

**D.b - Etude de faisabilité sur le  
potentiel de développement des  
énergies renouvelables**

---

- Juillet 2020 -



**TRANS  
FAIRE**

# Sommaire

- A. Objectifs ..... 3
- B. Réglementations et engagements environnementaux..... 4
- C. Filières énergétiques disponibles et contraintes associées ..... 10
- D. Hiérarchisation des filières énergétiques pour la ZAC ..... 24
- E. Consommations initiales et scénarios ..... 27
- A. Comparaison des scénarios ..... 34
- F. Approche en coût global ..... 36

# 1. OBJECTIFS

---

## 1.1. *Obligation réglementaire*

Le projet est réalisé selon une procédure de ZAC. L'article L128-4 du Code de l'Urbanisme (créé par la loi Grenelle 1) impose à toute opération d'aménagement (telle que définie à l'article L300-1) faisant l'objet d'une étude d'impact la réalisation d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables (EnR), en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur (ou de froid) ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération.

L'étude doit réaliser un état de lieux des énergies disponibles sur le site et étudier la faisabilité de leur mise en œuvre pour répondre à la question : « est-il techniquement et économiquement possible de développer les énergies renouvelables dans le cadre de cette opération d'aménagement, et si oui par quel(s) moyen(s) ? ».

À ce jour, il n'y a pas de décret d'application qui précise de manière détaillée le contenu de l'étude. Aussi nous privilégions une approche pragmatique adaptée au programme et au stade d'avancement du projet.

## 1.2. *Objectifs de l'étude*

Les objectifs de ce document sont de :

- analyser des directives et politiques énergétiques à différentes échelles,
- présenter les différentes filières énergétiques disponibles sur le site,
- hiérarchiser les filières énergétiques sur le site pour constituer une aide à la décision en matière d'investissement énergétique,
- estimer les consommations énergétiques futures de la ZAC,
- étudier des scénarii d'approvisionnement en énergie intégrant des énergies renouvelables et la pertinence d'un réseau de chaleur,
- réaliser une approche des coûts et du modèle économique.

## 2. REGLEMENTATIONS ET ENGAGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX

Voici un recensement des différentes réglementations ou cadres volontaires auxquels le site est soumis, suivant la thématique des énergies renouvelables et réseaux de chaleur.

Les documents analysés sont les suivants, du plus global au plus local :

- Le **Plan Climat Énergie Européen** fixant des objectifs pour la France à l'horizon 2020.
- Le **Grenelle de l'Environnement (I et II)**.
- La **loi relative à la Transition Énergétique Pour la Croissance Verte**.
- Le **Code de l'Urbanisme**.
- Les **réglementations thermiques RT2012** et RT Existant.
- Le **Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCAE)** de l'Île-de-France dans sa version définitive du 14 décembre 2012.
- Le **Plan de Protection de l'Atmosphère** pour l'Île-de-France approuvé le 31 janvier 2018.
- Le **Plan Climat Air Énergie Métropolitain (PCAEM)** du Grand Paris approuvé en novembre 2018.
- Le **Contrat de Développement Territorial** Boucle nord des Hauts-de-Seine signé le 10 février 2014 entre l'état et les villes de Gennevilliers, Asnières-sur-Seine, Bois-Colombes et Colombes.
- Le **PLU** de Gennevilliers.
- Le projet de requalification citoyenne et sociale urbaine et environnementale (janvier 2014) sur le quartier des Agnettes.

L'ensemble de ces documents donnent les orientations énergétiques à prendre en compte pour la réalisation de nouvelles zones d'aménagement tel que celle de la ZAC des Agnettes.

### 2.1 Objectifs internationaux

Le Plan Climat Énergie Européen adopté le 23 janvier 2008 par la Commission Européenne vise un objectif européen dit 3 X 20, consistant à :

- Diminuer de 20 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990.
- Réduire de 20 % la consommation d'énergie primaire par rapport au scénario tendanciel.
- Atteindre 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergies finales en 2020.

La directive 2009/28/CE du parlement européen et du conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables fixe la répartition des objectifs à atteindre pour la France à une production de 23 % de sa consommation d'énergie à partir d'énergies renouvelables en 2020, alors qu'elle n'était que de 10 % en 2005.

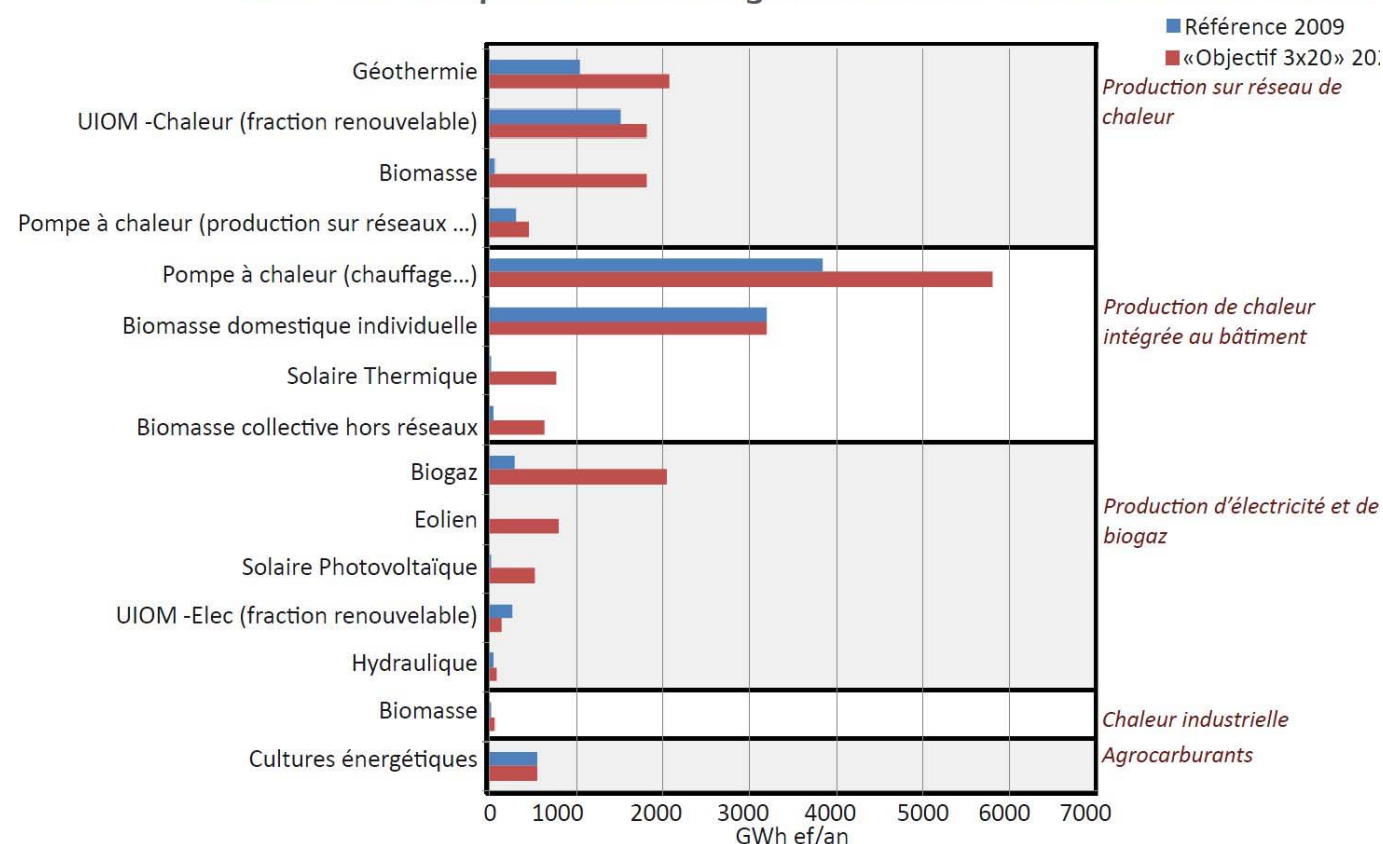
Cet objectif a été décliné par filières, pour privilégier celles qui sont les plus pertinentes pour la France, grâce à un mécanisme de subventions.

Ces aides doivent notamment donner une impulsion pour développer les filières biogaz, biomasse et géothermie.

Le 22 janvier 2014, la Commission Européenne a annoncé le second « paquet énergie climat » à travers de nouveaux objectifs pour 2030, en particulier la réduction des émissions de gaz à effet de serre de 40 % (par rapport au niveau 1990), et une part de 27 % d'énergie renouvelable dans le mix énergétique européen. Cependant cette annonce

pourra se traduire par une baisse des ambitions, ces règles ne s'appliquant plus individuellement (à chaque État membre) mais collectivement, à l'échelle européenne.

### Evolution de la production d'énergie renouvelable suivant le scénario «3X20»



Simulation du développement des filières pour le respect du scénario européen 3x20. Source: SRCAE Île-de-France, 2013

## 2.2 Contexte national

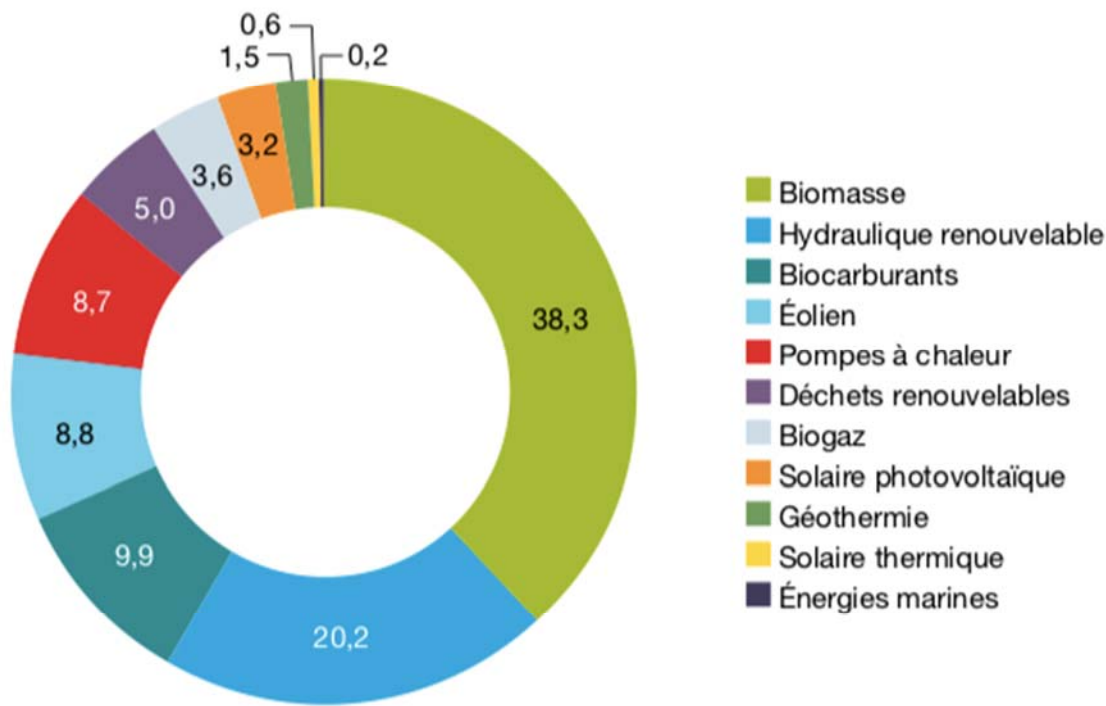
### 2.2.1 ÉNERGIES RENOUVELABLES

La part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie de la France a progressé de près de 7 points sur les dix dernières années, passant de 9,3 % en 2006 à 16,0 % en 2016. En 2018, la production primaire d'énergies renouvelables s'élève à 27,7 Mtep. Les principales filières restent la biomasse solide (38,3 %), l'hydraulique renouvelable (20,2 %), les biocarburants (9,9 %), l'éolien (8,8 %) et les pompes à chaleur (8,7 %).

PRODUCTION PRIMAIRE D'ÉNERGIES RENOUVELABLES PAR FILIÈRE

TOTAL : 27,7 Mtep en 2018

En %

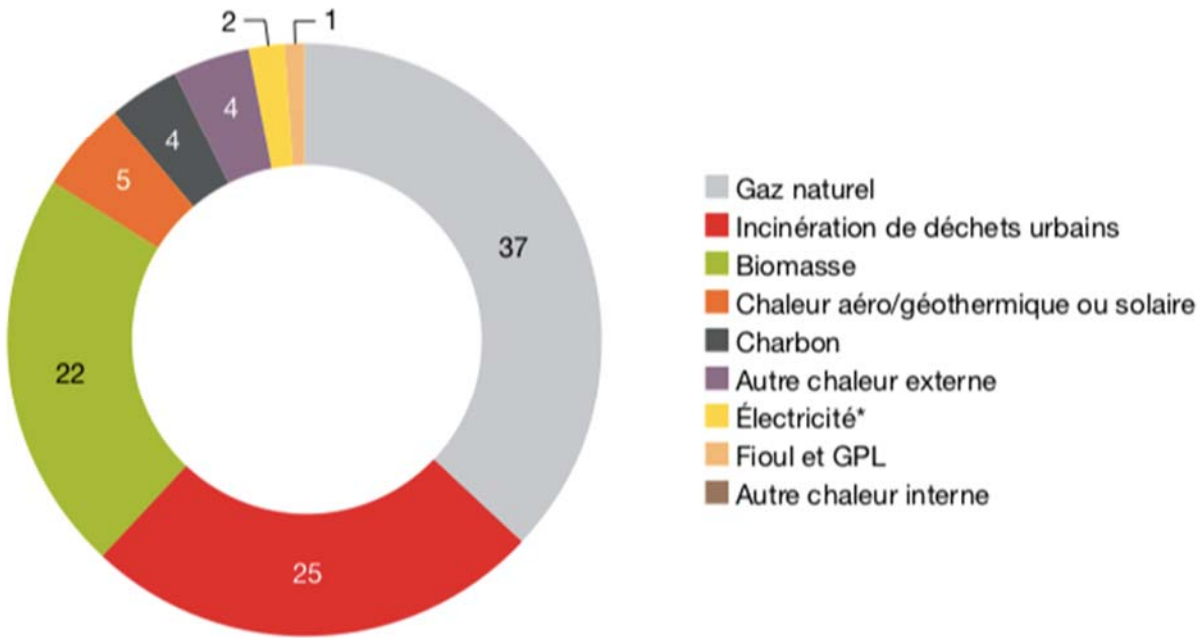


Champ : France entière (y compris DOM).  
Source : SDES, d'après les sources par filière

Source : Chiffres clés de l'énergie, Édition 2019, MEDDE

BOUQUET ÉNERGÉTIQUE DES RÉSEAUX DE CHALEUR EN 2017

En %



\* Comprend la consommation des chaudières électriques et la consommation annexe des auxiliaires.  
Note : hors proportion de combustibles utilisée pour la production d'électricité lorsque le réseau de chaleur utilise un procédé de cogénération.  
Champ : France entière (y compris DOM).  
Source : SDES, enquête annuelle sur les réseaux de chaleur et de froid

Source : Chiffres clés de l'énergie - Édition 2019 - MEDDE

2.2.1.1 RESEAUX DE CHALEUR

En 2017, les réseaux ont livré aux consommateurs près de 2,2 Mtep de chaleur (nettes des pertes de distribution), soit 2 % de plus que l'année précédente malgré un climat globalement plus doux. À cette fin, ils ont consommé environ 2,9 Mtep d'énergie. Le gaz naturel est dépassé par les énergies renouvelables en 2017, en constante augmentation depuis 2007. Ces deux sources d'énergie sont les plus utilisées dans les réseaux (78 % de la consommation totale).

2.2.1.2 LE BATIMENT

Les chiffres clés pour le bâtiment en France sont les suivants :

- Le secteur du bâtiment représente 44 % de l'énergie consommée en France. Chaque année, il émet plus de 123 millions de tonnes de CO2 (données 2017).
- 53,6 % du parc des logements en France métropolitaine consomme entre 151 et 330 kWhEP /m²/an d'énergie (étiquette énergétique moyenne D ou E) (EP = énergie primaire), (données 2013).
- La consommation unitaire moyenne des logements est de 186kWhEP/m².an en 2011, avec une tendance à la baisse de -1,2 % par an.
- Le secteur tertiaire consomme lui 204 kWhEF/m².an en moyenne en 2011 (EF = énergie finale).
- Les résidences principales émettent chaque année 93 Mt de CO2.

### 2.2.1.3 LE GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT

Le Grenelle de l'environnement (I et II) est un programme de rupture technologique sur le bâtiment neuf. Lancé en 2007, il a pour objectif de renforcer la réglementation et de relever progressivement les normes en vue de généraliser les bâtiments à consommation d'énergie nulle ou à énergie positive.

Les échéances voulues par le Grenelle de l'environnement pour le bâtiment sont les suivantes :

- 2012/2013 : généralisation des logements neufs à basse consommation,
- 2020 : objectif de généralisation des logements neufs à énergie passive ou positive pour baisser de 38 % la consommation énergétique des bâtiments existants d'ici 2020 (article 5 de la loi Grenelle I),
- 2050 : facteur 4 – division par quatre des émissions de gaz à effets de serre par rapport à 1990, par l'amélioration des performances des bâtiments et le développement des EnR.

Le Grenelle II vise notamment à accélérer le rythme de rénovation énergétique dans l'ancien, via divers dispositifs : boîte à outils, gouvernance, aides et incitations financières...

### 2.2.1.4 CODE DE L'URBANISME

L'article L128-4 du Code de l'Urbanisme précise que « Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération ».

C'est l'objet du présent document.

### 2.2.1.5 LOI DE TRANSITION ENERGETIQUE POUR LA CROISSANCE VERTE

La loi relative à la Transition Énergétique Pour la Croissance Verte, publiée le 18 août 2015, vise « à permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et à la préservation de l'environnement, ainsi que de renforcer son indépendance énergétique tout en offrant à ses entreprises et ses citoyens l'accès à l'énergie à un coût compétitif. »

La loi fixe des objectifs à moyen et long terme, et notamment :

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

### 2.2.1.6 REGLEMENTATION THERMIQUE 2012

L'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions et l'arrêté du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments autres que ceux concernés par l'arrêté précédent fixent les valeurs maximales de consommation Cepmax par m<sup>2</sup>SRT/an par type de locaux (SRT = surface de plancher au sens de la RT).

Le respect de la RT2012 implique que la consommation en énergie primaire (chauffage, eau chaude sanitaire, auxiliaires de ventilation, éclairage, refroidissement) soit inférieure à un seuil exprimé en valeur absolue et modulable en fonction de la localisation, des caractéristiques et de l'usage des bâtiments.

### 2.2.1.7 EXPERIMENTATIONS ET LABELS

#### Label Energie positive et Réduction carbone (E+C)

Afin de préparer la future réglementation environnementale de la construction neuve sur une base partagée et pragmatique, une expérimentation nationale est lancée pour tester en grandeur réelle des niveaux d'ambition nouveaux et les questions de faisabilité.

Le label E+ C- vise à produire des bâtiments à énergie positive et à faible empreinte carbone au travers d'une démarche volontaire.

Le label définit 4 niveaux de performance en matière d'énergie et 2 niveaux pour l'impact carbone d'un bâtiment.

Les performances énergétiques des bâtiments vont ainsi de E1 à E4 :

Les premiers niveaux, E1 ou « Energie 1 » et E2 ou « Energie 2 », constituent une amélioration des performances à coût maîtrisé par rapport à la réglementation thermique RT2012, soit par des mesures d'efficacité énergétique, soit par le recours à des énergies renouvelables et de récupération (ENR&R).



- Le niveau E3 ou « Energie 3 » nécessite un effort en termes d'efficacité énergétique du bâti et des systèmes et un recours significatif aux ENR&R (chaleur et/ou électricité).
- Le niveau E4 ou « Energie 4 » correspond à un bâtiment qui produit autant voire plus qu'il consomme (bâtiment à énergie positive).
- Pour atteindre ces niveaux, le bâtiment doit présenter un niveau énergétique inférieur au niveau de bilan énergétique maximal du niveau considéré.
- $Bilan_{BEPOS} \leq Bilan_{BEPOS,max}$
- Le tableau ci-après présente les bilans énergétiques maximaux de chaque niveau relativement aux niveaux fixés par la RT2012.
- Les performances relatives aux émissions de gaz à effet de serre de ces bâtiments vont de C1 à C2 :
- Le niveau C1 ou « Carbone 1 » permet une connaissance de l'empreinte carbone du bâtiment, sans exigence de performance.
- Le niveau C2 ou « Carbone 2 » nécessite un travail de réduction de l'empreinte carbone des matériaux, des équipements mis en œuvre et de l'énergie consommée.

Il s'agit d'une expérimentation volontaire, sauf pour les nouvelles constructions sous maîtrise d'ouvrage de l'Etat, de ses établissements publics ou des collectivités territoriales qui doivent respecter a minima les exigences de performance des niveaux énergie 3 et carbone 1 du label E+C-.1

Niveau Energie	Maisons individuelles ou accolées	Bâtiments collectifs d'habitation	Bâtiments à usage de bureaux	Autres bâtiments soumis à la RT
E1	RT - 5 % + $Aue_{ref}$	RT - 5 % + $Aue_{ref}$	RT - 15 % + $Aue_{ref}$	RT - 10 % + $Aue_{ref}$
E2	RT - 10 % + $Aue_{ref}$	RT - 15 % + $Aue_{ref}$	RT - 30 % + $Aue_{ref}$	RT - 20 % + $Aue_{ref}$
E3	RT - 20 % + $Aue_{ref} - Prod_{ref}$	RT - 20 % + $Aue_{ref} - Prod_{ref}$	RT - 40 % + $Aue_{ref} - Prod_{ref}$	RT - 20 % + $Aue_{ref} - Prod_{ref}$
E4	$Bilan_{BEPOS,max} \leq 0$			

D'autres labels énergétiques reconnus existent, en particulier ceux portés par Effinergie :

- Label BBC (Bâtiment Basse Consommation) Effinergie 2017.
- Label BEPOS Effinergie 2017.
- Label BEPOS+ Effinergie 2017.
- Pour obtenir un label Effinergie, les projets doivent au préalable être conformes à la Réglementation Thermique 2012 et aux exigences minimales liées au référentiel E+C- définies dans le tableau ci-dessous.

Label Effinergie	Label E+C-	
	Niveau Energie	Niveau Carbone
BBC	2	1
BEPOS	3	1
BEPOS+	4	1

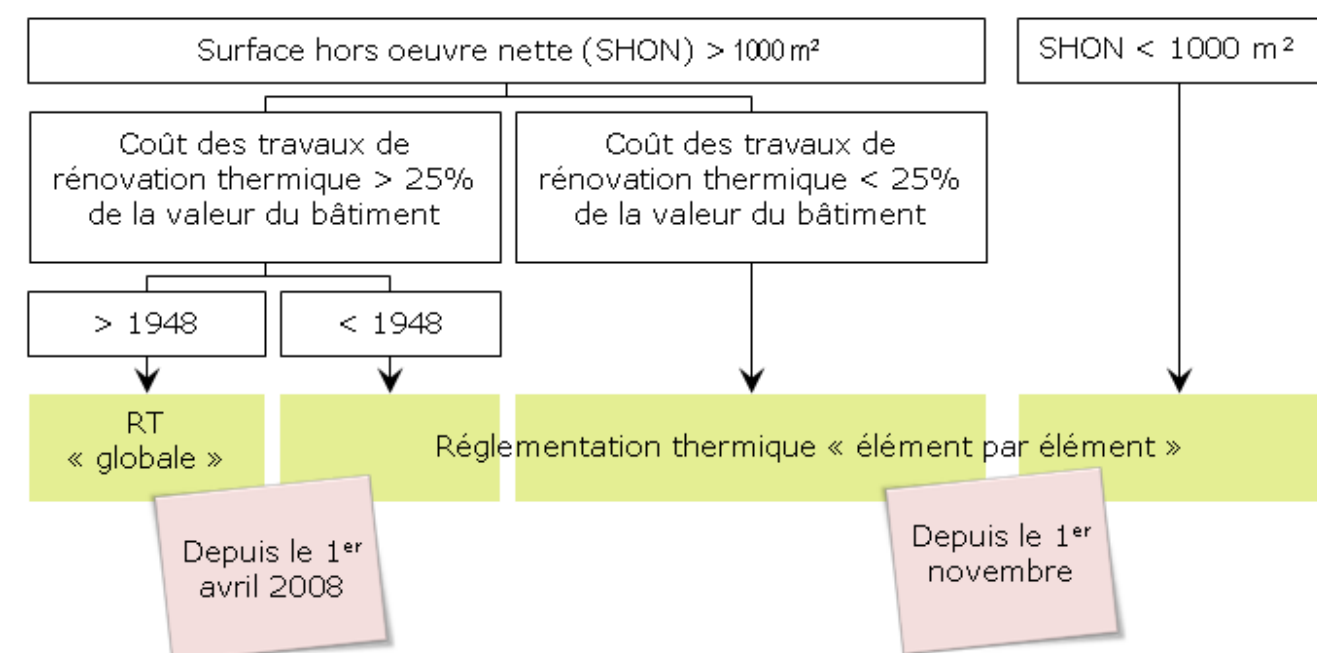
L'obtention d'un label Effinergie implique le respect d'exigences complémentaires telles que :

La sobriété et l'efficacité énergétique (respect d'un  $Cep \leq Cep_{max2} - 20\%$  pour les logements, exigence en matière d'étanchéité à l'air...).

La qualité et le confort.

L'appropriation du bien et la sensibilisation des futurs occupants aux enjeux de la transition énergétique

### 2.2.1.8 RT EXISTANT



Source : [www.rt-batiment.fr](http://www.rt-batiment.fr)

Officialisée dans le décret n° 2007-363 du 19 mars 2007, la Réglementation Thermique Existant s'applique à tout bâtiment faisant l'objet de travaux de rénovation énergétique.

On distingue 2 méthodes d'application selon l'importance des travaux et l'âge du bâtiment :

- La RT élément par élément fixe les valeurs minimales de performance énergétique par élément faisant l'objet d'une rénovation (fenêtres, toiture, chaudière...).
- La RT « globale » fixe un objectif de performance énergétique globale pour tout le projet. Cette méthode permet une souplesse vis-à-vis des contraintes spécifiques pour chaque bâtiment. Par exemple, l'impossibilité d'isoler un plancher bas pourra être compensée par un effort accru sur une autre partie du bâtiment. Depuis 2010, pour le logement, la consommation maximale définie par la RT Existant « globale » s'échelonne entre 80 et 165 kWhEP/m²/an en fonction des cas.

### 2.2.1.9 LABEL BBC RENOVATION OU EFFINERGIE RENOVATION

Ce label fixe les exigences suivantes :

- Les constructions résidentielles rénovées doivent consommer moins de 80 kWhEP/m².an multiplié par un coefficient dépendant de la localisation géographique et le l'altitude du bâtiment.
- Les constructions tertiaires rénovées doivent atteindre une consommation inférieure de 40 % à la consommation conventionnelle de référence définie dans la Réglementation Thermique Globale.

## 2.2.2 CONTEXTE REGIONAL

### 2.2.2.1 SCHEMA REGIONAL DU CLIMAT, DE L'AIR ET DE L'ENERGIE D'ÎLE-DE-FRANCE

Le Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) d'Ile-de-France, arrêté en décembre 2012, définit les trois grandes priorités régionales : le renforcement de l'efficacité énergétique des bâtiments avec un objectif de doublement du rythme des réhabilitations dans le tertiaire et de triplement dans le résidentiel, le développement du chauffage urbain alimenté par des énergies renouvelables et de récupération, avec un objectif d'augmentation de 40 % du nombre d'équivalents logements raccordés d'ici 2020, la réduction de 20 % des émissions de gaz à effet de serre du trafic routier, combinée à une forte baisse des émissions de polluants atmosphériques (particules fines, dioxyde d'azote).

Le SRCAE fixe 17 objectifs, les suivants pouvant concerner le projet :

- BAT1 Encourager la sobriété énergétique dans les bâtiments et garantir la pérennité des performances.
- BAT 2 Améliorer l'efficacité énergétique de l'enveloppe des bâtiments et des systèmes énergétiques.
- ENR 2 Favoriser le développement des énergies renouvelables intégrées au bâtiment.
- ELEC 1 Maîtriser les consommations électriques du territoire et les appels de puissance.
- TRA 1 Encourager les alternatives à l'utilisation des modes individuels motorisés.
- TRA 3 Favoriser le choix et l'usage de véhicules adaptés aux besoins et respectueux de l'environnement.
- URBA 1 Promouvoir aux différentes échelles de territoire un développement urbain économe en énergie et respectueux de la qualité de l'air.
- CD1 Réduire l'empreinte carbone des consommations des franciliens.
- AIR 1 Améliorer la qualité de l'air pour la santé des franciliens.
- ACC1 Accroître la résilience du territoire francilien aux effets du changement climatique.

### 2.2.2.2 LE PLAN CLIMAT AIR ENERGIE METROPOLITAIN (PCAEM)

La Métropole du Grand Paris a élaboré le Plan climat air énergie métropolitain (PCAEM), adopté en novembre 2018, afin de se doter d'une stratégie ambitieuse et mobilisatrice de transition énergétique, de reconquête de la qualité de l'air et d'adaptation au changement climatique. Cette ambition s'articule autour des objectifs stratégiques et opérationnels prioritaires suivants :

- Atteindre la neutralité carbone à 2050, c'est-à-dire zéro émission nette, en alignement avec la trajectoire 2°C issue de l'Accord de Paris et avec le Plan Climat national.
- Atteindre le facteur 4 à l'horizon 2050, en alignement avec le Schéma Régional Climat Air Énergie d'Ile-de-France de 2012 et la Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015.
- Accroître la résilience de la métropole face aux effets du changement climatique.
- Ramener les concentrations en polluants atmosphériques à des niveaux en conformité avec les seuils fixés par l'Organisation Mondiale de la Santé.
- Réduire massivement les consommations énergétiques finales, notamment pour les secteurs résidentiels et tertiaires, ainsi que du transport, en tenant compte des nouveaux besoins.
- Obtenir un mix énergétique diversifié et décarboné, grâce au développement des énergies renouvelables et de récupération.

### 2.2.2.3 LE SCHEMA REGIONAL DE RACCORDEMENT AU RESEAU DES ENERGIES RENOUVELABLES (S3RENr) D'ÎLE-DE-FRANCE

Le contenu des S3RENr est défini par l'article L321-7 du Code de l'énergie et par le décret n°2012-533 du 20 avril 2012 modifié. Il a été approuvé par arrêté préfectoral en mars 2015.

TRANS-FAIRE

Le S3RENr définit : « les ouvrages à créer ou à renforcer pour atteindre les objectifs fixés par le schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie [...]. Il évalue le coût prévisionnel d'établissement des capacités d'accueil nouvelles nécessaires à l'atteinte des objectifs quantitatifs visés au 3° du I de l'article L222-1 du même code [code de l'environnement] ». « Les capacités d'accueil de la production prévues dans le schéma régional de raccordement au réseau sont réservées pendant une période de dix ans aux bénéfices des installations de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables ».

D'après le S3RENr d'Ile-de-France :

- Le réseau public de transport d'électricité francilien est un réseau dense suffisamment bien dimensionné pour accueillir dès à présent l'ensemble du gisement EnR correspondant aux objectifs du SRCAE.
- Aucun travail de renforcement n'est prévu.
- Les investissements sur le réseau public de distribution sont estimés à 1,5 M€ (à la charge des producteurs via la quote-part).
- La capacité d'accueil globale est de 990 MW (dont 297 MW pour les projets de puissance inférieure ou égale à 100 kVA et 693 pour les autres).

## 2.2.3 CONTEXTE LOCAL

### 2.2.3.1 CONTRAT DE DEVELOPPEMENT TERRITORIAL (CDT)

Le Contrat de Développement Territorial Boucle nord des Hauts-de-Seine a été signé le 10 février 2014 entre l'Etat et les villes de Gennevilliers, Asnières-sur-Seine, Bois-Colombes et Colombes. Il prévoit notamment un volet sur l'efficacité énergétique : densification, extension, création de réseaux de chaleur et incitation à la mise en place d'énergies renouvelables et de récupération, ainsi que la création d'un schéma directeur de développement des réseaux de chaleur (action n°4 du CTD, schéma non disponible lors de la rédaction du document).

### 2.2.3.2 PLAN CLIMAT ÉNERGIE TERRITORIAL

La déclinaison du Paquet Climat Européen se traduit par un Plan Climat Territorial (PCET) qui est une démarche volontaire pour un territoire afin d'y regrouper et rendre visible l'ensemble de ses politiques visant à lutter contre les émissions de gaz à effet de serre.

Le plan d'action d'un PCET prévoit notamment le développement des énergies renouvelables pour la production d'énergie, des créations ou extensions de réseaux de chaleur...

La ville de Gennevilliers n'a pas encore rédigé son Plan Climat Énergie Territorial.

L'intercommunalité de Plaine Commune a mis en place un plan climat intercommunal.

### 2.2.3.3 LE PLU DE GENNEVILLIERS

Le PLU de Gennevilliers a été approuvé en mars 2005. Sa dernière modification date de décembre 2019.

Aucun élément concernant les performances énergétiques des bâtiments ou l'approvisionnement en énergie ne figure dans les différentes pièces (règlement, PADD, OAP).



**2.2.3.4    PROJET DE REQUALIFICATION URBAINE**

Le projet de requalification citoyenne et sociale urbaine et environnementale sur le quartier des Agnettes tend vers des objectifs énergétiques et environnementaux ambitieux qui prévoient notamment la réhabilitation énergétique du parc de logements et des équipements et le développement du réseau de chaleur.

### 3. FILIERES ENERGETIQUES DISPONIBLES ET CONTRAINTES ASSOCIEES

#### 3.1 Le gaz, filière de référence

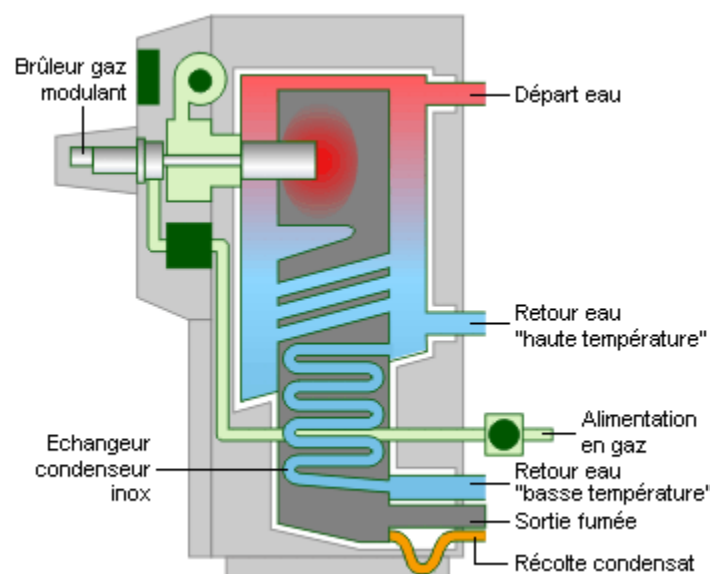
Le gaz représente 28 % des consommations énergétiques pour les bâtiments (résidentiel + tertiaire).

L'origine du gaz naturel importé en France est très variée : Norvège, Pays-Bas, Russie, Algérie, Nigeria, Qatar...

*Principe de la chaudière gaz à condensation.*  
*Source : [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be)*

Le gaz naturel est l'énergie d'origine fossile qui émet le moins de CO<sup>2</sup> et de ce fait, il a un impact environnemental de niveau intermédiaire entre les sources d'énergies renouvelables et les ressources fossiles du type fioul ou charbon.

Aucun stockage de la ressource n'est nécessaire. L'alimentation est assurée en flux constant, mais avec une dépendance vis-à-vis du fournisseur.



#### 3.2 Réseau d'électricité

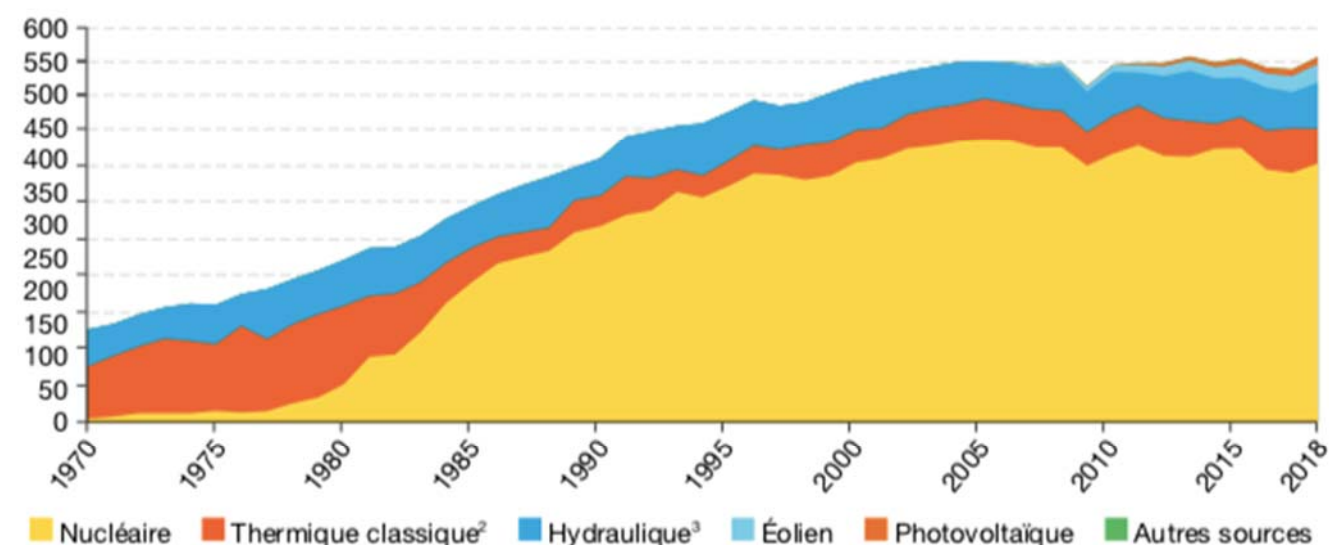
En 2018, la production nette d'électricité s'élève à 556,8 TWh, en hausse de 3,5 % par rapport à l'année précédente. L'électricité représente 38 % des consommations énergétiques pour les bâtiments (résidentiel + tertiaire).

La production d'électricité du réseau français (ERDF) provient à 70 % de centrales nucléaires.

#### PRODUCTION NETTE D'ÉLECTRICITÉ

TOTAL : 557 TWh en 2018

En TWh<sup>1</sup>



<sup>1</sup> 1 TWh = 1 milliard de kWh.

<sup>2</sup> Thermique à combustibles fossiles (charbon, fioul, gaz naturel), biomasse ou déchets.

<sup>3</sup> Y compris énergie marémotrice.

Champ : France entière (y compris DOM).

Sources : RTE ; EDF ; SDES, enquête annuelle sur la production d'électricité

*Origine de l'électricité produite en France - Données 2018. Source : MEDDE*

#### 3.3 incinération d'ordures ménagères

L'énergie fatale est la quantité d'énergie intrinsèquement contenue dans les matériaux ou processus. Cette énergie potentielle se perd définitivement si elle n'est pas récupérée.

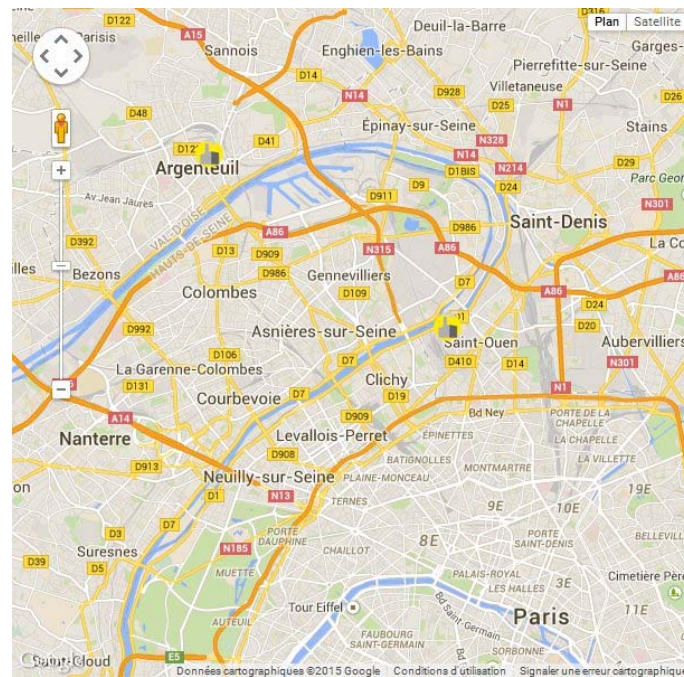
Avec près de 130 usines réparties sur tout son territoire, la France possède le plus grand parc d'incinérateurs d'ordures ménagères d'Europe. La valorisation énergétique issue de l'incinération des déchets constitue un important gisement d'énergie de récupération.

La carte suivante détaille les incinérateurs existants ou en projet autour de la commune. Il n'existe pas actuellement d'unités de traitement à proximité du site. Le projet ne peut donc pas bénéficier de cette énergie.

Le territoire des Hauts de Seine traite une quantité importante de déchets (460 000 tonnes/an, soit le 12<sup>e</sup> département), alors qu'une seule installation est recensée : l'incinérateur d'Issy-les-Moulineaux, géré par le SYCTOM.

Plus proche, l'incinérateur de Saint-Ouen traite 650 000 t/an. L'incinérateur d'Argenteuil traite 173 000 t/an.

Carte des unités d'incinération. Source : France Incinération

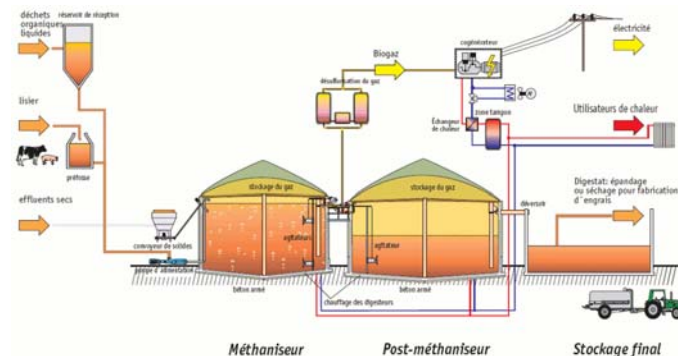


## 3.4 Méthanisation

### 3.4.1 PRINCIPE

La méthanisation permet de traiter des rejets aussi divers que les boues de stations d'épuration, les déjections animales, les déchets agricoles ou de l'industrie agro-alimentaire, les ordures ménagères pour la production de biogaz.

Principe de la méthanisation



Le biogaz produit a toute sa place parmi l'ensemble des solutions de production d'énergie renouvelable en permettant d'atteindre deux objectifs complémentaires :

- Produire de l'énergie tout en réduisant la charge polluante des déchets et des effluents organiques.
- Produire, selon la nature du produit de départ, un digestat stabilisé utilisable entre autres comme fertilisant pour les terres agricoles.

Le biogaz sert alors de combustible pour une cogénération, production combinée d'énergie électrique et thermique, ou peut être réinjecté dans le réseau gaz.

### 3.4.2 GISEMENT

Les grands industriels, du fait de la nouvelle législation à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2012, imposant aux producteurs ou détenteurs de quantités importantes de biodéchets de mettre en place un tri à la source et une valorisation, doivent organiser de nouvelles filières pour leur permettre de respecter cette réglementation.

Des gisements de ressources locales existent également :

- Les restaurants, restaurants d'entreprises et les cuisines d'établissement scolaires constituent un potentiel facilement mobilisable, à des échelles variées, communales (écoles) ou départementales (collèges) par exemple.
- Les déchets fermentescibles du parc de logements constituent un gisement très important, mais plus difficilement mobilisable : il nécessite la mise en place du tri dans chaque logement, la mise à disposition de bacs adaptés.
- Ces deux solutions nécessitent de mettre en place une installation de méthanisation.
- Le magasin Carrefour de la ZAC du Centre-Ville valorise certains de ses déchets par méthanisation. Néanmoins un projet visant à interdire à la grande distribution de jeter de la nourriture est en cours de discussion, et viendra peut-être limiter ce type d'installations.

Les installations de méthanisation sont désormais classées au titre de la protection de l'environnement sous la rubrique 2781 et la déclaration ou demande d'autorisation d'exploiter peut nécessiter une instruction de 10 à 15 mois.

### 3.4.3 CONTRAINTES

Les contraintes d'implantation sont importantes :

- La distance entre les digesteurs et les habitations occupées par des tiers ne peut pas être inférieure à 50 mètres.
- L'aire ou les équipements de stockage des matières entrantes et des digestats sont distants d'au moins 35 mètres de toute installation souterraine ou semi-enterrée utilisée pour le stockage des eaux destinées à l'arrosage des cultures maraîchères.

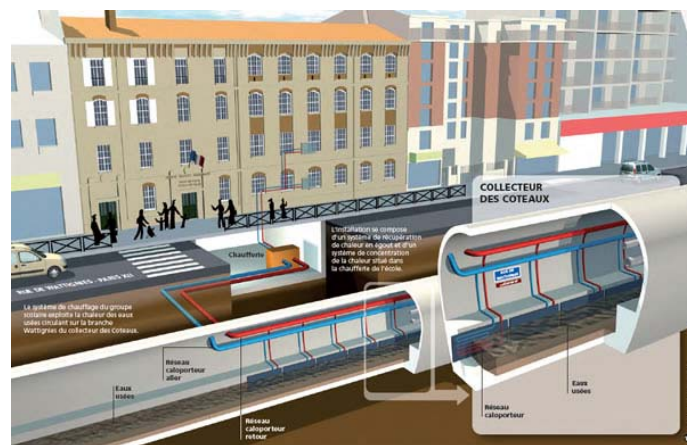
Le stockage de gaz, matière dangereuse, en zone urbaine, dans un secteur où des actes de dégradation peuvent être commis, doit également être pris en considération.

Enfin, la filière se heurte également à la rentabilité de petites unités de proximité dans un contexte urbain où le prix du foncier est important.



### 3.4.4 RECUPERATION DE CHALEUR SUR LES RESEAUX D'ASSAINISSEMENT

Les canalisations d'assainissement véhiculent, dans les zones urbaines et péri-urbaines, des eaux dont la température se situe entre 12 et 20°C tout au long de l'année. Cette ressource en énergie est disponible, continue et peut être utilisée pour le chauffage et le rafraîchissement de bâtiments via un échangeur de chaleur couplé à une pompe à chaleur. De la même façon que pour la géothermie, la récupération de chaleur s'effectue en hiver au moyen d'une pompe à chaleur qui permet de transférer l'énergie des eaux usées d'un niveau à basse température, par refroidissement sur l'évaporateur, vers un niveau de température plus élevé de 35 à 65°C, par récupération sur le condenseur.



Source : Ville de Paris

En été, la pompe à chaleur est réversible et peut produire du froid pour la climatisation ou le rafraîchissement des locaux, en évacuant la chaleur du condenseur dans les eaux usées.

Le potentiel thermique des eaux usées est particulièrement bien adapté aux bâtiments collectifs. La performance du système dépend principalement du débit des eaux usées (au minimum 12 l/s), de la pente du réseau d'assainissement et de la demande en chaleur à proximité. La longueur de l'échangeur doit être comprise entre 20 et 200 mètres linéaires maximum. La puissance de production minimum doit être de 150 kW. La distance entre le réseau et le bâtiment doit être inférieure à 300 m.

Des retours d'expérience en Suisse montrent qu'un mètre de canalisation permet de produire de 2 à 8 kW de puissance de chauffage.

## 3.5 Éolien

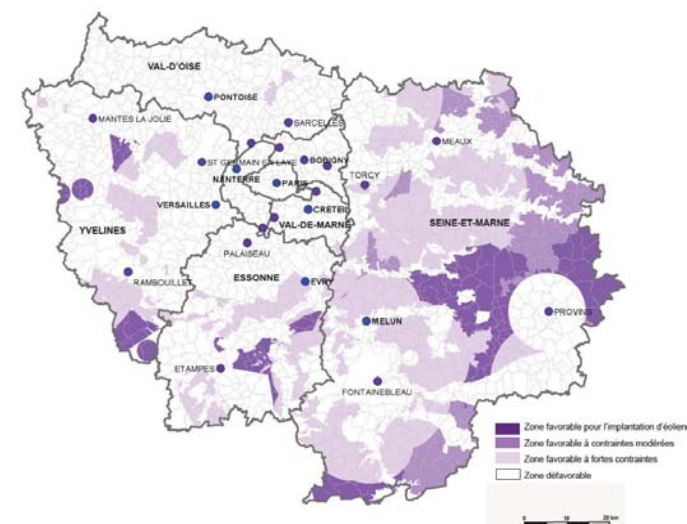
Un parc éolien est une installation de production d'électricité par l'exploitation de la force du vent transformée en énergie électrique. Il s'agit d'une production au fil du vent, il n'y a donc pas de stockage d'électricité.

Les éoliennes couramment rencontrées en France appartiennent à la catégorie du « grand éolien », le « petit » et le « moyen éolien » étant encore peu développés, car la rentabilité des solutions disponibles sur le marché n'est pas encore assurée.

### 3.5.1 LE GRAND EOLIEN

Le « grand éolien » représente les éoliennes de hauteur supérieure à 50 m, développant des puissances de 2 à 3 MW, équipées de rotors (la partie constituée du moyeu et des pales) de grandes dimensions. Ces éoliennes constituent la grande majorité de la capacité installée au monde. Les aérogénérateurs sont destinés à la production d'électricité pour le réseau. Leur vitesse de rotation est faible : 30 tours / minute pour une pale d'un diamètre de 20 mètres.

Carte des zones favorables en Île-de-France. SRE IdF



Le gisement éolien est faible sur le site. Par ailleurs, les règles d'implantation sont, a minima, un retrait de 500 m des habitations et un regroupement de 5 éoliennes. Le site n'est pas adapté à cette source d'énergie renouvelable.

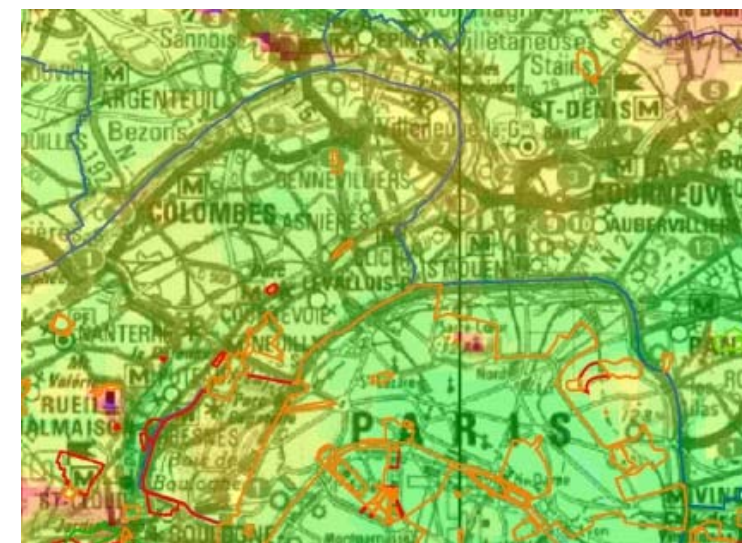
En l'état actuel de la technique, les potentiels éoliens du territoire ne permettent pas un développement de cette technologie. En effet, la densité d'énergie éolienne à 60 m d'altitude sur le territoire est comprise entre 80 et 140 W/m². Or on estime qu'il faut une densité d'énergie supérieure à 200 W/m² pour atteindre la rentabilité d'un projet éolien.

### 3.5.2 LE PETIT EOLIEN

Le micro-éolien désigne les éoliennes de petites et moyennes puissances, de 100 watts à 36 kilowatts, et de moins de 12 m de hauteur, raccordées au réseau ou bien autonomes en site isolé.

L'élément essentiel pour qu'une petite éolienne soit économiquement rentable est le vent, qui doit être ni trop puissant ni trop faible et fréquent. La rugosité des sols urbains réduit la vitesse du vent et apporte des turbulences néfastes auxquelles l'éolienne doit s'adapter.

Source : Atlas éolien de l'ARENE IdF



L'Etat de l'Art des Éoliennes en milieu urbain réalisé par l'ARENE IdF, actualisé en 2006, indique que quelle que soit l'éolienne de petite ou moyenne puissance considérée et quelle que soit sa configuration (raccordée ou non, à plus ou moins de 12 m) le coût de revient du kWh produit est largement plus élevé que le coût d'achat ou évité. La rentabilité de ces solutions reste encore à démontrer aujourd'hui.

Le SRCAE qualifie l'éolien de ressource sous forte contrainte environnementale et paysagère, ce qui le disqualifie pour le site de la ZAC, sauf le petit éolien dans un but pédagogique.



### 3.5.3 PRODUCTION D'ÉNERGIE HYDROÉLECTRIQUE

L'énergie potentielle de l'effluent peut être valorisée en présence d'une chute d'eau (7 m minimum) par l'emploi d'une turbine hydraulique.

Aucune ressource adéquate n'a été identifiée à proximité du site.

### 3.6 Datacenters

Les centres de données, constitués d'équipements informatiques puissants, consomment une grosse quantité d'énergie électrique, notamment pour être en permanence rafraîchis par des groupes de production de froid. La chaleur dégagée par les groupes froids, évacuée sous forme d'air chaud, peut être récupérée par des échangeurs thermiques et produire une eau à 55°C pour la production de chauffage et d'eau chaude.

Carte des datacenters. Source : <http://www.datacentermap.com/>



Il n'y a pas de Data Center sur la commune ni à proximité de la ZAC étudiée. Cette source de chaleur ne peut donc être utilisée.

### 3.7 Géothermies

La géothermie est l'énergie produite par la chaleur interne de la terre. En France, la température moyenne au niveau du sol est en général de 10 à 14°C. En Île-de-France, la température augmente en moyenne de 3,5°C tous les 100 m (gradient géothermal).

À la différence de la plupart des énergies renouvelables (solaire, éolien...), la géothermie est une source d'énergie permanente dont la production ne dépend pas des conditions naturelles ou climatiques contingentes.

Par ailleurs, cette ressource étant disponible en permanence, elle ne nécessite pas de stockage.

Il existe plusieurs techniques en géothermie, permettant d'exploiter des sources de chaleur plus ou moins chaude, comme expliqué ci-après.

#### 3.7.1 EVOLUTION DE LA RÉGLEMENTATION

Le décret n°2015-15 du 8 janvier 2015 redéfinit la réglementation sur les activités de géothermie dite « de minime importance ».

Le seuil de simple déclaration de l'installation passe de 100 m à 200 m de profondeur. Au-delà de cette profondeur le projet est soumis à autorisation, ce qui alourdit et allonge la procédure.

La mise en œuvre des solutions de géothermie de surface est donc moins coûteuse (moins de forages à réaliser) et leur rendement énergétique est augmenté (+100 m équivaut à 3,5°C en plus).

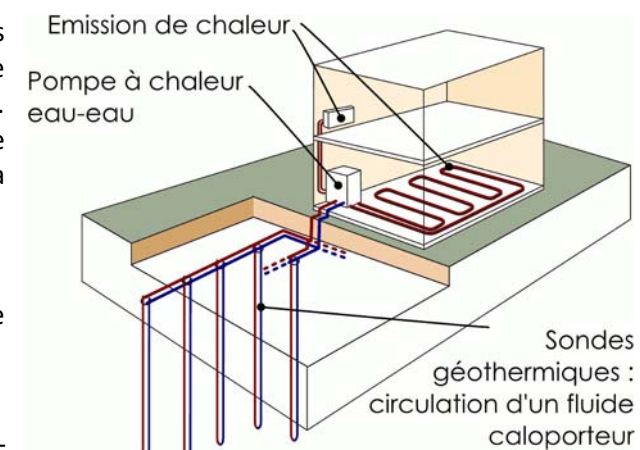
Ce nouveau cadre réglementaire est entré en application le 1er juillet 2015.

### 3.7.2 PAC SUR SONDES GÉOTHERMIQUES

Une pompe à chaleur est couplée à un champ de sondes intégré dans le sol, servant de source d'énergie. Un fluide caloporteur circule dans les sondes et vient alimenter la PAC. Ce couplage confère un excellent coefficient de performance à la pompe à chaleur grâce à la température constante de la terre sur toute l'année de fonctionnement.

Ce système peut a priori être installé partout, dès qu'une surface d'espaces extérieurs est disponible.

Principe des sondes géothermique. Source : ADEME



La terre peut également servir pour le rafraîchissement du bâtiment en période estivale. Ce système complémentaire a l'avantage de recharger la nappe, ce qui limite l'affaiblissement thermique du sol sur le long terme, et permet de maintenir les rendements initiaux.

### 3.7.3 PAC SUR CORBEILLES GÉOTHERMIQUES

Si la superficie du terrain libre est importante, une alternative aux sondes est les corbeilles géothermiques qui permettent l'utilisation de la chaleur du sous-sol à quelques mètres de profondeur (4 au maximum).

La géométrie et la taille des corbeilles géothermiques nécessitent l'installation de plusieurs corbeilles qui doivent être reliées entre elles avant connexion à une pompe à chaleur. Ce circuit fermé dans lequel circule un fluide caloporteur constitue l'échangeur de chaleur grâce auquel de l'énergie sera soutirée au terrain de manière renouvelable.

Corbeilles géothermiques





### 3.7.4 PAC SUR PIEUX GEOTHERMIQUES

Dans ce cas, la pompe à chaleur est couplée à des échangeurs géothermiques insérés dans les pieux de fondation du bâtiment. L'avantage de ce procédé est le faible surcoût engendré puisque ces pieux sont nécessaires pour la structure même du bâtiment, tout en offrant des performances comparables à une PAC sur sondes géothermiques.

La faisabilité de ces techniques dépend de la nature du sol au droit des bâtiments mais également des charges reprises par les pieux.

Ce type d'ouvrage est courant en Suisse, mais il nécessite une compétence spécifique des bureaux d'études afin d'éviter que des mouvements de terrain n'affectent les sondes et causent un dysfonctionnement du système géothermal.



*Pieux géothermiques*

### 3.7.5 CONTRAINTES TECHNIQUES GEOTHERMIE « SECHE »

Dans les cas de la géothermie sur sondes, corbeilles ou pieux, la chaleur est prélevée au sous-sol par le biais d'un fluide adapté qui circule dans l'ouvrage enterré. Ce prélèvement de chaleur est compensé par le sous-sol, néanmoins cette capacité de régénération dépend de la composition du sol. Des cas d'affaiblissement rapide de la température du sous-sol ont été identifiés par l'ADEME.

Le dimensionnement du système géothermique doit donc être dimensionné selon la capacité de régénération du sous-sol.

Les systèmes réversibles évitent cet affaiblissement : en hiver les calories sont prélevées dans le sol pour chauffer les bâtiments alors qu'en été la chaleur des bâtiments est transférée dans le sol (free-cooling). Le bilan thermique annuel tend alors vers 0, limitant l'affaiblissement.

### 3.7.6 GEOTHERMIE SUR AQUIFERES SUPERFICIELS

L'utilisation d'un aquifère de faible profondeur (moins de 200 m) comme source d'une pompe à chaleur offre quatre avantages :

- La température constante (de l'ordre de 11-12°C) de l'eau utilisée comme source de calories par les pompes à chaleur leur confère des coefficients de performance (COP) très élevés (supérieurs à 4).
- Les pompes à chaleur peuvent également assurer une partie de la production d'eau chaude sanitaire. Le COP est cependant moins élevé dans ce cas, de l'ordre de 3.
- L'incidence sur l'environnement est faible puisque l'eau extraite est ensuite rejetée dans l'aquifère.
- L'utilisation d'une nappe d'eau permet en été, par l'intermédiaire d'un échangeur, de rafraîchir l'eau circulant dans les émetteurs (utilisés en hiver pour le chauffage, radiateurs, planchers chauffants...) et

offre ainsi un rafraîchissement gratuit (hormis la consommation électrique pour les pompes et circulateurs). C'est le freecooling.

L'exploitabilité d'une nappe dépend de cinq paramètres : la profondeur et l'épaisseur de la nappe, l'hydrochimie de la nappe, la transmissivité et la température moyenne de la nappe. La transmissivité régit le débit d'eau qui s'écoule, par unité de largeur, d'un aquifère sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique.

Les quatre aquifères multicouches étudiés sont :

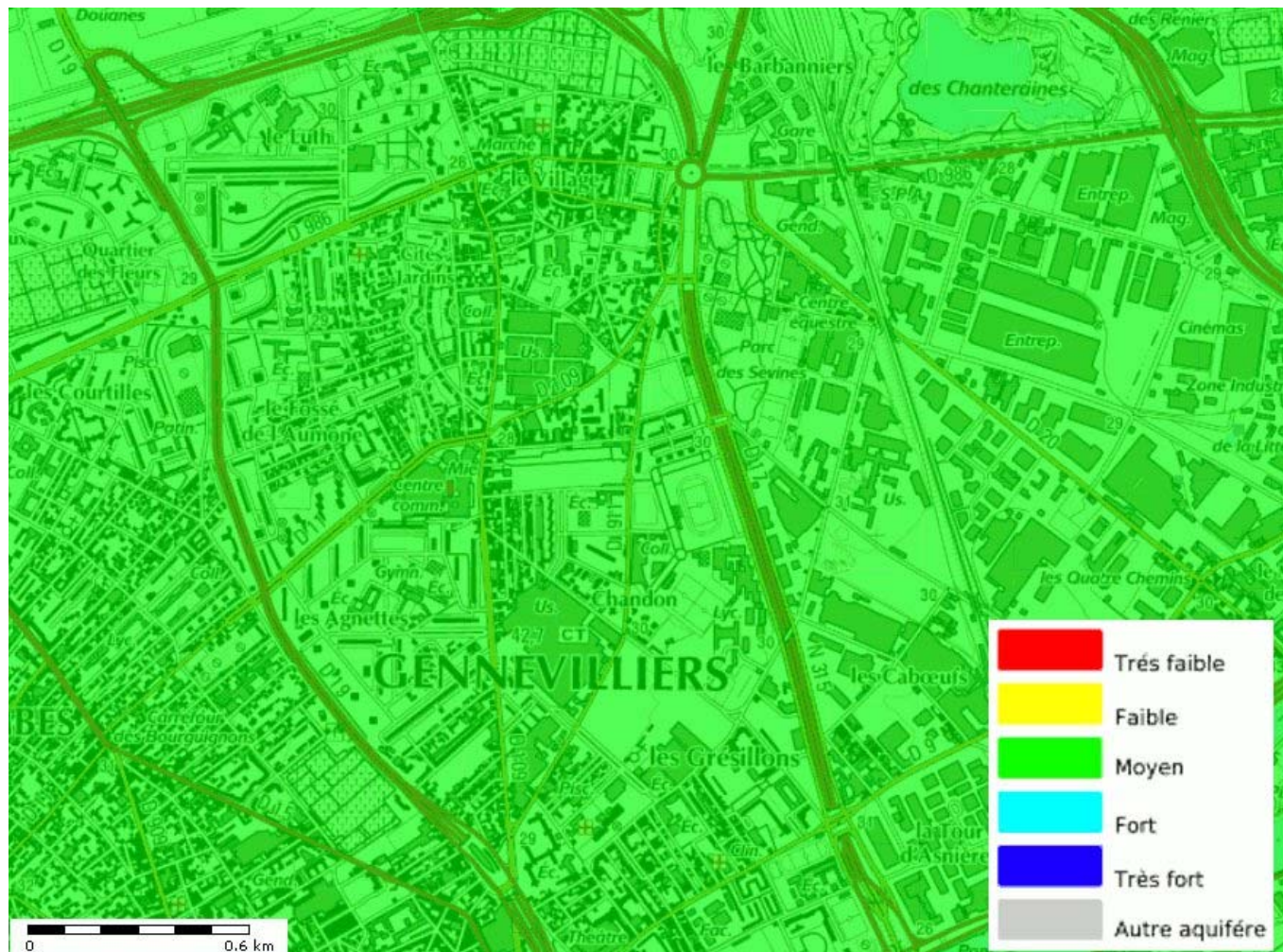
- L'aquifère multicouche de l'Oligocène (-23 à -35 m) composé des Calcaires de Beauce, des Sables de Fontainebleau et du Calcaire de Brie.
- L'aquifère multicouche de l'Éocène Supérieur (-35 à -42 m) composé du Calcaire de Champigny, des Sables de Montceau, des Calcaires de Saint-Ouen et des Sables de Beauchamp.
- L'aquifère multicouche de l'Éocène Moyen et Inférieur (-42 à -60 m) composé du Calcaire Grossier du Lutétien inférieur, des Sables de Cuise et des Sables du Soissonnais.
- L'aquifère de la Craie d'âge Sénonien du Crétacé Supérieur (-74 à -83 m), formation très épaisse exploitable uniquement dans les parties affleurantes.

Selon l'atlas cartographique du BRGM, le potentiel est moyen sur toute la commune de Gennevilliers. Seul l'aquifère de l'Éocène Moyen et Inférieur présente un intérêt pour le site étudié.

Cette nappe se situe à une faible profondeur (moins de 10 mètres), est de forte épaisseur (de 75 à 150 mètres) et présente un fort débit (supérieur à 100 m<sup>3</sup>/h), ce qui lui confère un intérêt majeur.

En revanche, cette nappe est fortement minéralisée, ce qui implique l'utilisation de matériels immergés adaptés et un entretien plus important.





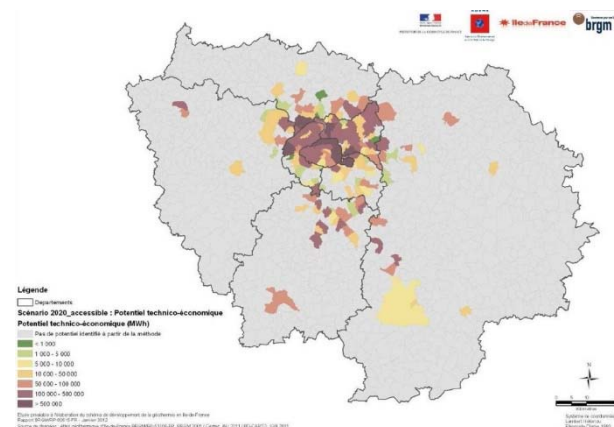
Potentiel géothermique du meilleur aquifère. Source : BRGM

L'incidence environnementale d'une géothermie sur l'aquifère de l'Eocène Moyen et Inférieur (filière prioritaire, faisant l'objet d'un scénario) est bien moindre que celle sur nappe profonde du type « Dogger » car les écarts de température entre l'eau prélevée et rejetée sont trop faibles pour nuire à d'autres prélèvements à des centaines de mètres de l'injection, là où d'autres projets pourraient puiser dans cette même nappe.

Dans tous les cas, l'étude plus poussée de la géothermie sur nappe nécessite de réaliser un forage de contrôle pour préciser à la fois le débit d'eau envisageable et les conditions d'exploitation.

L'intérêt de cette source d'EnR est confirmé par le SRCAE de décembre 2012, comme indique la carte ci-contre :

Le site est situé sur une zone de fort potentiel technico-économique pour la géothermie sur aquifère superficiel.



### 3.7.7 GEOTHERMIE SUR AQUIFERE PROFOND

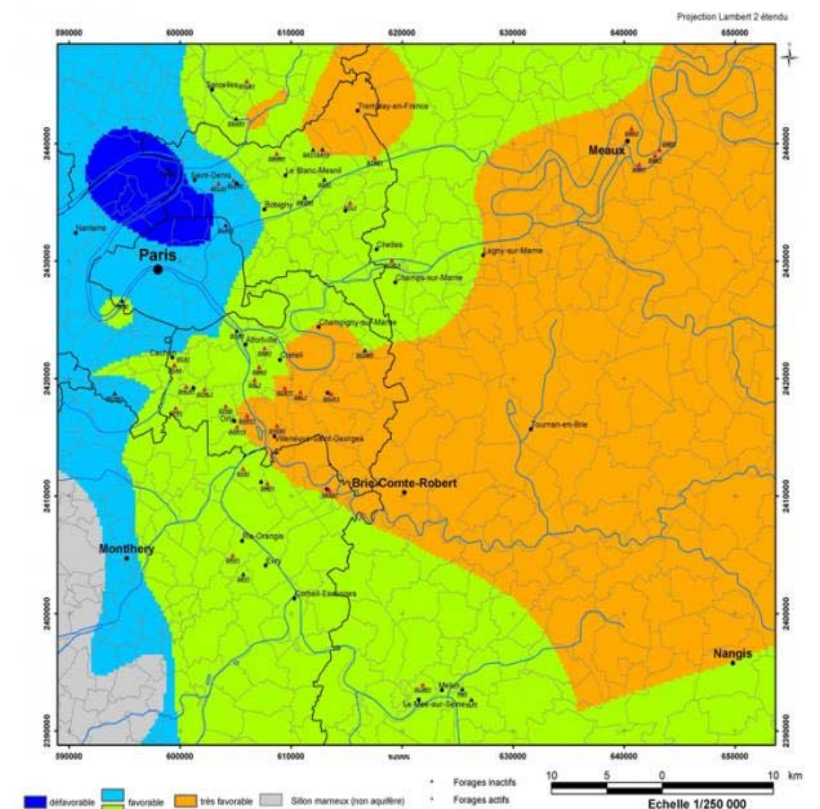
La géothermie sur forage profond permet d'obtenir des sources d'eau à des températures plus élevées que dans le cas précédent. Plus les nappes sont profondes, plus la température est élevée, mais le coût d'investissement également.

#### Le Dogger

L'exploitation de ce procédé sur la nappe profonde du dogger, située de 1 600 à 1 800 m de profondeur, est estimé raisonnable à partir du moment où l'installation peut alimenter plus de 2 000 équivalents-logements, valeur à adapter en fonction de la température de la nappe à l'endroit du site.

L'équivalent logement n'est pas un concept normalisé, mais il est aligné sur la consommation moyenne du parc immobilier français (y compris logements existants) qui est loin des performances énergétiques recherchées pour la construction de nouveaux logements ou bâtiments tertiaires, ou de rénovation énergétique à basse consommation.

Avec les exigences de construction actuelle, cela porte la rentabilité de cette solution à plus de 10 000 logements neufs, ce qui exclut la ZAC.



Exploitabilité du Dogger. Source : BRGM

Par exemple, Porte d'Aubervilliers, deux puits de 1 800 m de profondeur ont été creusés pour pomper de l'eau chauffée à 58°C par les rayonnements terrestres. 12 000 éq/logements parisiens seront ainsi chauffés. Pour comparaison la nappe du Dogger a une température moyenne de plus de 80°C à Coulommiers (77), ce qui améliore la rentabilité de ce type de solution.

Outre la profondeur de la nappe, celle-ci étant fortement minéralisée, la corrosion des équipements implique des contraintes dans son équipement et son exploitation.

Le potentiel de l'aquifère du Dogger étant peu favorable pour le site, cette source d'EnR ne sera pas retenue.



## L'albien

Un forage moins profond sur la nappe de l'Albien peut être envisagé quand les besoins sont moindres. Cette nappe est située vers 600 m de profondeur, sa température se situe entre 25°C et 30°C et les débits sont assez importants de l'ordre de 200 à 250 m³/h.

Cette nappe est considérée comme une réserve stratégique en eau potable, elle est classée en Zone de Répartition des Eaux (ZRE). Son exploitation est donc soumise à une réglementation rigoureuse. L'utilisation de cette ressource pour la géothermie ne doit pas la compromettre et respecter les consignes suivantes :

- L'eau doit être réinjectée.
- Des précautions spécifiques doivent être prises pour éviter des pollutions accidentelles ou chroniques.

Le besoin d'alimentation de secours en eau potable peut permettre d'obtenir ces autorisations. Ainsi, deux opérations récentes exploitent cet aquifère (Maison de la Radio et AGF), représentant 4 400 équivalent logements, et le réseau de l'écoquartier du Fort d'Issy-les-Moulineaux puisera dans l'aquifère de l'Albien (600 m, 40°C) afin de fournir 78% des besoins de chauffage, eau chaude sanitaire et refroidissement de 1500 équivalents logements, dont 1 000 m² de commerce et une crèche.

La carte ci-contre (DIREN) indique les forages existants et les zones d'implantations préférentielles des nouveaux forages de secours :

En blanc : zones déjà couvertes par un forage de secours. En bleu : zones non couvertes.

Nous constatons donc qu'il y a déjà des forages existants à proximité et que le site n'est pas sur une zone d'implantation de nouveaux forages.



Forages de secours sur l'albien. Source : DIREN

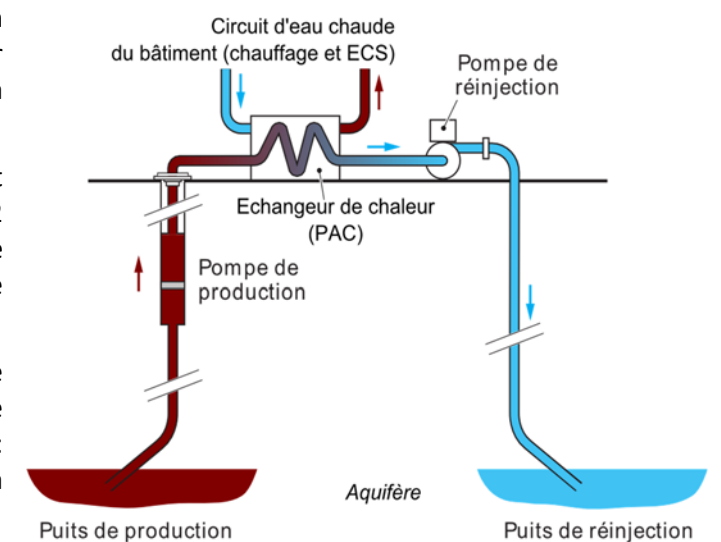
Une étude du BRGM, l'ADEME et le Conseil Régional d'Île-de-France précise que : « les calculs montrent qu'en fonction des caractéristiques hydrodynamiques du réservoir de l'Albien et des paramètres des exploitations géothermiques (débits, température de rejet), l'écart entre les deux puits doit être compris entre 500 m (minimum) et 700 m (optimum) pour que les interférences ne soient pas sensibles pendant la durée de l'exploitation, c'est-à-dire entraînant une baisse de température au puits de production qui n'excéderait pas 1° en 25 à 30 ans ». Au vu de la taille de la ZAC et de la disponibilité foncière, cette contrainte d'écartement entre les puits pourrait être levée.

### 3.7.8 CONTRAINTES TECHNIQUES LIEES AU PRELEVEMENT SUR NAPPE

Dans les cas de la géothermie sur nappe, la réinjection de l'eau géothermale puisée est indispensable pour protéger l'environnement et aussi pour garantir la pérennité de la ressource.

Deux puits sont donc créés, un puits de production et un puits de réinjection, ce qui impose la création de 2 forages. Afin de ne pas interférer, les puits de production et de réinjection doivent se trouver à une certaine distance l'un de l'autre.

La distance entre le puits de production et le puits de réinjection doit être déterminée par un spécialiste (hydrogéologue) en fonction du contexte local : aquifère visé, perméabilité, sens d'écoulement de la nappe...



Puits de production et puits de réinjection. Source : TI

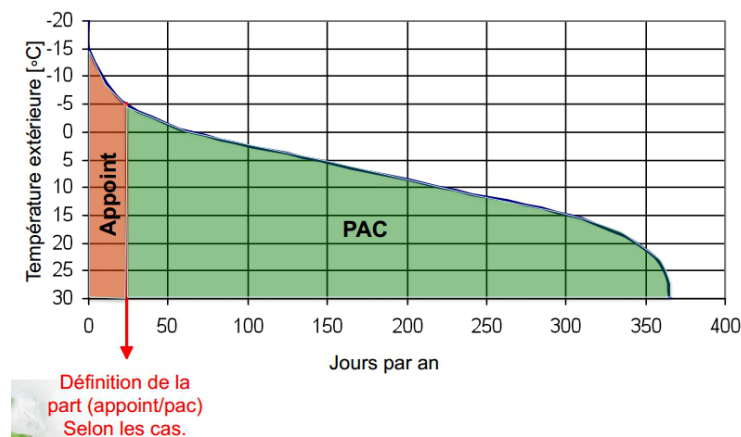
Néanmoins au vu de l'ampleur de la ZAC, cette contrainte pourrait être facilement levée en positionnant les forages sur des parcelles éloignées.

Le risque de recyclage thermique, la distance à respecter entre les puits (de production, d'injection et d'autres usages) et le temps de percée thermique du doublet (temps nécessaire à la contamination thermique du puits de production par l'eau injectée dans le puits d'injection) doivent être évalués lors de l'étude de dimensionnement des installations.

### 3.7.9 CONTRAINTES TECHNIQUES LIEES À L'UTILISATION D'UNE POMPE À CHALEUR

Pour des raisons économiques, il est conseillé de dimensionner la PAC entre 60 % et 90 % de couverture des besoins, avec un complément au gaz. Les coûts d'investissement des chaudières gaz pour fournir la chaleur nécessaire pendant les quelques heures correspondant aux pics de consommation, sont beaucoup moins élevés que le surcoût d'une PAC dimensionnée à 100 %. Cela permet également de faire fonctionner la PAC à un régime plus régulier, avec un meilleur rendement et une usure plus faible.

L'appoint gaz émet plus de CO², mais il ne représente qu'une fraction de la consommation annuelle. L'impact sur le bilan des émissions de GES est donc minime.



### 3.8 Solaire

Le gisement solaire sur le site de la ZAC est de 1 212 kWh/m<sup>2</sup>.an en l'absence de masques.

La production estivale est 2,5 fois plus élevée que la production hivernale. Malgré cette contrainte ce gisement est largement exploitable et les investissements sont rentabilisés en Île-de-France.

Les technologies actuellement ne permettent la conversion que d'une partie de l'énergie solaire reçue, par des panneaux solaires :

- Rendements de 6 % à 20 % pour le photovoltaïque (on trouve des produits à 15 % sur le marché français).
- Rendement de 50 % pour le solaire thermique (très variable selon l'ensoleillement et la température extérieure).

Ce potentiel s'améliore progressivement avec le perfectionnement technologique des panneaux solaires.

#### 3.8.1.1 PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

L'électricité produite, bien que réinjectée sur le réseau électrique, rentre dans le bilan énergétique total de l'opération comme une production locale d'énergie renouvelable auto-consommée.

Le tarif de rachat de cette EnR n'est plus aussi rentable que par les années passées, du fait de la révision des tarifs réglementés.

Néanmoins la hausse constante du prix de l'électricité « réseau » rend mécaniquement cette production de plus en plus rentable : la parité réseau sera atteinte dans les 5 prochaines années : le prix d'achat de l'électricité sur réseau ERDF sera alors aussi cher que l'électricité photovoltaïque produite localement. Dans ce contexte, l'autoconsommation de cette électricité devient un investissement rentable pour certains bâtiments consommant de l'électricité en journée : des bureaux (climatisation), des commerces (frigo, climatisation), des piscines (pompes), voire des bâtiments ventilés en double-flux.



Panneaux photovoltaïques en toiture terrasse

Le bilan environnemental de la production de panneaux photovoltaïques reste important (notamment pour le raffinage du silicium). D'autre part la majorité des panneaux actuellement disponibles sur le marché sont fabriqués en Chine. La réalisation d'un bilan carbone est donc nécessaire pour vérifier que la mise en place de panneaux photovoltaïques permet bien de réduire les émissions CO<sub>2</sub> du bâtiment.

#### 3.8.1.2 PANNEAUX SOLAIRES THERMIQUES

Les capteurs solaires thermiques permettent la production d'eau chaude à partir d'une source d'énergie gratuite et renouvelable, le soleil. L'eau chaude produite peut permettre de produire de l'eau chaude sanitaire (ECS solaire) ou de l'eau de chauffage (plancher solaire direct).

Pour les logements, il est recommandé de réserver des surfaces de toiture au solaire thermique plutôt qu'au solaire photovoltaïque puisque les performances actuelles des panneaux thermiques sont supérieures (450 kWh/m<sup>2</sup>/an contre 100 kWh/m<sup>2</sup>/an).



Panneaux solaires thermiques plan en toiture terrasse. Source TRANS-FAIRE

#### 3.8.1.3 CONTRAINTES A L'INSTALLATION

##### 3.8.1.3.1 Masques solaires et ombres portées

L'impact mutuel des bâtiments -existants, neufs ou voisins- crée des masques solaires sur les toitures des bâtiments en fonction de la saison et des heures d'ensoleillement.

Lors de la conception du plan masse de la ZAC, ce paramètre doit être pris en compte afin d'optimiser le gisement solaire du quartier.

Une étude d'ensoleillement a été réalisée dans la phase de diagnostic du quartier des Agnettes. La majorité des toitures des bâtiments existants disposent d'un ensoleillement favorable à l'installation de panneaux solaires.

À une échelle plus fine, les panneaux solaires doivent être positionnés en retrait des obstacles (murs, acrotères, végétation), selon la règle : retrait = 1 à 2 x hauteur de l'obstacle.

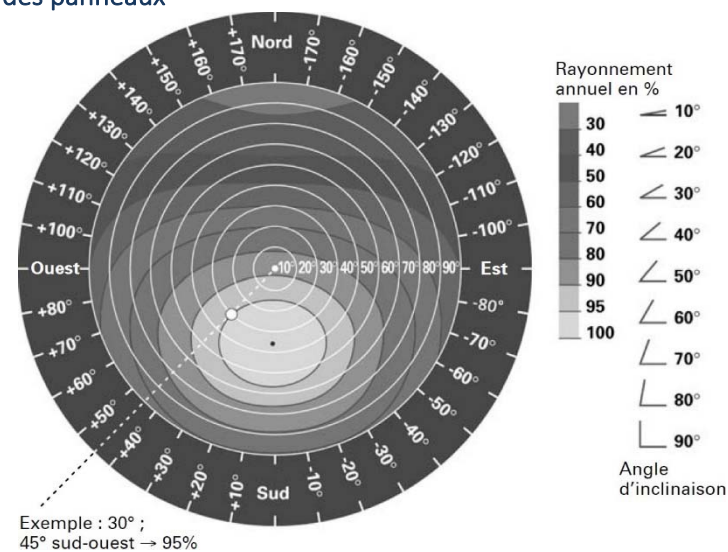


### 3.8.1.3.2 Orientation optimale des panneaux

Le diagramme ci-contre montre la part de rayonnement reçue par le capteur selon son orientation et son inclinaison. La zone la plus favorable se situe à +/- 30° par rapport au Sud et sur une inclinaison entre 30 et 50°.

À orientation (Sud) et inclinaison (36°) optimales pour la ville de Gennevilliers, l'irradiation annuelle est de 1 391 kWh/an pour 1 m<sup>2</sup> de capteur.

*Influence de l'orientation, de l'inclinaison et de l'ombre sur les performances. Source : Viessman*



### 3.8.1.3.3 Types de capteur

Tous les capteurs solaires fonctionnent selon le même principe : un liquide caloporteur circule dans le panneau et absorbe le rayonnement électromagnétique émis par le soleil.

Les capteurs solaires plans vitrés sont les plus courants. Le fluide caloporteur circule dans un serpentin placé entre la vitre extérieure et une couche réfléchissante.

Dans les capteurs tubes sous vide, le serpentin est placé au centre d'un tube de verre. Ils sont principalement utilisés pour rattraper un angle d'orientation ou un angle d'inclinaison (par rapport à l'horizontale), car même s'ils ont un meilleur rendement, le surinvestissement ne se justifie pas autrement.

Les capteurs non vitrés, de type « moquette solaire » sont fréquemment utilisés notamment pour les piscines, du fait de leur très bon rapport qualité/prix mais nécessitent une surface de toiture beaucoup plus importante que pour les capteurs plans pour une production égale.

### 3.8.1.3.4 Surfaces disponibles

L'installation des panneaux nécessite une surface libre variable selon les besoins. Dans les immeubles collectifs d'habitation (neufs ou rénovés), les surfaces disponibles en toiture suffisent généralement à couvrir plus de 50 % besoins en énergie pour l'ECS par exemple.

À ce stade du projet la forme des toitures des bâtiments neufs n'est pas encore définie. En cas de toitures inclinées, celles orientées au Sud seront à privilégier. Dans le cas de toitures terrasses, l'ombre des rangées de panneaux entre elles est à prendre en compte pour leur positionnement.

Pour le solaire photovoltaïque, il n'y a pas de surface minimale d'installation. Néanmoins les installations de conversion du courant (onduleurs) et de branchement au réseau ont un coût unitaire non négligeable. On conseille donc de définir une surface minimale par installation (100 m<sup>2</sup> par exemple). Plus la surface installée sera importante, plus les coûts d'investissement par m<sup>2</sup> seront réduits, la rentabilité de l'installation sera donc meilleure.

## 3.9 Bois énergie

Il s'agit de l'utilisation du bois en tant que combustible. Il peut s'agir d'une énergie renouvelable si le bois est produit par une gestion durable des forêts.

### Bois / Cycle du carbone

La combustion du bois comme source d'énergie a un bilan carbone neutre du point de vue des émissions atmosphériques, dans la mesure où le bois est exploité comme une énergie renouvelable. Ainsi la quantité de CO<sub>2</sub> libérée par la combustion du bois est compensée par la capture d'une même quantité de CO<sub>2</sub> pour la croissance de l'arbre. Ceci est vrai tant que l'exploitation du bois conduit à une quantité de bois produite au moins équivalente à celle consommée.

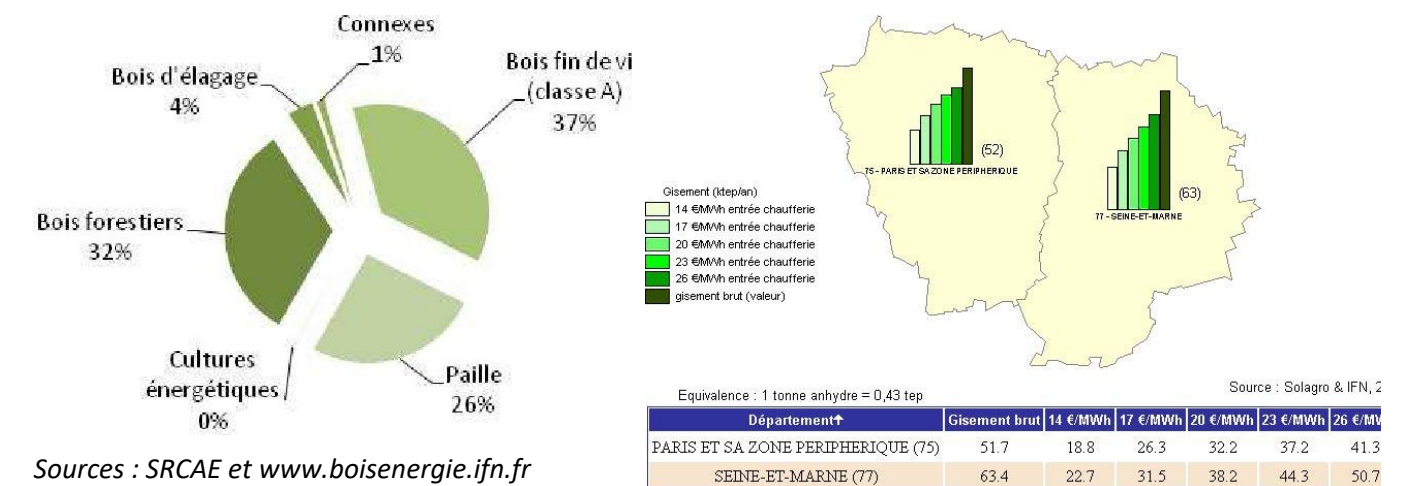
Le bois énergie est principalement disponible sous quatre formes :

- Les bûches.
- Les granulés de bois ou pellets.
- Les briques de bois reconstituées.
- Les plaquettes forestières.

### 3.9.1 LA FILIERE FRANCILIENNE

La filière bois énergie est en développement en Île-de-France, où les bois et forêts couvrent 25 % du territoire. Actuellement, l'accroissement de la biomasse francilienne est supérieure à la demande en énergie.

Le gisement de bois régional est suffisant pour répondre aux besoins de projets d'ampleur sur le territoire. En effet les consommations accessibles sont largement supérieures à l'offre en combustible, y compris à l'horizon 2050.



La ressource globale régionale en biomasse énergie s'élève à l'horizon 2015-2020 à 266 ktep/an (source SRCAE), constituée majoritairement de bois forestiers, de bois de fin de vie et de paille. À titre de comparaison, en 2013, 29 ktep de biomasse ont été consommées.

Par ailleurs, le gisement mobilisable en région parisienne est viable économiquement (voir graphique ci-avant).

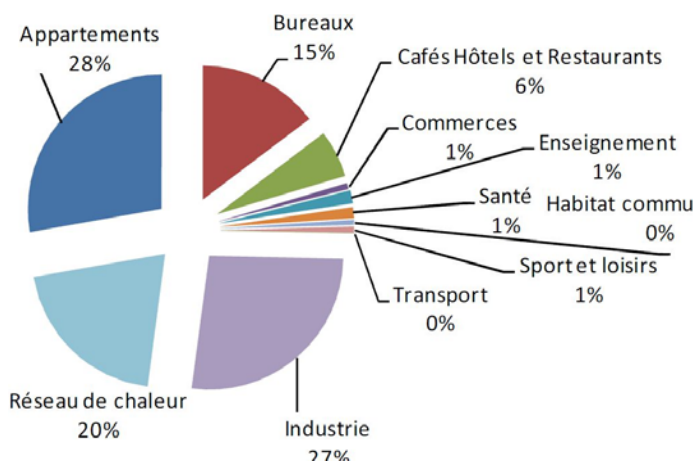


Une gestion durable des ressources est toutefois indispensable pour assurer la pérennité de la filière et supporter son développement.

À noter qu'une forte demande en bois combustible est attendue dans les prochaines années. Cela implique de continuer les politiques de structuration de la filière à l'échelle régionale pour rester compétitif par rapport aux énergies traditionnelles (le gaz en particulier).

L'étude spécifique Biomasse réalisée pour le SRCAE IDF identifie la répartition des consommations actuelles accessibles à la biomasse (voir graphique ci-contre).

Le bâti, neuf ou réhabilité, représente une large majorité des consommations accessibles.



### 3.9.2 CONTRAINTES TECHNIQUES

#### 3.9.2.1 CHAUFFERIE BOIS : CONTRAINTE FONCIERE

Dans le cas d'une production biomasse à l'échelle de la ZAC, une surface foncière conséquente doit être prévue pour la production de chaleur (chaudières) mais aussi pour le stockage du combustible sur site, dont la taille dépendra de l'autonomie souhaitée et de la puissance de la chaufferie.

#### 3.9.2.2 STOCKAGE ET APPROVISIONNEMENTS

Le mode et la dimension du stockage dépendent de :

- L'optimisation spatiale de la parcelle d'accueil de la chaufferie et la prise en compte de l'environnement local et des contraintes de surfaces et de volumes.
- La détermination du système le mieux adapté à la chaufferie (stockage sur site ou non...).
- La détermination d'une capacité de stockage optimisée (autonomie souhaitée, surface disponible, possibilité de stockage sur toute l'année...).

Les silos sont à implanter prioritairement sur la partie de ZAC la moins sensible aux remontées de nappe car l'hygrométrie du bois est un facteur essentiel du pouvoir calorifique de la ressource. Plus le taux d'humidité est important, plus la production de kWh de chaleur est faible.

L'autonomie offerte par le silo impacte directement la fréquence de livraison. Néanmoins l'offre de combustible intervient également dans le dimensionnement du stockage. Un combustible facilement disponible permettra de limiter la taille du silo.

La situation urbaine de Gennevilliers implique d'optimiser les horaires de livraisons pour éviter les embouteillages franciliens.

#### 3.9.2.3 CARACTERISTIQUES DU BOIS

La ressource en bois appropriée pour un réseau de chaleur avec des chaudières à bois déchiqueté doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Bois déchiqueté issu principalement de coupes forestières pour éviter les déchets (clous, colles) souvent contenus dans le bois de rebut. Pour octroyer ses subventions l'ADEME demande un taux minimum de 50 % de bois issu de forêts.
- Humidité relative moyenne maximale : 30/35 %.
- Granulométrie G50, à savoir : 20 % maximum de grossier (5 cm<sup>2</sup> de section maximale, 12 cm de longueur maximale, 31,5 mm de calibre), 60 à 100 % de calibre moyen (16,6 mm de calibre), 20 % maximum de calibre fin (poussières) < 1mm.
- Masse volumique moyenne : 350 kg/m<sup>3</sup>.
- PCI moyen : 3 250 kWh/t. PCI : C'est l'énergie thermique libérée par la réaction de combustion d'un kilogramme de combustible sous forme de chaleur sensible, à l'exclusion de l'énergie de vaporisation (chaleur latente) de l'eau présente en fin de réaction.

#### 3.9.2.4 QUALITE DE L'AIR

Concernant l'émission de particules fines, dans le cadre d'une chaufferie collective le système de filtration mis en œuvre doit permettre de satisfaire aux normes réglementaires, notamment le PPA IDF (voir paragraphe suivant). De plus, pour l'obtention de subventions l'ADEME exige le recours à un système performant de dépoussiérage des fumées pour des émissions bien plus faibles que celles exigées par la réglementation.

#### 3.9.2.5 PLAN DE PROTECTION DE L'AIR (PPA) D'ÎLE-DE-FRANCE

Les nouvelles VLE (valeurs limites d'émissions) fixées par le PPA révisé au 25 mars 2013 pour les chaudières de chaufferies collectives sont définies de la manière suivante :

- Installations neuves utilisant de la biomasse : les VLE poussières (TSP) applicables à 11 % d'O<sub>2</sub> sont :
  - Jusqu'à 2 MW : 60 mg/Nm<sup>3</sup> (soit 90 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub>),
  - À partir de 2 MW : 10 mg/Nm<sup>3</sup> (soit 15 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub>).
- Installations existantes utilisant de la biomasse : les VLE poussières (TSP) applicables sont :
  - Jusqu'à 2 MW : 150 mg/Nm<sup>3</sup> à 11 % d'O<sub>2</sub> (soit 225 mg/Nm<sup>3</sup> à 6 % d'O<sub>2</sub>),
  - Entre 2 et 20 MW : les VLE en zone PPA définies par le nouvel arrêté ministériel (remplaçant celui du 25 juillet 1997),
  - À partir de 20 MW : celles définies par le nouvel arrêté ministériel (remplaçant les arrêtés des 23 juillet 2010, 30 juillet 2003, 20 juin 2002 et 11 août 1999).
- Installations soumises à autorisation : pour les installations d'une puissance supérieure à 20 MW, ce sont les VLE des arrêtés des 23 juillet 2010, 30 juillet 2003, 20 juin 2002 et 11 août 1999 qui s'appliquent (ces arrêtés sont en cours de révision pour intégrer la nouvelle directive européenne IED), sauf pour celles utilisant de la biomasse, pour lesquelles ce sont les valeurs limites d'émission stipulées plus haut qui s'appliquent. D'une façon générale, des VLE plus contraignantes peuvent être fixées par l'arrêté

préfectoral d'autorisation pour chacune des installations concernées, en cohérence avec le principe selon lequel plus la puissance est élevée, plus les VLE doivent être contraignantes.

En Île-de-France, le seuil de déclaration pour les installations soumises à autorisation est ramené à :

- 20 t/an pour les émissions de Nox,
- 20 t/an pour les émissions de poussières (TSP),
- 10 t/an pour les émissions de PM10.

En Île-de-France, toutes les installations de combustion d'une puissance supérieure à 20 MW et utilisant de la biomasse, ou plusieurs combustibles, doivent mesurer en continu leurs émissions de NOx et de poussières.

Pour réduire les effets de la production de chaleur par la combustion de bois, un emplacement judicieux devra être choisi et une filtration adaptée devra donc être mise en œuvre. L'emplacement est fonction du dimensionnement des chaufferies.

Des mesures de qualité de l'air peuvent être envisagées, même pour une puissance inférieure à 20 MW. Les effets attendus de la mise en œuvre de ces mesures, avec suivi renforcé, sont l'ajustement des paramètres de combustion et de filtration si des anomalies sont constatées.

Nous rappelons également que l'Arrêté du 2 octobre 2009 relatif au contrôle des chaudières dont la puissance nominale est supérieure à 400 kW et inférieure à 20 MW précise les valeurs suivantes à respecter pour les Nox de 150mg/m<sup>3</sup> pour le gaz naturel, 200 pour le fioul domestique et le GPL, 500 pour la biomasse et 550 pour les autres combustibles.

### 3.9.2.6 AUTRES POINTS SENSIBLES

La plus grande attention doit être apportée aux éléments suivants :

- Rédaction de contrats de fourniture, notamment par la fixation du prix en fonction de l'énergie effectivement délivrée et non pas en fonction d'un poids ou d'un cubage, c'est-à-dire en €/MWh livré.
- Choix de sources d'approvisionnement multiples pour palier la défaillance d'un fournisseur. Dans ce cas, il convient de préciser de façon claire la responsabilité de chaque fournisseur vis-à-vis de la qualité du combustible livré.
- Intégration de la filière d'approvisionnement envisagée dans une filière organisée et plus vaste (département, région).
- Possibilités d'inscrire le projet dans une logique de développement local (emplois créés ou soutenus).

## 3.9.3 BOIS ENERGIE ET RESEAUX DE CHALEUR

La biomasse intéresse les réseaux de chaleur existants. Le CPCU, concessionnaire ayant en charge la distribution de chaleur par réseau urbain à Paris, travaille à l'augmentation de la part des EnR dans son mix énergétique.

Une chaufferie biomasse est en activité sur la Ville et toutes les nouvelles constructions sur le quartier y seront raccordées. Le projet de centrale biomasse de Gennevilliers avait été retenu dans le cadre de l'appel à projet CRE 4 lancé par la Commission de Régulation de l'Énergie. Cette chaufferie alimente à la fois le réseau de Gennevilliers et le réseau CPCU. Cette production de chaleur renouvelable se substitue à de la chaleur issue d'énergies fossiles (gaz pour Gennevilliers), améliorant d'environ 10 points la part d'EnR dans le mix énergétique de la CPCU et de 60 points pour le réseau de Gennevilliers. Voir chapitre Réseaux de chaleur pour plus de détails.

La filière est soutenue, notamment par la Région Île-de-France et l'ADEME, comme le montrent les investissements récents dans la construction d'une unité biomasse pour le réseau de chaleur de Saint-Denis-Stains-Pierrefitte-La Courneuve.

Le coût du combustible bois étant actuellement 2 fois moins cher que les combustibles fossiles, cela a permis également de réduire de façon significative la facture pour l'usager. (Pour le réseau de chaleur de Saint-Denis R1 bois = 33.41 € TTC /MWh (valeur 2011)).

Les critères d'octroi des subventions de la Région Île-de-France et ADEME à respecter sont :

- Utiliser la filière régionale.
- Mettre en place un plan d'assurance qualité du combustible pour éviter la combustion de bois déchets souillés.

### 3.9.3.1 RESEAUX DE CHALEUR

#### 3.9.3.1.1 Présentation générale

##### 3.9.3.1.1.1 Avantages

Le réseau de chaleur est un système de chauffage à l'échelle urbaine où la chaleur est distribuée à plusieurs bâtiments (eau ou vapeur) par un réseau dédié. Les avantages des réseaux de chaleur sont multiples :

- Pour les collectivités : réduction des GES et polluants émis par les chaudières de chaque bâtiment.
- Pour les propriétaires et gestionnaires de parcs de bâtiments : optimisation à moindre coût de leurs stratégies globales d'investissements pour les réhabilitations en vue de l'atteinte du facteur 4.
- Pour les consommateurs : intérêt économique en particulier lorsque le réseau met en œuvre des EnR (moindre sensibilité des tarifs aux variations des prix des énergies fossiles, TVA à taux réduit).

##### 3.9.3.1.1.2 Pertinence et potentialités

La pertinence d'un réseau de chaleur dépend de la densité thermique du territoire, c'est à dire la quantité d'énergie de chauffage appelée par mètre linéaire de conduite du réseau de chaleur installée. En effet, les pertes réseau ne sont pas négligeables : de l'ordre de 9,6 % sur le réseau de Gennevilliers et 5 % sur le réseau de La Courneuve.

Les réseaux actuels ont une densité énergétique très variable, s'échelonnant de 2 MWh/ml à 18 MWh/ml. La valeur moyenne francilienne étant légèrement inférieure à 9 MWh/ml.

Dans un premier temps, et bien que le seuil pour l'attribution des aides au Fonds chaleur soit de 1,5 MWh/ml (en mai 2015), seules les zones présentant une densité énergétique supérieure ou égale à 9 MWh/ml ont été retenues pour évaluer des potentiels minimums dans le SRCAE, afin de ne pas dégrader l'équilibre économique moyen des réseaux franciliens.

##### 3.9.3.1.1.3 Sources d'énergie

Un réseau de chaleur peut combiner les différentes sources d'énergies renouvelables présentées précédemment avec des combustibles fossiles. Il est recommandé d'inciter au raccordement des bâtiments aux réseaux de chaleur à la condition expresse que ces réseaux s'engagent à avoir recours aux EnR.



Le SRCAE Île-de-France considère qu'il n'y a pas de potentiel à Gennevilliers pour les réseaux spécifiquement de chaleur géothermique.

Les réseaux de chaleur peuvent également assurer la production d'électricité. Il s'agit alors de cogénération qui réalise une production combinée d'énergie électrique et thermique par la combustion de biomasse (biogaz, bois énergie...) ou d'énergies fossiles.

L'intérêt d'une telle installation réside dans son rendement total (somme du rendement électrique et du rendement thermique) qui s'échelonne entre 70 et 90 %. Rappelons que la production simple d'électricité à partir d'une énergie fossile se fait avec des rendements en moyenne de 37 % (une centrale classique) à 55% (centrale à cycle combiné).

Cette filière cogénération, qui avait été promue par la mise en place de tarifs d'achat incitatif, ne bénéficie actuellement plus de ces dispositifs. Leur rentabilité n'est donc plus aussi attractive qu'auparavant, sauf en cas d'alimentation en EnR.

Un avantage des réseaux de chaleur est notamment la possibilité de réguler les émissions de particules fines liées à la combustion. Or Gennevilliers fait partie des communes sensibles à la qualité de l'air.

3.9.3.2 SITUATION A GENNEVILLIERS

Il existe un réseau de chaleur sur Gennevilliers : anciennement nommé Gennedith. Voici ses caractéristiques principales (données 2010, Source : Viaseva) :

- Longueur du réseau : 15,0 km
- Équivalent logements desservis : 9 300
- Puissance thermique installée sur le réseau : 45 MWh
- Énergies utilisées : biomasse à 60 %, gaz à 38%, fioul à 2 %

Le raccordement à un réseau de chaleur vertueux sur le plan des émissions de CO2 permet de bénéficier des modulations suivantes du Cepmax (calcul RT2012) :

- +30 % pour les réseaux dont le contenu CO<sup>2</sup> est inférieur ou égal à 50 g/kWh,
- +20 % pour les réseaux dont le contenu CO<sup>2</sup> est supérieur à 50g/kWh et inférieur ou égal à 100 g/kWh,
- +10 % pour les réseaux dont le contenu CO<sup>2</sup> est supérieur à 100g/kWh et inférieur ou égal à 150 g/kWh.

Grâce à de tels réseaux de chaleur, les exigences en termes de performances du bâti sont moindres.

Une nouvelle chaufferie a été bâtie au croisement de la rue des Caboeufs et de l’avenue de Cely. Elle est alimentée en plaquettes forestières et bois recyclés provenant de moins de 100 km (source : offre Gennevilliers Energie \_ janvier 2013).

La mise en service est effective depuis 2016.

Cette nouvelle chaufferie permettra, à terme, de produire 17 000 MWh supplémentaires et d’atteindre un taux de 60% d’énergie renouvelable pour l’ensemble du réseau. Le nouveau réseau permettra l’atteinte d’un seuil permettant la modulation du Cepmax. Le contenu carbone du futur réseau est estimé à 106 g/kWh.

Pour limiter les pollutions provenant de la combustion du bois, des filtres sont prévus :

- Dépoussiéreur multi-cyclones.

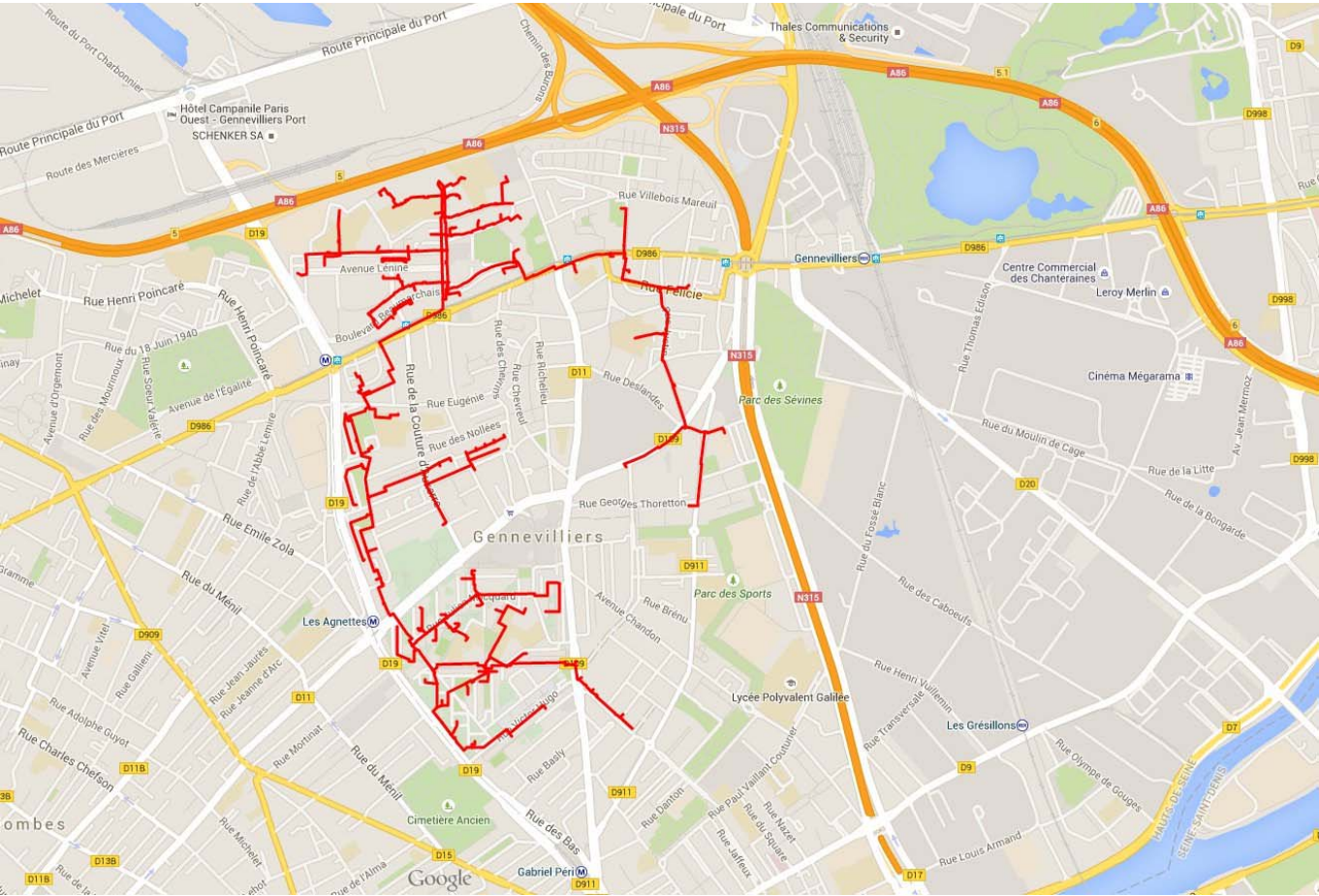
- Filtres à manches.

Les niveaux d'émission seront inférieurs à la réglementation :

Combustible	VLE attendues dans le prochain arrêté	Engagement de Gennevilliers Energie
Poussières	30 mg/Nm <sup>3</sup> (à 6% d'O <sub>2</sub> )	15 mg/Nm <sup>3</sup> (à 6% d'O <sub>2</sub> )
CO	200 mg/Nm <sup>3</sup> (à 6% d'O <sub>2</sub> )	200 mg/Nm <sup>3</sup> (à 6% d'O <sub>2</sub> )
NO <sub>x</sub>	400 mg/Nm <sup>3</sup> (à 6% d'O <sub>2</sub> )	300 mg/Nm <sup>3</sup> (à 6% d'O <sub>2</sub> )
SO <sub>2</sub>	200 mg/Nm <sup>3</sup> (à 6% d'O <sub>2</sub> )	200 mg/Nm <sup>3</sup> (à 6% d'O <sub>2</sub> )

La mise en place de cette nouvelle chaufferie s'accompagne d'une amélioration du réseau existant pour assurer un rendement du réseau supérieur à 90 %.

Le réseau de chaleur dessert actuellement la ZAC des Agnettes.



Plan actuel du réseau de chaleur Gennevilliers Énergie

### 3.9.4 CONDITIONS TECHNIQUES POUR LA CONSTRUCTION D'UN RESEAU DE CHALEUR

Le CETE de l'ouest précise les conditions techniques à respecter pour optimiser la rentabilité d'un réseau de chaleur dans l'exemple ci-après.

Au stade de création de la ZAC, les éléments de programmation précis ne sont pas encore connus, aussi nous nous limiterons à citer ces consignes pour une prise en compte lors de l'aménagement du site.

#### 3.9.4.1 DENSITE THERMIQUE

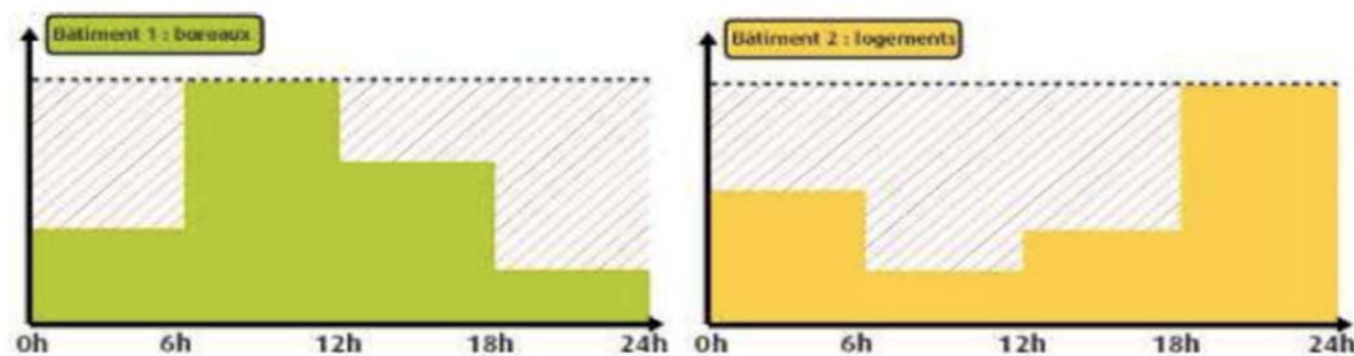
Le plan de masse n'étant pas totalement figé, il n'est pas possible de calculer le nombre de mètre linéaire de canalisation nécessaire pour l'opération et donc de définir la densité thermique permettant de valider la pertinence d'un réseau de chaleur pour la ZAC. Néanmoins, il est vraisemblable que la densité thermique atteinte sera supérieure à 3 MWh/ml, ce qui justifierait l'extension du réseau existant jusqu'aux bâtiments à construire.

À titre de comparaison, l'ADEME accorde des subventions sur les réseaux de chaleur sous condition d'une densité de 1,5 MWh/ml. Ce niveau n'est pas nécessairement une référence à viser absolument, mais il donne un ordre d'idée intéressant pour juger de la pertinence économique d'un réseau de chaleur. De manière générale, il est d'usage d'être à un niveau minimum de 3 MWh/ml pour qu'un projet soit compétitif économiquement.

**La mixité d'usage** est un élément essentiel à la pertinence énergétique d'un réseau de chaleur, car elle procure un effet de foisonnement. Le foisonnement a pour effet de lisser les besoins (c'est-à-dire d'atténuer l'effet de « pics »), sur la journée, la semaine ou l'année.

**Exemple du principe de foisonnement** (source CETE de l'ouest)

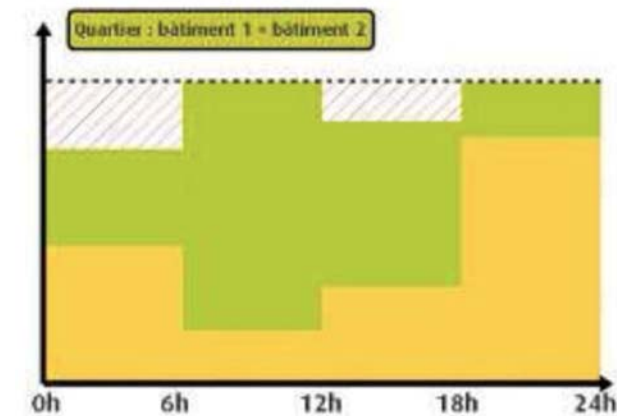
Cas n°1 : 2 bâtiments disposant chacun de leur système de chauffage



Pour le bâtiment 1 (bureaux), la pointe de consommation se situe sur la tranche horaire 6h-12h (arrivée des employés dans le bâtiment). À l'inverse la consommation est très faible en soirée, le bâtiment étant inoccupé. Dans le bâtiment 2 (logements), on considère dans cet exemple simplifié que c'est le scénario inverse : en journée, le logement est vide donc faiblement chauffé, en revanche les occupants présents en soirée et la nuit font appel au chauffage pour assurer leur confort.

Le système de chauffage propre au bâtiment 1 doit être capable de délivrer la puissance nécessaire au pic de la tranche matinale, tandis que celui du bâtiment 2 doit assurer la puissance nécessaire au pic du soir. Les surfaces de hachures représentent la puissance installée et non utilisée sur chaque tranche horaire. On constate que ces surfaces sont relativement importantes.

Cas n°2 : 2 bâtiments constituant un « micro-quartier », chauffés par un système collectif



Les profils d'appel de chaleur des 2 bâtiments sont strictement identiques à ceux du cas n°1. En les additionnant, on obtient une courbe d'appel sur la journée beaucoup plus stable, les pics du bâtiment 1 étant en phase avec les heures creuses du bâtiment 2.

On constate que la surface hachurée est beaucoup plus faible que dans le cas n°1. La puissance totale installée est plus faible et les générateurs fonctionnent plus souvent à un régime proche de leur puissance nominale, ce qui améliore leur rendement et l'adéquation entre le coût d'investissement et les revenus.

#### 3.9.4.2 INTERET DE LA PRISE EN COMPTE DU FOISONNEMENT DANS LE DIMENSIONNEMENT DES SYSTEMES

En complément de la densité thermique, les pics de besoins ont un effet direct sur le dimensionnement du réseau de chaleur et donc sur son coût et doivent de ce fait être pris en compte.

L'indicateur permettant de qualifier l'effet de foisonnement précédemment expliqué est la durée d'utilisation équivalente à pleine puissance, également appelée « durée de fonctionnement ». Elle correspond au rapport entre l'énergie utile livrée sur un an et la puissance installée du système. En effet, moins les besoins sont intermittents, plus la durée d'utilisation équivalente à pleine puissance est élevée.

Pour un fonctionnement théorique à pleine charge (réseau qui fonctionnerait à 100% de sa puissance nominale toute l'année), la durée de fonctionnement serait de 8760 heures (24x365). Une durée de fonctionnement de 2500 heures est courante. Lorsque la durée de fonctionnement est inférieure à 2000 heures, cela signifie que la capacité de la chaudière est peu exploitée, avec un impact négatif sur le coût de la chaleur, dont une partie sert à rembourser l'achat de la puissance installée.

Le lissage de la courbe des besoins augmente la durée de fonctionnement équivalente à pleine puissance et améliore donc la rentabilité du réseau de chaleur. La répartition temporelle des appels de puissance sera donc à étudier, lorsque le projet sera plus précisément défini pour optimiser la puissance à installer en cas de réseau de chaleur.



Le réseau de chaleur, en complément des avantages liés à la mutualisation des équipements, à sa maintenance centralisée, a donc comme atout le fait de nécessiter une puissance installée plus faible, grâce au lissage des appels de puissances.

Il est d'autant plus important de s'intéresser à ces notions de foisonnement que les systèmes de génération de chaleur renouvelable coûtent en général plus cher, au watt installé, que les systèmes gaz ou électricité.

Néanmoins, la très forte proportion de logement sur la ZAC du Centre par rapport aux équipements et bâtiments de bureaux, ne permet pas de bénéficier de l'optimisation liée au foisonnement, sauf si le réseau de chaleur est plus vaste, ce qui sera le cas si la ZAC est raccordée au réseau de chaleur existant à Gennevilliers.

### 3.9.4.3 AUTRES OPTIMISATIONS DU RESEAU DE CHALEUR

En dehors de la densité thermique et de la durée de fonctionnement, d'autres optimisations sont possibles, comme celles indiquées par l'association AMORCE dans le document « solutions techniques pour optimiser les réseaux de chaleur dans un contexte de développement de bâtiments basse consommation », par exemple :

- La diminution de la température de retour du réseau de chaleur,
- La sur isolation du réseau,
- La variation de température sur le réseau de chaleur,
- L'optimisation du point de fonctionnement d'une pompe à régime fixe,
- La variation électronique de vitesse (VEV) sur les pompes primaires réseau
- La mise en place d'une sous-station collective et de sous-station dans les immeubles performantes,
- La mise en œuvre de solaire thermique centralisée,
- Le relevé de température en sous-station,
- L'optimisation du tracé de réseau,
- Le ballon d'hydro accumulation,
- Le stockage tampon grande capacité,
- Les incitations tarifaires.

## 3.10 Réseaux de froid

### 3.10.1 PRESENTATION GENERALE

Un réseau de froid évacue la chaleur des bâtiments et la transporte jusqu'à un point de rejet dans l'air ou dans l'eau (mer, rivière). On trouve dans un réseau de froid une (ou plusieurs) unité(s) d'évacuation de la chaleur (que l'on peut considérer comme centrale de production de froid), un réseau de canalisations permettant le transport de chaleur par un fluide caloporteur (en général de l'eau, dont la température se situe entre 1 et 12°C à l'aller, et entre 10 et 20°C au retour) et des sous-stations assurant la collecte de la chaleur dans les immeubles à climatiser.

La technique dominante dans les réseaux de froid en France est le compresseur (95% du froid urbain), avec rejet de la chaleur dans l'air ou dans l'eau. Les énergies renouvelables et de récupération ne représentent actuellement que 3% du bouquet énergétique des réseaux de froid.

Avec 620 MW recensés en 2008, la France est le premier pays d'Europe en puissance installée, devant la Suède. Les réseaux de froid restent assez peu répandus. En Europe, ils ne représentent qu'entre 1% et 2% du marché du froid.

### 3.10.2 AVANTAGES

Les réseaux de froid présentent plusieurs avantages :

- Efficacité énergétique : Production de froid par des machines industrielles à très haut rendement énergétique (30 à 50 % supérieur aux installations autonomes), adaptation en continu de la production de

froid aux besoins réels de climatisation, rôle stabilisateur et de soutien aux réseaux énergétiques (électricité, chaleur).

- Contrôle des performances dans la durée.
- Lutte contre les îlots de chaleur urbains : Réduction des émissions de gaz à effet de serre et des rejets polluants par rapport aux systèmes de climatisation individuels ou d'immeubles, maîtrise des fluides frigorigènes, via un confinement très poussé.
- Confort et sécurité des usagers.

### 3.10.3 SITUATION DE LA ZAC

Le programme de la ZAC des Agnettes prévoit une grande majorité de logements pour lesquels le besoin en froid est considéré comme nul. En effet la stratégie environnementale privilégie à ce stade une réduction passive de l'échauffement dans les logements : protections solaires efficaces, ventilation naturelle traversante, ventilation nocturne, inertie, free-cooling, réduction de l'effet îlot de chaleur...

Certains autres éléments programmatiques peuvent nécessiter le recours à la climatisation (commerces, locaux professionnels, soit environ 5 % des surfaces). Cette consommation (électrique) est prise en compte dans les ratios de consommation utilisés pour ces entités. Le besoin en froid de ces entités étant faible à l'échelle de la ZAC, l'étude n'a pas été plus poussée sur ce point.



# 4. HIERARCHISATION DES FILIERES ENERGETIQUES POUR LA ZAC

---

Nous retenons uniquement les filières indiquées en vert dans l'étude énergie

Filière	Production	Retour sur investissement économique moyen	Retour sur investissement écologique	Particularités techniques ou administratives	Données environnementales locales	Échelle possible	Orientation pour la ZAC
Chaudière gaz à condensation	Chauffage Eau chaude sanitaire	Référence	Recours à une énergie fossile (non renouvelable) mais énergie fossile la moins émettrice en gaz carbonique		Réseau de gaz disponible sur la ZAC	Logement Bâtiment Secteur ZAC	Filière peu pertinente au vu de la présence d'un réseau de chaleur sur la ZAC mais utilisée en appoint du scénario B (géothermie)
Électricité	Chauffage Eau chaude sanitaire	Voir géothermies	Émissions de CO <sup>2</sup> lors des pics de consommation		Réseau électrique disponible sur la ZAC	Logement Bâtiment	Filière faisant l'objet d'un scénario, via la géothermie (PAC) (scénario B)
Bois	Chauffage Eau chaude sanitaire Électricité (cogénération)	8 à 15 ans	Amélioration du bilan carbone en cas de recours à une ressource gérée de manière durable Contrainte liée à l'acheminement Possibilité de valorisation de déchets de bois Possibilité de faire de la cogénération : production d'électricité verte sur le site	Combinaison avec une installation gaz pour couverture des périodes les plus froides Étude à mener sur la concurrence disponible pour le prix de l'énergie Le silo de stockage devra être implanté hors d'une zone de remontées des nappes	Fournisseur de plaquettes bois à proximité	Bâtiment Secteur ZAC	Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique (scénario A) basé sur le projet de chaufferie biomasse sur le réseau de chaleur
PAC sur nappe aquifère superficiel	Chauffage Eau chaude sanitaire Rafrâichissement	5 à 16 ans	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route	Vérification requise du volume d'eau, du débit exploitable, de la température (réalisation d'un forage de contrôle) Délai administratif long	Nappe Eocène Poyen et Inférieur à 40-60 m de profondeur, avec un potentiel géothermique moyen	Bâtiment Secteur ZAC	Filière de référence étudiée indirectement via le scénario de géothermie sur sondes (scénario B)
PAC sur sondes géothermiques	Chauffage Rafrâichissement	7 à 10 ans	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route	Distance minimale à respecter entre les sondes		Bâtiment Secteur ZAC	Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique (scénario B)
Solaire thermique	Eau chaude sanitaire Chauffage Climatisation	12 à 15 ans	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route	D'autant plus efficace que les besoins sont constants sur l'année ou supérieurs en période estivale	Baisse des besoins en période estivale du fait des congés	Bâtiment	Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique (scénario C)
Solaire photovoltaïque	Électricité	15 à 20 ans	Amélioration du bilan carbone Réduction de la production de déchets nucléaires Vigilance à avoir par rapport à l'origine géographique des matériaux / analyse de cycle de vie	Obligation d'achat par EDF Intégration au bâti à trouver (toiture terrasse membrane d'étanchéité, brise soleil, vitrage...)	Possibilité d'éviter les phénomènes de masques	Bâtiment	Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique (scénario D)
Récupération d'énergie sur réseau d'assainissement	Eau chaude sanitaire Chauffage	Entre 2 et 10 ans	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale	Faisabilité dépend du débit et de la pente du réseau, de la présence d'une chute d'eau, des besoins de chaleur à proximité, de la longueur de l'échangeur de 20 à 200 ml max. La puissance de production	Pas de nuisances car intégré à un réseau enterré	Quartier	Filière secondaire, envisageable notamment pour un réseau de chaleur

	Climatisation Electricité		sans approvisionnements par la route	minimum doit être de 150 kW. Et la distance entre le réseau et le bâtiment doit être inférieur à 300 ml.	Production continue et réversible		
PAC sur pieux géothermiques	Chauffage Rafraîchissement	Faible coût si la construction nécessite des fondations sur pieux	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route	Distance minimale à respecter entre les pieux (régénération du sol nécessaire). Faisabilité dépend de la nature du sol.	A étudier plus précisément en fonction de l'étude de sol pour vérifier l'absence localement de vides souterrains	Bâtiment	Filière secondaire dans l'hypothèse de non-réalisation d'une des filières prioritaires et prioritaire dans l'hypothèse de pieux à réaliser pour le bâti
Petit éolien	Électricité	60 à 140 ans	Amélioration du bilan carbone Réduction de la production de déchets nucléaires	Obtention d'un permis de construire Nécessité de figurer en ZDE pour bénéficier d'un achat EDF, ou de négocier avec un partenaire accrédité d'EDF (coût d'achat moins intéressant) si hors ZDE Fonctionnement adéquat à partir de vents de 7 m/s	Rugosité aérodynamique forte à proximité de bâtiments Méconnaissance du niveau de bruit / vibrations induits par des solutions en toiture	Bâtiment Secteur ZAC	Filière secondaire en appoint possible dans un but pédagogique sur la ZAC Pas de pertinence économique actuellement
PAC sur aquifère de l'Albien	Eau chaude sanitaire Chauffage Rafraîchissement	A déterminer	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route	Vérification requise du volume d'eau, du débit exploitable, de la température (réalisation d'un forage de contrôle) Autorisation spécifique pour cette source stratégique d'eau potable	Nappe de l'Albien vers 600m de profondeur mais la ZAC n'est pas dans une zone prioritaire	ZAC	Filière non retenue car le site n'est pas dans une zone favorable
Data centers	Chauffage Eau chaude sanitaire	?	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route	Vérification requise des capacités de production de chaleur des data centers par un audit énergétique Autorisation spécifique du propriétaire	Pas de nuisances car intégré à un réseau enterré Production continue	ZAC	Filière non retenue car elle n'est envisageable que lorsqu'un data center est à proximité
Grand éolien	Électricité	8 à 10 ans	Amélioration du bilan carbone Réduction de la production de déchets nucléaires Incidences paysagères et écologiques possibles	Obtention d'un permis de construire Nécessité de figurer en ZDE pour obtenir un contrat d'obligation d'achat	Potentiel éolien à grande hauteur faible Proximité de zone urbaine dense Superficie insuffisante et site hors ZDE	ZAC	Filière non retenue par manque de surface foncière
Méthanisation	Électricité Chauffage Eau chaude sanitaire	6 à 17 ans	Filière courte pour le traitement de déchets agricoles et déchets verts Équilibrage du cycle du carbone avec les activités agricoles	Surface minimale requise de 1 ha (puissance installée de 250 kW à 500 kW) Distance minimale des habitations de 50 m Procédure ICPE Délai d'installation supérieur à 2 ans Nécessité d'une demande en énergie constante.	Insuffisance de place dans la ZAC par rapport au programme Pas de terrains disponibles à proximité de la ZAC Gisement de déchets verts et agroalimentaire à proximité	ZAC	Filière non retenue par manque de surface foncière
PAC sur aquifère du Dogger	Eau chaude sanitaire Chauffage Rafraîchissement	Rentabilité pour besoins supérieurs à 40 GWh/an	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route	Vérification requise du volume d'eau, du débit exploitable, de la température (réalisation d'un forage de contrôle) Autorisation spécifique administratif long	Nappe de Dogger vers 1800m de profondeur, avec un fort potentiel géothermique	Quartier ZAC	Filière non retenue car les besoins thermiques sont trop faibles
Incinération d'ordures ménagères	Électricité Chauffage Eau chaude sanitaire	Reste à déterminer	Installations classées avec les contraintes écologiques associées	Procédure et délais d'études, et d'installation	Il n'est pas envisagé de modifier le schéma de collecte et de traitement des déchets	ZAC	Filière non retenue car il n'y a pas de volonté de créer une ICPE à proximité

## 5. CONSOMMATIONS INITIALES ET SCENARIOS

### 5.1 Méthode et Hypothèses

#### 5.1.1 METHODE

Nous estimons en premier lieu les consommations de l'état initial du périmètre d'étude et de la ZAC.

Les consommations à l'état projeté sont ensuite estimées, suivant les différents scénarios d'approvisionnement en énergie décrits précédemment. Sur la base de ces consommations sont estimés les coûts des énergies (impact financier) et les émissions de CO<sup>2</sup> (impact environnemental via les émissions de gaz à effet de serre).

Les scénarios sont ensuite comparés selon ces indicateurs.

Une approche en coût globale sur 20 ans est menée au chapitre suivant, en prenant en compte les coûts d'investissement.

#### 5.1.2 PERFORMANCE ENERGETIQUE DES BATIMENTS

Les ratios de consommation énergétique pris en compte pour chaque typologie de bâtiment sont détaillés dans chaque tableau.

Pour les consommations en chauffage urbain et gaz des logements sociaux existants sur la ZAC des Agnettes, les consommations correspondent à celles relevées lors de l'étude énergétique réalisée pour le diagnostic du schéma directeur de la zone, en 2015.

Les consommations des bâtiments existants sont calculées à partir de ratios provenant du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD), de l'ADEME et du CEREN (observatoire statistique de la demande en énergie) sur la consommation moyenne des bâtiments existants en France.

Pour les bâtiments les valeurs prises en compte correspondent à une performance énergétique moyenne réaliste, légèrement meilleure que l'exigence de la RT2012. Les valeurs sont issues de calculs RT2012 provenant de divers projets représentatifs réalisés en Île-de-France, et adaptées selon le contexte de la ZAC.

Voici les seuils de consommation maximum fixés dans la RT2012 et les valeurs prises en compte :

Typologie	Cep max en kWhEP/m <sup>2</sup> .an au sens RT2012	Valeur prise en compte dans l'étude en kWhEP/m <sup>2</sup> .an
Logement collectif (Mcsurf=0)	60	55
Groupe scolaire	110	85
Bureaux climatisés	110	100
Commerces	320	180
Logements existant rénovés	Non concerné	85

Ces objectifs ne nécessitent pas le recours à des technologies spécifiques. Les techniques utilisées actuellement dans le bâtiment suffisent à remplir cette performance (exemple pour le logement : isolation par l'intérieur et chauffage au gaz ou via le réseau de chaleur, sans panneaux solaires).

TRANS-FAIRE

Afin d'assurer l'exhaustivité du calcul, les consommations autres que les 5 postes de la RT2012 (chauffage, ECS, ventilation, éclairage et auxiliaires) sont également estimées, avec les ratios du label BEPOS-Effinergie (30kWhEP/m<sup>2</sup>.an pour les groupes scolaires, 70 pour les logements et 100 pour les autres typologies).

#### 5.1.3 CONVERSION ENERGIE PRIMAIRE / ENERGIE FINALE

- Chauffage urbain (biomasse) :  $\eta = 90\%$  soit un coefficient de 1,11 (source : offre Gennevilliers Energie, 2013)
- Bois : coefficient de 0 (source : règle de calcul du label BEPOS-Effinergie)
- Électricité : coefficient de 2,58 (source : RT2005, RT2012)
- Gaz : coefficient de 1 (source : RT2005, RT2012)

#### 5.1.4 PRIX DES ENERGIES

- Chauffage urbain : 2,16 cts€/kWhEF (Gennevilliers Energie, tarifs de vente, avril 2020)
- Électricité (particuliers) : 21,6 cts€/kWhEF (base de données Pégase, MEDDE, mai 2015)
- Électricité (professionnels) : 14,6 cts€/kWhEF (base de données Pégase, MEDDE, mai 2015)
- Gaz (particuliers) : 7,69 cts€/kWhEF (base de données Pégase, MEDDE, juin 2015)
- Gaz (professionnels) : 5,9 cts€/kWhEF (base de données Pégase, MEDDE, juin 2015)
- Rachat d'énergie photovoltaïque : 12,07 cts€/kWhEF (source : selon arrêté du 4 mars 2011 pour le 2e trimestre 2015))

#### 5.1.5 ÉMISSIONS DE CO2

Les gaz à effet de serre (GES) sont des composants gazeux qui absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre, contribuant à l'effet de serre. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est un facteur soupçonné d'être à l'origine du récent réchauffement climatique.

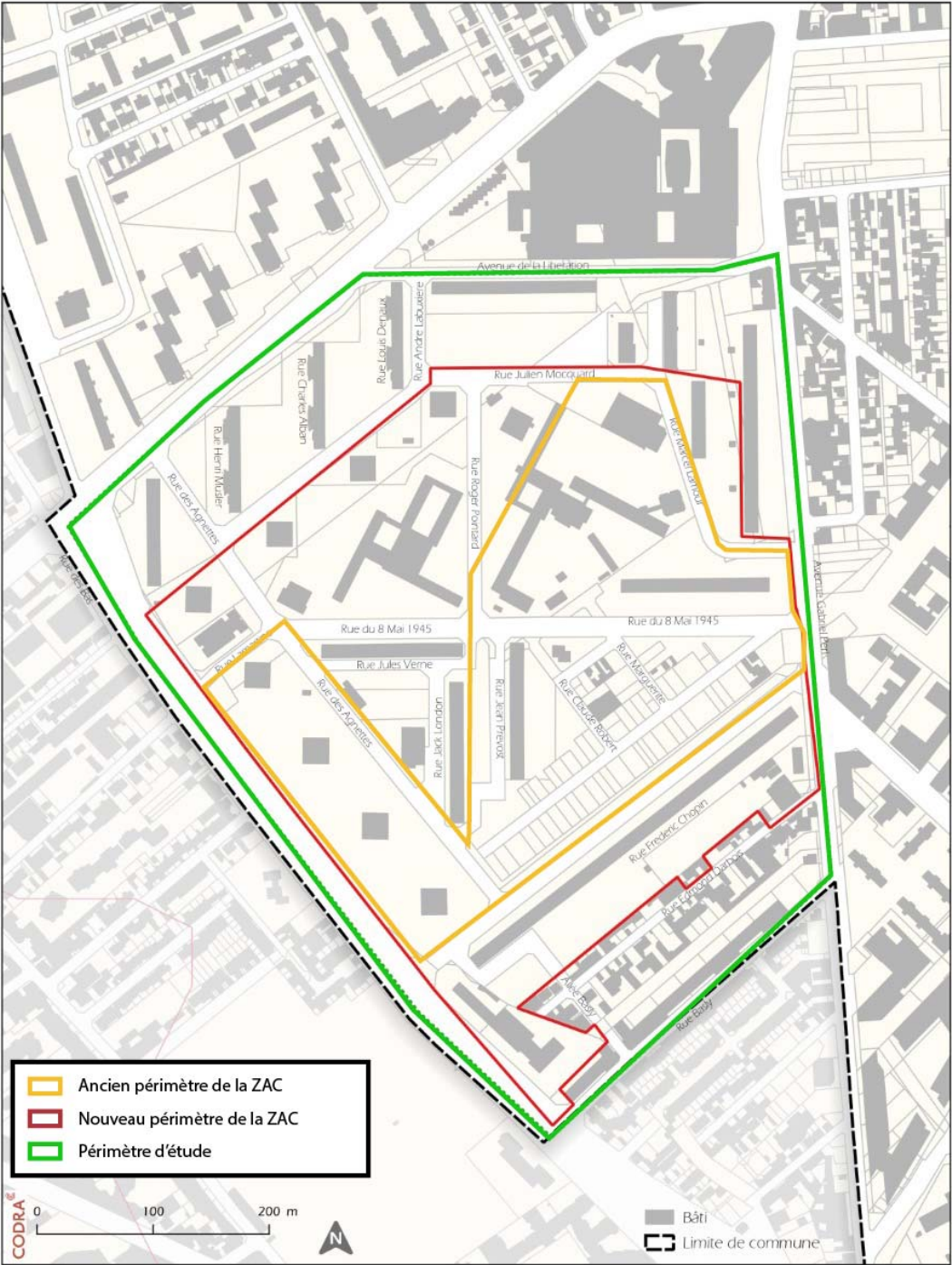
Nous regroupons l'ensemble des gaz à effets de serre dans un indicateur g équivalent CO<sup>2</sup>

- Chauffage urbain (biomasse) : 104 g équivalent CO<sub>2</sub> / kWhEF (source : offre Gennevilliers Energie, 2013)
- Électricité : 84 g équivalent CO<sub>2</sub> / kWhEF (source : référentiel HQE)
- Gaz : 234 g éq. CO<sub>2</sub> / kWhEF (source : référentiel HQE)

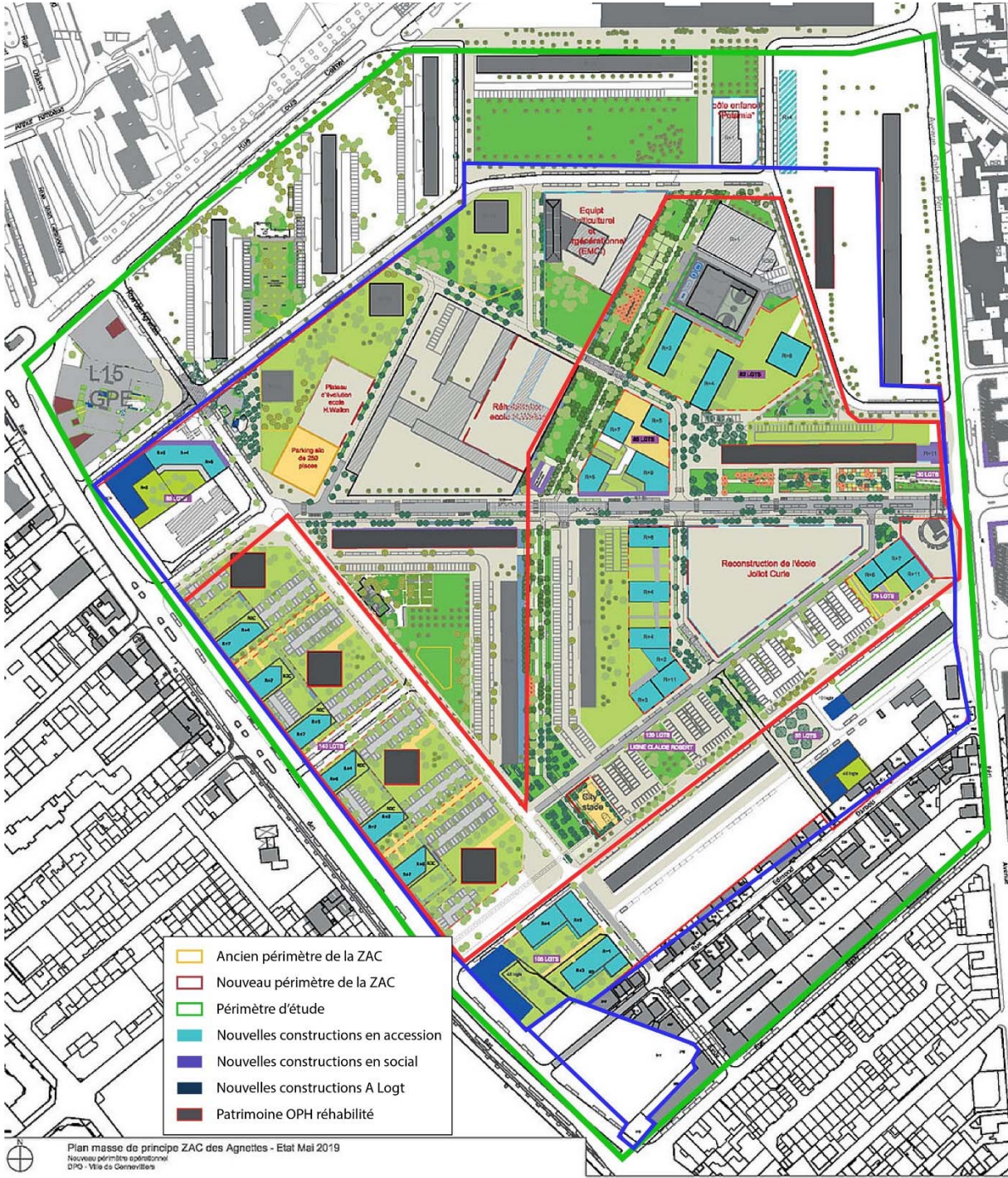


5.2 Périmètres

ZAC des Agnettes - Gennevilliers - Étude d'impact



Comparaison des périmètres de la ZAC – Etat initial (source : CODRA)



Comparaison des périmètres de la ZAC – Etat projet (source : TRANS-FAIRE, à partir du plan masse diffusé par la Ville de Gennevilliers)

Ce nouveau périmètre de ZAC s'étend essentiellement :

- a) Au Nord, avec l'intégration du deuxième groupe scolaire du quartier, Henri Wallon ; l'îlot de la tour, 9 rue des Agnettes et de la bourse du travail ; le périmètre de la place des Agnettes et son centre commercial ; la maison du développement Culturel, futur lieu d'accueil de l'Equipement Multifonctionnel, culturel et intergénérationnel du quartier ;
- b) Au Sud-Ouest, avec l'ajout du secteur occupé par les locaux de la Compagnie Générale des Eaux et par ceux du Conseil départemental des Hauts-de-Seine.



Les surfaces de l'état initial passent donc d'une estimation de 42 744 m<sup>2</sup> de logements sociaux existants, à une estimation de 136 947. De même, pour les équipements, la surface estimée passe de 7047 à 16 647.

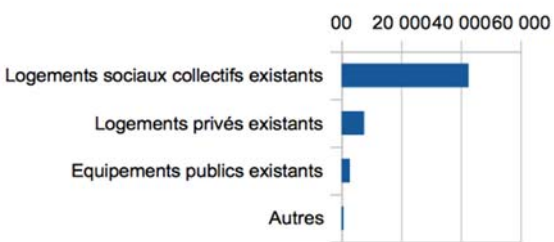
Concernant l'état projet, une estimation des surfaces à construire et à réhabiliter a été réalisée, sur la base du plan masse diffusé par la ville. La surface de logements neufs passe donc de 26 600 à 39 772 m<sup>2</sup>. La surface de logements à rénover passe de 39 162 à 54 134 m<sup>2</sup>. Concernant les équipements, la surface estimée passe de 8347 m<sup>2</sup> à 12480m<sup>2</sup>.

### 5.2.1 ÉTAT INITIAL

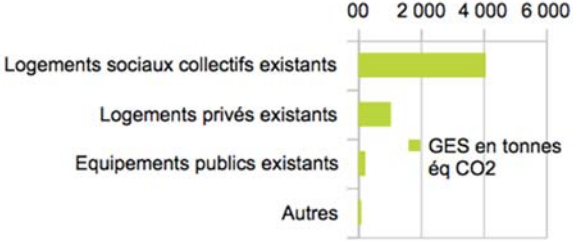
Le réseau de chaleur urbain alimente les logements sociaux et les équipements publics pour le poste chauffage. Ces bâtiments produisent leur eau chaude sanitaire via des chaufferies au gaz par bâtiment. Les autres typologies de bâtiment sont chauffées soit au gaz soit à l'électricité.

#### Périmètre d'étude

	Surface estimée (m <sup>2</sup> )	Chauffage Urbain (kWhEP/an)	Gaz (kWhEP/an)	Electricité (kWhEP/an)	Total en MWhEP/an	Coût des énergies en €/an	GES en tonnes éq CO <sub>2</sub>
Logements sociaux collectifs existants	173 147	17 428 406	6 777 755	18 400 304	42 606	2 911 573	4 069
Logements privés existants	29 315	128 600	3 740 940	3 728 016	7 598	606 619	1 042
Équipements publics existants	18 310	1 849 641	00	947 153	2 797	169 336	225
Autres	2 564	00	348 758	325 679	674	54 136	95
<b>Total</b>					<b>53 675</b>	<b>3 741 664</b>	<b>5 431</b>



Consommation totale en MWhEP/an

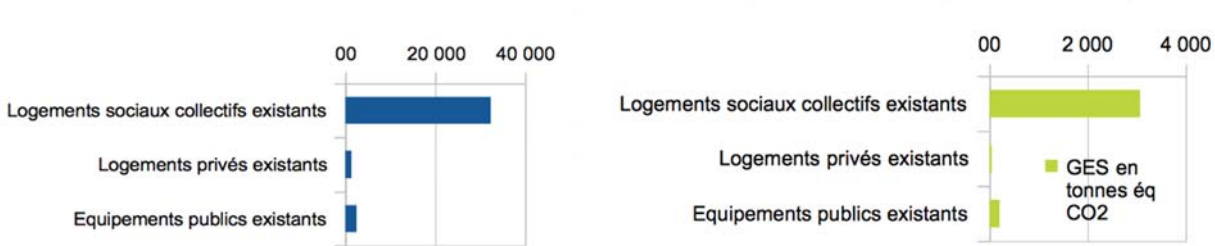


GES en tonnes éq CO<sub>2</sub>

#### Périmètre de la ZAC

Les logements publics existant sur la ZAC représentent la grande majorité des consommations énergétiques sur le périmètre de la ZAC.

	Surface estimée (m <sup>2</sup> )	Chauffage Urbain (kWhEP/an)	Gaz (kWhEP/an)	Electricité (kWhEP/an)	Total en MWhEP/an	Coût des énergies en €/an	GES en tonnes éq CO <sub>2</sub>
Logements sociaux collectifs existants	136 947	12 796 791	5 192 256	14 340 715	32 330	2 224 050	3 067
Logements privés existants	2 710	00	00	1 359 905	1 360	114 063	44
Équipements publics existants	16 647	1 652 400	00	832 092	2 484	150 099	200
<b>Total</b>					<b>36 174</b>	<b>2 488 212</b>	<b>3 311</b>



Consommation totale en MWhEP/an

GES en tonnes éq CO<sub>2</sub>

### 5.2.2 ETAT PROJETE

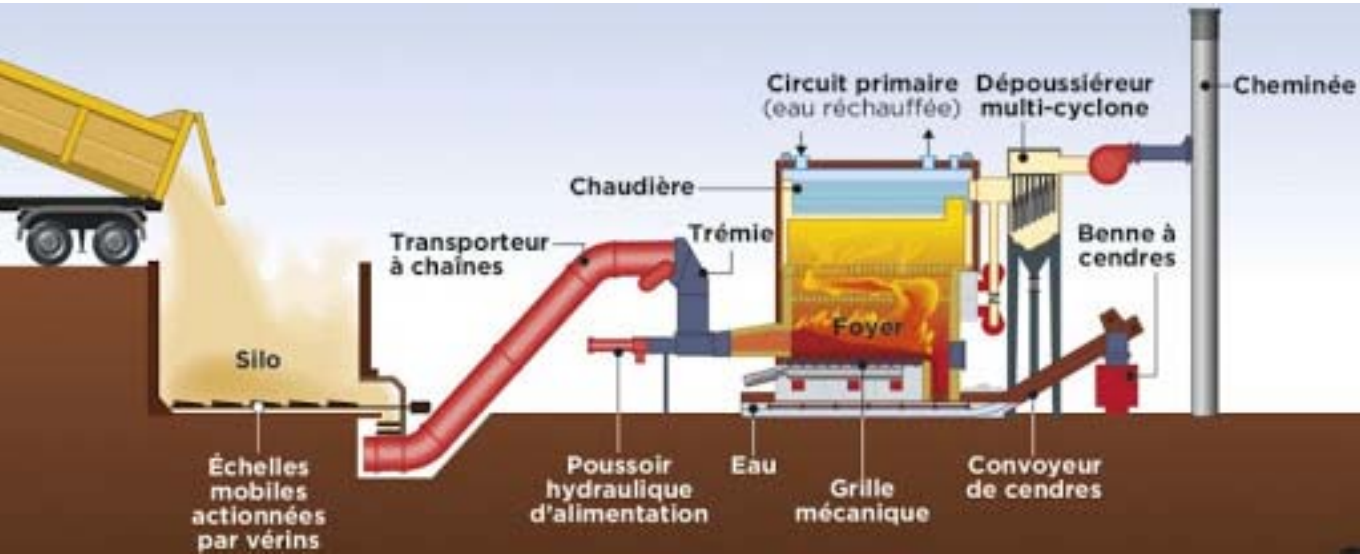
Le projet de requalification prévoit :

- Une réorganisation du réseau viaire.
- La construction de nouveaux logements (densification).
- La rénovation des immeubles existants.
- La réorganisation des écoles du quartier.
- La résidentialisation des espaces publics et pieds d'immeubles et la création d'un parking silo.

#### 5.2.2.1 SCENARIO A : BIOMASSE SUR RESEAU DE CHALEUR

Ce scénario à l'état projeté prend en compte la création de nouveaux logements sur la zone, mais également la rénovation des logements publics existants.

Pour l'approvisionnement en énergie, ce scénario correspond à l'évolution prévue du réseau de chaleur urbain de Gennevilliers : une nouvelle chaufferie alimentée au bois a été livrée en 2016. À terme le bois couvrira 60 % de besoins en chaleur du réseau. Une amélioration du réseau lui-même est également au programme, afin de réduire les pertes thermiques de distribution de 30 à 10 %.



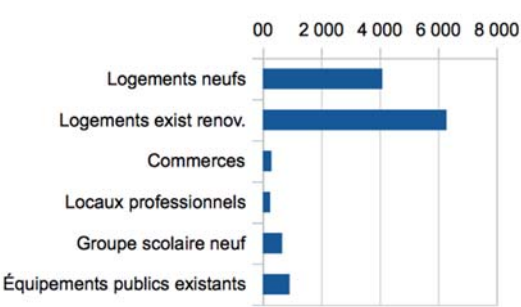
Principe de la chaufferie bois

Dans ce scénario, le coefficient de conversion entre énergie primaire et énergie finale du bois est considéré comme nul, conformément aux règles de calcul BEPOS-Effinergie. En effet le CO<sup>2</sup> libéré lors de la combustion du bois avait auparavant été stocké par l'arbre lors de sa croissance.

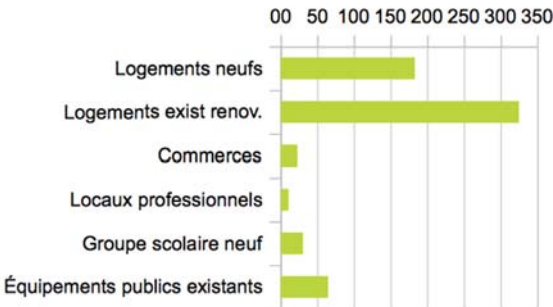
Les logements sociaux neufs et existants, les équipements publics, et les locaux professionnels bénéficient de ce réseau pour le chauffage mais également pour l'ECS. Les commerces sont autonomes (gaz et électricité).

Périmètre d'étude

	Surface estimée (m²)	Consommations (en kWhEP/m².an)				Conso. en MWhEP/an	Coût des énergies en €/an	GES en tonnes éq CO2
		Chauff.	ECS	Vent. + écl. + aux.	Autres élec.			
Logements neufs	40 540	9	9	15	70	4 167	408 216	187
Logements exist. rénov.	174 756	18	13	15	70	20 291	2 145 038	1 049
Commerces	2 500	50	10	70	150	700	57 667	54
Locaux professionnels	3 900	11	4	15	70	392	37 838	17
Groupe scolaire neuf	7 000	11	7	45	30	649	53 605	30
Équipements publics existants	12 910	70	20	30	50	2 195	278 776	155
Logements privés existants	26 792	110	40	19	70	7 598	606 986	1 060
Total	268 398					35 992	3 588 125	2 552



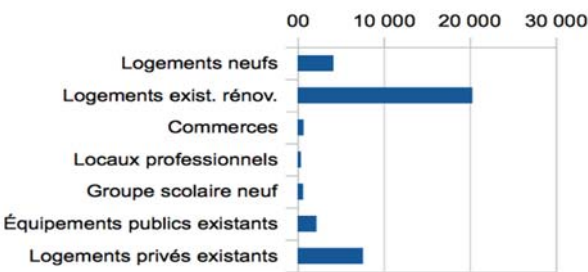
Consommation totale en MWhEP/an



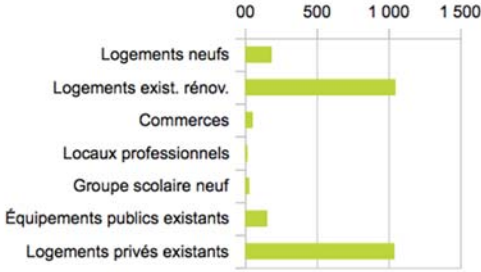
GES en tonnes éq CO2

Le projet de ZAC modifie le profil de consommations. La création de logements apporte de nouvelles consommations. Néanmoins la rénovation des logements publics prise en compte dans le scénario limite l'impact de ces logements créés. En outre le programme de rénovation et le raccordement au réseau de chaleur alimenté par une chaufferie biomasse limitent largement la consommation en énergie primaire globale.

5.2.2.2 SCENARIO B : GEOTHERMIE SUR SONDE AVEC APPOINT GAZ



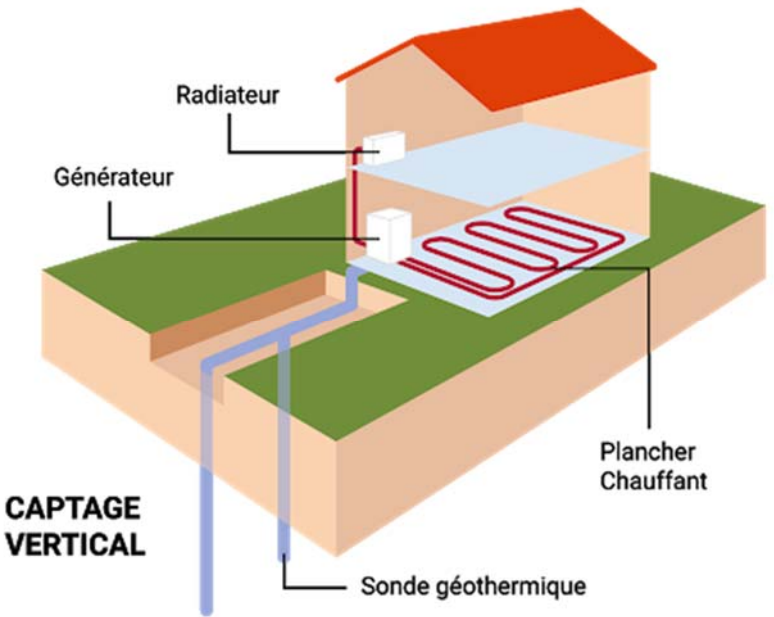
Consommation totale en MWhEP/an



GES en tonnes éq CO2

Périmètre de la ZAC

	Surface estimée (m²)	Consommations (en kWhEP/m².an)				Conso. en MWhEP/an	Coût des énergies en €/an	GES en tonnes éq CO2
		Chauff.	ECS	Vent. + écl. + aux.	Autres élec.			
Logements neufs	39 772	9	9	15	70	4 088	400 482	183
Logements exist. rénov.	54 134	18	13	15	70	6 286	664 459	325
Commerces	1 050	50	10	70	150	294	24 220	23
Locaux professionnels	2 474	11	4	15	70	249	24 003	11
Groupe scolaire neuf	7 100	11	7	45	30	659	54 370	30
Équipements publics existants	5 380	70	20	30	50	915	116 175	65
Total	109909,5					12 489	1 283 710	636



Principe de la géothermie sur sondes. Source : ADEME+TRANS-FAIRE

Ce scénario est basé sur le scénario A (biomasse sur réseau de chaleur).



Seuls les bâtiments neufs (logements avec locaux professionnels et groupe scolaire) bénéficient d'une amélioration : des sondes géothermiques sont mises en place (profondeur 200 m). Ces sondes (via une pompe à chaleur électrique) couvrent 80 % des consommations en chauffage.

Les consommations électriques des pompes électriques représentent 2kWhEP/m².an.

L'appoint est assuré par une chaudière gaz par bâtiment. En effet le raccordement au réseau de chaleur uniquement pour l'appoint reste difficile à amortir.

Les logements sociaux rénovés restent sur un approvisionnement via le réseau de chaleur.

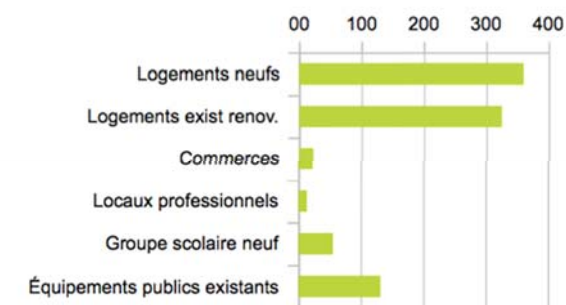
Au stade de l'étude nous avons examiné la solution de géothermie sur sonde. Néanmoins cette solution est similaire à la géothermie sur nappe superficielle (Eocène).

## Périmètre d'étude

	Surface estimée (m²)	Consommations (en kWhEP/m².an)				Conso. en MWhEP/an	Coût des énergies en €/an	GES en tonnes éq CO2
		Chauff.	ECS	Vent. + écl. + aux.	Autres élec.			
Logements neufs	40 540	19	20	15	70	5 046	416 515	367
Logements exist. rénov.	174 756	18	13	15	70	20 291	1 510 149	1 049
Commerces	2 500	50	10	70	150	700	57 667	54
Locaux professionnels	3 900	23	4	15	70	439	36 556	22
Groupe scolaire neuf	7 000	23	15	45	30	791	65 423	54
Équipements publics existants	12 910	70	20	30	50	2 195	175 977	316
Logements privés existants	26 792	110	40	19	70	7 598	606 619	1 042
<b>Total</b>						<b>37 060</b>	<b>2 868 906</b>	<b>2 903</b>



Consommation totale en MWhEP/an



GES en tonnes éq CO2

Cette solution augmente la consommation en énergie primaire et les émissions de CO<sup>2</sup> des logements neufs. En effet les sondes géothermiques apportent 80 % de l'énergie du chauffage, mais l'appoint chauffage et l'ECS sont assurés par le gaz, qui est une énergie fortement émettrice de CO<sup>2</sup>. En outre le recours à une pompe à chaleur et à des pompes augmente les consommations électriques.

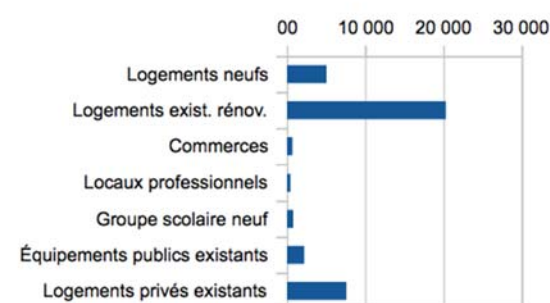
### 5.2.2.3 SCENARIO C : ECS SOLAIRE SUR LES LOGEMENTS ET RESEAU DE CHALEUR BIOMASSE

Le scénario est basé sur le scénario A : les logements sociaux neufs et existants et les équipements sont branchés sur le réseau de chaleur biomasse.

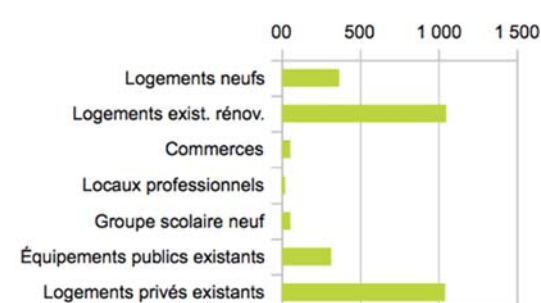
Tous les logements sociaux, neufs (dont locaux professionnels) et existants rénovés, sont dotés de panneaux solaires thermiques placés sur leurs toitures terrasse. Ces panneaux couvrent 50 % des besoins énergétiques pour la production de l'eau chaude sanitaire (ECS).

Les panneaux sont mutualisés à l'échelle de chaque bâtiment.

L'appoint en chaud est assuré par le réseau de chaleur (qui assure également le chauffage).



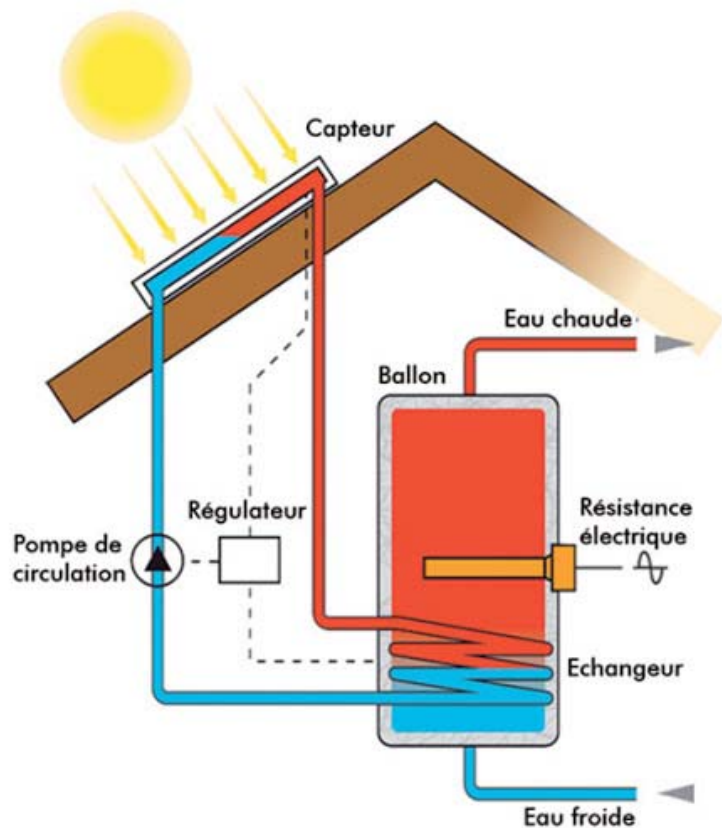
Consommation totale en MWhEP/an



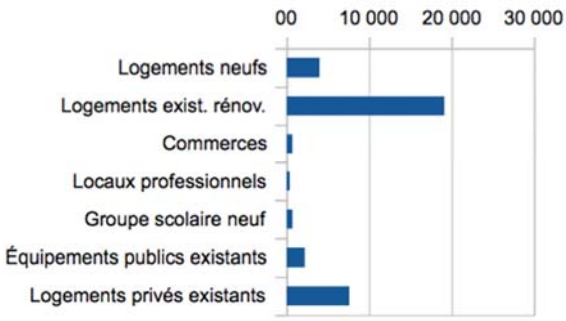
GES en tonnes éq CO2

## Périmètre de la ZAC

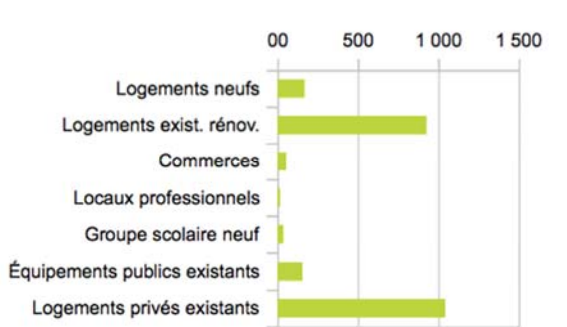
	Surface estimée (m²)	Consommations (en kWhEP/m².an)				Conso. en MWhEP/an	Coût des énergies en €/an	GES en tonnes éq CO2
		Chauff.	ECS	Vent. + écl. + aux.	Autres élec.			
Logements neufs	39 772	19	20	15	70	4 951	408 625	360
Logements exist. rénov.	54 134	18	13	15	70	6 286	664 459	325
Commerces	1 050	50	10	70	150	294	24 220	23
Locaux professionnels	2 474	23	4	15	70	278	23 189	14
Groupe scolaire neuf	7 100	23	15	45	30	803	66 358	55
Équipements publics existants	5 380	70	20	30	50	915	73 335	132
<b>Total</b>						<b>13 526</b>	<b>1 260 187</b>	<b>908</b>



Principe de l'ECS solaire. Source : De Dietrich



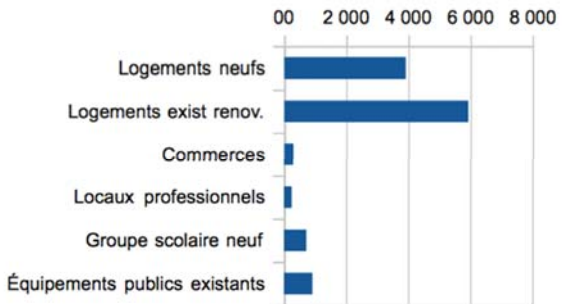
Consommation totale en MWhEP/an



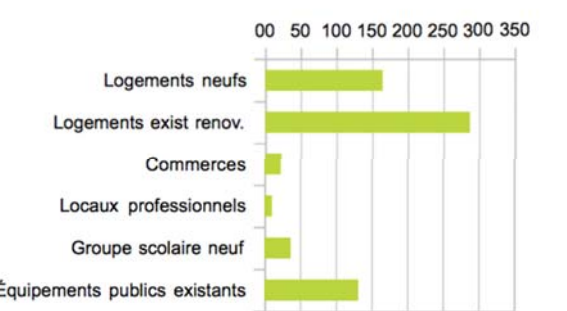
GES en tonnes éq CO2

Périmètre de la ZAC

	Surface estimée (m²)	Consommations (en kWhEP/m².an)				Conso. en MWhEP/an	Coût des énergies en €/an	GES en tonnes éq CO2
		Chauff.	ECS	Vent. + écl. + aux.	Autres élec.			
Logements neufs	39 772	9	4	15	70	3 911	371 250	164
Logements exist. rénov.	54 134	18	7	15	70	5 925	604 777	287
Commerces	1 050	50	10	70	150	294	24 220	23
Locaux professionnels	2 474	11	2	15	70	243	23 093	10
Groupe scolaire neuf	7 100	11	15	45	30	718	75 323	37
Équipements publics existants	5 380	70	20	30	50	915	73 335	132
Total						12 005	1 171 999	652



Consommation totale en MWhEP/an



GES en tonnes éq CO2

Périmètre d'étude

	Surface estimée (m²)	Consommations (en kWhEP/m².an)				Conso. en MWhEP/an	Coût des énergies en €/an	GES en tonnes éq CO2
		Chauff.	ECS	Vent. + écl. + aux.	Autres élec.			
Logements neufs	40 540	9	4	15	70	3 986	315 298	168
Logements exist. rénov.	174 756	18	7	15	70	19 126	1 453 528	926
Commerces	2 500	50	10	70	150	700	57 667	54
Locaux professionnels	3 900	11	2	15	70	384	30 332	16
Groupe scolaire neuf	7 000	11	15	45	30	708	58 090	36
Équipements publics existants	12 910	70	20	30	50	2 195	143 095	155
Logements privés existants	26 792	110	40	19	70	7 598	606 619	1 042
Total						34 696	2 664 630	2 398

L'ECS solaire contribue à faire baisser les émissions en CO2 et les consommations des logements.

5.2.2.4 SCENARIO D : PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES ET RESEAU DE CHALEUR BIOMASSE

Le scénario est basé sur le scénario A : les logements sociaux neufs et existants et les équipements sont branchés sur le réseau de chaleur biomasse.



Les logements neufs et rénovés et les équipements sont dotés de panneaux solaires photovoltaïques placés à plat en toiture terrasse (intégration : panneaux non visibles depuis le sol).

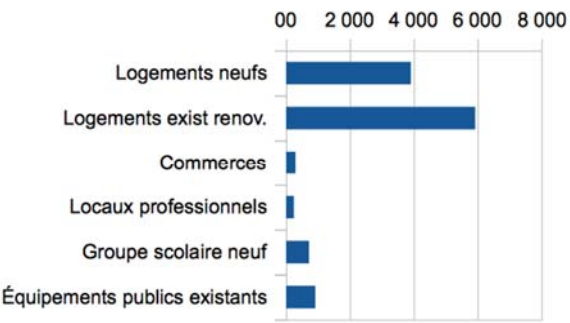
L'électricité est revendue sur le réseau EDF suivant les tarifs de rachat définis chaque trimestre par arrêté.

La productibilité des panneaux à Gennevilliers est estimée à 400 kWhEP/m² de panneau, ce qui correspond à des panneaux solaires monocristallins courants sur le marché à la date de l'étude.

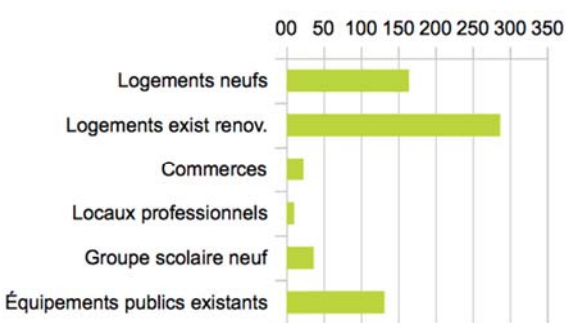
Environ 60 % des surfaces totales d'emprises bâties sont couvertes de panneaux.

Périmètre d'étude

	Surface estimée (m²)	Gain photovoltaïque			Bilan		
		Production MWhEP/an	Gain en €/an	Evitement GES en tonnes éq CO2	Conso. en MWhEP/an	Coût des énergies en €/an	GES en tonnes éq CO2
Logements neufs	40 540	2 333	119 823	75	1 833	204 232	111
Logements exist. rénov.	174 756	4 587	235 579	148	15 704	1 274 570	901
Commerces	2 500	00	00	00	700	57 667	54
Locaux professionnels	3 900	00	00	00	392	30 753	17
Groupe scolaire neuf	7 000	200	10 271	06	449	43 333	24
Équipements publics existants	12 910	00	00	00	2 195	143 095	155
Logements privés existants	26 792	00	00	00	7 598	606 619	1 042
Total		7 120	365 673	229	28 871	2 360 269	2 305

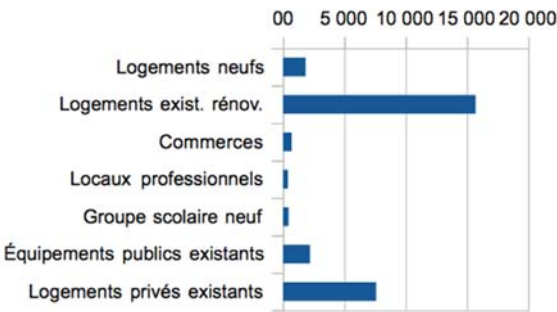


Consommation totale en MWhEP/an

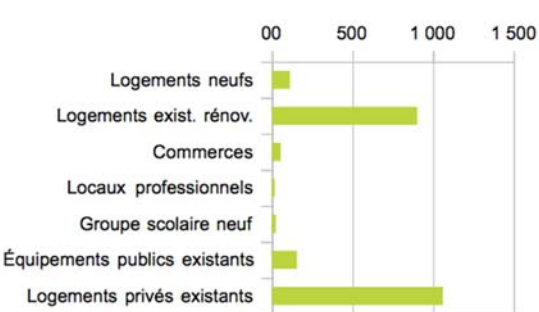


GES en tonnes éq CO2

L'installation de panneaux photovoltaïque permet de réduire les émissions de CO².



Consommation totale en MWhEP/an



GES en tonnes éq CO2

Périmètre de la ZAC

	Surface estimée (m²)	Gain photovoltaïque			Bilan		
		Total en MWh/an	Coût des énergies en €/an	GES en tonnes éq CO2	Conso. en MWhEP/an	Coût des énergies en €/an	GES en tonnes éq CO2
Logements neufs	39 772	1 355	69 612	44	2 732	248 304	139
Logements exist. rénov.	54 134	1 131	58 103	36	5 154	409 690	288
Commerces	1 050	00	00	00	294	24 220	23
Locaux professionnels	2 474	00	00	00	249	19 509	11
Groupe scolaire neuf	7 100	200	10 271	06	459	44 099	24
Équipements publics existants	5 380	00	00	00	915	59 632	65
Total		2 687	137 986	86	9 802	805 454	550

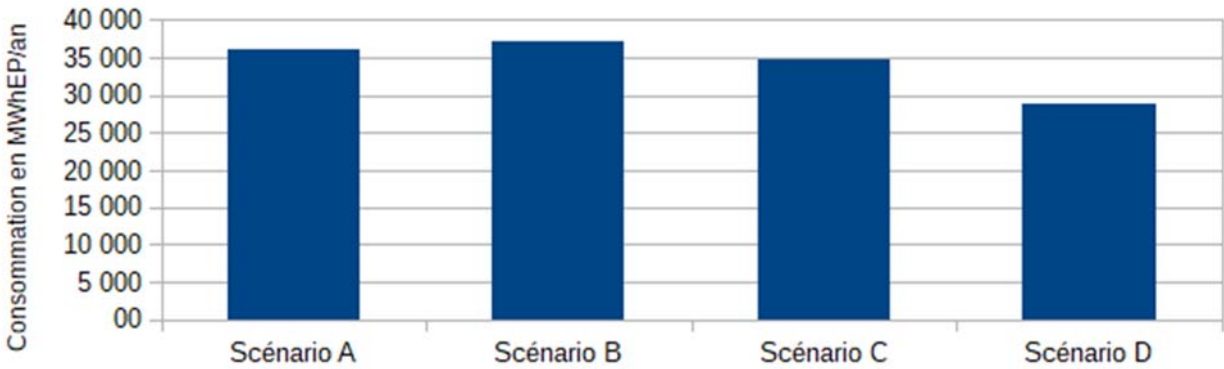
## 6. COMPARAISON DES SCENARIOS

Rappel des scénarios :

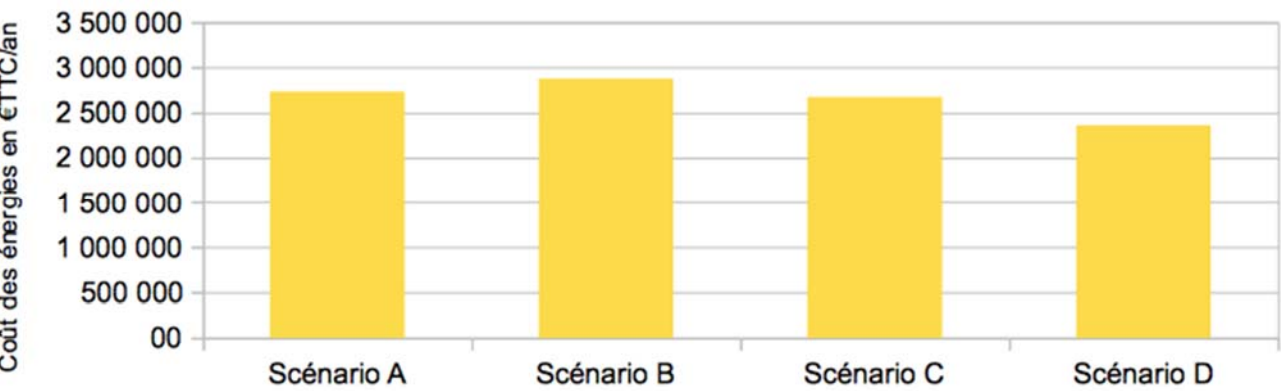
- Scénario A : Biomasse sur réseau de chaleur
- Scénario B : Géothermie sur sonde avec appoint gaz
- Scénario C : ECS solaire sur les logements et réseau de chaleur biomasse
- Scénario D : Panneaux photovoltaïques et réseau de chaleur biomasse

### 6.1 Périmètre d'étude

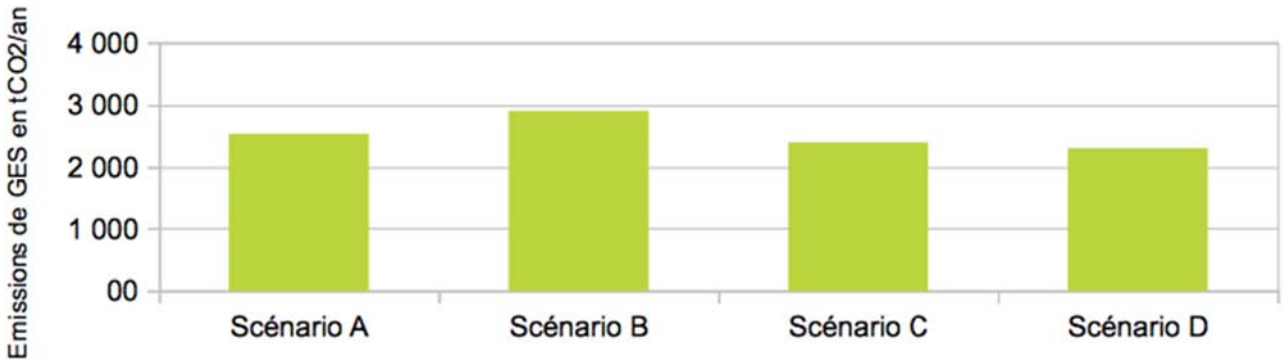
Consommations en énergie primaire



Coût des énergies en €TTC/an

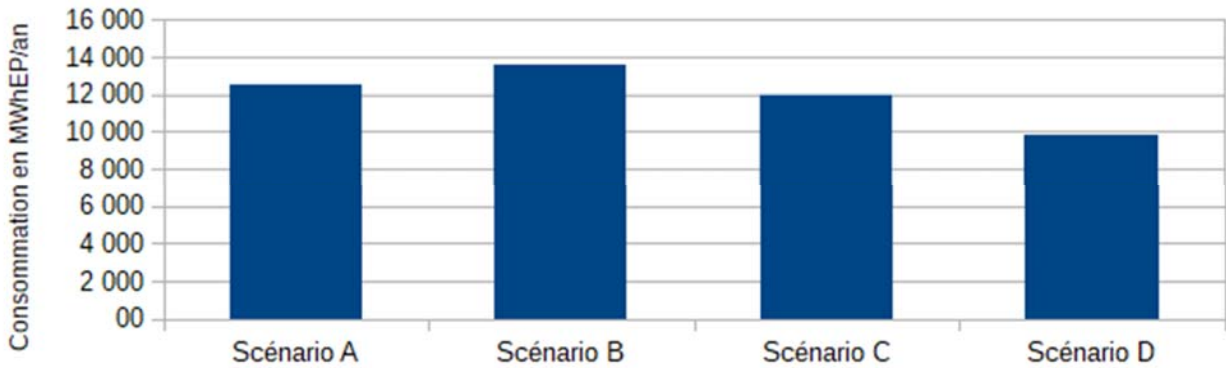


Emissions de gaz à effet de serre en tonnes équivalent CO<sup>2</sup> par an



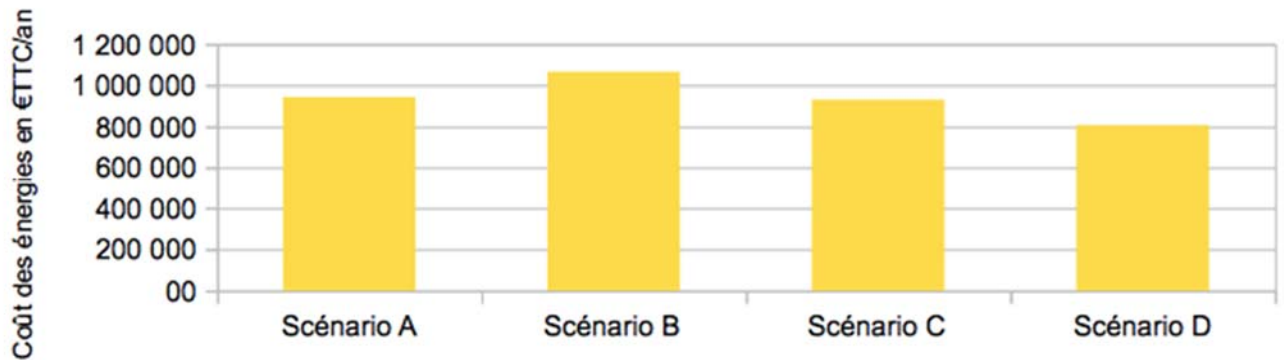
### 6.2 Périmètre de la ZAC

Consommations en énergie primaire



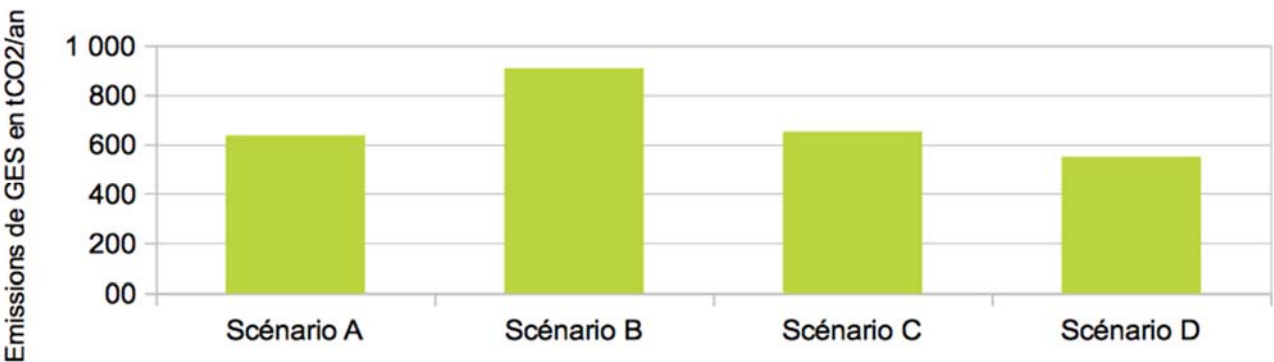
Le scénario A (réseau de chaleur avec biomasse) présente un bon bilan en énergie primaire, en raison de l'emploi important de bois énergie. Ce bilan est très légèrement amélioré en ayant recours aux panneaux solaires thermiques pour l'ECS (scénario C), alors que les panneaux photovoltaïques (scénario D) offrent une diminution significative de la consommation en énergie primaire (par compensation).

Coût des énergies en €TTC/an



Le scénario B présente le bilan financier le plus important. La revente de l'électricité photovoltaïque (scénario D) soulage largement le coût annuel des énergies.

Emissions de gaz à effet de serre en tonnes équivalent CO<sup>2</sup> par an



Le scénario A présente un bon bilan en CO<sup>2</sup>, en raison de l'emploi important de bois énergie. Ce bilan peut être amélioré en ayant recours aux panneaux solaires thermiques (scénario C, légère amélioration) ou photovoltaïques (scénario D, amélioration significative). Le scénario de géothermie sur sondes (scénario B) pâtit de l'emploi du gaz comme énergie d'appoint et présente le bilan environnemental le plus négatif.



## 7. APPROCHE EN COUT GLOBAL

### 7.1 Méthodologie

Au vu de la taille importante de l'opération, de la variété de typologies et du faible niveau de définition des programmes à ce stade, cette étude estime les grandes masses financières d'investissement et de coûts des énergies, afin de comparer les solutions entre elles. Cette étude ne prend pas en compte les coûts d'entretien et de renouvellement pour les différents scénarii. Par ailleurs, cette étude ne compare que les coûts qui diffèrent entre les scénarios, à savoir les coûts liés aux consommations en chaud et ECS, ainsi que la production photovoltaïque (scénario D). Les coûts liés aux auxiliaires et aux consommations mobilières ne sont pas intégrés au calcul.

Ces estimations ne doivent donc pas être considérées seules mais bien comme outil d'aide à la décision pour le choix approvisionnement en énergie à long terme.

#### Extension du réseau de chaleur

Un coût de 300 €/TTC/ml de réseau est pris en compte (canalisations, tranchées, sous-stations par bâtiment).

Le coût d'investissement de l'énergie électrique, ainsi que le coût d'amortissements et de financement des travaux de premier établissement sont également pris en compte sur 20 ans, avec une inflation de 3% par an. D'après la grille tarifaire du réseau de chaleur de Gennevilliers, ces coûts s'élèvent à 26,61 € kW TTC par mois souscrit. Nous considérons un ratio de 0,05 kW/m<sup>2</sup> pour tous les bâtiments.

#### Géothermie

Les coûts d'investissement sont issus de l'étude réalisée par l'AFPG (Association Française des Professionnels de la Géothermie) : « les coûts de la géothermie assistée par pompe à chaleur de 2014 », soit 75€/TTC/ml de sonde et 300€/TTC/kW de PAC. On considère un temps de fonctionnement annuel en pleine puissance de 1800 h.

#### Chaudières au gaz (appoints pour géothermie)

Sur la base de nos retours d'expérience récents, un ratio de puissance installée de 0.05 kW/m<sup>2</sup> a été pris en compte pour les logements et 0.03 pour les autres types de bâtiments.

Les coûts d'investissement pour les systèmes au gaz ont été estimés à 120 €/TTC/kW (arrivée gaz, chaudières et auxiliaires de fonctionnement, fumisterie).

#### Solaire thermique

Sur la base des cas de figures rencontrés en Île-de-France, on estime en moyenne la production à 1000kWh/an par m<sup>2</sup> de panneaux et le coût d'investissement à 1 200 €/TTC/m<sup>2</sup>.

#### Solaire photovoltaïque

Sur la base de données de l'étude sur le coût des énergies renouvelables 2016 de l'ADEME, on considère un investissement de 1,78 €/TTC/WC pour un système de moyenne puissance supérieure à 36 kW, installé sur une grande surface de toiture.

#### Subventions

L'obtention des subventions n'étant pas automatique, aucune subvention n'a été prise en compte.

#### Inflation

Une inflation de 3 % par an est prise en compte pour toutes les énergies. Cette hypothèse implique une incertitude importante car le prix de chaque énergie évolue de manière spécifique. Néanmoins il n'existe actuellement aucun scénario de simulation de la hausse des prix de l'énergie sur 20 ans. C'est donc pour rester équitable qu'une valeur moyenne unique est retenue.

#### Périmètre des coûts retenus

Seuls les coûts d'investissements spécifiques à chaque scénario sont pris en compte. Les coûts des équipements invariants d'un scénario à l'autre sont ainsi exclus (par exemple pour l'éclairage, la ventilation, le process...).

De même seuls les coûts des énergies consommées pour le chauffage et l'ECS sont retenus. Les autres coûts d'énergie (éclairage, ventilation, bureautique...) ne sont pas pris en compte car les équipements ne varient pas d'un scénario à l'autre.

#### Prix des énergies

Les hypothèses des coûts des énergies sont celle détaillées au chapitre précédent.

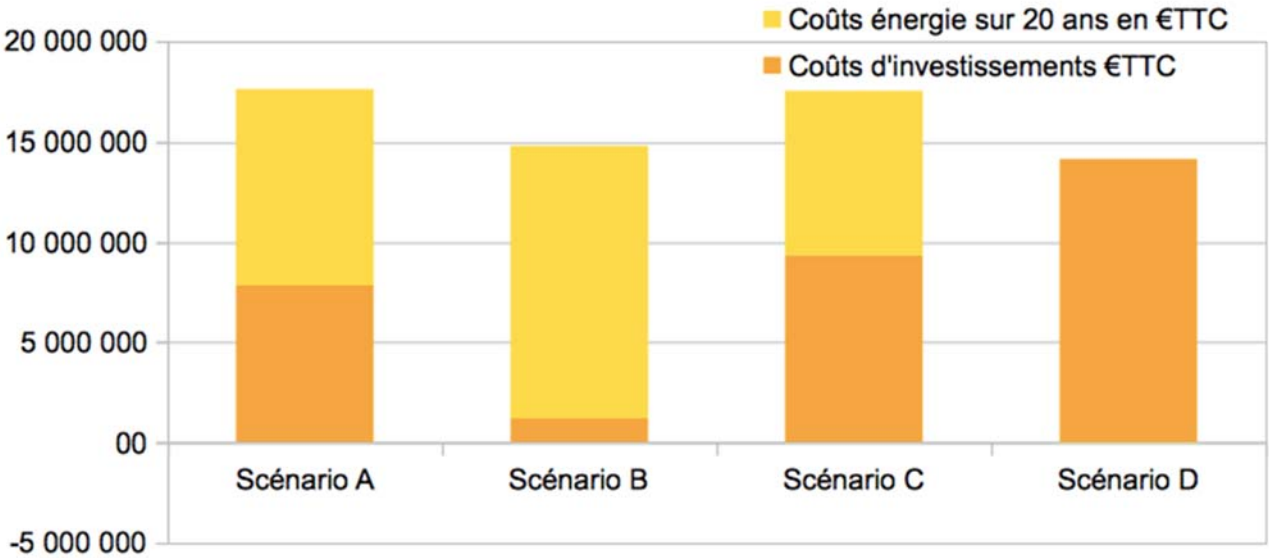
## 7.2 Comparaison en coût global

Rappel des scénarios :

- Scénario A : Biomasse sur réseau de chaleur
- Scénario B : Géothermie sur sonde avec appoint gaz
- Scénario C : ECS solaire sur les logements et réseau de chaleur biomasse
- Scénario D : Panneaux photovoltaïques et réseau de chaleur biomasse

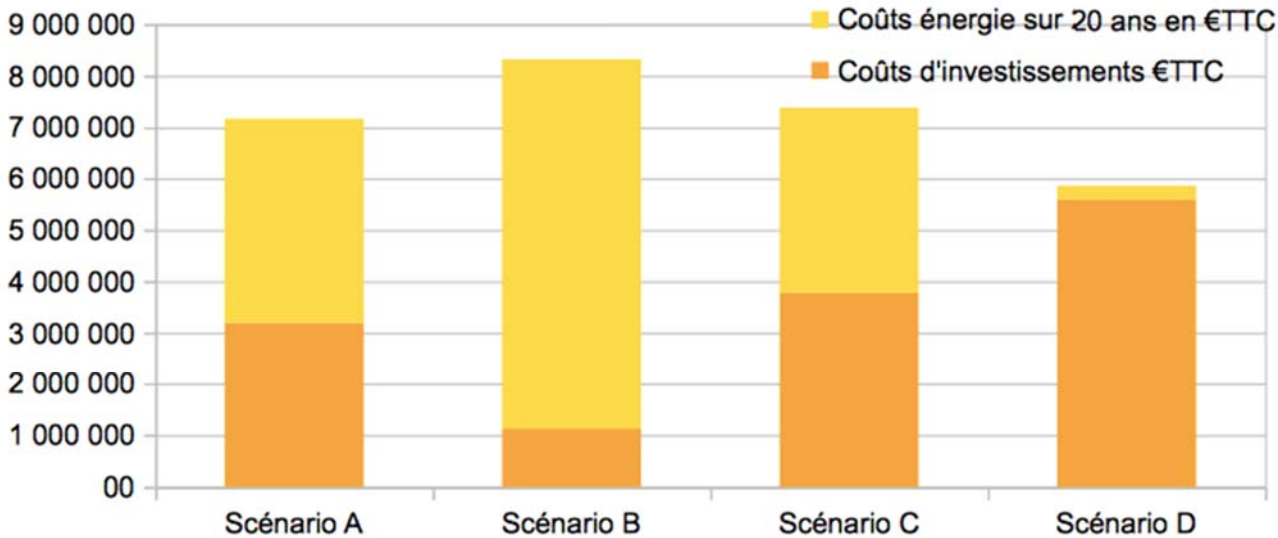
### 7.2.1 PERIMETRE D'ETUDE

	Scénario A	Scénario B	Scénario C	Scénario D
Coûts d'investissements €TTC	15 326 515	1 175 280	9 367 921	14 150 307
Coûts énergie sur 20 ans en €TTC	9 800 236	13 641 719	8 152 732	-25 542
Total en €TTC	25 126 751	14 816 999	17 520 653	14 124 764



### 7.2.2 PERIMETRE DE LA ZAC

	Scénario A	Scénario B	Scénario C	Scénario D
Coûts d'investissements €TTC	6 273 359	1 123 908	3 777 462	5 587 949
Coûts énergie sur 20 ans en €TTC	3 970 090	7 196 692	3 610 271	262 357
Total en €TTC	10 243 449	8 320 600	7 387 733	5 850 307



## 7.3 Bilan

L'étude en coût global montre que le poids de l'investissement dans le réseau de chaleur biomasse est relativement équivalent au coût annuel des énergies sur 20 ans.

Sur le plan financier, la solution photovoltaïque, adaptable à plusieurs scénarios, se révèle moins chère que les autres.

A l'échelle de la ZAC, les solutions A et C sont légèrement moins chères que le scénario B. Le système solaire thermique (également adaptable au scénario B) fait donc baisser la facture sur 20 ans, et la disponibilité du réseau de chaleur sur le site (avec 60% de biomasse) est une réelle opportunité sur le plan environnemental mais également sur le plan financier à long terme.