construits dans les années 1950. Le site est éloigné des centres-villes des communes alentours (Bobigny, Drancy, Bondy) et est relativement enclavé par rapport à son environnement direct. Le site est structuré autour de trois composantes majeures : l’avenue Edouard Vaillant, la place des Nations Unies et la place de l’Europe. L’avenue Edouard Vaillant est un axe structurant qui traverse et borde le quartier de l’Abreuvoir.

Le site de projet est d’une superficie près de 17 hectares et présente une densité de population de 225 habitants par hectare. Il représente la majeure partie de la cité de l’Abreuvoir, laquelle a une emprise totale de 20 hectares, dont 2 hectares de surface bâtie et 18 hectares d’espaces extérieurs. Ces contours définissent donc le périmètre opérationnel d’étude, présenté ci-dessous.



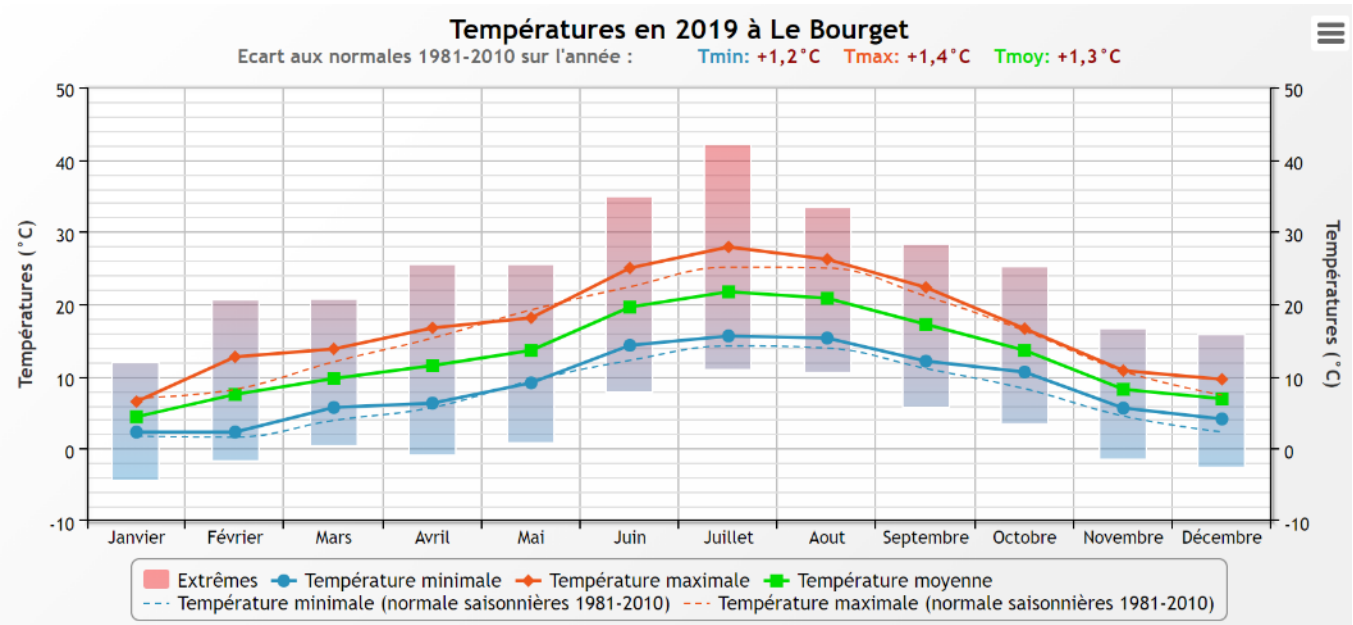
Périmètre opérationnel et périmètre élargi autour du site de projet – Source : Even Conseil

2.2. Le climat

La commune de Bobigny se situe en Région Île-de-France, elle est ainsi soumise au même climat. Le climat de la Région francilienne est de type océanique dégradé. Les mesures moyennes caractérisent un climat régional tempéré.

a. Les températures

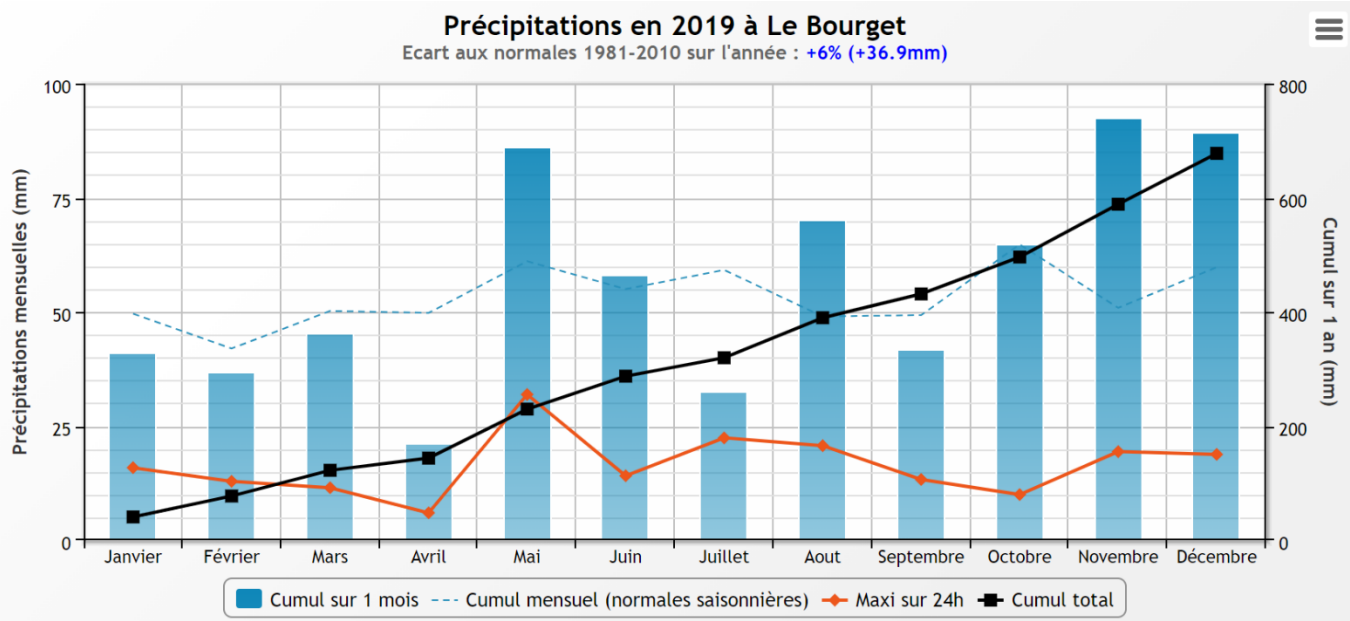
Le climat à Bobigny est un climat tempéré, doux et humide de type océanique dégradé caractéristique de celui de l’Île-de-France. La station météorologique de référence est celle du Bourget. Les températures sont douces, avec une température moyenne annuelle de 12,9°C. les températures restent modérées tout au long de l’année, elles varient entre -4,4°C en janvier et +42,1 en juillet (Données de 2019).



Températures mesurées au Bourget en 2019 – Source : Infoclimat.fr

b. Les précipitations

Les précipitations sont fréquentes mais généralement faibles. La moyenne annuelle des précipitations est d’environ 677,6 mm en 2019 pour une moyenne nationale d’environ 8665 mm de précipitations. Les mois de mai, juin, août, octobre, novembre et décembre sont les plus pluvieux (cumul mensuel supérieur à 55 mm).

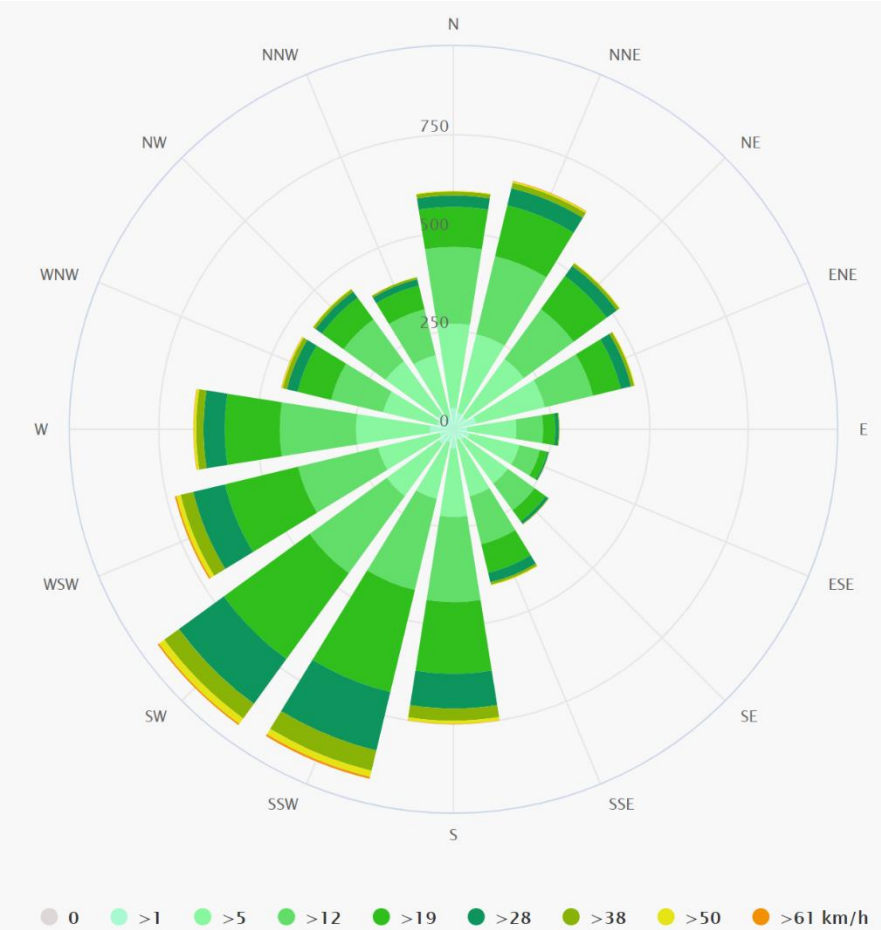


Précipitations mesurées au Bourget en 2019 – Source : Infoclimat.fr

L'analyse de la pluviométrie en Seine-Saint-Denis sur les dernières décennies (analyse statistique réalisée sur les années 1977 à 2004) permet d'estimer que l'abatement des 8 premiers millimètres de chaque événement pluvieux représente, en volume, 80 % de la pluviométrie annuelle.

c. Le vent

Les vents dominants sont orientés sud-ouest et sud-sud-ouest avec une force comprise entre 10 et 20 km/h. les vents provenant du sud et de l'ouest sont également importants avec des forces d'environ 15 km/h.



Rose des vents moyenne sur l'année à Bobigny – Source : meteoblue.com

2.3. Topographie

Le relief est ponctué de nombreux petits reliefs générés par les aménagements urbains et les infrastructures de transport présentant de nombreuses zones de déblai et de remblai générant une multitude de talus qui ont eu pour conséquence première de modifier le paysage et de le fractionner.

La topographie naturelle a largement été modifiée par des aménagements s'appuyant sur un principe de plateformes liées aux urbanisations successives (notamment les corniches des forts), ainsi que par l'aménagement du Canal de l'Ourcq.

A l'échelle du secteur de projet, le terrain présente une pente légèrement descendante depuis le sud-est avec une altitude d'environ 50,5 mètres vers le nord-est, avec une altitude d'environ 48 mètres. La partie la plus pentue du site est concentrée au cœur du périmètre, tandis que les extrémités apparaissent relativement plus planes.

Toutefois, il est important de noter que le terrain a été fortement modifié lors de l'aménagement du quartier.



Profil altimétrique nord-ouest / sud-est du secteur de projet – Source : Géoportail

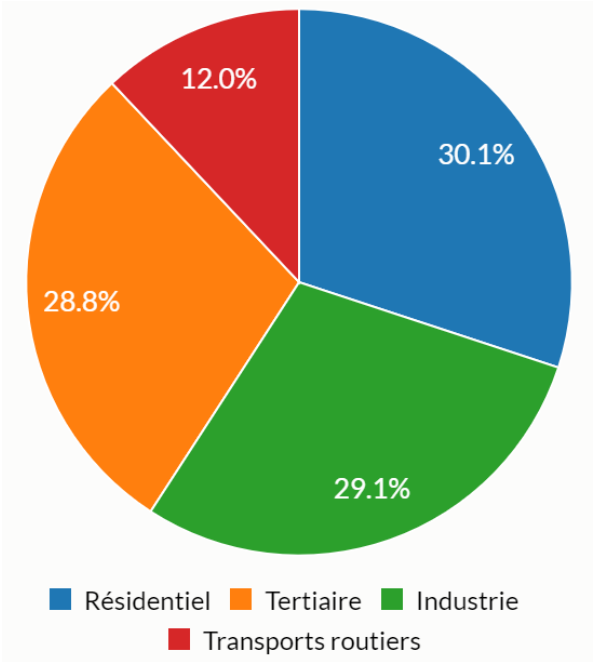
2.4. Contexte énergétique de la commune

Source : Energif, Etat Initial de l'Environnement du PLUi d'Est Ensemble

A l'échelle de la commune, la consommation énergétique finale s'élève à 732 GWh en 2017. Ces consommations sont dominées par le tertiaire, l'industrie et le résidentiel, qui représentent respectivement 28,8%, 29,1% et 30,1% des consommations énergétique totales.

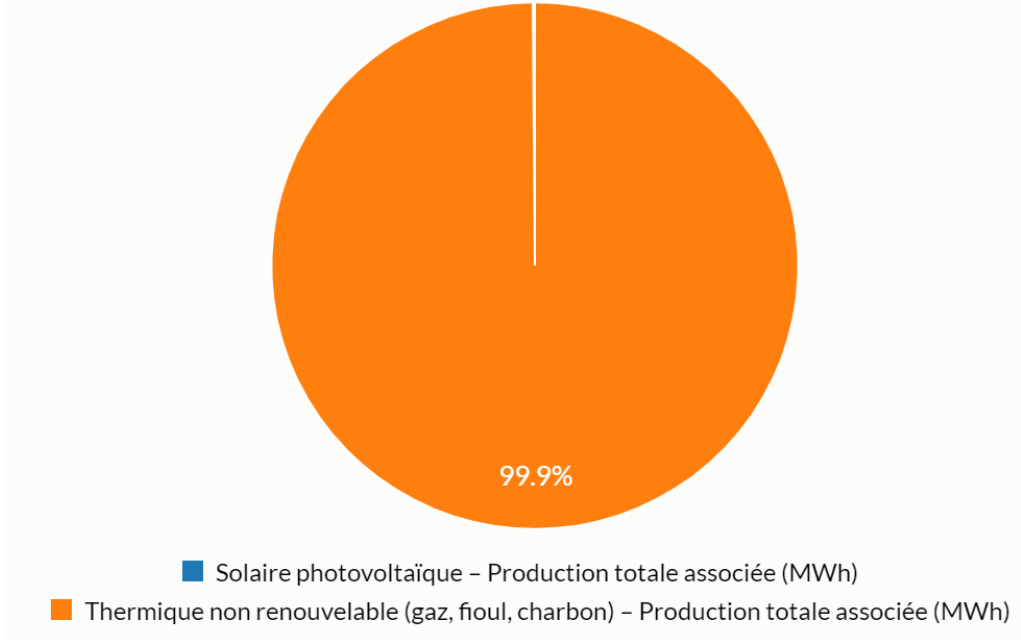
Le secteur des transports routiers occupe une part bien plus faible de 12%. Ces consommations peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs :

- Une part non négligeable des logements (41,7%) construits avant la première réglementation thermique générant de ce fait des consommations plus importantes ;
- Une part relativement importante des personnes se déplaçant en transports en commun (59%), permettant de réduire la part des consommations et émissions liées ;
- Une faible majorité des ménages possèdent au moins une voiture (56,6%), ce qui limite les déplacements ;
- La présence de nombreux établissements d'industrie sur le territoire communal (170 établissements) dont 4 présentent 50 salariés ou plus, pouvant en partie expliquer ces consommations.



Part des consommations énergétiques sur la commune de Bobigny – Source : Energif

La commune de Bobigny a produit 49 MWh d'énergie renouvelable en 2017, provenant uniquement du solaire photovoltaïque. Comme le montre le graphique ci-dessous, la production d'électricité provient principalement de ressources non renouvelables.



Répartition des filières de production d'électricité sur la commune de Bobigny – Source : Energif

La commune de Bobigny est par ailleurs dotée d'un réseau de chaleur alimenté par la géothermie. Un projet d'envergure prévoit l'extension de ce réseau sur le territoire communal ainsi que sur la commune de Drancy. Le réseau de chaleur devrait alors s'étendre sur 30 km d'ici 2022 et couvrir plus de 60% des besoins annuels en chaud du réseau. Il permettra ainsi d'alimenter l'équivalent de 20 000 logements, évitant l'émission de près de 30 000 tonnes de CO2 par an.

2.5. Desserte énergétique du site

Le site de projet est actuellement desservi par le réseau d'électricité communal. Son raccordement au réseau de chaleur urbain alimenté par géothermie est en cours de finalisation, dans le cadre du projet d'extension du réseau sur le territoire communal.

L'ancienneté des logements, malgré des réhabilitations avec renforcement de l'isolation thermique par l'extérieur dans les années 90 ; couplé à la situation sociale et économique des ménages sur le quartier, donne lieu à la présence d'un risque de précarité énergétique.

2.6. Programmation et organisation spatiale du projet

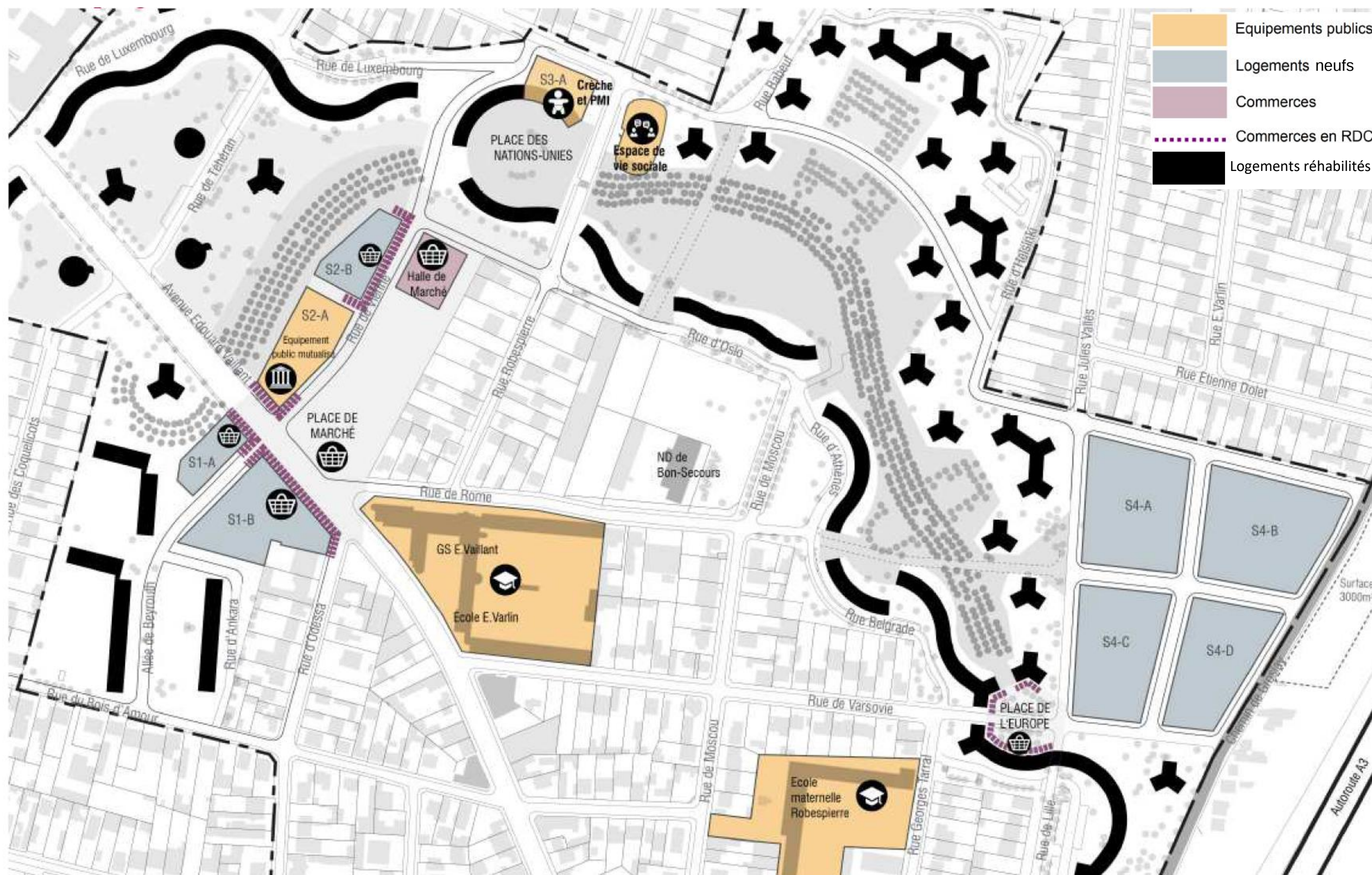
La programmation du projet de renouvellement urbain du quartier est la suivante :

- Démolition de 296 logements ;
- 26 900 m² de SDP de logements neufs construits, soit environ 394 logements ;
- La mobilisation de 195 logements pour les restructurer en 144 logements ;
- 1 018 logements réhabilités ;
- Le développement de près de 3 500 m² de SDP de commerces ;
- Environ 3 000 m² d'équipement de quartier en renouvellement (et extension à la marge) et l'aménagement d'une plaine de loisirs (jeux et sports) ;
- Création d'une maison de santé ;

- Création d'un espace de vie sociale ;
- Restructuration, rénovation et extension de deux groupes scolaires ;
- Implantation d'un pôle de la petite enfance comprenant la crèche (60 berceaux) déplacée dans le cadre du projet et la Protection Maternelle et Infantile.

Dans le cadre de la présente étude, les surfaces suivantes par types d'usage ont été assimilées aux types d'usage suivants :

Surface (m²)	Programmation	Equivalents d'usages dans le cadre de l'étude (du point de vue énergétique)
26 900 m²	Logements neufs projet urbain de la gare	Logements neufs
10 080 m²	Logements restructurés, sur la base d'une surface moyenne de 70 m²	Logements réhabilités
61 080 m²	Logements réhabilités, sur la base d'une surface moyenne de 60 m²	Logements réhabilités
3 000 m²	Equipement municipal de quartier	Equipement
1 250 m²	Pôle petite enfance	Equipement
164 m²	Maison de santé et espace de vie sociale	Equipement
11 330 m²	Groupes scolaires	Equipement
3 500 m²	Commerces / Activités	Commerces



Programmation prévisionnelle sur le quartier Edouard Vaillant- Abreuvoir - Source : Dossier de présentation des nouveaux projets de renouvellement urbain de Bobigny – Quartier Edouard Vaillant-Abreuvoir – Juillet 2019

2.7. Les besoins énergétiques associés

a. 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 des 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.

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

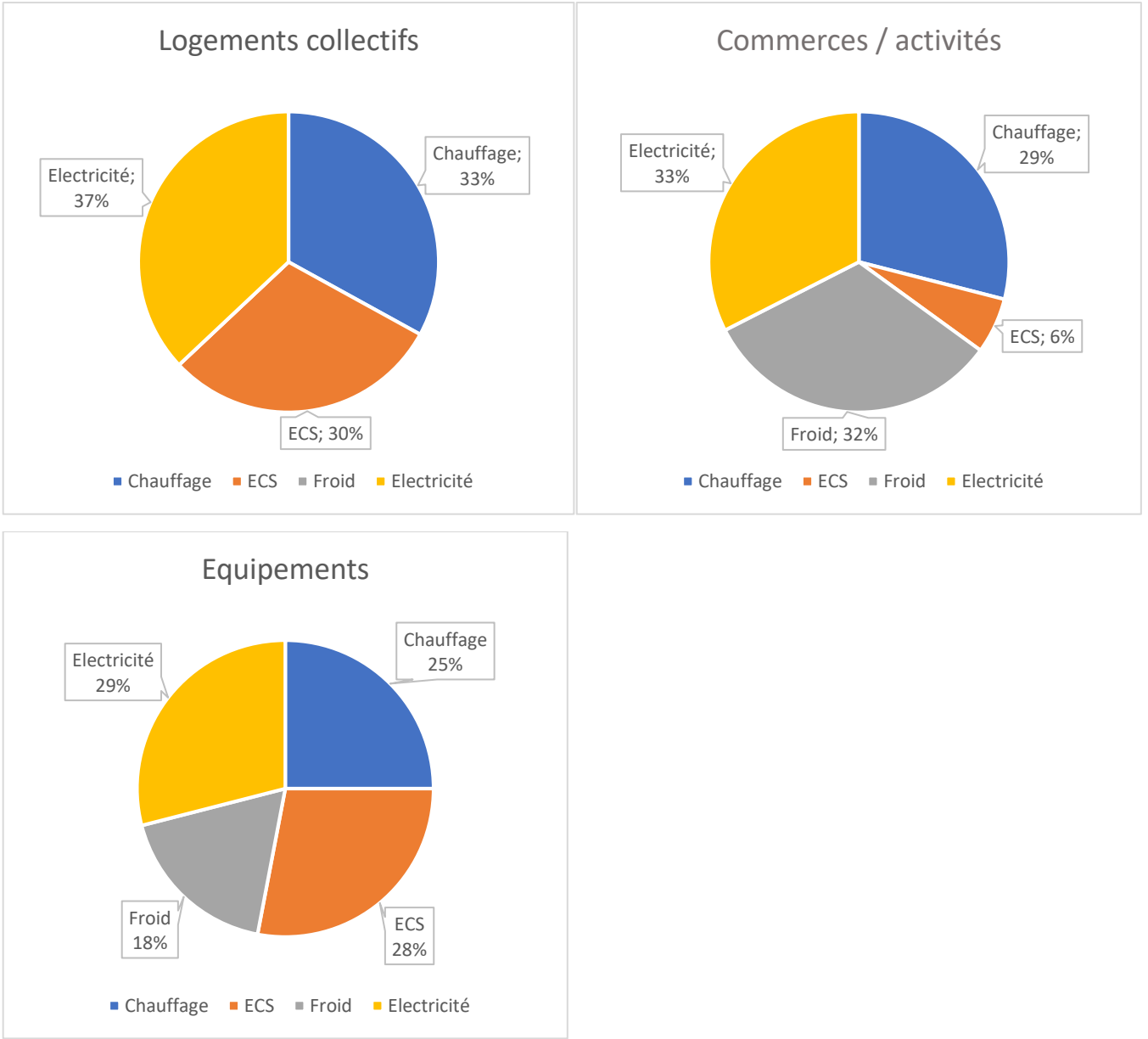
Niveau réglementaire / RT 2012

Il correspond au niveau de performance minimal actuel, à titre de « calibrage bas » pour l’étude. Même s’il est réglementaire, il est 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 :

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

Pour les différents usages de chauffage, de production d’ECS, de refroidissement et d’électricité, les graphiques ci-dessous présentent les parts prises en compte.



Ratios de répartition par usages de consommation :

	Logements collectifs	Commerces / Activités	Equipements
CEP MAX RT 2012 (kWh/m²/an)	57,5	120	150

Besoins	RT2012			
	Chauffage (en kWh/m²/an)	ECS (en kWh/m²/an)	Froid (en kWh/m²/an)	Electricité (en kWh/m²/an)
Logements collectifs	19,0	17,3	0,0	21,3
Commerces / activités	34,8	7,2	39,0	39,0
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. Il a pour but de préparer la prochaine réglementation environnementale RE 2020.

Il définit la performance du bâtiment à travers :

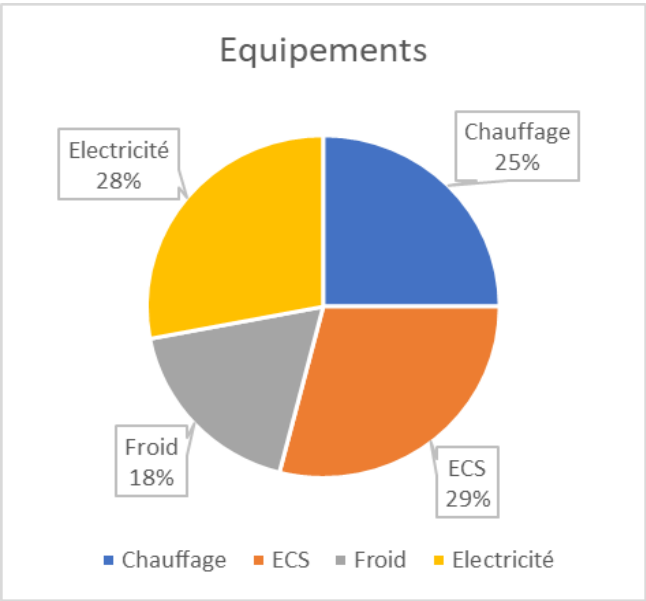
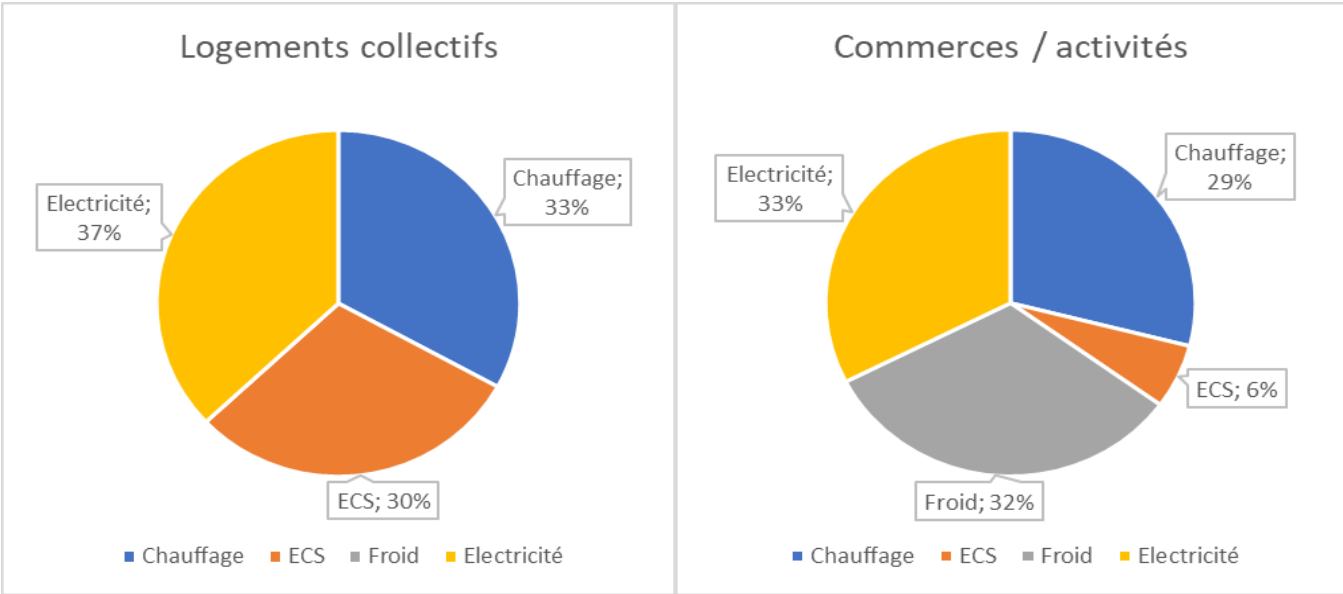
- L'évaluation de son bilan énergétique sur l'ensemble des usages (bilan énergétique BEPOS) ;
- L'évaluation de ses émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble de son cycle de vie ainsi que pour les produits de construction et les équipements utilisés.

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	Empreinte carbone optimisée

Les projets futurs devront mettre en œuvre un effort en termes d'efficacité énergétique du bâti et des systèmes et un recours significatif 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.



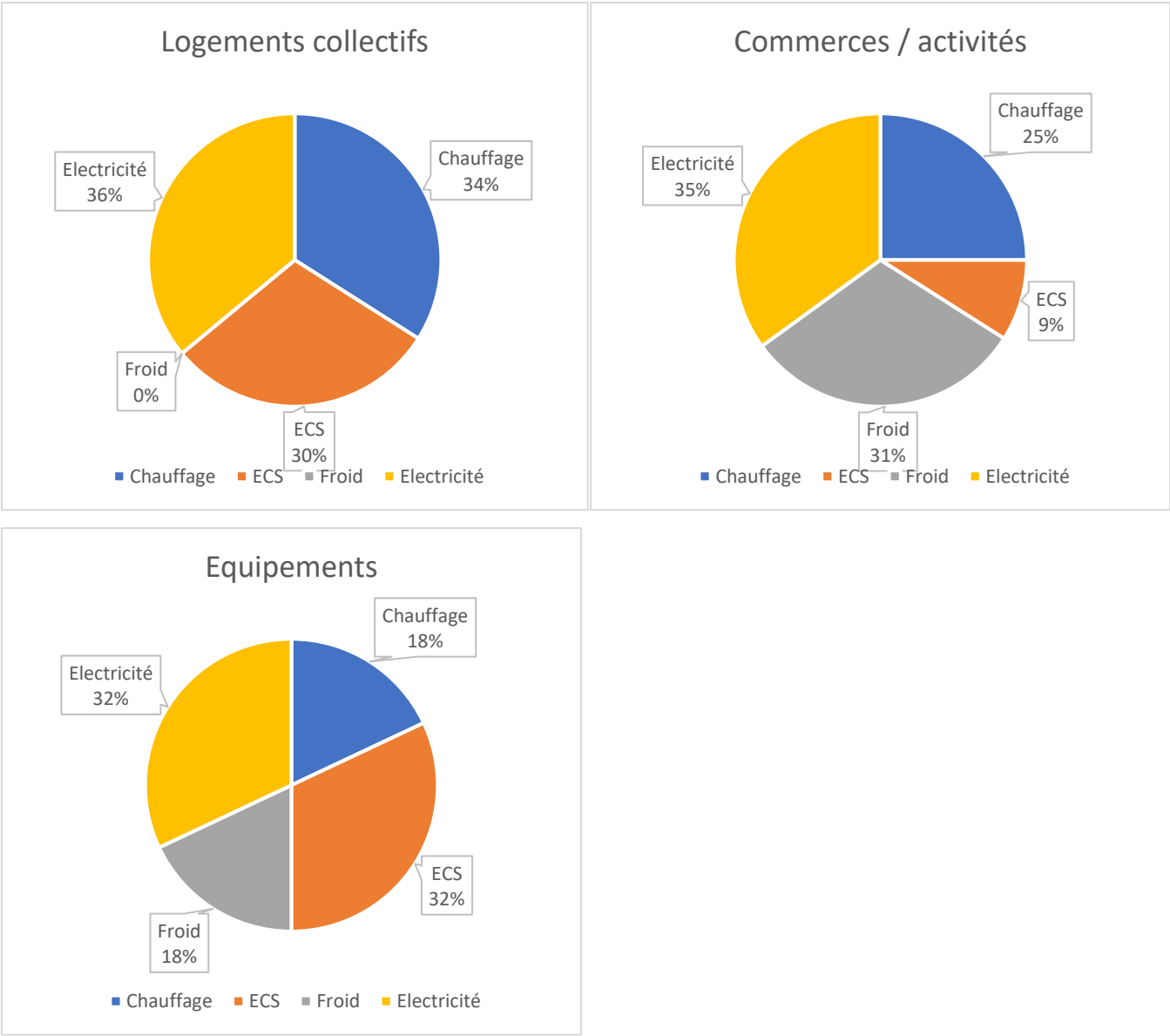
Ratios de répartition par usages de consommation :

	Logements collectifs	Commerces / Activités	Equipements
CEP MAX RT 2012 -20% (kWhép/m²/an)	46	96	120

RT2012 -20%				
Besoins	Chauffage (en kWh/m²/an)	ECS (en kWh/m²/an)	Froid (en kWh/m²/an)	Electricité (en kWh/m²/an)
Logements collectifs	15,2	13,8	0,0	17,0
Commerces / activités	27,8	5,8	31,2	31,2
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 RT2012. Une construction respectant ce niveau d'exigence permet notamment de réduire le poste des besoins de consommation lié au chauffage.



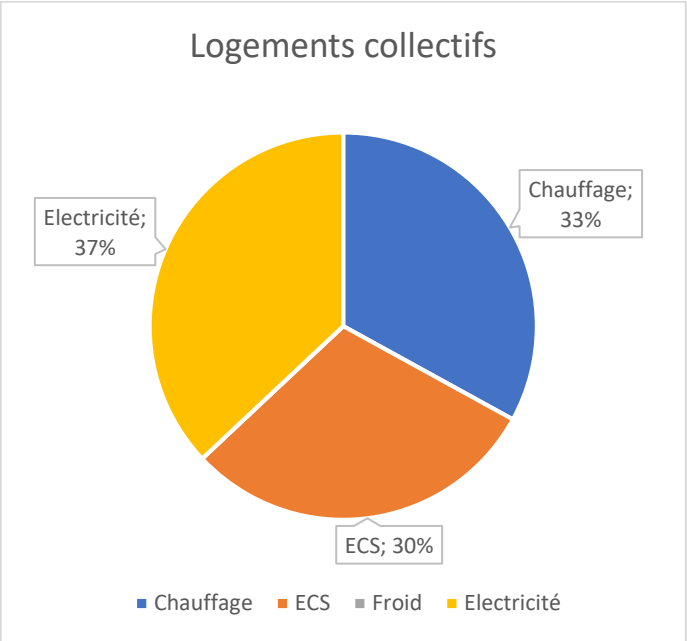
Ratios de répartitions par usage de consommation :

	Logements collectifs	Commerces / Activités	Equipements
CEP MAX Passif (kWh/m²/an)	37	78	150

Passif				
Besoins	Chauffage (en kWh/m²/an)	ECS (en kWh/m²/an)	Froid (en kWh/m²/an)	Electricité (en kWh/m²/an)
Logements collectifs	12,7	11,2	0,0	13,5
Commerces / activités	19,5	7,0	24,2	27,3
Equipements	17,6	31,2	17,6	31,2

Niveau de performance de la rénovation énergétique selon le label Effinergie Rénovation -20%, correspondant à un niveau BBC-20%

Il correspond à un niveau de rénovation dont l’objectif de consommation maximale en énergie primaire est fixé à 80 kWh/m².an -20%, modulé selon la zone géographique et l’altitude.



Ratios de répartition par usages de consommation :

	Logements collectifs
CEP MAX Rénovation EFFINERGIE (kWh/m²/an)	83,2

Rénovation EFFINERGIE BBC -20%				
Besoins	Chauffage (en kWh/m²/an)	ECS (en kWh/m²/an)	Froid (en kWh/m²/an)	Electricité (en kWh/m²/an)
Logements collectifs	27,5	25,0	0,0	30,8

b. 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 / RT 2012

RT2012											
Besoins	Chauffage (en kWh/m²/an)	ECS (en kWh/m²/an)	Froid (en kWh/m²/an)	Electricité (en kWh/m²/an)	Surface de plancher construite (m²)	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	19,0	17,3	0,0	21,3	26 900	510 428	464 025	-	572 298	1 546 750	1,55
Commerces / activités	34,8	7,2	39,0	39,0	3 500	121 800	25 200	136 500	136 500	420 000	0,42
Réhabilitations logements	27,5	25,0	0,0	30,8	71 160	1 953 769	1 776 154	-	2 190 589	5 920 512	5,92
Equipements	37,5	42,0	27,0	43,5	15 744	590 400	661 248	425 088	684 864	2 361 600	2,36
TOTAL					117 304	3 176 396	2 926 627	561 588	3 584 251	10 248 862	10,25
									TOTAL	10 248 862	10,25



Niveaux ambitieux pour les constructions neuves / RT 2012 -20%

RT2012 -20 %											
Besoins	Chauffage (en kWh/m²/an)	ECS (en kWh/m²/an)	Froid (en kWh/m²/an)	Electricité (en kWh/m²/an)	Surface de plancher construite (m²)	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	15,2	13,8	0,0	17,0	26 900	408 342	371 220	-	457 838	1 237 400	1,24
Commerces / activités	27,8	5,8	31,2	31,2	3 500	97 440	20 160	109 200	109 200	336 000	0,34
Réhabilitations logements	27,5	25,0	0,0	30,8	71 160	1 953 769	1 776 154	-	2 190 589	5 920 512	5,92
Equipements	30,0	33,6	21,6	34,8	15 744	472 320	528 998	340 070	547 891	1 889 280	1,89
TOTAL					117 304	2 931 871	2 696 532	449 270	3 305 519	9 383 192	9,38
									TOTAL	9 383 192	9,38

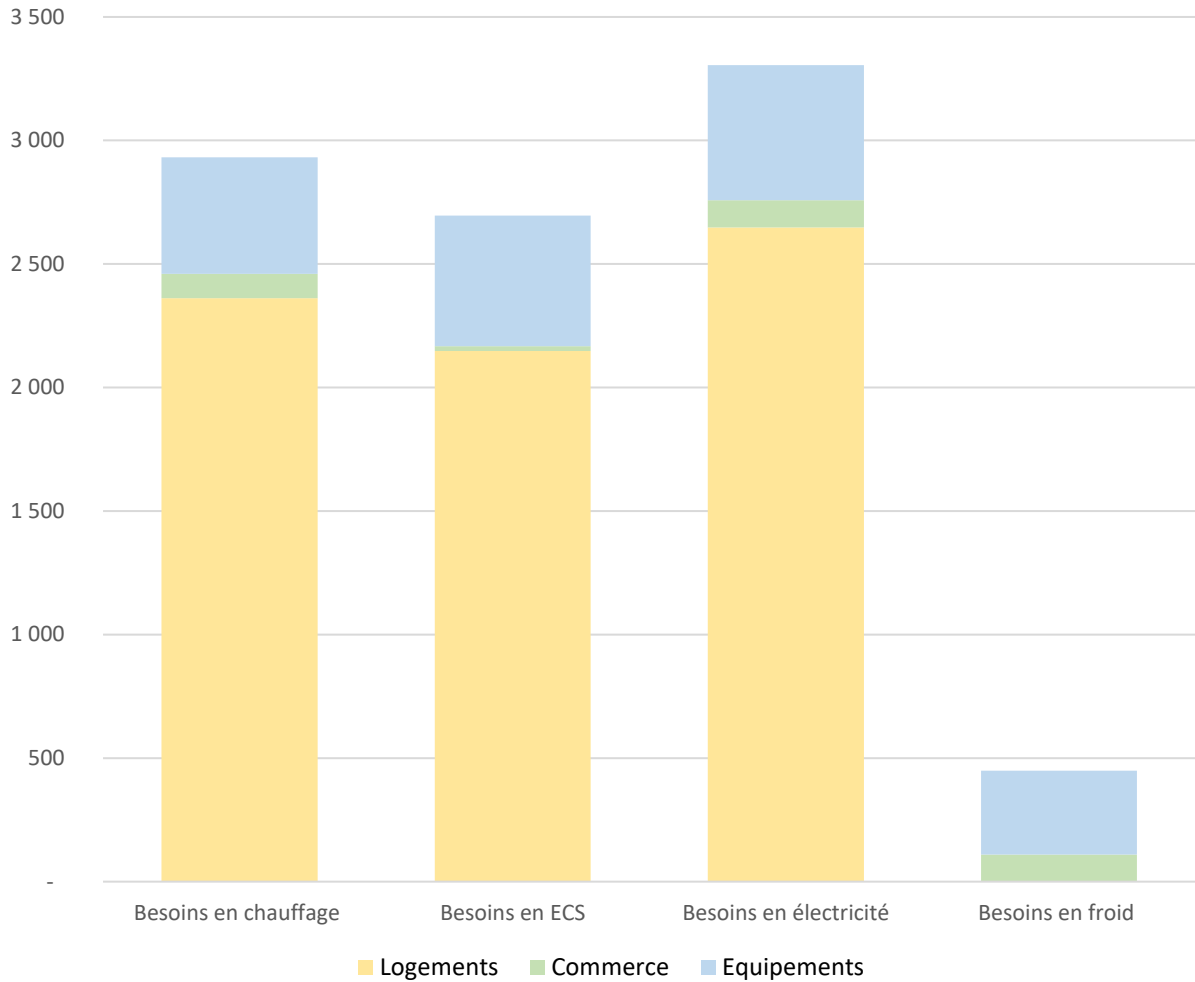


Niveaux exemplaires pour les constructions neuves / Passif

PASSIF											
Besoins	Chauffage (en kWh/m²/an)	ECS (en kWh/m²/an)	Froid (en kWh/m²/an)	Electricité (en kWh/m²/an)	Surface de plancher construite (m²)	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	12,7	11,2	0,0	13,5	26 900	341 832	301 616	-	361 940	1 005 388	1,01
Commerces / activités	19,5	7,0	24,2	27,3	3 500	68 250	24 570	84 630	95 550	273 000	0,27
Réhabilitations logements	27,5	25,0	0,0	30,8	71 160	1 953 769	1 776 154	-	2 190 589	5 920 512	5,92
Equipements	17,6	31,2	17,6	31,2	15 744	276 307	491 213	276 307	491 213	1 535 040	1,54
TOTAL					117 304	2 640 158	2 593 553	360 937	3 139 292	8 733 940	8,73
									TOTAL	8 733 939,5	8,73

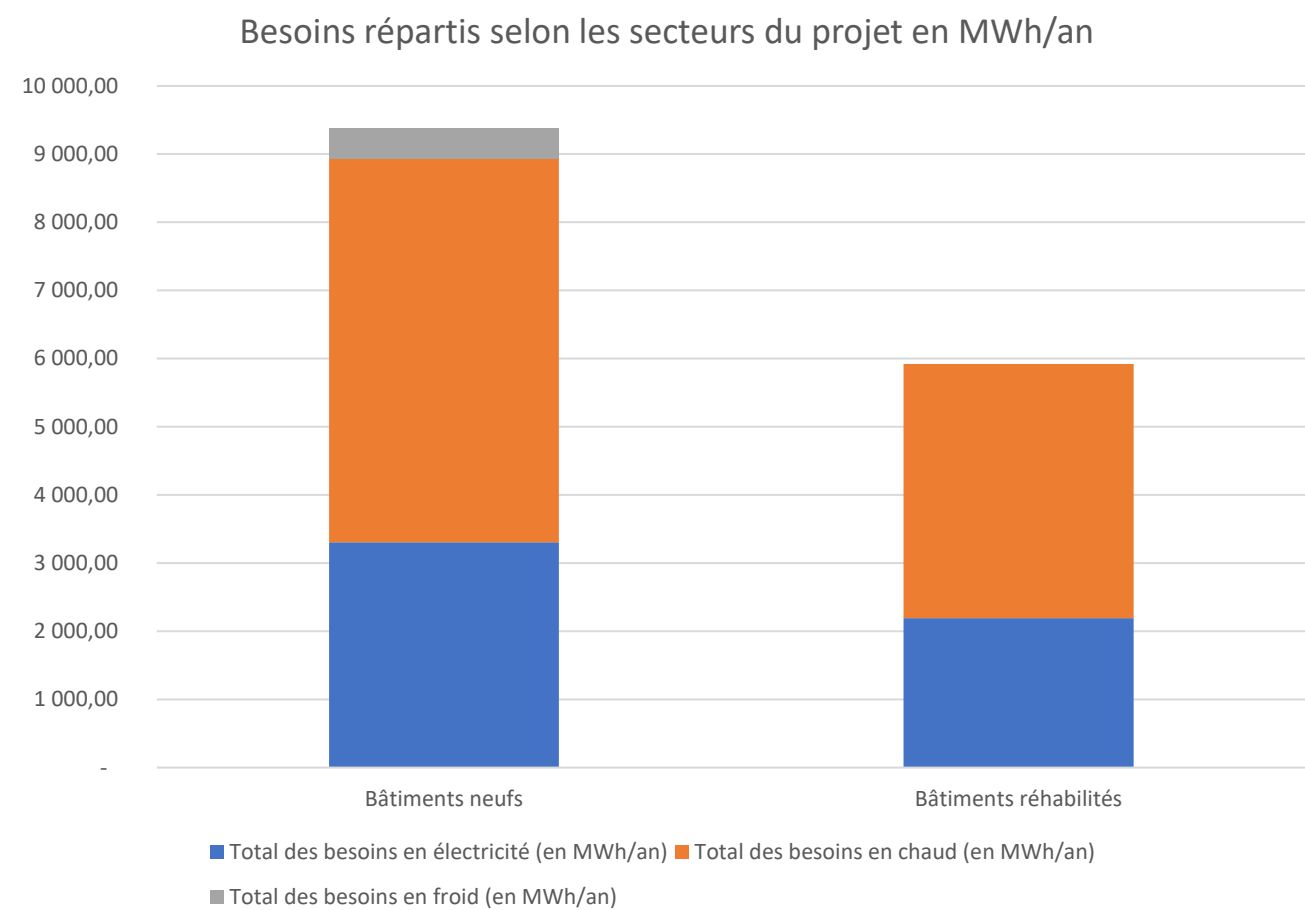
c. Analyse des besoins énergétiques nécessaires à destination des différents usages construits sur le site de la gare d’Epône-Mézières

Besoins répartis selon les usages en MWh/an



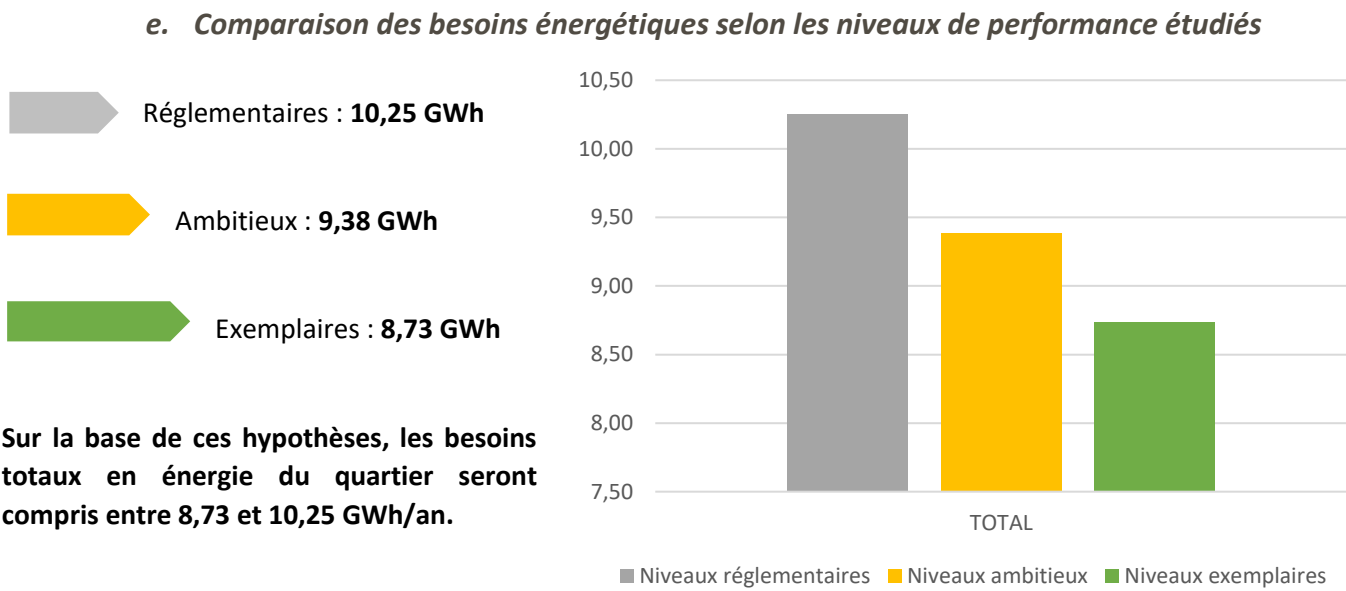
Les besoins estimés les plus importants recensés pour le quartier Edouard Vaillant – Abreuvoir sont l’électricité et le chauffage. Suivent ensuite les besoins en Eaux Chaudes Sanitaires liés aux logements et aux équipements et enfin les besoins en froid liés aux équipements et aux commerces.

Les logements constituent l’usage nécessitant le plus de besoins, ils représentent plus de la moitié des besoins en chauffage, en électricité et en eau chaude sanitaire.



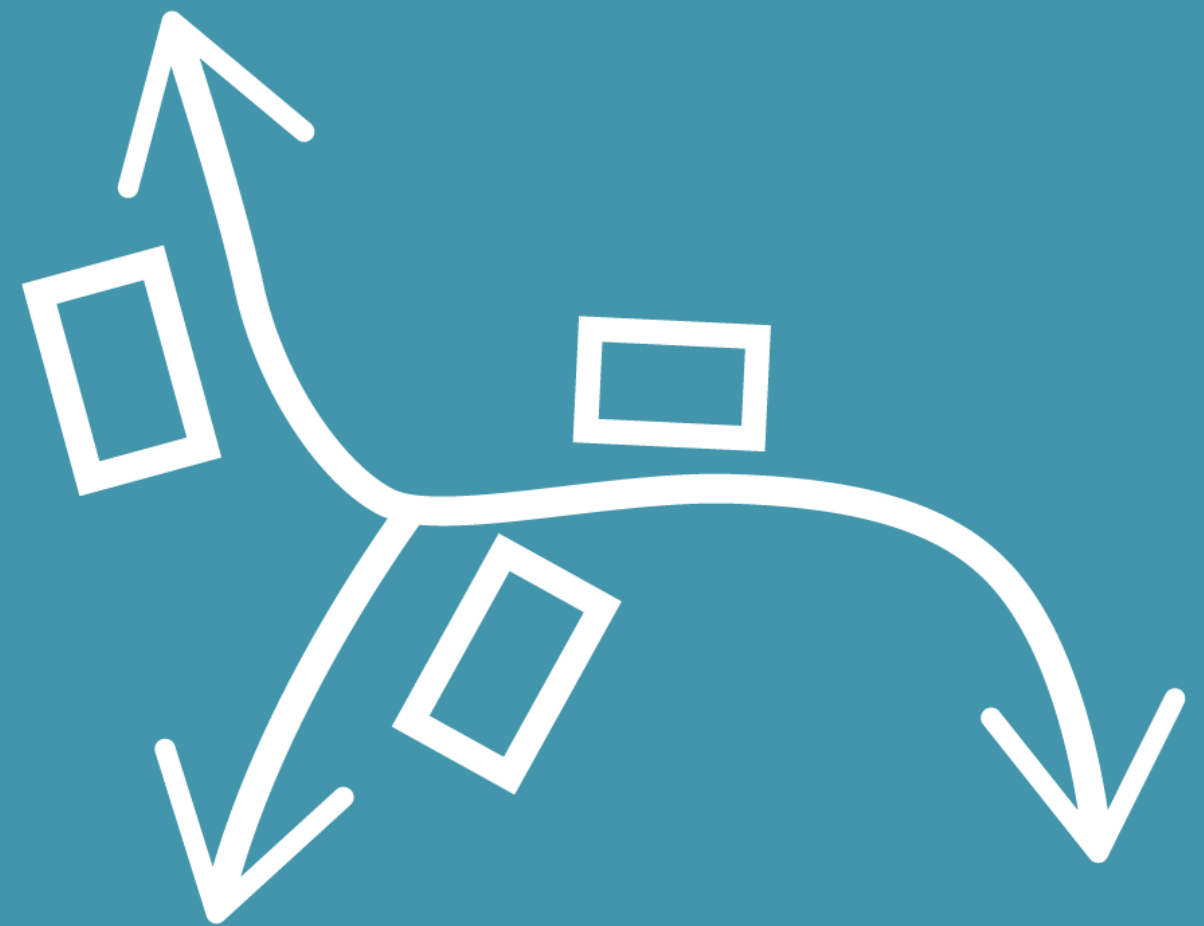
d. Comparaison des besoins énergétiques par usages de consommation selon les ambitions de performance





➔ Etant donné la temporalité du projet, le niveau RT2012-20%, équivalent attendu de la future RE2020, est pris comme référence pour les besoins énergétiques futurs sur le site. Ainsi, les besoins sont estimés à environ 9,38 GWh annuels.

II. 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.

1. L'ÉNERGIE SOLAIRE

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

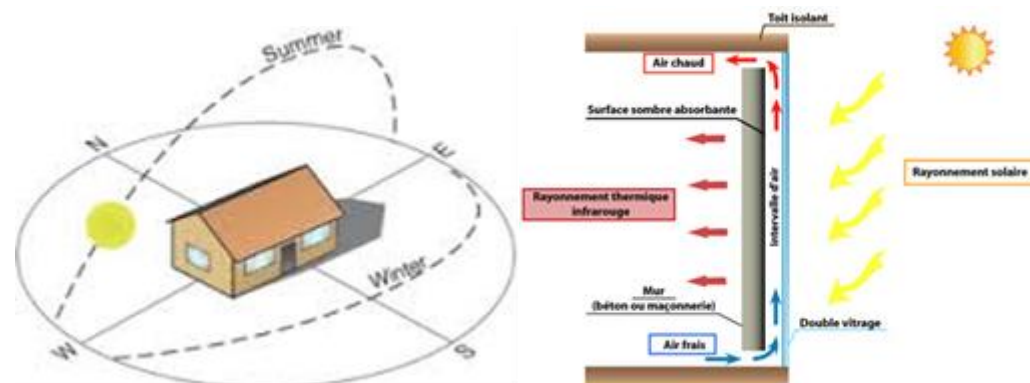
- La conception adaptée des bâtiments, qui permet d'exploiter au mieux les apports solaires pour couvrir les besoins de chauffage ;
- Les panneaux solaires thermiques peuvent être utilisés pour la production d'eau chaude sanitaire, pour le chauffage des constructions ou encore pour la production de froid.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

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.

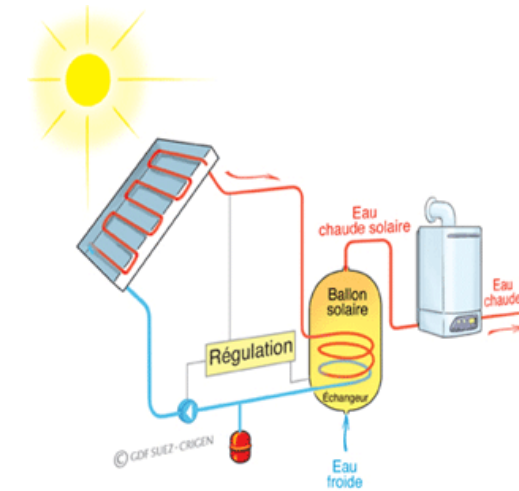


Ensoleillement des façades et mur trombe

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

1.2. Solaire thermique

a. 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.

b. 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 (3 000 à 3 500 euros posé fourni).
- **Pour les immeubles collectifs** : Plusieurs types de solutions sont possibles. Ces solutions couvrent jusqu'à 50% des besoins ECS du bâtiment. Le coût de revient est d'environ 1 500 euros par logements. Ces technologies sont éligibles au fonds de chaleur.

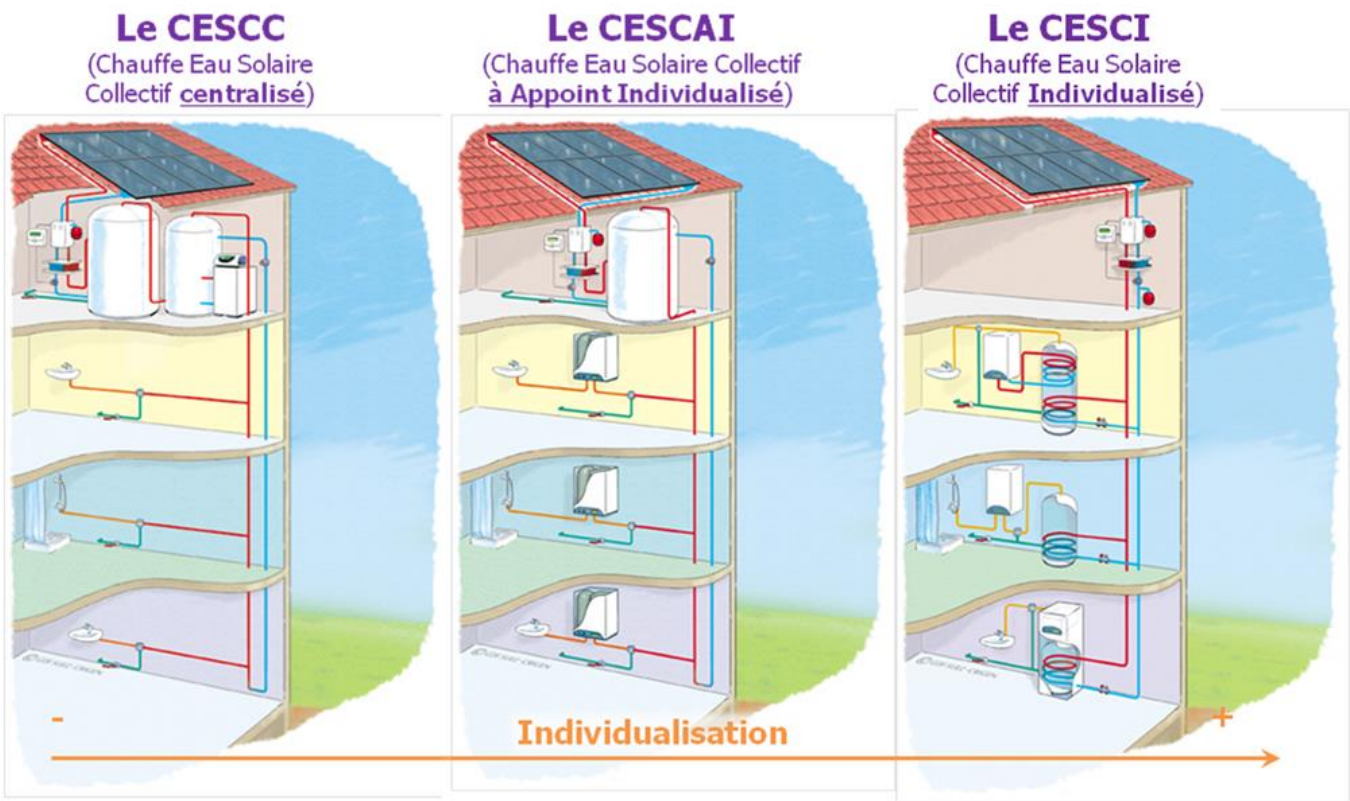


Schéma des différents types de chauffe-eau solaires

c. Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Contraintes
Valorisation de l'énergie solaire (ressource gratuite, renouvelable et inépuisable)	Système seulement adapté aux bâtiments ayant des besoins importants en ECS
Système fiable nécessitant peu de maintenance	Oblige la solarisation des toitures
Fonctionnement n'émettant aucune nuisance sonore et aucun polluant	Nécessite un système d'appoint (électricité ou combustible)
Système nécessitant que peu d'énergie grise pour sa fabrication et peu d'électricité pour son exploitation	Contraintes réglementaires : panneaux devant figurer dans le permis de construire et dans les documents d'urbanisme locaux (autorisation)
Bon rapport production/investissement	

d. 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.

e. Subvention 2021

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 opérations couplées à des Réseaux de Chaleur dont la surface solaire est inférieure ou égale à 1 500 m², afin de contribuer l'objectif d'atteindre une alimentation globale couverte par au minimum 65% d'EnR&R, et dont la contribution solaire est inférieure à 20%.

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) ;
- Le respect d'une CEP (consommation d'énergie primaire) inférieure à CEPmax-15% ;
- La productivité solaire minimum par m² en fonction de la région (350 kWh utile/m²) ;
- La mise en place systématique d'une procédure monitoring de l'installation.

D'autres aides existent également : différentes réductions en provenance de l'Etat (crédit d'impôt de 30%, taux de TVA réduit à 5,5%), de la banque (éco-prêt à taux zéro), de l'ANAH, ou encore de la région.

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

f. Tableau récapitulatif

Technologie	 Productivité annuelle (en kWh/m²)	 Prix/m²	 Retour sur investissement	 Retour sur expérience	 Durée de vie	 Coût de l'énergie (en €/kWh)
Solaire thermique	450 à 550	800 à 1 500€	10 à 15 ans	Très bon	20 ans	0.2

1.3. Climatisation solaire

a. 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 l’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 centralisées ;
- Les systèmes ouverts dans lesquels l’air est directement traité en fonction du confort souhaité.

b. Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Contraintes
Système pouvant être couplé avec le chauffage solaire pendant l’hiver	Technique encore en phase expérimentale, voire en phase de démonstration
Fonctionnement n’émettant aucune nuisance sonore et aucun polluant	Oblige la solarisation des toitures
Système nécessitant que peu d’énergie grise pour sa fabrication et permettant d’éviter l’utilisation de l’électricité en été pour la climatisation	
Système nécessitant peu de maintenance	
Couvertures des besoins pouvant aller jusqu’à 66%	

c. 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.

d. Subvention 2021

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.

e. Tableau récapitulatif

Technologie	 Productivité annuelle (en kWh/m²)	 Prix/m²	 Retour sur investissement	 Retour sur expérience	 Durée de vie	 Coût de l'énergie (en €/kWh)
Climatisation solaire	100	1 500 €	10 à 15 ans	Très mauvais	30 ans	0.18

1.4. Le solaire photovoltaïque

a. 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 des 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

b. Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Contraintes
Système fiable ne nécessitant que peu de maintenance	Analyse de cycle de vie des modules peu connue actuellement
Fonctionnement n’émettant aucunes nuisances sonores et aucun polluant	Emprise au sol ou en toiture importante (4 à 5 fois plus que pour le solaire thermique)
Possibilité de décentraliser la production	Système nécessitant une grande quantité d’énergie pour sa fabrication

Un panneau photovoltaïque produit quatre fois plus d’énergie au cours de son fonctionnement qu’il n’en a utilisée pour sa fabrication	
Système nécessitant peu de maintenance	
Bilan carbone quasi-nul de la phase d’exploitation (production d’électricité non émettrice de gaz à effet de serre)	

c. 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€/HT/W pour des systèmes de puissance nominale inférieure à 10 kW, selon le niveau d’intégration au bâtiment des modules ;
- De l’ordre de 2€/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€/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.

d. 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 A ce jour (2^{ème} trimestre 2020), les prix de rachat en cas de vente totale de l’énergie produite et selon les technologies disponibles, sont les suivants :

Type installation	Puissance (kWc)	Tarifs (c€/kWh) du 1/04 au 30/06/2020
Intégration au bâti (avec fin de la prime IAB depuis le 30/09/18)	≤ 3 kWc	18,53 + 0,00 = 18,53 € 15,75 + 0,00 = 15,75€ fin de la prime IAB (0,00 €) depuis le 31/09/18
	≤ 9 kWc	
Intégration simplifiée au bâti (ISB)	≤ 3 kWc	18,53 €
	≤ 9 kWc	15,75 €
Non intégré au bâti ou IAB/ISB < 100kWc	≤ 36 kWc	12,07 €
	≤ 100 kWc	10,51 €

Source : les-energies-renouvelables.eu

e. Subventions 2021

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	100 premiers kWc et 30 % du montant total HT du projet incluant les couts des batteries et solution de référence déduite
Projets participatifs et citoyens avec maîtrise citoyenne de la gouvernance	0 % / 100 %	≥ 3 kWc	400 €/kWc	
Site Isolé	100 %	≥ 3 kWc	300 €/kWc	

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

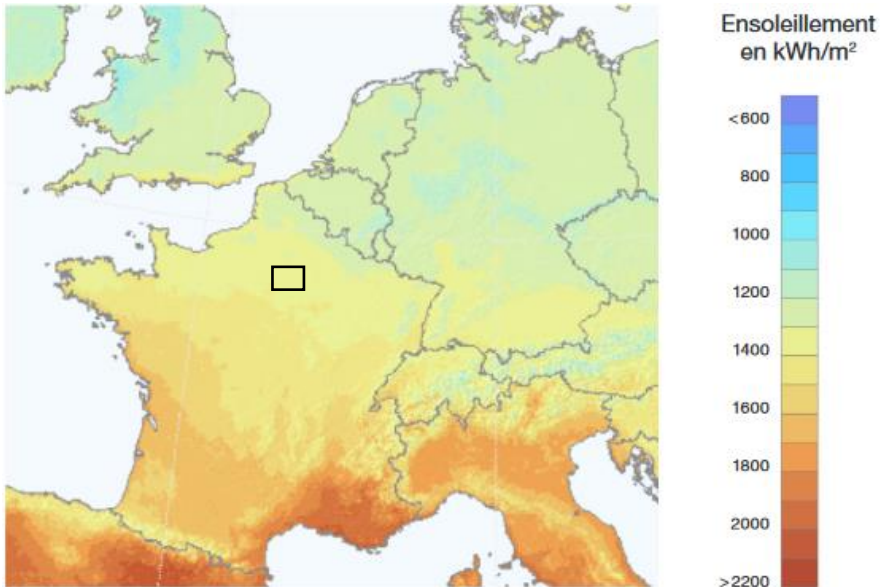
Puissance de l'installation	Prix de revente en surplus au kWh
Inférieure ou égale à 9 kWc	10 centimes d'euros
Entre 9 et 100 kWc	6 centimes d'euros

f. Tableau récapitulatif

Technologie	Productivité annuelle (en kWh/m²)	Prix/m²	Retour sur investissement	Retour sur expérience	Durée de vie	Coût de l'énergie (en €/kWh)
Solaire photovoltaïque	150	700 à 1 000€	15 ans	Très bon	25 à 30 ans	0.23

1.5. Le gisement solaire local

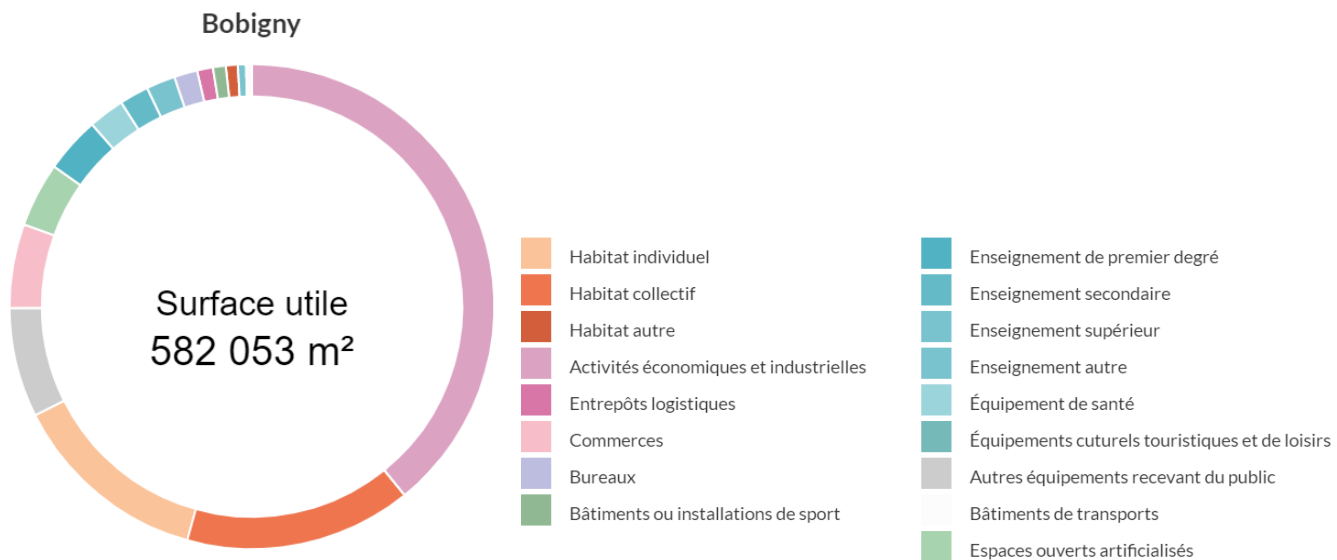
L’ensoleillement moyen à la station du Bourget est de l’ordre de 1 766 h/an, contre une moyenne nationale d’environ 1 850 h/an. Le maximum d’ensoleillement a lieu en juillet (280,8h) et le minimum en décembre (33,5h).



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

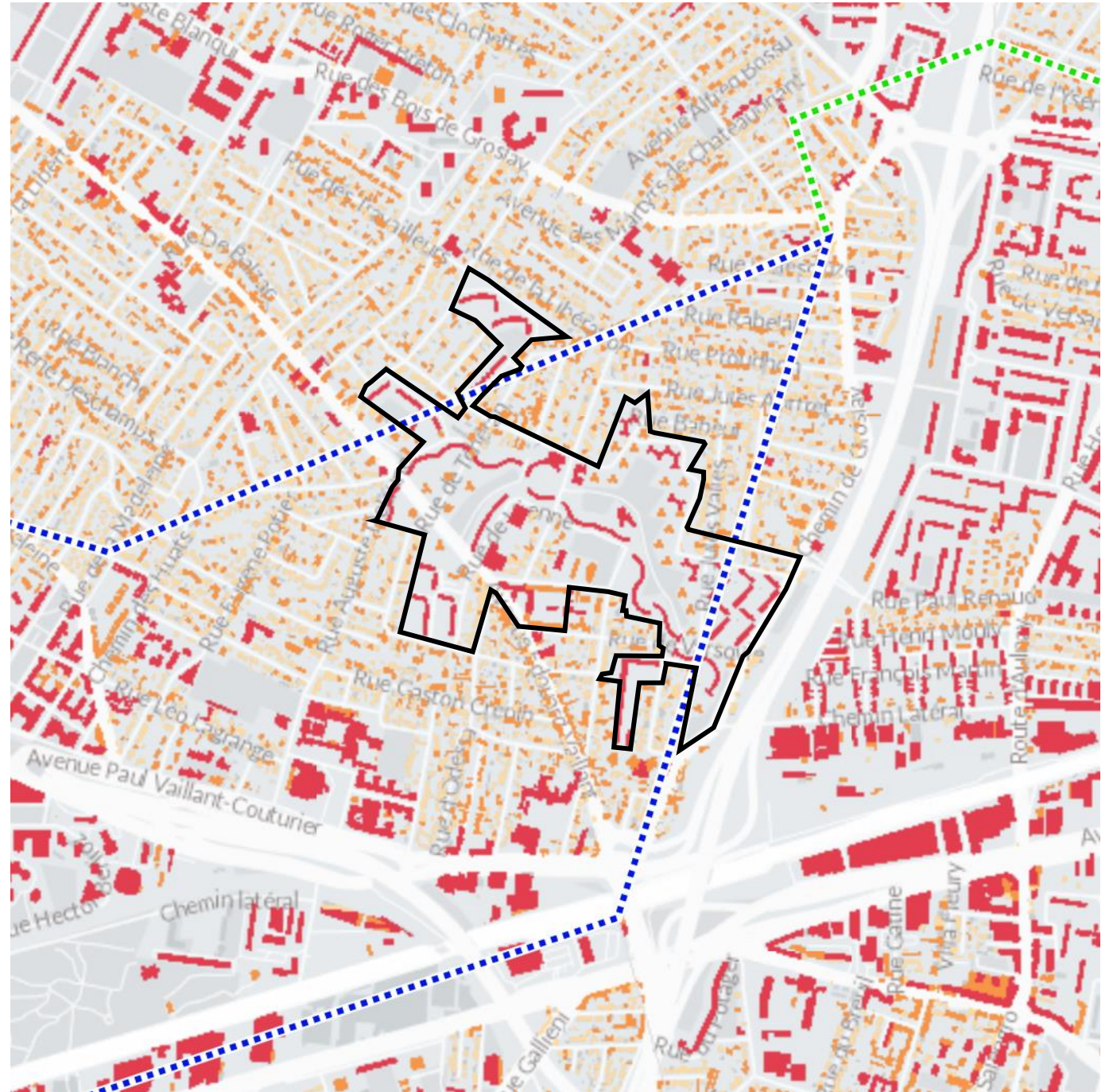
Toutefois le potentiel reste intéressant à l'échelle locale avec une puissance du rayonnement solaire de près de 1 285 kWh/m²/an. Les toitures des futurs bâtiments représentent des surfaces favorables à l'implantation de panneaux solaires.

Selon les données de l'Institut Paris Région, la commune de Bobigny présente près de 582 000 m² de surface utile pour l'installation de panneaux solaires, pour un gisement potentiel de près de 67 974 MWh à l'échelle communale. La surface utile disponible est principalement présente pour les bâtiments d'activités économiques et industrielles, ainsi que pour de l'habitat individuel et collectif.



Répartition de la surface utile pour le gisement solaire selon la nature du bâtiment sur la commune de Bobigny – Source : Institut Paris Région 2012

La carte ci-dessous identifie le gisement solaire disponible sur le quartier Edouard Vaillant – Abreuvoir selon la typologie de toiture existante. Il apparaît que la majorité des toitures est favorable à l’implantation d’une surface moyenne (10 à 50 panneaux) ou importante (plus de 50 panneaux).



Les gisements solaires

Gisement solaire du bâtiment

-  Toiture défavorable
-  Toiture favorable sur une petite surface (2 à 9 panneaux)
-  Toiture favorable sur une surface moyenne (10 à 50 panneaux)
-  Toiture favorable sur une surface importante (plus de 50 panneaux)

Gisement solaire disponible à l'échelle du bâtiment – Source : Institut Paris Région 2012

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	Bobigny			
Latitude du lieu	48°55			
Modules PV	Générique multicristalin (Verre/Tedlar) Si	Générique monocristalin (Verre/Tedlar) Si	Générique amorphe (Verre/Tedlar) Si	Générique Si CdTe (Verre/Tedlar)
	Pussance 172 Wc	Pussance 217 Wc	Pussance 90 Wc	Pussance 75 Wc
Orientation	0 ° / Sud			
Inclinaison	30 ° / horizontale			
Surface utile	99 m²			
Puissance crête	11,4 kWc	14,3 kWc	5,9 kWc	10,3 kWc
Total énergie (kWh/an)	10 387	13 281	5 486	9 651
Total CO2 évité (kg/an)	3 739	4 781	1 975	3 474
Productivité (kWh/kWc.an)	915	927	924	940

Production énergétique pour différents types de modules photovoltaïques. Source : Tecsol

Sur le site, 100 m² de panneaux solaires permettraient donc de produire entre 5 486 et 13 281 kWh/an, selon la technologie choisie.

Le temps de retour sur investissement varie de 15 à 20 ans selon le type de panneaux solaires installés. Cette technologie est donc envisageable pour le projet.

2. L'ENERGIE EOLIENNE

2.1. Le grand éolien et le petit éolien

a. Présentation des technologies

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 répandue 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 mètres.



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

b. Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Capacité de production importante	Production variable selon le vent
	Potentiel dépendant de l'environnement (v supérieur à 4.5 m/s)
Installation nécessitant peu d'emprise au sol (peut-être mutualisée avec des champs agricoles)	Contrainte d'implantation forte (aucune éolienne à moins de 500 m des habitations)
Faible en énergie grise	Nécessite une étude de vent in-situ
Très bon rapport production/investissement, retour énergétique (fabrication/production) sur leur durée de vie de l'ordre de 80 = temps de retour énergétique de quelques semaines à quelques mois)	Contraintes environnementales, aéronautiques et paysagères élevées (Impact visuel, brouillage des radars, nuisances sonores à proximité directe et impact potentiel sur la faune et la flore...)

c. 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 cout 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.

d. Subventions 2021

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).

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	8.2	8,2
3 600 heures et plus	8.2	2,8

Tarif de rachat de l’électricité produite par l’énergie éolienne, arrêté du 14 décembre 2016

Depuis 2016, le tarif de rachat est fixé à 8.4 c€/ kWh pendant les 10 premières années puis entre 2.8 et 8.2 c€/ kWh pendant les 5 années suivantes (déterminé selon le nombre d’heures de production/an).

La région Champagne-Ardenne œuvre en faveur du développement éolien et a notamment accordé 31 ZDE pour une puissance maximale de 2 845MW. Pour autant, la région ne subventionne par le grand éolien.

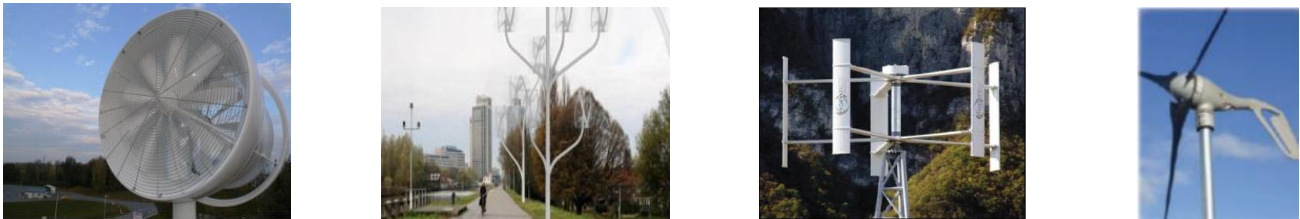
e. Tableau récapitulatif

Technologie	Productivité annuelle (en GWh)	Prix/ MW	Retour sur investissement	Retour sur expérience	Durée de vie	Coût de l’énergie (en €/kWh)
Grand Eolien	1,5 à 5	1,6 à 2 M€	10 ans	Très bon	20 ans	0,075

2.2. L’éolien urbain

a. 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.

b. Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Aucune variation de fonctionnement selon le vent	Production faible et intermittente
Intégration facile dans le paysage, nuisance sonore peu importante et aucun rejet de gaz à effet de serre	Technologie nouvelle avec peu de retours d’expériences engendrant un coût d’investissement important
Installation sur les espaces bien exposés et souvent non utilisés (proximité des voies de circulation, toit...)	Nécessite une étude de vent in-situ
Large plage de fonctionnement	
Faible en énergie grise	

c. 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.

d. Subventions 2021

Le Crédit d’Impôt pour la Transition Énergétique (CITE) autorise les particuliers à répercuter jusqu’à 75% du coût de leur rénovation énergétique directement sur leurs impôts jusqu’à un montant de 2400€ pour une personne seule et 4800€ pour un couple. Ce crédit d’impôt peut être demandé pour les travaux suivants :

- Remplacement de fenêtres en simple vitrage par des fenêtres en double vitrage
- Équipement de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire fonctionnant au bois, énergie solaire ou autre biomasse
- Pompes à chaleur autre que air/air
- Diagnostic de performance énergétique, quand il n'est pas obligatoire (1 par logement par période de 5 ans)
- Matériaux d'isolation thermique (hors fenêtres ou portes)
- Dépose d'une cuve à fioul
- Installation d'une VMC à double flux
- Système de charge d'un véhicule électrique.

Il 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.

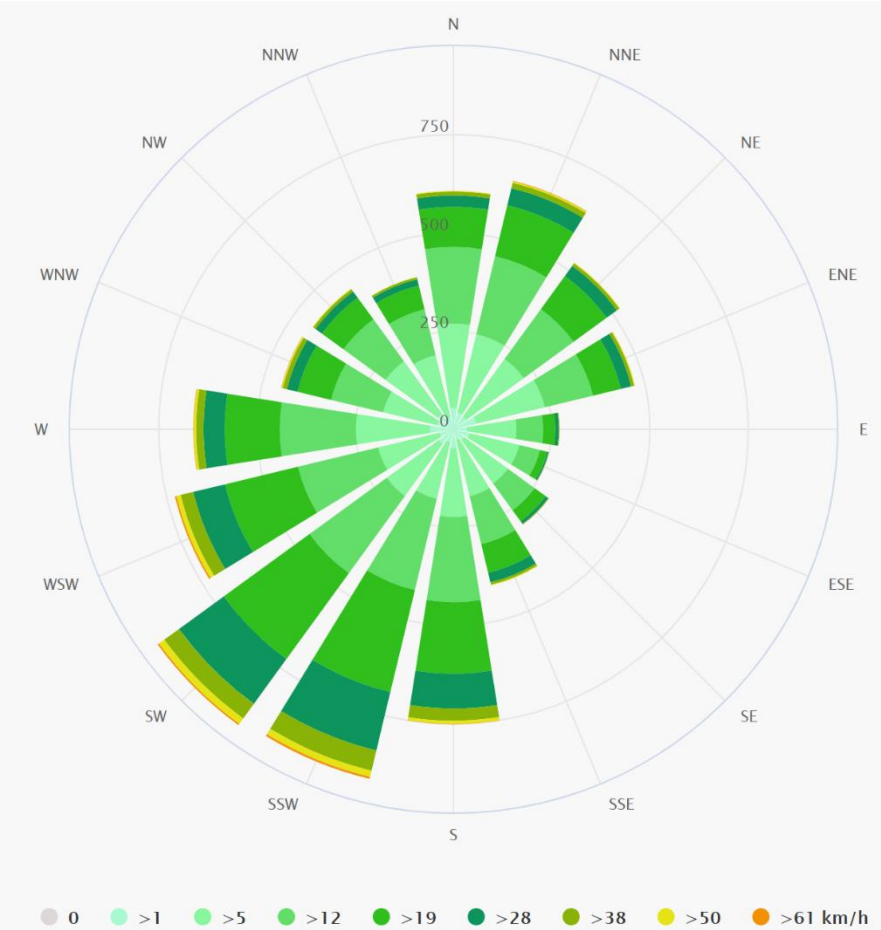
e. Potentiel éolien local

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.

2.3. Gisement éolien local

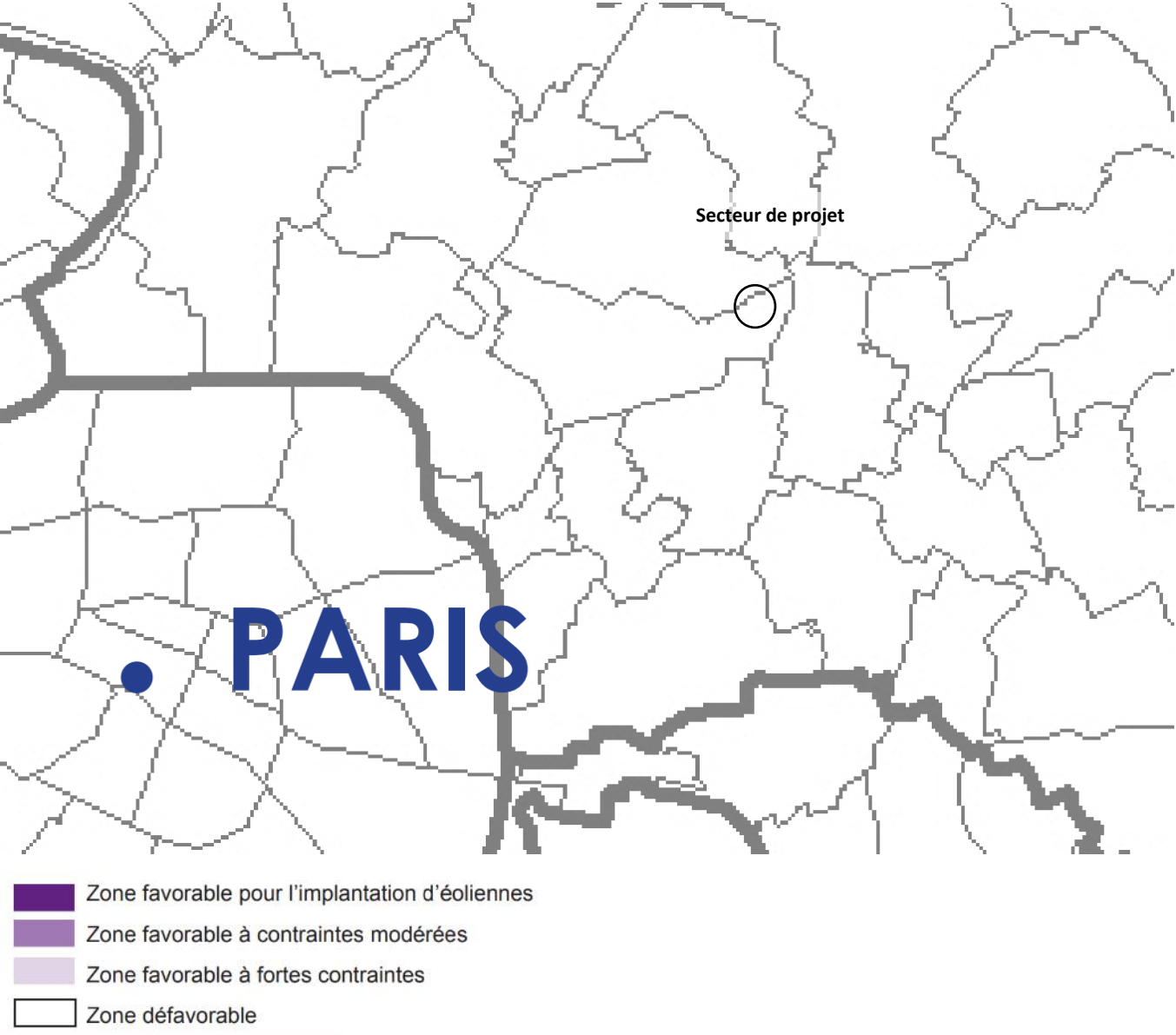
a. Grand éolien

Les vents dominants sont orientés sud-ouest et sud-sud-ouest avec une force comprise entre 10 et 20 km/h. les vents provenant du sud et de l'ouest sont également importants avec des forces d'environ 15 km/h.



Rose des vents moyenne sur l'année à Bobigny – Source : meteoblue.com

Malgré des vents fréquents, le Schéma Régional Eolien d'Île-de-France n'identifie par la commune de Bobigny comme favorable à l'implantation d'éoliennes.

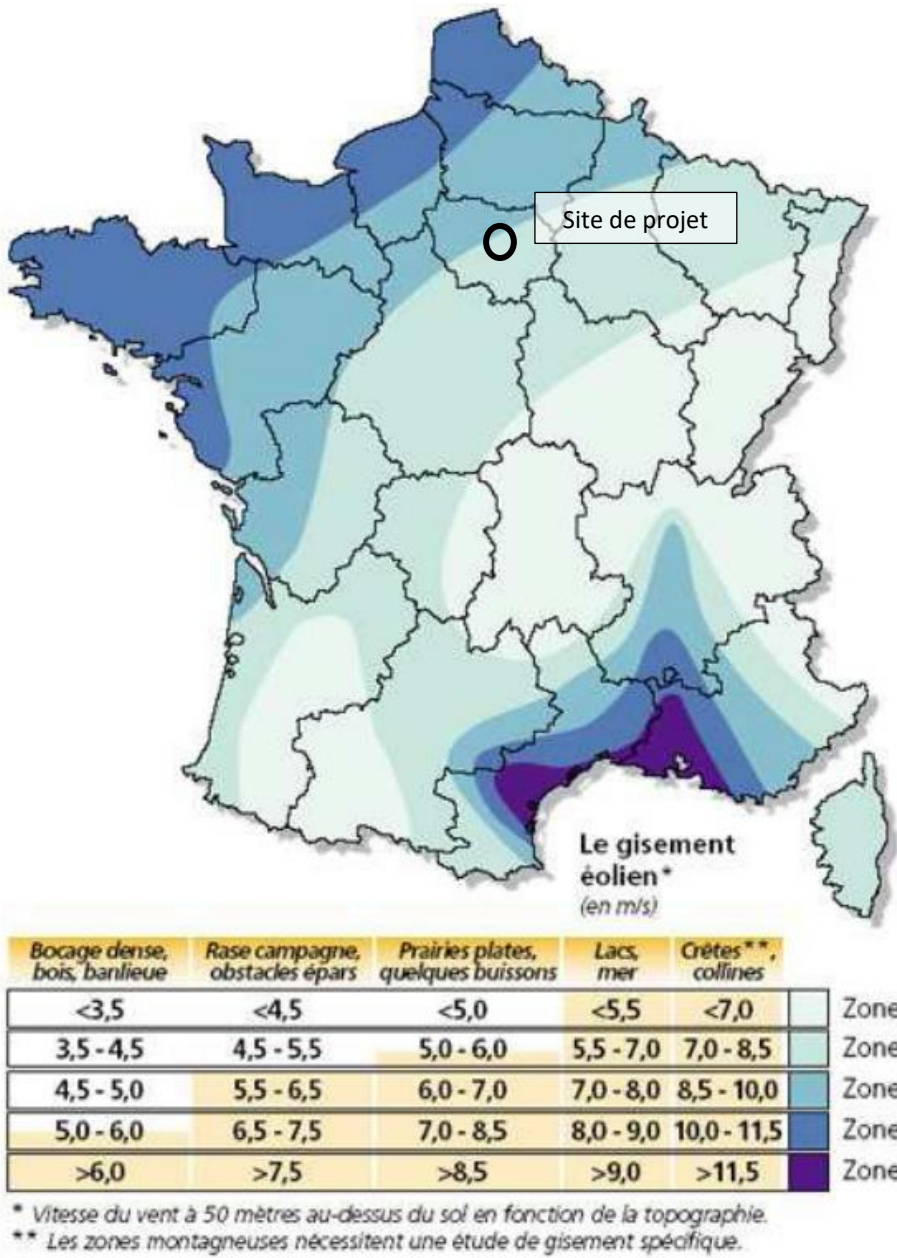


Extrait de la carte des communes disposant de zones favorables de taille suffisante pour le développement de l'énergie solaire – Source : Schéma Régional Eolien de la Région Île-de-France

Le site ne semble donc pas adapté à l'implantation de sources de production énergétique à partir d'énergie éolienne.

b. 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 50m 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 vitesse du vent, relativement faible, de 4 m/s.



Source : SRCAE Île-de-France

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.

Cette technologie n'est pas la plus adaptée au projet, compte tenu du contexte urbain dense.

3. L'ÉNERGIE GEOTHERMIQUE

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.

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.

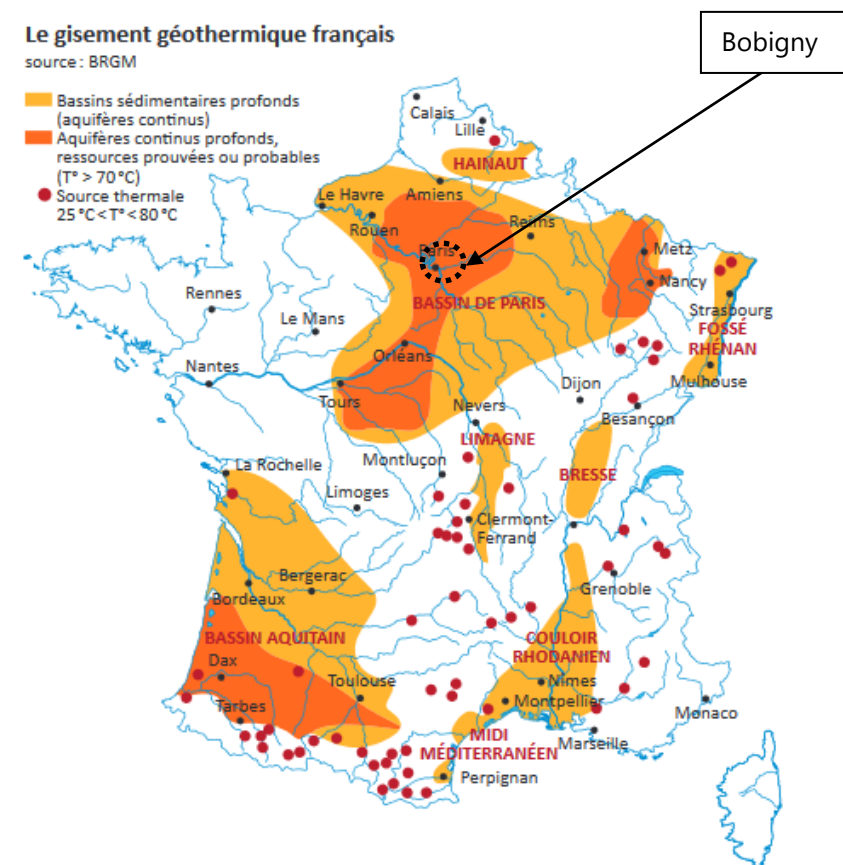
Un tel contexte ne se retrouve pas en Région Île-de-France. La production d'électricité par géothermie haute énergie n'est donc pas pertinente.

3.2. Basse énergie

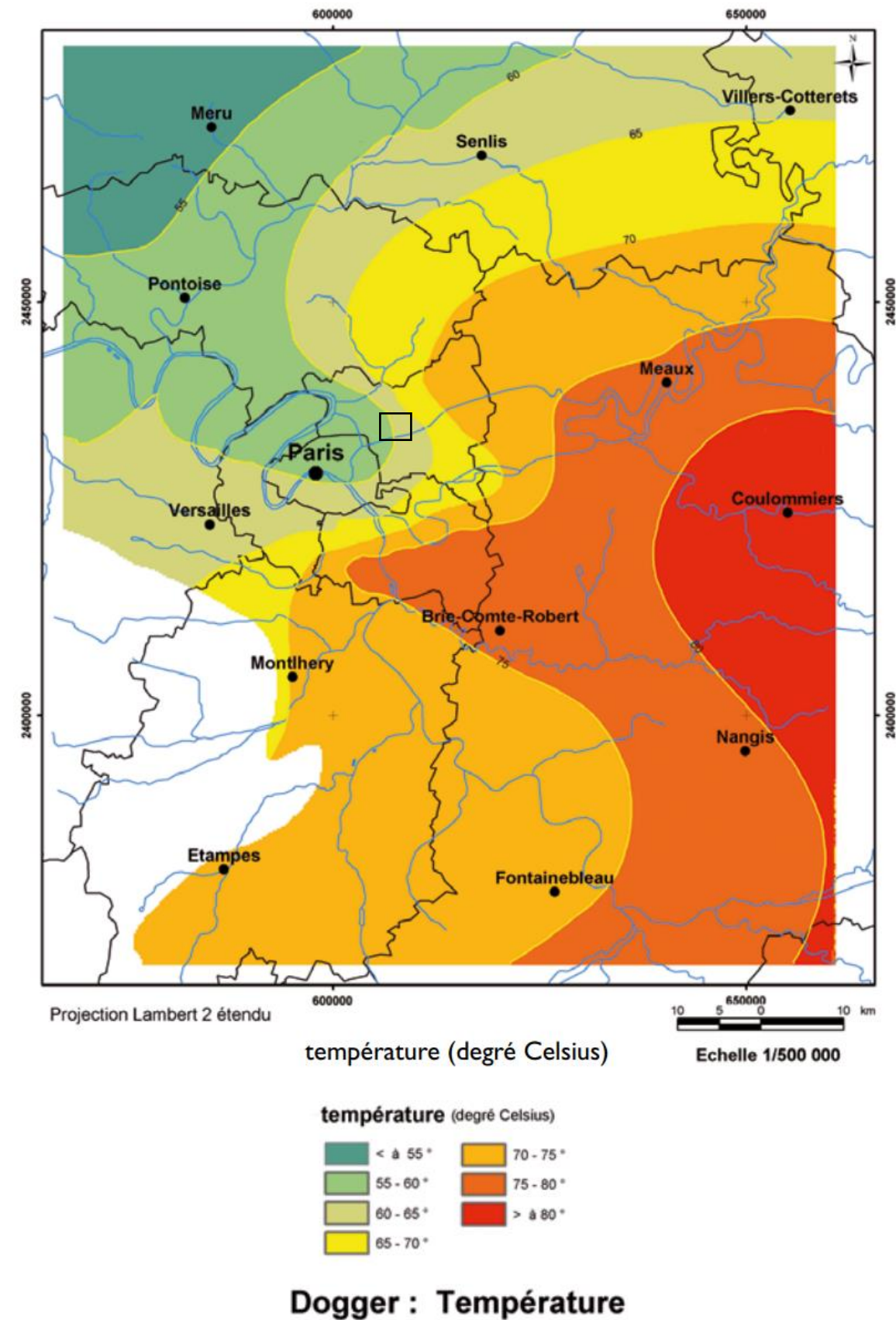
Consiste en l'extraction d'une eau chaude (entre 50 et 90°C) dans des gisements situés entre 1500m et 2500m de profondeur. Le niveau de chaleur est directement adapté au chauffage des bâtiments.

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 2 000 mètres de profondeur à une température comprise entre 60 et 80°C.



Carte du gisement géothermique en France- Source : BRGM



Carte de répartition des températures du Dogger en Île-de-France – Source : ADEME

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 (> 2000m) 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 5 000 équivalents logement). Comme cela a été le cas lors de la réalisation de l'EcoQuartier Boule/Sainte-Geneviève en région Ile-de-France.

3.3. Très basse énergie

a. Pompe 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).

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.

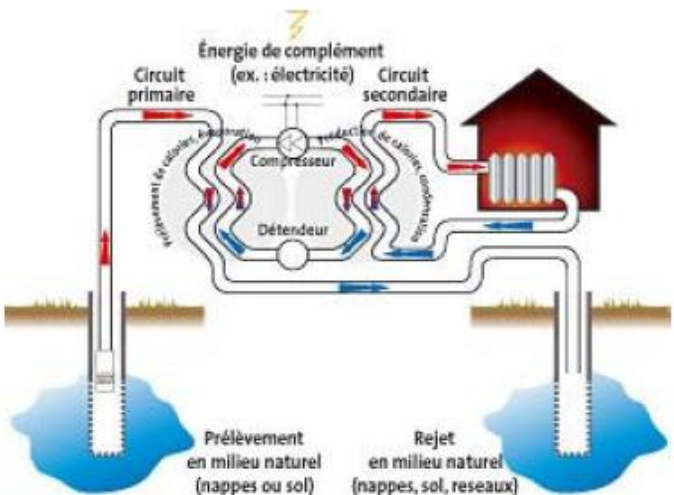


Schéma de principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur sur eau de nappe

b. 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.

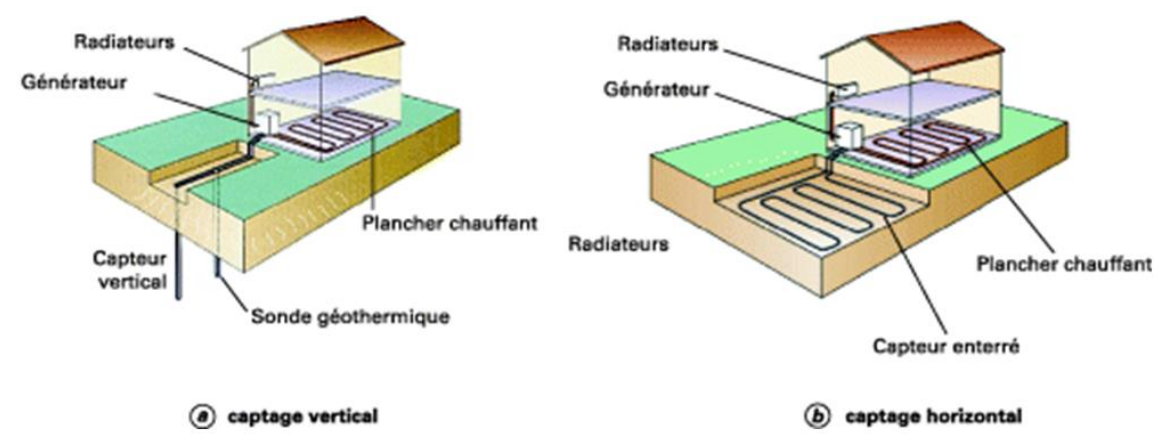


Schéma de principe des sondes géothermiques verticales ou horizontales

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.

c. 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.

d. Atouts et contraintes de la technologie géothermie sur aquifères

Atouts	Faiblesses
Production constante toute l’année	Nécessite l’installation d’une PAC (consommation d’énergie primaire, électricité ou gaz)
Energie complètement renouvelable	Investissement très important pour la deuxième et troisième technologie (forages des sondes verticales)
Installation faible en émission de gaz à effet de serre (seulement issue de la PAC)	Phase chantier pour les forages peut engendrer des nuisances sonores pour les riverains

	Nécessite une grande superficie pour les phases construction et exploitation
	Réglementation très contraignante concernant le prélèvement de l’eau dans le cas d’un tirage sur aquifère servant à l’eau potable (qualité de l’eau…)

e. 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.

f. Subvention 2021

L’ADEME finance trois types de projets liés à la géothermie :

- Géothermie sur nappe pour une production entre 50 et 1 000 MWh EnR/an,
- Géothermie sur champ de sondes pour une production entre 25 et 1 000 MWh EnR/an,
- Géothermie sur eaux usées pour une production entre 100 et 1 000 MWh EnR/an.

Les dépenses d’étude, d’essais de pompage, de forage, d’équipement de local, de main d’œuvre sont toutes éligibles aux aides régionales.

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 2017 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.

g. Autres soutiens financiers

i. Crédit d’impôts

La pompe à chaleur géothermique fait partie des installations éligibles au crédit d’impôt pour la transition énergétique (CITE), qui permet de déduire de l’impôt sur le revenu 30% des dépenses réalisées pour les travaux d’amélioration de la performance énergétique.

ii. Eco-prêt à taux 0 % pour une pompe à chaleur géothermique

Pour obtenir l’éco-prêt à taux 0%, il faut réaliser plusieurs travaux visant à améliorer l’efficacité énergétique d’un logement individuel. La pose d’une pompe à chaleur se combine particulièrement bien avec d’autres types de travaux tels que la pose d’une chaudière à condensation, etc.

h. Tableau récapitulatif

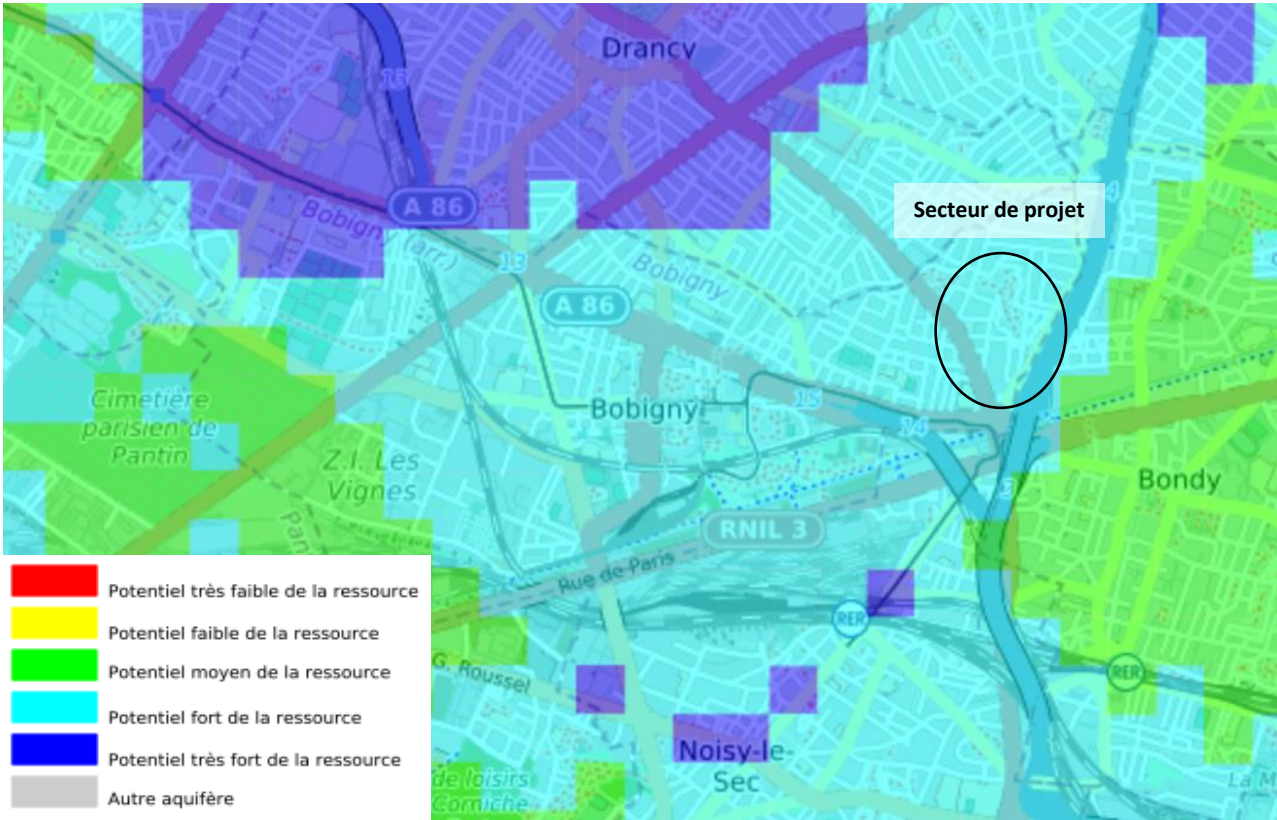
Technologie	 Productivité annuelle (en kWh/ml)	 Prix/MW	 Retour sur investissement	 Retour sur expérience	 Durée de vie	 Coût de l’énergie (en €/kWh)
Géothermie sur aquifère	17,5	/	7 à 10 ans	Très bon	15 à 20 ans	0,071

3.4. Potentiel géothermique des sites

Le potentiel du site pour la géothermie très basse énergie peut être évalué grâce au potentiel de la nappe du meilleur aquifère sous le site de projet.

Le site de projet est situé en zone très favorable (potentiel fort) vis-à-vis du développement de la géothermie superficielle depuis la nappe du meilleur aquifère.

Le site semble donc adapté à la production d’énergie géothermique qu’elle soit basse ou très basse énergie. Toutefois, celle-ci est déjà exploitée par le réseau de chaleur intercommunal présenté plus en détail ci-après.

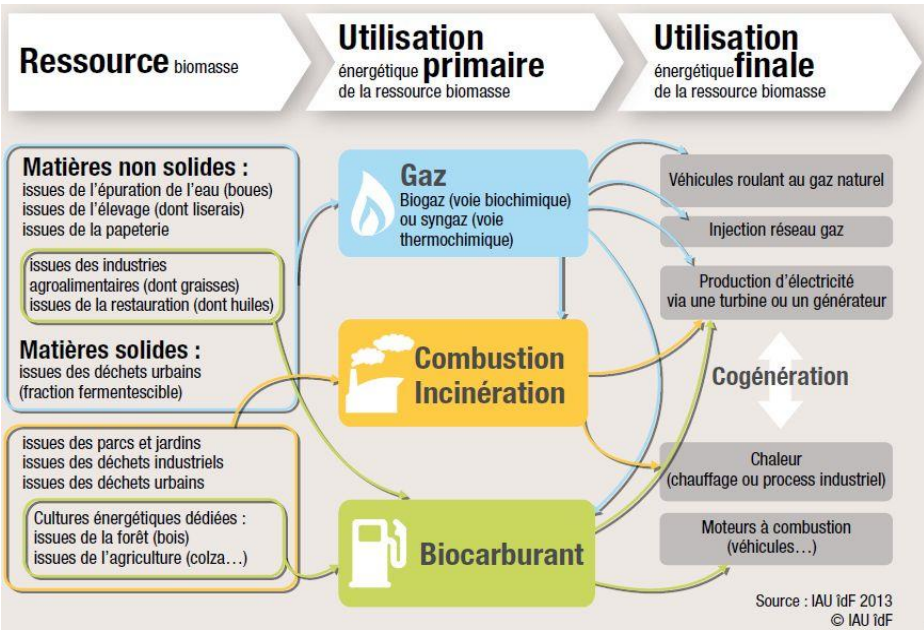


Cartographie du potentiel géothermique – Source : Géothermies.fr

4. LA BIOMASSE

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.

4.2. Bois-énergie

a. Présentation des technologies

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 :

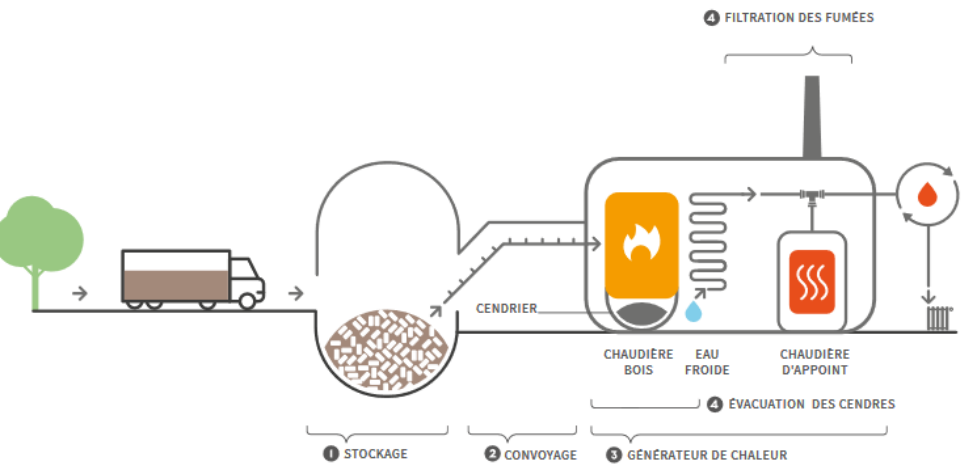
- La ressource forestière (boisement, taillis, rémanents d'exploitation...) et les résidus d'élitage ;
- Les sous-produits de l'industrie du bois (sciures, copeaux, écorces...) ;
- Les bois de rebut non souillés (palettes, cagettes...).

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 convoyage
- 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 émanant des systèmes de dépoussiérage.

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

b. Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Approvisionnement grâce à la filière locale (installation devant être implantée à proximité de la ressource)	Au-delà de 50 km de distance pour aller chercher le combustible, la solution est peu viable (monopolisation de la ressource, transport...)
Coût du combustible très bas (peu d'augmentation planifiée)	Approvisionnement en milieu urbain engendrant des nuisances supplémentaires (augmentation du nombre de camions). Le transport fluvial est difficilement réalisable du fait des difficultés de déchargement du combustible)
Aspect social et économique local : création d'emplois ou diversification des sources des revenus pour les agriculteurs (autre type d'énergie que le bois énergie)	Impacts sur la morphologie urbaine nombreux : installation classée en tant qu'ICPE, grande surface de foncier nécessaire, hauteur de cheminée contrainte par l'arrêté du 27 juillet 1997 (coût supplémentaire...)
Bilan carbone nul	Investissement de la centrale important + nécessité d'intégrer un filtre (25% du coût en plus) pour les poussières + coût de la cheminée...
Part des énergies renouvelables très haute (plus de 85%)	Rentabilité du réseau et de la construction de la centrale qu'à partir d'une certaine densité énergétique

c. Coût 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.

d. Subvention 2021

Le fond de chaleur (engagement majeur du Grenelle de l'environnement) géré par l'Ademe permet de financer, à parité avec la Région Île-de-France, 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 ayant une production minimum de 1 200 MWh/an d'énergie biomasse sortie chaudière
- Utiliser l'une des 4 catégories de ressources suivantes : Catégorie 1 : plaquettes forestières et assimilées, Catégorie 2 : Connexes et sous-produits de l'industrie de première transformation du bois, Catégorie 3 : Bois fin de vie et bois déchets, Catégorie 4 : Granulés
- Avoir un rendement thermique à puissance nominale doit être supérieur à 85%
- Avoir un système de traitement des fumées performant

	Production annuelle (MWh/an)	Aide en €/MWh (20 ans)
Chaufferie Biomasse supérieure à 1200 et inférieure ou égale à 6000 MWh/an (sortie chaudière)	Jusqu'à 3000	8,2
	3000 à 6000	5,9
Chaufferie Biomasse supérieure à 6000 MWh/an (sortie chaudière)	Jusqu'à 3000	8,2
	3000 à 6000	5,9
	6001 à 12 000	2,8
	> 12 000	1,4

Cette aide est plafonnée selon la production de chaleur, pour les réseaux et sous stations, elle ne peut dépasser les 50%.

Un bonus de 10% (5 % Région, 5 % ADEME) peut être versé en cas de mise en place d'un système de filtration dont la valeur limite d'exposition (VLE) aux poussières est inférieure à 30

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.

e. Tableau récapitulatif

Technologie	 Productivité annuelle en kWh/T	 Prix/MW	 Retour sur investissement	 Retour sur expérience	 Durée de vie	 Coût de l'énergie (en €/kWh)
Chaufferie biomasse	1.3	1M€	8 à 10 ans	Très bon	50 ans	0.037

4.3. Le bois-énergie – cogénération

a. 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 minime 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).

b. 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.

c. Subvention 2021

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.

d. Tableau récapitulatif

Technologie	Productivité annuelle (en kWh/T)	Prix/ MW	Retour sur investissement	Retour sur expérience	Durée de vie	Coût de l'énergie (en €/kWh)
Cogénération	4,5	2M€	8 à 10 ans	Très bon	50 ans	/

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)

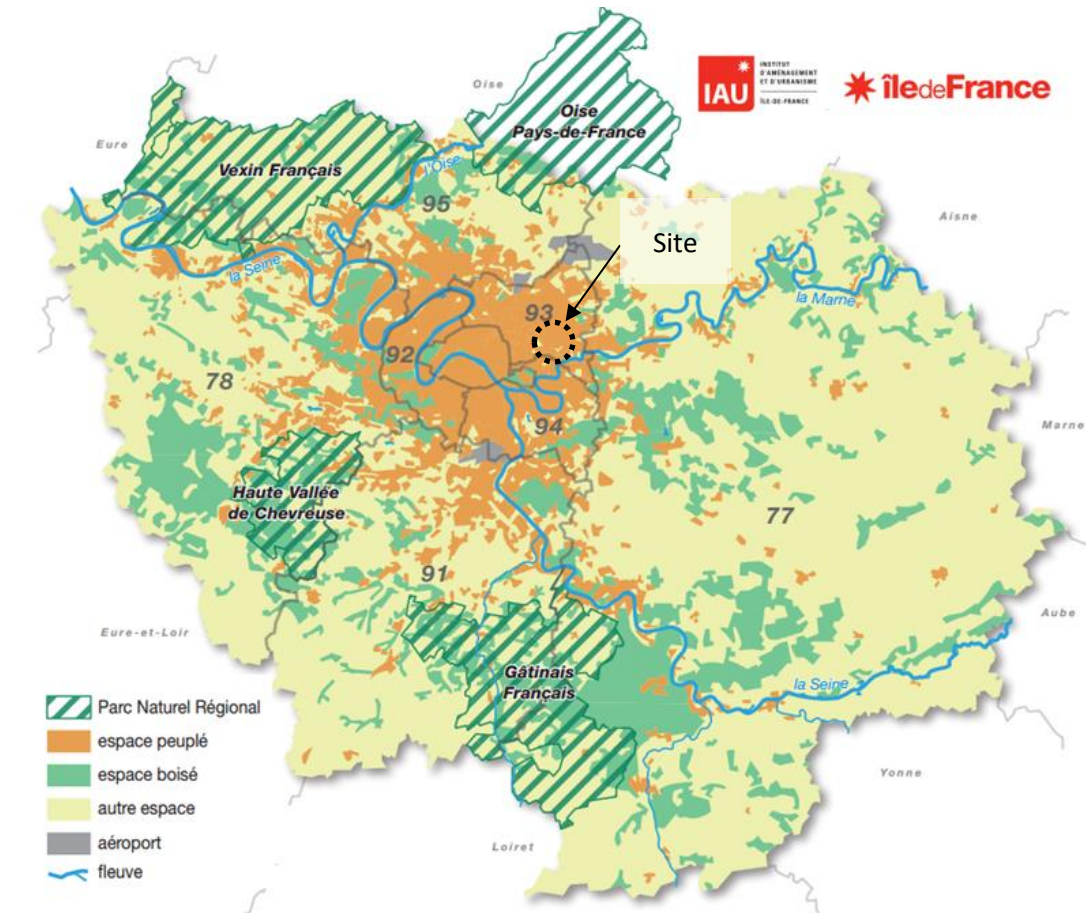
Le bois énergie est considéré comme une énergie renouvelable, à condition que le stock prélevé chaque année soit reconstitué. Le bois énergie est donc une énergie renouvelable mais limitée. Elle doit donc être utilisée de manière efficace avec des systèmes performants. A ce titre, il peut être plus pertinent 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).

a. 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 la Seine et Marne occupent une place moyenne du territoire avec 23% de sa surface recouverte par la forêt. Toutefois, le secteur d'étude étant situé en Seine Saint-Denis, la forêt occupe une place très limitée du fait d'un tissu urbain dense, comme le montre la carte ci-dessous.

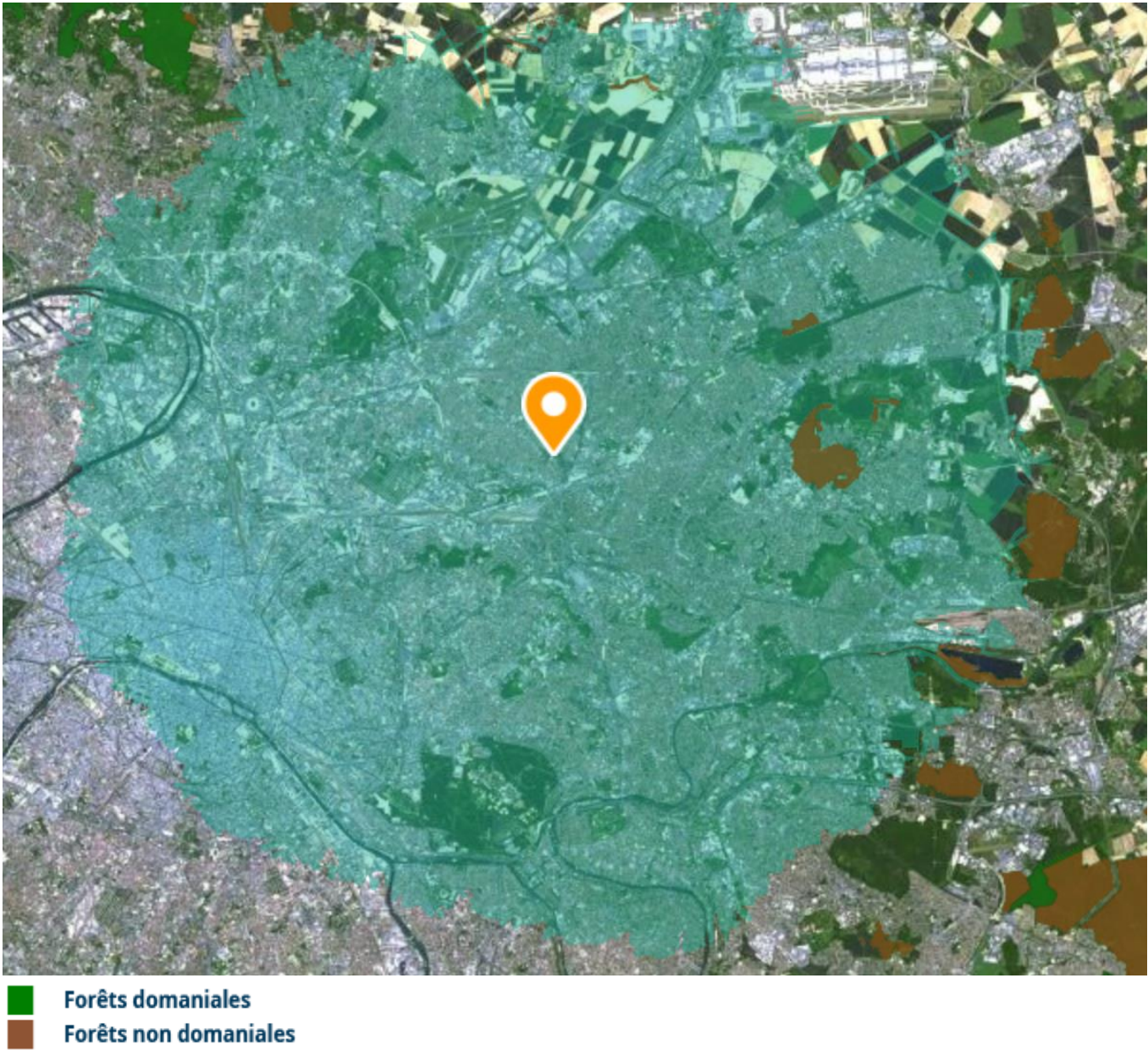


Occupation du sol – Source : IFN

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 statuquo 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.

Cependant, à proximité de Bobigny, la ressource forestière est peu importante, compte tenu du contexte urbain du secteur. Comme le montre la carte ci-dessous, dans un rayon de 15 km autour du secteur de projet, il n'existe pas de forêt domaniale, pouvant représenter un potentiel de développement de la ressource.



Forêt domaniale à proximité de Bobigny – Source : Géoportail

b. Le bois-déchets

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.

c. 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 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.

Le potentiel sur le secteur de projet est relativement faible du fait de l'éloignement de la ressource forestière principalement mais aussi du fait de l'environnement urbain peu adapté à l'accueil d'une chaudière biomasse (manque de foncier) et à la circulation de poids lourds pour l'approvisionnement.

5. LA RECUPERATION DE CHALEUR DES EAUX DOMESTIQUES

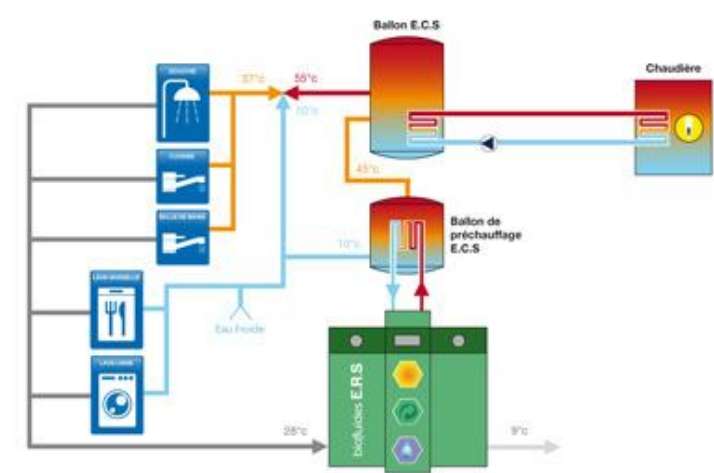
5.1. Récupération de chaleur sur les eaux grises

a. Présentation de la technologie

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.

b. Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Performances élevées capables d’apporter des économies conséquentes	Aucune subvention pour l’instant
Réduction importante des émissions de GES	

Facilité d’intégration et d’installation	Réduction considérable des consommations énergétiques pour l’ECS (système permettant d’économiser chaque année entre 150 et 300m ³ de gaz ou autre énergie-base annuelle pour une famille de 4 pers. et d’éviter l’émission de 700kg de CO2/an/log
Faible consommation d’électricité	
Investissement modéré	
Système passif et nécessitant de peu d’entretien	
Réduction de 20 % des consommations d’ECS	Diminution de la densité énergétique en cas de raccordement aux réseaux de chaleur
	Nécessite 2 réseaux, ainsi la séparation des eaux vannes et eaux grises

c. 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.

d. Subventions 2021

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€.

e. Potentiel local

Afin d’estimer le potentiel de cette technologie sur le site, il est nécessaire de lancer une analyse de la compatibilité des débits futurs dans les réseaux principaux avec les besoins. En l’absence d’information sur ce potentiel, celui ce ne sera pas intégré aux scénarios.

5.2. Récupération de chaleur fatale industrielle (ou data center)

a. Présentation de la technologie

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.

b. Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Concentration de plusieurs activités industrielles susceptibles de produire de l’énergie à proximité immédiate	Eloignement des datacenters
	Instabilité de la production d’énergie liée aux industries du fait d’activités tournées autour de la production de champagne
	Données estimées et non précise en raison de la confidentialité des datacenters

c. Potentiel local

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.

La carte des data center de la Région Île-de-France montre que les installations sont éloignées du site (distance supérieure à 6km). Aucune de ces installations n’est donc située à proximité immédiate du quartier.



Localisation des datacenters à proximité de la commune de Bobigny – Source : datacentermap.com

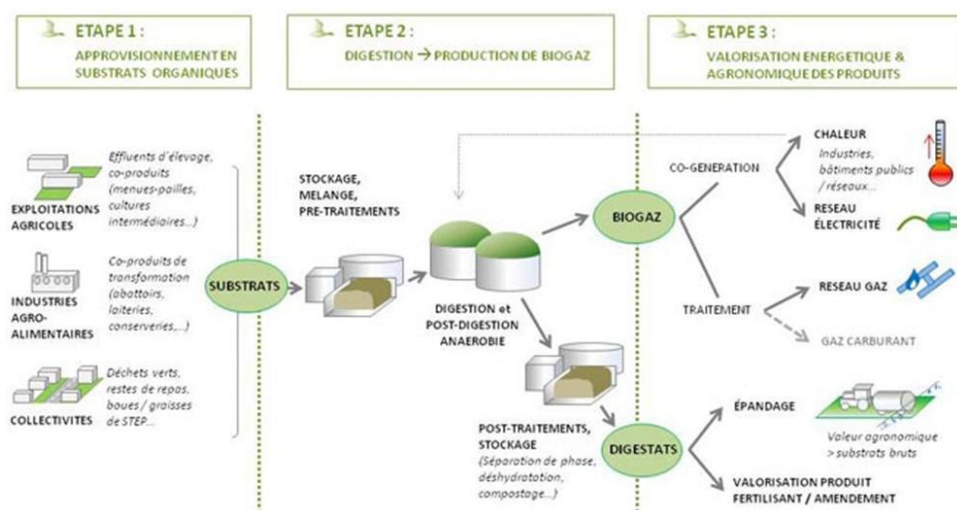
6. LES AUTRES TECHNOLOGIES EXISTANTES

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 :

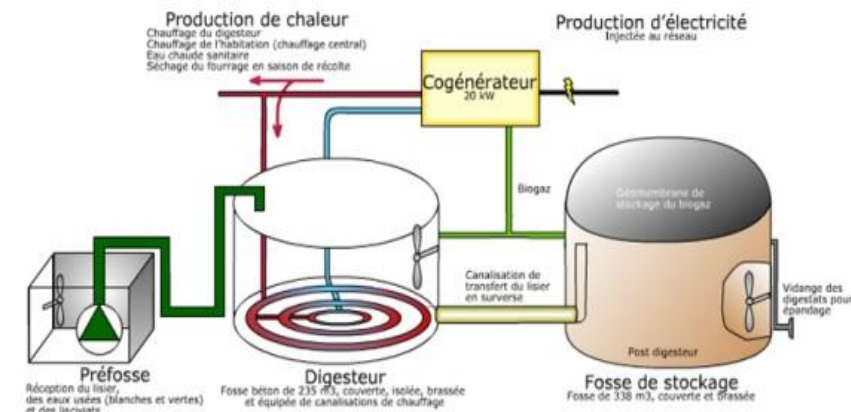
- La production de chaleur : solution viable uniquement si une forte demande de chaleur à proximité du site est capable d'absorber la chaleur produite toute l'année (ceci, afin de limiter les coûts d'investissement et d'exploitation : réseau de chaleur, déperdition...) :
- La production d'électricité ;
- 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.

a. 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.

b. 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.

c. Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Double valorisation organique et énergétique des sous-produits agricoles, effluents d'élevage et boues d'épuration	Exploitation nécessitant des compétences techniques particulières (difficile pour les agriculteurs)
Réduction des émissions de méthane, gaz à fort effet de serre	Des investissements lourds dépendant des soutiens publics
Traitement locale des déchets organiques du territoire.	
Opportunité de revenus pour les agriculteurs (rachat de l'électricité et production d'une énergie renouvelable utilisable pour satisfaire les besoins de l'exploitation)	
Réduction du volume de boues et bilan de combustion nul	

d. 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).

e. Subventions 2021

La création d'une unité de méthanisation pourrait bénéficier du Fond Chaleur de l'ADEME ou bien encore du Fond Déchet

Pour être éligible, le projet doit :

- Avoir une Production énergétique minimum valorisée (chaleur ou injection biométhane): 1.200 MWh/an excepté pour les projets agricoles où aucune production minimum n'est requise.
- Avoir une efficacité thermique de 75% minimum

Les études de faisabilité peuvent être financées par l'ADEME et la région à hauteur de 50 à 70% du coût global.

Le plafond maximal des aides est fixé par tranche de biométhane injecté à un montant compris entre 12 000 et 20 000 € par Nm³/h :

Débit injection max	Aide max par Nm ³ /h
≤ 150 Nm ³ /h	20 000 €
> 150 Nm ³ /h	12 000 €

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 15 à 17,5c€/kWh en 2017 (selon la puissance électrique installée + prime pour une valorisation des effluents supérieure ou égale à 60% de 5c€/KWh).

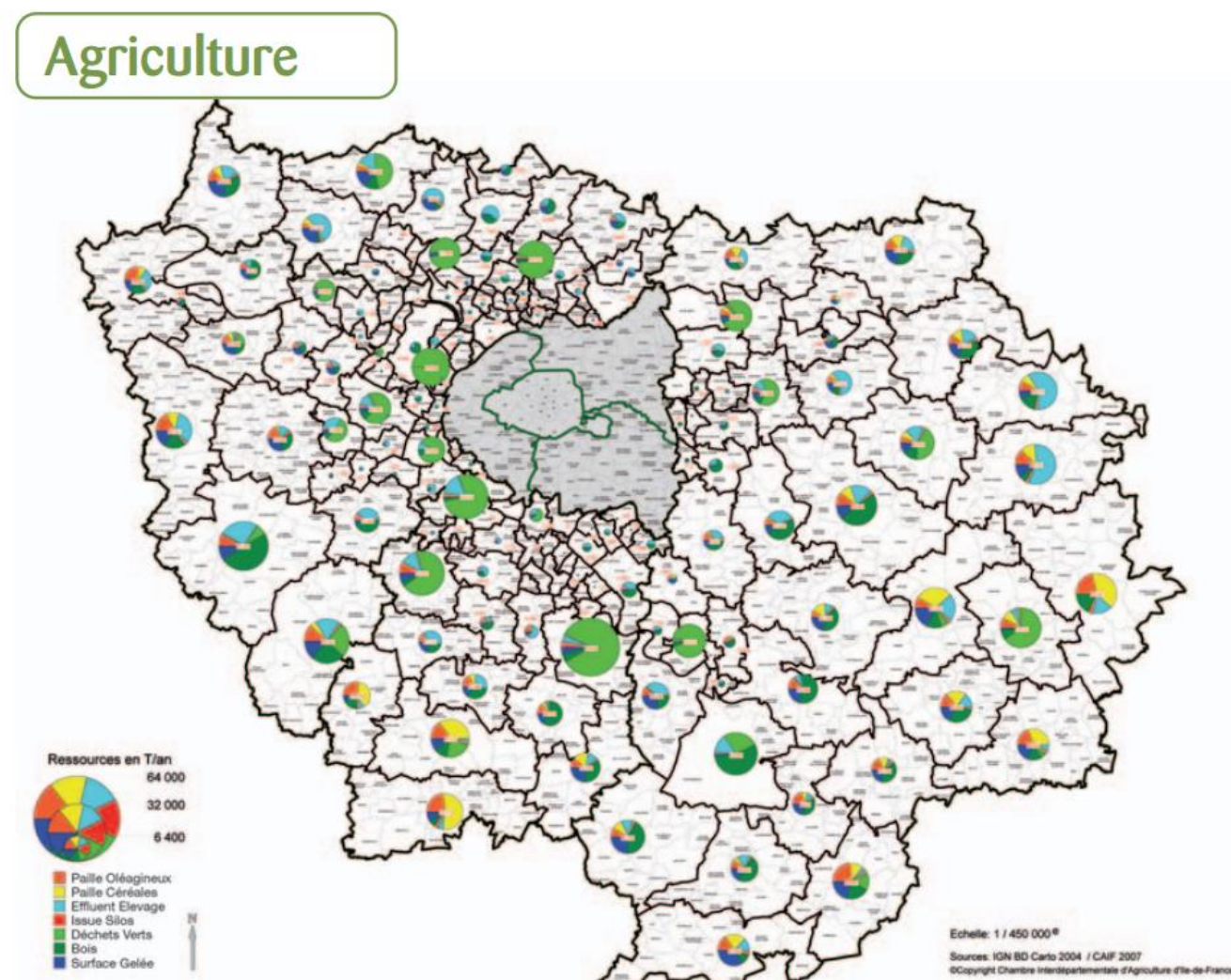
f. Tableau récapitulatif

Technologie	Productivité annuelle (en kWh/m ³)	Prix/MW	Retour sur investissement	Retour sur expérience	Durée de vie	Coût de l'énergie (en €/m ³)
Méthanisation	/	/	10 ans	Bon	Supérieur à 25 ans	0,4€

g. 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 Bobigny est relativement éloignée de ces ressources agricoles. Cette technologie n'est donc pas compatible avec le contexte urbain du site.



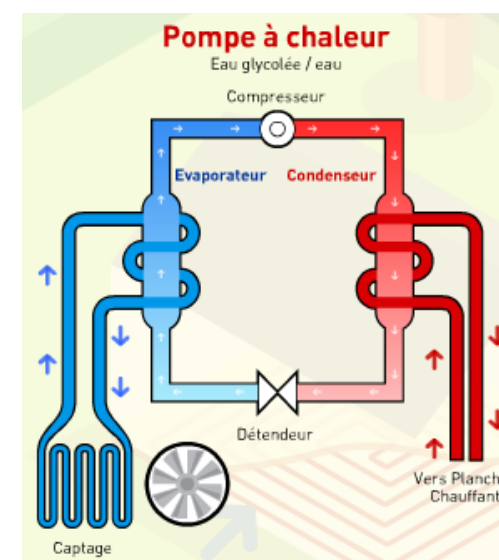
Les agro-ressources en Île-de-France – Source : Chambre interdépartementale d'Agriculture d'Île-de-France - 2007

6.2. Aérothermie

a. Principe de fonctionnement de la technologie

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

b. 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.

c. 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. Toutefois, les besoins importants en ECS sont peu compatibles avec ce type de système.**

6.3. L'énergie hydrolienne

a. Présentation de la technologie

L'hydrolienne doit être placée dans l'axe des courants afin d'actionner les pales du ou des rotors (courant minimum 1,5 m/s). L'énergie mécanique, produite par la rotation des pales est transformée ensuite en énergie électrique à l'aide d'une turbine. Elle est alors dirigée vers un générateur pour être ensuite acheminée jusqu'au réseau d'électricité terrestre par l'intermédiaire d'un câble relié au rivage. Différents types d'hydroliennes existent sur le marché mais le principe de fonctionnement est similaire.

b. Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Taille moins importante qu’une éolienne d’une même puissance et intégration paysagère optimale	Création de zones de turbulences susceptibles de gêner le développement de la flore
Courants marins relativement constants et prévisibles	Erosion des pales d’hélices très importante (nécessite un entretien fréquent)
	Coût d’investissement et d’exploitation très important
Aucune émission de gaz à effet de serre et peu d’énergie grise nécessaire pour sa fabrication	Entretien plus difficile
Pales tournant beaucoup moins rapidement que celles des bateaux (peu de risques pour la faune)	Perturbation de la sédimentation
Localisation sous l’eau, aucun impact visuel ou sonore	

c. Coût global de la technologie

Le manque de maturité de la technologie mais surtout l’absence de retour d’expériences sur des parcs d’hydroliennes sur une longue durée rend délicat la prévision des coûts.

Le coût d’investissement pour une hydrolienne est élevé avec un prix compris entre 2,5 et 3,5 M€/MW installés en supposant un développement massif de la filière (2 voire 3 fois plus important que pour une éolienne).

Le coût d’exploitation des hydroliennes est également plus conséquent que celui des éoliennes, les difficultés d’accès exigent un personnel qualifié et l’érosion demande également un entretien plus fréquent. L’estimation du coût d’exploitation est d’environ 40% du coût global de l’hydrolienne au cours de son cycle de vie.

d. Subvention 2020

L’ADEME subventionne au moyen du Prêt à Taux Zéro et du Crédit d’Impôt, les installations produisant de l’électricité à partir de l’énergie hydraulique depuis le 1er septembre 2014.

Concernant le tarif de rachat de l’électricité produit par l’hydrolien, il a été défini à 15c€/KWh durant les 20 premières années.

e. Tableau récapitulatif

 Technologie	 Productivité annuelle (en GWh)	 Prix/MW	 Retour sur investissement	 Retour sur expérience	 Durée de vie	 Coût de l’énergie (en €/kWh)
Hydrolien	1.3	3.5 M€	10 à 15 ans	Mauvais	20 ans	0,05 à 0,10

f. Potentiel hydrolien local

Le secteur de projet est situé sur la commune de Bobigny, qui est seulement traversé par le canal de l’Ourcq. Le canal reste toutefois relativement éloigné du secteur de projet et peu propice à l’installation de cette technologie.

6.4. Les réseaux de chaleur

a. 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.

b. Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Stabilité des prix de vente de la chaleur livrée	Investissement initial important
Part importante d’énergie renouvelable ou récupérable comme source d’énergie	
Capacité d’un réseau à changer rapidement de source de production	

Mobilisation de sources d'énergie locales, territoriales contribuant à l'économie locale	
Chaleur directement utilisable par les usagers	
Centralisation de la maintenance	
Approche technico-économique réalisée systématiquement en coût global par les porteurs de projets avant le lancement	
Maîtrise des émissions polluantes sur les productions centralisées	
Le poste collectif de livraison de chaleur nécessite un minimum de place par rapport à une chaufferie collective classique	
Un fonctionnement sécurisé sans stockage de combustibles ou de combustion à l'intérieur des bâtiments	

c. Coût global de la technologie

Les coûts sont relativement différents d'un réseau de chaleur à un autre.

d. Subventions 2021

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, et le type d'analyse. Les plafonds sont détaillés dans les tableaux ci-dessous.

Plafonds dans le cadre d'aides calculées par une analyse économique conventionnelle

	Type de réseau	Diamètre Nominal du réseau	Plafond assiette: €/ml de tranchée
EXTENSIONS ET CREATIONS DES RESEAUX DE CHALEUR	Vapeur	Tous DN	1890
	Eau Chaude	DN 450 et plus	147
		DN 300 à DN 400	945
		DN 150 à DN 250	745.5
		DN 80 à DN 125	546

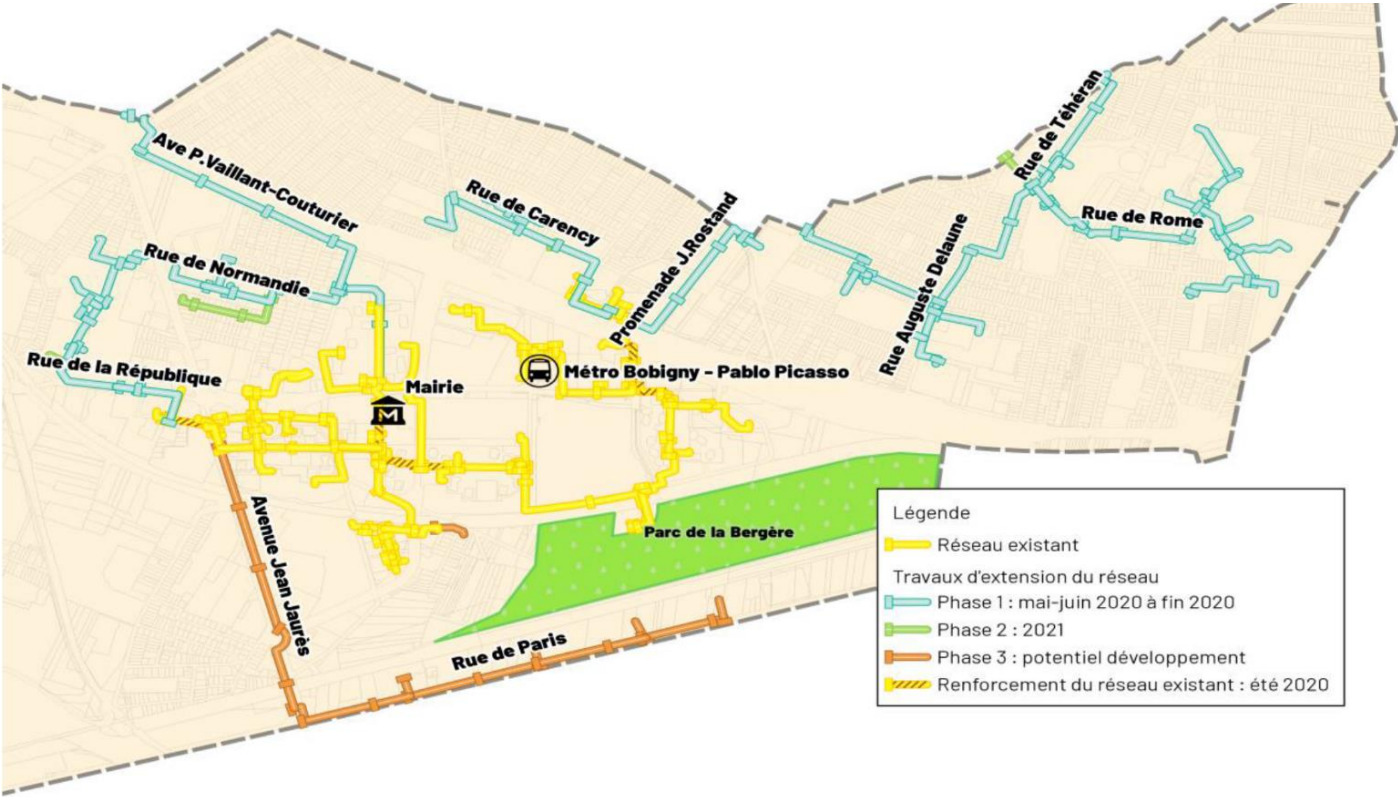
		DN 65 et moins	472
--	--	----------------	-----

Plafonds dans le cadre d'aides calculées par une analyse économique conventionnelle

	Type de réseau	Diamètre Nominal du réseau	Plafond assiette : €/ml de tranchée
Création d'un réseau de chaleur de moins de 6 000 MWh/an produites	Basse pression (Eau Chaude)	DN 150 à DN 250	522
		DN 80 à DN 125	382
		DN 65 et moins	331
Extension de réseaux de chaleur de 300 à 6 000 MWh/an d'EnR&R supplémentaires	Basse pression (Eau Chaude)	DN 150 à DN 250	522
		DN 80 à DN 125	382
		DN 65 et moins	331
Création et extension de réseaux de chaleur de 6000 à 12 000 MWh/an d'EnR et R supplémentaire injecté	Basse pression (Eau Chaude)	DN 150 à DN 250	447
		DN 80 à DN 125	328
		DN 65 et moins	283

e. Potentiel du site

La commune de Bobigny est dotée d'un réseau de chaleur alimenté par la géothermie. Un projet d'envergure prévoit l'extension de ce réseau sur le territoire communal ainsi que sur la commune de Drancy. Le réseau de chaleur devrait alors s'étendre sur 30 km d'ici 2022 et couvrir plus de 60% des besoins annuels en chaud du réseau. Il permettra ainsi d'alimenter l'équivalent de 20 000 logements, évitant l'émission de près de 30 000 tonnes de CO₂ par an. Le réseau de chaleur est constitué d'une centrale de géothermie et de 4 puits situés entre 1 600 et 2 100 mètres de profondeur.



Carte du réseau de chaleur actuel et futur sur les communes de Bobigny – Source : Gényo

Le SIPPAREC est en charge du service public de production et de distribution d’énergie calorifique sur le périmètre des communes de Bobigny et Drancy. Il est également en charge de l’exploitation de ces installations, de la gestion des relations contractuelles avec les abonnés et de la perception des redevances du service public.

La présente étude intègre dans ses scénarii le raccordement du secteur au réseau de chaleur communal, qui est dores et déjà prévu.

7. SYNTHÈSE

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	COUT D'INVESTISSEMENT	COUT DE L'ENERGIE - VARIATIONS POSSIBLES	RETOUR SUR INVESTISSEMENT	DUREE DE VIE	PERFORMANCE ECOLOGIQUE	AUTRES	DISPONIBILITE 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 1 500 €/m²	Très faible – stable	++	20 ans	++	Fiable et robuste	++	A étudier dans les scénarii éventuellement en complément du RC pour les besoins ECS
	Climatisation solaire	1 500 €/m²	Faible – stable	++	30 ans	++	Peu de retours d'expérience / Fluide caloporteur nécessaire	+++	Non étudié : peu de retours d'expérience et phase principalement expérimentale
	Solaire photovoltaïque	700 à 1 000 €/m²	Faible - stable	++	25 à 30 ans	++	Energie grise des produits importante Proximité des monuments historiques contraignante : il ne sera probablement pas possible d'en prévoir sur les bâtiments d'intérêt patrimonial	++	A intégrer dans les scénarii : envisageable pour les besoins en électricité en complément du RC
EOLIEN	Grand éolien et petit éolien	1 300 à 1 500 €/m²	Très faible -stable	+++	20 ans	+++	Très dépendant de l'environnement du site Faible énergie grise Impact paysager important	-	Non étudié : site urbain peu propice à ce genre d'installation
	Eolien urbain	1,6 à 2 M€/MW	Très faible - stable	+++	20 à 25 ans	++	Peu de retours d'expérience Site urbain dense qui contraignent ce choix	+	Non étudié du fait du contexte urbain dense
GEOTHERMIE	Haute énergie	Très important	Faible – peu fluctuant	++	Pompe à chaleur : 15 à 20 ans	++	Production importante toute l'année Consommations électriques des auxiliaires non négligeables Fluide caloporteur nécessaire	-	Non étudié : le potentiel géothermique est déjà exploité par le réseau de chaleur
	Basse énergie (sur nappe)	Important		++	Sondes / pieux > 30 ans	+++	Production constante toute l'année Fluide caloporteur nécessaire	++	Non étudié : le potentiel géothermique est déjà

ENERGIE	UTILISATION	COUT D'INVESTISSEMENT	COUT DE L'ENERGIE - VARIATIONS POSSIBLES	RETOUR SUR INVESTISSEMENT	DUREE DE VIE	PERFORMANCE ECOLOGIQUE	AUTRES	DISPONIBILITE SUR SITE	ORIENTATION POUR LE PROJET
							Autorisations administratives spécifiques nécessaires		exploité par le réseau de chaleur
	Très basse énergie – PAC sur pieux	Faible		+++		++	Production importante toute l'année Consommations électriques des auxiliaires non négligeables Fluide caloporteur nécessaire	++	Non étudié : le potentiel géothermique est déjà exploité par le réseau de chaleur
	Très basse énergie – PAC sur sondes	Faible à modéré selon technologie		+++		++	Production importante toute l'année Consommations électriques des auxiliaires non négligeables Fluide caloporteur nécessaire	++	Non étudié : le potentiel géothermique est déjà exploité par le réseau de chaleur
BIOMASSE	Bois-énergie	Important 1 M€/MW	Très faible – stable	+++	50 ans	++	Mise en place d'un système de traitement des fumées performant nécessaire Taille des locaux de stockage combustible importante Développement des filières locales, valorisation de sous-produits // transports routiers induits	++	Non étudié : site urbain peu propice à ce genre d'installation
	Méthanisation / biogaz	Important : 2 M€/MW	Faible - stable	+++	50 ans	+++	Injection dans le réseau de gaz de ville possible – alternative au gaz naturel Valorisation des déchets organiques ou effluents Développement des filières locales / Transports routiers induits Autorisation 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	+++	?	++	Retours d'expérience limités Intégration de la technologie en amont du projet pour limiter les coûts d'investissement	+	Non étudié : nécessite des investigations complémentaires

ENERGIE	UTILISATION	COUT D'INVESTISSEMENT	COUT DE L'ENERGIE - VARIATIONS POSSIBLES	RETOUR SUR INVESTISSEMENT	DUREE DE VIE	PERFORMANCE ECOLOGIQUE	AUTRES	DISPONIBILITE SUR SITE	ORIENTATION POUR LE PROJET
	Récupération sur eaux usées	Modéré	Très faible – stable	+++	?	++	Retours d'expérience limités Intégration de la technologie en amont du projet pour limiter les coûts d'investissement	+	Non étudié : envisageable si mutualisation de la production mais a priori peu rentable à l'échelle du site
	Récupération sur process industriel	Dépendant du contexte	Très faible – peu fluctuant	?	?	+	Présence d'installations industrielles importantes à proximité nécessaire	-	Non étudié : aucune source de chaleur exploitable à proximité immédiate
AEROTHERMIE	Pompe à chaleur air/air	Faible	Modéré fluctuant	+	15 ans	+	Consommations électriques importantes Faibles rendements	+++	Non étudié : peu adapté du fait des besoins ECS importants
	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
HYDROLIENNEE	Installation dans cours d'eau	Important : 3,5 M€/MW	Modéré	++	20 ans	+	Peu de retours d'expériences Impact sur le 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
RESEAU DE CHALEUR	Raccordement au réseau urbain	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 commune de Bobigny présent à proximité du site

III. 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 connue en date de l’étude. 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.

A partir des besoins en puissance estimée, trois scénarios sont étudiés selon la solution de desserte envisagée :

- **Scénario 1 (de référence)** : Approvisionnement électrique individuel pour chaque logement ;
- **Scénario 2** : Raccordement au réseau de chaleur couvrant la totalité des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire et approvisionnement électrique individuel pour les besoins en froid/électricité ;
- **Scénario 3** : Raccordement au réseau de chaleur couvrant la totalité des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire, panneaux solaires photovoltaïque couvrant 30% des besoins en froid/électricité et complément électrique pour le reste des besoins en froid/électricité.

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 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 et en partenariat avec les gestionnaires.

1. DEFINITION DES SCENARI D’APPROVISIONNEMENT

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.

1.1. 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, 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.

1.2. 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 (données AMORCE/ADEME), les facteurs d’émission (y compris les consommations liées au fonctionnement des auxiliaires) sont les suivants :

Facteurs d’émission du poste chauffage par mode de chauffage (en gCO ₂ /kWh _{Eu}) (source : Bilan GES / ADEME)	
Réseau de chaleur SIPPAREC	102
Panneaux solaires photovoltaïques	55
Electricité (nucléaire)	66

1.3. 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.

Par ailleurs, seul le coût des installations principales est ici pris en compte, ainsi le coût des radiateurs hydraulique ou électriques n’est pas pris en compte.

L’extension du réseau de chaleur prévue s’élève à près de 2 310 ml, avec un investissement d’environ 945 €/ml. Il a été pris comme hypothèse la création de 13 sous-stations. A noter que le coût unitaire de la sous-station est une hypothèse basée sur un retour d’expérience en Seine Saint Denis, en l’absence de donnée du Sipparec.

Il est par ailleurs considéré un chauffe-eau thermodynamique par logement, 4 pour l’ensemble des commerces, et 1 par équipement.

Coût d'investissement (en € HT) – Source : diverses		
Réseau de chaleur SIPPEREC	945	€/ml
Coût d'une sous-station pour le réseau de chaleur	23 000	€/unité
Panneaux solaires photovoltaïques	600	€/kW
Chauffe-eau thermodynamique	2 250	€/unité

1.4. Coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation sont estimés en prenant en compte 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.

1.5. Rendement des installations

Les rendements pris en compte sont les suivants :

- 75% pour l'approvisionnement en électricité ;
- 85% pour le réseau de chaleur ;
- 80% pour les panneaux solaires photovoltaïques.

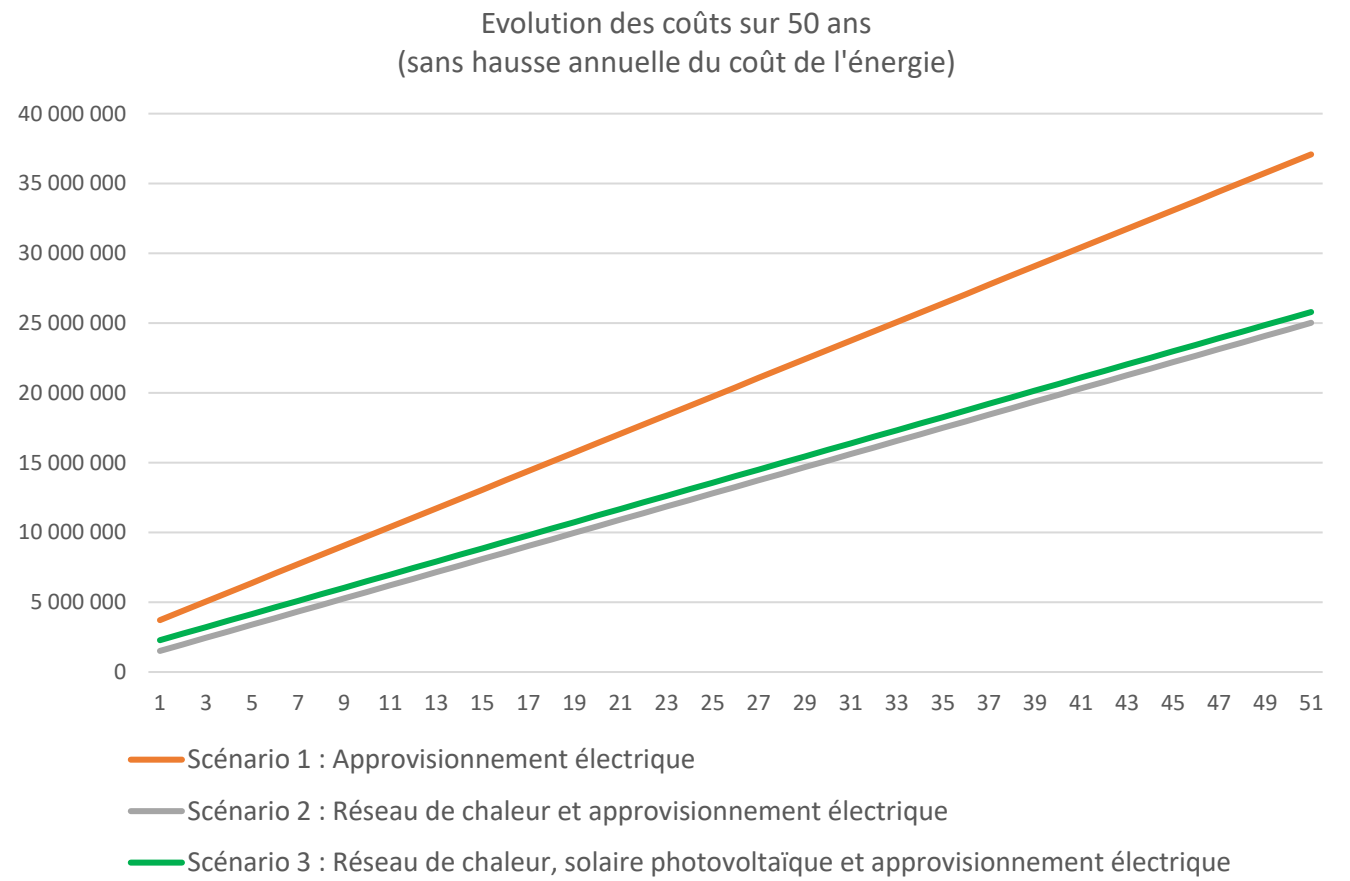
2. ANALYSE ECONOMIQUE

2.1. Sans évolution des coûts de l'énergie

Pour l'ensemble du projet, 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 en compte un certain nombre d'hypothèses.

	Scénario 1 : Approvisionnement électrique	Scénario 2 : Réseau de chaleur et approvisionnement électrique	Scénario 3 : Réseau de chaleur, solaire photovoltaïque et approvisionnement électrique
Investissement (€ TTC installé)	3 717 293	2 602 012	3 371 838
Subventions mobilisables (€ TTC)	0	1 090 320	1 090 320

Cout d'investissement avec subventions (en € TTC)	3 717 293	1 511 692	2 281 518
Coût de l'énergie (P2+P3+P4) (€/MWh)	82	71	71
Cout total en € TTC hors subventions (sur 50 an)	32 228 061	26 108 872	26 878 697
Cout global en €/MWh TTC hors subventions	124	93	96
Cout total en € TTC avec subventions (sur 50 an)	32 228 061	25 018 552	25 788 377
Cout global en €/MWh avec subventions	124	89	92



Sans tenir compte de l'évolution des coûts de l'énergie, le recours au réseau de chaleur est le plus rentable économiquement sur le long terme, à partir de 3 ans pour le scénario couplé à des panneaux solaires photovoltaïques.

A noter, en plus de ces modélisations qui ne représentent que le cout de l’investissement et les couts d’exploitation liés à l’entretien, la maintenance, qu’il y aura un cout d’abonnement pour les utilisateurs lié à leurs consommations. Pour le réseau de chaleur, les abonnés sont facturés mensuellement sur la base d’une part variable R1, qui représente l’énergie consommée et mesurée mensuellement au niveau du compteur, et la part abonnement R2, qui relève de la puissance souscrite.

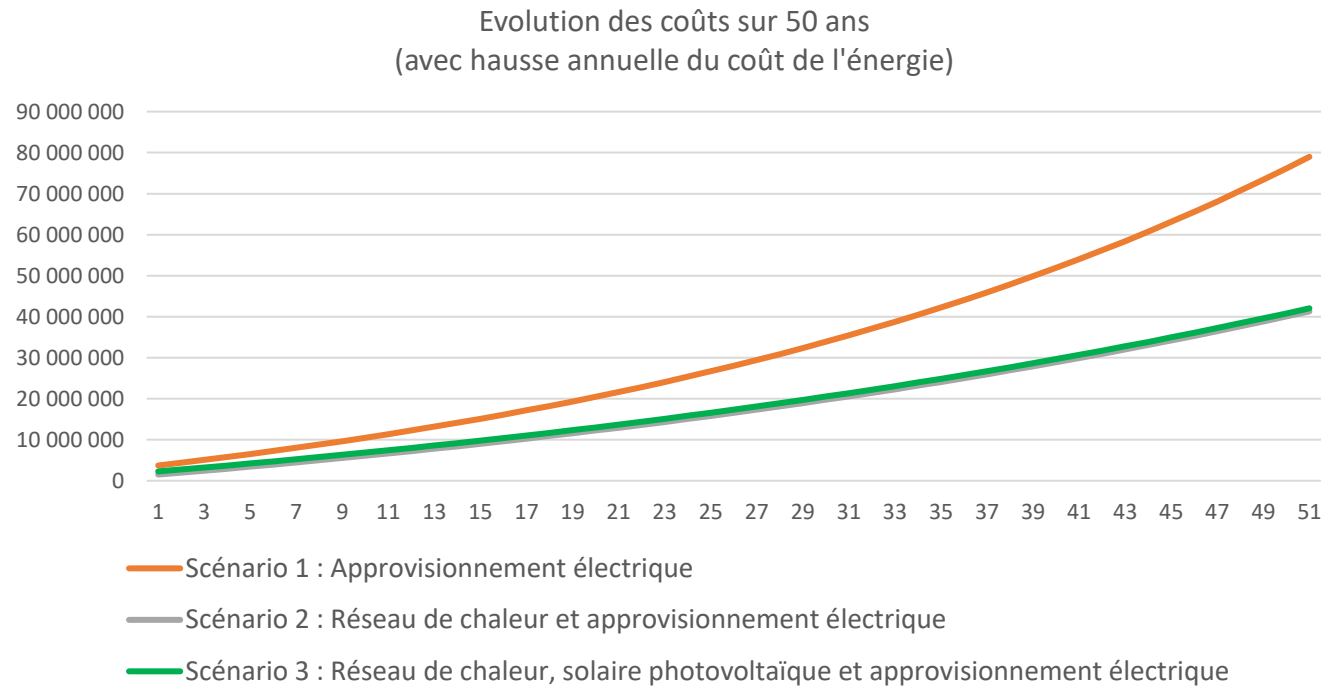
2.2. Avec évolution des coûts de l’énergie

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

- 2% pour les réseaux de chaleur majoritairement alimentés par les EnR ;
- 3% sur le prix de l’électricité.

Pour notre étude, nous prenons les hypothèses suivantes :

- +3% pour l’électricité ;
- +2% pour le réseau de chaleur.

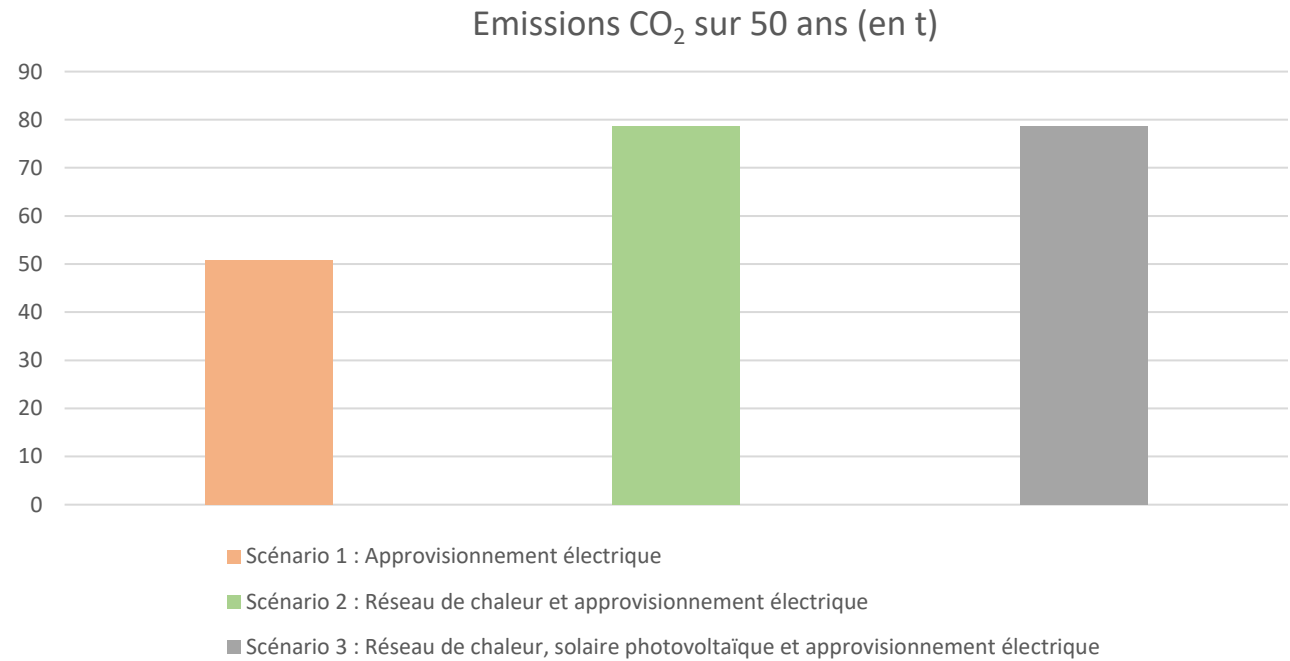


En tenant compte des tendances constatées et de l’évolution des coûts des énergies, l’analyse des coûts montre que le recours au réseau de chaleur, couplé ou non à des panneaux solaires photovoltaïques, est plus rentable que le scénario tout électrique.

3. ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

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

	Scénario 1 : Approvisionnem ent électrique	Scénario 2 : Réseau de chaleur et approvisionnement électrique	Scénario 3 : Réseau de chaleur, solaire photovoltaïque et approvisionnement électrique
Besoins en Chaud en kWh	15 420	15 420	15 420
Emissions annuelles CO ₂ (en T/an)	1	2	2
Emissions CO ₂ sur 50 ans (en T)	51	79	79



Le scénario 1 est plus avantageux environnementalement parlant, en matière d’émissions de gaz à effet de serre. **Toutefois, l’électricité provenant du nucléaire présente d’autres impacts environnementaux que les émissions, notamment le stockage des déchets nucléaires.**

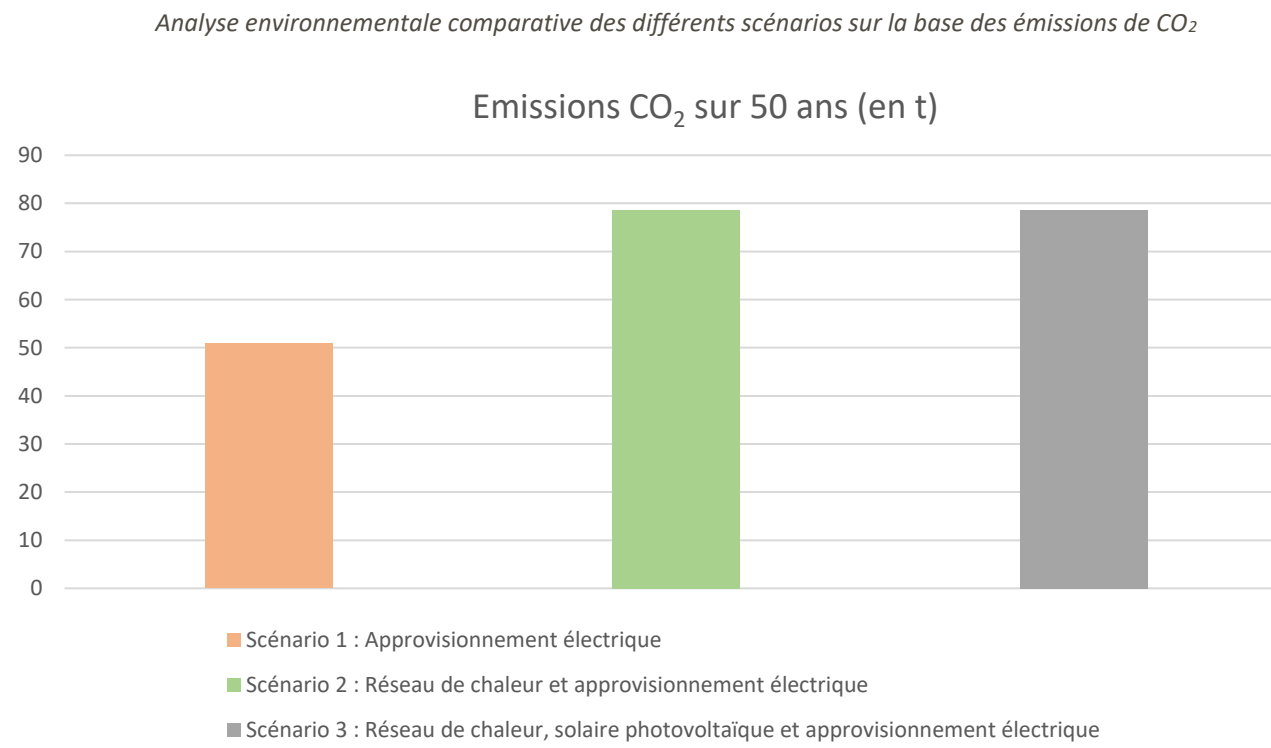
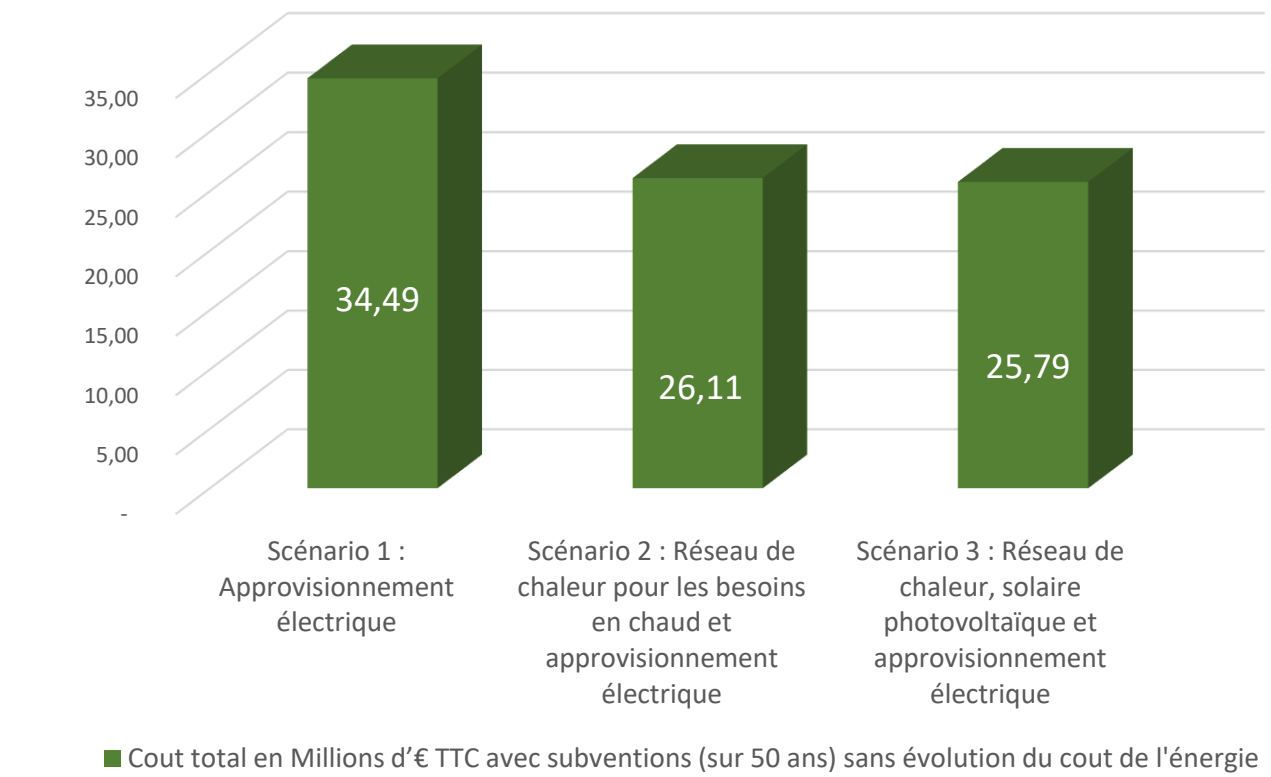
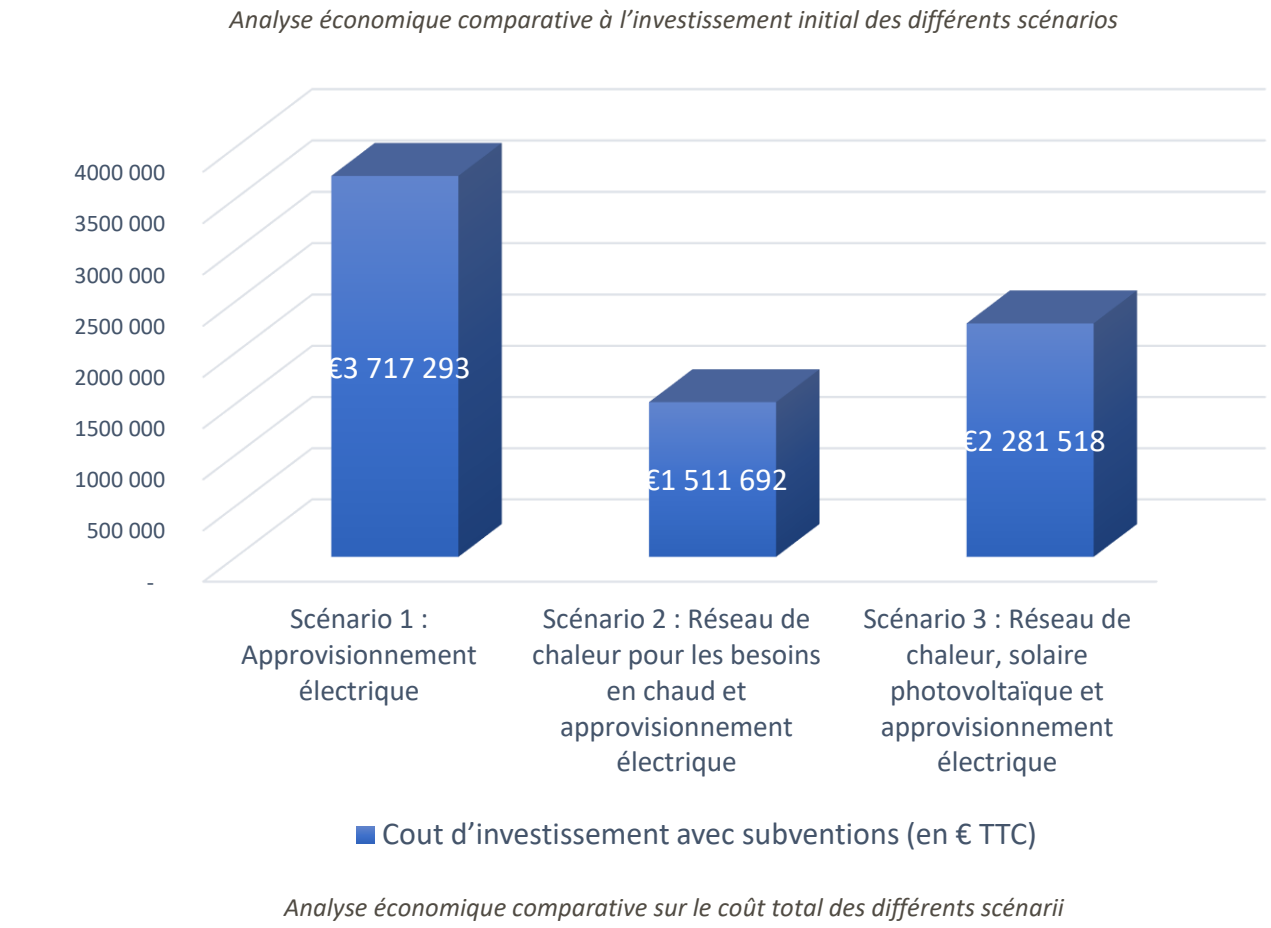
Les scénarios 2 et 3 présentent un impact carbone similaire. Cependant, il est à noter que le recours aux panneaux solaires photovoltaïques a également un impact sur l’environnement qui n’est pas comptabilisé dans ce calcul qui ne recouvre que l’exploitation du dispositif (production des cellules photovoltaïques).

Au global, même s’il présente un impact carbone supérieur, le scénario 2 est le plus adapté sur le plan environnemental car il n’est lié à aucune production de déchets nucléaires et ou déchets dangereux.

IV. CONCLUSION



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



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, bien que ne présentant pas le meilleur bilan carbone.

La solution ayant recours au tout électrique ne semble pas être la plus avantageuse. Il est en effet nécessaire de prendre en compte le coût total sur 50 ans, ainsi que l'évolution du coût de cette énergie non renouvelable. Par ailleurs, bien qu'elle montre un bilan environnemental relativement faible sur la base des émissions de gaz à effet, provenant principalement du nucléaire, l'énergie électrique génère des déchets nucléaires qu'il est nécessaire de gérer.

Le scénario 2 est celui qui a été retenu dans le cadre du projet de renouvellement urbain du quartier Edouard Vaillant – Abreuvoir à Bobigny.

Étude du potentiel de développement des énergies renouvelables sur le quartier Edouard Vaillant – Abreuvoir à Bobigny (93)

EVEN Conseil – Agence de Paris

52 Rue Jacques Hillairet

75012 Paris CEDEX 12



Etablissement Public Territorial Est Ensemble

100 Avenue Gaston-Roussel

93232 Romainville CEDEX

