

Etude d'impact de la ZAC Gare des Mines Fillettes

Potentiel de développement des énergies renouvelables - Phase 1 « Ressource »

Rapport d'étape

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	5
1.1. Rappel des objectifs	5
1.2. Ressources bibliographiques utilisées	5
2. PHASE 1 : CARACTERISATION DU GISEMENT ENR.....	6
2.1. Passage en revue des différents gisements énergétiques	6
2.1.1. <i>Energie géothermale</i>	7
2.1.2. <i>Energie biomasse</i>	10
2.1.3. <i>Energie éolienne</i>	12
2.1.4. <i>Hydroélectricité</i>	14
2.1.5. <i>Énergie solaire</i>	15
2.1.6. <i>Récupération</i>	17
2.1.7. <i>Opportunité réseau de chaleur / froid</i>	18
3. COMPARAISON ET SELECTION D'ENR	20
4. ANNEXE	21

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Périmètre de l'opération (en jaune) – Source : CCTP de l'étude.....	5
Figure 2 : Schématisation des différentes pratiques de la géothermie	7
Figure 3 : Eligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur nappes - Source : BRGM.....	8
Figure 4 : Potentiel de développement de la géothermie intermédiaire et profonde sur nappe du Dogger (Source : http://sigr.iau-idf.fr).....	8
Figure 5 : Potentiel de développement de la géothermie intermédiaire et profonde sur réseau de chaleur (Source : http://sigr.iau-idf.fr).....	9
Figure 6 : Cartographie des caractéristiques géothermiques du meilleur aquifère (Source : géothermie-perspectives.fr).....	9
Figure 7 : Recensement des chaufferies biomasses à proximité du site de l'opération, source https://www.biomasseenergieidf.org	10
Figure 8 : Fournisseurs de bois déchiqueté dans la région Ile-de-France (Source : http://www.biomasse-energie-idf.fr)	11
Figure 9 : Carte des zones favorables d'implantation éolienne en Ile-de-France	12
Figure 10 : Atlas terrestre des vents en France (Source : Préfecture Pays de la Loire 2013)	12
Figure 11 : Localisation des cours d'eau en région Ile-de-France (Source : DRIEE).....	14
Figure 12 : Réseau hydrographique à proximité de la ZAC (Source : Geoportail).....	14
Figure 13 : Carte du potentiel solaire (Irradiation solaire globale sur le plan horizontal) (Source : PVGIS).....	15
Figure 14 : Carte de localisation des stations d'assainissement communales en Ile-de-France (Source : http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr)	17
Figure 15 : Carte de potentiel de chaleur fatale valorisable d'après les gisements des collecteurs d'assainissement (Source : http://sigr.iau-idf.fr)	17
Figure 16 : Carte de localisation des réseaux de chaleur existant à proximité du projet	18
Figure 17 : Carte de localisation des densités des réseaux de chaleur existant à proximité du projet (2005).....	18

LISTE DES SIGLES

BRGM = Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CH₄ = méthane

Cepmax = Consommation d'Energie Primaire maximale

CO₂ = dioxyde de carbone

EH = EquivalentHabitants

EnR&R = Énergies renouvelables et de récupération

GES = Gaz à Effet de Serre

GMI =géothermie dite de minime importance

GPRU = Grand Projet de Renouveau Urbain

kgCO₂e = kilogrammes équivalent CO₂

kWh = kilowattheures

MW = Mégawatts

PCI = Pouvoir Calorifique Inférieur

PNE = Paris Nord-Est

SIPPEREC = Syndicat Intercommunal de la Périphérie de Paris pour les Energies et les Réseaux de Communication

SPLA = Société Publique Locale d'Aménagement

STEU = Station de Traitement des EEaux Usées

ZAC= Zone d'Aménagement Concertée

1. INTRODUCTION

1.1. Rappel des objectifs

L'objectif de la présente mission consiste à réaliser pour SPLA Paris Batignolles Aménagement, mandaté par la ville de Paris, une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la ZAC sur le secteur Gare des Mines-Fillettes à Paris, 18^{ème} arrondissement, en accord avec les dispositions législatives en vigueur (article I 128-4 du Code de l'Urbanisme).

Le projet d'aménagement s'inscrit dans le cadre du Grand Projet de Renouveau Urbain (GPRU) Paris Nord-Est (PNE), situé entre les portes de la Chapelle et d'Aubervilliers en bordure de périphérique, en limite de Saint-Denis et d'Aubervilliers. Ce projet intégrera notamment l'ARENA 2, équipement sportif de 7 500 places, participant aux nouveaux équipements créés pour les jeux Olympiques et Paralympiques de 2024.

La présente étude porte sur le potentiel de développement des énergies renouvelables dans le cadre de ce projet de restructuration et s'attachera à apporter au maître d'ouvrage le panel d'outil à sa disposition et de l'orienter vers les meilleurs choix techniques pour la suite du projet.

Le périmètre opérationnel de la zone d'aménagement représente une surface totale d'environ 22 ha à Paris, 18^{ème} arrondissement (Latitude : 48°899' N, Longitude : 2°367' E, Altitude : ~ 40 m).



Figure 1 : Périmètre de l'opération (en jaune) – Source : CCTP de l'étude

L'étude est menée selon deux phases principales :

- **Phase 1 « Diagnostic et besoins »** sur la base du programme d'aménagement de la zone, les ressources maximales en énergies renouvelables et de récupération disponibles, pour ensuite

sélectionner les énergies renouvelables ayant le potentiel le plus intéressant dans le cadre du projet. La phase 1 s'achève par la sélection des filières EnR les plus pertinentes pour le projet.

- **Phase 2 – « Faisabilité » (ou Scénarii).** Cette deuxième phase étudiera la faisabilité d'intégration des énergies renouvelables sélectionnées à partir de plusieurs scénarii de sources d'énergies identifiées au cours de la première phase. Cette phase se terminera par la phase de restitution avec une discussion autour des enjeux et des actions pouvant être mises en œuvre.

1.2. Ressources bibliographiques utilisées

- Evaluation du contenu en CO₂ des réseaux de chaleur et de froid (Journal Officiel de la République Française)
- Estimation du gisement « méthanisable » en Ile de France (ORDIF – ARENE)
- Stratégie de développement de la méthanisation en Île-de-France ;
- Schéma Région Eolien Île-de-France ;
- Résultats pour la région Île-de-France issus des campagnes d'inventaire 2005 à 2009 de la forêt française ;
- Cartographies disponibles dans l'outil Energif ROSE.

2. PHASE 1 : CARACTERISATION DU GISEMENT ENR

2.1. Passage en revue des différents gisements énergétiques

Cette partie s'attache à présenter les gisements bruts mobilisables au regard de la localisation du futur projet :

- ressource géothermale ;
- ressource solaire photovoltaïque et thermique (ensoleillement moyen annuel) ;
- ressources biomasse : bois-énergie, biogaz ;
- ressource éolienne terrestre ;
- ressource hydraulique ;
- récupération d'eaux usées, chaleur fatale ;

Une fois la ressource en EnR identifiée, ARTELIA formulera des recommandations sur les opportunités de mise en place des différentes technologies EnR sur la zone. Pour chacune de ces solutions, ARTELIA décrira les caractéristiques d'implantation et les mises en garde afin d'alimenter les réflexions lors de l'élaboration du plan de masse.

Les parties qui suivent détaillent la ressource disponible et les préconisations de chaque énergie envisagée. Il conviendra à ce stade de bien faire la distinction entre :

- **les énergies qui vont directement contribuer à l'approvisionnement en énergie de la zone** en répondant aux besoins identifiés précédemment (solaire thermique, biomasse etc.) ;
- **les énergies qui pourraient être développées, soit à titre expérimental, soit à titre d'image ou encore à des fins économiques, mais qui ne répondront pas aux besoins**, car provenant d'une source d'énergie intermittente. Il s'agit là du solaire photovoltaïque ou de l'éolien pour lesquels, à moins de mettre en place des systèmes de stockage coûteux, la production d'énergie (en l'occurrence d'électricité) est produite selon le gisement (vent, soleil) et non obligatoirement en phase avec les besoins. La production sera probablement réinjectée sur le réseau électrique pour bénéficier des mécanismes d'aide propres à chacune des filières. La production d'énergie d'origine renouvelable vient alors compenser « virtuellement » une partie des besoins du quartier.

2.1.1. Energie géothermale

2.1.1.1. Généralités

On distingue en géothermie :

- **La géothermie haute énergie (température supérieure à 150°C)** : il s'agit de réservoirs généralement localisés entre 1 500 et 3 000 mètres de profondeur. Lorsqu'un tel réservoir existe, le fluide peut être capté directement sous forme de vapeur sèche ou humide pour la production d'électricité.
- **La géothermie moyenne énergie (température comprise entre 90°C et 150°C)** : le BRGM la définit comme une zone propice à la géothermie haute énergie, mais à une profondeur inférieure à 1 000 mètres. Elle est adaptée à la production d'électricité grâce à une technologie nécessitant l'utilisation d'un fluide intermédiaire.

Ces deux premiers types de géothermie nécessitent des contextes géologiques bien particuliers (présence d'une ressource à haute température) qui ne sont pas présents en région parisienne. De plus, ces technologies nécessitent des investissements importants et sont réservés à des projets d'ampleur (réseau de chaleur ou production d'électricité). La mise en œuvre employée de ce genre de système n'est envisageable que pour des puissances de plusieurs MW. **Ces solutions ne sont donc pas adaptées au projet étudié.**

- **La géothermie basse énergie (température comprise entre 30°C et 90°C)** : elle concerne l'extraction d'eau inférieure à 90°C dont le niveau de chaleur est insuffisant pour la production d'électricité mais adapté à une utilisation directe (sans pompe à chaleur) pour le chauffage des habitations et certaines applications industrielles.

Cette filière demande également des contextes géologiques bien particuliers. **En région parisienne, il est possible d'envisager l'exploitation de la nappe profonde du Dogger (-1 000 à -1 500 mètres) pour la mise en œuvre de cette filière.**

- **La géothermie très basse énergie (température inférieure à 30°C)** : elle concerne l'exploitation des aquifères peu profonds et l'exploitation de l'énergie naturellement présente dans le sous-sol à quelques dizaines, voire quelques centaines de mètres. Il s'agit de nappes d'eau souterraine et sols peu profonds dont la température est inférieure à 30°C et qui permet la production de chaleur via des équipements complémentaires (pompe à chaleur notamment). On recense deux techniques en géothermie très basse énergie :
 - *la géothermie sur nappe*, qui consiste à pomper l'eau de la nappe souterraine pour en extraire les calories dans la pompe à chaleur, puis à la réinjecter dans la nappe,
 - *la géothermie sur sondes sèches*, qui consiste à faire circuler un fluide caloporteur dans des sondes (circuit fermé), puis à en extraire la chaleur.

La géothermie très basse énergie est la plus simple à mettre en œuvre en termes de potentiel et de faisabilité technique (réglementation, coûts, etc.). Il est à noter que le recours à ce type de géothermie peut fournir de la chaleur mais aussi un rafraîchissement direct (géocooling) ou une climatisation (via une pompe à chaleur) pendant la période estivale.

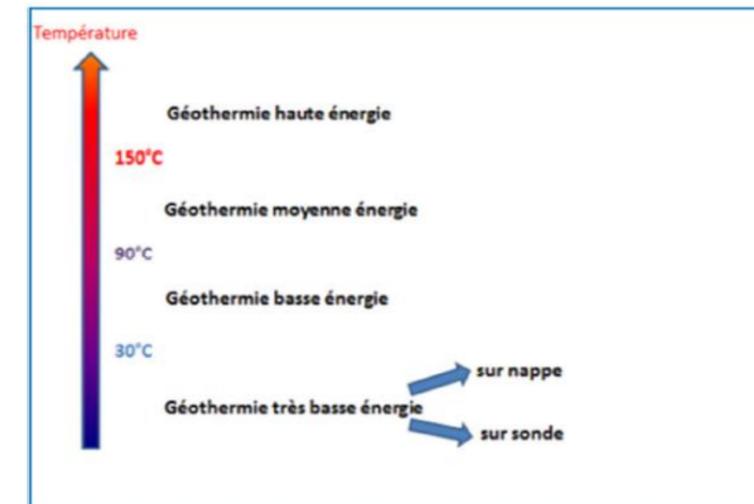


Figure 2 : Schématisation des différentes pratiques de la géothermie

2.1.1.2. Code minier

D'un point de vue réglementaire, le nouveau code minier définit les activités ou installations de géothermie dite de minime importance (GMI) qui n'ont pas d'incidence significative sur l'environnement et il en élargit le périmètre. Le décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015 qui définit et réglemente les activités de géothermie dite de minime importance simplifie le cadre réglementaire qui leur est applicable en substituant au régime d'autorisation en vigueur une déclaration de travaux effectuée par voie dématérialisée.

Un zonage (source : <http://www.geothermie-perspectives.fr/cartographie>) a été publié pour apprécier l'éligibilité à ce statut de géothermie de minime importance, il comporte :

- des zones ne présentant pas de risques, dites vertes ;
- des zones dans lesquelles, en l'absence de connaissances suffisantes des risques ou compte-tenu de risques déjà identifiés, il doit être joint à la déclaration l'attestation d'un expert agréé, qui garantit l'absence de risques graves du projet ;
- des zones à risque significatif dans lesquelles les ouvrages de géothermie ne pourront pas être considérés de minime importance, dites zones rouges. Dans ces zones, un projet ne pourra être réalisé qu'après autorisation complète de l'installation au titre du code Minier.

L'éligibilité à la géothermie de minime importance sur nappe et sur sondes, pour ce projet est représentée sur les figures ci-après.

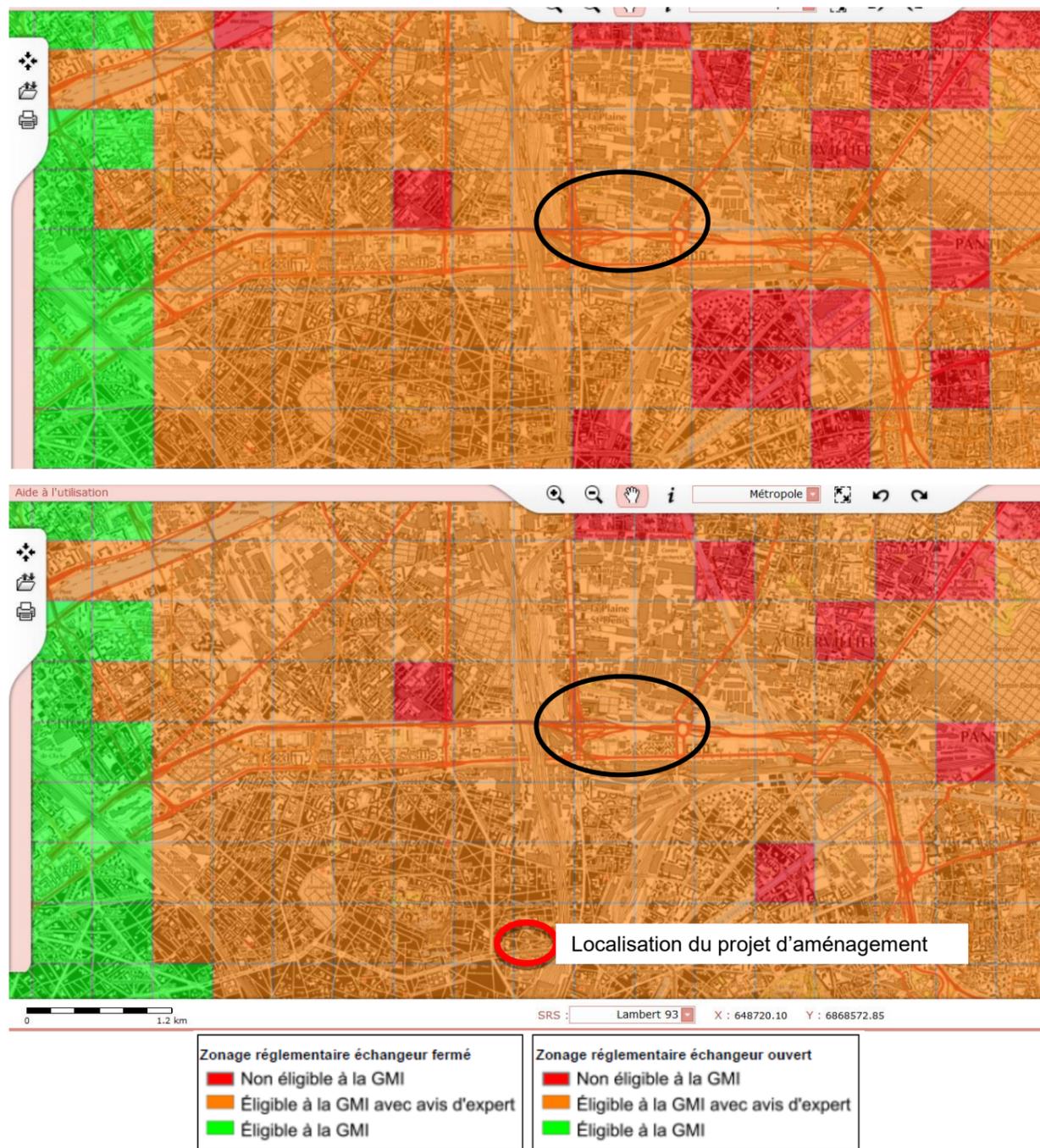


Figure 3 : Eligibilité à la géothermie de minime importance du projet pour les installations sur nappes - Source : BRGM

La zone d'aménagement étudiée est une zone éligible à la GMI avec avis d'expert

2.1.1.3. Géothermie basse énergie sur nappe profonde

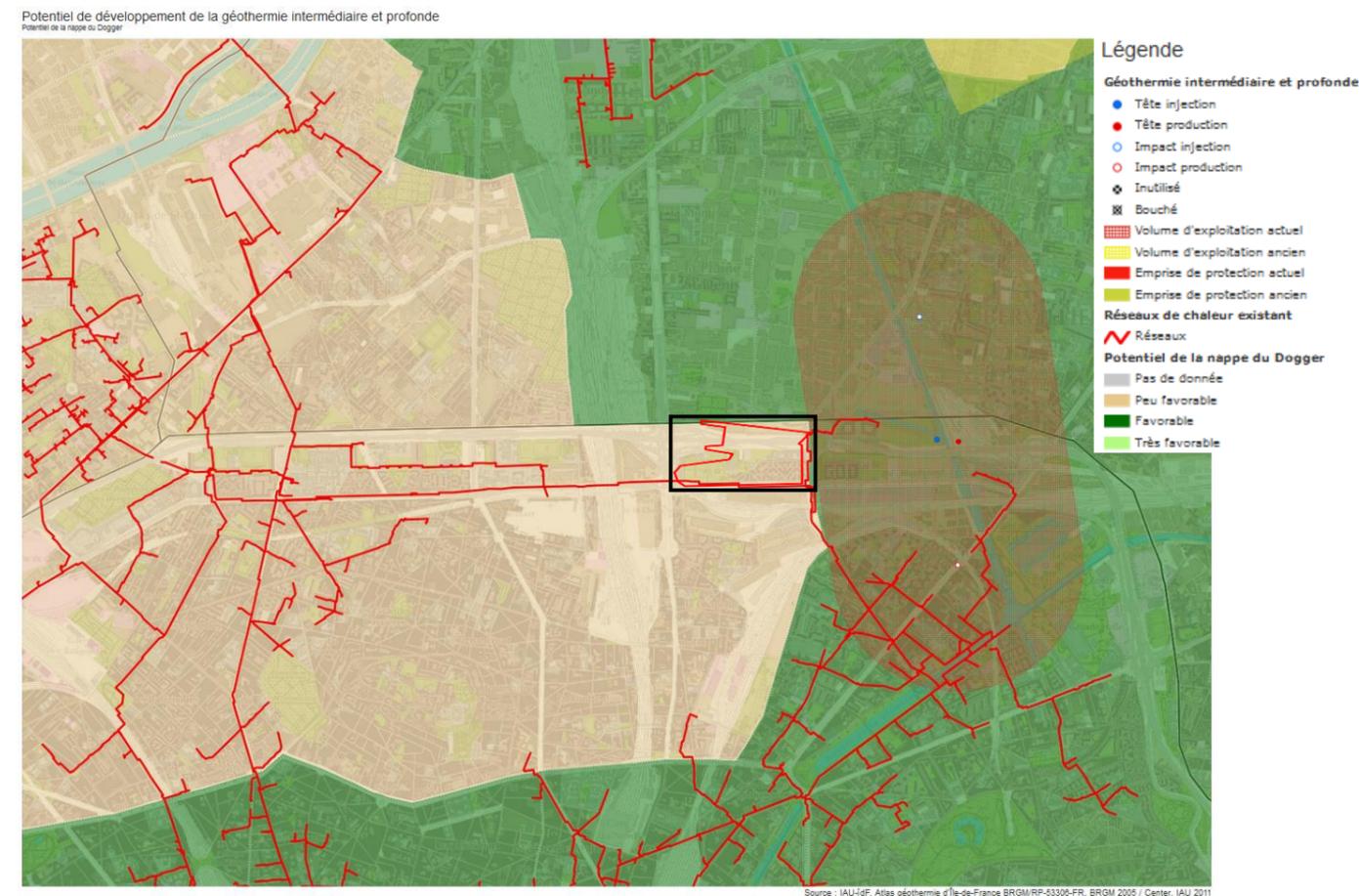
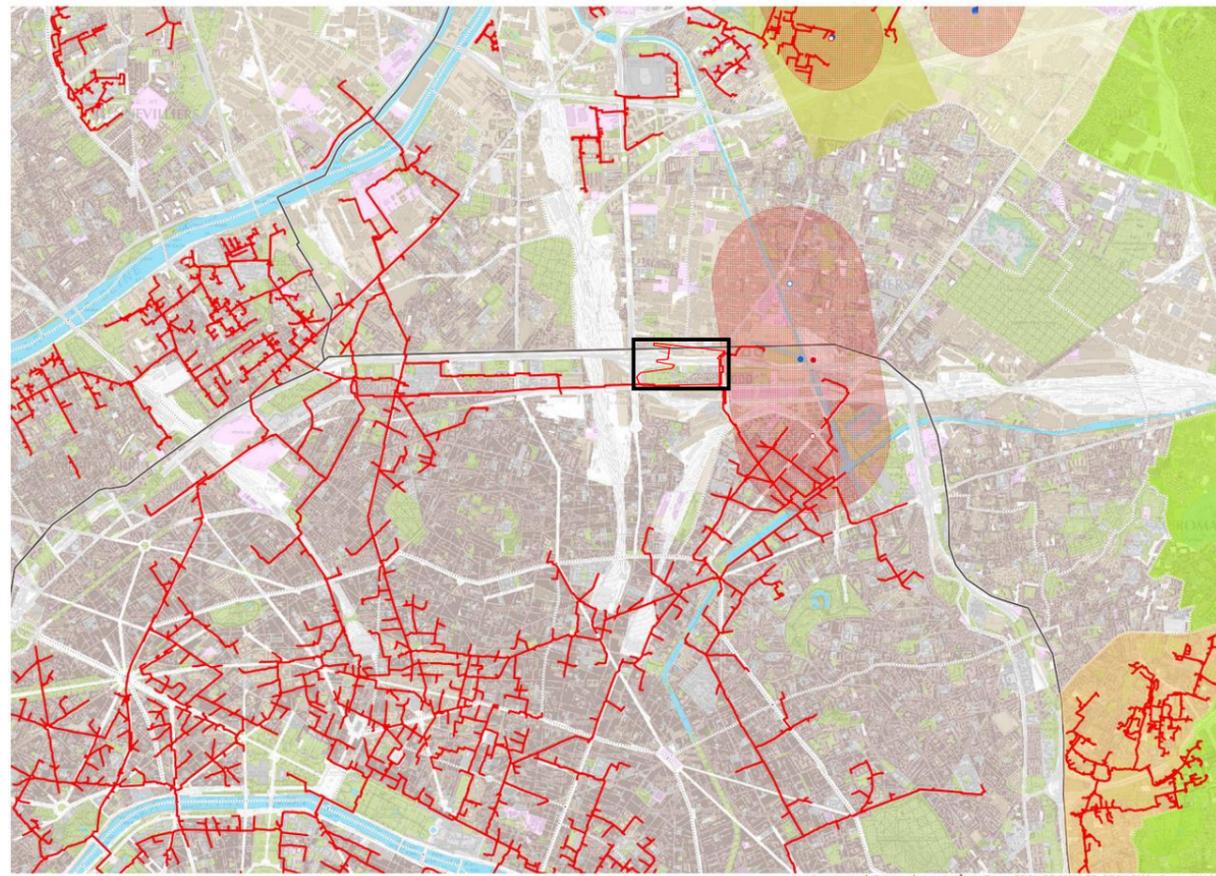


Figure 4 : Potentiel de développement de la géothermie intermédiaire et profonde sur nappe du Dogger (Source : <http://sigr.iau-idf.fr>)

Le territoire d'Île-de-France, particulièrement favorisé par la présence de la nappe du Dogger qui présente une température comprise entre 50 et 85°C à une profondeur comprise entre 1 500 et 2 000 mètres environ. Sur la zone de projet, le potentiel de la nappe du Dogger est évalué **comme peu favorable**.

Le terrain du projet n'est donc pas propice à la géothermie basse énergie sur nappe profonde du Dogger.

Potentiel de développement de la géothermie intermédiaire et profonde
Potentiel de développement sur le réseau de chaleur



Source : IAU-IDF, Atlas géothermie d'Ile-de-France BRGM/RP-53305-FR, BRGM 2005 / Center, IAU 2011

Légende

Géothermie intermédiaire et profonde

- Tête injection
- Tête production
- Impact injection
- Impact production
- ⊗ Inutilisé
- ⊗ Bouché
- ▨ Volume d'exploitation actuel
- ▨ Volume d'exploitation ancien
- ▨ Emprise de protection actuel
- ▨ Emprise de protection ancien
- Réseaux de chaleur existant**
- ~ Réseaux
- Potentiel de développement sur les RDC**
- Existence d'un réseau de chaleur géothermique
- Existence d'un réseau considéré comme géothermisable
- Potentiel en terme de création d'un nouveau réseau de chaleur géothermique

Figure 5 : Potentiel de développement de la géothermie intermédiaire et profonde sur réseau de chaleur (Source : <http://sigr.iau-idf.fr>)

Sur la zone de projet, le potentiel de développement de la géothermie intermédiaire et profonde sur réseau de chaleur est évalué **comme inexistant**.

2.1.1.4. Géothermie très basse énergie sur nappe superficielle

La perméabilité des terrains propices à la géothermie sur nappe est corroborée par les cartes du potentiel géothermique proposées par le BRGM (source : BRGM/géothermie-perspectives.fr) et qui est présentée ci-après.



Caractéristiques géothermiques du meilleur aquifère (IDF)

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Fort
- Très fort
- Autre aquifère

Figure 6 : Cartographie des caractéristiques géothermiques du meilleur aquifère (Source : géothermie-perspectives.fr)

Le territoire d'Ile-de-France, particulièrement favorisée par la présence des nappes de l'Eocène moyen et inférieur et la Nappe de la Craie, se prête fortement au développement des installations de géothermie assistée par pompes à chaleur aussi bien sur nappe que sur sondes.

La température de ces nappes varie peu au fil des saisons, entre 12°C en hiver et 16°C en été et assure une efficacité élevée même en hiver, dans le cas de son exploitation à travers des pompes à chaleur.

Au niveau du projet ces nappes se situent entre 10 et 20 mètres de profondeur et présentent des débits exploitables élevés parfois supérieurs à 100 m³/h.

Le terrain de du projet est donc propice à la géothermie très basse énergie sur nappe superficielle.

2.1.2. Energie biomasse

2.1.2.1. Généralités

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques, d'origine végétale ou animale, pouvant être utilisées pour produire de l'énergie. Ce paragraphe traite de la biomasse végétale sous la forme de bois ou de déchets agricole.

L'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques représente une part importante de l'objectif de la France qui, dans le cadre de la loi de transition énergétique, s'est engagée à porter à hauteur de 32% sa part EnR (énergie renouvelable) dans sa consommation énergétique finale d'ici 2030.

La combustion de la biomasse est considérée comme non émettrice de GES car l'intégralité du CO₂ rejeté dans l'atmosphère lors de sa combustion a été prélevée dans cette même atmosphère lors de la phase de croissance de la biomasse. Sous réserve d'une gestion responsable et durable des forêts (ou autres gisements en biomasse), le bilan CO₂ de photosynthèse-combustion est donc neutre.

Cependant la combustion de 1 kWh PCI de biomasse est pondérée de l'émission de 0,004 à 0,015 kgCO₂e (source : ADEME) dû aux transformations de la récolte jusqu'à sa mise en forme combustible. Au regard des autres énergies (0,235 kgCO₂e pour 1 kWh PCI de gaz produit puis brûlé), la biomasse reste une énergie peu carbonée.

2.1.2.2. Bois-énergie

Les grandes ressources de bois énergie concernent principalement les bois déchets non souillés de classe A provenant des déchets des ménages, des déchets du BTP et des déchets provenant d'autres activités économiques (315 kt/an en tout), puis viennent le bois forestier (280 kt/an) et la paille (223 kt/an).

Ainsi au total la quantité annuelle est de plus de 800 000 tonnes, le bois-énergie est une ressource intéressante en Ile-de-France.

Le développement d'une solution biomasse pour cette zone d'aménagement paraît donc envisageable en termes de disponibilité de la ressource.

La figure ci-dessous présente les installations de chaufferies bois en fonctionnement à proximité du site étudié. Pour exemple, la chaufferie OPDH 92 alimentant des logements sociaux (900 kW) a été mise en service en 2011. Elle est alimentée en plaquette forestière.

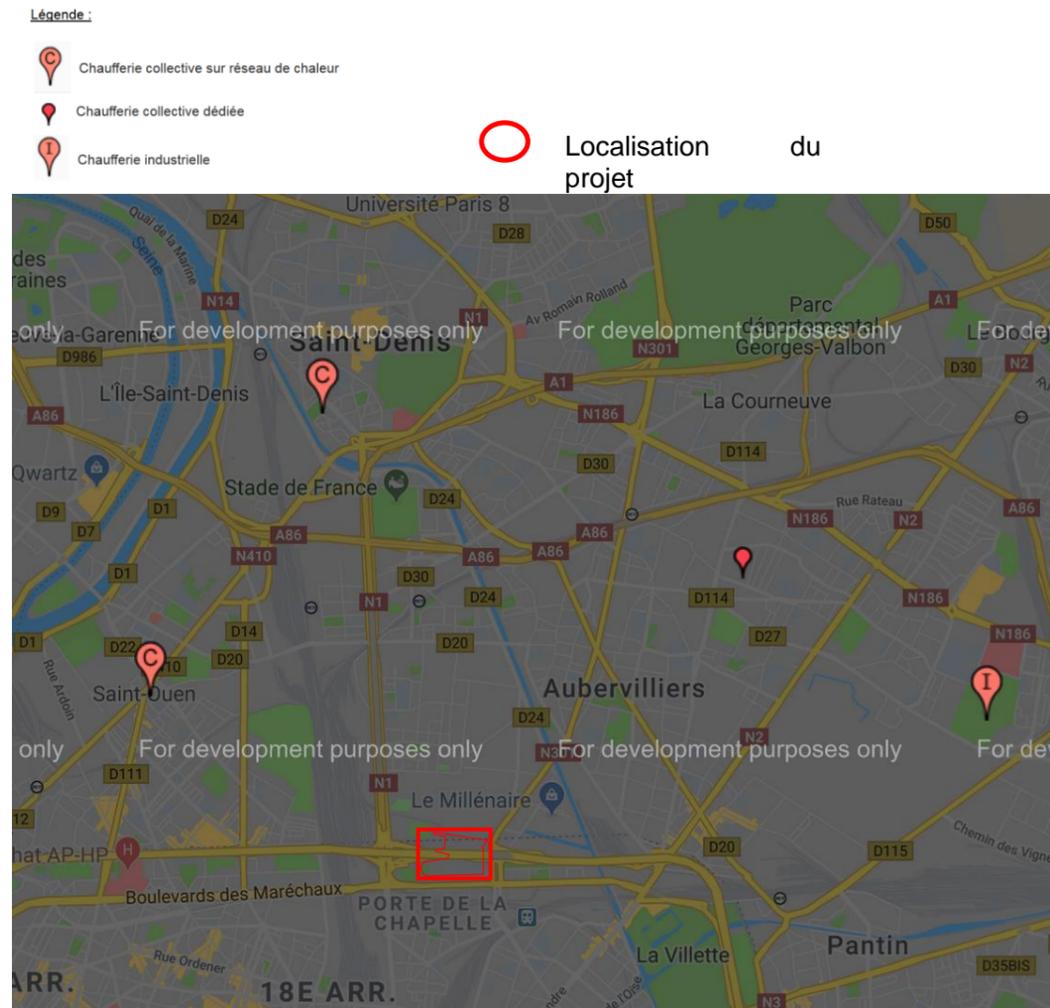


Figure 7 : Recensement des chaufferies biomasses à proximité du site de l'opération, source <https://www.biomasseenergieidf.org>

Les quatre chaufferies les plus proches de la zone sont :

	Désignation	Lieu	Type d'installation	Typologie de bâtiments raccordés	Combustible	Puissance (kW)	Tep/an substituées	Mise en service
C	CPCU	Saint-Ouen	Chaufferie sur réseau de chaleur	Non renseigné	Granulés	220 000	67 068	2016
C	Plaine Commune Energie (Cofely)	Saint-Denis	Chaufferie collective sur réseau de chaleur	Non renseigné	Plaquettes forestières + bois de classe A	26 500	12 157	2016
C	OPHLM d'Aubervilliers	Aubervilliers	Chaufferie collective dédiée	Résidentiel - logement social	Plaquettes	750	Non renseigné	2012
I	APHP	Bobigny	Chaufferie sur réseau de chaleur	Hospitalier	Plaquettes forestières + Bois de classe A	3 240	1 231	2014

2.1.3. Energie éolienne

2.1.3.1. Généralités

L'énergie éolienne consiste à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, par l'intermédiaire d'une éolienne. Les machines actuelles sont utilisées pour produire de l'électricité qui est consommée localement (sites isolés), ou injectée sur le réseau électrique (éoliennes connectées au réseau). L'application « connecté réseau » ou « grand éolien » représente, en terme de puissance installée, la quasi-totalité du marché éolien. De même que les systèmes solaires, les systèmes éoliens nécessitent la mise en place d'un appoint.

2.1.3.2. Grand éolien

Pour le grand éolien on utilise des machines à axe horizontal ; elles se composent, dans la plupart des applications, d'un rotor tripale. Les technologies de conversion et de contrôle peuvent différer d'une machine à l'autre. Les gammes de puissance nominale vont de 1 à 10 MW. Les éoliennes à axe horizontal sont plus performantes que celles à axe vertical essentiellement en termes de rendement aérodynamique et de coût de maintenance.

Le site de l'opération n'est pas favorable à l'implantation de grande éolienne (>50 mètres) comme le montre la carte ci-dessous :

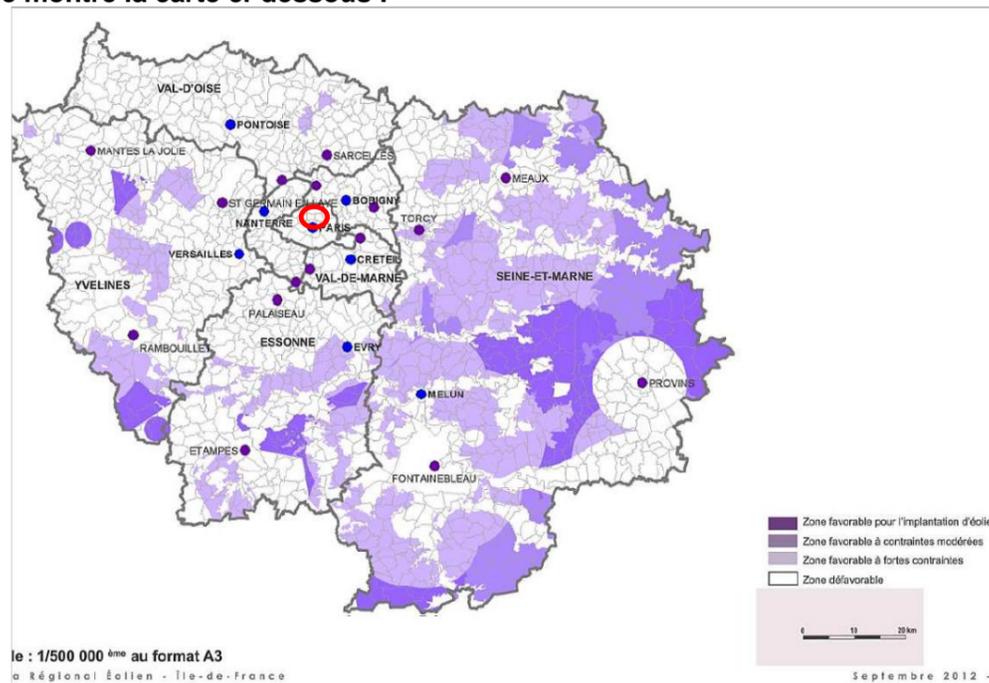
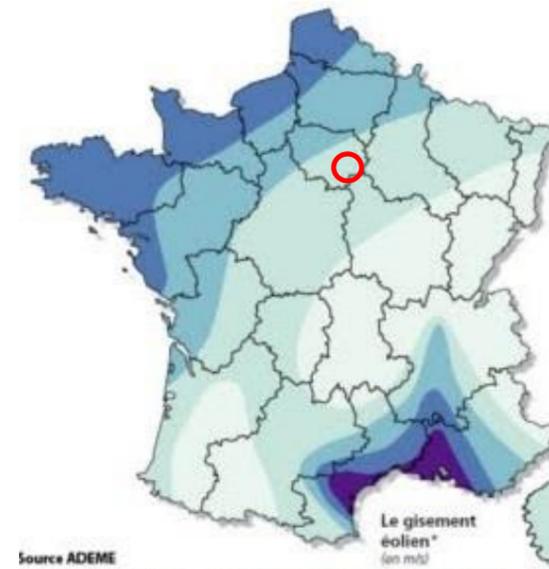


Figure 9 : Carte des zones favorables d'implantation éolienne en Ile-de-France

(Source : <http://www.sdesm.fr/transition-energetique/bois-energie-geothermie-chaleur-renouvelable/eolien>)

Un atlas européen des ressources en vent (« european wind atlas ») a été publié en 1989 par le laboratoire danois du « Riso National Laboratory » pour le compte de Commission européenne. Cet atlas des vents, présente le gisement éolien en France métropolitaine pour des installations de grande taille (gisement estimé à 50 m au-dessus du sol).



Sources ADEME

Boisage dense, bois, banlieue	Risèe campagne, obstacles épars	Prairies plates, quelques buissons	Lacs, mer	Collines**	
<3,5	<4,5	<5,0	<5,5	<7,0	Zone 1
3,5 - 4,5	4,5 - 5,5	5,0 - 6,0	5,5 - 7,0	7,0 - 8,5	Zone 2
4,5 - 5,0	5,5 - 6,5	6,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,5 - 10,0	Zone 3
5,0 - 6,0	6,5 - 7,5	7,0 - 8,5	8,0 - 9,0	10,0 - 11,5	Zone 4
>6,0	>7,5	>8,5	>9,0	>11,5	Zone 5

* Vitesse du vent à 50 mètres au-dessus du sol en fonction de la topographie
** Les zones montagneuses nécessitent une étude de gisement spécifique

Figure 10 : Atlas terrestre des vents en France (Source : Préfecture Pays de la Loire 2013)

La zone d'aménagement située en zone 2 (peu favorable, soit une vitesse de vent aux alentours de 5 m/s), présente donc un gisement relativement faible en énergie éolienne. Par ailleurs, l'installation de grandes éoliennes n'est pas envisageable en milieu urbain à cause des nuisances et des risques générés.

2.1.3.3. Moyen et petit éolien

Le moyen éolien (36 kW < P < 350 kW) est généralement composé de petites éoliennes à axe horizontal adaptées au milieu semi-urbain ou urbain.

Le petit éolien (< 36 kW) en milieu urbain est peu développé. Pour répondre aux problématiques d'utilisation de l'espace, plusieurs types d'éoliennes à axe vertical se sont développés. Les retours d'expériences montrent une technologie peu fiable voire sans intérêt économique. Les dimensions de telles éoliennes peuvent être de l'ordre de 2 à 5 mètres de haut (sans mat) pour 3 à 10 mètres de diamètre.

Dans les deux cas, il existe beaucoup trop d'incertitudes (vent réellement disponible, direction changeante, efficacité des systèmes) et de contraintes (bruit, structure, maintenance) pour proposer ces solutions à grande échelle. De plus, la faible hauteur des installations les rend très sensibles aux perturbations aérodynamiques engendrées par les bâtiments alentours.

Une note de l'ADEME parue en octobre 2013 rend compte de ces difficultés : « Dans les conditions techniques et économiques actuelles, le petit éolien ne se justifie généralement pas en milieu urbain. Outre le fait que les éoliennes accrochées au pignon d'une habitation peuvent mettre en danger la stabilité du bâtiment, le vent est, en milieu urbain et péri-urbain, en général trop faible ou trop turbulent pour une exploitation rentable ».

Cette typologie de ressource ne peut donc pas être utilisée dans le cadre du projet.

2.1.4. Hydroélectricité

Les installations hydroélectriques représentent une part non-négligeable de la production d'énergie électrique française : en moyenne 13% de la production d'électricité (énergie), et 20% de la capacité électrique installée (puissance) sur le territoire en 2013 (soit environ 25 400 MW). L'hydroélectricité est la première source renouvelable d'électricité en France métropolitaine en termes de production. La figure suivante illustre les différents cours d'eau présents en Ile-de-France.

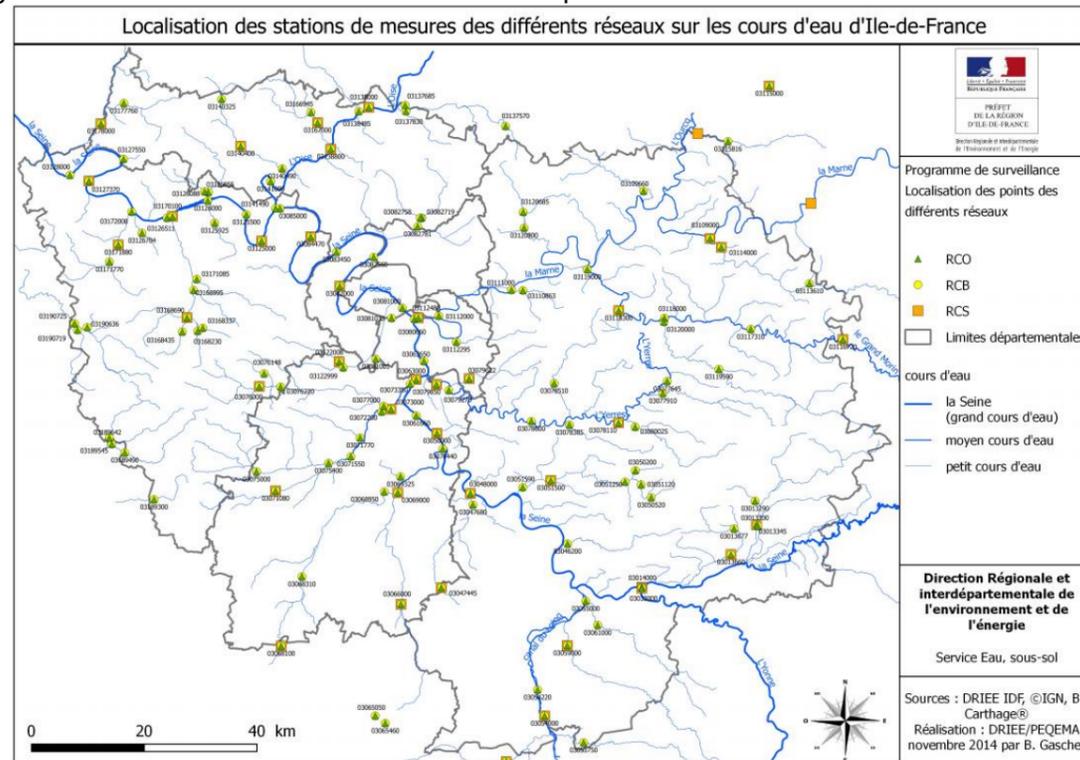


Figure 11 : Localisation des cours d'eau en région Ile-de-France (Source : DRIEE)

Le site « géoportail » permet d'identifier le réseau hydrographique à proximité de la zone d'étude.



- Localisation du projet
- Réseau hydrographique

Figure 12 : Réseau hydrographique à proximité de la ZAC (Source : Geoportail)

L'étude de la topographie de cette zone révèle un dénivelé trop faible ne permettant pas d'exploiter l'énergie hydraulique.

Ce réseau n'est par conséquent pas suffisant pour envisager une production d'électricité l'hydroélectrique.

2.1.5. Énergie solaire

L'énergie solaire est présente partout (énergie de « flux »), intermittente (cycle journalier et saisonnier, nébulosité), disponible (pas de prix d'achat, pas d'intermédiaire, pas de réseau) et renouvelable. Cependant, elle nécessite des installations pour sa conversion en chaleur ou en électricité. Le caractère intermittent impose de se munir d'un système d'appoint pour assurer une production énergétique suffisante tout au long de la journée et de l'année.

Le présent rapport se focalise sur les technologies jugées pertinentes à l'échelle d'une opération d'aménagement : la production d'électricité par panneau solaire photovoltaïque et la production d'eau chaude sanitaire par panneau solaire thermique.

Les autres technologies existantes sont principalement regroupées sous le terme solaire à concentration. Il s'agit alors d'installations :

- De production d'électricité à grande échelle ;
- De grande taille non compatibles avec un environnement urbain/semi urbain.

Celles-ci ne sont pas étudiées dans le cadre du présent projet.

2.1.5.1. Solaire photovoltaïque (PV)

2.1.5.1.1. Gisement solaire

Le rayonnement solaire annuel reçu par une surface plane horizontale est d'environ 1 210 kWh/(an.m²) (Source : PVGIS).

Inclinés à 35°, les panneaux peuvent recevoir un rayonnement annuel atteignant 1 380 kWh/m². Ce potentiel moyen par rapport au niveau national permet d'étudier plus en détail l'utilisation de cette ressource.

Cependant, ces résultats ne tiennent pas compte des particularités locales telles que les masques solaires liés au relief ou aux structures alentours (ouvrages existants).

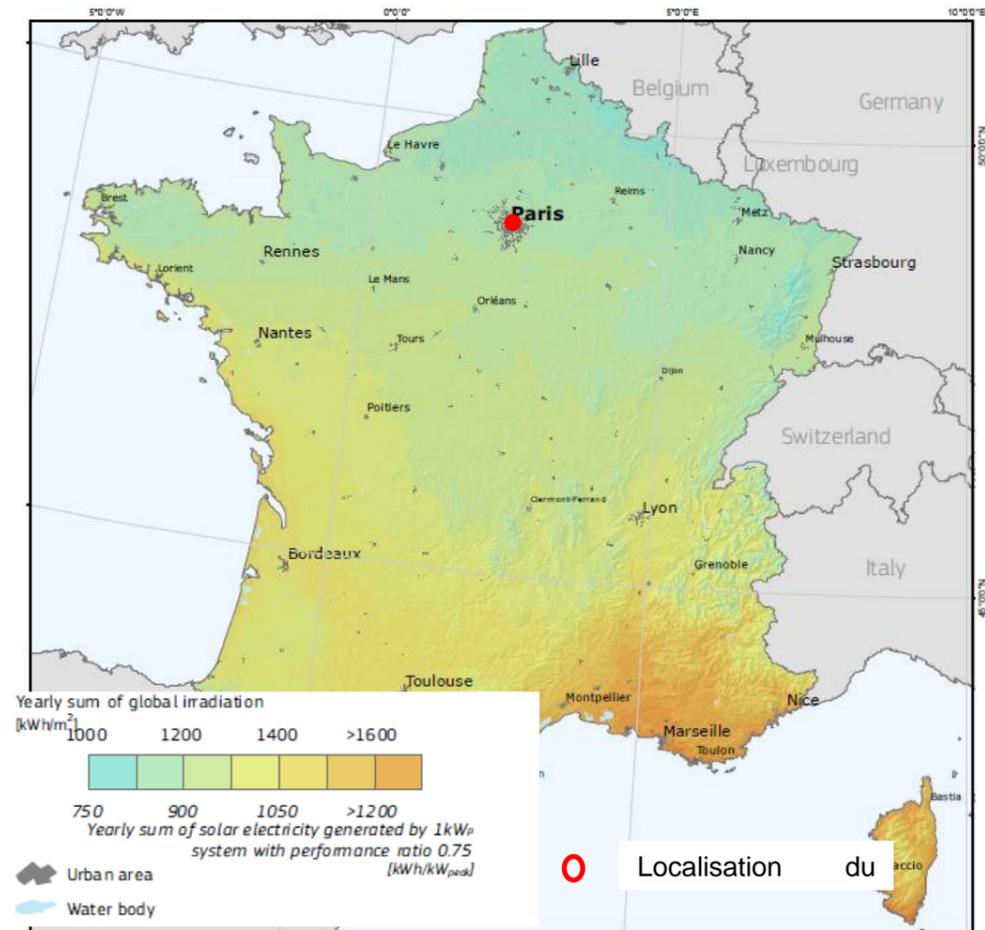
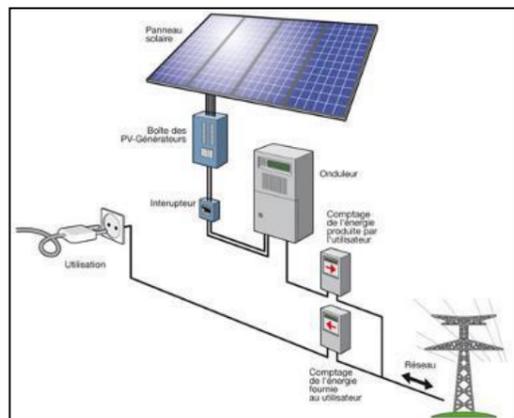


Figure 13 : Carte du potentiel solaire (Irradiation solaire globale sur le plan horizontal) (Source : PVGIS)

2.1.5.1.2. Filière photovoltaïque

La filière photovoltaïque (PV) peut être séparée en deux types d'application, à savoir les systèmes de production d'électricité autonomes et les systèmes de production d'électricité raccordés au réseau de distribution de l'électricité.

Compte tenu du contexte de la mission, et de la désynchronisation possible entre les périodes de besoin en électricité et les périodes de production pour les usages électriques majeurs des sites, seule la filière photovoltaïque raccordée au réseau sera évoquée par la suite.



Les panneaux solaires PV produisent de l'électricité à l'aide du rayonnement solaire (énergie solaire renouvelable). La performance énergétique d'un système photovoltaïque est influencée par un certain nombre de facteurs, notamment climatiques, technologiques, de conception et de mise en œuvre.

Potentiellement les panneaux solaires photovoltaïques peuvent s'installer partout : en toiture ou en terrasse, en façade, au sol, en écran antibruit, etc. Autant d'endroits possibles tant qu'ils respectent quelques règles de mise en œuvre : orientation favorable et inclinaison optimale (le rendement maximal étant observé lorsque les panneaux sont perpendiculaires au rayonnement solaire direct), sans masques ni ombres portées.

L'électricité produite est sous forme de courant continu. Afin de pouvoir l'injecter dans le réseau, il faut la transformer en courant alternatif et changer sa tension. Des modules appelés onduleurs permettent cette transformation, mais ils représentent un investissement supplémentaire et génèrent de nouvelles pertes énergétiques.

Le solaire photovoltaïque apparaît adapté au projet malgré l'ensoleillement moyennement favorable de la région : il pourra être mobilisé sur certaines surfaces de toiture plus pertinentes que d'autres (grandes surfaces peu encombrées et bien orientées vers le sud).

Cependant, les points suivants ne sont pas à négliger pour cette technologie :

- Il subsiste une incertitude importante quant à l'existence d'un tarif d'achat au moment où le projet sortira réellement (réduction trimestrielle des tarifs, risque de nouvel arrêté dans les années à venir).
- Le photovoltaïque en toiture entre en compétition avec la végétalisation de toiture en termes de surface disponible.

2.1.5.2. Solaire thermique

Le gisement solaire thermique est favorable avec une irradiation solaire estimée à 1175 kWh/m².an (données PVGIS). Cependant l'usage d'eau chaude sanitaire au sein du bâtiment tertiaire, est trop faible pour envisager l'exploitation des toitures pour la mise en place de panneaux solaires thermiques.

La productivité solaire annuelle minimale à atteindre pour une installation solaire thermique correctement dimensionnée est de 450 kWh/m².an. Pour alimenter un ballon de 300 L, une installation solaire thermique implantée sur la zone d'étude (environ 7 m² de capteurs plans inclinés

à 45° et orientés plein sud) permet de couvrir 50 % des besoins en chaude sanitaire. La productivité obtenue est de 480 kWh/m².an (pré-dimensionnement SOLO 2017).

Par ailleurs, le solaire thermique en toiture entre en compétition avec la végétalisation de toiture et le solaire photovoltaïque en termes de surface disponible.

2.1.6. Récupération

2.1.6.1. Eaux usées

La valorisation des eaux usées en sortie de station d'épuration est présentée dans cette partie. La carte ci-dessous présente la localisation des stations d'épuration en Ile de France. Aucune station n'est présente autour de la zone étudiée.

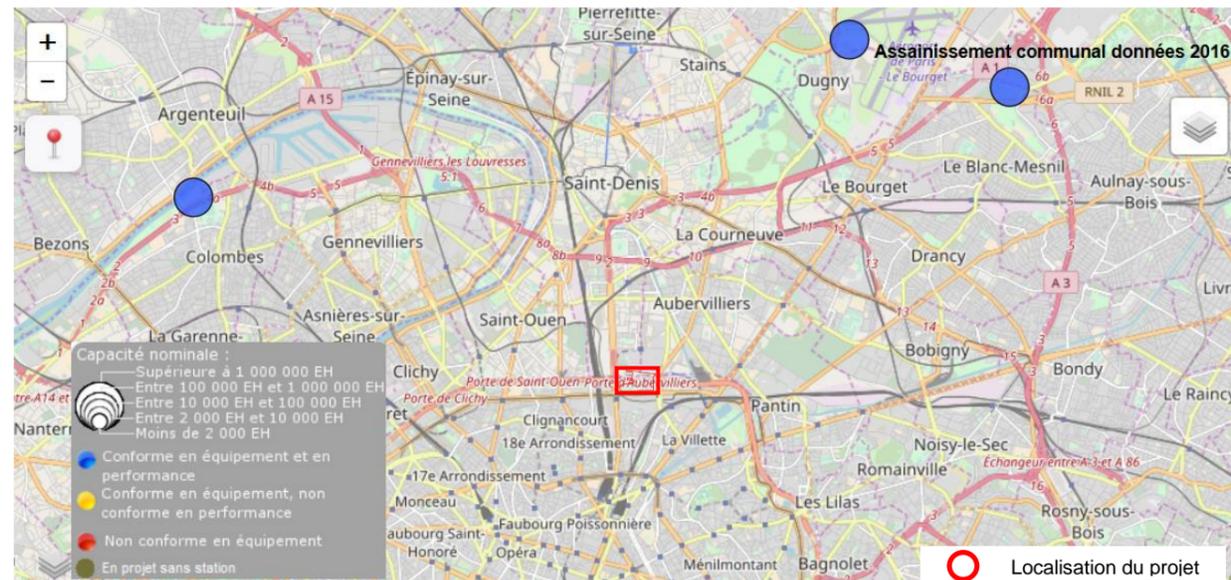


Figure 14 : Carte de localisation des stations d'assainissement communales en Ile-de-France (Source : <http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr>)

Les trois stations les plus proches de la zone de projet, sont :

Nom	Etat	Charge maximale entrante	Conforme équipement	Conforme performance	Conforme collecte agglomération (temps sec)
STEU de la commune de PARIS Seine-centre	En service	1 068 020 (EH)	Oui	Oui	Oui
STEU de la commune de Bonneuil-en-France	En service	290 088 (EH)	Oui	Oui	Oui
STEU de la commune de PARIS Seine-Morée	En service	813 33 (EH)	Oui	Oui	Oui

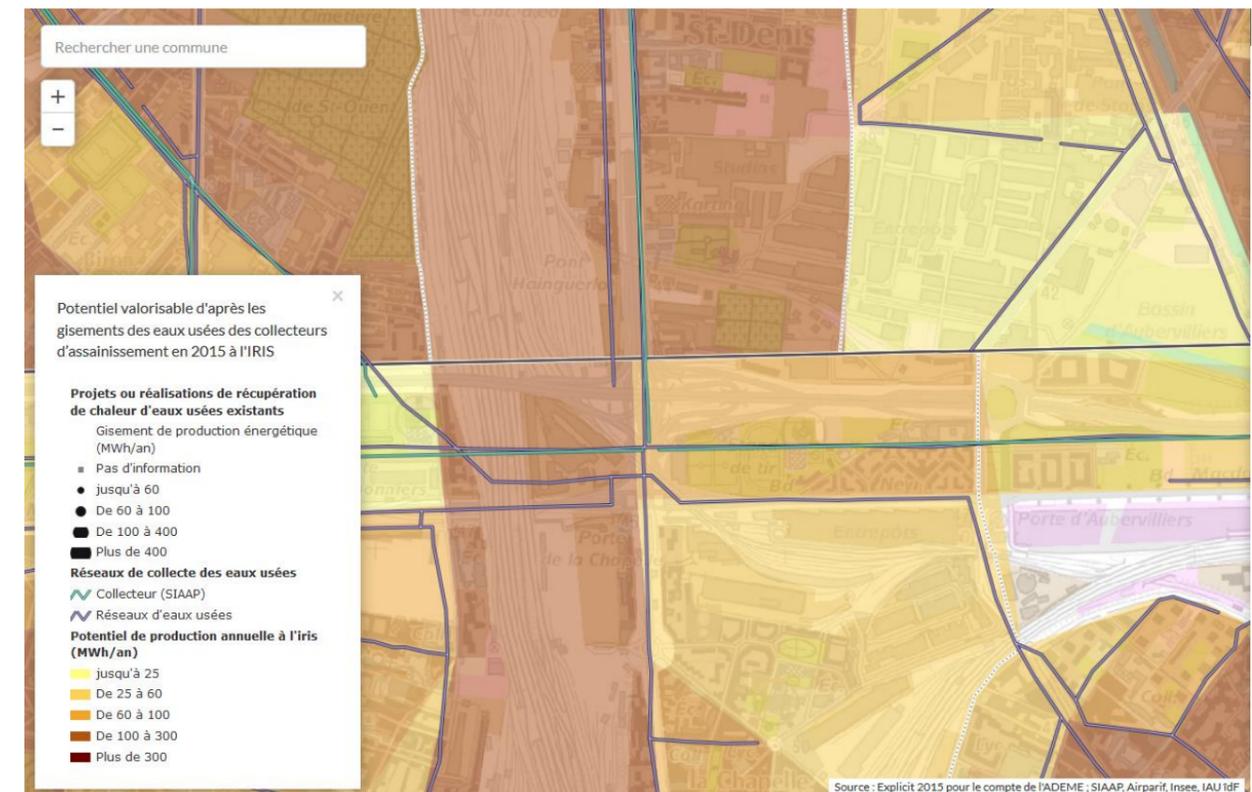


Figure 15 : Carte de potentiel de chaleur fatale valorisable d'après les gisements des collecteurs d'assainissement (Source : <http://sigr.iau-idf.fr>)

Un collecteur principal d'assainissement (réseau d'eaux usées) passe à proximité du site d'étude et pourrait constituer une source de chaleur fatale intéressante à exploiter pour répondre à des besoins de chaleur sur le site du projet. Ce collecteur présente un potentiel d'environ 150 MWh/an de chaleur valorisable pouvant ainsi répondre à une partie des besoins thermiques du projet.

La solution de récupération de chaleur sur les eaux usées en sortie de station d'épuration ne peut donc pas s'envisager dans le cadre du présent projet par contre il semble intéressant de considérer le potentiel de récupération de chaleur fatale sur le réseau d'eaux usées.

2.1.6.2. Chaleur fatale

Les locaux techniques (serveurs, stations d'air comprimé en site industriel, etc.) émettent beaucoup de chaleur et il est nécessaire de ventiler ou de climatiser ces zones. Ce système n'est pas une source d'énergie renouvelable, mais plutôt de la récupération de chaleur fatale. Cette solution consiste à utiliser la chaleur issue des locaux techniques afin de préchauffer l'air neuf servant à ventiler les autres zones, à l'aide d'un échangeur de chaleur. Ce système est à intégrer dans les locaux techniques à forte charge thermique non ventilés naturellement, soit pour les sites industriels avec process thermique.

Cette filière pourra être étudiée si des locaux techniques de type data center sont envisagés dans le cadre de la programmation du projet.

2.1.7. Opportunité réseau de chaleur / froid

L'étude de potentialité du raccord à un réseau de chaleur ou de froid existant ou la création d'un réseau est un des axes obligatoires de faisabilité d'approvisionnement en EnR. En effet, ces solutions mutualisées de production énergétique sont un moyen de développer à grande échelle les énergies renouvelables. Le réseau de chaleur permet de bénéficier de l'effet de foisonnement et donc parfois de diminuer les coûts d'investissement. Le site du gouvernement (Source : carmen.developpement-durable.gouv.fr) permet de localiser les réseaux de chaleur par région sur l'ensemble du territoire.



Figure 16 : Carte de localisation des réseaux de chaleur existant à proximité du projet

Un réseau de chaleur délimite la zone de projet sur ses bordures est et sud. Cette présence du RCU rend intéressant un raccordement tout en veillant à vérifier les conditions avec le futur exploitant (réserve de puissance, tarifs et frais de raccordement).

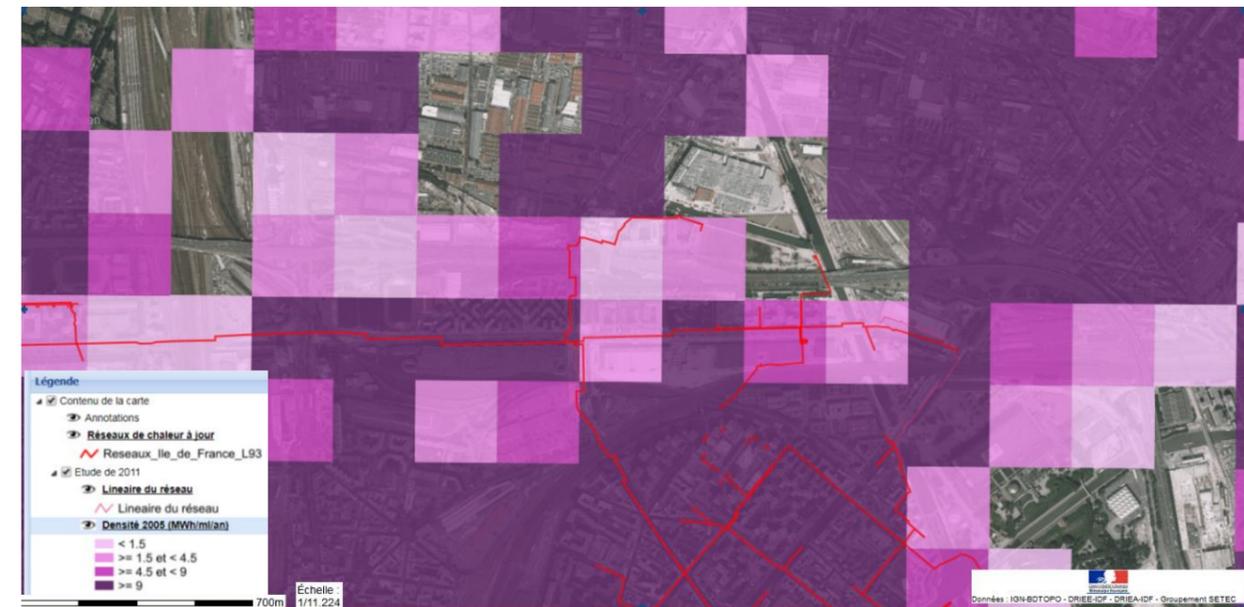
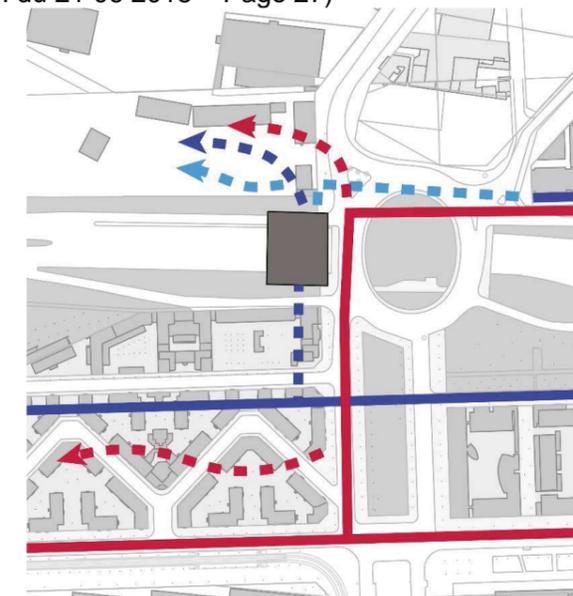


Figure 17 : Carte de localisation des densités des réseaux de chaleur existant à proximité du projet (2005)

Il est à noter que l'ADEME préconise une densité à 3 MWh/ml pour un réseau optimal. Dans le fond chaleur 2013, la densité minimale considérée a été établie à 1,5 MWh/ml afin de pouvoir intégrer des réseaux de chaleur alimentant des bâtiments performants et économes en énergie. On peut considérer ainsi ce seuil de **1,5 MWh/ml** comme un **seuil minimal à dépasser**.

Un réseau froid traverse latéralement zone de projet au sud du périphérique, ci-dessous le schéma issu du COTECH du 21 06 2018 – Page 27)



Cette présence d'un réseau de froid rend intéressant un raccordement tout en veillant à vérifier les conditions avec le futur exploitant (réserve de puissance, tarifs et frais de raccordement, modalités de franchissement du périphérique etc.).

Le localisation des opérations/projets de raccordement n'est pas encore disponible à ce stade de l'étude. L'identification du potentiel de raccordement n'est donc à ce stade pas encore possible. Ce rapport provisoire de Phase 1 – Ressource présente l'identification des sources d'énergies renouvelables disponibles et valorisables sur le site de l'étude. Les détails technique des extensions envisageables sera communiqué une fois les contacts des opérateurs connus.

3. COMPARAISON ET SELECTION D'ENR

Le tableau ci-dessous présente les ENR écartées à partir des critères disponibilité du gisement/maturité du marché et de la technologie/atouts en région.

Ressource énergétique		Type d'énergie fournie	Gisement exploitable	Potentiel de la ressource
Grand Eolien		E	Inexistant	Potentiel inexploitable
Petit Eolien		E	Aléatoire et d'ampleur notable	Faible Installation vulnérable aux turbulences provoquées par les constructions environnantes du projet
Solaire	Thermique	C (ECS)	Moyen	Potentiels solaires en toiture à valider en fonction de la programmation
	Photovoltaïque	E	Moyen	
Géothermie	PAC sur nappe	C + F	Très important	L'exploitation du potentiel géothermique est intéressante pour ce projet et permettrait de répondre au besoin de chauffage et/ou de climatisation
	Echangeur sur nappe profonde (Dogger)	C	Inexistant	Potentiel inexistant
Bois énergie		C	Assez important au niveau régional	Logistique d'approvisionnement local à confirmer
Méthanisation		C + E	Très limité	Potentiel a priori limité
Hydroélectricité		E	Inexistant	Potentiel inexistant
Récupération de chaleur fatale		C	Moyen	Potentiel à valider sur le réseau d'eaux usées
Opportunité de raccordement à un réseau de chaleur/ froid		C	Important	A valider en fonction des potentialités de raccordement

Légende : Vert clair à vert foncé => de « assez important » à « très important »
Jaune à rouge : banal à inexistant

C : Chaleur
E : Electricité
F : Froid

4. ANNEXE

Légende

CE QU'IL FAUT RETENIR

Effets

Mesures

Encart

Encart

Etude d'impact de la ZAC Gare des Mines Fillettes

Potentiel de développement des énergies renouvelables

Phase 2 « Besoins et potentiels »

Rapport final

TABLE DES MATIERES

Tabl. 1 - 1.PHASE 2 : BESOINS ET POTENTIELS _____	5	Tabl. 3 - 3.CONCLUSION GENERALE SUR L'ETUDE _____	26
1.1. Analyse de la future demande énergétique _____	5	Tabl. 4 - 4.ANNEXE _____	28
1.1.1. Méthodologie et hypothèses.....	5	4.1. Présentation et acteurs _____	28
1.1.2. Description des besoins estimés.....	6	4.2. Modalités de gestion du réseau de chaleur _____	29
1.1.3. Evaluation des besoins énergétiques futurs.....	6	<i>La régie</i> 29	
1.2. Construction de la stratégie énergétique _____	8	<i>La délégation de service public, affermage et concession</i>	30
1.2.1. Une conception bioclimatique et démarche de sobriété.....	8	<i>Bilan des modalités de gestion des réseaux de chaleur en France</i>	30
1.2.2. Réduire les besoins de froid.....	8	4.3. Les aides accordées à la mise en place d'un réseau de chaleur : le Fonds chaleur _____	31
Tabl. 2 - 2.PHASE II : FAISABILITE _____	10		
2.1. Analyse du potentiel en énergies renouvelables et de récupération _____	10		
2.1.1. Génération de la chaleur à partir de la ressource géothermale.....	10		
2.1.2. Réseaux de chaleur.....	12		
2.1.3. Récupération de chaleur.....	13		
2.1.4. Génération décentralisée d'électricité par effet photovoltaïque, intégrée au bâtiment..	14		
2.1.5. Génération de la chaleur à partir de la ressource solaire (Thermique).....	16		
2.1.6. Génération de la chaleur à partir de la ressource bois-énergie.....	18		
2.1.7. Récupération de chaleur à partir des eaux usées.....	19		
2.2. Conclusion sur les potentiels EnR _____	21		
2.3. Elaboration de scénarios intégrant les énergies renouvelables _____	21		
2.3.1. Scénario de référence : Recours aux « énergies traditionnelles ».....	21		
2.3.2. hypothèses tous scénarios.....	21		
2.3.3. Scénario 1 : Scénario géothermie, ECS solaire et solaire photovoltaïque.....	23		
2.3.4. Scénario 2 : Raccordement au réseau de chaleur et énergie solaire.....	24		
2.3.5. Comparatif des scénarios.....	25		

TABLE DES FIGURES

FIG. 1.	REPARTITION DES BESOINS TOTAUX PAR USAGE 7
FIG. 2.	REPARTITION DES BESOINS EN FROID (A GAUCHE) ET EN CHALEUR (A DROITE) ENTRE LES DIFFERENTES TYPOLOGIES 7
FIG. 3.	REPARTITION DES BESOINS TOTAUX PAR USAGE 7
FIG. 4.	GEOTHERMIE SUR SONDES VERTICALES OU HORIZONTALES 10
FIG. 5.	SCHEMA D'UTILISATION DE PIEUX GEOTHERMIQUES VERTICAUX DANS LES FONDATIONS DU BATIMENT 10
FIG. 6.	SITUATION DU RESEAU PCU A PROXIMITE DU PROJET D'AMENAGEMENT 12
FIG. 7.	PUISSANCE PHOTOVOLTAÏQUE TOTALE RACCORDEE PAR DEPARTEMENT AU 30 JUIN 2017 15
FIG. 8.	COUVERTURE EN ENERGIES RENOUVELABLES DES BESOINS DE LA ZAC GARES DES MINES-FILLETES – SCENARIO 1 24
TABL. 1 -	REPARTITION DES SURFACES PAR SECTEUR D'ACTIVITE..... 5
TABL. 2 -	REPARTITION DES SURFACES PROGRAMMEES PAR NATURE D'ACTIVITE..... 5
TABL. 3 -	BILAN DES BESOINS ENERGETIQUES SURFACIQUES DE L'OPERATION PAR USAGE ET ACTIVITES 6
TABL. 4 -	BILAN DES BESOINS ENERGETIQUES DE L'OPERATION PAR USAGE ET ACTIVITES 6
TABL. 5 -	POTENTIEL DE LA GENERATION DE CHALEUR A PARTIR DE LA RESSOURCE GEOTHERMALE..... 11
TABL. 6 -	POTENTIEL DE RACCORDEMENT A UN RESEAU DE CHALEUR EXISTANT 12
TABL. 7 -	DESCRIPTIF DU POTENTIEL TECHNIQUE PHOTOVOLTAÏQUE..... 16
TABL. 8 -	POTENTIEL MAXIMAL DE LA GENERATION DECENTRALISEE PAR EFFET PHOTOVOLTAÏQUE..... 16
TABL. 9 -	POTENTIEL MAXIMAL DE LA GENERATION DE CHALEUR A PARTIR DE LA RESSOURCE SOLAIRE THERMIQUE 17
TABL. 10 -	TABLEAU DE SYNTHESE DU NOMBRE DE ROTATION DANS LE CAS D'UNE CHAUFFERIE CENTRALISEE 18
TABL. 11 -	POTENTIEL MAXIMAL DE LA GENERATION DE CHALEUR A PARTIR DE LA RESSOURCE BOIS-ENERGIE 19
TABL. 12 -	GENERATION CENTRALISEE DE CHALEUR A PARTIR DES EAUX USEES 20
TABL. 13 -	CARACTERISTIQUES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES DES ENERGIES RENOUVELABLES DU SCENARIO 1 23
TABL. 14 -	CARACTERISTIQUES TECHNIQUES ET ECONOMIQUES DES ENERGIES RENOUVELABLES DU SCENARIO 2 24

LISTE DES SIGLES

BRGM = Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CH₄ = méthane

Cepmax = Consommation d'Energie Primaire maximale

CO₂ = dioxyde de carbone

EH = EquivalentHabitants

EnR&R = Énergies renouvelables et de récupération

GES = Gaz à Effet de Serre

GMI =géothermie dite de minime importance

GPRU = Grand Projet de Renouvellement Urbain

kgCO₂e = kilogrammes équivalent CO₂

kWh = kilowattheures

MW = Mégawatts

PCI = Pouvoir Calorifique Inférieur

PNE = Paris Nord-Est

SIPPEREC = Syndicat Intercommunal de la Périphérie de Paris pour les Energies et les Réseaux de Communication

SPLA = Société Publique Locale d'Aménagement

STEU = Station de Traitement des Eaux Usées

ZAC= Zone d'Aménagement Concertée

1. PHASE 2 : BESOINS ET POTENTIELS

1.1. Analyse de la future demande énergétique

1.1.1. Méthodologie et hypothèses

1.1.1.1. Rappel du programme de construction

Le programme de construction disponible au moment de cette étude prévoit les aménagements détaillés dans le tableau ci-dessous :

Tabl. 1 - Répartition des surfaces par secteur d'activité

Programme		
Activité	m ² Surface de plancher	m ² SHON RT :
Logement	36 100 m ²	39 710 m ²
Tertiaire bureaux	52 300 m ²	57 530 m ²
Activités éco/productives	21 300 m ²	23 430 m ²
Equipements publics	1 500 m ²	1 650 m ²
Commerces/restauration/logistique	4 600 m ²	5 060 m ²
Hôtel	6 200 m ²	6 820 m ²
Arena 2	22 000 m ²	24 200 m ²
Total	144 000 m²	158 400 m²

Pour pouvoir calculer les ratios de consommation avec la RT 2012, les surfaces de plancher (SP ou SDP) données dans les tableaux de programmation ont été converties en S_{RT} selon les hypothèses suivantes :

- S_{RT} = 1,1 SP.

NOTA : Les données de travail citées précédemment sont susceptibles d'être modifiées d'ici la phase de réalisation des travaux.

1.1.1.2. Niveaux de performance énergétique retenus

Le niveau de performance retenu pour l'ensemble des bâtiments neufs sera défini sur le niveau Réglementation Thermique (RT) 2012-20% qui correspond au niveau du label Effinergie +, qui prépare la RT 2020.

Selon le niveau du label Effinergie +, le coefficient de **consommation en énergie primaire** (C_{epmax}) est déterminé suivant les caractéristiques climatiques de la zone, soit :

- C_{epmax} = 60 kWh/m²/an en fonction de la SHON_{RT} du bâtiment de logement collectif (CE2) ;
- C_{epmax} = 66 kWh/m²/an en fonction de la S_{RT} du bâtiment de bureau (CE2) ;
- C_{epmax} = 84 kWh/m²/an en fonction de la S_{RT} du bâtiment d'équipement public ;
- C_{epmax} = 102 kWh/m²/an en fonction de la S_{RT} du bâtiment d'activité industrielle/artisanat (CE2) ;
- C_{epmax} = 150 kWh/m²/an en fonction de la S_{RT} du bâtiment d'hôtellerie (CE2) ;
- C_{epmax} = 200 kWh/m²/an en fonction de la S_{RT} du bâtiment d'équipements sportifs (CE2) ;
- C_{epmax} = 312 kWh/m²/an en fonction de la S_{RT} du bâtiment de commerce (CE2).

Une fois les consommations globales établies pour l'ensemble de la zone, elles ont été décomposées suivant les cinq usages réglementaires (chauffage, climatisation, éclairage, Eau Chaude Sanitaire (ECS), auxiliaires tels que pompes et ventilateurs).

Tabl. 2 - Répartition des surfaces programmées par nature d'activité

Programme				Consommation conventionnelle	
Programme	S _{RT} m ²	Typologie RT2012 + Typologie ARTELIA	Cep max kWh/m ² .an	Consommation totale	
				MWh/m ² .an	MWh/m ² .an
Logement	39 710 m ²	bâtiments collectifs d'habitation	60	2 400	
Tertiaire bureaux	57 530 m ²	bâtiments à usage de bureau	66	3 797	
Activités éco/productives	23 430 m ²	activité artisanale/industrielle	102	2 390	
Equipements publics	1 650 m ²	établissement d'accueil de la petite enfance (crèche, halte-garderie)	84	139	
Commerces/restauration/logistique	5 060 m ²	commerce	312	1 579	
Hôtel	6 820 m ²	hôtel	150	1 023	
Arena 2	24 200 m ²	équipements sportifs (hors piscine)	200	4 840	
Eclairage public		Eclairage public		57	
Total :	158 400 m²			16 225	

1.1.2. Description des besoins estimés

Les besoins qui sont estimés dans la présente étude sont séparés en 4 catégories :

- **Besoins de chauffage** : les besoins énergétiques de chauffage sont calculés sur la période d'hiver pour une température intérieure de référence $T_{ch} = 19^{\circ}\text{C}$.
- **Besoins en ECS** : le besoin d'ECS ne dépend que très peu de l'enveloppe du bâtiment. Le facteur le plus influent est en effet l'occupation et la typologie de ce bâtiment.
- **Besoins de climatisation** : tout comme pour le chauffage, l'évaluation des besoins s'appuie sur les exigences de la RTCM. Ils sont calculés sur la période d'été pour une température intérieure de référence $T_{ref} = 26^{\circ}\text{C}$.
- **Besoins d'électricité** : ensemble des postes consommant de l'électricité. L'estimation de ce besoin se limite aux postes conventionnels (éclairage, ventilation et auxiliaires).

Tabl. 3 - Bilan des besoins énergétiques surfaciques de l'opération par usage et activités

	éclairage	Auxiliaires	ECS	Chauffage	Climatisation	Total
	kWhep/m ² .an					kWhep/m ² .an
Logement	6	6	27	21	0	60
Bureau	20	17	3	13	13	66
Activité artisanale/industrielle	31	26	5	20	20	102
Petite enfance	8	8	25	42	0	84
Commerce	62	62	31	62	94	312
Hôtellerie/restauration	15	15	45	30	45	150
Equipement sportif	26	14	70	60	30	200

Le ratio de consommation unitaire de l'activité Commerce est le plus élevé, avec 312 kWhep/m².an.

Pour atteindre un tel niveau de performance, une conception rigoureuse des bâtiments est de mise, et des dispositifs d'économie d'énergie sont à intégrer, tant dans le mode constructif que dans la production et la gestion des fluides, qui peuvent s'assimiler à la mobilisation d'énergies renouvelables (ventilation naturelle traversante par exemple).

1.1.3. Evaluation des besoins énergétiques futurs

Les besoins en énergies ont été estimés à partir des données de programmation transmises (4nd trimestre 2018) et sur la base de ratios applicables pour chaque catégorie d'usage. Le bilan est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tabl. 4 - Bilan des besoins énergétiques de l'opération par usage et activités

	Surface	Eclairage	Auxiliaires	ECS	Chauffage	Climatisation	Total
	m ²	MWhep/an					MWhep/an
Logement	39 710	240	240	1 080	840	0	2 400
Tertiaire bureaux	57 530	1 139	949	190	759	759	3 797
Activités éco/productives	23 430	717	597	119	478	478	2 390
Equipements publics	1 650	14	14	42	69	0	139
Commerces/restauration/logistique	5 060	316	316	158	316	474	1 579
Hôtel	6 820	102	102	307	205	307	1 023
Arena 2	24 200	629	339	1 694	1 452	726	4 840
Eclairage public		57	0	0	0	0	57
Total	158 400	3 214	2 557	3 590	4 119	2 744	16 225

Cette programmation reste indicative, les besoins des futurs preneurs peuvent entraîner des modifications de surfaces et éventuellement de répartition des usages. Des changements significatifs pourraient nécessiter une mise à jour de la stratégie énergétique présentée ici.

Avertissement :

Les calculs sont basés sur des hypothèses prises sur des futures consommations d'énergie de futurs bâtiments, dont la configuration et les éléments de conception n'ont été arrêtés que dans les grandes lignes. Aussi les chiffres présentés dans ce document sont à prendre avec la plus grande prudence. Les catégories utilisées correspondent à celles définies par la RT2012 pour le calcul du C_{epmax} . Là aussi, l'estimation des besoins énergétiques selon la RT2012 est à prendre avec une extrême précaution : des écarts sont constatés entre consommation conventionnelle et consommation réelle, pour plusieurs raisons (non prise en compte des consommations d'électricité spécifique dans le C_{epmax} , comportement des usagers...).

Les hypothèses de conception prises restent somme toute plutôt prudentes, sous réserve que les bâtiments construits répondent aux exigences de la RT2012. Les constructions n'ayant pas toutes lieu au même moment, certains bâtiments seront soumis à une nouvelle RT qui sera sans doute plus contraignante, visant peut-être des bâtiments passifs.

Pour la diffusion des énergies renouvelables, suivant les propriétés futures des bâtiments, il peut être plus ou moins évident de mener des actions de mise en œuvre d'énergies renouvelables.

Avertissement :

Ces consommations (chauffage, eau chaude sanitaire, éclairage, auxiliaires) n'intègrent pas les consommations spécifiques. En d'autres termes, autant les besoins en chaud sont connus, autant les valeurs affichées de consommations électriques se limitent aux consommations réglementaires. En effet, les consommations électriques peuvent différer grandement en fonction du comportement des usagers, amplitude beaucoup plus limitée pour les besoins en chaud.

De même ces consommations n'incluent que les usages réglementaires à l'exclusion de toute autre poste de consommation.

On constate que le secteur bureau et les équipements de l'Aréna 2 représentent environ un tiers du besoin énergétique total, en cohérence avec la répartition des surfaces du programme.

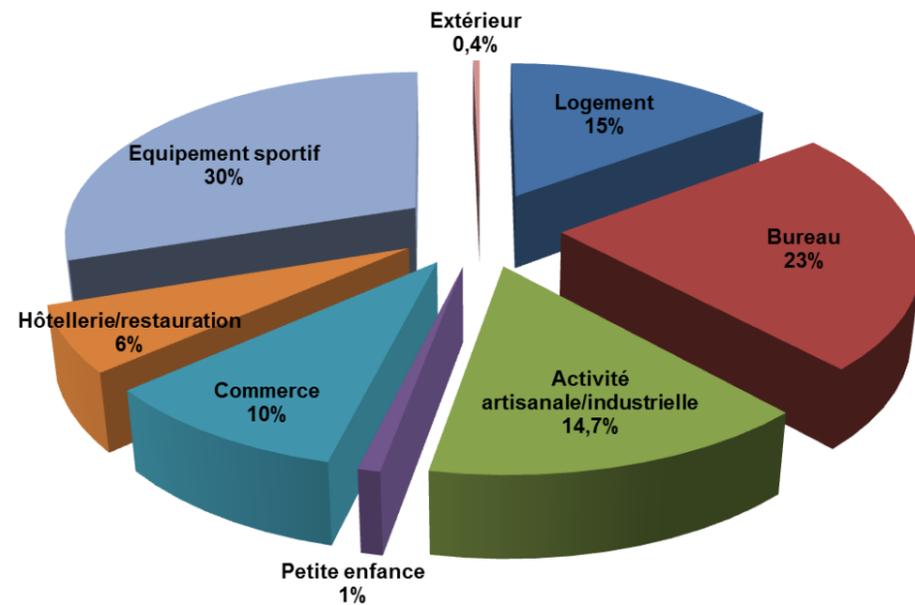


Fig. 1. Répartition des besoins totaux par usage

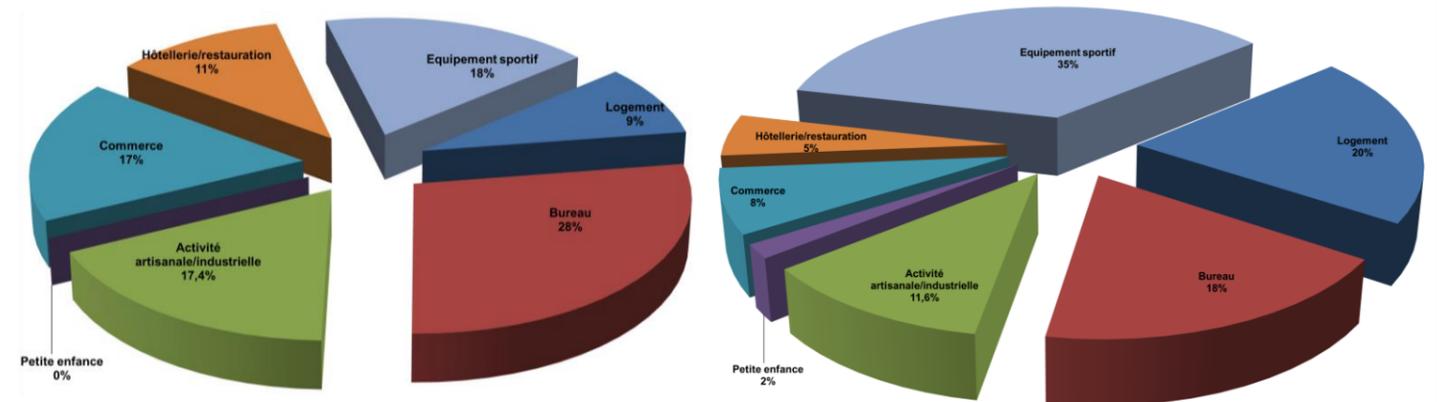


Fig. 2. Répartition des besoins en froid (à gauche) et en chaleur (à droite) entre les différentes typologies

L'idée est que la chaleur extraite pour satisfaire les besoins de froid de certains bâtiments peut être utilisée pour chauffer d'autres bâtiments (intérêt d'un réseau d'eau tempérée). Cette mutualisation peut même s'effectuer à l'échelle du bâtiment lui-même.

Le graphique suivant donne la décomposition des consommations de l'ensemble de la zone, selon les quatre usages suivants : chauffage, climatisation, éclairage, Eau Chaude Sanitaire (ECS).

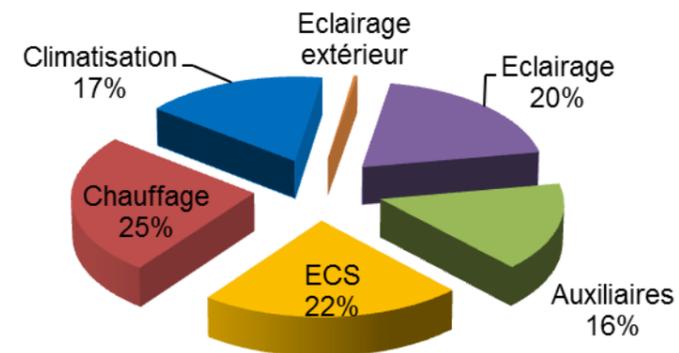


Fig. 3. Répartition des besoins totaux par usage

Le projet se distingue par de forts besoins électriques et de chaud (chauffage + ECS).

On constate que l'électricité devient le premier poste de consommation avec plus d'un tiers de la consommation en énergie primaire globale.

Si une solution électrique est retenue pour répondre aux autres besoins, et en particulier au chauffage et/ou climatisation, la part de la consommation d'électricité dans la consommation totale augmentera encore significativement même si on choisit une solution économe (de type pompe à chaleur avec un bon coefficient de performance) pour satisfaire les besoins de chauffage et/ou de climatisation.

En améliorant la conception des bâtiments une réduction significative des besoins en chauffage et climatisation peut être obtenue. L'enjeu majeur dans les bâtiments à enveloppe thermique performante n'est alors plus le chauffage ou la climatisation mais l'électricité spécifique.

La stratégie énergétique du quartier devra porter prioritairement sur l'optimisation de l'articulation entre les besoins en chaleur et en froid d'une part, et sur la couverture des besoins en électricité résultant des besoins d'électricité spécifique et thermique (chaleur/froid).

1.2. Construction de la stratégie énergétique

La construction d'une stratégie énergétique cohérente repose sur plusieurs leviers. En effet, cette stratégie ne doit pas seulement concerner la production d'énergie renouvelable mais doit absolument intégrer les consommations pour ajuster au mieux les besoins et ne pas surdimensionner les systèmes de production et éviter les surconsommations.

1.2.1. Une conception bioclimatique et démarche de sobriété

La sobriété est une démarche de modération sur les services par la consommation d'énergie. Une utilisation réfléchie de l'énergie utilisée avec une priorisation des besoins. Il ne s'agit pas nécessairement de réduire la qualité des services mais d'éviter les consommations inutiles induites par certains services en dehors de leur période d'utilisation.

Cette stratégie peut être basée sur les usages individuels et /ou sur les usages collectifs du projet. A titre d'exemple, il peut s'agir de :

- Équiper les bâtiments / bureaux, locaux communs d'un détecteur de présence pour l'éclairage intérieur.
- Interdire l'éclairage des bureaux non occupés de nuit.
- Programmer la réduction de l'intensité lumineuse ou l'extinction des luminaires publics de nuit (23h-6h) avec détecteur de présence.
- Limiter la température de consigne hivernale pour limiter les besoins de chauffage, ce qui peut être atteint sans le moindre effet sur la température ressentie si la conception énergétique des bâtiments est performante.

La conception bioclimatique permet de répondre en partie à la sobriété et à l'efficacité des bâtiments. Il s'agit d'une conception adaptée au projet en fonction des caractéristiques et particularités du lieu d'implantation. Elle permet d'en tirer le bénéfice des avantages et de se prémunir des désavantages et contraintes, et ce de façon passive – c'est-à-dire avant même la mise en œuvre de systèmes actifs. L'objectif principal est donc d'obtenir le confort d'ambiance recherché de manière la plus naturelle possible en utilisant les moyens architecturaux, les énergies renouvelables disponibles et en utilisant le moins possible les moyens techniques mécanisés et les énergies extérieures au site. Ces stratégies et techniques architecturales cherchent à profiter au maximum du soleil en hiver et de s'en protéger durant l'été. C'est pour cela que l'on parle également d'architecture «solaire» ou «passive».

Le choix d'une démarche de conception bioclimatique favorise les économies d'énergies et permet de réduire les dépenses de chauffage et de climatisation, tout en bénéficiant d'un cadre de vie très agréable, voir amélioré par rapport aux solutions conventionnelles (réduction des courants d'air très froid ou très chaud, des effets parois froides, ...).

La conception bioclimatique va donc s'intéresser à, par exemple, :

- L'orientation des bâtiments et des vitrages
- La compacité des bâtiments

Plus largement, il s'agit également d'intégrer les notions techniques pour optimiser :

- La qualité des vitrages (transmission lumineuse et thermique)
- L'isolation des parois
- L'inertie des matériaux pour le déphasage thermique
- L'absence de ponts thermiques
- La perméabilité à l'air
- La ventilation
- ...

1.2.2. Réduire les besoins de froid

Les surchauffes estivales à Paris peuvent être fortes. Cependant, tout en garantissant un confort thermique pour les usagers, il s'agit de ne pas surdimensionner les systèmes de refroidissement pour un besoin ponctuel vis-à-vis de l'investissement initial et de la consommation énergétique.

La conception bioclimatique et la performance du bâtiment permettent dans un premier temps d'avoir un bâti de qualité afin de réduire les besoins énergétiques, et ce en particulier à la pointe.

Afin de réduire les besoins de climatisation, l'équipe de MOE pourra travailler sur les solutions telles que (liste non exhaustive) :

- Les protections solaires des bâtiments (mobiles/fixes et extérieures)
- La qualité des vitrages et leur capacité à transmettre la chaleur des rayons du soleil

- La sur ventilation nocturne avec une conception du bâtiment et des réseaux adaptés.
- L'inertie des matériaux ;
- Le rafraichissement par freecooling.

Les bâtiments pourront bénéficier d'une conception réfléchie vis-à-vis des surchauffes estivales afin de protéger le bâtiment et d'évacuer la chaleur accumulée sans avoir à surdimensionner les systèmes de climatisations et donc éviter de les faire fonctionner à régime partiel avec un mauvais niveau de performance.

2. PHASE II : FAISABILITE

2.1. Analyse du potentiel en énergies renouvelables et de récupération

2.1.1. Génération de la chaleur à partir de la ressource géothermale

Dans le cas de l'étude, la ressource oriente donc vers **une solution de géothermie très basse énergie**, comme indiqué en phase 1.

Dans le cas du projet d'aménagement, étant donné la présence de la nappe phréatique et le potentiel géothermique de celle-ci (cf. phase 1), nous proposons une implantation sur nappe superficielle.

Le captage de l'énergie est réalisé grâce à un doublet de forage, qui va puiser et réinjecter l'eau dans la nappe phréatique (l'eau sera réinjectée plus froide en hiver et plus chaude en été). Ce système est réversible et permet de produire du chaud et du froid. Il convient donc particulièrement bien aux bâtiments concentrés sur la zone prévus dans le projet (tertiaires, commerce, artisanat notamment).

Les régimes de température sont adaptés à une production de chauffage et de préchauffage de l'ECS sur bâtiment neuf où l'on peut privilégier un mode d'émission par plancher chauffant par exemple. De plus, il ne s'agit pas d'une énergie intermittente, il n'y a donc pas de contraintes de chauffage.

Pour rappel, la géothermie basse énergie comprend des consommations d'énergie fossile ou d'électricité du réseau (avec recours à une PAC dans le cas présent) afin couvrir de manière totale et en permanence les besoins de chaleur. Le **contenu CO₂ de cette solution reste trois fois moins élevé** qu'une solution classique de chauffage thermique.

Il est également possible de recourir à des sondes géothermiques (fermées) verticales ou horizontales reliées à une Pompe à Chaleur (PAC), s'il s'avère que la nappe a sensiblement réduit sa capacité (débit insuffisant pour avoir une rentabilité satisfaisante)

Cette technologie est plus coûteuse généralement, mais elle permet d'exploiter l'énergie du sol même en l'absence de nappe.

Les sondes peuvent être placées horizontalement mais les sondes verticales semblent plus pertinentes pour réduire l'emprise au sol et éviter d'importants travaux de terrassement.

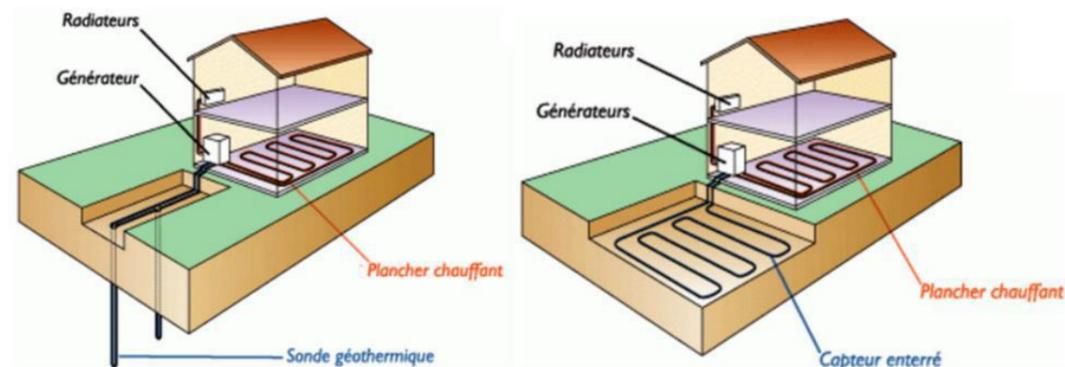


Fig. 4. Géothermie sur sondes verticales ou horizontales

Une sonde géothermique est un capteur vertical, installé dans un forage d'une centaine de mètres (pour des raisons de réglementation, il est souvent choisi de ne pas forer au-delà de 200 m de profondeur) et faisant office d'échangeur de chaleur. Un fluide colporteur circule en circuit fermé entre la PAC et le forage. Ainsi le fluide permet d'extraire puis de transporter la chaleur issue du sous-sol. Les conduits de chaque sonde se rejoignent à un collecteur qui alimentera ensuite une ou plusieurs PAC. La figure ci-dessous permet de comprendre rapidement le mécanisme.



Fig. 5. Schéma d'utilisation de pieux géothermiques verticaux dans les fondations du bâtiment

Dans le cas de pieux géothermiques intégrés aux fondations du bâtiment, la solution peut être économiquement très intéressante mais doit nécessiter d'être intégrée au plus tôt dans la conception du bâtiment (au niveau du dimensionnement des fondations). Les pieux peuvent alors être de profondeur variable en fonction de la configuration du bâtiment et de la nature du sol. Les parkings et espaces verts peuvent également être mis à contribution.

Cette solution est beaucoup utilisée en Suisse, Allemagne et Suède. En France, elle a plus de mal à se développer à cause de la réglementation qui n'est plus adaptée aux besoins. En effet, elle est déterminée à partir d'un décret de 1979, imposant par exemple, des demandes d'autorisation pour des forages supérieurs à 100 m, pouvant fortement allonger les délais de réalisation.

Un autre inconvénient est l'espace à fournir. L'espace entre chaque sonde doit être de 10 m. Il faut donc envisager d'utiliser les espaces ou parkings à proximité pour enfouir les sondes. Après vérification, le nombre de forages nécessaires par bâtiment peut se situer en sous-sol de bâtiment.

Le sous-sol francilien présente aussi de bonnes caractéristiques pour l'implantation de champs de sondes verticales (profondeur 100/150m). Cependant cette solution est encore peu développée en île de France.

De plus, comme la géothermie sur nappe, l'utilisation d'une PAC réversible permet également de couvrir les besoins de froid. La chaleur extraite des bâtiments sera restituée au sous-sol et permettra de limiter son appauvrissement.

A ce stade d'avancement du projet, il n'est pas possible de déterminer la faisabilité technique de cette solution. Une étude approfondie devra être réalisée pour cet aménagement.

Cette étude s'est concentrée sur une analyse technico-économique basée sur des valeurs moyennes issues des retours d'expérience de projets similaires.

En conclusion, cette solution sera proposée pour le chauffage et l'ECS dans un des scénarios d'énergies renouvelables.

La fiche suivante synthétise le potentiel maximal de cette énergie (solution couvrant 100 % des besoins).

Tabl. 5 - Potentiel de la génération de chaleur à partir de la ressource géothermale

Descriptif projet		
Solution technologique retenue :	PAC sur nappe superficielle	
Profondeur du forage :	15 m environ	
Débit de pompage total nécessaire :	416 m ³ /h	
Durée de vie des PAC :	15	ans
Données spécifiques à la technologie		
Production annuelle totale de chaleur [MWh_{EP}] :	6 863	
Couverture des besoins (chauffage et ECS) :	100%	
COP considéré :	4,0	
Puissance totale PAC (kW) :	4 329	
Résultats des calculs		
	Unité	Géothermie
Investissement	euros HT	2 400 k€
Coûts annuels d'exploitation	Frais de maintenance	30 k€
	Consommation électrique	280 k€
	Total :	310 k€
Temps de retour brut sur investissement	Années	8 ans
Temps de retour actualisé	Années	> 50 ans

2.1.2.2. *Création d'un réseau de chaleur*

La pertinence d'un réseau de chaleur se mesure par la densité énergétique que représente un projet. Ce ratio se calcule de la manière suivante ; besoin de chaud (chauffage et éventuellement ECS) / longueur du réseau de chaleur.

Compte tenu des besoins estimés et de la disposition des lots (la longueur d'un réseau sur le secteur serait d'environ 1000 ml), la densité du réseau de chaleur à créer serait de 3,53 MWh/ml/an. Soit une densité 2 fois supérieure au ratio de rentabilité préconisé par l'ADEME.

Si toutefois, un nouveau réseau de chaleur fondé sur la géothermie venait à être réalisé dans le cadre du développement du secteur Arena 2, sa proximité avec la ZAC Gares de Mines - Fillettes rendrait intéressant un raccordement à celui-ci, tout en veillant à vérifier avec le futur exploitant les conditions (puissance du réseau, etc.).

2.1.3. **Récupération de chaleur**

2.1.3.1. *Chaleur fatale*

Étant donné l'absence de locaux technique à fort charge thermique dans la programmation du projet, le potentiel de récupération de chaleur n'est pas une solution technique retenue, à ce stade.

A noter que cette solution ferait baisser la densité énergétique des bâtiments reliés au réseau de chaleur.

2.1.3.2. *Chaleur eaux usées*

Issues principalement des cuisines, salles de bains, lave-linge et lave-vaisselle, les calories des eaux usées peuvent être utilisées pour le chauffage ou le refroidissement des bâtiments. Fonctionnant sur le même principe qu'une VMC double flux pour l'air, un échangeur thermique permet de récupérer les calories dans les canalisations d'évacuation et de les transférer aux bâtiments via une pompe à chaleur.

Par ailleurs, le système est réversible. Il permet de rafraîchir les bâtiments en été lorsque la température des eaux usées est inférieure à la température intérieure des bâtiments.

Les conditions minimales nécessaires à la mise en place de ce type de solution énergétique sont :

- Un débit supérieur ou égal à 12 l/s, soit un bassin versant amont d'environ 8 000 habitants,
- Une distance entre le réseau d'eaux usées et les locaux à chauffer limitée à 200 - 300 m,
- Pour les réseaux existants, un diamètre de collecteur supérieur ou égal à 800 mm,
- Pour les réseaux neufs, un diamètre de collecteur supérieur ou égal à 400 mm.

Afin de valider la pertinence d'un recours à cette source d'énergie, il faudra évaluer le potentiel d'énergie récupérable en fonction des débits et des températures des eaux usées circulant dans les diverses parties du réseau de collecte à proximité du projet (distance inférieure à 50 m).

En première approche, cette solution permettrait de couvrir 5 % des besoins en chaleur du projet.

2.1.4. Génération décentralisée d'électricité par effet photovoltaïque, intégrée au bâtiment

Il s'agit d'une solution de substitution de l'électricité provenant uniquement du réseau électrique national (donc pour éviter les émissions de CO₂, SO₂, NO_x et déchets radioactifs directement liées à mix énergétique utilisé pour produire l'électricité délivrée par le réseau).

Pour cette énergie, on notera qu'elle ne permet pas de participer structurellement à l'approvisionnement en énergie d'un quartier ou d'une zone d'activités. En effet, l'objectif est bien de vendre de l'électricité et de rentabiliser les installations, et non pas de répondre à des besoins d'électricité.

On rappellera par ailleurs que la RT2012 ne permet de « valoriser » la production photovoltaïque, dans le calcul de la consommation conventionnelle, qu'à 12 kWh_{EP}/m².an maximum pour les bâtiments à usage d'habitation.

Néanmoins, la visibilité des modules vis-à-vis du public peut être un atout en termes d'image de 'quartier durable' et de communication, de plus, l'obligation d'atteindre un certain ratio d'énergie renouvelable nécessite la mobilisation de tous les gisements possibles.

La définition des bâtiments sur la parcelle n'étant que très peu avancée actuellement (positionnement, configuration uniquement), les hypothèses suivantes ont été retenues pour le calcul des surfaces favorables au solaire :

- Estimation des surfaces de toiture : l'évaluation des surfaces a été faite à partir des surfaces de plancher et du nombre de niveaux retenu en hypothèse ci-dessous par chaque typologie d'ouvrage :
- Il a été appliqué un facteur de diminution à l'ensemble des bâtiments pour les ombres portées.

Secteurs	Hypothèses	
	Nombre de niveaux	Ombres portées
Logement/bureaux	9	5%
Autres usages	9	8%
Arena 2	5	10%

Nota : Pour les activités industrielles ou artisanat, le nombre de niveaux appliqué a été évalué à 1 (bâtiment pouvant être de grande hauteur mais rarement avec plus d'un niveau).

- Estimation du potentiel photovoltaïque de chaque toiture, en fonction de la typologie d'occupation du bâtiment conditionnant le tarif, ainsi que des caractéristiques à priori des toitures (inclinaison, orientation, encombrement).

Concernant ce dernier point, le plan de masse n'étant pas établi au moment de l'étude, les hypothèses suivantes ont été retenues pour les toitures terrasses:

- Il a été appliqué un facteur de diminution de 30% sur l'estimation des surfaces de toiture par rapport aux surfaces de plancher pour prendre en compte l'encombrement (les attiques notamment)

En tenant compte de ces restrictions et à partir des surfaces de plancher envisagées, la surface totale exploitable serait d'environ 32 500 m², soit un potentiel de surface installée de capteurs solaires photovoltaïques d'environ 3 200 m² en considérant l'encombrement et le cheminement technique nécessaire en toiture.

2.1.4.1. Potentiel technique

Le potentiel photovoltaïque est décrit selon la puissance crête installable en kWc et l'électricité produite en kWh par an.

La production électrique d'un capteur photovoltaïque implanté sur le site est estimée à 115 kWh/(m².an).

Si l'ensemble des surfaces potentielles exploitables sont valorisées, la production annuelle photovoltaïque est estimée à 520 MWh/an.

Les besoins annuels en électricité étant estimés à 8 400 MWh/an , le potentiel technique photovoltaïque représente un taux de couverture de 6 % des besoins. Hors climatisation, les besoins annuels en électricité seraient couverts à 9 %.

Rappelons ici qu'une part significative des surfaces de toiture a été exclue, en particulier 80 % des surfaces de toitures favorables au solaire photovoltaïque. Un taux de couverture proche de 50 % serait techniquement possible en levant cette contrainte.

2.1.4.2. Montages organisationnels possibles

Condition de rachat des installations de PV

L'achat de l'électricité photovoltaïque dépend fortement de la puissance installée et de la date du raccordement. Les tarifs sont également révisés tous les trimestres en fonction du nombre de raccords à l'échelle nationale. Pour cette raison, il est difficile d'estimer précisément le gain financier de l'installation. De plus, la réglementation est en cours de modification, avec des tarifs d'achat et des tranches de puissances qui devraient être revus.

A titre d'information, le tableau ci-dessous présente les tarifs d'achat pour le 4^{ème} trimestre 2018 en fonction de la puissance installée et du type d'intégration.

Type d'installation	Tarif d'achat
[0-3kW°]	18,59 €/Wc
[3-9kW]	15,80 €/Wc
[9-36kW]	12,07 €/Wc
[36-100kW]	11,19 €/Wc

Pour cette énergie, la démarche a été la suivante :

- Nature de l'exploitation de l'installation : production pour vente en totalité
- Dispositif de soutien : installation photovoltaïque implantée sur bâtiment dont la puissance installée de moins de 100 kWc est éligible à l'obligation d'achat (arrêté tarifaire du 9 mai 2017 fixant les conditions d'achat pour la filière photovoltaïque).

Un plafonnement à 100kWc de la puissance de l'installation est appliqué dans cette étude afin de bénéficier du dispositif du tarif d'achat en guichet ouvert plus intéressant.

Le tarif d'achat est révisé trimestriellement et indexé sur les volumes de projets photovoltaïques du trimestre, cela afin de prendre en compte les évolutions à la baisse du coût de construction des centrales photovoltaïques.

Notre étude est basée sur le dernier tarif connu correspondant au 4^{ème} trimestre 2018.

Les grandes conclusions de cette étude pour le solaire photovoltaïque sont les suivantes :

- Le solaire photovoltaïque **apparaît adapté** au projet : il pourra être mobilisé sur certaines surfaces de toiture plus pertinentes que d'autres (grandes surfaces peu encombrées et bien orientées).
- en couvrant toutes les surfaces de toiture adaptées, il est possible de répondre à 1 % des besoins en électricité (hors chauffage et eau chaude sanitaire)

Cependant, les points suivants ne sont pas à négliger pour cette technologie :

- **Il subsiste une incertitude importante** quant au futur tarif d'achat au moment où les projets sortiront réellement (réduction trimestrielle des tarifs, risque de nouvel arrêté dans les années à venir).
- Le photovoltaïque en toiture entre en compétition avec le solaire thermique ou la végétalisation de toiture¹ en termes de surface disponible. Il peut être envisagé de

¹ Des modules type verrière photovoltaïque entraînent une baisse de puissance installée au m² et apparaissent plus coûteux que la solution proposée.

mettre en œuvre des modules photovoltaïques en brise-soleil incliné pour pallier à ce problème et permettre une double utilité des modules. Ce point n'a pas été développé étant donné l'avancée du projet mais pourra être suggéré dans les actions pour la mise en œuvre des scénarios.

Avec l'augmentation du prix de l'électricité à prévoir dans les prochaines années, l'autoconsommation pour les bâtiments tertiaires collectifs peut s'avérer être une solution intéressante, à coupler avec une vente du surplus électrique produit.

Cette solution n'est toutefois mutualisable à plusieurs bâtiments que s'ils sont raccordés sur le même poste de distribution. **Une étude spécifique sur la charge de consommation devra donc être menée pour déterminer la pertinence de cette solution pour le projet.**

Les panneaux solaires peuvent être installés de manière complémentaire de la stratégie énergétique de la zone d'aménagement, puisque les panneaux n'ont pas d'impact sur le dimensionnement des autres systèmes thermiques.

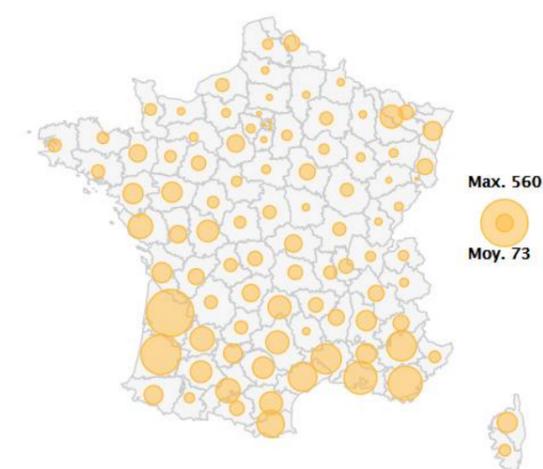


Fig. 7. Puissance photovoltaïque totale raccordée par département au 30 juin 2017

Les tableaux suivants synthétisent le potentiel maximal de cette énergie au regard du tarif d'achat approprié par toiture (plafonnement à 100 kWc appliqué aux toitures des logements pour tarif d'achat plus intéressant).

Tabl. 7 - Descriptif du potentiel technique photovoltaïque

Rappel des enjeux énergétiques				
Le solaire photovoltaïque permet la production d'électricité, qui viendra compenser, en bilan annuel, la consommation d'électricité liée à certains usages (hors usages thermiques, couvert au moins partiellement par une production d'énergie présentant un meilleur rendement).				
Besoins en électricité [MWhep/an] : 8 516				
	climatisation	Eclairage	Auxiliaires	Total
	MWhep/an	MWhep/an	MWhep/an	MWhep/an
Besoins en électricité :	2 744	3 214	2 557	8 516

Descriptif projet	
Surface toitures valorisables PV :	35 845 m ²
Principal mode de pose proposé :	surimposition
Tarif max. de vente du kWh (au moment de l'étude) :	0,0104 €/kWh
Pertinence d'une mise à disposition de toiture :	oui
Contraintes d'intégration architecturale :	Aucune
Technologies envisagées :	Procédé SMAC avec modules cristallins

Tabl. 8 - Potentiel maximal de la génération décentralisée par effet photovoltaïque

Dimensionnement technique	
Puissance crête :	4 516 kWc
Production annuelle totale d'électricité [MWh] :	4 079
Taux de couverture des besoins (hors chauffage et ECS) :	48%
Durée de vie du système [ans] :	20
Emissions de CO2 évités [t CO2/an] :	192
Déchets nucléaires (à vie longue) évités [kg/an] :	4,1
Emissions de SO2 évitées (acidification) [kg/an] :	326

Dimensionnement économique		
	Unité	Photovoltaïque
Investissement	euros HT	3 615 k €
Coûts annuels d'exploitation	Frais de maintenance	85 k€
	Recettes liées à une vente d'énergie	424 k€
	Total :	340 k€
Temps de retour brut sur investissement	Années	11

2.1.5. Génération de la chaleur à partir de la ressource solaire (Thermique)

2.1.5.1. Gisement

L'usage d'eau chaude sanitaire au sein du bâtiment tertiaire, commerce est trop faible pour envisager l'exploitation des toitures pour la mise en place de panneaux solaires thermiques.

De plus, le solaire thermique ne peut être envisagé pour les équipements publics car les besoins en eau chaude sanitaires sont négligeables en période estivale.

Dans le cadre de ce projet, la mise en place du solaire thermique n'est retenue que pour les bâtiments liés au logement, aux activités de commerce et d'hôtellerie/restauration.

La surface de toiture est largement suffisante au vu des besoins qui nécessiteront environ 2 100m² de panneaux.

Par ailleurs, le solaire thermique en toiture entre en compétition avec la végétalisation de toiture et le solaire photovoltaïque en termes de surface disponible.

2.1.5.2. Potentiel technique

Plusieurs typologies de systèmes solaires thermiques existent. Notons ici en particulier l'installation sous pression.

Les tableaux ci-dessous synthétisent le potentiel maximal de cette énergie.

Tabl. 9 - Potentiel maximal de la génération de chaleur à partir de la ressource solaire thermique

Rappel des enjeux énergétiques				
<i>Il est étudié ici la mise en place d'installations solaire thermique pour la production d'ECS. Celle-ci doit s'accompagner d'une réduction des besoins à leurs stricts minimum (dispositifs d'économie d'eau, optimisation des réseaux, etc.).</i>				
Besoins estimés en énergie pour l'eau chaude sanitaire :				
	<i>m² SHON</i>	<i>m² toiture favorable</i>	<i>MWh_{ep}/an</i>	<i>Usage concerné</i>
Logement	39 710 m ²	4 192 m ²	1 080	<i>oui</i>
Bureau	57 530 m ²	6 073 m ²	190	<i>non</i>
Activité artisanale/industrielle	23 430 m ²	2 395 m ²	119	<i>oui</i>
Petite enfance	1 650 m ²	169 m ²	42	<i>non</i>
Commerce	5 060 m ²	517 m ²	158	<i>oui</i>
Hôtellerie/restauration	6 820 m ²	720 m ²	307	<i>oui</i>
Équipement sportif	24 200 m ²	21 780 m ²	1 936	<i>non</i>
Total :	75 020 m²	7 824 m²	1 664	[MWh_{EP}/an]

Données économiques		
	Unité	Solaire thermique
Investissement	euros HT	1 985 k€
Coûts annuels d'exploitation	Frais de maintenance et renouvellement matériel (P2, P3) :	20 k€
	Consommation énergétique résiduelle :	33,5 k€
	Total :	53,3 k€
Economie annuelle	Gain économisé par rapport à une solution électrique	230 k€
Temps de retour brut sur investissement	Années	11
Temps de retour actualisé	Années	12

Données spécifiques à la technologie	
Surface effective de toiture occupée :	6 527 m ²
Surface utile capteurs [m ²] :	2 284 m ²
Production annuelle d'ECS [MWh] :	800 MWh 48 %
Stockage ECS total [m ³] :	171 m ³
Emission de GES évités [t CO ₂ /an] :	7,8
Déchets nucléaires (à vie longue) évités [kg/an] :	0,80
Emissions de SO ₂ évitées (acidification) [kg/an] :	0,06

(comparaison avec électricité)
(comparaison avec électricité)

2.1.6. Génération de la chaleur à partir de la ressource bois-énergie

Ici, nous considérons uniquement la valorisation du bois soit le bois-énergie. La filière bois-énergie se structure considérablement au fur et à mesure des projets biomasse qui se développent.

L'intérêt de cette énergie est un bilan carbone pratiquement nul, le CO₂ délivré lors de la combustion ayant été stocké préalablement par le bois (phénomène de photosynthèse), sous réserve de la présence d'une filière durable d'approvisionnement en combustible.

Concernant les émissions polluantes (CO notamment), des dispositifs de traitement des fumées sont systématiquement mis en place pour des chaudières collectives (ce qui n'est pas le cas pour des chauffages au bois individuel type poêle à bois par exemple). La qualité de l'air doit ainsi être mesurée.

Il s'agit là de **répondre aux besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, via une production mutualisée à plusieurs bâtiments** ou par bâtiment (non défini à ce stade).

Une chaufferie bois énergie est un bâtiment dédié comportant une chaudière bois/biomasse dont la puissance est supérieure à 70 kWh généralement, et un silo de stockage du combustible bois (plaquettes ou granulés). Sous cette configuration, le transport du bois au foyer de la chaudière est automatique et régulée. Les produits de combustion sont évacués par un conduit de fumée.

Par contre, cette solution demande un espace foncier supplémentaire pour l'installation de la (ou des) chaufferie(s) biomasse(s) (estimé à environ 50m², le volume de stockage nécessaire étant d'environ 150 m²) et éventuellement la mise en place d'un réseau de chaleur à l'échelle de la zone si une solution de production de chaleur centralisée est retenue. Le mode d'approvisionnement demande également plus d'organisation qu'un chauffage électrique par exemple.

A titre d'ordre de grandeur, compte tenu des besoins énergétiques, un volume de stockage de 740 m³ permettrait une autonomie de 7 jours pendant la période hivernale.

Le mode d'approvisionnement demande également plus d'organisation qu'un chauffage électrique par exemple.

Le pouvoir calorifique des plaquettes forestières dépend majoritairement de son humidité. La valeur prise ici est une moyenne souvent donnée dans la littérature pour une humidité de 40%.

Trois obstacles pénalisent généralement l'utilisation de la biomasse dans le cadre d'un projet.

- Premièrement, le trafic routier nécessaire à l'approvisionnement en biomasse est une gêne possible (nuisances sonores, encombrement du trafic). Sur la base

d'une consommation estimée pour le chauffage et l'ECS, le nombre de livraisons nécessaires en semi-remorques peut être évalué.

Tabl. 10 - Tableau de synthèse du nombre de rotation dans le cas d'une chaufferie centralisée

	C (MW besoins chaleur)	Nt (tonnes)	NR (nb de rotation annuelle)
ZAC Gare des Mines _ Fillettes	7709	3212	128,5

Pour de tels volumes, une livraison par semi-remorques à fond mouvant est envisageable (25t).

Le tableau ci-dessus indique que le schéma d'approvisionnement représente un trafic routier important principalement durant la période de chauffe. Par conséquent, l'approvisionnement en biomasse pour ce projet représente un enjeu principal.

- Deuxièmement, s'ajoute la problématique de l'espace nécessaire pour la mise en place d'une chaufferie bois de l'ordre de 3,5 MW de puissance thermique (commune à toute la ZAC) et pour le dépotage dans des conditions de sécurité satisfaisantes et le stockage. Cet aspect devra être vérifié une fois les plans d'implantations et les choix architecturaux aboutis.
- Troisièmement, la combustion de biomasse est émettrice de particules, ce qui impacte la qualité de l'air. Le site étant inclus dans la couronne d'une grande agglomération, la problématique est réelle. Cette problématique est aujourd'hui globalement maîtrisée, notamment sur les installations collectives et récentes.

Ces différents points amènent à conclure que le potentiel de cette ressource est faible , voire quasi nul, pour l'ensemble du projet.

La fiche en page suivante est néanmoins proposée pour information. Elle synthétise le potentiel maximal de cette énergie (solution couvrant 100 % des besoins avec une chaudière centralisée pour toute la zone).

Tabl. 11 - Potentiel maximal de la génération de chaleur à partir de la ressource bois-énergie

Descriptif projet		
Le bois-énergie répond à la fois aux besoins d'ECS et aux besoins de chauffage		
Type de combustible : plaquettes forestières		
Coût du combustible (au moment de l'étude) :	66	€/t
Nombre de jours de stockage considérés :	5	jours
Taux de couverture considéré*	100%	*dans la limite de la ressource
Dimensionnement technique (en première approche)		
Puissance de chaudière biomasse [kW _{th}] :	3 469	
Production annuelle totale de chaleur [MWh _{utiles}] :	7 709	
Consommation de biomasse [tonnes/an] :	3 784	
Volume de stockage nécessaire [m ³] :	729	
Emprise au sol envisagé (hauteur du silo 3 m) [m ²] :	243	
Emission de GES évités [t CO ₂ /an] :	750	
Dimensionnement économique (en première approche)		
	Unité	Bois énergie
Investissement	euros HT	2 400 k€
Coûts annuels d'exploitation	Frais de maintenance	451 k€
	Coût de combustible	250 k€
	Total :	701 k€

2.1.7. Récupération de chaleur à partir des eaux usées

Les effluents d'eaux usées peuvent être considérés comme des sources potentielles d'énergie, notamment thermique.

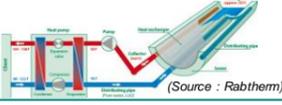
La température des eaux usées étant relativement constante au cours de l'année, le réseau d'eaux usées peut être utilisé pour le préchauffage en hiver à l'aide d'un échangeur de chaleur ou comme source chaude d'une PAC pour la production de froid en été. Les échangeurs de chaleur utilisés pour transférer la chaleur des eaux usées sont soit insérés dans la structure des canalisations soit localisés dans des bâches en dérivation. Les eaux usées utilisées peuvent être des eaux brutes ou des eaux traitées en sortie de station d'épuration.

Ci-dessous quelques exemples de réalisations :

- Chauffage et rafraîchissement de l'hôtel de la Communauté Urbaine de Bordeaux
 - ✓ Installation mise en service en septembre 2010
 - ✓ Besoins de 1100 kW_{th} en hiver et 850 kW_{th} en été
 - ✓ Echangeur de 200 m de long
 - ✓ Investissement 1,5 M€ - taux de retour sur investissement de 3 ans (avec aides ADEME)
- ZAC Centre Sainte-Geneviève de Nanterre
 - ✓ Mise en service de l'installation en mars 2011
 - ✓ Conception / réalisation / Exploitation > Cofely – Lyonnaise des Eaux – Saunier & Associés – BSR Technologies
 - ✓ Tissu urbain dense
 - ✓ Dispositif Degrés Bleus d'Eau & Force
 - ✓ 200 m d'échangeur
 - ✓ 39 % de l'énergie de chauffage en provenance de la récupération d'énergie sur eaux usées (complété par 14% en provenance de géothermie sur nappe à faible profondeur + électricité + centrale d'appoint au gaz)
- Groupe scolaire Wattignies (Paris XII)
 - ✓ Mise en service en avril 2011
 - ✓ CPCU / Lyonnaise des Eaux
 - ✓ 60 m d'échangeur dans le collecteur des Coteaux
 - ✓ 76,3 tonnes de CO₂ évités
 - ✓ Investissement : 400 000 €

La fiche présentée en page suivante récapitule le potentiel de récupération maximal pour la ZAC.

Tabl. 12 - Génération centralisée de chaleur à partir des eaux usées

Génération centralisée de chaleur à partir de la récupération de chaleur sur les eaux usées d'assainissement (via PAC)					
Descriptif du projet et résultats de l'étude					
<p>Données projets</p> <p>Nom du projet : ZAC Gares des Mines - Fillettes</p> <p>Région concernée : Ile-de-France</p> <p>Date de réalisation de l'étude : 17/12/2018</p> <p>SHON considérée : 158 400 m²</p> <p>Zone climatique : H1a</p> <p>Altitude : ≤ 400m</p>	<p>Rappel des enjeux énergétiques</p> <p>Les effluents d'eaux usées peuvent être considérés comme des sources potentielles d'énergie, notamment thermique. En effet, la température des effluents urbains varie classiquement entre 12 et 25°C. L'énergie calorifique correspondante est importante (4,18 kJ/kg/°C) et peut être récupérée par un fluide caloporteur (eau glycolée en Métropole) au moyen d'un échangeur thermique et d'une pompe à chaleur (PAC) eau-eau pour produire de l'eau chaude à une température comprise entre 35 et 65 °C (pour la production d'ECS ou de chauffage).</p> <p>Les échangeurs de chaleur utilisés pour transférer la chaleur des eaux usées sont soit insérés dans la structure des canalisations soit localisés dans des bâches en dérivation.</p>  <p>(Source : Rabtherm)</p>				
<p>Principe technologique</p> <p>Modes d'exploitation de cette ressource :</p> <ul style="list-style-type: none"> o Récupération de la chaleur en amont des STEU¹ par échange thermique avec les eaux d'assainissement o Récupération de la chaleur en aval des STEU par échange thermique avec les eaux d'assainissement traitées.  <p>Canalisations d'eaux usées avec échangeur intégré</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Avantages</th> <th>Inconvénients</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> Valorisation d'une source de chaleur habituellement perdue et possibilité de production de froid en été Constance de la ressource sur l'année qui peut permettre d'alimenter les besoins en ECS Temps de retour sur investissement rapide (2 à 10 ans avec aides) si grande densité </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Nécessité d'une densité d'usagers importante (~ 5 000 usagers connectés à un même collecteur) Peu de distributeurs : Rabtherm® (Suisse) exploité en France par Saunier et Associés ou Degrés Bleus® exploité par Suez </td> </tr> </tbody> </table>	Avantages	Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Valorisation d'une source de chaleur habituellement perdue et possibilité de production de froid en été Constance de la ressource sur l'année qui peut permettre d'alimenter les besoins en ECS Temps de retour sur investissement rapide (2 à 10 ans avec aides) si grande densité 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité d'une densité d'usagers importante (~ 5 000 usagers connectés à un même collecteur) Peu de distributeurs : Rabtherm® (Suisse) exploité en France par Saunier et Associés ou Degrés Bleus® exploité par Suez
Avantages	Inconvénients				
<ul style="list-style-type: none"> Valorisation d'une source de chaleur habituellement perdue et possibilité de production de froid en été Constance de la ressource sur l'année qui peut permettre d'alimenter les besoins en ECS Temps de retour sur investissement rapide (2 à 10 ans avec aides) si grande densité 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité d'une densité d'usagers importante (~ 5 000 usagers connectés à un même collecteur) Peu de distributeurs : Rabtherm® (Suisse) exploité en France par Saunier et Associés ou Degrés Bleus® exploité par Suez 				
<p>¹ Station de traitement des eaux usées</p> <p>Ressource</p> <p>583 logements</p> <p>Ressource : soit 1 749 équivalent-habitants</p> <p>très favorable avec 3 EH par logements</p> <p>favorable limite minimale de ~15 L/s par temps sec possiblement non dépassée</p> <p>peu favorable de plus, distance entre PAC et égout doit être inférieure < 200 m</p> <p>défavorable</p> <p><i>Nota : La collecte des eaux pluviales ne doit pas être considérée dans le dimensionnement de tels systèmes car la ressource est trop irrégulière.</i></p>	<p>Remarques particulières</p> <p>Réglementation spécifique : autorisation de l'exploitant des eaux usées indispensable pour vérifier que leur température d'exploitation ne subit qu'une faible variation</p> <p>Paramètres technico-économiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Encombrement de la PAC : ~ 0,05 m²/kWth et du système complet (PAC, échangeur secondaire si besoin, éventuels ballons de stockage thermique, pompes, etc.) : ~ 5 à 10 kWth/m² - 2 à 5 kWth / m² d'échangeur et 1,8 à 8,4 kWth/m de canalisation - Nécessité de température des eaux usées toujours > 8°C pour le chauffage ou la production d'ECS - Investissement = 1500 à 4000 € / kWth pour une durée de vie de 30 ans pour les échangeurs et 15 ans pour les PAC 				
<p>Conclusion générale</p>					
<p>La performance du système dépend principalement du débit des eaux usées, de leur température et de la pente du réseau d'assainissement. A la vue des premiers éléments de définition de l'aménagement de la future ZAC Gare des Mines-Fillettes, l'équipement des ces bâtiments de logements collectifs présentant ne semble pas être pertinent pour la production d'ECS à partir de la récupération de chaleur sur les eaux usées et valorisation par PAC. En effet, la technologie nécessite une densité d'usagers relativement importants : les données actuelles du projet permettent d'estimer que le ZAC accueillera environ 2 000 habitants, or le seuil minimal de nombre d'usagers connectés à un même collecteur est de l'ordre de 5 000 usagers.</p>					

2.2. Conclusion sur les potentiels EnR

Le tableau suivant dresse le panorama selon ARTELIA des ressources renouvelables pouvant être mises en place pour le projet de la zone Gare des Mines-Fillettes.

Filière énergie renouvelable	Couverture des besoins			Ressource locale	Commentaires
	Electricité	Chaleur	Froid		
Solaire photovoltaïque	★★			👍	La typologie de la zone d'aménagement ne permet pas le développement facile de centrales au sol. L'étude s'est donc orientée vers le potentiel photovoltaïque en toiture. Un potentiel intéressant est disponible en conservant les expositions les mieux orientées, malgré un ensoleillement qui n'est pas des plus favorables.
Solaire thermique		★ (ECS)		👍	L'ensoleillement n'est pas très important en comparaison avec le reste de la métropole, cependant le développement du solaire thermique dans les pays voisins démontre en partie la pertinence de production d'Eau Chaude Sanitaire à partir d'une installation solaire thermique.
Géothermie - création d'un réseau de chaleur / froid		★★	★	👍 👍	Le projet d'aménagement se trouvant sur une nappe superficielle pour laquelle l'exploitation du potentiel géothermique paraît intéressante.
Raccordement au réseau de chaleur existant		★★		👍 👍	La projet d'aménagement est situé à proximité des tronçons (vapeur/haute température) du réseau de chaleur existant (CPCU), l'opérateur a d'ailleurs confirmé la faisabilité d'une extension pour desservir les besoins en chaleur et ECS pour la ZAC.
Eolien	★			👎 👎	L'évaluation du potentiel éolien à ce stade de l'étude est très difficile. En effet, il est fortement dépendant de la morphologie du quartier et ne pourra être estimée, si jugé pertinent, qu'une fois le plan de masse définitif.
Biomasse - Méthanisation	★	★		👎	Le potentiel local de la ZAC est assez faible, même si plus largement le département d'Île de France présente un potentiel intéressant. Cette filière requiert ainsi la mise en place d'une logistique d'approvisionnement. De plus, cette solution requiert un espace foncier important.
Récupération de chaleur sur les eaux usées d'assainissement		★		👎 👎	En première approche, la densité d'habitants de la ZAC est trop faible pour que soit intéressant de raccorder l'ensemble des logements collectifs avec ce système.

La phase suivante s'attachera à comparer plusieurs scénarios qui intégreront différentes énergies renouvelables pour répondre aux besoins énergétiques de la zone. Par conséquent, les ressources considérées comme défavorables ne seront pas développées davantage.

2.3. Elaboration de scénarios intégrant les énergies renouvelables

D'après les conclusions de l'étape précédente, deux scénarios principaux composés d'énergies renouvelables sont proposés :

- Un scénario maximisant le taux d'énergies renouvelables sur la zone avec une production géothermique assistée par PAC centralisée pour le chauffage et la climatisation ainsi que des installations photovoltaïques pour les toitures pertinentes.
- Un scénario comprenant une solution de raccordement sur le réseau de chaleur pour le chauffage en appoint du solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire et l'intégration de panneau photovoltaïque sur une partie des toitures des bâtiments ;

Afin d'évaluer le potentiel en énergies renouvelables, chacun d'entre eux est ensuite comparé à un scénario de référence (détaillé dans le chapitre suivant) n'utilisant que des énergies fossiles pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (ECS).

On rappelle que dans le cadre de son plan climat, la ville de Paris s'est fixée l'objectif de 80% de chaleur (chauffage + ECS) d'origine renouvelable.

2.3.1. Scénario de référence : Recours aux « énergies traditionnelles »

La situation de référence retenue et mentionnée dans la suite du rapport correspond à :

- Une installation de chauffage de type énergies fossiles classiques (gaz à condensation)
- Un système de production d'Eau Chaude gaz

Les coûts de consommation de ces postes et des postes alimentés en électricité sont comptabilisés sur la base des tarifs moyens mentionnés au § 2.3.2.

2.3.2. hypothèses tous scénarios

Le document « Comparatif des modes de chauffage & Prix de vente de la chaleur en 2011 » (AMORCE – Février 2013) a notamment été utilisé pour les hypothèses de coût (logements). Une bibliographie enrichie est également utilisée pour les calculs.

2.3.2.1. Hypothèses concernant la consommation d'énergies primaire de la zone par scénario

La nouvelle réglementation thermique prend en compte les autres énergies renouvelables permettant d'alimenter les réseaux de chaleur. En effet, le Cepmax2 à atteindre est majoré pour les bâtiments qui se raccordent à un réseau de chaleur, avec 3 niveaux de modulation selon le contenu CO2 du réseau :

- + 30% pour un contenu carbone inférieur ou égal à 50 grammes par kWh (ce coefficient correspond à celui appliqué au bois énergie) ;
- + 20% pour un contenu carbone compris entre 50 et 100 grammes ;
- + 10% pour un contenu carbone compris entre 100 et 150 grammes.

L'installation d'unité photovoltaïque en toiture permet également une augmentation du seuil du Cep maximal de 12 kWh/m² SHON par an.

Le parti a été pris dans l'étude de ne pas recalculer le Cep en fonction des énergies mises en place mais de la conserver au niveau de la RT2012-20%, niveau plus exigeant. En effet, il est considéré que même s'il y a mise en place d'énergies renouvelables pour l'alimentation des bâtiments, ceux-ci ne doivent pas s'affranchir d'une bonne performance énergétique au niveau du bâti et des équipements internes. Ce point peut être discuté avec la maîtrise d'ouvrage.

2.3.2.2. Hypothèses techniques

La solution de référence est celle qui serait a priori mise en place en l'absence de volonté de la Maîtrise d'Ouvrage de développer les EnR.

D'après les conclusions de l'étape précédente, les scénarios pris en compte et analysés sont les suivants :

- Scénario de référence (niveau d'énergie renouvelable faible) : scénario utilisant le gaz pour la production chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (ECS). Nous avons considéré une solution de référence comprenant une chaudière à condensation alimentée par du gaz, qui fournit le chauffage et l'Eau Chaude Sanitaire (ECS).
- **Scénario 1** (niveau d'énergie renouvelable fort) : comprenant la création d'un réseau de chaleur géothermique et l'intégration de panneau solaire thermique pour la production d'Eau Chaude Sanitaire et l'intégration de panneau photovoltaïque sur une partie des toitures des bâtiments ;

² Consommation en énergie primaire maximale selon la définition de la RT2012

- **Scénario 2** (niveau d'énergie renouvelable modéré) : comprenant le raccordement au réseau de chaleur existant pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire ainsi qu'une centrale photovoltaïque pour les toitures pertinentes.

2.3.2.3. Hypothèses économiques

La durée d'étude a été considérée à 20 ans pour pouvoir comparer toutes les énergies entre elles, (photovoltaïque avec contrat d'achat sur 20 ans). Il est à noter que les installations après cette période posséderont une valeur résiduelle non nulle (durée de vie considérée à 30 ans pour une partie des équipements solaire thermique et photovoltaïques par exemple).

- - Le taux d'actualisation appliqué est de 4%.
- - Les calculs ne prennent pas en compte une actualisation des coûts de l'énergie, néanmoins le taux d'actualisation élevé retenu peut compenser en partie ce point. Par ailleurs, les évaluations proposées sont prudentes, et une inflation des coûts de l'énergie pourrait augmenter la rentabilité des investissements effectués dans les énergies renouvelables.
- - L'hypothèse de coût de l'électricité du réseau est de 10 c€/kWh et du gaz de 7c€/kWh.
- Il n'est considéré aucun emprunt pour le calcul du temps de retour brut et du coût global actualisé.
- - Enfin, les coûts globaux sont déterminés hors subventions possibles.

2.3.2.4. Hypothèses environnementales

Les émissions de CO2 ont été comptabilisées à partir des hypothèses suivantes :

- Émissions de CO2 bois-énergie – plaquettes forestières : 25 gCO2/kWh
- Émissions de CO2 énergies fossiles classiques : 235 gCO2/kWh
- Émissions de CO2 de l'électricité du réseau : 25 gCO2/kWh (EDF 2018)

2.3.3. Scénario 1 : Scénario géothermie, ECS solaire et solaire photovoltaïque

2.3.3.1. Description du scénario

Il a été considéré pour ce scénario que la géothermie couvre les besoins en chauffage et de climatisation et le solaire thermique les besoins en Eau Chaude Sanitaire. Pour la géothermie, la PAC ne s'affranchit pas d'une consommation d'électricité du réseau du fait de son fonctionnement et de son rendement (COP).

De même, une consommation d'énergie conventionnelle résiduelle est nécessaire pour assurer l'appoint au solaire thermique en période de mauvais temps et en hiver notamment du fait de leur implantation et du dimensionnement retenu (limitation des surchauffes pour préserver l'installation). Ici, l'appoint est assuré par de l'électricité.

Le chiffrage économique proposé comprend des installations par petit groupe de bâtiments mais ne correspond pas à un réseau de chaleur centralisé.

Enfin, le photovoltaïque est proposé ici en implantation des toitures les plus pertinentes sur le plan économique après prise en compte des surfaces occupés par le solaire thermique.

2.3.3.2. Résultats

Le tableau ainsi que les graphes ci-après reprennent les principaux résultats de ce scénario.

Tabl. 13 - Caractéristiques techniques et économiques des énergies renouvelables du scénario 1

Potentiel de chaque énergie étudiée scénario 1				
	Unité	Géothermie (thermofrigopompe)	Solaire thermique	Photovoltaïque
	électrique ou thermique	thermique (chauffage et froid)	thermique (ECS)	électrique
Besoins d'énergie considérés	Détail	Couverture de 100% des besoins de chauffage, de climatisation et l'appoint en ECS	Equipement prioritaire des toitures des logements, taux de couverture annuel visé de 50%. Les commerces, école et équipements sportifs ne sont pas équipés (solution électrique retenu à ce moment-là).	Equipement des toitures pertinentes non végétalisées et non utilisées pour le solaire thermique pour produire de l'électricité au meilleur tarif : maisons individuelles. Absence de couverture des besoins (vente d'électricité intermittente).
Investissement initial	€ HT	2 392 000 €	1 982 000 €	2 825 000 €
Dimensionnement pour atteindre le potentiel	Puissance - kW	4 329 kWth	-	3 531 kWc
	Production - MWh/an (thermique ou électrique)	6 900	800	3 188
Frais de maintenance et renouvellement matériel annualisés (P2, P3)	€ HT	136 000	19 800	67 400
Recettes annuelles bruts ou par rapport à solution de référence (P1+P2+P3)	€ HT	22 000	158 465	332 000
Coût actualisé de l'énergie produite	€ / MWh (thermique ou électrique)	60	169	62
Emissions de CO2 évités	T CO ₂ /an	851	8	150
Temps de retour brut pour l'ensemble du quartier	Années	immédiat car investissement solution de base plus coûteux	immédiat car investissement solution de base plus coûteux	11 ans

Le coût relativement faible de la géothermie peut s'expliquer par la technologie retenue avec des installations sur nappe. Les coûts des énergies sont néanmoins peu comparables entre eux car ils interviennent pour des usages différents (thermique ou électrique, chauffage ou ECS). La comparaison peut par contre se faire entre scénarios (voir partie suivante).

Répartition des besoins et couverture par les énergies renouvelables - Scénario 1

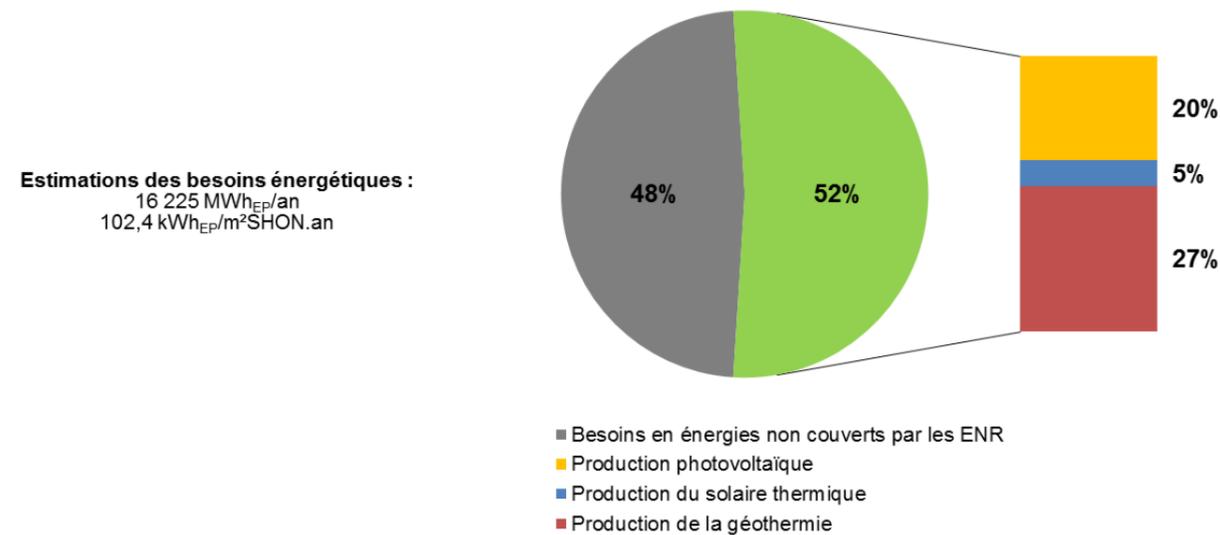


Fig. 8. Couverture en énergies renouvelables des besoins de la ZAC Gares des Mines-fillettes – Scénario 1

La part globale des besoins énergétiques couverte par les énergies renouvelable est d'environ 52%. Près de deux tiers étant assurée par la géothermie.

Grâce à une production importante d'électricité photovoltaïque, la consommation électrique des logements peut être complètement compensée par une production d'origine renouvelable. La production solaire thermique permettrait, quant à elle, d'assurer 50% des besoins d'eau chaude sanitaire.

L'installation de géothermie permet de couvrir l'ensemble des besoins de chauffage comme défini dans le scénario, cependant, l'utilisation d'une Pompe à Chaleur entraînant des consommations d'électricité du réseau, une partie des besoins est donc considérée comme non couverte par les énergies renouvelables. En effet, même si le potentiel géothermique est intéressant, le coefficient de performance (rendement) de la PAC est lié à la température de la nappe présente dans le sol. Hors celle-ci n'est pas très élevée, il en résulte des consommations électriques du réseau importantes. Ces consommations électriques qui ne comprennent que 12% d'électricité renouvelable.

Certes, cette consommation électrique du réseau permet une réduction importante des émissions de CO₂ par rapport au scénario de base (énergies fossiles pour le chauffage) du fait de la faible teneur carbonée de l'énergie nucléaire majoritaire dans le mix énergétique du réseau électrique français actuellement (cf. également page suivante et comparaison des scénarios dans le chapitre suivant).

2.3.4. Scénario 2 : Raccordement au réseau de chaleur et énergie solaire

2.3.4.1. Description du scénario

Ce scénario présente un raccordement au réseau de chaleur CPCU avec un mix énergétique composé de 52% d'énergies renouvelables et de récupération (majoritairement de valorisation de déchets 46% et la biomasse à 5 %.) Le réseau permettra de couvrir tous les besoins en chauffage et d'ECS.

Le solaire photovoltaïque et le solaire thermique présenté dans ce scénario sont en même proportion que le scénario précédent.

2.3.4.2. Résultats

Les tableaux ainsi que le graphe ci-après reprennent les principaux résultats de ce scénario.

Tabl. 14 - Caractéristiques techniques et économiques des énergies renouvelables du scénario 2

Potentiel de chaque énergie étudiée scénario 2				
	Unité	Raccordement réseau de chaleur	Solaire thermique	Photovoltaïque
Besoins d'énergie considérés	électrique ou thermique	thermique (chauffage et ECS)	thermique (ECS)	électrique
	Détail	Couverture des besoins de chauffage et d'ECS	Équipement prioritaire des toitures des logements, taux de couverture annuel visé de 50%. Les commerces, école et équipements sportifs ne sont pas équipés (solution électrique retenu à ce moment-là).	Équipement des toitures pertinentes non végétalisées pour produire de l'électricité au meilleur tarif. Absence de couverture des besoins (vente d'électricité intermittente).
Investissement initial	€ HT	454 200 €	0 €	2 675 424 €
Dimensionnement pour atteindre le potentiel	Puissance - kW	3 855 kWth	-	3 344 kWc
	Production - MWh/an (thermique ou électrique)	7 709	800	3 020
Frais de maintenance et renouvellement matériel annualisés (P2, P3)	€ HT	154 186	0	94 961
Recettes annuelles bruts ou par rapport à solution de référence (P1+P2+P3)	€ HT	-115 560	158 465	314 078
Coût actualisé de l'énergie produite	€/ MWh (thermique ou électrique)	59	28	69
Emissions de CO ₂ évités	T CO ₂ /an	111	8	142
Temps de retour brut pour l'ensemble du quartier	Années	immédiat car investissement solution de base plus coûteux	0	12 ans

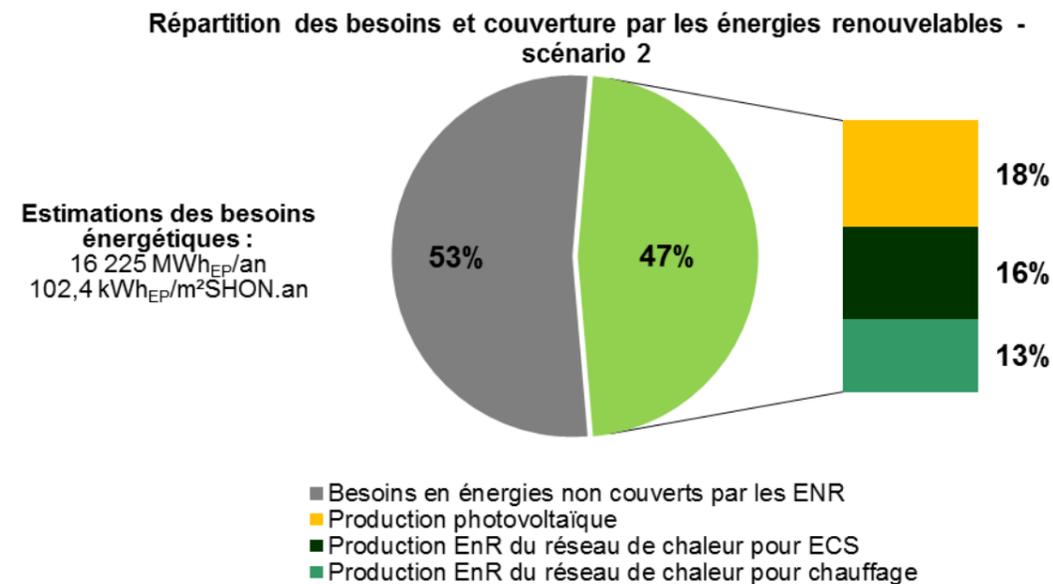


Fig. 9. Couverture en énergies renouvelables des besoins du secteur Gares des Mines-Fillettes - scénario 2

Ce scénario permettrait d'atteindre l'équilibre entre les consommations énergétiques et la production en énergies renouvelables.

La part restante étant constituée des énergies conventionnelles alimentant le réseau de chaleur pour le chauffage et l'ECS de la zone et les autres usages électriques.

2.3.5. Comparatif des scénarios

Les résultats du comparatif des scénarios proposés avec le scénario de base en termes de coût global et d'émissions de GES évitées sont présentés dans le graphique suivant.

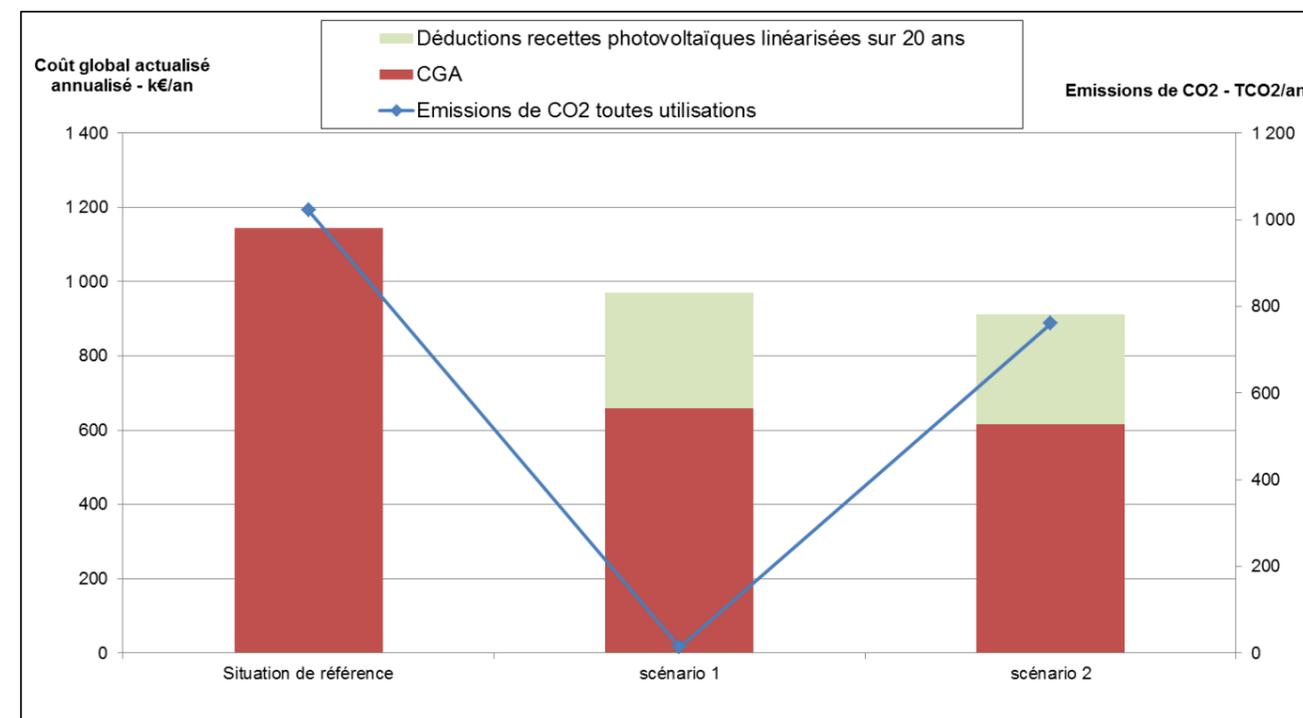


Fig. 10. Comparatif des scénarii proposés avec le scénario de référence

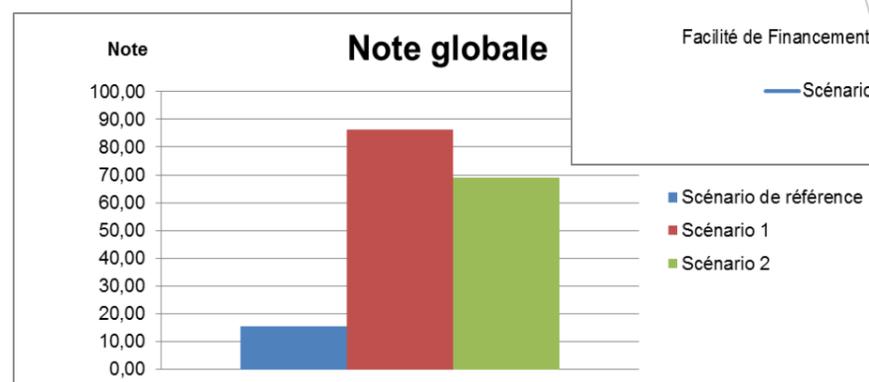
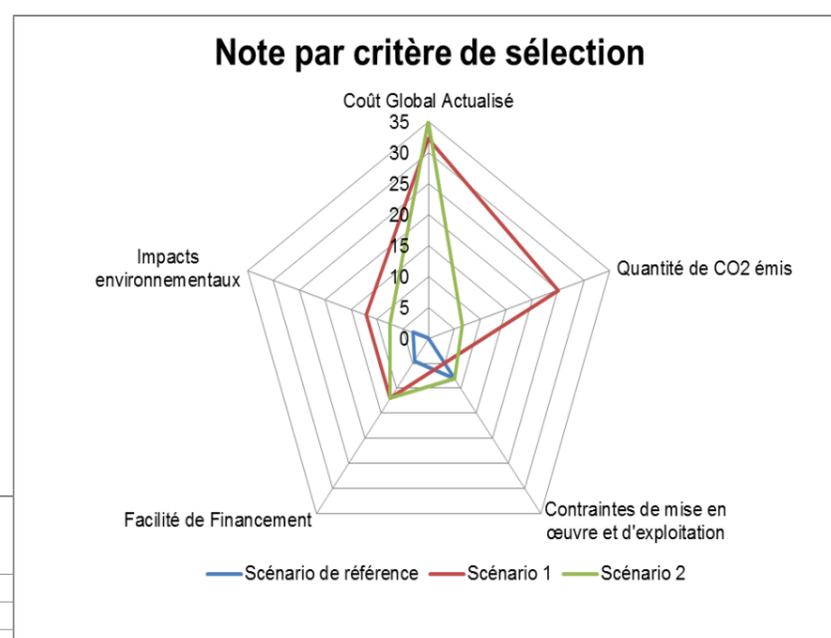
Le scénario 1 présente des émissions de gaz à effet de serre faibles du fait que d'une part, l'électricité du réseau français utilisée par la PAC géothermique est peu émettrice de CO2 en complément des émissions de CO2 évitées par le solaire thermique. Le scénario 2 présente logiquement des émissions de gaz à effet de serre plus élevées du fait du recours à des énergies fossiles pour la production d'énergie alimentant le réseau de chaleur.

Concernant le coût global, c'est le scénario 2 qui apparaît le plus intéressant, une fois déduite les recettes de la production photovoltaïque. Du fait de la densité thermique relativement bonne du réseau de chaleur à mettre en place, il est possible que ce CGA soit en définitive un moins élevé mais les recettes photovoltaïques compensent dans tous les cas, de façon importante le coût du scénario.

Par ailleurs, il est à noter que le coût global de ces scénarios peut évoluer en fonction des évolutions des coûts du marché photovoltaïque et des énergies d'appoint mobilisées notamment dans le cas du scénario 2 où le réseau de chaleur reste alimenté à 52,3% par les énergies renouvelables.

Pour compléter cette analyse, une approche multicritère est proposée come outil d'aide à la décision ci-dessous :

N°	Critère	Min	Max	Pondération
1	Coût Global Actualisé	616	1 145	0
2	Quantité de CO2 émis	14	1 022	0
3	Contraintes de mise en œuvre et d'exploitation	Fort	Très faible	0
4	Facilité de Financement	Faible	Fort	0
5	Impacts environnementaux	Fort	Très faible	0



La notation proposée repose sur des critères techniques, économiques et environnementaux. Le scénario présentant la meilleure note au vu des pondérations appliquées (Cf. premier tableau de la figure) est le scénario 1 comprenant la solution géothermie.

3. CONCLUSION GENERALE SUR L'ETUDE

En conclusion, il est important de rappeler que :

- Avant toute mise en œuvre d'énergie renouvelable, il est nécessaire de travailler sur l'enveloppe du bâtiment et sur son orientation pour consommer le moins possible. Ces paramètres sont aujourd'hui bien repris dans la réglementation thermique du bâtiment RT 2012.
- Les solutions mettant en œuvre des énergies renouvelables trouveront un intérêt économique supplémentaire en comparaison aux énergies fossiles si une taxe carbone sur les énergies venait à être mise en place. Cette analyse est importante car elle permet d'estimer la « dépendance » de chaque scénario à une telle taxe. A titre d'exemple, pour un logement individuel, une taxe de l'ordre de 20 € la tonne de CO2 engendrerait un surcoût de 5 600 € sur 20 ans pour une solution « chauffage gaz avec ECS par ballon thermodynamique » en comparaison à une solution « chauffage bois et ECS solaire thermique ». Cette taxe pourrait à l'avenir favoriser certaines technologies au détriment d'autres.

L'approche menée a été réalisée sur la base de ratios réglementaires. Il est notamment difficile de prévoir à ce stade :

- l'orientation et l'inclinaison définitive des toitures des bâtiments. Ces éléments entrent en ligne de compte pour faciliter ou non la mise en œuvre de certaines énergies renouvelables (solaire photovoltaïque et solaire thermique).
- Les consommations prises en compte correspondent aux consommations d'énergie issues de la RT 2012-20%. Elles sont forcément différentes de celles qui seront constatées durant l'exploitation des bâtiments. Les facteurs entrant en ligne de compte seront les usages précis (notamment process), le nombre d'utilisateurs et le niveau de confort thermique souhaité par chaque usager, etc.

Attention, les hypothèses prises en compte pour l'actualisation et les coûts des énergies et de la maintenance, sont par nature discutables. Il serait intéressant de compléter cette étude par une analyse de sensibilité économique de chaque solution en faisant varier une à une chaque hypothèse. En effet, il peut être intéressant de voir si le « classement » des solutions évoluerait avec des hypothèses différentes d'indexation du coût des énergies.

Le travail réalisé a vocation de définir un certain nombre de jalons essentiels à la mise en place d'une stratégie énergétique à l'échelle d'une zone d'aménagement, tels que :

- Faire un premier choix parmi les énergies renouvelables envisageables sur la zone d'aménagement : l'aménageur étant a priori la Collectivité sur cette ZAC, la conception complète sera validée par ses soins laissant la possibilité d'intégrer dès la construction :

- Un bon agencement des bâtiments pour optimiser l'utilisation des énergies renouvelables et les apports passifs ;
- Les énergies renouvelables retenues ;
- Mettre en relief la nécessité de bien séparer les énergies renouvelables permettant de couvrir les besoins, de celles qui produisent l'électricité de façon intermittente.

4.1. Présentation et acteurs

Un réseau de chaleur est un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur à plusieurs bâtiments pour le chauffage et/ou l'eau chaude sanitaire. Le réseau de chaleur est constitué d'une ou plusieurs unité(s) de production de chaleur, d'un réseau primaire de canalisation, empruntant le domaine public ou privé, transportant de la chaleur vers des postes de livraison, appelés sous-stations, pour alimenter des utilisateurs (ou usagers). Au niveau juridique, on parle de réseau de chaleur lorsque le producteur de chaleur exploitant la chaufferie est juridiquement distinct des usagers consommateurs de l'énergie thermique, au moins au nombre de deux. Les collectivités locales (communes ou groupement de communes) ont la compétence de distribution de chaleur et peuvent ainsi créer un service public local de distribution de chaleur.

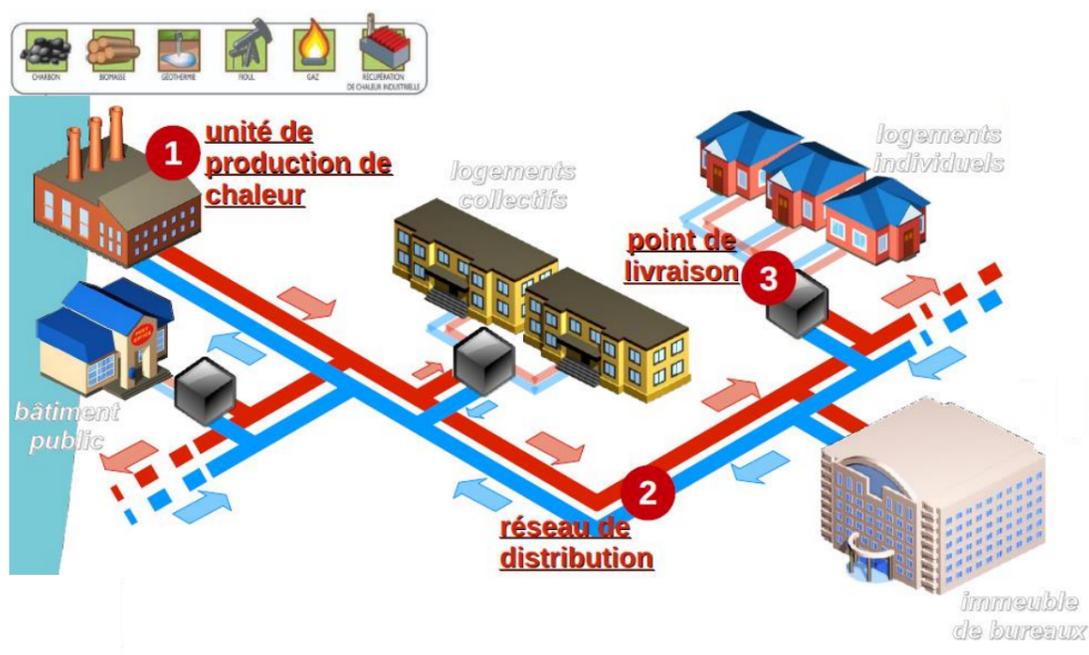


Fig. 11. Schéma de principe d'un réseau de chaleur

Source : CETE de l'Ouest (2012) Réseaux de chaleur – montages juridiques

Un réseau de chaleur est généralement établi sur l'initiative d'une collectivité locale (souvent communale ou intercommunale) qui est l'autorité responsable du service public de distribution de chaleur. Un réseau de chaleur est de ce fait, dans la plupart des cas, un service public que la collectivité peut soit exercer elle-même via ses propres services

techniques ou au travers d'une « régie », soit déléguer, tout ou partie des responsabilités afférentes à la fourniture du service, à une entreprise privée, « l'opérateur ». La collectivité locale ou l'entreprise privée en charge de la délégation de service public vend la chaleur à ses abonnés, les gestionnaires des bâtiments.

La gestion d'un réseau de chaleur par les services d'une collectivité est rare car il suppose que la collectivité dispose, au sein de ses services, des moyens techniques et humains lui permettant d'assurer le fonctionnement et l'entretien des installations.

L'opérateur est une société spécialisée, choisie par la collectivité après mise en concurrence. L'opérateur est responsable du bon fonctionnement de l'installation. Il est l'interlocuteur des usagers et rend compte de ses activités à la collectivité, selon les termes du contrat de délégation de service public.

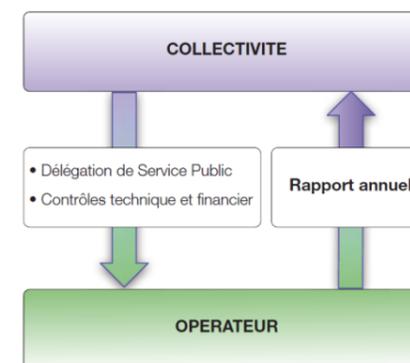


Fig. 12. Les relations Collectivité / Opérateur

Source : Guide de l'utilisateur du chauffage urbain (ADEME / Via Seva)

La collectivité est l'autorité compétente. Elle est en charge de :

- définir le périmètre à l'intérieur duquel le réseau se développe ;
- définir les caractéristiques techniques de la production de chaleur ;
- choisir le mode de financement, d'exploitation et l'opérateur du réseau ;
- élaborer et signer les actes (notamment les contrats) nécessaires à la mise en œuvre de ses décisions ;
- contrôler la bonne exécution des contrats ;
- analyser chaque année les documents d'exploitation (rapport annuel) ;
- organiser la concertation et l'information des usagers et tenir à la disposition du public les documents réglementaires ;
- négocier les éventuelles modifications (changement d'installations, de mode d'exploitation, modernisation ou extension du réseau, évolution de la tarification, diversification de la production de chaleur...).

L'opérateur du réseau :

- Réalise ou fait réaliser sous son contrôle les ouvrages nécessaires à la production et à la fourniture de la chaleur ;
- Assure la conformité, le renouvellement et la modernisation des ouvrages ;
- Conduit et entretient les ouvrages et établit des programmes prévisionnels de travaux ;
- Module les énergies dans un souci économique, environnemental et de sécurité d'approvisionnement et garantit la continuité du service ;
- Garantit la fourniture de chaleur nécessaire au chauffage des bâtiments et, le cas échéant, à la production de l'eau chaude sanitaire ;
- Assure le comptage de l'énergie livrée en sous-station ;
- Prend toutes mesures intéressant la sécurité ainsi que toutes mesures d'urgence lorsqu'elles sont nécessaires ;
- Réalise chaque année un compte-rendu technique et financier de l'exploitation ;
- Transmet à l'autorité compétente, en fin de contrat, tous les biens et équipements.

Les gestionnaires des bâtiments représentent les usagers des bâtiments chauffés par le réseau. Ils signent les contrats d'abonnement avec l'opérateur, gestionnaire du réseau primaire. Ils organisent la circulation de l'information entre les usagers et l'opérateur. Tout particulièrement, le gestionnaire du bâtiment doit vérifier les factures reçues de l'opérateur, les régler dans les délais contractuels, répartir les charges correspondantes entre les occupants de l'immeuble et en collecter les montants. La responsabilité des installations de chauffage et d'eau chaude sanitaire internes à l'immeuble (réseau secondaire) incombe au gestionnaire du bâtiment. Celui-ci en confie généralement l'entretien, la maintenance et la garantie de performances à une société prestataire de services en efficacité énergétique (opérateur du secondaire).

Cette organisation est résumée par le schéma suivant :

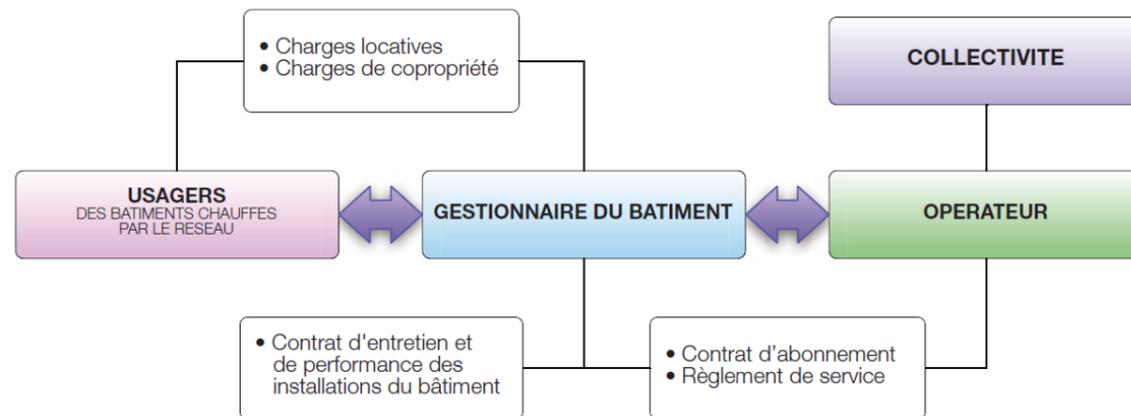


Fig. 13. Relation usagers / gestionnaire du bâtiment / opérateur
Source : Guide de l'utilisateur du chauffage urbain (ADEME / Via Seva)

4.2. Modalités de gestion du réseau de chaleur

Pour gérer son « service public industriel et commercial » de distribution de chaleur, l'autorité organisatrice a le choix entre les divers modes de gestion qui sont analysés ci-après dans l'ordre décroissant de l'implication de la collectivité sur les différentes phases d'un projet de réseau de chaleur.

	Financement	Réalisation des investissements	Exploitation & gestion
REGIE	●	●	●
AFFERMAGE	●	●	● 10 à 15 ans
CONCESSION	●	●	● 20 à 30 ans

Collectivité ● Opérateur ●

Fig. 14. Les différents modes d'exploitation d'un réseau de chaleur
Source : Guide de l'utilisateur du chauffage urbain (ADEME / Via Seva)

La régie

Dans le cas d'une régie, le service est géré par la collectivité elle-même, avec trois solutions possibles:

- **Régie directe** (appelée aussi "régie de fait" ou "régie simple"): il s'agit d'un service municipal comme un autre, avec en général (mais pas obligatoirement) du personnel à statut communal, et un budget particulier identifié au sein du budget de la collectivité ;
- **Régie à autonomie financière**, gérée par un conseil d'exploitation désigné par le conseil municipal, dont le budget, indépendant du budget de la commune, est cependant voté par le conseil municipal ;
- **Régie à personnalité morale et autonomie financière** (dite "régie personnalisée"), avec un Conseil d'Administration désigné par le Conseil Municipal, un budget autonome, et un personnel à statut spécifique; elle peut posséder un patrimoine propre.

La gestion en régie est utilisée par une cinquantaine de réseaux de chaleur français, soit 11% du nombre mais seulement 3% de l'énergie finale délivrée. Cette gestion est donc préférée dans le cas des réseaux de petite taille.

Cas particuliers de régies :

- Le contrat d'exploitation à l'entreprise, ou marché à l'entreprise (ou régie à l'entreprise), ou marché de prestation de service : il s'agit d'une régie directe où la construction et/ou l'exploitation sont confiées à une entreprise dans le cadre d'un marché public de prestation de service (donc soumis aux règles du Code des Marchés Publics). L'entreprise est rémunérée par la collectivité, qui peut l'autoriser à percevoir pour son compte le prix de la chaleur auprès des abonnés.
- La régie intéressée (ou mandat) et la gérance : après avoir construit les ouvrages, la collectivité charge un régisseur ou un gérant de les exploiter, moyennant une rémunération fixe (gérance) ou liée en partie aux résultats (régie intéressée). Ces modes de gestion ne sont quasiment pas utilisés en réseau de chaleur.

La délégation de service public, affermage et concession

Aujourd'hui plus de 54% des réseaux de chaleur, représentant 83% de l'énergie finale délivrée, sont gérés en délégation de service public, sous le régime de l'affermage ou de la concession. Le choix du concessionnaire ou du fermier est fait par la collectivité après recours obligatoire à une mise en concurrence des opérateurs.

La définition de la délégation de service public par la loi est très récente (loi MURCEF du 11 décembre 2002). Selon l'article L1411-1 du Code général des collectivités territoriales : «Une délégation de service public est un contrat par lequel une personne morale de droit public confie la gestion d'un service public dont elle a la responsabilité à un délégataire public ou privé, dont la rémunération est substantiellement liée aux résultats de l'exploitation du service. Le délégataire peut être chargé de construire des ouvrages ou d'acquérir des biens nécessaires au service.»

La concession et l'affermage ne sont pas soumis au Code des Marchés Publics, mais aux dispositions de la loi Sapin (loi du 29 Janvier 1993).

L'affermage

L'affermage est une forme particulière de concession qui se distingue par le fait que les dépenses d'investissement sont réalisées par la collectivité. Le « fermier » reçoit un outil prêt à servir et l'exploite à ses risques et périls au moyen du prix payé par les usagers. La collectivité est remboursée de l'amortissement des investissements, soit en une seule fois par des droits de raccordement demandés aux abonnés lors du branchement, soit au fil des ans par un supplément (ce supplément est appelé "redevance d'affermage" ou "surtaxe") que le fermier inclut dans son tarif de vente de la chaleur et qu'il reverse à la collectivité.

La concession

La concession est un contrat qui charge un particulier ou une société d'exécuter un ouvrage public et d'en assurer le fonctionnement selon les règles de service public, à ses risques et

périls, avec ou sans garantie d'emprunt. Le concessionnaire se rémunère par la perception du prix de vente du service acquitté par les usagers.

Bilan des modalités de gestion des réseaux de chaleur en France

Selon la dernière enquête nationale sur les réseaux de chaleur et de froid réalisée par le SNCU³ sur des données de 2010, la « délégation de service public » sous la forme d'une « concession » (37% des cas mais 67% de l'énergie délivrée) ou d'un « affermage » (17% des cas et 19% de l'énergie délivrée), est le mode de gestion des réseaux de chaleur le plus utilisé en France devant l'exploitation en régie (43% des cas en comptant régie et contrat d'exploitation, mais représentant seulement 16% de l'énergie délivrée). Cette étude montre que les petits réseaux sont plutôt en régie, les gros réseaux plutôt en Délégation de Service Public (et plutôt en concession qu'en affermage).

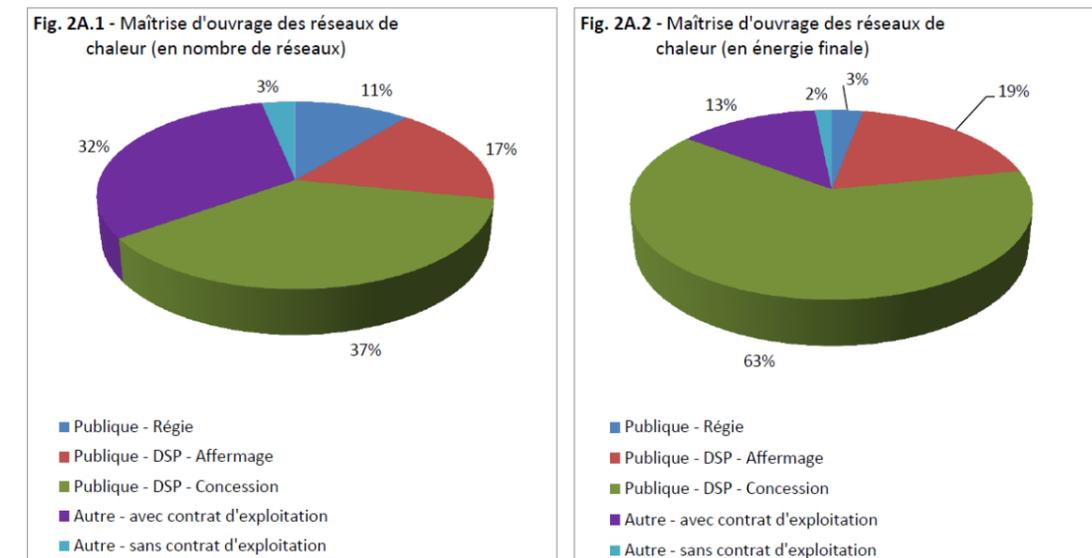


Fig. 15. Maîtrise d'ouvrage des réseaux de chaleur

Source : SNCU (2012), Enquête nationale sur les réseaux de chaleur et de froid – Statistiques 2010

³ <http://www.fedene.fr/content/la-federation/les-syndicats/sncu>

	>65 à < 150	520
	65 et moins	450

4.3. Les aides accordées à la mise en place d'un réseau de chaleur : le Fonds chaleur

Engagement majeur du Grenelle Environnement, le Fonds Chaleur a pour objectif de développer la production de chaleur à partir des énergies renouvelables (biomasse, géothermie, solaire thermique ...). Il est destiné à l'habitat collectif, aux collectivités et à toutes les entreprises (agriculture, industrie, tertiaire). La gestion de ce fonds a été confiée à l'ADEME. Le Fonds Chaleur a pour objectif de financer les projets de production de chaleur à partir d'énergies renouvelables (biomasse, géothermie, solaire...), tout en garantissant un prix inférieur à celui de la chaleur produite à partir d'énergies conventionnelles.

Dans ce contexte, le soutien aux réseaux est une aide à l'investissement et porte sur la fonction « distribution » des réseaux de chaleur. Il s'ajoute aux soutiens mis en place pour la fonction « production » d'énergies renouvelables et de récupération (EnR&R). Les projets de réseau de chaleur sont gérés au niveau régional par les directions régionales de l'ADEME en synergie avec les Régions.

L'aide du fond chaleur aux réseaux est conditionnée aux principaux critères suivants :

- Dans le cas d'une création, le réseau est alimenté au minimum par 50% d'EnR&R ;
- Dans le cas d'une extension, les besoins de chaleur de l'extension sont couverts au minimum à 50% par une production supplémentaire d'EnR&R et l'extension de réseau doit représenter une longueur minimum de 200 mètres linéaires et permettre de valoriser au minimum 25 tep/an d'EnR&R (soit 290 MWh/an) ;
- La densité thermique du réseau doit être à terme (soit au plus tard au moment du dernier versement du Fonds Chaleur) au **moins égale à 1,5 MWh/an.mètre linéaire**. Les MWh sont à considérer "livrés en sous-stations" ;
- Exception (depuis 2012): Si la densité énergétique du réseau est inférieure à 1,5 MWh/ml.an, l'aide sera plafonnée à 1000 €/tep EnR&R transportée (soit 50 €/tep sur 20 ans) ;
- Les aides du Fonds Chaleur doivent avoir un impact positif pour l'abonné (engagement chiffré du pétitionnaire porté à la connaissance de la collectivité).

Le taux d'aide maximum au réseau de chaleur (AR) représente **55%** (2013) de l'investissement réseau avec un plafond d'assiette de l'aide limitée à une valeur en €/mètre linéaire de tranchée selon le tableau ci-dessous :

Type de réseau	Diamètre Nominal du réseau	Plafond assiette (€/ml de tranchée)
Haute pression (vapeur, eau surchauffée)	Tous DN	1 800
Basse pression (eau chaude)	300 et plus	900
	150 à < 300	710

Selon les nouvelles conditions 2012 d'obtention du Fonds Chaleur, les projets de réseaux de chaleur qui présente une densité énergétique faible (inférieure à 1.5 MWh/ml.an) peuvent tout de même bénéficier d'une aide mais celle-ci est très limitée.

Selon une étude menée par le CETE de l'Ouest⁴ sur des éco quartiers pour lesquels les études ont conclu à la faisabilité d'un réseau de chaleur, les densités de construction peuvent être extrêmement variables (40 logements par ha pour Vidailhan ou Ecovela, autour de 150 à Nanterre, près 200 pour Le Fort). On ne peut donc pas dire que le réseau de chaleur n'est adapté qu'aux quartiers très denses.

Quartier	Logements par ha	Logement - m²/ha	Activité - m²/ha	total m²/ha
Temps Durables – Limeil-Brevanne	132	10500	421	10921
Le Fort – Issy-les-Moulineaux*	192	13440	250	13690
Centre Ste-Geneviève – Nanterre	130	9100	200	9300
Hoche – Nanterre	160	12450	375	12825
Bretigny-sur-Orge	57	3990	476	4466
Ginko – Bordeaux	67	4690	1875	6565
Gare de Rungis – Paris	100	4333	9166	13499
Ecovela – Viry	41	3742	674	4416
Vidailhan – Balma	39	1470	0	1470
Calais	87,5	7000	100	7100
Bastille – Fontaine*	102	7140	143	7283

Fig. 16. Exemple de cas d'écoquartiers pour lesquels un réseau de chaleur a été déclaré pertinent

En **bleu** : valeurs calculées à partir des données de l'Eco quartier

En **jaune** : valeurs faisant intervenir un ratio de 70m² par logement (estimations)

Comme ce projet est constitué uniquement de bâtiments neufs, il pourra être privilégié des solutions techniques récentes comme les réseaux basse température, l'ajustement automatique des températures, la sur-isolation, les canalisations souples pré-isolées ou le stockage thermique qui sont des techniques qui permettent de réduire le coût d'investissement et/ou de fonctionnement du réseau.

Enfin, il est à noter que le Fonds chaleur a été révisé début 2014 et que les données présentées ci-dessus sont les dernières à jour concernant ce Fonds.

⁴ CETE Ouest (05/2012), Réseaux de chaleur et nouveaux quartiers

Pour plus d'informations :

AMORCE, *Le cadre juridique du service public de chaleur* - RCJ 06

Etude disponible en ligne sur : <http://www.amorce.asso.fr/IMG/pdf/RCJ06.pdf>

MEEDTL - CETE de l'Ouest (2012), *Réseaux de chaleur : montages juridiques*

Diaporama disponible en ligne sur : <http://www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr/creation-de-reseaux-de-chaleur-a999.html>

SRCAE Rhône-Alpes (2011), *Les réseaux de chaleur – Etat des lieux et perspectives de développement en Rhône-Alpes*, disponible en ligne sur :

http://srcae.rhonealpes.fr/static/cms_page_media/24/CONTRIBUTION_SRCAE_RESEAU_CHALEUR_V4.pdf

ADEME (03/2014), *Fonds Chaleur Renouvelable – Méthode de calcul du niveau d'aide 2012 - Mise à jour le 07/03/2014*, consulté en ligne le 03/04/2014 :

http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=6D372E8A0075F88D38BC19230B5AB572_tomcatlocal1394459887125.pdf

ADEME (2012), *Présentation du Fonds chaleur – Contexte et enjeux*, consulté en ligne le 04/09/2012 :

<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=25130>

CETE Ouest (05/2012), *Réseaux de chaleur et nouveaux quartiers*, étude consultée en ligne le 04/09/2012 sur :

http://www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/120514_RAP_rdc-nouveaux-quartiers_v1-4.pdf

CETE Ouest (03/2012), *Place des réseaux de chaleur dans les nouveaux quartiers – Effet de la densité et de la mixité sur la pertinence énergétique d'un réseau de chaleur*,

étude consultée en ligne le 04/09/2012 sur : http://www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/120321_RAP_rapport_phase2.pdf