

PROJET D'AMENAGEMENT DE PYTHON-DUVERNOIS

Etude énergétique

SOMMAIRE :

I. DESCRIPTION ET CONTEXTE DU SITE	5
1.1 CONTEXTE POLITIQUE	6
1.1.1. Des enjeux internationaux à intégrer localement	6
1.1.2. Un cadre réglementaire structurant	6
1.2 CONTEXTE DU SITE	10
1.2.1 Localisation	10
1.2.2. Le climat	10
1.2.2. Desserte énergétique actuelle du quartier	11
1.2.3 Contexte socio-économique lié à l'énergie	13
1.2.4. Programmation et organisation spatiale du projet Python Duvernois	14
1.2.5. Contexte territorial	17
1.2.6. Les besoins énergétiques associés	22
II. POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES	30
2.1 L'ENERGIE SOLAIRE	31
2.1.1 Solaire passif	31
2.1.2 Solaire thermique	32
2.1.3 La climatisation solaire	34
2.1.4 Le solaire photovoltaïque	35
2.1.5 Potentiel solaire local	38
2.2. L'ENERGIE EOLIENNE	41
2.2.1 Le grand éolien et le petit éolien	41
2.2.2 L'éolien urbain	43
2.2.3. Potentiel éolien local	44
2.3. L'HYDROLIEN	47
2.4. LA GEOTHERMIE	49
2.4.1 Haute énergie	49
2.4.2 Basse énergie	49
2.4.3 Très basse énergie	50
2.4.1. Potentiel géothermique local	54
2.6. LA BIOMASSE	57
2.6.1 Le gisement biomasse	57
2.6.2 Bois-énergie	57
2.6.3 Le bois énergie – cogénération	60
2.6.4 Potentiel bois énergie	61
2.7. LE BIOGAZ	65
2.7.1 Le biogaz et les biocarburants	65
2.7.2 La méthanisation sur les boues et les effluents	66
2.8. LES AUTRES TECHNOLOGIES EXISTANTES	69
2.8.1 La récupération de chaleur sur les eaux grises	69
2.8.2 La récupération de chaleur sur les eaux usées	70
2.8.3 Récupération de chaleur fatale industrielle (ou data center)	72
2.9. LE RESEAU DE CHALEUR CPCU	75
III. PRE-DIMENSIONNEMENT ET SCENARIOS	79
3.1 SOLUTION 1 : RACCORDEMENT AU RESEAU DE CHALEUR CPCU	80
3.1.1 Présentation des scénarios	80
3.1.2 Analyse économique	81
3.1.3 Analyse environnementale	87
3.1.4 Tableau récapitulatif	88
3.2 SOLUTION GAZ ET ENERGIES RENOUVELABLES	89
3.2.1 Présentation des scénarios	89
3.2.2 Hypothèses pour l'analyse	89
3.2.2 Analyse économique	92
3.2.3 Analyse environnementale	97
3.2.4 Tableau récapitulatif	98

IV. COMPARAISON DES SCENARIOS.....	99
V. CONCLUSION.....	102

An aerial photograph of a university campus. The image shows a complex of buildings, courtyards, and green spaces. A prominent feature is a large, multi-story building with a central courtyard. To the right, there is a large, multi-lane highway interchange. In the foreground, there are several tennis courts and a large rectangular field. The overall scene is a mix of urban infrastructure and academic facilities.

I. DESCRIPTION ET CONTEXTE DU SITE

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

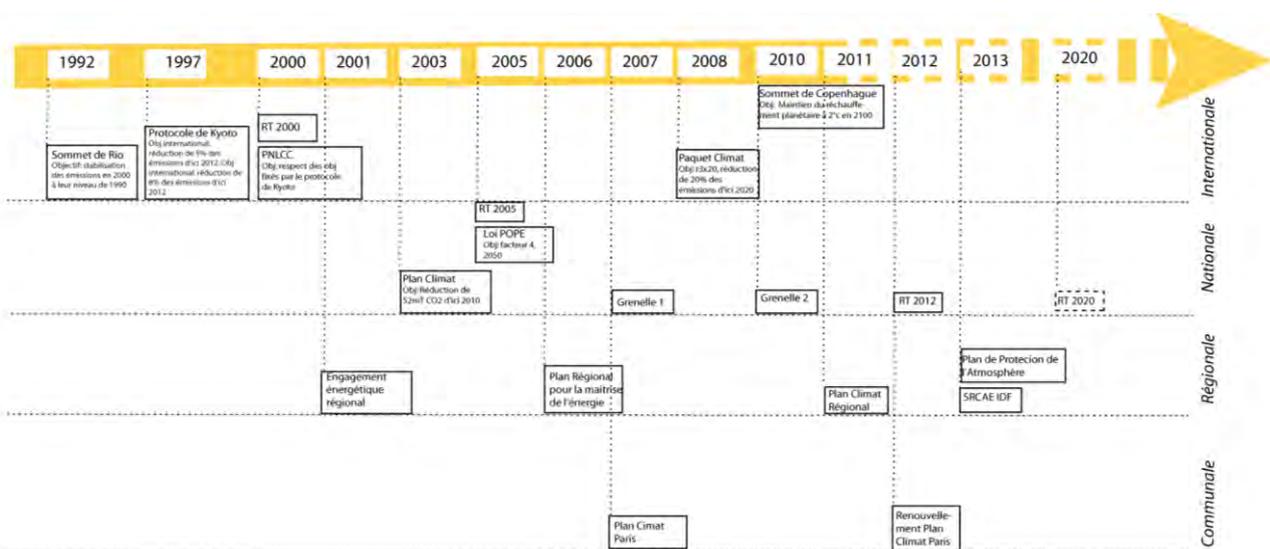
1.1 CONTEXTE POLITIQUE

1.1.1. DES ENJEUX INTERNATIONAUX A INTEGRER LOCALEMENT

A l'heure où les questions énergétiques et climatiques deviennent des enjeux majeurs à l'échelle planétaire, leur gestion représente un véritable défi. Le réchauffement climatique et la raréfaction des ressources naturelles, notamment fossiles, sont aujourd'hui, de réelles problématiques qui nécessitent la mise en place d'actions concrètes et durables. Au fur et à mesure de la prise de conscience de ces enjeux, les pouvoirs publics ont instauré des objectifs à atteindre afin de permettre l'atténuation de ces phénomènes. Ces ambitions, définies à différentes échelles d'intervention (mondiale, nationale, régionale, communale...), se sont vues déclinées en stratégies contextualisées à chaque territoire à travers notamment, l'adoption de lois cadres et l'élaboration de documents de planification. Le projet d'aménagement de Python-Duvernois 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.

1.1.2. UN CADRE REGLEMENTAIRE 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. Le schéma ci-dessous recense les divers documents à prendre en compte pour le secteur Python-Duvernois, à Paris, et met en évidence les évolutions prévisibles de la réglementation française.



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

Au niveau du parc bâti :

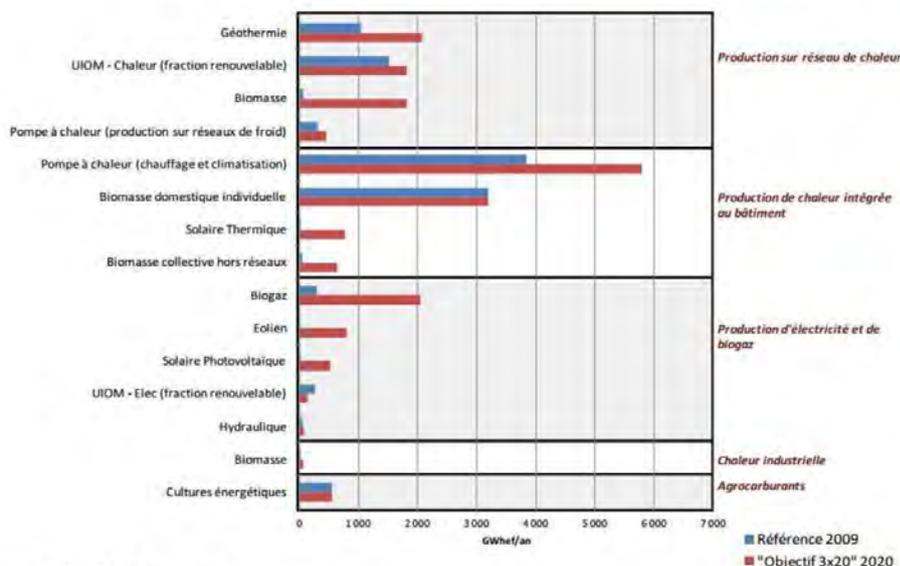
- Réduire de 5 % les consommations énergétiques par des comportements plus sobres ;
- Améliorer la qualité des rénovations pour atteindre 25 % de réhabilitations de type BBC (Bâtiment Basse Consommation) ;
- Réhabiliter 125 000 logements par an soit une multiplication par 3 du rythme actuel ;
- Réhabiliter 7 millions de m² de surfaces tertiaires par an soit une multiplication par 2 du rythme actuel ;
- Raccorder 450 000 logements supplémentaires au chauffage urbain (soit + 40 % par rapport à aujourd'hui).

Au niveau de la production énergétique :

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

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

Evolution de la production d'énergie renouvelable suivant le scénario "3X20"



Source : SRCAE Ile-de-France

Plan Climat Energie de Paris

Le Plan Climat Air Energie de Paris a été adopté en 2007. Il a ensuite été actualisé en 2012, puis réactualisé en novembre 2017. Dans la lutte contre le changement climatique, la ville de Paris présente un plan climat ambitieux avec des objectifs forts :

Faire de Paris un territoire à 100% d'énergies renouvelables en 2050

- Produire localement 20% d'énergies renouvelables (EnR) en 2050 ;
- Équiper 20% des toits parisiens d'installations solaires en 2050 ;
- Créer de nouvelles coopérations entre territoires pour atteindre le 100% EnR.

Diviser par deux la consommation d'énergie d'ici 2050

- Éco-rénover un million de logements et plus de 50 millions de m² de commerces, bureaux, hôtels, équipements publics d'ici 2050 ;
- Rénover les équipements publics les plus énergivores d'ici 2030 (300 écoles supplémentaires, 40 collèges et 15 piscines, pour une diminution de 40% des consommations énergétiques du parc municipal) ;
- Tous les bâtiments neufs construits dans Paris seront bas-carbone et à énergie positive.

Améliorer la qualité de l'air pour une meilleure santé

- Accompagner le renouvellement des équipements de chauffage au bois polluant par la création d'un fonds air-bois métropolitain à destination des particuliers d'ici 2020 ;
- Objectif zéro chauffage au fioul en 2030.

Défendre un projet sociétal porteur d'équité et de solidarité

- Réduire de 20% la précarité énergétique, via un pacte territorial de lutte contre la précarité énergétique en partenariat avec les acteurs du territoire.

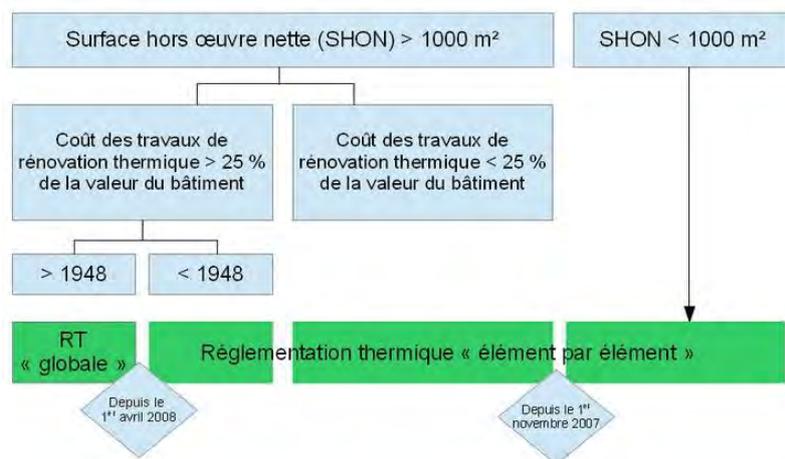
Viser zéro déchet non valorisé

- Tester d'ici 2020 le fonctionnement d'un micro-méthaniseur en milieu urbain dense.

Objectif en habitat durable

Depuis 2008, la ville de Paris a fixé des objectifs de performance énergétique plus exigeants que les normes de Bâtiment Basse Consommation en matière de logement :

- **Construction neuve : 50 kWh/m²/an en phase avec le label BBC – Effinergie + (RT 2012 -20 %) ;**
- **Réhabilitation : 80 kWh/m²/an en phase avec le label BBC – Effinergie rénovation.**



Le projet d'aménagement du site Python-Duvernois s'inscrit dans le suivi de ces documents cadres.

1.2 CONTEXTE DU SITE

1.2.1 LOCALISATION

Le site du projet est situé à l'est de Paris, dans le 20^{ème} arrondissement, entre les portes de Bagnolet et de Montreuil. Le projet fait partie des onze Grands Projets de Renouvellement Urbain de la ville de Paris. Ce projet d'aménagement est conduit par la ville de Paris.

Le secteur est enclavé entre les boulevards des Maréchaux, le boulevard périphérique et les infrastructures autoroutières et est composé d'ensembles urbains déconnectés entre eux.

Des démarches de développement local sont entreprises et renforcées sur le secteur du NPNRU afin d'accompagner les futures transformations urbaines. Ces démarches sont notamment fondées sur une implication permanente des acteurs locaux et des habitants du secteur.



Vue aérienne du secteur à l'étude – Source : ANRU

1.2.2. LE CLIMAT

Commune de Paris

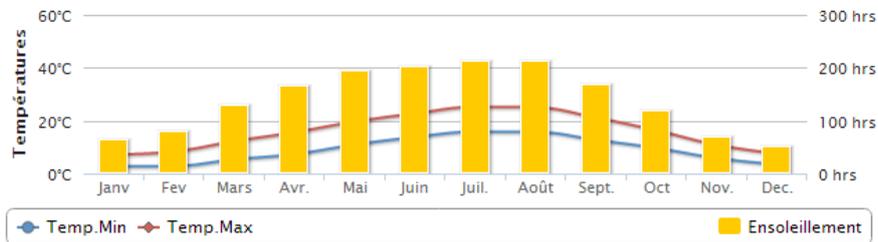
Paris jouit d'un climat semi-continentale, marqué par deux types d'influences climatiques : une influence continentale marquée par des arrivées de masses d'air de nord et d'est généralement froides, et une influence océanique de masses d'air plus douces. Le climat parisien est donc principalement marqué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

- **Les températures**

D'après les données relevées à Paris-Montsouris, la température moyenne maximale est d'environ 20°C en juillet et la température moyenne minimale est d'environ 4°C en janvier. Les minima se situent entre décembre et mars, le nombre moyen de jours de gel s'élèvent à environ 32 jours par an et sont répartis entre novembre et mars. Les maxima sont enregistrés en juillet et août. Le maximum d'ensoleillement est constaté au mois de juillet.

• **Les précipitations**

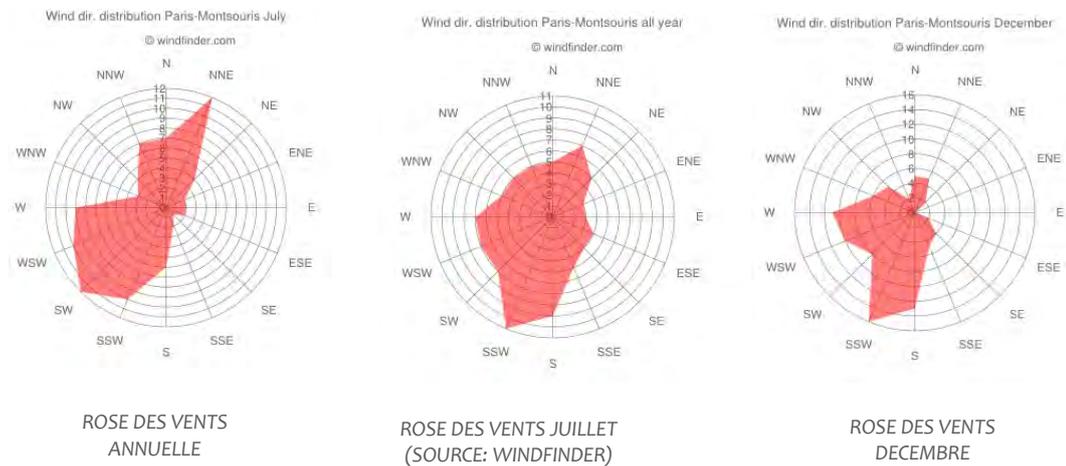
La pluviométrie (moyenne mensuelle) est répartie de manière homogène sur l'année, mais des variations importantes sont enregistrées d'une année sur l'autre. La durée cumulée des périodes de précipitations permet de relever l'intensité variable des pluies. Du fait des orages, elles sont importantes mais courtes en juillet et août et fines mais continues en hiver.



Normales annuelles de la station de Paris (précipitations et ensoleillement) (source: Météofrance)

• **Le vent**

L'analyse de la rose des vents fait apparaître des vents dominants soufflant des secteurs ouest et sud-ouest avec une présence, variable selon les saisons, de vents nord-nord-est, d'origine anticyclonique. Les vents sont canalisés par la vallée de la Seine mais leur direction peut être localement modifiée et leur vitesse amplifiée.



1.2.2. DESSERTE ENERGETIQUE ACTUELLE DU QUARTIER

Le réseau électrique



Source : RTE

Réseau à 63 000 volts

Réseau à 225 000 volts

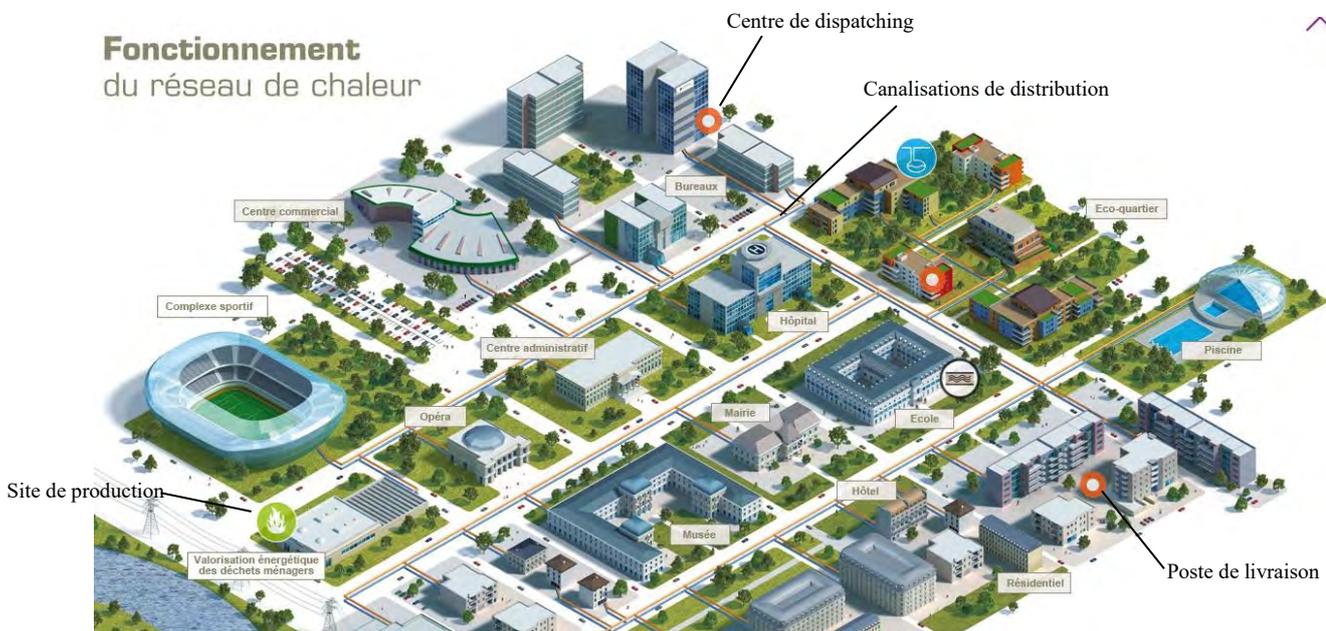
La desserte du quartier Python-Duvernois est déjà assurée par le réseau existant. Le projet prévu sur le secteur pourra se raccorder au réseau existant.

Le réseau gaz

Plusieurs canalisations de transport de gaz sont présentes sur contribuant à l'approvisionnement du quartier. Plusieurs bâtiments du secteur sont déjà alimentés par le gaz.

Le réseau de chaleur urbaine parisien

A Paris, le réseau de chaleur CPCU alimente une partie importante des logements, bâtiments d'activité et équipements. La chaleur est produite sous forme de vapeur dans plusieurs sites de production et transportée par un réseau de canalisations souterraines jusqu'aux bâtiments. Le réseau CPCU fonctionne en circuit fermé : une fois que le fluide chaud a cédé ses calories, il est retourné sous forme d'eau refroidie vers les sites de production qui assurent son retraitement. Chaque bâtiment connecté au réseau CPCU est équipé d'un poste de livraison qui récupère directement la chaleur sous forme d'eau chaude et la transfère au réseau de chauffage collectif de l'immeuble. Le schéma ci-après illustre le fonctionnement global du réseau CPCU.



Principe de fonctionnement du réseau CPCU – Source : CPCU

La Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU) fournit aux usagers et aux habitants de la métropole parisienne de la chaleur verte pour les besoins de chauffage et d'eau chaude de l'habitat et du tertiaire public ou privé.

Au total, 8 sites de production d'énergie et alimentent le réseau de distribution CPCU sous forme de vapeur ou d'eau chaude. Un réseau long de 509 km permet de répondre aux besoins de 500 000 équivalents logements desservant 17 communes donc Paris.

Ces sites de production utilisent différentes énergies, ce qui permet à la CPCU de disposer d'un bouquet énergétique diversifié. La combinaison de plusieurs sources d'énergie permet de choisir la plus avantageuse, en fonction des variations des prix du marché.

Parmi ces 8 sites de production, certains d'entre eux utilisent le gaz naturel en cogénération ou seul, le biocombustible, le charbon et plus récemment la biomasse et la géothermie.

Trois sites de production sont dédiés SYTCOM, l'agence métropolitaine des déchets ménagers de la région parisienne. Ces sites acquièrent la vapeur issue de la valorisation des déchets ménagers non recyclables.



Bouquet énergétique d'énergies renouvelables et de récupération dans le mix énergétique CPCU – Source : CPCU (2017)



Le secteur de Python Duvernois est situé à proximité directe d'une canalisation vapeur courant le long du Boulevard Davout. Une chambre de vanne existe sur le rond-point de la porte de Bagnole.

Néanmoins, à l'heure actuelle aucun bâtiment du secteur Python-Duvernois n'est raccordé au réseau de chaleur urbain parisien.

Source : CPCU

1.2.3 CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE LIE A L'ÉNERGIE

D'après la base de données INSEE, **le revenu médian annuel par ménage à l'IRIS Charonne 21, qui coïncide presque exactement au périmètre du projet Python-Duvernois, est de 22 505€ en 2011.** En comparaison avec le revenu médian par ménage de Paris, qui s'élève à plus de 45 000€, ou du 20^{ème} arrondissement, qui est d'environ 34 000€, les revenus sur le secteur Python-Duvernois sont relativement bas.

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

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

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

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

1.2.4. PROGRAMMATION ET ORGANISATION SPATIALE DU PROJET PYTHON DUVERNOIS

Organisation spatiale

Le projet Python-Duvernois s'inscrit dans le projet de renforcement de la ceinture verte parisienne, dans le cadre de réflexion allant de la Porte de Bagnole à la Porte de Vincennes. Dès lors, la préservation des espaces verts et la création d'un cadre invitant à la pratique sportive et aux déplacements en modes doux ont été placés au centre du projet.

Le parti d'aménagement se propose ainsi de décloisonner les espaces publics en créant des continuités les reliant aux différentes trames vertes existantes. Le projet poursuit également un objectif de développement de la mixité fonctionnelle, par l'introduction d'activités économiques, et sociale, par la construction de logements intermédiaires et en accession. Plus largement, les orientations d'aménagement retenues prévoient la mise en œuvre d'un programme global de restructuration urbaine articulé autour des axes suivants :

- Mise en valeur du potentiel paysager de la ceinture verte ;
- Requalification urbaine et amélioration de la trame viaire du secteur d'aménagement ;
- Requalification et modernisation des équipements sportifs ;
- Intégration d'une démarche de développement durable.

Inscrit en géographie prioritaire depuis 2004, Python-Duvernois est identifié comme secteur NPNRU et fera probablement l'objet d'une participation financière ANRU qui reste à définir.

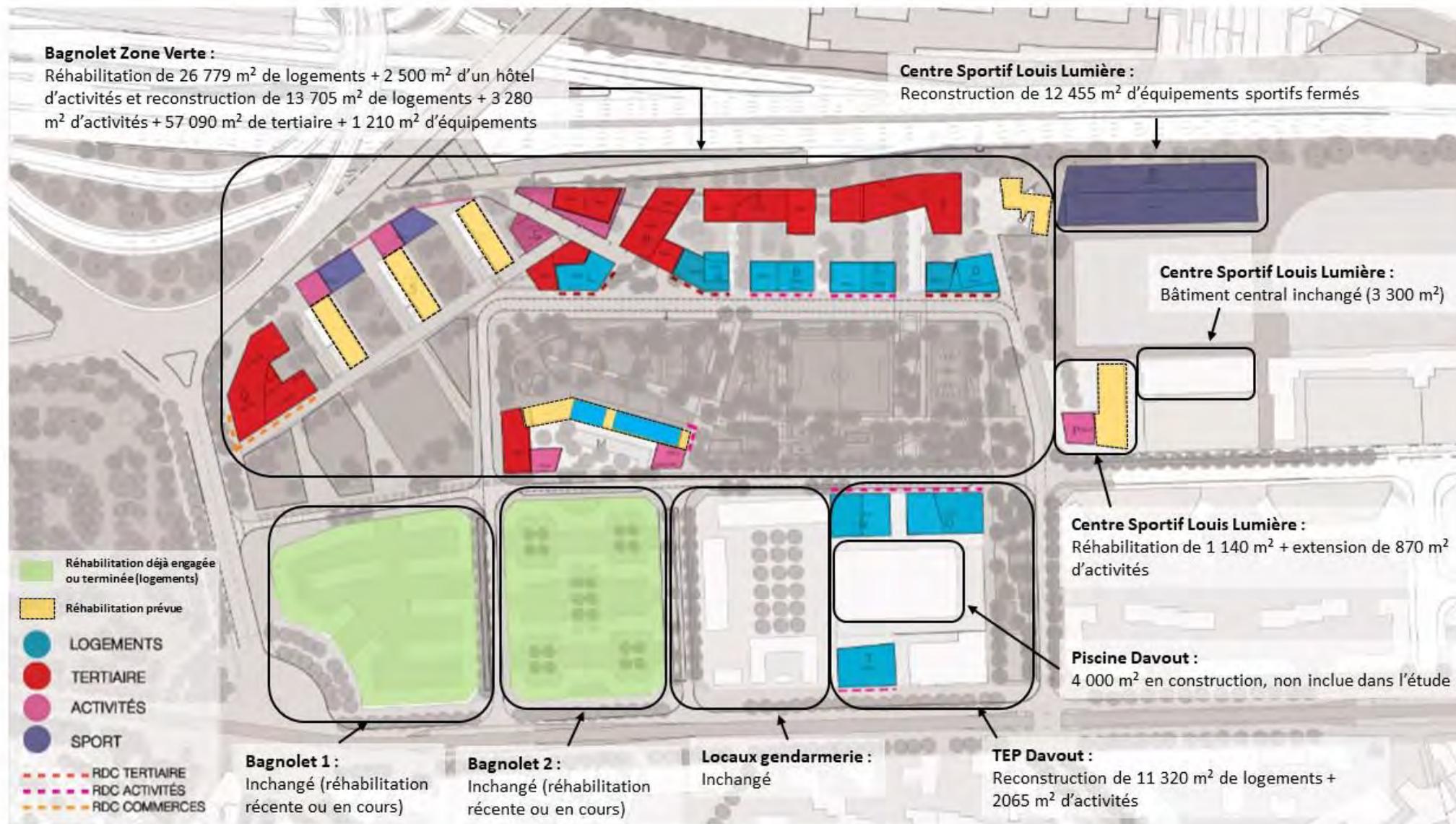
Programmation

Le programme global prévisionnel prévoit la réhabilitation d'environ 58 589 m² de surface de plancher et la reconstruction d'environ 101 995 m² de surface de plancher dont :

	TEP Davout	CS L. Lumière	Bagnole Zone Verte	Bagnole 1&2	Total
Logements					
Réhabilitation	0 m ²	0 m ²	26 779 m ²	28 170 m ²	54 949 m ²
Reconstruction	11 320 m ²	0 m ²	13 705 m ²	0 m ²	25 025 m ²
Activités					
Réhabilitation	0 m ²	0 m ²	2 500 m ²	0 m ²	2 500 m ²
Reconstruction	2 065 m ²	870 m ²	3 280 m ²	0 m ²	6 215 m ²
Tertiaire					
Réhabilitation	0 m ²				
Reconstruction	0 m ²	0 m ²	57 090 m ²	0 m ²	57 090 m ²
Equipements					
Réhabilitation	0 m ²	1 140 m ²	0 m ²	0 m ²	1 140 m ²
Reconstruction	0 m ²	12 455 m ²	1 210 m ²	0 m ²	13 665 m ²
TOTAL Réhabilité					58 589 m²
TOTAL Reconstruit					101995 m²

Le périmètre du projet Python-Duvernois inclut également les îlots de logement Bagnole 1 et 2, qui ont déjà été rénovés récemment ou font actuellement l'objet d'une rénovation, l'hôtel d'activités Serpollet et le centre d'animation qui seront réhabilités, ainsi que les locaux de gendarmerie qui, quant à eux, ne subiront pas de modifications particulières. Toutefois, le périmètre de réflexion concernant les équipements énergétiques à mettre en place sur le quartier n'inclue pas les locaux de gendarmerie. Les rénovations déjà entreprises sur les ensembles Bagnole 1 et 2 sont des rénovations Plan Climat Energie dont les travaux ont pris et prendront fin respectivement en 2017 et 2020 (830 logements rénovés au total). Les rénovations envisagées pour les immeubles de Bagnole Zone Verte seront à priori elles aussi des rénovations Plan Climat Energie.

Il est important de noter qu'en plus des équipements sportifs prévus dans la programmation, figure une piscine couverte de 4 000m², la surface de bassin se situera entre 1 100 à 1 200m². Toutefois, les travaux sont déjà engagés et la stratégie énergétique est indépendante et ne rentre pas dans celle le périmètre de réflexion sur une mutualisation énergétique du projet d'aménagement de Python-Duvernois.



Eléments de programmation du projet Python-Duvernois – Source : Even Conseil/Agence Up/Ville de Paris

1.2.5. CONTEXTE TERRITORIAL

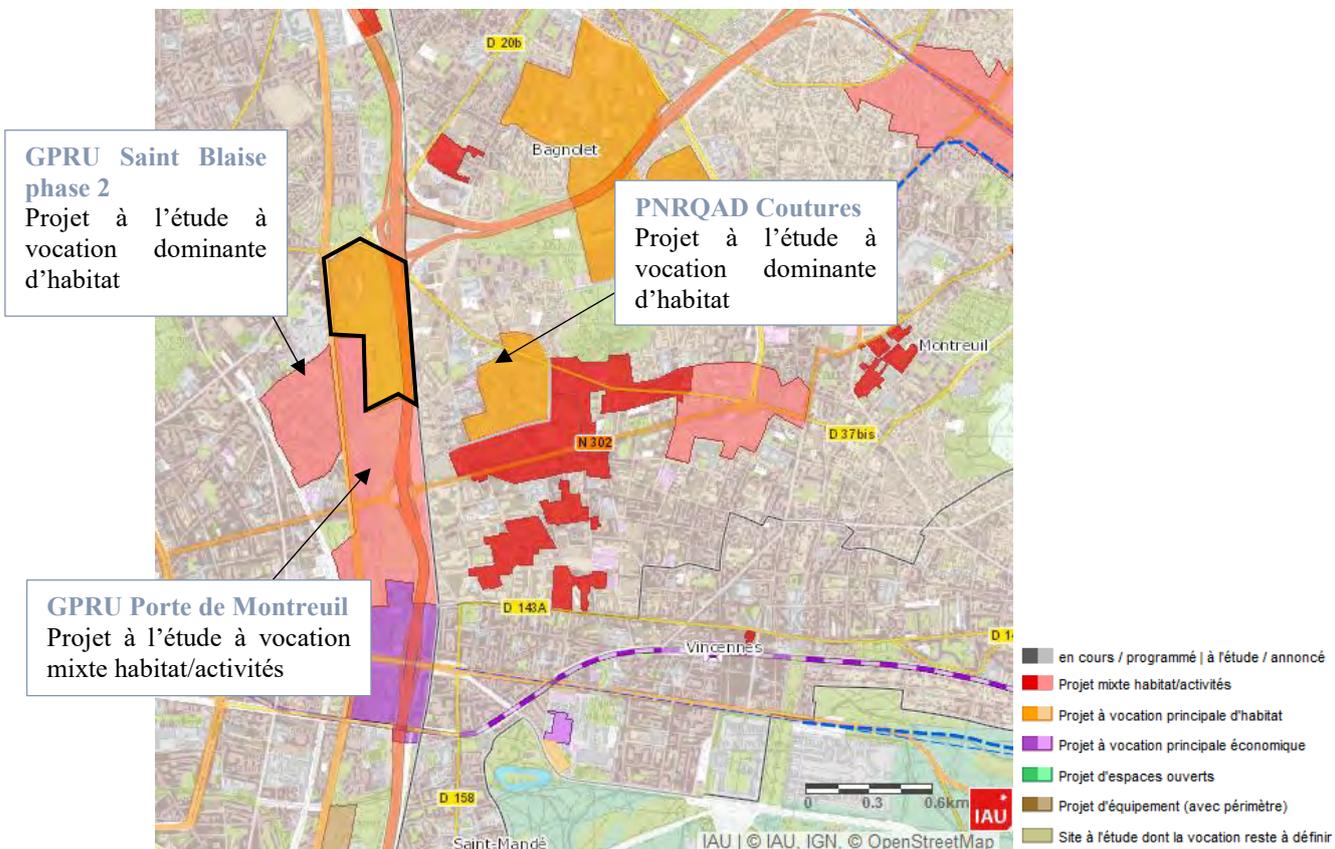
Projets alentours en cours d'opération ou d'étude

Le projet d'aménagement de Python-Duvernois s'insère dans un contexte urbain dynamique.

En effet, de nombreux projets d'envergure vont structurer les alentours du secteur et pourraient impacter la stratégie énergétique de la zone à l'étude, de manière à orienter cette dernière vers une éventuelle mutualisation des besoins.

Le projet global porté par la ville concernant les portes du 20^{ème} arrondissement s'étend de la porte de Bagnolet jusqu'à la porte de Vincennes. Ces projets entrent dans le programme des projets d'intérêt national. Ils ont pour but de désenclaver les secteurs et de proposer un territoire plus attractif et un cadre de vie transformé. Les enjeux principaux sont :

- L'amélioration de la propreté des espaces publics et privés à travers la mise en place d'une démarche de gestion urbain de proximité ;
- L'amélioration du confort des logements ;
- La revitalisation du territoire à travers l'implantation d'acteurs économiques ancrés localement.



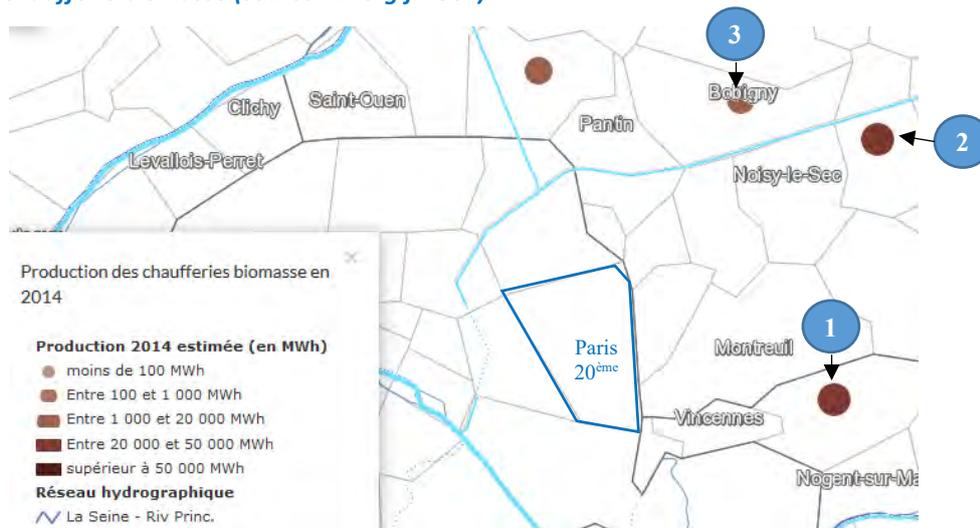
Production d'énergie locale

Plusieurs ressources renouvelables disponibles localement sont déjà mobilisées sur la ville de Paris et les communes à proximité du site à l'étude.

Les sources de production locale d'énergie par commune en Île-de-France sont recensées sur la base de données du Réseau d'Observation de gaz à effet de serre en Île-de-France (ROSE).

Les productions locales d'énergie repérées aux alentours du projet à l'étude sont synthétisées ci-après :

Chaufferie biomasse (source : Energif ROSE)



1. Fontenay-sous-Bois

1 installations d'une puissance de 17 400 kW installée

Consommation de bois estimée : 2 468 tep

Production de chaleur biomasse estimée : 24 393 MWh

2. Bondy

1 installation d'une puissance de 4 800 kW installée

Consommation de bois estimée : 2 252 tep

Production de chaleur biomasse estimée : 22 258 MWh

3. Bobigny

1 installation d'une puissance de 3 240 kW installée

Consommation de bois estimée : 1 231 tep

Production de chaleur biomasse estimée : 12 167 MWh

Production géothermique basse température (source : Energif ROSE)



1. Paris 19ème arrondissement

Nb doublets : 1

Production géothermique profonde estimée : 52 000 MWh

2. Maison-Alfort

Nb doublets : 2

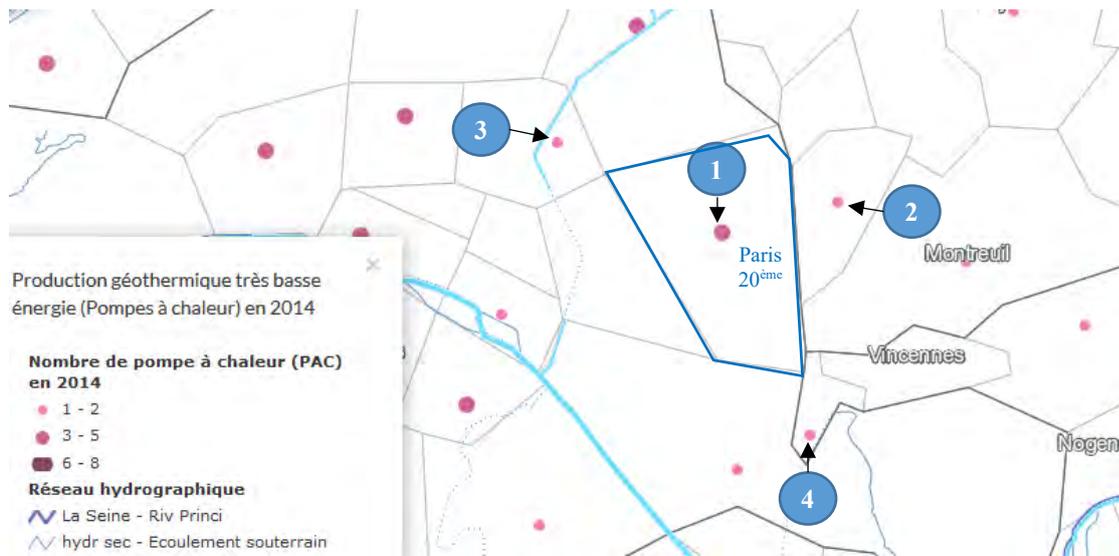
Production géothermique profonde estimée : 57 428 MWh

3. La Courneuve

Nb doublets : 3

Production géothermique profonde estimée : 74 938 MWh

Production géothermique très basse énergie (source : Energif ROSE)



1. Paris 20ème arrondissement

Nb PAC collectif : 3

Nb PAC individuel : 0

Nb PAC total : 3

2. Paris Bagnolet

Nb PAC collectif : 0

Nb PAC individuel : 1

Nb PAC total : 1

3. Paris 10ème arrondissement

Nb PAC collectif : 2

Nb PAC individuel : 0

Nb PAC total : 2

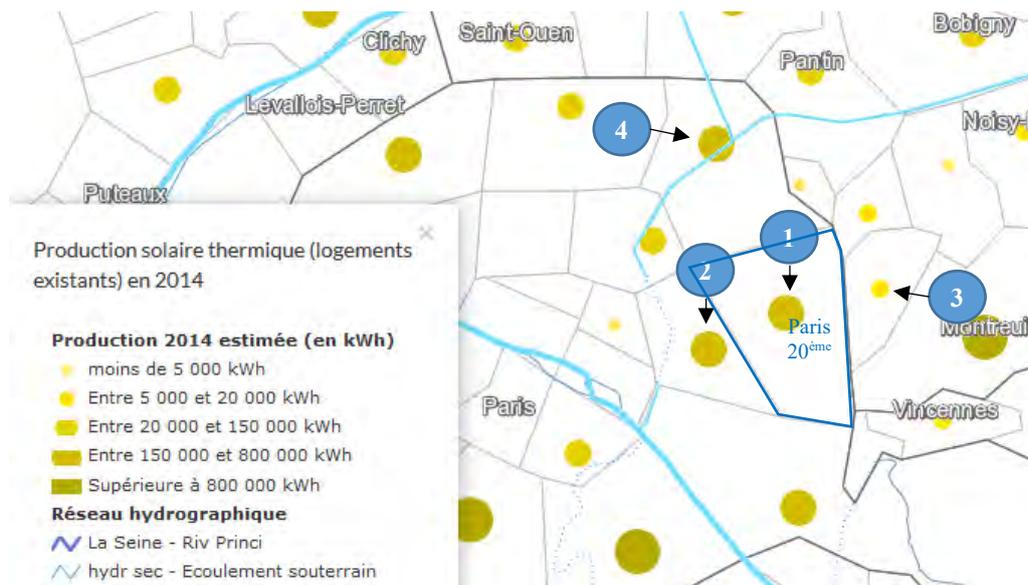
4. Saint-Mandé

Nb PAC collectif : 1

Nb PAC individuel :

Nb PAC total : 1

Production solaire thermique (source : Energif ROSE)



1. **Paris 20^{ème} arrondissement**
 Nombre d'installation : 12
 Surfaces panneaux : 1 556 m²
 Production estimée : 699 774 kWh
2. **Paris 11^{ème} arrondissement**
 Nombre d'installations : 6
 Surfaces panneaux : 444 m²
 Production estimée : 212 317 kWh
3. **Bagnolet**
 Nombre d'installations : 2
 Surfaces panneaux : 14 m²
 Production estimée : 5 760 kWh
4. **Paris 19^{ème} arrondissement**
 Nombre d'installations : 9
 Surfaces panneaux : 1 350 m²
 Production estimée : 583 000 kWh

Au sein du 20^{ème} arrondissement, aucune installation de production d'énergie biomasse ou de géothermie basse température n'est relevée d'après les données sources d'Energif ROSE. Toutefois, l'arrondissement dispose tout de même de 3 PAC qui permettent à des ensembles collectifs d'exploiter de la géothermie à très basse énergie. Concernant la production d'énergie solaire thermique, sont répartis 12 installations de puissance réduite sur l'ensemble du 20^{ème} arrondissement.

En parcourant une échelle élargie, la technique de production permettant la plus grande production d'énergie est la géothermie basse température. Plusieurs installations sont relevées sur le territoire des communes situées au sud de la capitale.

1.2.6. LES BESOINS ENERGETIQUES ASSOCIES

Descriptif des besoins estimés

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



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



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



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



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

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

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

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

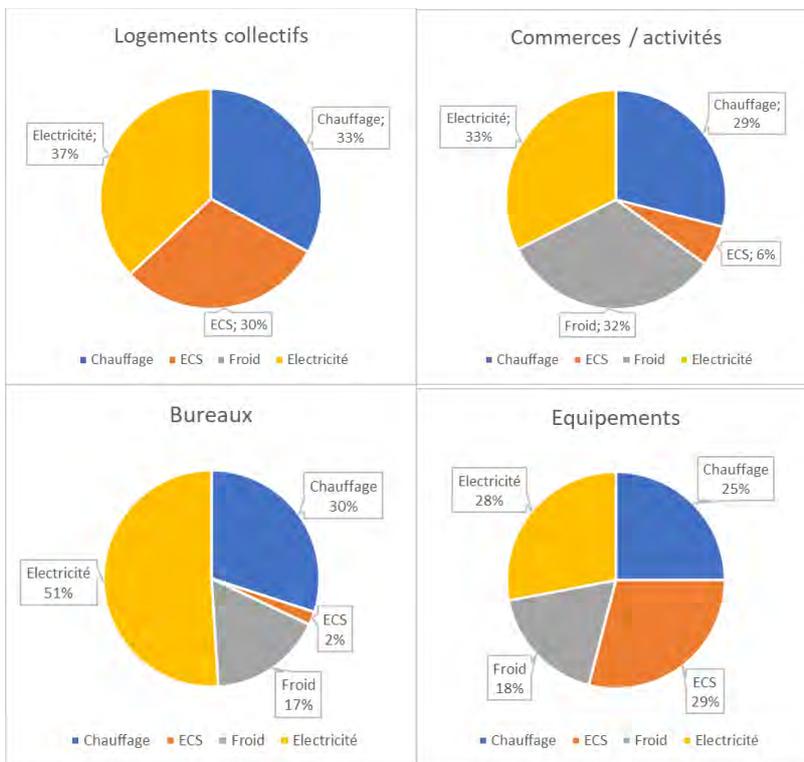


Niveau réglementaire / RT 2012

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

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

- 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.



Ratios de répartition par usages de consommation :

	Logements collectifs	Commerces / activités	Bureaux	Equipements
CEP MAX RT 2012 (kWh/m ² /an)	57,5	120	72	150

RT2012				
Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)
Logements collectifs	19,0	17,3	0,0	21,3
Commerces / activités	34,8	7,2	39,0	39,0
Bureaux	21,6	1,4	12,2	36,7
Equipements	37,5	43,5	27,0	42,0

Niveau ambitieux / RT 2012 - 20 %

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

Il définit la performance du bâtiment à travers :

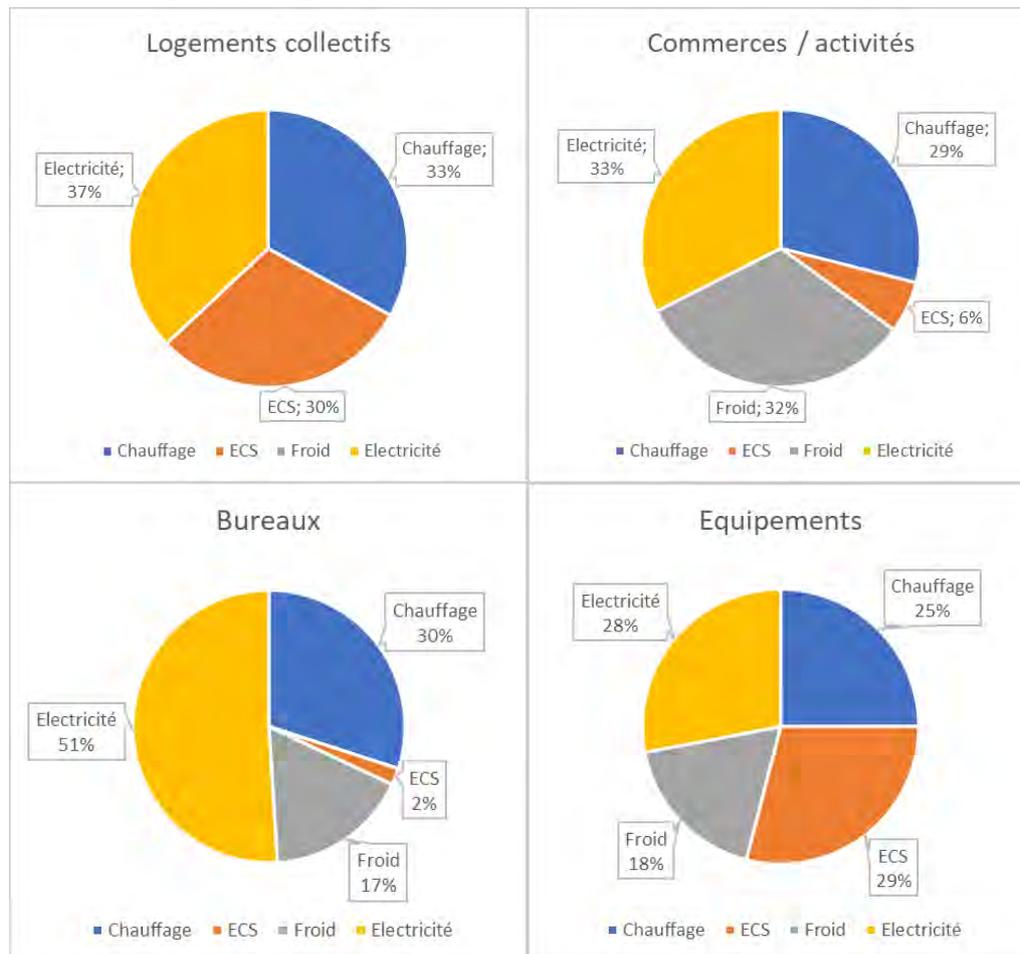
- L'évaluation son bilan énergétique sur l'ensemble des usages (bilan énergétique BEPOS) ;
- L'évaluation de ses émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble de son cycle de vie ainsi que pour les produits de construction et les équipements utilisés.

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

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.



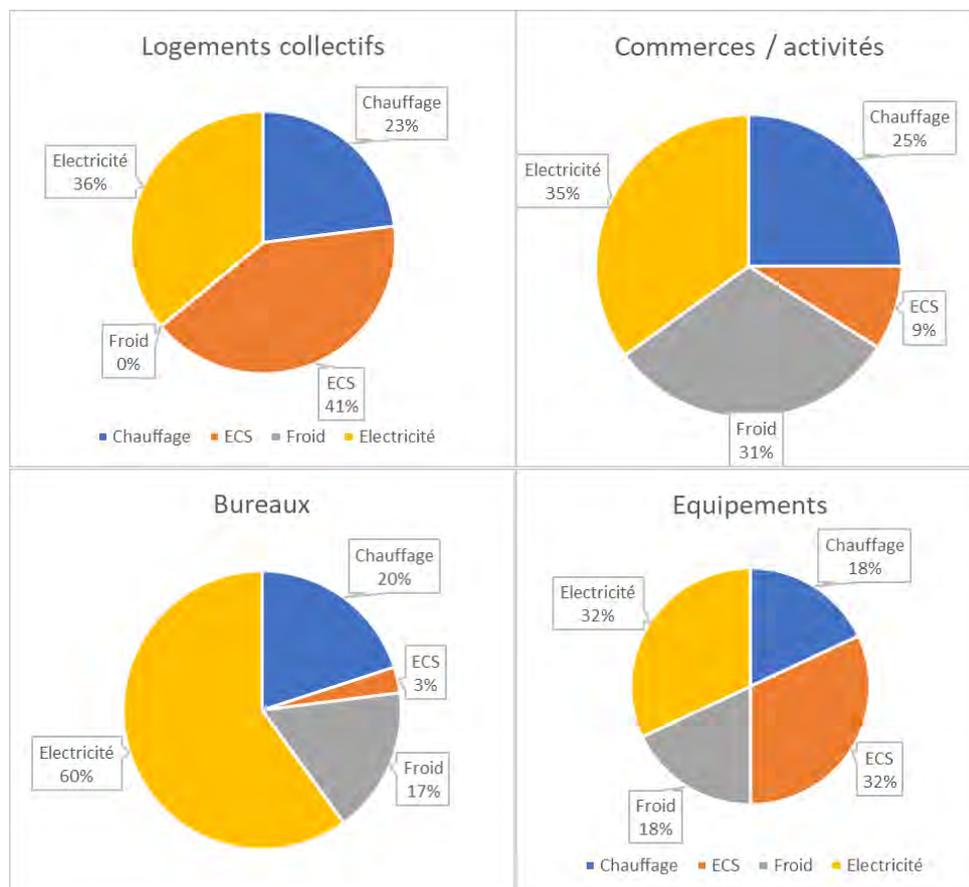
Ratios de répartition par usages de consommation :

	Logements collectifs	Commerces / activités	Bureaux	Equipements
CEP MAX RT 2012 -20% (kWh/m ² /an)	46	96	57,6	120

RT2012 -20%				
Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)
Logements collectifs	15,2	13,8	0,0	17,0
Commerces / activités	27,8	5,8	31,2	31,2
Bureaux	17,3	1,2	9,8	29,4
Equipements	30,0	34,8	21,6	33,6

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 % par rapport au niveau réglementaire actuel RT 2012. Une construction respectant ce niveau d'exigence permet notamment de réduire le poste des besoins de consommation liés au chauffage.



Ratios de répartition par usage de consommation :

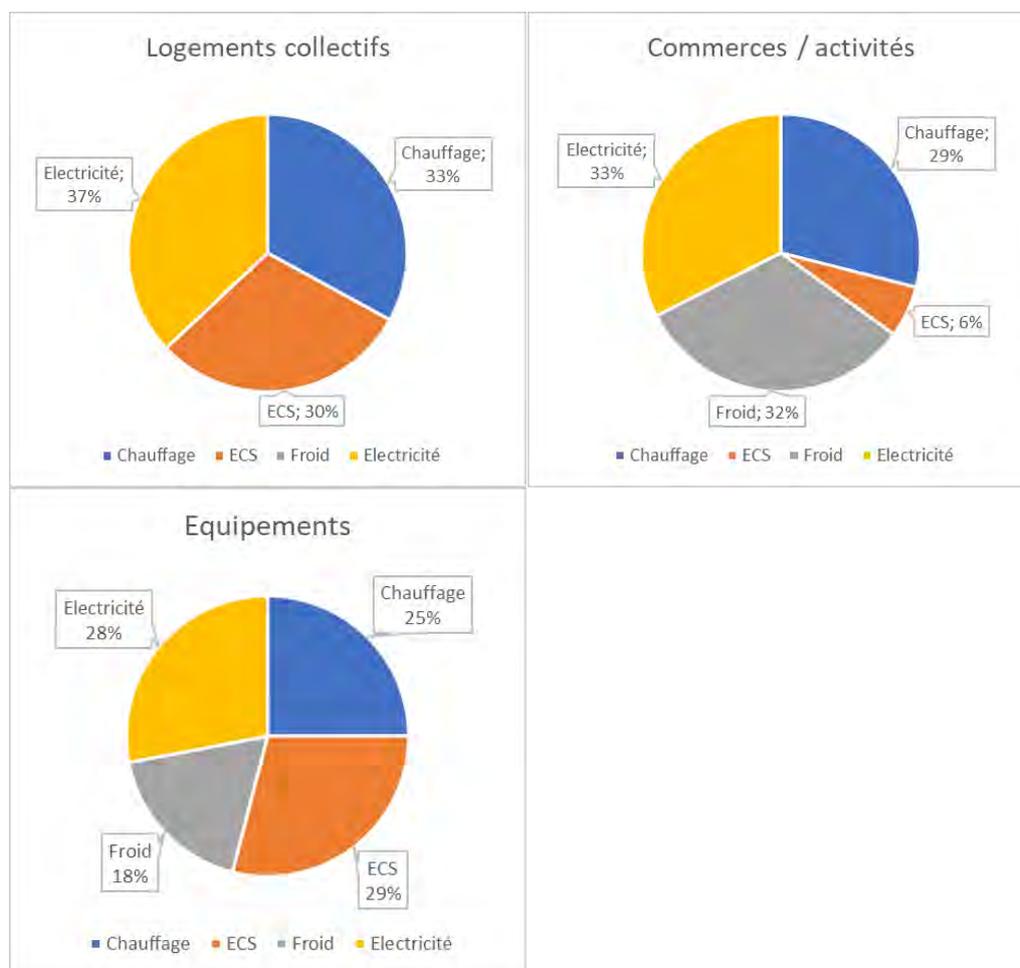
	Logements collectifs	Commerces / activités	Bureaux	Equipements
CEP MAX Passif (kWh/m ² /an)	37,375	78	46,8	97,5

Passif				
Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)
Logements collectifs	8,6	15,3	0,0	13,5
Commerces / activités	19,5	7,0	24,2	27,3
Bureaux	9,4	1,4	8,0	28,1
Equipements	17,6	31,2	17,6	31,2

Niveaux de performance de la rénovation énergétique selon label Effinergie Rénovation

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

Pour les bâtiments destinés à un usage autre que de l'habitation, la consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage des locaux est inférieur de 40% à la consommation conventionnelle de référence définie dans la Réglementation Thermique dite Globale (Cep < Cref - 40%).



Ratios de répartition par usages de consommation :

	Logements collectifs	Commerces / activités	Bureaux	Equipements
CEP MAX Rénovation EFFINERGIE	104	120		150

Rénovation RT2012 EFFINERGIE				
Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)
Logements collectifs	34,3	31,2	0,0	38,5
Equipements	37,5	43,5	27	42
Commerces / activités	34,8	7,2	39,0	39,0

Estimation des besoins énergétiques des nouvelles constructions et des rénovations

Les besoins énergétiques sont estimés sur la base des hypothèses de performance listées précédemment. Ils seront présentés selon les différents niveaux étudiés ci-dessus.

Niveaux réglementaires pour les constructions neuves

Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)	Surface de plancher construite (m ²)	Besoins en chauffage (kWh/an)	Besoins en ECS (kWh/an)	Besoins en Froid (kWh/an)	Besoins en électricité (kWh/an)	Besoins totaux (kWh/an)	Besoins totaux (GWh/an)
CONSTRUCTIONS NEUVES (RT 2012)											
Logements collectifs	19,0	17,3	0,0	21,3	25 025	474849	431681	0	532407	1438938	1,44
Commerces / activités	34,8	7,2	39,0	39,0	6 215	216282	44748	242385	242385	745800	0,75
Bureaux	21,6	1,4	12,2	36,7	57 090	1233144	82210	698782	2096345	4110480	4,11
Equipements	37,5	43,5	27,0	42,0	13 665	512438	594428	368955	573930	2049750	2,05
				TOTAL	101 995	2 436 713	1 153 066	1 310 122	3 445 067	8 344 968	8,34
REHABILITATION (RT2012 Effinergie Rénovation)											
Logements collectifs	34,3	31,2	0,0	38,5	26 779	919055	835505	0	1030456	2785016	2,79
Equipements	37,5	43,5	27,0	42,0	1 140	42750	49590	30780	47880	171000	0,17
Activités	34,8	7,2	39,0	39,0	2 500	87000	18000	97500	97500	300000	0,30
				TOTAL	30 419	1 048 805	903 095	128 280	1 175 836	3 256 016	3,26
									TOTAL	11600984	11,60

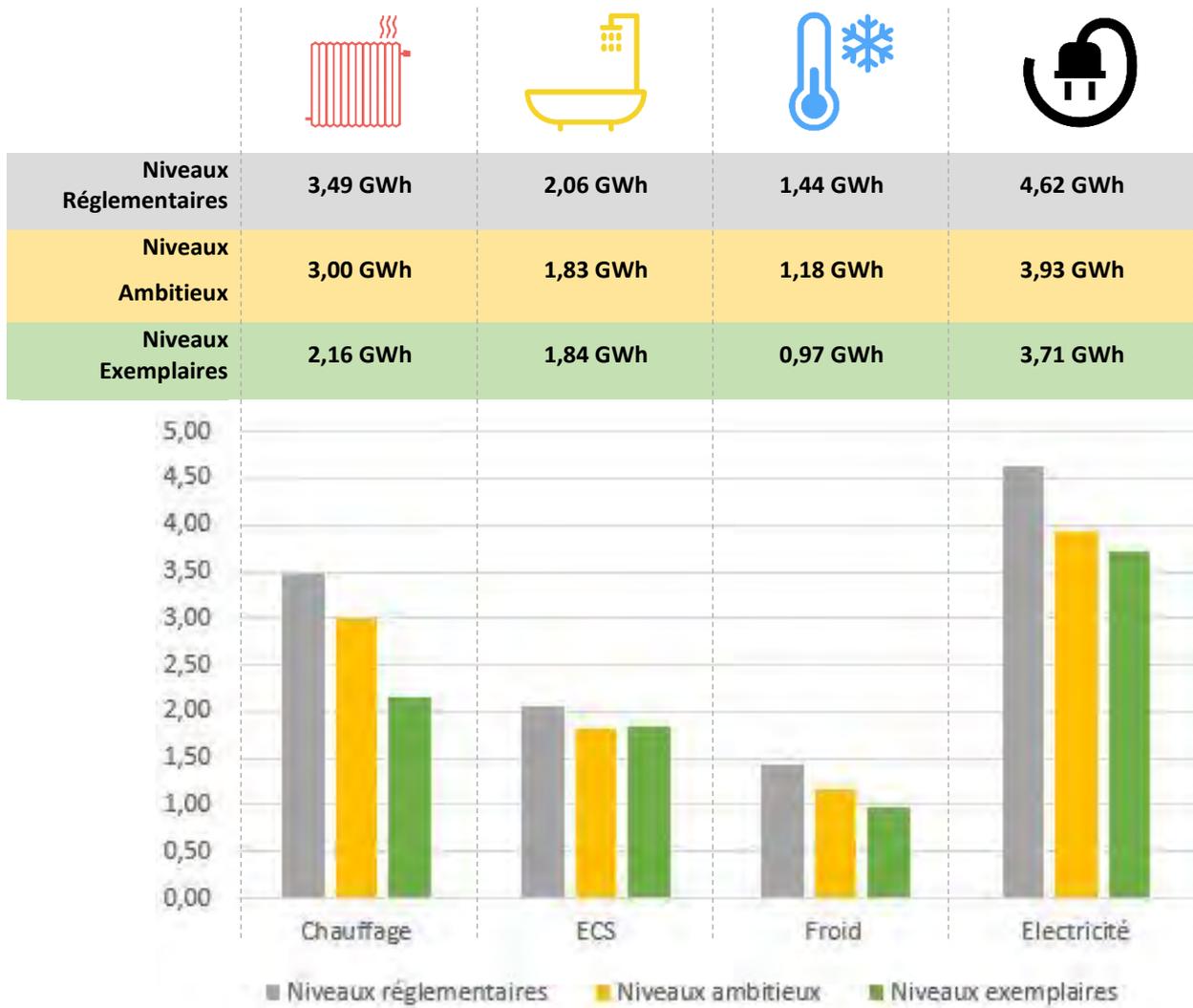
Niveaux ambitieux pour les constructions neuves

Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)	Surface de plancher construite (m ²)	Besoins en chauffage (kWh/an)	Besoins en ECS (kWh/an)	Besoins en Froid (kWh/an)	Besoins en électricité (kWh/an)	Besoins totaux (kWh/an)	Besoins totaux (GWh/an)
CONSTRUCTIONS NEUVES (RT 2012 -20 %)											
Logements collectifs	15,2	13,8	0,0	17,0	25 025,00	379880	345345	0	425926	1151150	1,15
Commerces / activités	27,8	5,8	31,2	31,2	6 215,00	173026	35798	193908	193908	596640	0,60
Bureaux	17,3	1,2	9,8	29,4	57 090,00	986515	65768	559025	1677076	3288384	3,29
Equipements	30,0	34,8	21,6	33,6	13 665,00	409950	475542	295164	459144	1639800	1,64
				TOTAL	101 995	1 949 370	922 453	1 048 097	2 756 053	6 675 974	6,68
REHABILITATION (RT2012 Effinergie Rénovation)											
Logements collectifs	34,3	31,2	0,0	38,5	26 779,00	919055	835505	0	1030456	2785016	2,79
Equipements	37,5	43,5	27,0	42,0	1 140,00	42750	49590	30780	47880	171000	0,17
Activités	34,8	7,2	39,0	39,0	2 500,00	87000	18000	97500	97500	300000	0,30
				TOTAL	30 419	1 048 805	903 095	128 280	1 175 836	3 256 016	3,26
									TOTAL	9931990	9,93

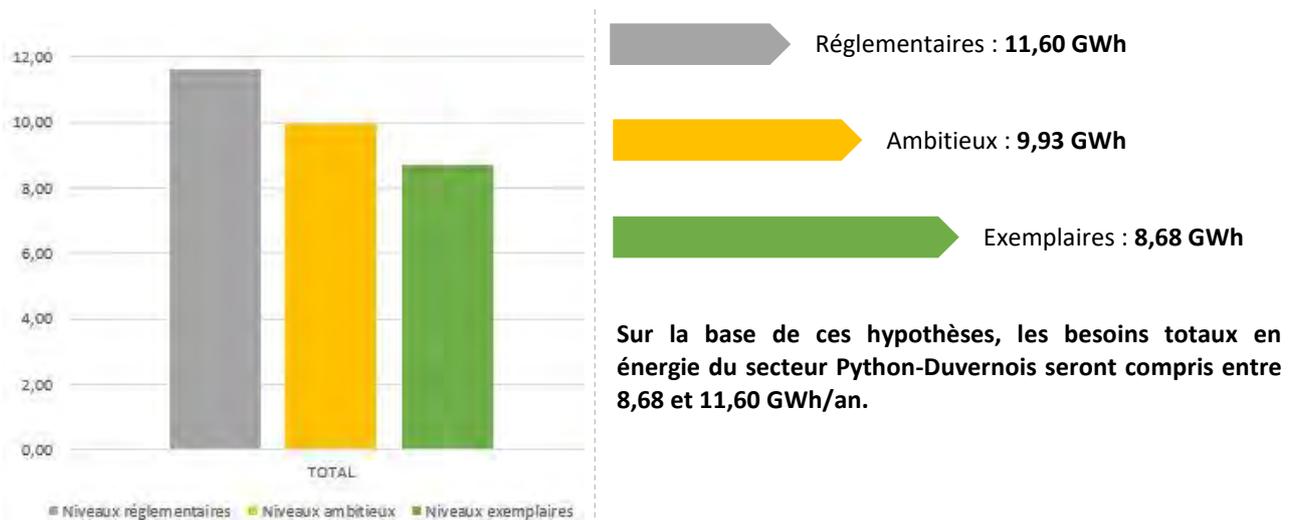
Niveaux exemplaires pour les constructions neuves

Besoins	Chauffage (en kWh/m ² /an)	ECS (en kWh/m ² /an)	Froid (en kWh/m ² /an)	Electricité (en kWh/m ² /an)	Surface de plancher construite (m ²)	Besoins en chauffage (kWh/an)	Besoins en ECS (kWh/an)	Besoins en Froid (kWh/an)	Besoins en électricité (kWh/an)	Besoins totaux (kWh/an)	Besoins totaux (GWh/an)
CONSTRUCTIONS NEUVES (PASSIF)											
Logements collectifs	8,6	15,3	0,0	13,5	25 025,00	215121	383477	0	336711	935309	0,94
Commerces / activités	19,5	7,0	24,2	27,3	6 215,00	121193	43629	150279	169670	484770	0,48
Bureaux	9,4	1,4	8,0	28,1	57 090,00	534362	80154	454208	1603087	2671812	2,67
Equipements	17,6	31,2	17,6	31,2	13 665,00	239821	426348	239821	426348	1332338	1,33
				TOTAL	101 995	1 110 497	933 609	844 307	2 535 816	5 424 229	5,42
REHABILITATION (RT2012 Effinergie Rénovation)											
Logements collectifs	34,3	31,2	0,0	38,5	26 779,00	919055	835505	0	1030456	2785016	2,79
Equipements	37,5	43,5	27,0	42,0	1 140,00	42750	49590	30780	47880	171000	0,17
Activités	34,8	7,2	39,0	39,0	2 500,00	87000	18000	97500	97500	300000	0,30
				TOTAL	30 419	1 048 805	903 095	128 280	1 175 836	3 256 016	3,26
									TOTAL	8680245	8,68

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



Comparaison des besoins énergétiques selon les niveaux de performance étudiés



An aerial photograph of a university campus, showing various buildings, courtyards, and sports fields. A large blue rectangular box is overlaid on the center of the image, containing white text. The text is in a bold, sans-serif font and is centered within the box. The background image shows a mix of urban architecture and green spaces, with a multi-lane highway visible on the right side.

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. Dans un milieu très urbanisé tel que celui de Python-Duvernois, on démontrera ainsi que les solutions alternatives de ressources énergétiques sont pour la plupart inadaptées au contexte local et on tentera ainsi de pointer les rares possibilités s'offrant à lui pour la suite du projet.

2.1 L'ÉNERGIE SOLAIRE

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

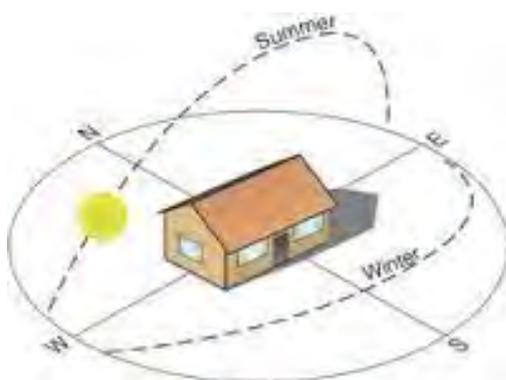
- La conception adaptée des bâtiments, qui permet d'exploiter au mieux les apports solaires pour couvrir les besoins de chauffage ;
- Les panneaux solaires thermiques peuvent être utilisés pour la production d'eau chaude sanitaire, pour le chauffage des constructions ou encore pour la production de froid.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

2.1.1 SOLAIRE PASSIF

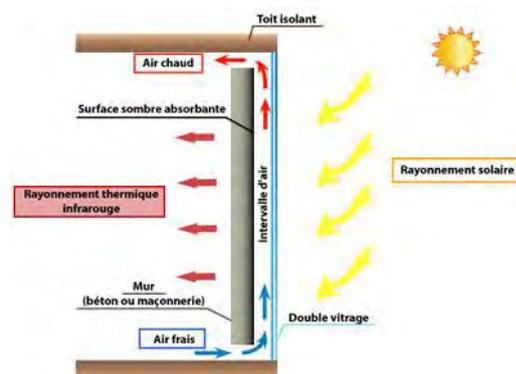
Le solaire passif regroupe les solutions, essentiellement constructives, qui utilisent passivement l'énergie du soleil pour le chauffage des locaux en hiver. Quel que soit la conception des bâtiments, ces derniers bénéficient d'une part de solaire passif, le tout étant d'optimiser l'apport de solaire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

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

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



Ensoleillement des façades

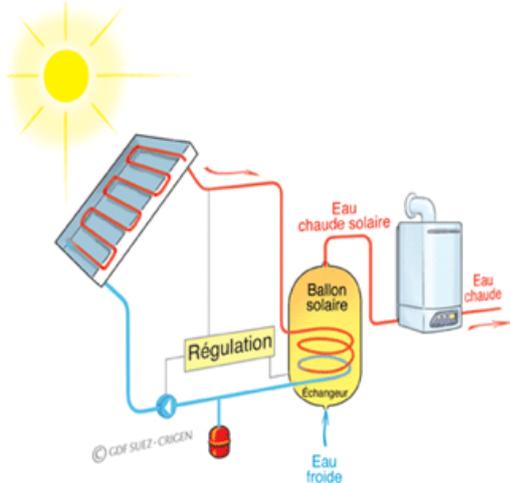


Mur trombe

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

2.1.2 SOLAIRE THERMIQUE

Principe de fonctionnement



Principe de fonctionnement d'une installation solaire thermique.

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

Echelle d'exploitation

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

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

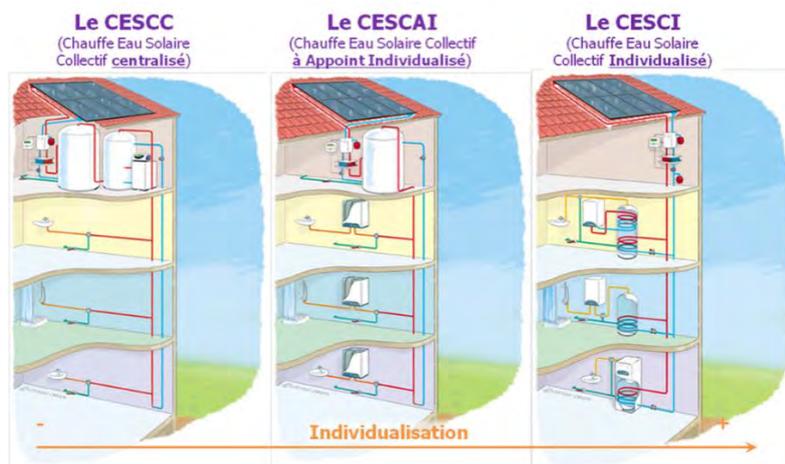


Schéma des différents types de chauffe-eau solaires.

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	

Coût global de la technologie



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

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

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

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

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

Subventions 2017

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

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

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

D'autres aides existent également : différentes réductions en provenance de l'Etat (crédit d'impôt, taux de TVA réduit), de la banque (éco-prêt à taux zéro), de l'ANAH, ou encore de la région, département ou commune (offres 2017).

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

Tableau récapitulatif

Technologie	Productivité annuelle (en kWh/m ²)	Prix/m ²	Retour investissement sur	Retour sur expérience	Durée de vie	Coût de l'énergie (en €/kWh)
Solaire thermique	450 à 550	800 à 1500€	10 à 15 ans	Très bon	20 ans	0.2

2.1.3 LA CLIMATISATION SOLAIRE

Présentation de la technologie :

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

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

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

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%	

Coût global de la technologie

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

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

Subventions 2017

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.

Tableau récapitulatif

Technologie	Productivité annuelle (en kWh/m ²)	Prix/m ²	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

2.1.4 LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Présentation de la technologie

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

Dans le cadre de la réalisation d'un projet d'aménagement en milieu urbain, le choix de la seconde option semble plus pertinent étant donné que les systèmes autonomes sont plus rentables dans le cas d'habitations isolées (rentabilité supérieure lorsque l'électricité est réinjectée dans le réseau).

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

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



Module solaire polycristallin



Module solaire amorphe



Module solaire couche mince

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)	

Coût global de la technologie

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

- entre 2,7 et 3,7 euros HT/W pour des systèmes de puissance nominale inférieure à 10 kW, selon le niveau d'intégration au bâtiment des modules ;
- de l'ordre de 2 euros HT/W pour un système de moyenne puissance supérieure à 36 kW, installé sur une grande surface de toiture (toitures commerciales, industrielles, agricoles) ;

- de l'ordre de 1,6 euros HT/W pour une centrale au sol de puissance supérieure à 1 MW.

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

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

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

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

Tarif de rachat

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

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

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

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

A ce jour (2^{ème} trimestre 2017), les prix de rachat en cas de vente totale de l'énergie produite et selon les technologies disponibles, sont les suivants :

2017	Type installation	Puissance Killowatt/crête	Tarif achat
01/05/2017 au 30/06/2017	Intégration au bâti (IAB)	≤3	23.02 €
01/05/2017 au 30/06/2017	Intégration au bâti (IAB)	≤9	20.04 €
01/05/2017 au 30/06/2017	Intégration simplifiée au bâti (ISB)	≤3	18.07 €
01/05/2017 au 30/06/2017	Intégration simplifiée au bâti (ISB)	≤9	15.09
01/05/2017 au 30/06/2017	Non intégration au bâti IAB/ISB < 100kWc	≤ 36	12.07 €
01/05/2017 au 30/06/2017	Non intégration au bâti IAB/ISB < 100kWc	≤ 100	11.50 €

Source : Picbleu.fr

Subventions 2017

Pour les collectivités, l'installation peut être éligible à une subvention de la région de l'ordre de 40% du montant des études de faisabilité et de l'ADEME à hauteur de 25% en cofinancement s'il y a, aide du conseil régional ou de 50% en l'absence du conseil régional. 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 0,1 à 0,4 ct€/Wc 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.

Type installation	Puissance (kWc)	primes et tarifs (c€/kWh) du 10/05 au 30/06/17
Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation	≤ 3 kwc	prime de 400 €/kwc + vente à 10 c€/kWh
	≤ 9 kwc	prime de 300 €/kwc + vente à 10 c€/kWh
Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation	≤ 36 kwc	prime de 200 €/kwc + vente à 6 c€/kWh
	≤ 100 kwc	prime de 100 €/kwc + vente à 6 c€/kWh
Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation	> 100 kwc	0

Tableau récapitulatif

Technologie	Productivité annuelle (en kWh/m ²)	Prix/m ²	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

2.1.5 POTENTIEL SOLAIRE LOCAL

La productivité des installations solaires (thermique ou photovoltaïque) est déterminée à partir du gisement solaire local issu des données météorologiques et de l'ensoleillement du territoire.

Données météorologiques :

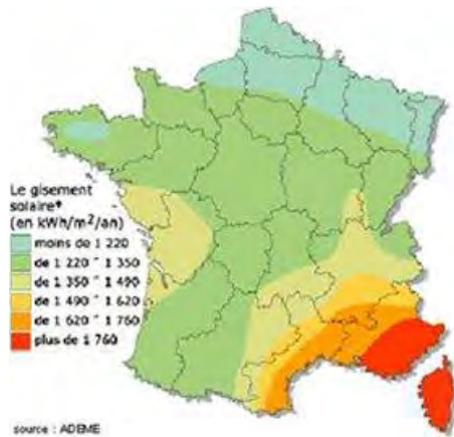
Le tableau ci-après résume les données d'ensoleillement et de températures pour la base météorologique de la ville de Paris. Elles proviennent du programme européen PVGIS (pour les données d'irradiation: données moyennes sur Paris) et de la base de données de Météo France (températures moyennes calculées à partir des 20 dernières années).

Mois de l'année	Irradiation à l'horizontal (en Wh/m ² .j)	Irradiation à l'inclinaison optimale 36° (en Wh/m ² .j)	Température minimum (en °C)	Température moyenne (en °C)	Température maximum (en °C)
Janvier	880	1360	2,5	4,7	6,9
Février	1610	2290	2,6	5,5	8,2
Mars	3120	4020	5,1	8,4	11,6
Avril	4580	5190	6,8	10,8	14,7
Mai	5190	5260	10,5	14,8	19
Juin	5780	5570	13,3	17,5	21,8
Juillet	5700	5630	15,5	20	24,4
Août	4810	5210	15,4	20	24,6
Septembre	3670	4560	12,5	16,6	20,6
Octobre	2120	2940	9,2	12,5	15,8
Novembre	1080	1610	5,3	7,9	10,4
Décembre	776	1290	3	5,7	7,8
Année	3280	3750	8,5	12	15,6

Au regard de ces données, on peut constater que l'ensoleillement du territoire est plutôt faible et les températures varient de manière assez conséquente entre la période estivale et la période hivernale.

Ensoleillement et irradiation reçue/1m² de panneaux en moyenne :

La commune de Paris se caractérise par un nombre d'heures d'ensoleillement de 1 500 h/an et d'un gisement solaire compris entre 1117 kWh/m².an.



Ensoleillement de la ville de Paris

La station météo de Paris permet d'estimer l'irradiation des toitures et des éventuels modules solaires qui y sont implantés.

Nous avons considéré une orientation des capteurs de 30° par rapport à l'horizontale.

Mois	Energie solaire reçue plan horizontal (Wh/m ² .j)	Energie solaire reçue plan des capteurs (Wh/m ² .j)
Janvier	836	1174
Février	1557	2061
Mars	2669	3199
Avril	4036	4390
Mai	4730	4769
Juin	5290	5188
Juillet	5549	5538
Août	4705	4981
Septembre	3343	3881
Octobre	2044	2649
Novembre	1116	1613
Décembre	663	941

Irradiation solaire à Paris. Source : Tecsol

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

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

Station Météo	Paris			
Latitude du lieu	48°49			
Modules PV	Générique Si multicristalin (Verre/Tedlar)	Générique Si monocristalin (Verre/Tedlar)	Générique Si amorphe (Verre/Tedlar)	Générique Si CdTe (Verre/Tedlar)
	Puissance 172 Wc	Puissance 217 Wc	Puissance 90 Wc	Puissance 75 Wc
Orientation	0° / Sud			
Inclinaison	30° / horizontale			
Surface utile	99 m ²			
Puissance crête	11,4 kWc	14,3 kWc	5,9 kWc	10,4 kWc
Total énergie (kWh/an)	10 475	13 393	5 534	9 642
Total CO2 évité (kg/an)	3 771	4 821	1 992	3 471
Productivité (kWh/kWc.an)	923	935	932	932

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

Sur le site, 100 m² de panneaux solaires permettraient donc de produire entre 5 534 et 13 393 kWh/an selon la technologie choisie.

Le temps de retour sur investissement varie de 15 à 20 ans selon le type de panneaux installés.

Ce gisement est suffisant pour la mise en place des différentes technologies valorisant le solaire.

2.2. L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

2.2.1 LE GRAND EOLIEN ET LE PETIT EOLIEN

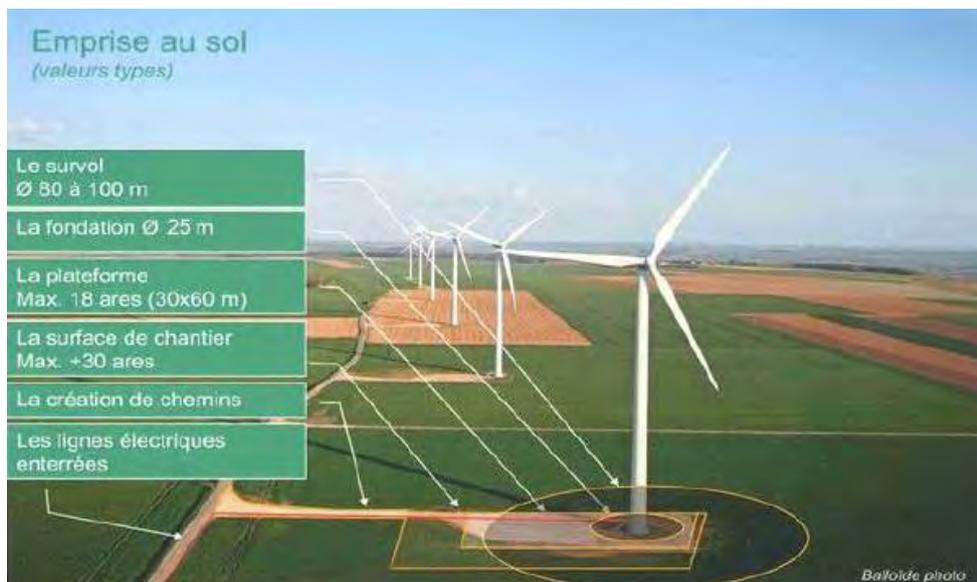
Le grand éolien désigne les aérogénérateurs dont la puissance est comprise entre 1 500 kW et 2 500 kW et d'une hauteur en général supérieure à 50m. Ils sont destinés à la production d'électricité pour le réseau. Deux types de technologies peuvent être utilisés :

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



Eoliennes à axe vertical et horizontal

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



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

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...)

Coût global de la technologie

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

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

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

Pour une éolienne de 2 000 kW, cela représente :

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

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

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

Subventions 2017

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	8,4	8,2
Entre 2 400 et 2 800 heures	8,4	Interpolation linéaire
2 800 heures	8,4	6,8
Entre 2 800 et 3 600 heures	8,4	Interpolation linéaire
3 600 heures et plus	8,4	2,8

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

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

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

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

2.2.2 L'ÉOLIEN URBAIN

Présentation de la technologie

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



Eoliennes urbaines

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

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	

Coût global de la technologie

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

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

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

Subventions 2017

Pour l'année 2017, le Crédit d'Impôt pour la Transition Énergétique (CITE) qui autorise les particuliers à répercuter 30% du coût de leur rénovation énergétique directement sur leurs impôts n'est donc plus à l'ordre du jour en ce qui concerne l'installation d'éoliennes, quel que soit leur potentiel énergétique. Il en est ainsi de même pour l'Éco-prêt à taux zéro, un crédit à taux d'intérêt nul bien pratique ordinairement destiné aux propriétaires voulant rénover leur logement.

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

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

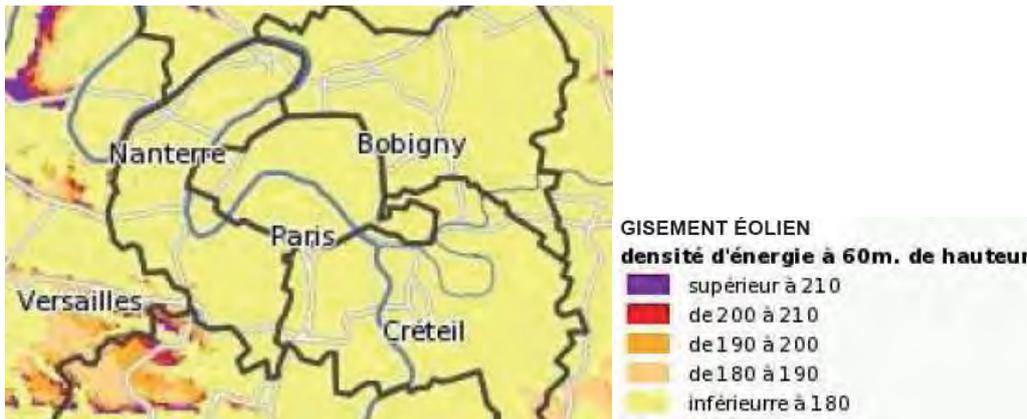
2.2.3. POTENTIEL EOLIEN LOCAL

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.

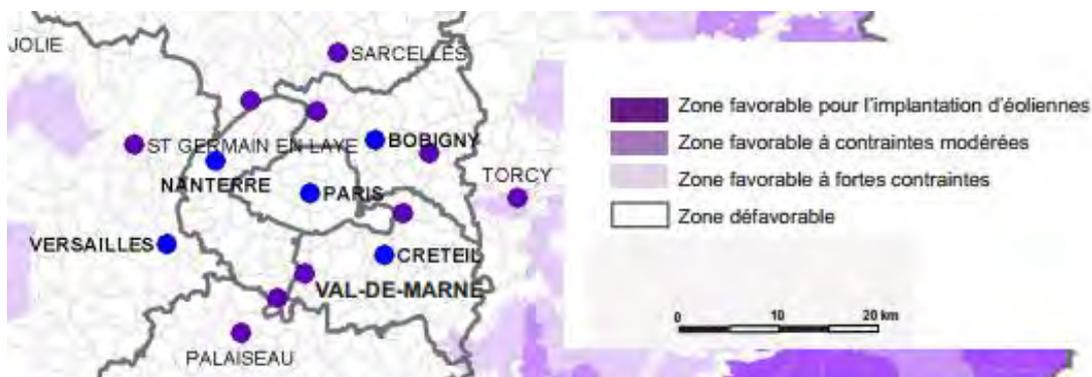
GRAND EOLIEN

Le gisement éolien est faible sur la ville de Paris. Les vents dominants sont orientés S-O/ N-E avec des vents de hautes vitesses (8m/s) présents pendant moins de 6% de l'année. Par ailleurs, les règles d'implantation sont, à minima, un retrait de 500 m des habitations et un regroupement de 5 éoliennes.

Le site n'est pas adapté du tout à cette source d'énergie renouvelable.



Zones de développement de l'éolien, Source : EED, ADEME, ARENE IdF, RTE, DRAC, DRIEE - IF, Route 500 - IGN 2005. Exploitation IAURIF 2008

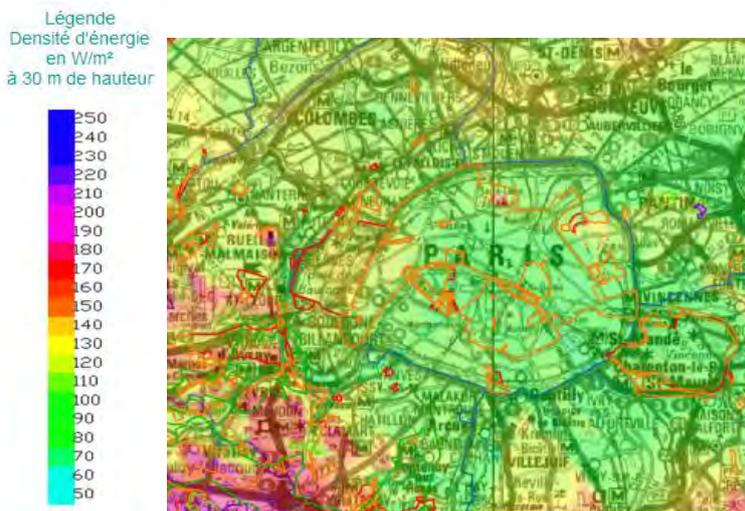


Source : Carte des zones favorables à l'implantation d'éoliennes - SRCE d'Ile de France

Actuellement, plusieurs projets d'éoliennes ont déjà été réalisés en Ile-de-France et des zones de développement de l'éolien ont déjà été accordées. Néanmoins, aucun projet n'est recensé sur le périmètre de la ville de Paris.

PETIT EOLIEN

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



Source : Atlas éolien de l'ARENE IdF

Compte tenu de cette vitesse plutôt faible et de la présence d'obstacles pour le passage du vent (zones ouvertes actuelles et urbanisées dans le futur), l'implantation d'éoliennes urbaines, si cette technologie est choisie, devra être privilégiée en toiture des bâtiments collectifs ou les équipements collectifs de hauteur conséquente afin d'assurer une prise aux vents optimale et une vitesse de vents suffisante pour que l'éolienne fonctionne correctement et que son installation soit rentable. **Néanmoins, au regard des tentatives infructueuses réalisées à Paris pour l'exploitation de cette ressource, la solution éolienne urbaine n'est pas non plus recommandée pour répondre aux besoins énergétiques du quartier.**

2.3. L'HYDROLIEN

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 reste généralement le même.



Hydroliennes implantées dans un fleuve

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	

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 reste l'un des plus élevés 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 beaucoup plus conséquent que celui des éoliennes, les difficultés d'accès demandent un personnel qualifié et l'érosion provoquée par l'eau de mer 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.

Subventions 2017

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 1^{er} septembre 2014.

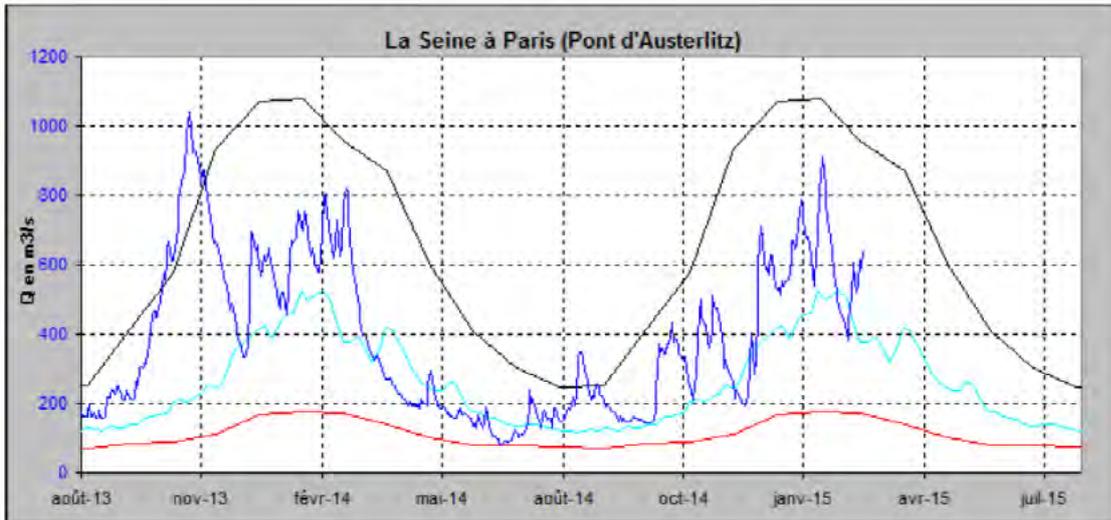
Concernant le tarif de rachat de l'électricité produit par l'hydrolien, il a été défini à 15 c€/kWh durant les 20 premières années.

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

Potentiel hydrolien local

Le territoire de Paris est traversé par la Seine. Néanmoins le secteur Python-Duvernois ne se situe pas à proximité de celle-ci et offre peu de possibilités en termes d'énergie hydrolienne. Le débit moyen annuel connaît de plus des fluctuations saisonnières importantes (compris entre de 200 m³/s et 811 m³/s), les installations hydrauliques ne semblent donc pas rentables.



Débit moyen mensuel de la Seine à Paris (en m³/s)
 Station hydrologique : Pont d'Austerlitz
 (rouge : quinquennal sec, noir : quinquennal humide, bleu ciel :
 médiane, bleu foncé : débit mesuré en 2014)

2.4. LA GÉOTHERMIE

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

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

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

2.4.1 HAUTE ENERGIE

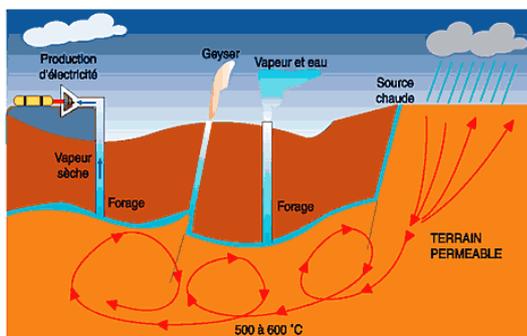


Schéma de géothermie haute énergie

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

Principale utilisation : la production d'électricité.

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

Ce type de ressource est géographiquement très localisé.

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

2.4.2 BASSE ENERGIE

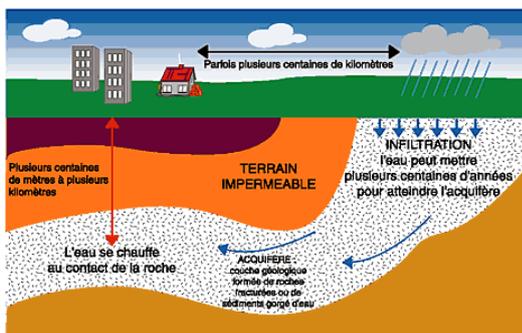


Schéma géothermie basse énergie

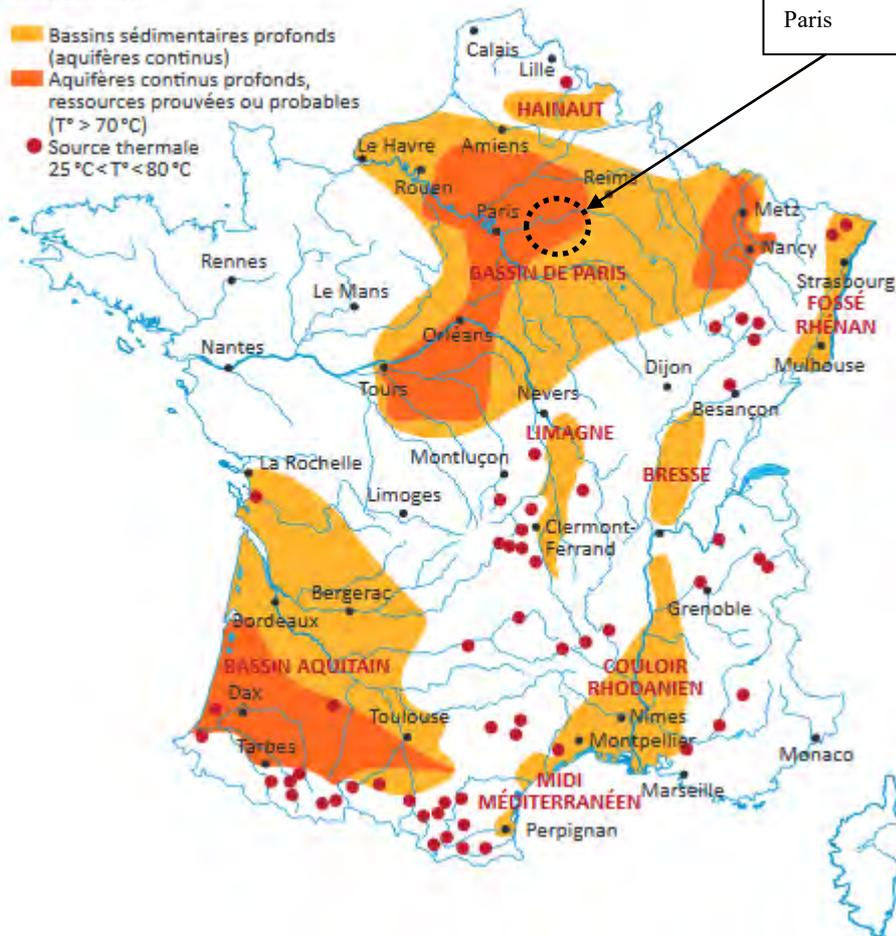
Consiste en l'extraction d'une eau chaude (entre 50 et 90°C) dans des gisements situés entre 1500m et 2500m de profondeur. Le niveau de chaleur est directement adapté au chauffage des bâtiments.

Principale utilisation : les réseaux de chauffage urbain.

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

Le gisement géothermique français

source : BRGM



Carte du gisement géothermique en France, source : BRGM

L'aquifère de Dogger représente un potentiel d'énergie important au niveau du site. La mise en place d'un forage avec une profondeur importante ($> 2000\text{m}$) s'avèrerait alors nécessaire.

La mise en œuvre d'un forage de ce type se fait généralement dans le cadre de projets d'ampleur considérable (environ 5000 équivalents logement), comme cela a été le cas lors de la réalisation de l'éco-quartier Boule/Sainte-Geneviève. Un tel dispositif ne serait pas adapté à l'échelle de la ZAC Place Foch.

2.4.3 TRES BASSE ENERGIE

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

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

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

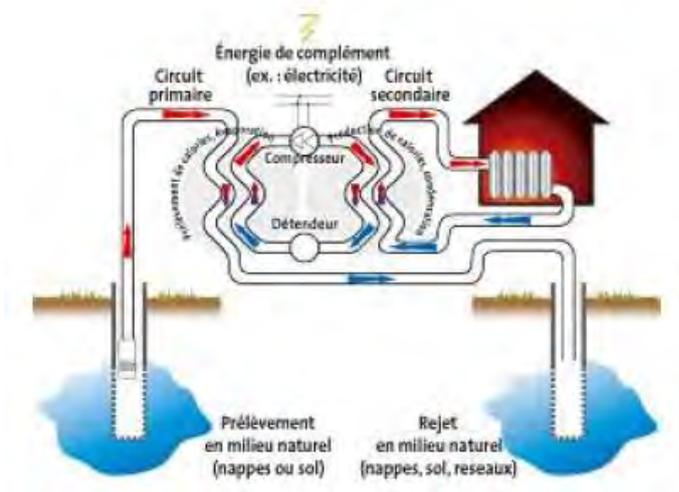


Schéma de principe de fonctionnement d'une pompe-à-chaleur sur eau de nappe

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

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

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

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

Sondes géothermiques

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

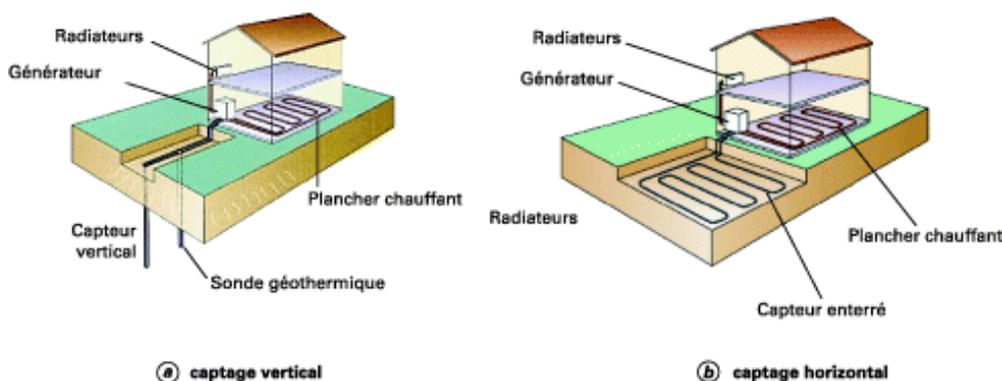


Schéma de principe des sondes géothermiques verticales ou horizontales

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

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

Pieux géothermiques

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

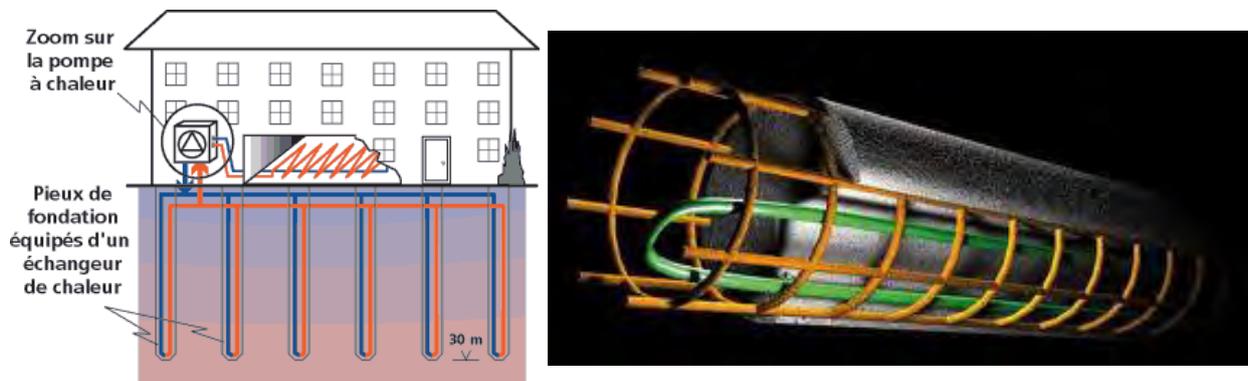


Schéma de principe des capteurs géothermiques intégrés aux pieux

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...)

Coût global de la technologie géothermie sur aquifères

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

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

Subventions 2017

Les aides représentent 60% des dépenses éligibles pour des opérations sur champ de sondes (soit un niveau d'aide pour les opérations sur champ de sondes compris entre 3 500 et 8 500 €/ (tep sortie installation/an))

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

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

- La garantie « recherche » couvre le risque d'échec consécutif à la découverte d'une ressource en eau souterraine insuffisante pour fournir le débit d'eau nécessaire. Le taux de cotisation pour cette garantie est désormais de 5% du montant des ouvrages garantis en recherche.
- La garantie « pérennité » couvre le risque de diminution ou de détérioration de la ressource, en cours d'exploitation. La durée de cette garantie est de 10 ans, et le taux de cotisation pour cette garantie est de 4% du montant des ouvrages garantis.

Le taux de TVA 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.

Autres soutiens financiers

Aide de l'ANAH (Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat) pour une pompe à chaleur géothermique

L'Agence nationale d'amélioration de l'habitat peut accorder une subvention pour l'installation d'une pompe à chaleur géothermique. L'ANAH peut vous faire bénéficier de primes en complément de la subvention :

Une prime de 900€ pour l'installation (fourniture et main d'œuvre) d'une pompe à chaleur air/eau ;

Une prime de 1 800€ pour l'installation d'une pompe à chaleur à capteurs enterrés.

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.

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.

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

2.4.1. POTENTIEL GEOTHERMIQUE LOCAL

Au regard des différentes technologies géothermiques présentes actuellement sur le marché, plusieurs possibilités s'offrent au territoire de Python-Duvernois.

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

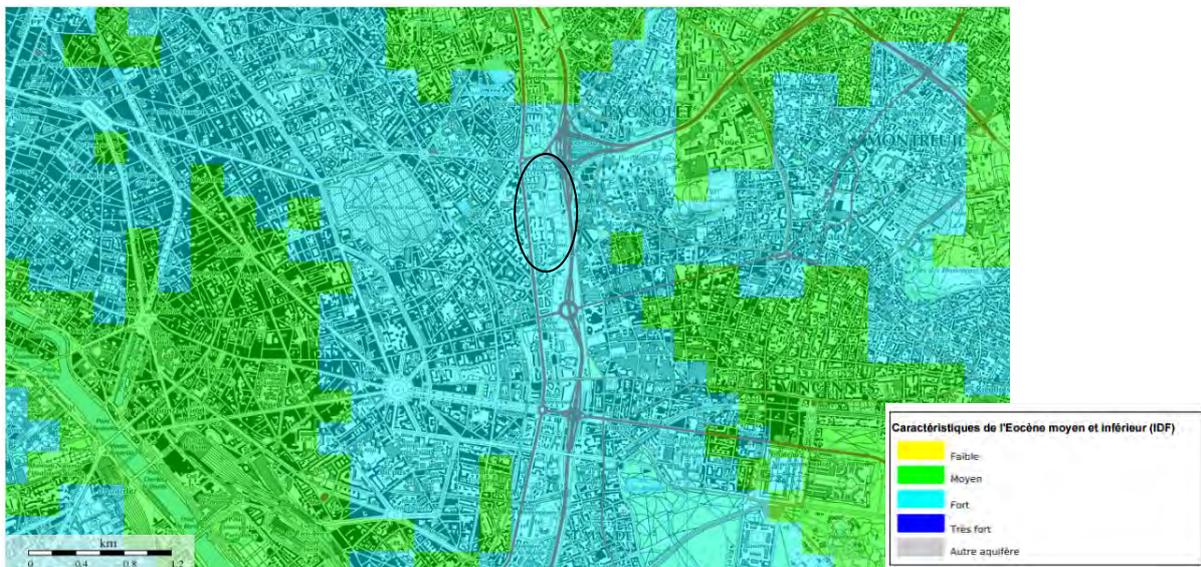
Géothermie sur nappe aquifère superficielle

Il existe 4 aquifères à faibles profondeurs :

- l'aquifère de l'OLIGOCÈNE (-23 à -35m) composé des Calcaires de Beauce, des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Brie,
- l'aquifère de l'ÉOCÈNE SUPÉRIEUR (-35 à -42m) composé du Calcaire de Champigny, des Sables de Montceau, des Calcaires de Saint-Ouen et des Sables de Beauchamp,
- l'aquifère de l'ÉOCÈNE MOYEN et INFÉRIEUR (-42 à -60m) composé du Calcaire Grossier du Lutétien inférieur, des Sables de Cuise et des Sables du Soissonnais,
- l'aquifère de la CRAIE d'âge Sénonien du Crétacé Supérieur (-74 à -83m).

Le secteur de Python-Duvernois est concerné par les aquifères ÉOCÈNE MOYEN et INFÉRIEUR. Le pré-diagnostic réalisé par le BRGM, ARENE, ADEME et EDF montre un potentiel exploitable fort pour le secteur de Python-Duvernois sur les aquifères EOCENE MOYEN ET INFÉRIEUR.

Pour l'aquifère de la EOCENE MOYEN ET INFÉRIEUR (Source : www.geothermie-perspectives.fr)

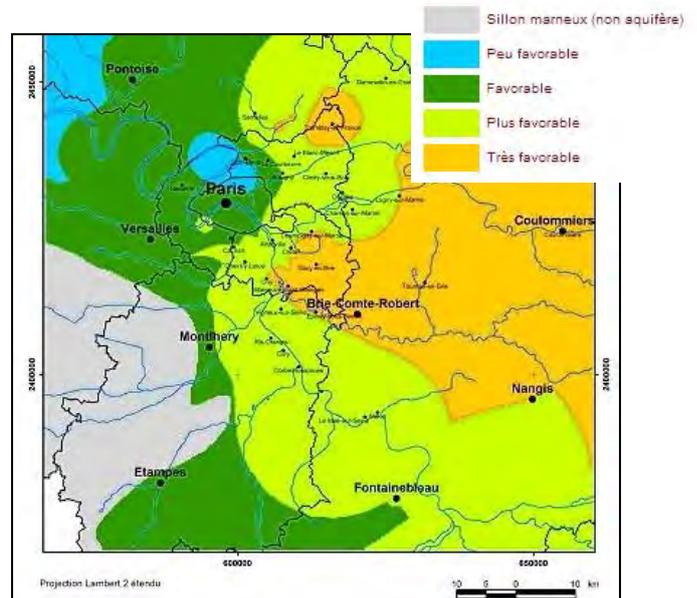


Le potentiel des aquifères superficiels étant favorable pour Python-Duvernois cette source d'énergie peut être envisagée pour couvrir les besoins d'équipements ou bâtiments de logements collectifs.

Géothermie sur nappe aquifère profonde

Le bassin sédimentaire parisien dispose de 5 grands aquifères (dont 4 caractéristiques de la géothermie basse énergie. Le Dogger est le bassin le plus exploité avec 34 installations géothermales réparties sur le territoire (d'autres projets sont également en cours).

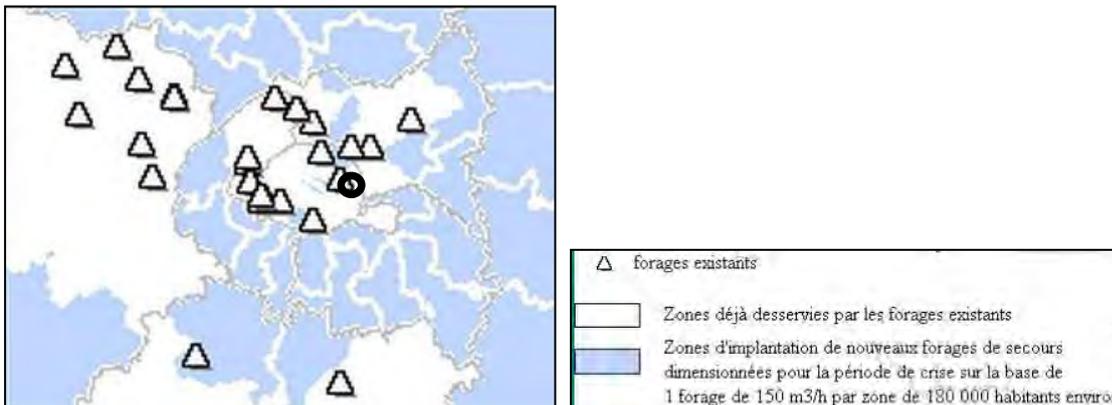
Python Duvernois se situe en zone favorable pour l'exploitation de la géothermie aquifère profonde.



Source : Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile-de-France du BRGM

Le potentiel de l'aquifère du Dogger étant favorable sur le secteur, cette source d'ENR pourrait être envisagée dans le cadre de la mise en place d'un réseau de chaleur. Un réseau CPCU existant déjà à Paris et à proximité de Python-Duvernois, l'exploitation de la chaleur du Dogger n'est pas une solution à retenir dans le cadre du projet.

L'Albien est une nappe moins profonde exploitable, située vers 600/700m de profondeur, sa température se situe entre 25°C et 30°C et les débits sont assez importants de l'ordre de 200 à 250 m³/h. C'est une réserve en eau potable et sa potentielle exploitation est soumise à une réglementation spécifique



Source : ANNEXE 2 de l'ARRETE N°2003- 248 du 21 février 2003 approuvant la révision partielle du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux du bassin Seine-Normandie

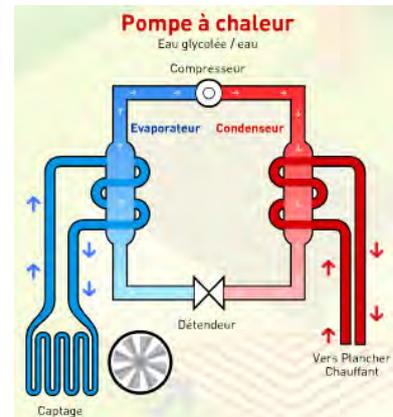
Python-Duvernois est situé dans une zone déjà desservie par des forages existants sur l'Albien.

2.5. AÉROTHERMIE

Principe de fonctionnement

Le principe de l'aérothermie est de capter les calories dans l'air extérieur. De la même manière que pour la géothermie très basse énergie, le puisage des calories de l'air nécessite l'utilisation d'un système de pompes à chaleur, qui peut être électrique ou à absorption gaz. La fluctuation de l'air extérieur influence la performance des systèmes de pompes à chaleur. En effet par temps froid, les besoins de chauffage sont 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 électriques, puisqu'une partie de la chaleur est fournie par la réaction d'absorption. Les PAC gaz à absorption permettent aussi de produire de l'eau chaude sanitaire à 60 / 65 °C, avec des performances supérieures à celles des pompes à chaleur électriques.



Source : GRDF

Echelle d'exploitation

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

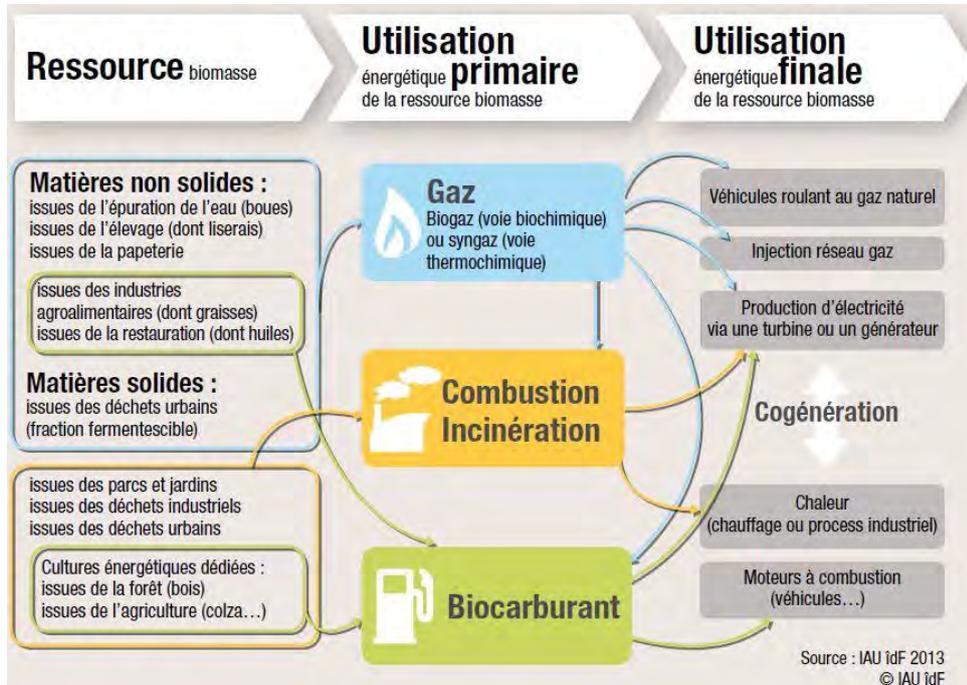
2.5.1. Potentiel Aérothermique local

Les pompes à chaleur aérothermiques gaz et électriques sont des systèmes adaptés pour la typologie de bâtiments présents sur Python-Duvernois. Etant donné le climat rigoureux et l'importance des besoins en ECS sur le secteur, l'utilisation de pompes à chaleur gaz à absorption peut être plus pertinente, car la performance énergétique de ce système sera moins impactée que dans le cas de pompes à chaleur électriques.

2.6. LA BIOMASSE

2.6.1 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 cette distance, les coûts et les émissions engendrées par le transport font de cette solution, une option non rentable et non viable économiquement et écologiquement.

2.6.2 BOIS-ENERGIE

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

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

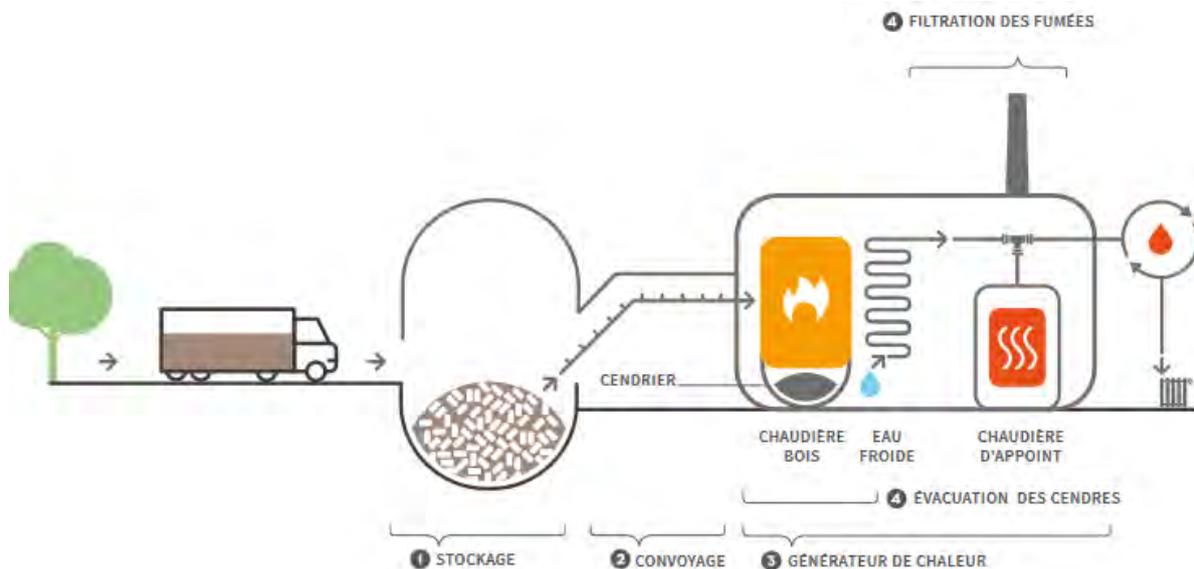
- la ressource forestière (boisement, taillis, rémanents d'exploitation...) et les résidus d'élagage ;
- les sous-produits de l'industrie du bois (sciures, copeaux, écorces...) ;
- les bois de rebut non souillés (palettes, caquettes...).

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 émanent des systèmes de dépoussiérage.

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

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)	Approvisionnement en milieu urbain engendrant des

planifiée)	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

Cout global de la technologie

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

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

Subventions 2017

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

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

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

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

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

2.6.3 LE BOIS ENERGIE –COGENERATION**Présentation de la technologie**

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

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

Il existe 3 familles de cogénérations, permettant de délivrer des puissances électriques plus ou moins importantes et de s'adapter à une grande variété de projets. On parle de micro cogénération lorsque la puissance nominale est inférieure à 36 kWe et de mini cogénération lorsque celle-ci est comprise entre 36 et 250 kWe.



Source : GRDF

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

Coût global de la technologie

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

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

Subventions 2017

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.

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	/

2.6.4 POTENTIEL BOIS ENERGIE

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, caquettes...) 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 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 :

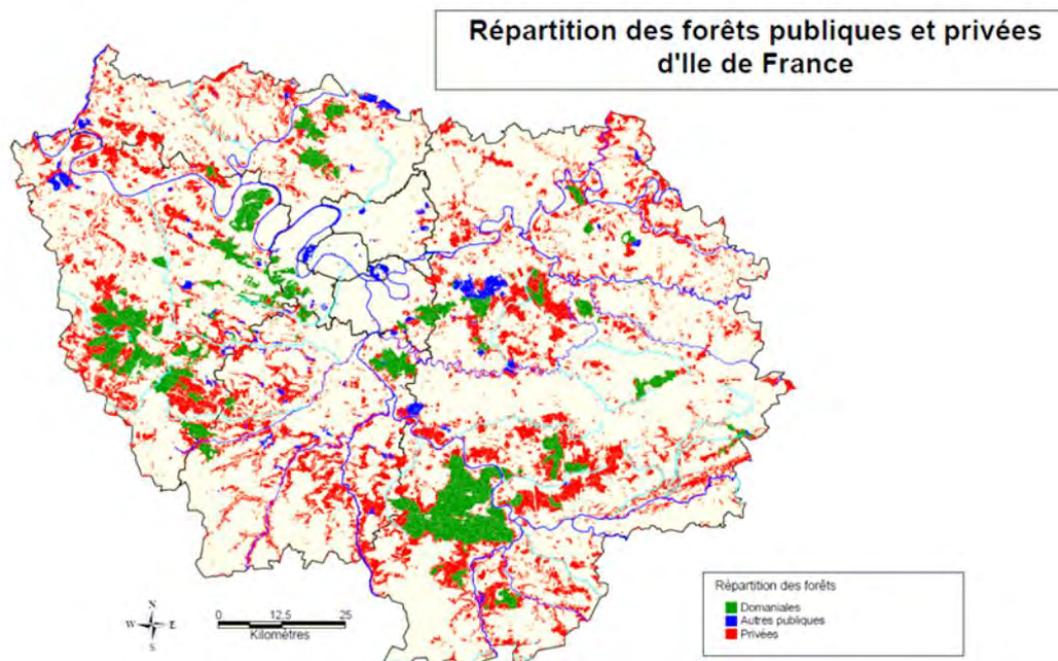
- A l'échelle du quartier, grâce une chaufferie collective et un réseau de chaleur : la combustion du bois est faite dans une chaufferie collective. L'énergie est ensuite transportée vers les différents bâtiments via un réseau de chaleur urbain.
- A l'échelle du bâtiment (immeuble collectif ou maisons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

En rappelant que dans le cas de Python Duvernois, un réseau de chaleur urbain géré par CPCU étant déjà présent, il ne sera pas envisagé de créer un réseau de chaleur nouveau. Seule la solution de chaufferies individuelles, éventuellement communes à plusieurs bâtiments sera explorée.

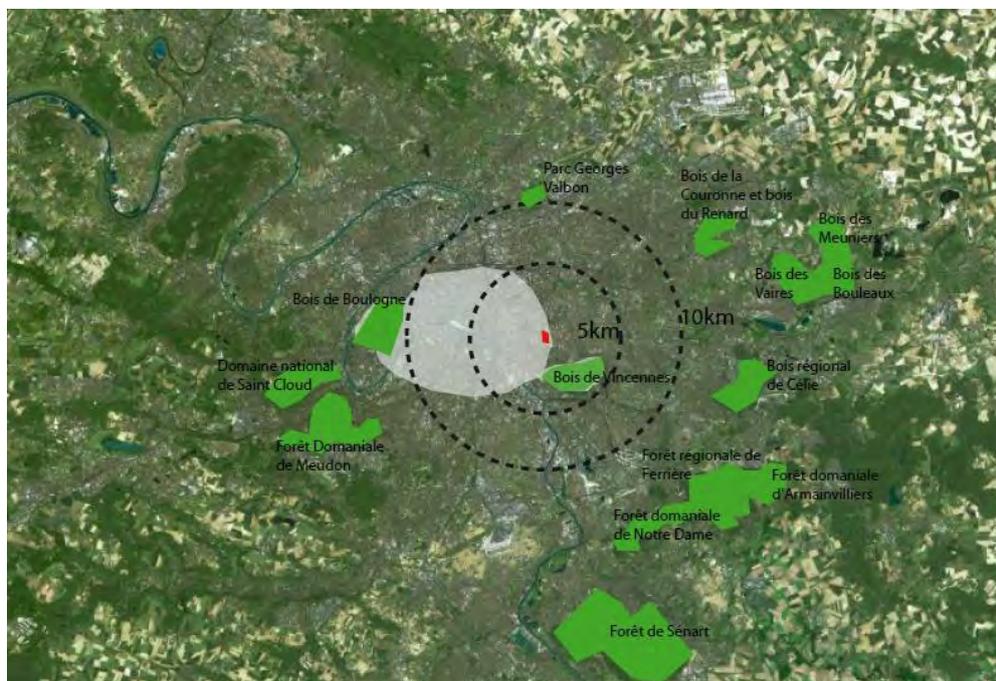
Le bois énergie est considéré comme une énergie renouvelable, à condition que le stock prélevé chaque année soit reconstitué. Le bois énergie est donc **une énergie renouvelable mais limitée**. Elle doit donc être utilisée de manière efficace avec des systèmes performants. A ce titre, il peut être plus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

RESSOURCE FORESTIERE

La ressource disponible à proximité



L'Île de France est couverte à 23% par des forêts pour un total de 277 946 ha. On distingue principalement les 2 grandes régions de Fontainebleau et Rambouillet. Le bois est exploitable à hauteur de 87%. L'ensemble des forêts d'Ile-de-France a une production brute annuelle de 1,6 million de m³ de bois, alors de la récolte moyenne annuelle de bois est de 542 000 m³.



Localisation des espaces boisés autour du secteur Python Duvernois - Source : Even Conseil

Le secteur de Python-Duvernois se trouve à moins de 5 km du Bois de Vincennes, néanmoins la plupart des grandes forêts domaniales gérées par l'ONF se trouvent à une quinzaine de km du site : Forêt Domaniale de

Notre-Dame (2 060 ha), Forêt Domaniale de Sénart (3 200 ha), Forêt Domaniale de Meudon (1100 ha), Forêt Domaniale d'Armainvilliers (1452 ha).

Le potentiel biomasse forestier du quartier n'est donc pas à relever parmi les solutions les plus intéressantes.

Ressource forestière	
Forêt Domaniale de Notre-Dame	2060 ha
Forêt Domaniale de Sénart	3200ha
Forêt Domaniale de Meudon	1100ha
Forêt Domaniale d'Armainvilliers	1452 ha
Forêt Régionale de Ferrière	2899 ha
Bois St Martin / Bois de Célie	285 ha
Parc de Saint-Cloud	460 ha
Bois de Boulogne	846 ha
Bois de Vaire	55 ha
TOTAL	12 357 ha

Le bois déchet

Actuellement, les déchets sont la principale source d'énergie bois utilisée en Ile-de-France. Ils comprennent : le bois d'élague et d'abattage, les composts et les bois en fin de vie. 400 élagueurs et 35 plates-formes de compostage sont recensés dans la région traitent aujourd'hui plus de 400 000 tonnes de déchets verts par an. Les espaces verts du territoire 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 pour le secteur Python-Duvernois et pour l'ensemble de l'arrondissement.



Source : www.ekopolis.fr

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.

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

Le contexte est néanmoins différent pour Python Duvernois qui ne fera pas l'objet d'une création de réseau de chaleur avec centre de production puisque le réseau CPCU existe déjà à proximité. L'option de chaufferies bois individuelles peut être considérée, mais elle ne sera pas la solution optimale pour le projet au regard de l'éloignement de la ressource et des besoins importants liées aux bâtiments de logement collectifs et équipements (de l'ordre d'environ 9 GWh par an).

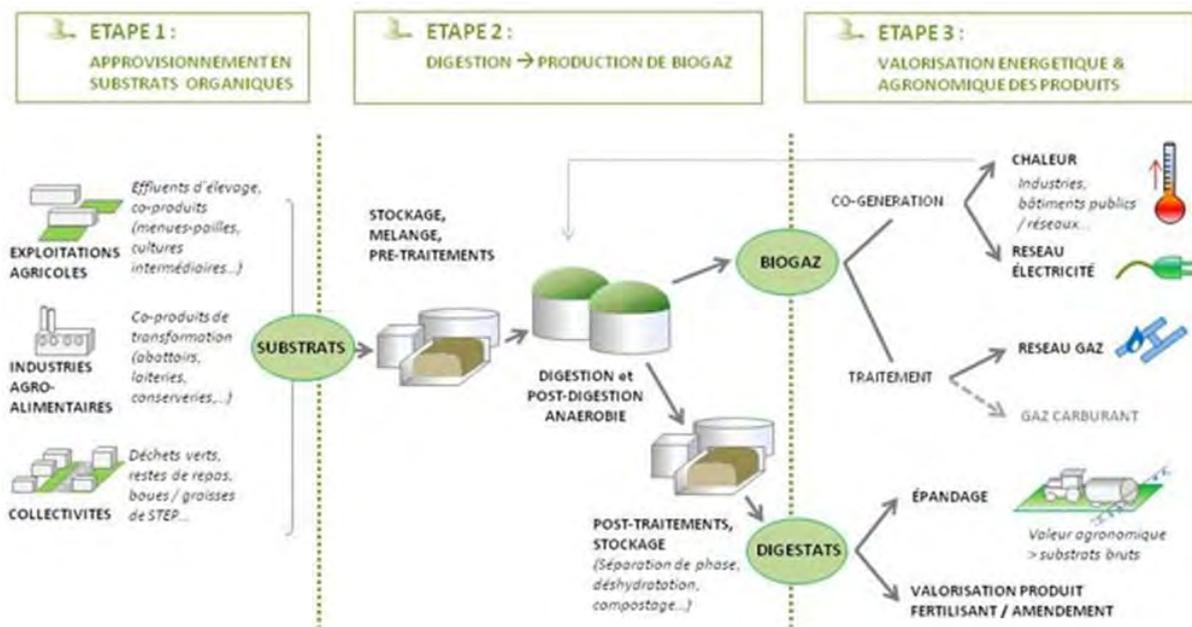
2.7. LE BIOGAZ

2.7.1 LE BIOGAZ ET LES BIOCARBURANTS

Le biogaz produit par méthanisation relève d'un procédé biologique permettant de valoriser la matière organique en produisant une énergie renouvelable et un engrais. En l'absence d'oxygène (digestion anaérobie), la matière organique est dégradée par des micro-organismes (bactéries se trouvant à l'état naturel dans les déjections animales). 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.

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 :

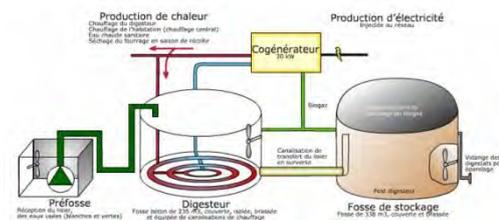
- La production de chaleur : solution viable uniquement si une forte demande de chaleur à proximité du site est capable d'absorber la chaleur produite toute l'année (ceci, afin de limiter les coûts d'investissement et d'exploitation : réseau de chaleur, déperdition...)
- La production d'électricité
-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

2.7.2 LA METHANISATION SUR LES BOUES ET LES EFFLUENTS

Présentation de la technologie :

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.



Principe de fonctionnement de la méthanisation

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

Echelle d'exploitation

Le biogaz produit peut être valorisé à l'échelle du quartier dès lorsqu'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 de la ZAC et même à une échelle plus large (commune) dès lorsqu'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.

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 local 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	

Coût global de la technologie :

La méthanisation représente un investissement conséquent pour les agriculteurs. Les coûts à l'investissement sont de l'ordre de 850 à 1 000€/kWe pour une installation de 30kWe et d'environ 8 600kWe pour une installation de 100kWe. La rentabilité du projet dépend de la valorisation du biogaz (vente d'électricité, valorisation de la chaleur ou injection d'un biogaz épuré dans un réseau de distribution) et de la rémunération

liée au traitement de déchets extérieurs. La pérennité et le montant de cette rémunération peuvent varier sous l'effet de la concurrence locale.

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

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

Subventions 2017

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

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

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

Tableau récapitulatif

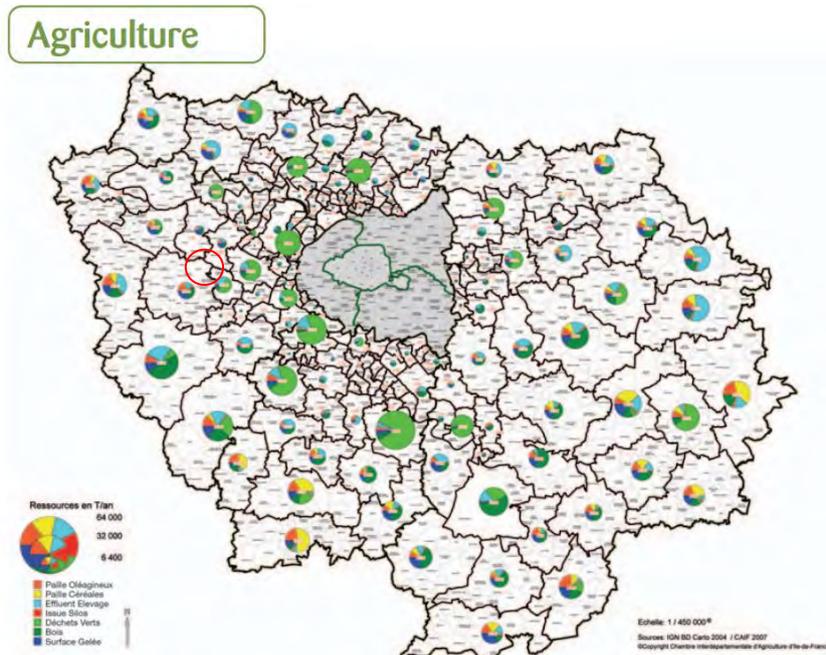
Technologie	Productivité annuelle (en kWh/m3)	Prix/MW	Retour sur investissement	Retour sur expérience	Durée de vie	Coût de l'énergie (en €/m3)
Méthanisation	/	/	10 ans	Bon	Supérieur à 25 ans	0,4€

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.

En Ile-de-France, l'élevage n'est pas majoritaire, les effluents ne sont donc pas considérés comme des déchets problématiques pour lesquels, il faut trouver une solution. En revanche, il est plus présent qu'il ne pourrait sembler, notamment celui des chevaux en zone périurbaine. Les bovins sont également bien représentés, ainsi que les caprins, les ovins et les élevages de volailles.

Le secteur Python-Duvernois est cependant éloigné de ces ressources agricoles, les exploitations les plus proches se trouvant à environ 60 km du site, ce qui pose des difficultés d'acheminement du biogaz. Cette solution n'est par conséquent pas recommandée.



Les Agro-ressources en Ile-de-France (carte ressource effluents), Chambre Interdépartementale d'Agriculture d'Ile-de-France, 2007

2.8. LES AUTRES TECHNOLOGIES EXISTANTES

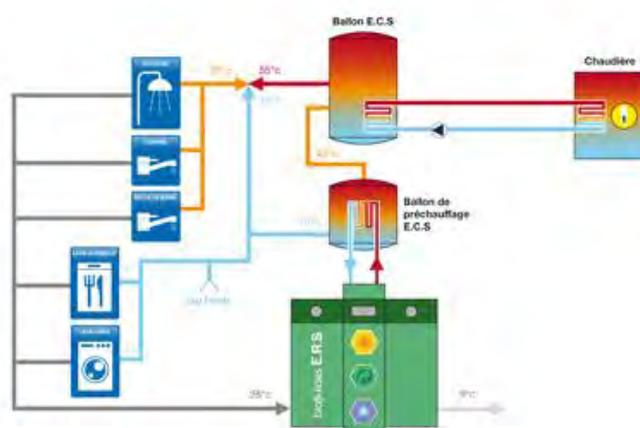
2.8.1 LA RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES EAUX GRISES

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 en 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

Coût global de la technologie

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

Subventions 2017

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€.

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	
Faible consommation d'électricité	
Investissement modéré	
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 CO ₂ /an/log	

2.8.2 LA RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES EAUX USEES

Présentation de la technologie :

Les retours d'expérience montrent qu'un mètre de canalisation permet de produire de 2 à 8 kW de puissance de chauffage. Les retours d'expérience du fonctionnement du réseau de chaleur de l'éco-quartier Boule/Sainte-Geneviève sont concluants au regard de cette technologie.

A l'échelle d'un quartier ou d'une ville, la récupération de chaleur sur les eaux usées consiste à récupérer l'énergie thermique des eaux usées circulant dans les conduites. Chacune des canalisations, alimentées par les différents bâtiments du quartier, est équipée d'un échangeur de chaleur qui récupère l'énergie, grâce au fluide caloporteur, pour ensuite l'acheminer vers des pompes à chaleur.

Pour qu'une installation de ce type puisse être envisagée, le réseau doit répondre aux conditions suivantes :

- Débit supérieur à 15 l/s et température supérieure à 10°C ;
- Distance maximum entre l'échangeur et la chaufferie inférieure à 300 mètres ;
- Tronçons rectilignes sur au moins 100 mètres (grandes installations) et de diamètre minimum de 40 cm (réseau neuf) ;
- Puissance minimum de l'installation = 150 kW (environ 50 logements = densité minimum).



Principe de récupération de chaleur sur les eaux usées (degré bleu)

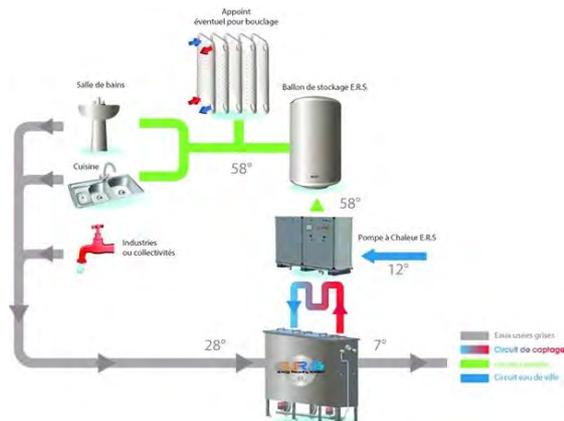
Atouts et contraintes de la technologie :

Atouts	Faiblesses
Production locale et système réversible	Nécessite un débit minimum de 15l/s
Ressource disponible et continue tout au long de l'année et investissement modéré	20 000 logements en amont sont nécessaires pour chauffer une cinquantaine de logements
Implantation facilitée dans le cadre d'opération neuve	
Adapté au milieu urbain dense	

A l'échelle d'un bâtiment, il existe également des dispositifs de filtration et récupération de chaleur directement sur les eaux usées en sortie de bâtiment. Toutefois, ce dispositif est plus particulièrement adapté à un ensemble de logements d'échelle suffisamment importante pour assurer une production de chaleur régulière.

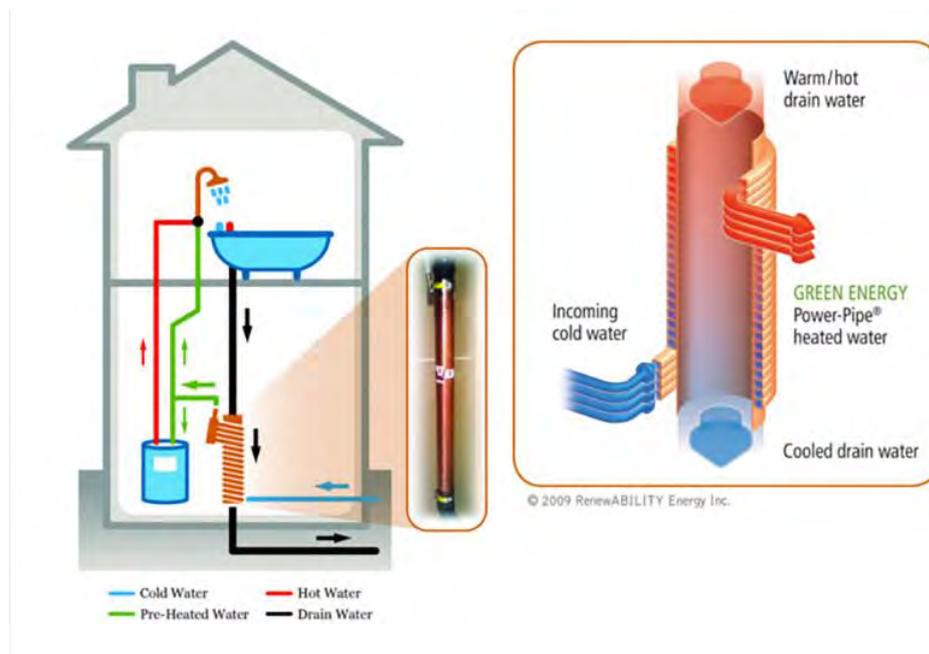
Les calories présentes dans les eaux usées ménagères sont captées puis réinjectées instantanément dans le réseau local afin de produire 80 à 100% des besoins en eau chaude sanitaire (ECS). La cuve d'échange thermique récupère et transfère l'énergie vers la pompe à chaleur. À l'intérieur de cette cuve sont placés des échangeurs dans lesquels circule un fluide caloporteur. Les eaux grises entrent dans la cuve à une température

moyenne comprise entre 28 et 32°C et en ressortent à 9°C. Les calories prélevées dans la cuve d'échange thermique sont transférées à la pompe à chaleur.



Principe de récupération de chaleur sur les eaux usées à l'échelle d'un bâtiment – Source : Biofluides

Des technologies existentes également à l'échelle de chaque logement (type Powerpipe) permettent de raccorder la plomberie de plusieurs appartements à un seul système qui récupère la chaleur de l'eau issue des douches pour préchauffer simultanément l'eau du réseau. Cette technologie est adaptée pour les bâtiments collectifs de un ou plusieurs étages, elle permet notamment de récupérer jusqu'à 60 % de l'énergie évacuée.



Installation de récupération de chaleur sur évacuation d'eaux usées. Source : Powerpipe

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. Elles peuvent potentiellement diminuer la densité énergétique dans le cas d'un réseau de chaleur.

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

Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Système passif et nécessitant de peu d'entretien	Diminution de la densité énergétique en cas de raccordement aux réseaux de

	chaleur
Réduction de 20 % des consommations d'ECS	Nécessite 2 réseaux, ainsi la séparation des eaux vannes et eaux grises

Cout global de la technologie

Le coût d'investissement d'une installation comme celle-ci est très dépendant des caractéristiques du secteur étudié. Les coûts sont donc donnés à titre d'exemple pour la couverture des besoins en ECS des immeubles de logements dont les besoins énergétiques sont estimés à 5 000MWh (2 500MWh/an soit 50% des besoins).

Les conduites de diamètre 1 500 mm sont équipées sur 135 ml d'échangeurs (réseau à 13°C pour un débit de 100l/s) :

- Coût d'investissement estimé à 1,2 M€ (PAC et autres systèmes nécessaires inclus) ;
- Coût d'exploitation estimé à 334 000 € pour cette installation degrés bleus (combustible d'appoint nécessaire (gaz), électricité pour la PAC et les coûts de maintenance (chaufferie...) sont inclus).

Subvention 2017

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 630kWh. Cette aide est soumise à certaines conditions.

Potentiel énergétique du site

Sur les canalisations d'eaux usées : dans le cas des systèmes de récupération des calories des eaux usées, la faisabilité technico-économique des projets est conditionnée par des exigences relatives aux canalisations (source de chaleur). Des études complémentaires sont nécessaires pour quantifier le potentiel de récupération de l'énergie des eaux usées. Le potentiel thermique des eaux usées est en tous les cas bien adapté aux besoins des bâtiments collectifs et aux équipements publics.

Le secteur présente une densité importante et intéressante en matière de récupération de chaleur sur les eaux usées. En effet, la ville engage en ce moment une réflexion pour l'intérêt d'une étude de récupération de chaleur sur les réseaux d'eaux usées du secteur. En effet, un nombre de logements importants seront recréés dans le cadre de l'opération et il serait ainsi possible de réutiliser les calories issues des rejets d'eaux usées pour alimenter en partie les bâtiments publics.

Les services de la ville l'étudient sur d'autres opérations, il pourrait être intéressant de réaliser une étude spécifique de potentiel de récupération sur ce secteur dans la mesure où le nombre relativement important de logements va être créé.

Deux technologies existent :

- Une installation d'un échangeur directement dans les égouts Lyonnaise (SUEZ) ;
- Une dérivation à partir du réseau d'égout sur un échangeur extérieur pour ensuite renvoyer sur l'égout (VEOLIA), cette technique est cependant plus onéreuse.

Les projets d'investissement peuvent être accompagnés par les directions régionales de l'ADEME en termes de conseils, d'expertise ou de soutiens financiers.

2.8.3 RECUPERATION DE CHALEUR FATALE INDUSTRIELLE (OU DATA CENTER)

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

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

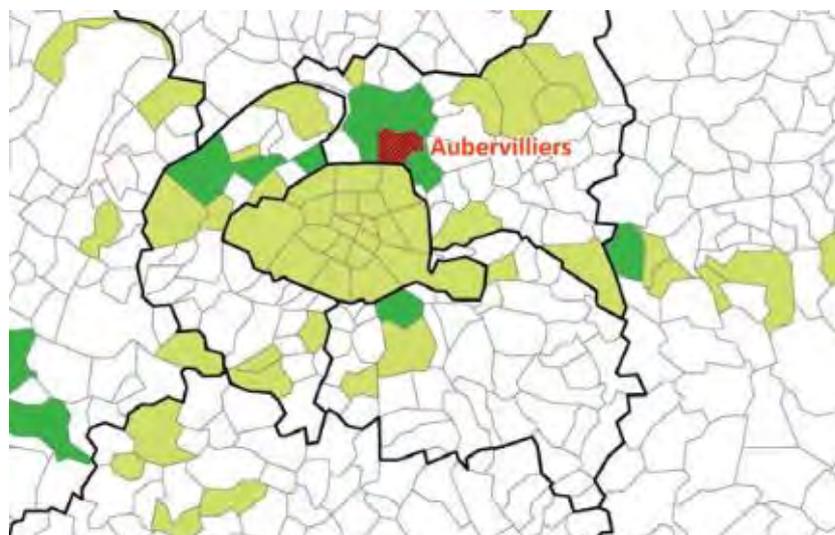
Les datacenters sont des sites physiques qui hébergent des systèmes nécessaires au fonctionnement d'applications informatiques. Ils permettent de stocker et de traiter des données. Ils sont constitués de composants informatiques, comme des serveurs, des unités de stockage informatique ou encore des équipements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

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

A l'échelle nationale, c'est l'Île-de-France qui concentre le plus grand nombre de datacenters. Seule une opération de récupération de chaleur et d'injection est en cours sur un réseau de chaleur situé à Bailly-Romainvilliers (Marne-la-Vallée). Il s'agit d'un centre aquatique et d'une pépinière d'entreprises qui sont alimentés en chauffage et ECS.



Salle de serveurs – Source Ademe

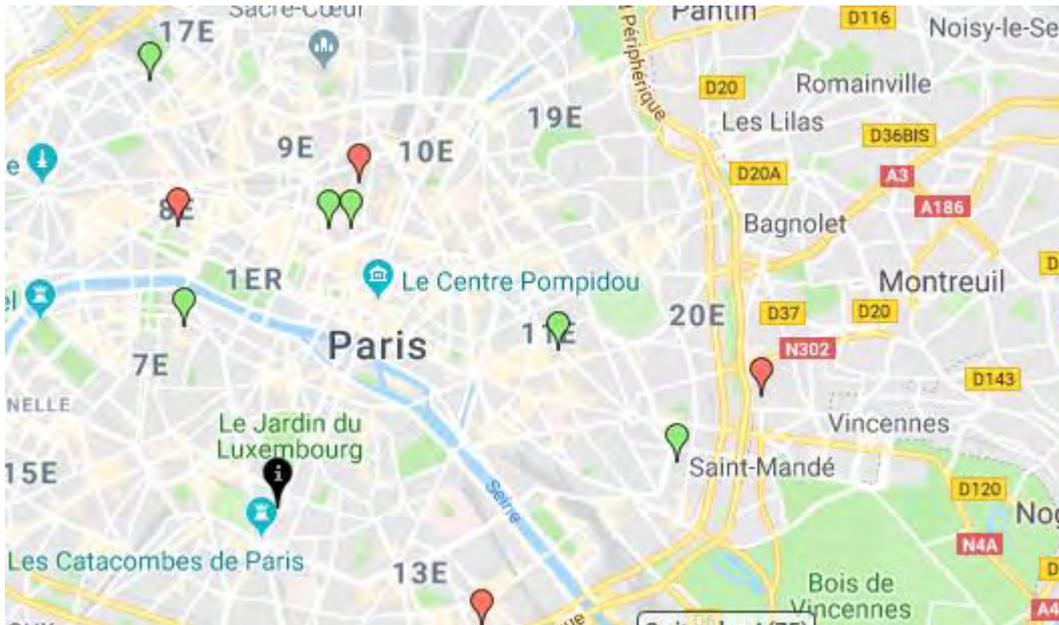


Légende

- ▭ Limites départementales
- ▭ Limites communales

- Gisement**
- ▭ Présence d'un gisement non estimé
- ▭ Gisement estimé, non communicable
- ▭ Entre 80 et 100 GWh
- ▭ Présence d'un gisement additionnel à celui estimé

Identification du gisement maximal de chaleur fatale issue des datacenters – Source ADEME



Localisation des datacenters aux alentours de Python-Duvernois - Source : <http://www.datacentermap.com/>

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

Quelques datacenters sont identifiés au sein de la ville de Paris et notamment un centre SAVEHOUSE à Montreuil, correspondant à des équipements de réseau de télécommunication, est localisé à proximité des portes du 20^{ème}, auquel fait partie notre territoire d'étude.

Atouts et contraintes de la technologie

Atouts	Faiblesses
Concentration d'un grand nombre de datacenters à l'échelle de la capitale	Eloignement des industries et datacenter
	Données estimées et non précise en raison de la confidentialité des datacenters

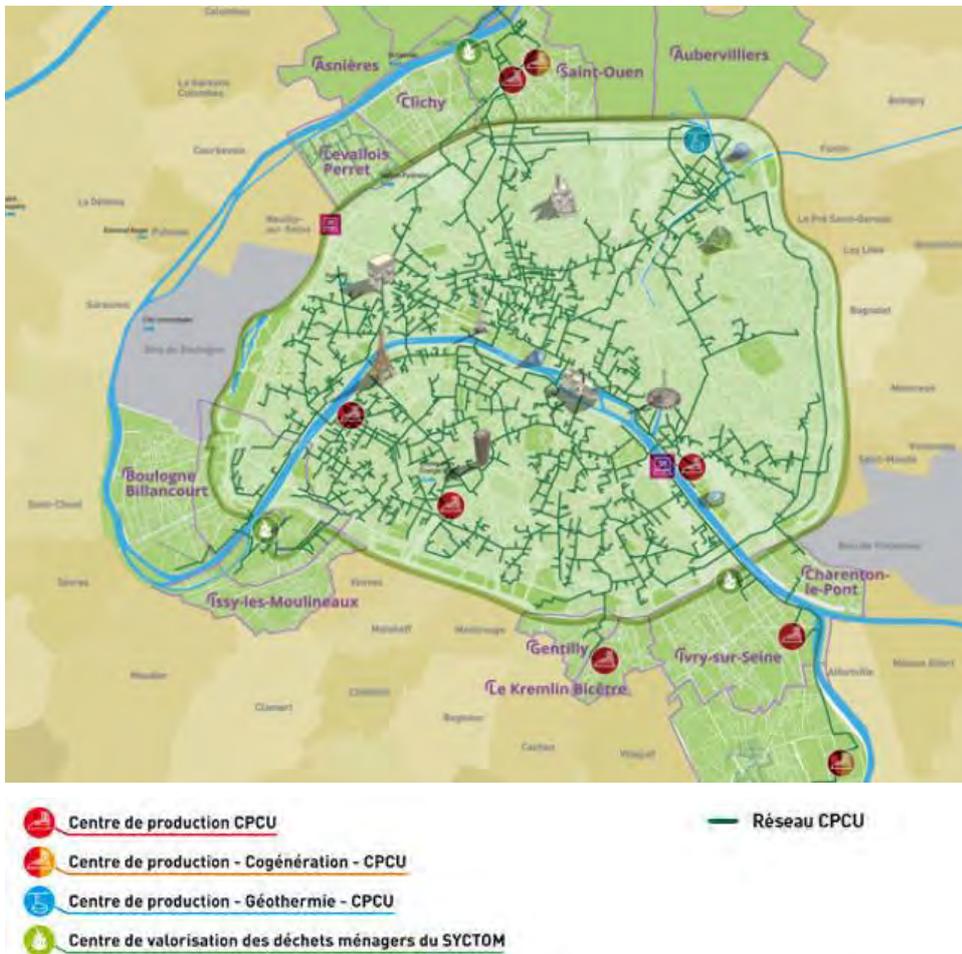
2.9. LE RÉSEAU DE CHALEUR CPCU

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. Dans cette dynamique, la Ville de Paris poursuit le déploiement de son Plan Climat Energie dont l'objectif pour le territoire parisien est d'atteindre à l'horizon 2020 par rapport à 2004 :

- une réduction de 25% les émissions de gaz à effet de serre,
- une réduction de 25% les consommations d'énergie,
- une augmentation de 25% d'énergies renouvelables et de récupération.
-



Réseau CPCU - Source : CPCU

Il existe à proximité de Python-Duvernois, un réseau de chaleur géré par le CPCU. Afin de rendre plus vertueux le réseau de chauffage urbain et dans le cadre d'une politique de développement durable cohérente avec les objectifs du Plan Climat Energie de Paris, CPCU a engagé un double programme de modernisation de

ses principales unités de production et de développement des moyens de production d'énergie renouvelable dont les résultats effectifs à compter de 2016 se traduiront par :

Afin de rendre plus vertueux le réseau de chauffage urbain et dans le cadre d'une politique de développement durable cohérente avec les objectifs du Plan Climat Energie de Paris, CPCU a engagé un double programme de modernisation de ses principales unités de production et de développement des moyens de production d'énergie renouvelable.

Le taux en énergie renouvelable du réseau, aujourd'hui à 50% a pour objectif d'atteindre les 60%.

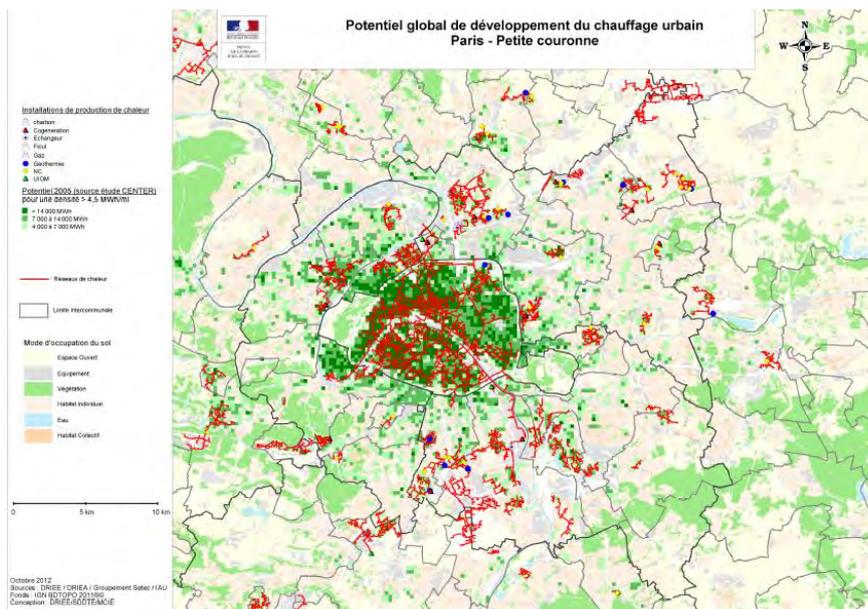


Le bouquet énergétique en 2017 – Source : CPCU

Un contenu carbone du kWh de la chaleur distribuée par le réseau parisien passant de 195 à 172 g CO2 en année de rigueur climatique moyenne.

En outre, les prix des EnR constituant en partie le mix énergétique étant plus stables que ceux des énergies fossiles, la facture de chauffage des clients raccordés au réseau sera mieux maîtrisée.

D'autre part, une étude d'évaluation du potentiel de développement du réseau de chauffage urbain réalisée par la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie (DRIEE) en octobre 2012 identifiait le secteur de Python-Duvernois comme étant de densité énergétique comprise entre 4 et plus de 14 MWh/ml/an. Le seuil limite moyen de rentabilité économique étant de 4.5MWh/ml/an, Python-Duvernois représente donc une zone d'intérêt dans le cadre de l'extension du réseau de chaleur urbaine.



Source : Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie

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	

Coût global de la technologie :

Pour le déploiement du réseau de chaleur CPCU, l'investissement est d'environ 3000€ HT/ml. Ce coût pourra varier en fonction de l'opportunité de la synchronisation des travaux de voirie ou non.

Subvention 2015 :

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

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

Dans le cas de Python-Duvernois, la subvention proposée par l'Ademe s'élèverait à environ 1200€/ml, soit 40% du montant des travaux.

Potentiel du site

A l'occasion de la requalification du boulevard des maréchaux Est avec la création du tramway, CPCU a réalisé un ouvrage structurant de transport vapeur à forte profondeur sous le boulevard permettant de relier ses unités de production du Sud-Est parisien au Nord-Est de Paris, et de desservir l'Est de Paris privé jusqu'à présent du réseau urbain sur la majeure partie des trois arrondissements concernés. Pour des raisons d'exploitation continue de l'ouvrage de transport, un nombre limité de points de disponibilité de forte puissance, en attente, ont été créés dès la réalisation de l'ouvrage le long de la canalisation vapeur. En prévision du développement du réseau de chaleur autour de la Porte de Bagnolet, une chambre de vannes a été réalisée à ce niveau autorisant le prélèvement d'un débit vapeur sur l'ouvrage de transport, équivalent à plus de 80MW de puissance thermique.

Le projet de réalisation de l'ouvrage de transport ainsi que le réseau de densification autour de l'ouvrage a reçu le soutien financier de l'ADEME (conventions de financement N°0931C0158 pour l'ouvrage de transport, et N°0931C0156 pour la densification du réseau périphérique à l'ouvrage de transport). Cette dernière aide contribue à réduire les coûts du linéaire d'extension et de

Il existe donc un bon potentiel de desserte énergétique du quartier par le réseau de chaleur CPCU, dont les scénarios techniques et financier sont étudiés dans le chapitre suivant.

An aerial photograph of a university campus, showing various buildings, courtyards, and sports fields. A large blue rectangular box is overlaid on the right side of the image, containing white text. The text is centered within the box and reads "III. PRE-DIMENSIONNEMENT ET SCENARIOS".

***III. PRE-DIMENSIONNEMENT
ET SCENARIOS***

Dans cette partie, des scénarios de raccordement au réseau de chaleur urbaine CPCU sont comparés à des scénarios de raccordement au réseau gaz (actuellement déjà existant sur le quartier).

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.

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

Hypothèses prises pour l'analyse :

- Les besoins énergétiques sont des besoins utiles, c'est-à-dire livrés à l'utilisateur, on ne prend donc pas en compte les pertes sur le réseau ou les pertes de combustion, qui ne sont pas les mêmes pour le gaz ou pour le réseau de chaleur et peuvent ainsi entraîner une variation du coût d'exploitation réel;
- Les coûts d'investissement sont donnés sans préoccupation de leur répartition entre les différents acteurs du projet d'aménagement (Ville, bailleurs, ANRU, etc.), qui seront à déterminer par la suite ;

Une note de calcul placée en annexe détaille toutes les hypothèses posées pour les calculs qui suivent.

3.1 SOLUTION 1 : RACCORDEMENT AU RÉSEAU DE CHALEUR CPCU

Le réseau CPCU est présent localement au niveau de la porte de Bagnolet (feeder CPCU « T3 »), et pourrait permettre d'alimenter le secteur Python-Duvernois. **Cette opération qui consiste à densifier le réseau CPCU à partir de ce feeder, est couverte par une convention d'aide au financement de l'Agence De l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie (ADEME).**

3.1.1 PRESENTATION DES SCENARIOS

Nous présentons ici deux scénarios de raccordement possible au réseau CPCU.

Scénario 1 : Option raccordement par desserte vapeur

Il s'agit d'un simple piquage sur le réseau existant le plus proche des opérations de construction. Les bâtiments sont ainsi directement alimentés par des réseaux vapeur. Des sous-stations d'échange sont à prévoir au pied des immeubles pour alimenter en eau les différents bâtiments (l'installation de ces sous-stations ne sont pas pris en charge par la CPCU).

Le mètre linéaire du réseau vapeur est plus coûteux mais il peut véhiculer des puissances importantes au sein des canalisations. Ce type de raccordement n'est pas forcément nécessaire sur des petites distances ou sur des îlots qui n'ont pas besoin de très hautes températures.

Scénario 2 : Option création d'une boucle d'eau chaude à partir d'une station d'échange Vapeur/Eau à créer

Cette fois, un piquage est effectué sur le réseau existant le plus proche puis CPCU intègre sur l'îlot à desservir une station d'échange vapeur / eau pour mettre en place un réseau boucle d'eau chaude qui desserve l'ensemble des bâtiments de l'îlot.

La CPCU prend en charge l'installation de la station d'échange principale, toutefois elle ne prend pas en charge l'installation de sous-stations au niveau des bâtiments.

Le réseau d'eau permet un investissement moins important pour l'aménageur qui installera des sous stations eau/eau, moins coûteuse que des sous-stations vapeur/eau.

De plus, l'installation d'un réseau de boucle d'eau chaude présente l'avantage de complément énergétique. En effet, le promoteur ou l'aménageur peut mobiliser des technologies d'énergies renouvelables supplémentaires qui peuvent venir se brancher sur le réseau d'eau chaude.

3.1.2 ANALYSE ECONOMIQUE

L'analyse économique présente les investissements à prévoir pour le raccordement au réseau CPCU pour répondre aux besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire (ECS) du secteur.

Les investissements ne sont pas pris en charge dans leur globalité par la ville, la CPCU peut être amené à demander une participation soit à l'aménageur seul, soit à l'aménageur et aux promoteurs.

Les chiffrages présentés ci-dessous intègrent les stations principales. Toutefois, ils n'intègrent pas les sous-stations à prévoir au niveau des bâtiments (représentent environ 30 000 à 50 000 € par sous-station). De plus les ouvrages de génie civil permettant l'hébergement des stations principales ne sont également pas pris en compte dans l'analyse.

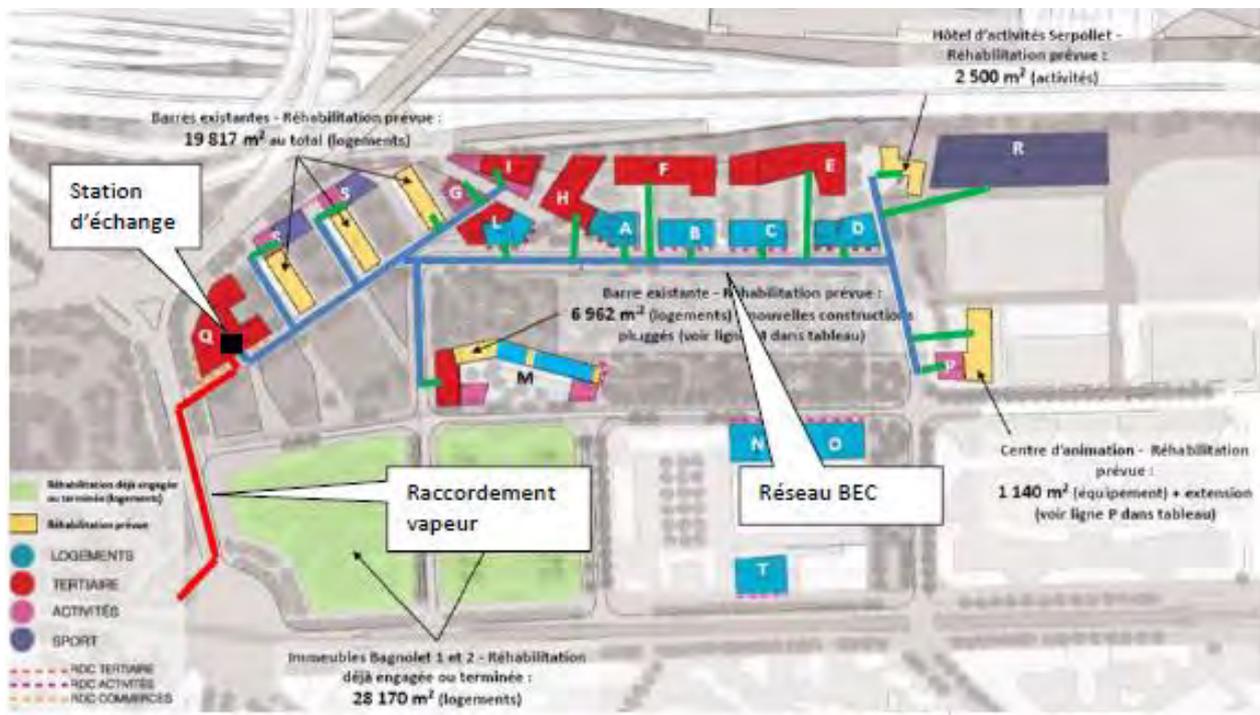
La proposition de raccordement au réseau CPCU se découpe en une seule zone qui englobe « Bagnolet Zone vert » et le « centre sportif des Lumières ».

Le chiffrage des puissances a été estimé sur la base de ratios que bénéficie la CPCU sur les ZAC récentes pour lesquelles ils sont intervenus (quasi similaire aux indications E3C1 car des objectifs sont fixés par la ville). De plus, ces puissances évaluent seulement les besoins en chaud et en eau chaude sanitaire (ECS).

Cout d'investissement

- Scénario 1 : Développement d'une boucle d'eau chaude à partir d'une station d'échange vapeur/eau à créer

Le plan de localisation des réseaux (indicatif) produit par CPCU :



Source : Agence Up/ EVEN Conseil / CPCU

Une extension du réseau est effectuée depuis le Boulevard des Maréchaux. CPCU prévoit l'installation d'une station d'échange vapeur/eau en bordure du secteur, au niveau du bâtiment Q, intégré à l'analyse (en dehors de l'ouvrage génie civil pour l'hébergement de la station). La station permet ensuite de distribuer de l'eau chaude à travers un réseau de boucle d'eau chaude. Des sous-stations devront toutefois être installés en pied des bâtiments pour distribuer l'eau chaude (non pris en charge par CPCU).

Principales observations :

- Puissance Souscrite : 5,737 MW ;
- Raccordement vapeur : 250 ml en DN125vapeur/65eau ;
- Linéaire de Réseau BEC : 966 ml ;
- Production d'eau chaude définitive : - 1 station d'échange vapeur/eau à implanter dans le bâtiment Q;
- 2 échangeurs de puissances avec une répartition 1/3, 2/3

Ci-dessous, le dimensionnement et le chiffrage des branchements clients :

N° de branchement	Puissances souscrites	DN	Longueurs	Coûts	Début chantier
Q	482 kW	DN80	25 ml	45 000 €	2023
S1	637 kW	DN100	25 ml	47 500 €	2023
S2	637 kW	DN100	26 ml	49 400 €	2023
S3	336 kW	DN80	27 ml	48 600 €	2023
G	10 kW	DN20	25 ml	25 000 €	2021
I	135 kW	DN50	25 ml	40 000 €	2021
M	551 kW	DN100	25 ml	47 500 €	2023
L	237 kW	DN20	25 ml	25 000 €	2021
H	269 kW	DN65	25 ml	42 500 €	2021
A	133 kW	DN50	25 ml	40 000 €	2021
F	275 kW	DN65	50 ml	85 000 €	2021
B	177 kW	DN65	25 ml	42 500 €	2021
C	186 kW	DN65	25 ml	42 500 €	2021
E	513 kW	DN100	50 ml	95 000 €	2021
D	217 kW	DN65	25 ml	42 500 €	2021
Hôtel d'activité Serpollet	99 kW	DN50	26 ml	41 600 €	2021
R	742 kW	DN100	27 ml	51 300 €	2021
Centre d'animation	68 kW	DN50	28 ml	44 800 €	2021
P	34 kW	DN32	29 ml	31 900 €	2021
Total BEC	5737 kW		538 ml	887 600 €	

Source : CPCU

- Les coûts de branchement ont été estimés sur la base d'un linéaire de référence de 25m sauf les lots F et E qui sont à 50m.
- Le lot S a été découpé en 3 sous lots S1, S2 et S3.

Pour rappel : les coûts des stations de livraison chez les clients ne sont pas pris en compte dans ce chiffrage.

Ci-dessous, le dimensionnement et le chiffrage du réseau d'eau chaude de la Boucle d'Eau Chaude (BEC) :

N° cana	Puissances transportées	DN	Longueurs estimées	Coûts avec frais voirie	prix au ml
cana1	5255 kW	DN200	146 ml	336 375 €	2 300 €
cana2	637 kW	DN100	38 ml	71 250 €	1 900 €
cana3	637 kW	DN100	38 ml	71 250 €	1 900 €
cana4	481 kW	DN80	48 ml	85 500 €	1 800 €
cana5	145 kW	DN50	54 ml	86 000 €	1 600 €
cana6	3501 kW	DN200	88 ml	201 250 €	2 300 €
cana7	551 kW	DN100	86 ml	163 875 €	1 900 €
cana8	2713 kW	DN150	201 ml	442 750 €	2 200 €
cana9	1674 kW	DN125	70 ml	133 000 €	1 900 €
cana10	944 kW	DN100	76 ml	144 875 €	1 900 €
cana11	102 kW	DN50	89 ml	142 000 €	1 600 €
cana12	34 kW	DN32	34 ml	37 125 €	1 100 €
Total	5737 kW		966 ml	1 878 125 €	1 944 €

Source : CPCU

Les coûts de réalisation des canalisations sont mentionnés hors travaux de dépollution des sols, gestion des terres excavées et hors coûts de dévoiement éventuels de réseaux concessionnaires.

Station d'échange vapeur et eau :

La station d'échange de la BEC est dimensionnée sur la base de 4,9 MW utile (tenant compte du foisonnement des appels de puissance) répartis sur deux échangeurs. Une répartition 66% et 33% entre les deux échangeurs permettra de différencier un fonctionnement hiver et été.

La puissance étant inférieure à 5 MW, le local de la station d'échange peut être implanté dans un bâtiment. A ce jour, l'emplacement idéal correspond au bâtiment Q. En effet, il est au plus proche du réseau existant situé porte de Bagnolet.

La surface nécessaire pour le local sous station d'échange est d'environ 50m² au minimum. La hauteur sous plafond doit être de 2,5 m au minimum.

Le local sera conforme aux dispositions réglementaires en vigueur et la puissance utile étant supérieure à 2 MW, il faudra prévoir deux sorties du local donnant sur l'extérieur.

Les besoins en électricité de la station d'échange sont en basse tension.

La conception générale du bâtiment devra tenir compte des autres utilités tels que la ventilation, le raccordement à Eau de Paris, le rejet des eaux usées, le raccordement téléphonique...

Le coût de la station d'échange est estimé à 460 000 euros (hors génie civil et aménagement du local sous station).

Raccordement vapeur :

Le raccordement vapeur de la station d'échange se fera depuis la Porte de Bagnolet ;

- La linaire de canalisation est estimé à 245m ;
- Le linéaire de branchement est estimé à 15m ;
- Le coût est estimé à 798 000 euros dont 150 000 euros pour un ouvrage de purges.

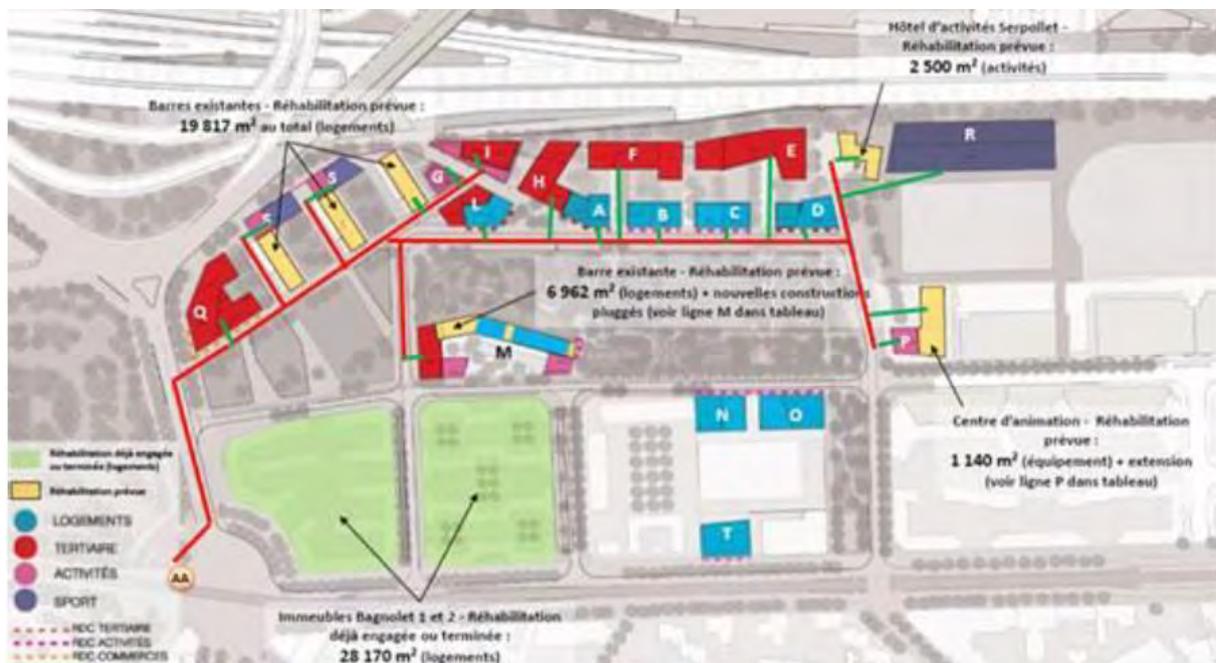
Synthèse des coûts :

	Quantités			Coûts
	Lg	DN	Puiss	
Raccordement vapeur	240 ml	DN100	5060 kW	798 000 €
Station d'échange BEC (hors GC)	-	-	5060 kW	460 000 €
Réseau BEC	966 ml	-	-	1 878 125 €
Branchements clients BEC	538 ml	-	-	887 600 €
Aléas et MOE (11%)				442 610 €
Total opérations	1744 ml			4 466 335 €

Source : CPCU

- Scénario 2 : Réseau en vapeur

Le plan de localisation des réseaux (indicatif) produit par CPCU :



Source : Agence Up/ EVEN Conseil / CPCU

Une extension du réseau présent au niveau du boulevard des Maréchaux permet d'alimenter le secteur à l'étude. L'extension du réseau CPCU permet ensuite de distribuer de l'eau chaude par le biais de sous-stations d'échange vapeur/eau, qui devront toutefois être installées en pied des bâtiments pour distribuer l'eau chaude (non pris en charge par CPCU).

Principales observations :

- Puissance totale souscrite : 5,7 MW;
- Linéaire de canalisation vapeur : 1191m ;
- Linéaire de canalisation eau : 538m ;

Ci-dessous, le dimensionnement et le chiffrage des branchements clients :

N° de branchement	Puissances souscrites	DN	Longueurs	Coûts
Q	482 kW	DN40	25 ml	63 750 €
S1	637 kW	DN40	25 ml	63 750 €
S2	637 kW	DN40	26 ml	65 700 €
S3	336 kW	DN40	27 ml	67 650 €
G	10 kW	DN40	25 ml	63 750 €
I	135 kW	DN40	25 ml	63 750 €
M	551 kW	DN40	25 ml	63 750 €
L	237 kW	DN40	25 ml	63 750 €
H	269 kW	DN40	25 ml	63 750 €
A	133 kW	DN40	25 ml	63 750 €
F	275 kW	DN40	50 ml	112 500 €
B	177 kW	DN40	25 ml	63 750 €
C	186 kW	DN40	25 ml	63 750 €
E	513 kW	DN40	50 ml	112 500 €
D	217 kW	DN40	25 ml	63 750 €
Hôtel d'activité Serpollet	99 kW	DN40	26 ml	65 700 €
R	742 kW	DN40	27 ml	67 650 €
Centre d'animation	68 kW	DN40	28 ml	69 600 €
P	34 kW	DN40	29 ml	71 550 €
Total	5737 kW		538 ml	1 334 100 €

Source : CPCU

- Les coûts de branchement ont été estimés sur la base d'un linéaire de référence de 25m sauf les lots F et E qui sont à 50m.
- Le lot S a été découpé en 3 sous lots S1, S2 et S3.

Pour rappel : les coûts des stations d'échange vapeur/eau chez les clients ne sont pas pris en compte dans ce chiffrage.

Ci-dessous, le dimensionnement et le chiffrage des canalisations en vapeur :

N° cana	Puissances transportées	DN	Longueurs estimées	Coûts avec frais voirie
cana1	5737 kW	DN125	225 ml	577 500 €
cana2	5255 kW	DN100	146 ml	277 875 €
cana3	637 kW	DN40	75 ml	105 000 €
cana4	481 kW	DN40	101 ml	141 750 €
cana5	3501 kW	DN100	88 ml	166 250 €
cana6	2713 kW	DN80	314 ml	564 750 €
cana7	1160 kW	DN65	80 ml	136 000 €
cana8	841 kW	DN50	40 ml	64 000 €
cana9	99 kW	DN40	35 ml	49 000 €
cana10	102 kW	DN40	88 ml	122 500 €
Total	5737 kW		1191 ml	2 204 625 €

Source : CPCU

Les coûts de réalisation des canalisations sont mentionnés hors travaux de dépollution des sols, gestion des terres excavées et hors coûts de dévoiement éventuels de réseaux concessionnaires.

Synthèse des coûts :

	Quantités	Coûts avec frais voirie
Canas vapeur	1191 ml	2 204 625 €
Brts vapeur	538 ml	1 334 100 €
aléas et MOE (11%)		389 260 €
Total opérations	1729 ml	3 927 985 €

Il est à rappeler que ces montants d'investissements seront pris en charge par l'aménageur et CPCU selon des modalités de répartition qui restent à définir, fonction des estimations de vente de chaleur et du programme définitif incluant le calendrier de livraison des bâtiments.

La confirmation des phasages et du business plan sera établi plus tard, avec l'aménageur ou/et les prometteurs.

Ces coûts sont basés sur des estimations issues des ratios CPCU et hors aléas et MOE.

Les coûts de réalisation des canalisations sont mentionnés hors travaux de dépollution des sols, gestion des terres excavées et hors coûts de dévoiement éventuels de réseaux concessionnaires.

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

Subventions mobilisables à l'investissement

CPCU peut bénéficier d'une subvention ADEME qui peut s'échelonner entre 600 et 1 200 € par mètre linéaire tiré (1200 € pour les canalisations vapeur) pour la densification de la desserte en réseau de chaleur. Ces subventions peuvent ainsi s'appliquer au secteur Python-Duvernois car il s'agit ici d'une densification de réseau.

Coût d'exploitation

Les coûts d'exploitation sont estimés en prenant en compte l'hypothèse du prix de l'énergie du réseau de chaleur à Paris qui est d'environ 33 € TTC/MWh.

Bilan d'analyse économique CPCU

	Scénario 1 : Développement d'une boucle d'eau chaude à partir d'une station d'échange vapeur/eau à créer	Scénario 2 : réseau en vapeur
Coût d'investissement TOTAL (en € TTC)	4 466 335	3 927 985
Subventions Mobilisables (en € TTC)	2 092 800	2 074 800
Coût d'investissement avec subventions (en € TTC)	2 373 535	1 853 185
Coût total en € TTC (sur 50 ans) sans évolution du coût de l'énergie	16 648 307	16 127 957
Coût global en €/MWh TTC sans évolution du coût de l'énergie	75	73

3.1.3 ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

Les émissions de CO₂ liées au fonctionnement du réseau de chaleur urbain s'élèvent à 158 gCO₂/kWh.

	Réseau de chaleur CPCU
Besoins en Chaud couverts par le réseau CPCU	4 426
Emissions annuelles CO ₂ (en T/an)	0,70
Emissions CO ₂ sur 50 ans (en T)	35

3.1.4 TABLEAU RECAPITULATIF

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Un système dont la durée de vie est très étendue- Un coût d'exploitation peu important et un rendement performant- Un prix de l'énergie stable et maîtrisé- Des émissions de gaz à effet de serre faibles	<ul style="list-style-type: none">- Un coût à l'investissement très important- Des travaux de réseaux conséquents à entreprendre sur plusieurs chaussées

Le raccordement au réseau CPCU est un système avantageux en fonctionnement puisqu'il représente un impact énergétique moindre et un coût stable. Il possède donc des atouts face au risque de précarité énergétique existant dans un quartier tel que Python-Duvernois, mais demeure néanmoins une solution onéreuse en termes d'investissement initial.

3.2 SOLUTION GAZ ET ÉNERGIES RENOUVELABLES

3.2.1 PRESENTATION DES SCENARIOS

Nous étudions les possibilités d'approvisionnement à partir des sources d'énergie disponibles sur site et des objectifs énergétiques fixés au niveau E3 C2 du label Energie + Carbone – équivalent à la 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.

Nous considérerons 2 scénarios gaz d'approvisionnement énergétique :

- **Scénario 1** : Systèmes gaz « classiques » décentralisés : chaudière gaz à condensation ;
- **Scénario 2** : Systèmes gaz « innovants » décentralisés et EnR : Pompe à chaleur gaz à Absorption, mini-cogénération et solaire thermique selon les besoins en chaud (chauffage + ECS) à mobiliser sur les îlots.

	Logements collectifs	Bureaux	Activités	Equipements
SCENARIO 1 Gaz décentralisé	Chaudière gaz à condensation			
SCENARIO 2 Gaz décentralisé + EnR	Chaudière gaz à condensation / Solaire thermique	Chaudière gaz à condensation / PAC Gaz à absorption	Chaudière gaz à condensation / Mini-Cogénération	Chaudière gaz à condensation / PAC Gaz à absorption

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

Les besoins énergétiques sont des besoins utiles, c'est-à-dire livrés à l'utilisateur, on ne prend donc pas en compte les pertes sur le réseau ou les pertes de combustion, qui ne sont pas les mêmes pour le gaz ou pour le réseau de chaleur 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 et l'eau chaude sanitaire.

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

3.2.2 HYPOTHESES POUR L'ANALYSE

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

Hypothèses prises pour l'analyse :

- L'analyse en coût global est réalisée sur une durée de 50 ans ;
- Les besoins énergétiques sont des besoins utiles, c'est-à-dire livrés à l'utilisateur, on ne prend donc pas en compte les pertes sur le réseau ou les pertes de combustion, qui ne sont pas les mêmes pour le gaz ou pour le réseau de chaleur et peuvent ainsi entraîner une variation du coût d'exploitation réel ;
- Les coûts d'investissement sont donnés sans préoccupation de leur répartition entre les différents acteurs du projet d'aménagement (Ville, bailleurs, promoteurs, etc.), qui seront à déterminer par la suite ;
- Les coûts estimés ne prennent pas en compte la fourniture et la mise en œuvre des organes de distribution de la chaleur dans les bâtiments ;

Note : pour les bâtiments qui sont alimentés par des sources énergétiques peu émettrices de CO₂ (via des réseaux de chaleur, dans la pratique), des modulations des niveaux de consommations réglementaires sont admises. Ces niveaux sont les suivants :

- émissions < 150 gCO₂/kWh -> Cepmax +10% ;
- émissions < 100 gCO₂/kWh -> Cepmax + 20 % ;
- émissions < 50 gCO₂/kWh -> Cepmax + 30%.

Le coefficient Bbio reste quant-à lui inchangé et garantit la bonne conception bioclimatique du bâtiment.

Pour simplifier la comparaison des scénarii, nous n'avons pas intégré ces modulations au calcul. Nous considérons donc que la conception de l'enveloppe des bâtiments composant le projet ne varie pas en fonction des scénarii. Seuls les systèmes de production d'énergie varient d'un scénario à l'autre.

Scénario 1 : approvisionnement en gaz (100 % des besoins),

Scénario 2 : approvisionnement en gaz (75 % des besoins) et un complément par mix énergétique (25 %) réparti de la manière suivante :

- Complément solaire thermique pour les logements,
- Complément PAC Gaz à absorption pour les bureaux et les équipements,
- Complément Mini-cogénération pour les activités.

Le scénario 2 permet d'évaluer l'intégration des énergies solaires et autres systèmes innovants au projet.

Ces trois scénarii intègrent des dispositifs de stockage de l'eau chaude sanitaire.

Remarque : les coûts d'investissement et les impacts carbone des besoins en froid et en électricité des îlots ne seront pas étudiés dans le périmètre de l'étude. Toutefois ils seront analysés rapidement afin d'évoquer l'intérêt d'une production locale d'énergie (solaire photovoltaïque).

Données environnementales

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

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

	Facteurs d'émission du poste chauffage par mode de chauffage (en gCO₂/kWhEu) l'étude sur les modes de chauffage et le prix de vente de la chaleur (données AMORCE/ADEME)
Chaudière gaz collective à condensation	276
Solaire thermique	0
Electricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment	0
Electricité (hors électricité d'origine)	180

renouvelable utilisée dans le bâtiment)	
Réseau de Chaleur CPCU	158
Micro cogénération	193,2
PAC Gaz à absorption	98

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 :

Coûts d'investissement (en € HT) (Source : diverses)		
Chaudière collective gaz à condensation	300	€ / kW
PAC Gaz à absorption	450	€ / kW
Solaire thermique	900	€ /kW
Solaire photovoltaïque	600	€ /kW
Mini-cogénération	2000	€ /kW

Subventions mobilisables

Solaire :

Les subventions peuvent représenter jusqu'à 40 % du coût d'investissement.

Coûts d'exploitation

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

Rendements des installations :

Les rendements pris en compte sont :

- 95 % pour les chaudières gaz à condensation
- 140 % pour les PAC Gaz à absorption
- 115 % pour les mini-cogénération
- 35 % pour le solaire thermique
- 15 % pour le solaire photovoltaïque

3.2.2 ANALYSE ECONOMIQUE**Coût d'investissement**

Les coûts d'investissement portent uniquement sur les générateurs de chauffage, eau chaude sanitaire et climatisation. On considère que le réseau existant est présent mais que l'on change tous les équipements individuels pour les bâtiments de logements/ équipements/ activités. Les coûts de construction (raccordement au réseau existant), de rénovation ou d'isolation du bâti ne sont pas intégrés.

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

Pour rappel : les coûts des énergies sont tirés des prix moyens de vente de la chaleur relevés sur différentes sources de données (ADEME, DRAAF, SOeS, EDF, ENGIE, FIOULMARKET, PROPELLET, PEGASE).

Coûts de l'énergie		
	€/kWh	€/MWh
Gaz à condensation	0,082	82
Electricité	0,15	150

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

- 2% pour les réseaux de chaleur majoritairement alimentés par de EnR&R ;
- 4,1% pour les réseaux de chaleur majoritairement alimentés par des énergies fossiles ;
- 4,1% sur le prix du gaz ;
- 3,9% sur le prix du fioul ;
- 3% sur le prix de l'électricité.

Pour notre étude, nous prenons les hypothèses suivantes :

	Gaz naturel	Solaire
Tendance hausse	Forte	Moyenne
Evolution annuelle des prix de l'énergie (P1+P2+P3)	+ 4,1 %	+ 2 %

Pour les besoins en chaud du scénario 1 de gaz décentralisé :

Zone	Bâtiment	Description usages	Solution	% couverture	Rendements	Puissance installée (KW)	Coût de l'installation €/kW ou €/ml ou €/m²	Coûts installation (€ HT)	Investissement (€ HT installé)	Investissement (€ TTC installé)	Coût de l'énergie (€/MWh)	Coût total en € TTC hors subventions (sur 50 ans)	Coût global en €/MWh TTC hors subventions
Bagnolet zone verte	A	Logements collectifs + tertiaire	Chaudière gaz à condensation	100%	0,95	188	300	56502	56502	59610	82	356295	104
	B	Logements collectifs + activités				291		87409	87409	92217		551193	104
	C	Logements collectifs + activités				306		91697	91697	96740		578230	104
	D	Logements collectifs + tertiaire				308		92408	92408	97490		582711	104
	E	Tertiaire				654		196339	196339	207137		1238088	104
	F	Tertiaire				350		105138	105138	110921		662988	104
	G	Activités				22		6628	6628	6992		41795	104
	H	Tertiaire				343		102866	102866	108523		648659	104
	I	Activités + tertiaire				210		63032	63032	66499		397471	104
	L	Logements collectifs + tertiaire				377		113029	113029	119245		712745	104
	M	Logements collectifs + tertiaire + activités				288		461399	461399	486776		2909526	104
	M Réno	Logements collectifs				1250		192821	192821	203426		1215906	104
	Q	Commerces + tertiaire				643		1219196	1219196	1286251		7688099	104
	S	Equipements + tertiaire				507		86301	86301	91048		544206	104
	S Réno	Logements collectifs				3557		99012	99012	104457		624356	104
Hotel Serpollet	Activités	288	86301	86301	91048	544206	104						
TEP Davout	N	Logements collectifs + activités	330	99012	99012	104457	624356	104					
	O	Logements collectifs + activités	426	127878	127878	134911	806382	104					
	T	Logements collectifs + activités	333	99771	99771	105259	629145	104					
Centre Sportif Louis Lumière	R	Equipements	2211	663357	663357	699841	4183046	104					
	P	Activités	80	99922	99922	105418	630097	104					
	P Réno	Equipements	253										
TOTAL SANS EVOLUTION DU COUT DE L'ENERGIE								3 964 704	3 964 704	4 182 763		25 000 938	104
TOTAL AVEC EVOLUTION DU COUT DE L'ENERGIE								3 964 704	3 964 704	4 182 763		58 091 693	241

Le scénario analyse les coûts liés à l'installation de chaudières décentralisées alimentées à 100 % au gaz (chaudière à condensation).

Aucune subvention n'est mobilisable pour ce type d'installation, courant sur le marché.

Le coût total de l'installation a été estimée selon deux critères :

- Sans tenir compte de l'évolution du coût de l'énergie
- En tenant compte de l'évolution du coût de l'énergie

Des estimations ont ainsi pu être réalisées à l'aide des hypothèses fixés récemment dans l'étude pour prendre connaissance du potentiel coût total à évaluer sur le secteur.

Pour rappel : les estimatifs des 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.

Pour les besoins en chaud du scénario 2 de gaz décentralisé + une énergie renouvelable :

Pour les besoins en chaud du second scénario, les analyses ont été faites avec un système gaz « classique » décentralisé, associé à un mix d'énergies renouvelables selon les usages des bâtiments :

Les hypothèses retenues ont été les suivantes pour la répartition de la part des énergies utilisées :

- Un recours à 75 % d'une solution classique, chaudière gaz à condensation pour tout usage
- Un recours à environ 25 % d'une solution renouvelable selon les usages :
 - o Panneaux solaires thermique pour les logements,
 - o Pompe à Chaleur Gaz à Absorption pour les bureaux ainsi que pour les équipements,
 - o Mini-cogénération pour les activités et les commerces

La répartition des différentes parts d'énergies issues de sources renouvelables a été fixée en fonction des potentiels locaux pour les différents îlots aménagés.

Description usages	Solution	Coût d'investissement avec subventions (en € TTC)	Coût de l'énergie (€/MWh)	Coût total en € TTC avec subventions (sur 50 ans) sans évolution du coût de l'énergie	Coût global en €/MWh avec subventions sans évolution du coût de l'énergie	Coût total en € TTC avec subventions avec évolution du coût de l'énergie (sur 50 ans)	Coût global en €/MWh avec subventions avec évolution du coût de l'énergie
Logements collectifs	Chaudière gaz à condensation	1 612 709	82	9 639 380	104	26 892 906	289
	Solaire thermique	967 626	0	967 626	31	967 626	31
Tertiaire	Chaudière gaz à condensation	684 344	82	4 090 418	104	11 411 856	289
	PAC Gaz	342 172	82	1 112 594	85	1 645 408	125
Activités/Commerces	Chaudière gaz à condensation	179 182	82	1 194 981	102	3 378 465,23	287
	Mini-cogénération	398 183	0	398 183	102	398 183,01	102
Equipements	Chaudière gaz à condensation	635 926	82	3 801 013	104	10 604 446,79	289
	PAC Gaz	317 963	82	1 033 876	85	1 528 992,21	125
	TOTAL	5 138 105		22 238 070	92	56 827 882	236
	TOTAL EN MILLIONS €	5,14		22,24		56,83	

Les coûts totaux et globaux ont été analysés selon les subventions mobilisables et l'évolution ou non du coût de l'énergie dans le but d'anticiper ce paramètre important dans les futurs investissements entrepris.

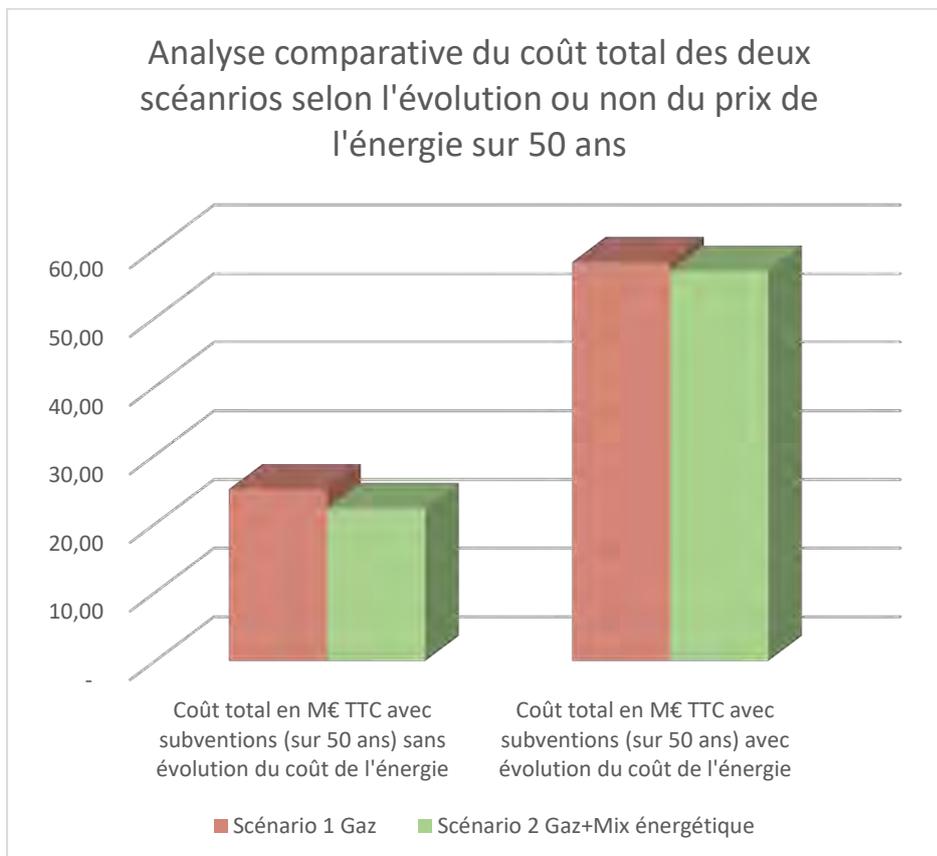
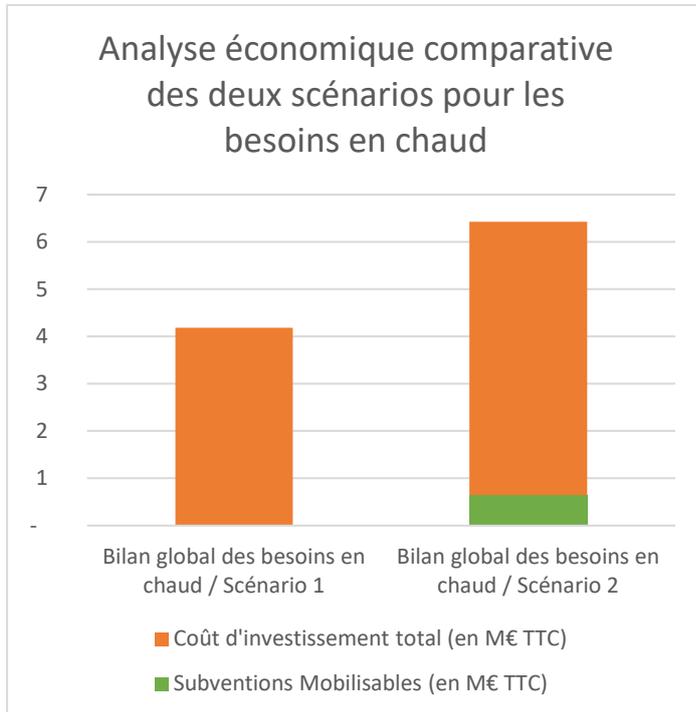
Comparaison des bilans globaux correspondant aux besoins en chaud des deux scénarios étudiés :

	Bilan global des besoins en chaud / Scénario 1	Bilan global des besoins en chaud / Scénario 2
Coût d'investissement total (en M€ TTC)	4,18	5,78
Subventions Mobilisables (en M€ TTC)	-	0,65
Coût d'investissement avec subventions (en M€ TTC)	4,18	5,14
Coût total en M€ TTC hors subventions (sur 50 ans) sans évolution du coût de l'énergie	25,00	22,88
Coût global en €/MWh TTC hors subventions (sur 50 ans) sans évolution du coût de l'énergie	104	95
Coût total en M€ TTC avec subventions (sur 50 ans) sans évolution du coût de l'énergie	25,00	22,24
Coût global en €/MWh TTC avec subventions (sur 50 ans) sans évolution du coût de l'énergie	104	92
Coût total en M€ TTC avec subventions (sur 50 ans) avec évolution du coût de l'énergie	58,09	56,83
Coût global en €/MWh TTC avec subventions (sur 50 ans) avec évolution du coût de l'énergie	241	236

L'analyse des coûts totaux et globaux, en intégrant les coûts d'investissement et de fonctionnement, ainsi que les subventions mobilisables, démontre qu'il est plus intéressant de recourir au premier scénario à l'investissement, en mobilisant une énergie fossile.

Toutefois, lorsque l'analyse se porte sur les coûts totaux, en tenant compte ou non de l'évolution du coût de l'énergie pour les deux scénarios, elle donne un avantage économique à la solution mobilisant une source énergétique renouvelable, avec un recours à 25 %.

Les graphiques présentés ci-dessous permettent de comparer les deux scénarios présentés précédemment au regard des critères suivants :



Pour rappel, il s'agit de premiers estimatifs et de premières hypothèses basées sur des données sommaires et provisoires. Des études de conception viendront préciser les besoins énergétiques pour l'ensemble du projet, ainsi que les investissements à envisager.

Focus sur les besoins en froid et en électricité

Les totaux des besoins estimés suivant la répartition des usages pour les postes de froid et d'électricité s'élèvent à un total de 5,1 GWh par an à prendre en compte pour répondre à leurs besoins.

Pour assurer des économies d'énergie sur ces deux postes de consommation, le projet peut envisager l'installation de panneaux photovoltaïques pour couvrir une partie de ces besoins.

Le coût de l'installation de panneaux photovoltaïques peut être estimés d'après nos hypothèses à environ 600 € / kW.

Ces installations permettraient d'éviter les dépenses liées au coût de l'électricité qui s'élève à quasiment 128 € au MWh consommé.

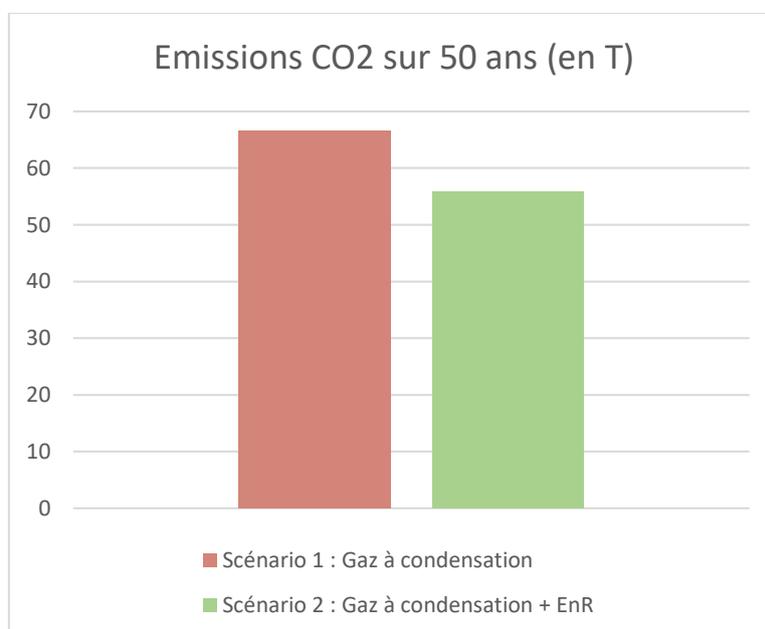
Au vu des besoins importants à assurer sur le secteur, il serait intéressant pour le projet d'envisager une production locale d'énergie par la mise en place de panneaux solaires photovoltaïques, en les associant au scénario mix énergétique (gaz + EnR).

3.2.3 ANALYSE ENVIRONNEMENTALE

Des estimatifs ont été établis selon les données de références précisées plus haut dans notre étude.

Les émissions de CO₂ générées, suivant les scénarii, sont les suivantes :

	Scénario 1 : Gaz à condensation	Scénario 2 : Gaz à condensation + Mix énergétique
Besoins	4 823,72	
Emissions annuelles CO ₂ (en T/an)	1,33	1,12
Emissions CO ₂ sur 50 ans (en T)	67	56



Le scénario monopolisant une énergie fossile est le plus impactant sur le plan environnemental.

Tandis que le scénario ayant recours partiellement aux énergies renouvelables est le plus vertueux et dispose d'un bilan environnemental intéressant en comparaison avec les autres scénarios (diminution de quasiment 20% des émissions de CO₂ sur 50 ans).

3.2.4 TABLEAU RECAPITULATIF

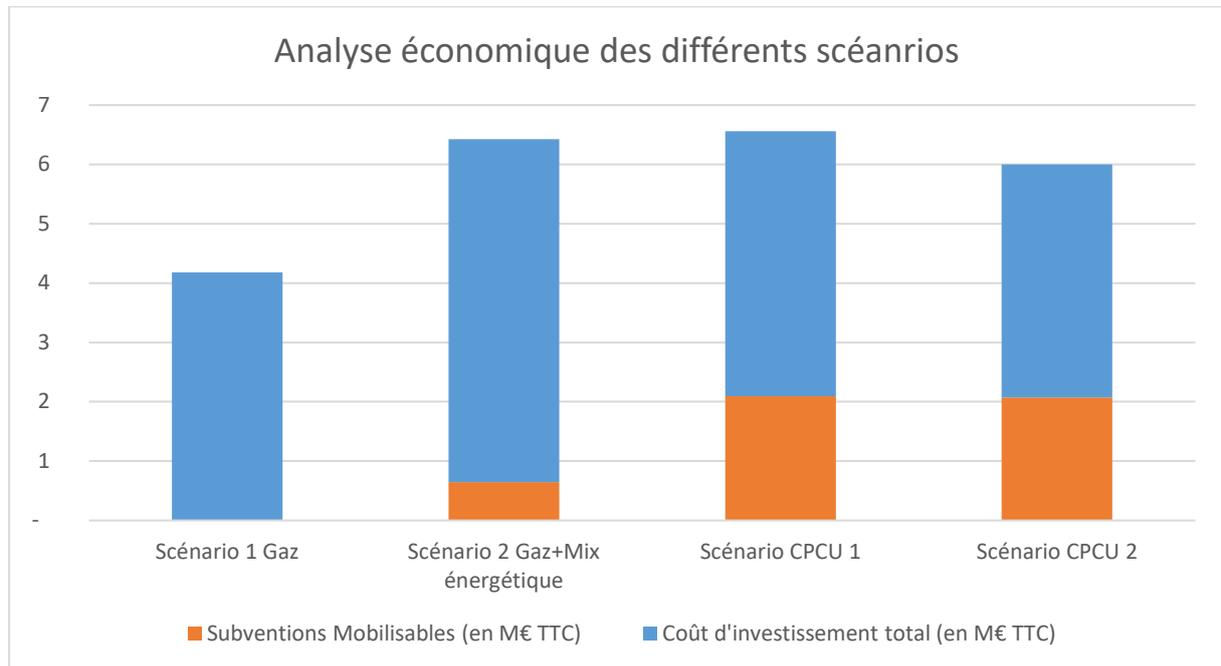
Scénario	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Scénario Gaz à condensation	<ul style="list-style-type: none"> - Coût intéressant à l'investissement initial - Facilité d'installation et d'exploitation - Nécessite peu d'entretien - Coût de maintenance modéré 	<ul style="list-style-type: none"> - Emissions de gaz à effet de serre importante - Incertitude sur la disponibilité de la ressource à long terme - Risque élevé d'augmentation du coût de l'énergie
Scénario Gaz à condensation + EnR	<ul style="list-style-type: none"> - Bilan environnemental plus vertueux - Coût global intéressant sur le long terme - Recours à des ressources inépuisables - Bonne performance des installations PAC gaz et mini-cogénération 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût plus important à l'investissement initial - Production d'eau chaude non régulière pour le recours au solaire thermique - Les PAC Gaz présentent peu d'offres sur le marché - Installation PAC Gaz nécessite une surface non négligeable

Pour rappel, il s'agit de premiers estimatifs et de premières hypothèses basées sur des données sommaires et provisoires. Des études de conception viendront préciser les besoins énergétiques pour l'ensemble du projet.

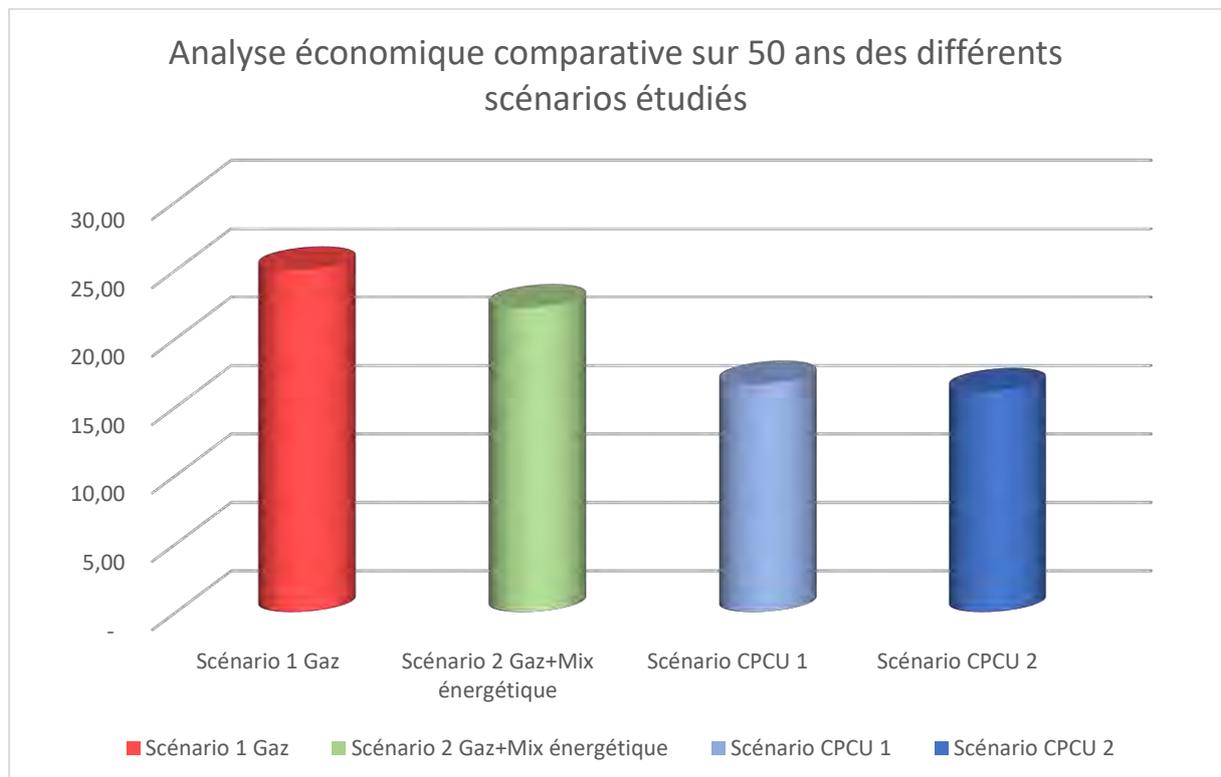


IV. COMPARAISON DES SCENARIOS

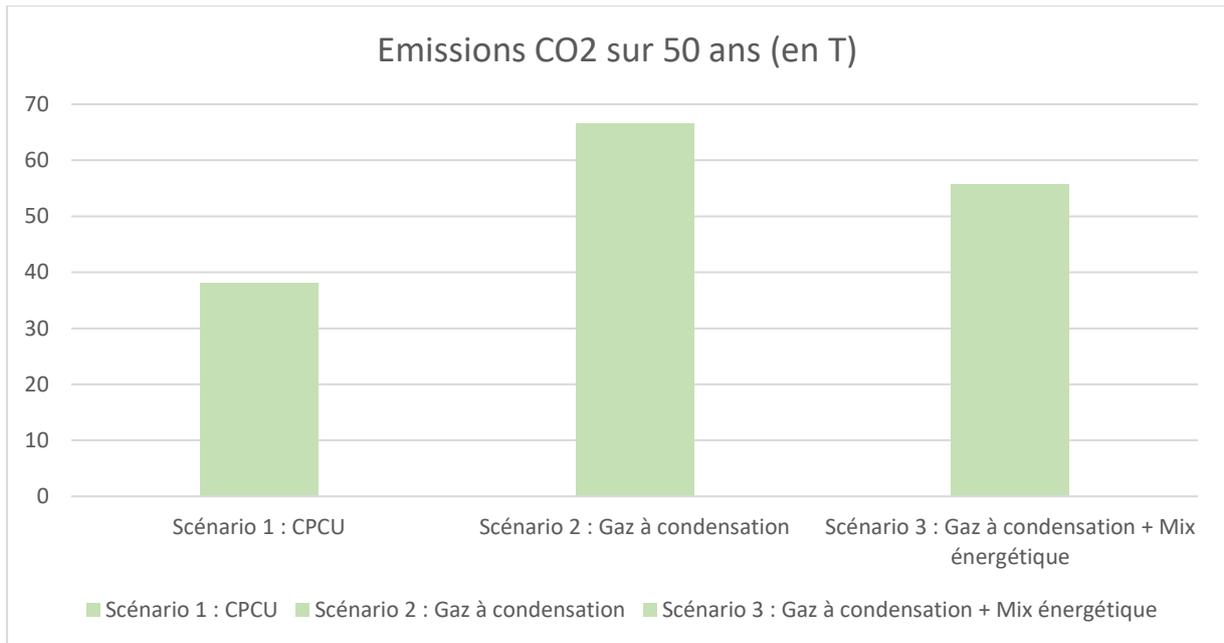
Les graphiques suivants permettent de comparer les différents scénarios présentés dans les parties précédentes au regard des critères suivants :



Source : EVEN Conseil, GRDF et CPCU



Source : EVEN Conseil, GRDF et CPCU



Source : EVEN Conseil, GRDF et CPCU



V. CONCLUSION

Scénario	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Scénario CPCU 2 (Boucle d'eau chaude)	<ul style="list-style-type: none"> - Un système dont la durée de vie est très étendue - Un coût d'exploitation peu important et un rendement performant - Un prix de l'énergie stable et maîtrisé - Des émissions de gaz à effet de serre faibles - Coût de la station d'échange vapeur/eau compris dans l'investissement - Possibilités de mobiliser des technologies d'énergies renouvelables supplémentaires qui peuvent venir se brancher sur le réseau d'eau chaude - Limiter la dépendance aux énergies fossiles en valorisant la matière énergétique issue de l'incinération des déchets 	<ul style="list-style-type: none"> - Un coût à l'investissement très important - Des travaux de réseaux conséquents à entreprendre sur plusieurs chaussées - Mobilisation d'un espace plus conséquent pour l'hébergement de la station d'échange (environ 50 m² minimum)
Scénario CPCU 1 (Réseau Vapeur)	<ul style="list-style-type: none"> - Un système dont la durée de vie est très étendue - Un coût d'exploitation peu important et un rendement performant - Un prix de l'énergie stable et maîtrisé - Des émissions de gaz à effet de serre faibles - Réduction de la dépendance aux énergies fossiles en valorisant la matière énergétique issue de l'incinération des déchets 	<ul style="list-style-type: none"> - Un coût à l'investissement très important - Des travaux de réseaux conséquents à entreprendre sur plusieurs chaussées - Coût des sous-stations d'échange vapeur /eau à ajouter

Scénario Gaz à condensation	<ul style="list-style-type: none"> - Coût intéressant à l'investissement initial - Facilité d'installation et d'exploitation - Nécessite peu d'entretien - Coût de maintenance modéré 	<ul style="list-style-type: none"> - Emissions de gaz à effet de serre importante - Incertitude sur la disponibilité de la ressource à long terme - Risque élevé d'augmentation du coût de l'énergie
Scénario Gaz à condensation + EnR	<ul style="list-style-type: none"> - Bilan environnemental plus vertueux - Coût global intéressant sur le long terme - Recours à des ressources inépuisables - Bonne performance des installation PAC gaz et mini-cogénération 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût plus important à l'investissement initial - Production d'eau chaude non régulière pour le recours au solaire thermique - Les PAC Gaz présentent peu d'offres sur le marché - Installation PAC Gaz nécessite une surface non négligeable

Aux vues des résultats issus de la présente étude, et en comparant les différents scénarios analysés précédemment à partir des hypothèses que nous avons fixées, nous avons pu identifier les scénarios qui nous semblent plus pertinent de retenir pour le secteur Python-Duvernois.

Ainsi, si la réflexion sur l'investissement se porte sur le long terme, en prenant en compte les tendances actuelles ainsi que l'évolution des prix des énergies, le scénario proposant le raccordement aux réseaux de chaleur CPCU semble être le scénario le plus intéressant, tant d'un point de vue économique qu'environnemental.

Le coût d'investissement initial le plus intéressant reste la solution classique avec l'installation de chaudières gaz à condensation décentralisées. Toutefois, il est à prendre en compte le bilan environnemental est négatif et que le coût de cette énergie risque d'augmenter fortement au fil des années.

Pour rappel, il s'agit de premiers estimatifs et de premières hypothèses basées sur des données sommaires et provisoires. Des études de conception viendront préciser les besoins énergétiques pour l'ensemble du projet.