ÉTUDE DE FAISABILITE SUR LE POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES

ZAC DEBUSSY-SEVINES A GENNEVILLIERS

JUIN 2016 – V4

Objectifs

1. OBLIGATION REGLEMENTAIRE

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) ? ». Nous privilégions pour cela une approche pragmatique adaptée au programme et au stade d'avancement du projet.

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

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 scenarii 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.

Réglementations 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,
- les Grenelles de l'Environnement (I et II),
- 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 Régional pour le Climat d'Île-de-France du 16/06/2011,
- le Plan de Protection de l'Atmosphère pour l'Île-de-France dans sa version « révision approuvée » du 25 mars 2013.
- 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 dossier de création de la ZAC Debussy-Sévines de Décembre 2005
- Les permis de construire des lots déjà avancés

A ce stade, les orientations d'aménagement pour la dernière tranche de la ZAC restent à un niveau de définition large. Des hypothèses de performance énergétique seront donc prises pour réaliser l'étude sur cette partie de la ZAC.

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 :

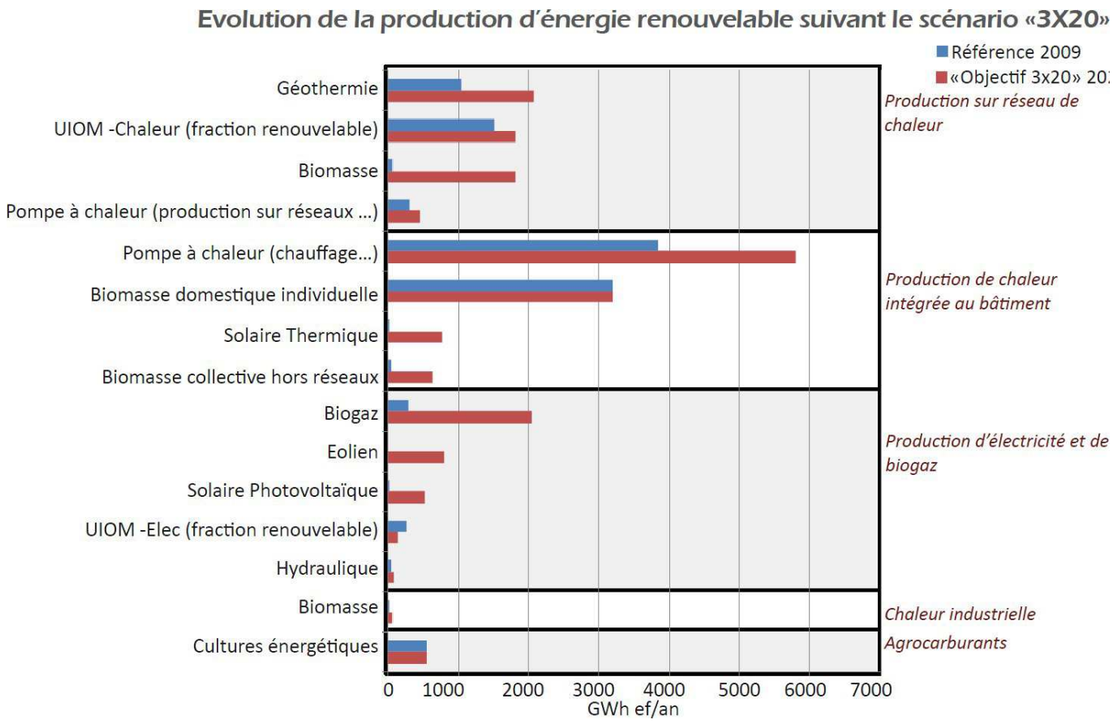
- diminuer de 20 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990,
- réduire de 20 % la consommation d'énergie primaire par rapport au scénario tendanciel,
- atteindre 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergies finales en 2020.

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.



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

2. CONTEXTE NATIONAL

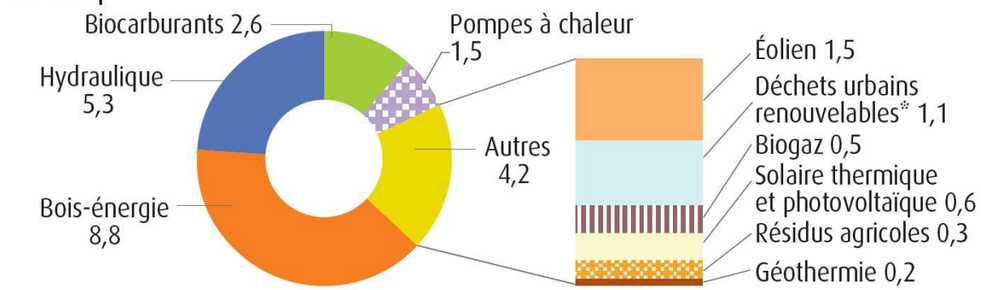
A. Énergies renouvelables

La production primaire d'énergies renouvelables (électriques et thermiques) en France a été de 22,4 Mtep en 2014 (méga tonnes équivalent pétrole) (contre 24,8 Mtep en 2013), soit 17,3 % de la production énergétique primaire nationale.

Les énergies renouvelables et de récupération se répartissent de la façon suivante : le bois-énergie en représente 39 %, l'hydraulique 24 %, les biocarburants 12 % et les pompes à chaleur (PAC) 7 %. Les autres filières totalisent les 18 % restants.

Production primaire d'énergies renouvelables par filière : 22,4 Mtep en 2014

En Mtep[1]



*[1] Voir « Méthodologie – définitions » p. 43 * Voir définition p. 46*

Champ : métropole.

Source : SOeS, d'après les sources par filière

Source : Chiffres clés de l'énergie, Édition 2014, MEDDE

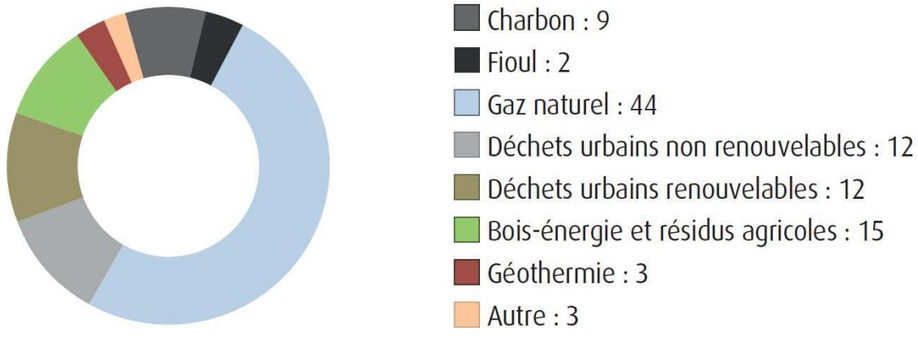
B. Réseaux de chaleur

Les réseaux de chaleur français ont consommé 2,7 Mtep d'énergie en 2014 (contre 3,3 Mtep en 2013, cependant l'année 2014 a été particulièrement douce), répartis comme indiqué sur le graphique ci-dessus. 30 % de la consommation primaire des réseaux proviennent d'énergies renouvelables (contre 24% en 2013), alors que 44 % de l'énergie employée est du gaz (contre 50% en 2013).

On voit ici la forte variabilité du mix énergétique des réseaux de chaleur d'une année à l'autre.

Bouquet énergétique des réseaux de chaleur en 2014 (chiffres provisoires)

En %



Note : y compris les combustibles utilisés pour la production d'électricité.

Source : SOeS, enquête annuelle sur les réseaux de chaleur et de froid

Source : Chiffres clés de l'énergie - Édition 2014 - MEDDE

C. Le bâtiment

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

- le secteur du bâtiment représente 45 % de la consommation d'énergie finale totale du pays, soit 69 Mtep, dont 47 Mtep pour le résidentiel et 22 Mtep pour le tertiaire (données 2013),
- 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),
- 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.

Source : chiffres clés du bâtiment, édition 2013, ADEME.

D. 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 d'accélérer le rythme de rénovation énergétique dans l'ancien, via divers dispositifs : boîte à outils, gouvernance, aides et incitations financières…

E. 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.

F. Loi relative à la transition énergétique

La loi relative à la transition énergétique a été publiée au journal officiel le 18 août 2015. Tous les décrets d'application ne sont cependant pas encore parus. Les ambitions de cette loi sont très larges, notamment :

- Accélérer la rénovation des bâtiments pour que toutes les constructions existantes atteignent le niveau BBC en 2050 et élargir les moyens pour financer ces travaux.
- Une obligation de rénovation énergétique sera prévue lorsque des travaux de rénovation d'une certaine ampleur seront réalisés.
- Une facilitation des autorisations d'urbanisme lors de travaux de rénovation thermique sera également mise en place pour la rénovation énergétique.
- Développer les transports propres.
- Favoriser les énergies renouvelables.

G. Réglementation 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 m²SRT/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.

Les labels HPE (Haute Performance Energétique) et THPE (Très Haute Performance Energétique) qui existaient avec la RT2005 n'ont pour l'instant pas été reconduits.

Une réforme de la RT2012 est en cours de préparation (RT2018). Au-delà des consommations énergétiques, d'autres critères seront évalués : émission de CO2, mais également eau, déchets, économie circulaire, cycle de vie... *Source : Annonce de la Ministre de l'Environnement lors de la 4e conférence environnementale en avril 2016.*

H. Label Effinergie+

Ce label exige une consommation Cep < Cepmax -20 % au sens RT2012 pour les logements, crèches, établissements scolaires et d'enseignement, EHPAD… et un Cep < Cepmax -40 % pour les bureaux, hôtels, restaurants, commerces, gymnases…

Il comprend également des exigences plus importantes que la RT2012 sur le Bbio (besoin bioclimatique), l'étanchéité à l'air du bâtiment et les consommations non réglementaires.

I. Label BEPOS-Effinergie (Bâtiment à Energie Positive)

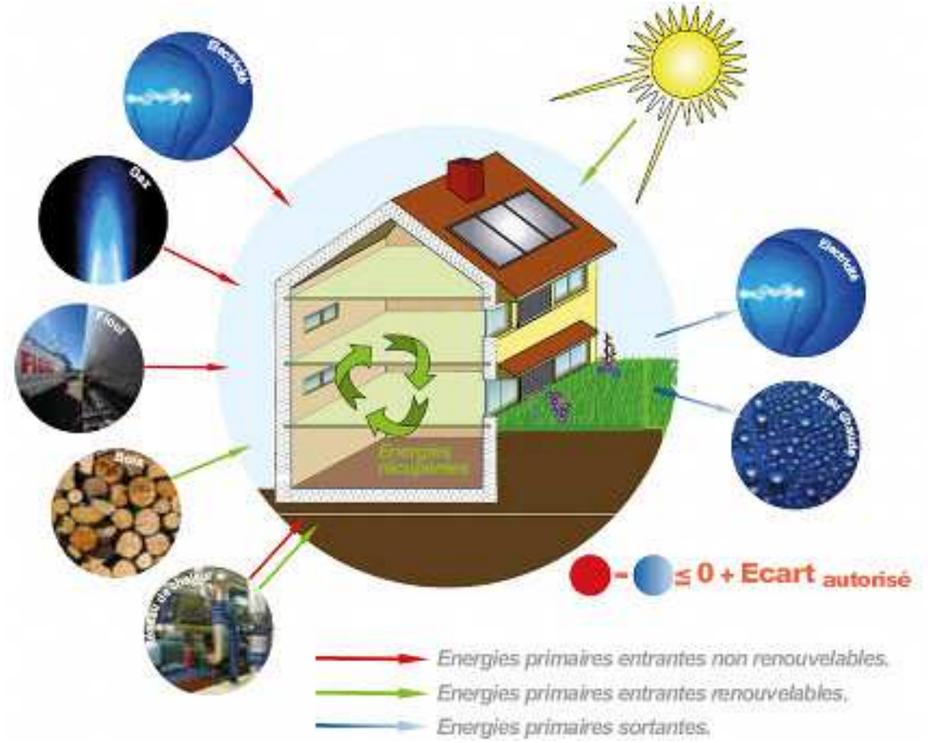
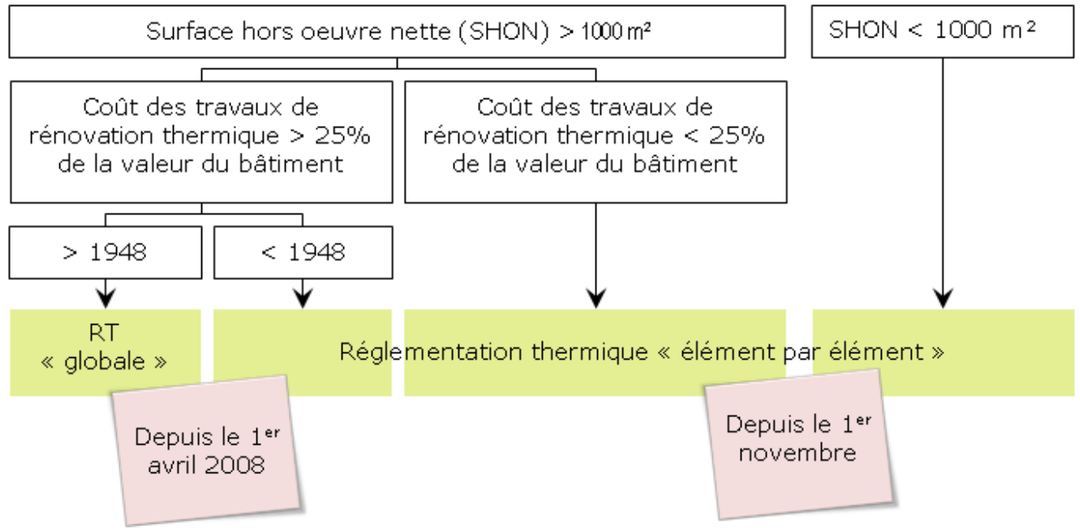


Schéma de principe BEPOS-Effinergie. Source : Effinergie

Ce label s'applique aux bâtiments qui tendent vers une consommation d'énergie nulle. La consommation totale du bâtiment (chauffage, ECS, ventilation, auxiliaires mais aussi process, électroménager, bureautique…) doit être inférieure à l'« écart autorisé » qui est calculé pour chaque projet selon son potentiel de production d'énergie photovoltaïque.

La mise en œuvre des labels Effinergie s'accompagne obligatoirement d'une certification environnementale plus large : H&E, HQE ou PEQA (= HQE simplifié).

J. RT Existant



Source : 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 globale est évidemment plus efficace.

Le ministère de l'environnement a annoncé en avril 2016 que la RT-Existant allait être reformée.

K. Label BBC Rénovation ou Effinergie Rénovation

Ce label fixe les exigences suivantes :

- les constructions résidentielles rénovées doivent consommer moins de 80 kWhEP/m².an,
- les constructions tertiaires rénovées doivent consommer 40 % d'énergie en moins que le bâtiment de référence.

3. CONTEXTE REGIONAL

A. Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie d'Île-de-France

L'arrêté du SRCAE IDF a été publié le 14 décembre 2012. Les SRCAE ont été instaurés par les lois Grenelle I et II pour définir les orientations et objectifs à suivre dans chaque région en matière de maîtrise de la demande énergétique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre associées, de développement des énergies renouvelables, de lutte contre la pollution atmosphérique et d'adaptation aux effets probables du changement climatique.

Dans son diagnostic, le SRCAE livre des données utiles pour notre étude : en Île-de-France, quatre grandes sources représentent plus de 85% de ce bilan d'énergies renouvelables et de récupération :

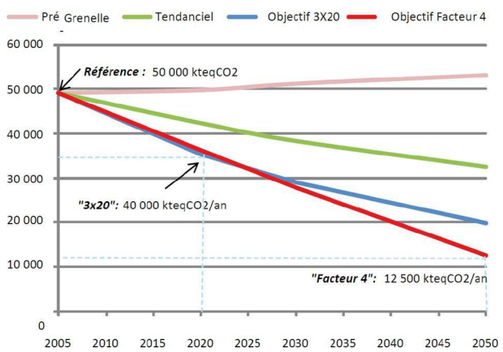
- les pompes à chaleur aérothermiques et géothermiques sur les bâtiments pour une production de 3 850 Gwh/an (30% du bilan),
- la biomasse, essentiellement utilisée en maison individuelle et comme chauffage d'appoint, représente une production renouvelable de près de 3 190 GWh/an (25% du bilan) en individuel,
- la récupération de chaleur et la production d'électricité à partir des Unités d'Incinération des Ordures Ménagères (UIOM) représentent une production de 3 563 GWh/an (27% du bilan),
- la production de chaleur sur réseaux par géothermie représente une production de 1 035 GWh/an (8% du bilan).

Si l'on considère uniquement les ressources renouvelables (la récupération sur les UIOM est comptabilisée à 50%), le bilan régional s'élève à 11 195 GWh/an, soit seulement 4,7% de la consommation de l'année 2009.

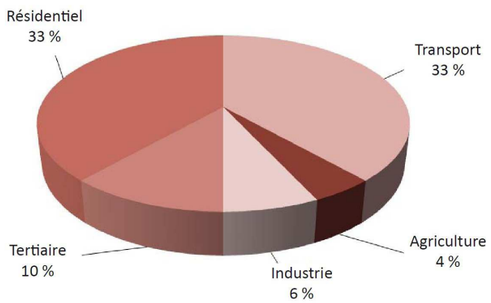
Le SRCAE a également pour orientation de diminuer les consommations d' « énergie grise » et de « carbone gris » des bâtiments, via -par exemple- le reyclage des déchets de chantier ou l'emploi de matériaux bio-sourcés.

Le SRCAE IdF dresse plusieurs scénarios de réduction des émissions de gaz à effet de serre :

Scénarios d'évolution des émissions de gaz à effet de serre



Répartition des efforts supplémentaires après 2020 pour atteindre le Facteur 4 en 2050



Source : SRCAE Île-de-France

Le secteur du bâtiment porte près de la moitié de l'effort requis pour atteindre le scénario Facteur 4 :

Le scénario Facteur 4, seul capable d'enrayer le réchauffement climatique, nécessite notamment une rupture dans les modes d'approvisionnements en énergie, qui implique ces objectifs pour le bâtiment et les réseaux de chaleur :

- réhabiliter plus de logements (3x plus) et de tertiaire (2x plus) et améliorer la qualité des rénovations énergétiques,
- raccorder 40 % de logements supplémentaires aux chauffages urbains,
- réduire le recours aux énergies fossiles et augmenter de 30 % à 50 % la part de la chaleur EnR&R distribuée par les réseaux de chaleur (EnR&R = énergie renouvelables et de récupération),
- adopter des comportements plus sobres,
- équiper 10 % des logements existants en solaire thermique et passer de 15 à 520 MWc pour le solaire photovoltaïque.

4. CONTEXTE LOCAL

A. Contrat de Développement 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).

B. 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.

C. Dossier de création de la ZAC Debussy-Sévines

Le dossier achevé en décembre 2005 ne détaille pas d'orientations énergétiques sur la ZAC.

Filières énergétiques disponibles et contraintes associées

Ce chapitre détaille toutes les sources d'énergies disponibles sur le site, non renouvelables, renouvelables et de récupération, sans exclusion préalable.

1. LE GAZ, FILIERE DE REFERENCE

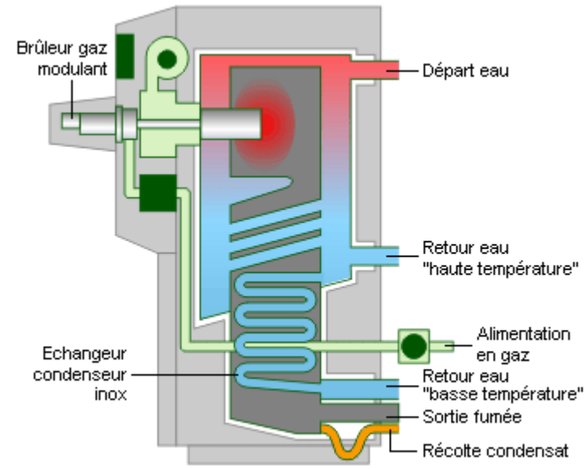
Le gaz représente 31,4 % des consommations énergétiques pour les bâtiments (résidentiel + tertiaire).

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

Le gaz naturel est l'énergie d'origine fossile la moins émettrice de CO_2 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.

Le site est très bien desservi par le réseau de gaz, qui chemine sous les voiries qui entourent la ZAC (Barbusse, Camélinat, Puits Guyon, Thoretton)



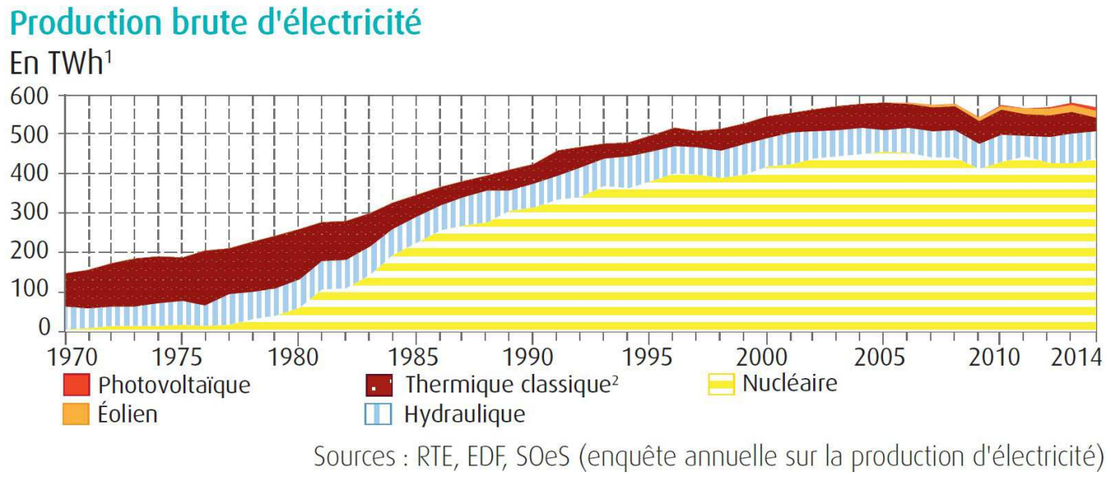
Principe de la chaudière gaz à condensation. Source : www.energieplus-lesite.be

2. RESEAU D'ELECTRICITE

L'électricité représente 22,4 % de l'énergie consommée en France tous secteurs confondus et 37,8 % des consommations énergétiques pour les bâtiments (résidentiel + tertiaire).

La production d'électricité du réseau français (ErDF) provient à 74 % de centrales nucléaires.

L'électricité d'origine hydraulique représente 13 % de la production française, l'éolien 3 % et le photovoltaïque 1 %.



Origine de l'électricité produite en France - Données 2014. Source : MEDDE

3. INCINERATION D'ORDURES MENAGERES

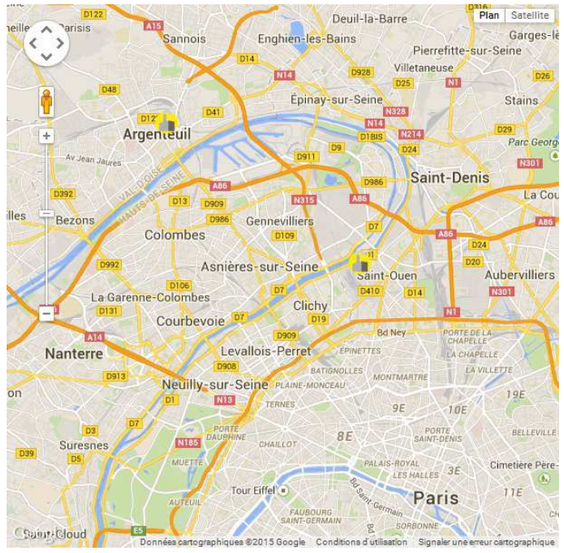
L'énergie fatale est la quantité d'énergie intrinsèquement contenue dans les matériaux ou processus. Cette énergie potentielle se perd définitivement si elle n'est pas récupérée.

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 12e département), alors qu'une seule installation n'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.

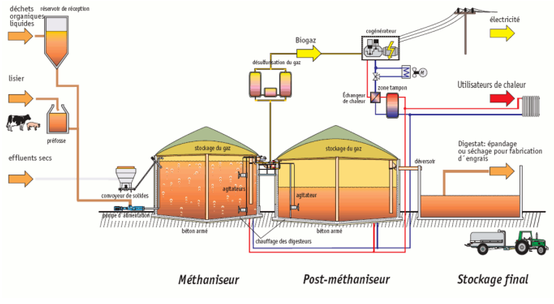


Carte des unités d'incinération. Source : France Incinération

4. METHANISATION

A. 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.

B. Gisement

Les grands industriels et les collectivités, du fait de la nouvelle législation à compter du 1er 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 constitue 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.

C. 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.

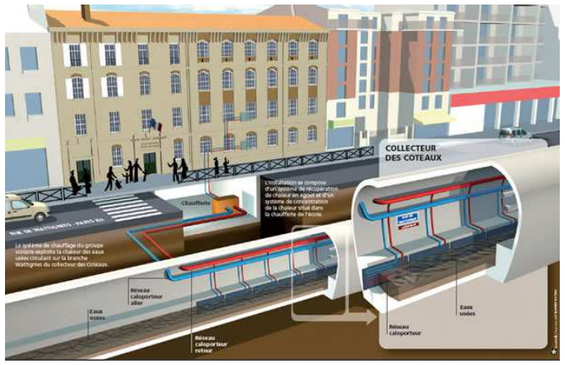
Le stockage de gaz, matière dangereuse, en zone urbaine, dans un secteur où des actes de dégradation peuvent être commis, doit également être pris en considération.

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.

5. RECUPERATION DE CHALEUR

A. Récupération sur les réseaux 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 inférieur à 300 ml.

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

B. Récupération sur les eaux grises

Le système est principalement composé d'une cuve d'échange thermique et d'une pompe à chaleur eau/eau.

Les eaux usées grises sont recueillies à une température moyenne de 29°C, et traversent une cuve où sont immergés des échangeurs de chaleur. Ce sont ces échangeurs, dans lesquels circule un fluide caloporteur, qui vont alimenter en calories la pompe à chaleur du système qui produit une eau chaude sanitaire à 55°C.

Les eaux usées grises traitées sont ensuite rejetées à une température moyenne de 9°C dans le réseau d'assainissement.

Le système (compresseurs, circulateurs, armoire d'automatisme et de régulation, compteurs, nettoyage automatique...) a un Coefficient de Performance (COP) supérieur à 4. Si le système récupère 100 % des eaux grises d'un site, il produira 100 % du besoin en eau chaude sanitaire.

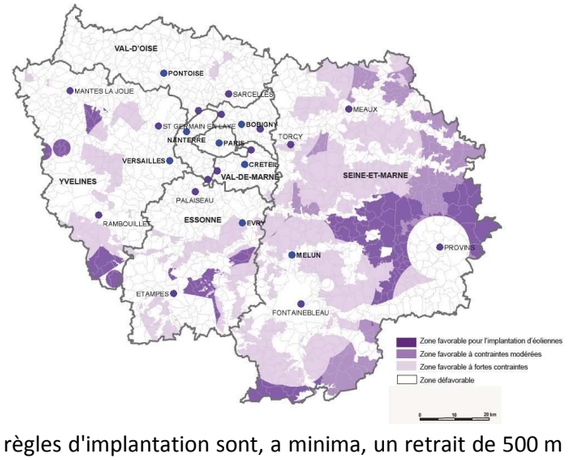
6. ÉOLIEN

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.

C. Le grand éolien

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.

D. Le petit éolien

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.

Source : Atlas éolien de l'ARENE IdF

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.

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.

7. PRODUCTION D'ENERGIE HYDROELECTRIQUE

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.

8. DATA-CENTERS

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 data-centers. 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.

9. GEOTHERMIES

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.

A. 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.

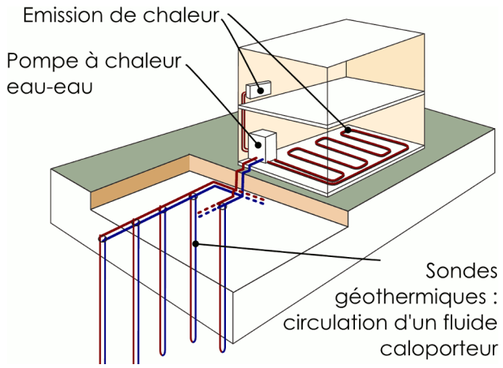
La mise en œuvre des solutions de géothermie de surface est donc moins coûteuse (moins de forages à réaliser) et leur rendement énergétique est augmenté (+100 m équivaut à 3,5°C en plus).

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

B. 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.

C. 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).

Corbeilles géothermiques

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.

D. PAC sur pieux géothermiques

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

E. Contrainte technique géothermie « sèche »

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 calorie 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.

F. Géothermie sur aquifères 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.

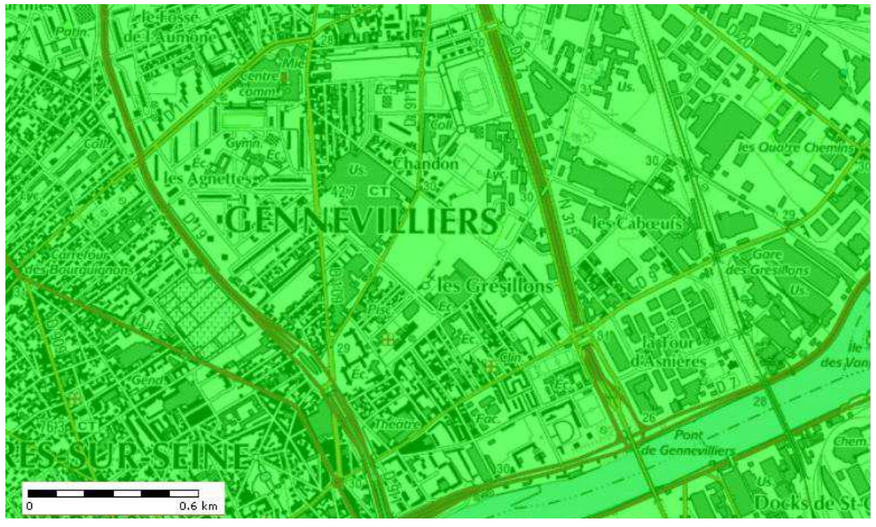
Les quatre aquifères multicouches étudiés sont :

- 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 Monteau, 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'Eocène 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 m³/h), ce qui lui confère un intérêt majeur.

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



Meilleur aquifère : Nappe de l'Eocène moyen et inférieur.

Potentiel : Moyen

Profondeur : < 10 m

Débit : > 100 m3/h

Epaisseur : 75–150 m

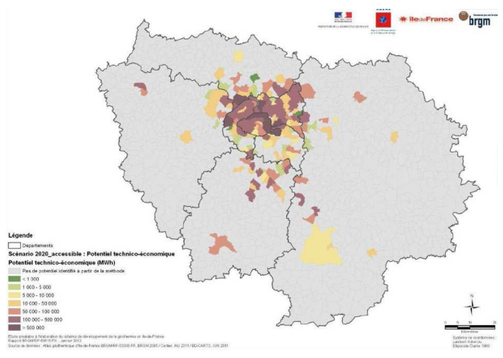
Potentiel du meilleur aquifère. Source : BRGM

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.



G. Géothermie sur aquifère profond

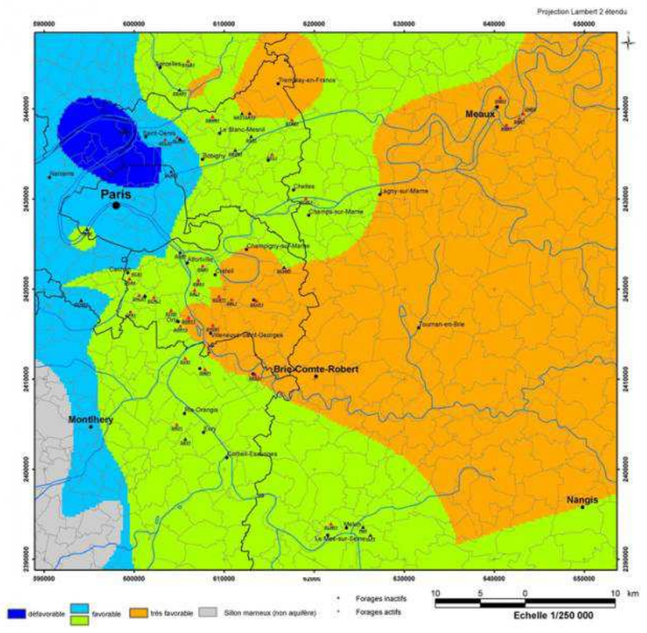
La géothermie sur forage profond permet d'obtenir des sources d'eau à des températures plus élevées que dans le cas précédent. Plus les nappes sont profondes, plus la température est élevée, mais le coût d'investissement également.

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 parisien 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

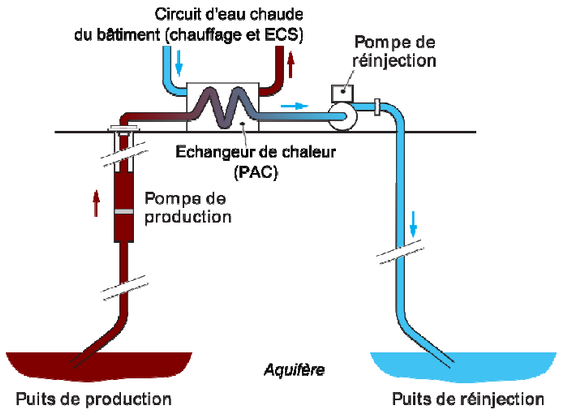
Une étude du BRGM, l'ADEME et le Conseil Régional d'Île-de-France précise que : « *les calculs montrent qu'en fonction des caractéristiques hydrodynamiques du réservoir de l'Albien et des paramètres des exploitations géothermiques (débits, température de rejet), l'écart entre les deux puits doit être 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.

H. Contraintes techniques liées au prélèvement 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

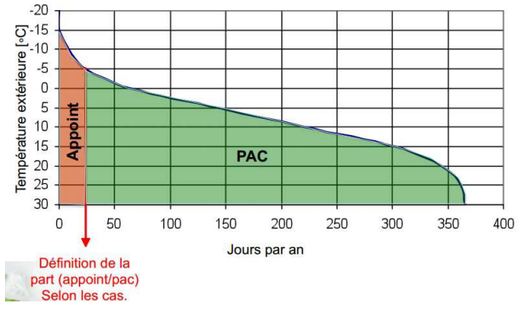
Néanmoins au vu de l'ampleur de la ZAC, cette contrainte pourrait être facilement levée en positionnant les forages sur des parcelles éloignées.

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.

I. Contrainte technique liée 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.

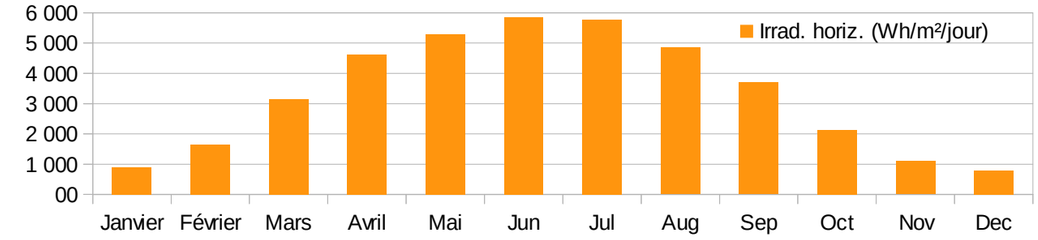
L'appoint gaz émet plus de CO_2, mais il ne représente qu'une fraction de la consommation annuelle. L'impact sur le bilan des émissions de GES est donc minime.



10. SOLAIRE

Le gisement solaire sur le site de la ZAC est de 1 212 kWh/m².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.



Mois	Irrad. horiz. (Wh/m²/jour)	Irrad. Optimale (Wh/m²/jour)	Irrad. Verticale (Wh/m²/jour)	Inclinaison optimale (°)
Janvier	894	1 440	1 460	64
Février	1 640	2 380	2 200	57
Mars	3 150	4 080	3 280	47
Avril	4 630	5 250	3 430	33
Mai	5 290	5 340	2 920	19
Jun	5 860	5 620	2 810	12
Jul	5 780	5 700	2 950	16
Aug	4 850	5 240	3 160	28
Sep	3 700	4 600	3 460	43
Oct	2 140	2 990	2 640	54
Nov	1 100	1 700	1 660	62
Dec	779	1 350	1 430	67
Moyenne	**3 320**	**3 810**	**2 620**	**36**
Total en kWh/m²	**1 212**	**1 391**	**956**	

Irradiation solaire à Gennevilliers. Source : programme européen PVGis

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 technologies des panneaux solaires.

A. 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). Cependant une étude réalisée en 2009 par HESPUL a montré que la « dette carbone » (les émissions de CO_2 générées pour la production du panneau) était remboursée en environ 3 ans en France. La durée de vie étant estimée à 25/30 ans, le bilan carbone global des panneaux reste largement positif.

B. 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/m²/an contre 100 kWh/m²/an).

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

C. Contraintes à l'installation

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.

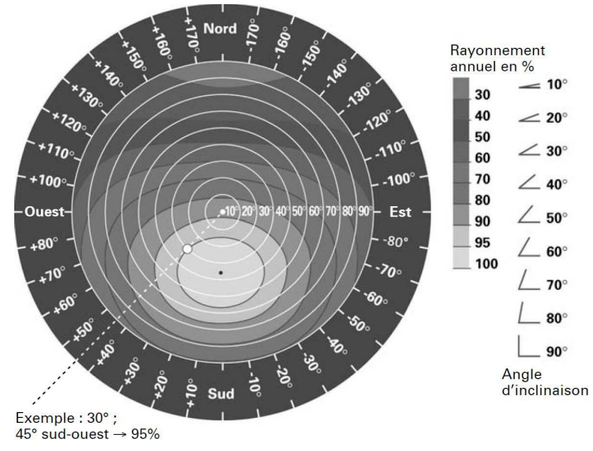
Lors de la conception du plan masse de la ZAC, ce paramètre doit être pris en compte afin d'optimiser le gisement solaire du quartier.

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.

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 m² de capteur.



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

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.

Surfaces disponibles

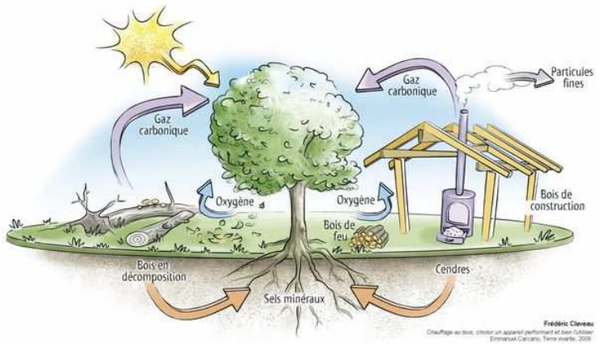
L'installation des panneaux nécessite une surface libre variable selon les besoins. Dans les immeubles collectifs d'habitation (neufs ou rénovés), les surfaces disponibles en toiture suffisent généralement à couvrir plus de 50 % besoins en énergie pour l'ECS par exemple.

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 m² par exemple). Plus la surface installée sera importante, plus les coûts d'investissement par m² seront réduits, la rentabilité de l'installation sera donc meilleure.

11. BOIS ENERGIE

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_2 libérée par la combustion du bois est compensée par la capture d'une même quantité de CO_2 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.

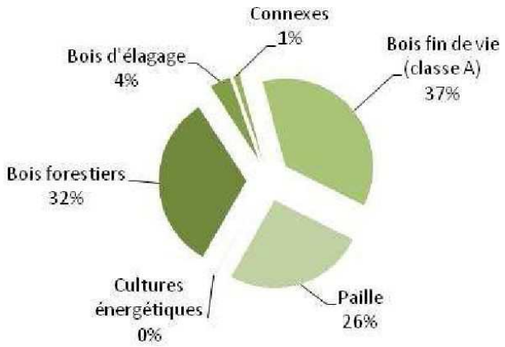
Le bois énergie est principalement disponible sous quatre formes :

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

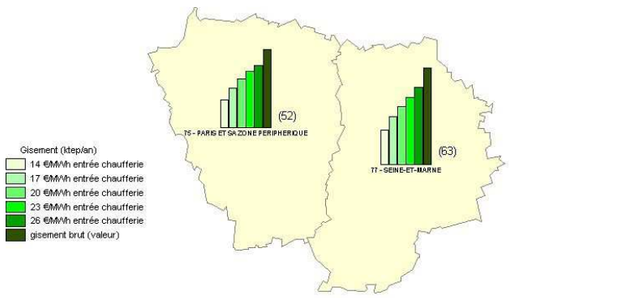
A. La filière francilienne

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.



Sources : SRCAE et www.boisenergie.ifn.fr



Equivalence : 1 tonne anhydre = 0,43 tep

Source : Solagro & IFN, 200

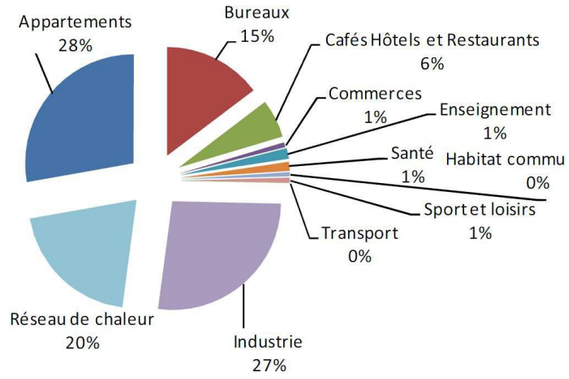
Département	Gisement brut	14 €/MWh	17 €/MWh	20 €/MWh	23 €/MWh	26 €/MWh
PARIS ET SA ZONE PERIPHERIQUE (75)	51.7	18.8	26.3	32.2	37.2	41.3
SEINE-ET-MARNE (77)	63.4	22.7	31.5	38.2	44.3	50.7

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.

B. Contraintes techniques

Chaufferie bois : contrainte foncière

Dans la 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.

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.

Caractéristiques 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 cm² 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/m³.
- 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.

Qualité 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.

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'O2 sont :
  - jusqu'à 2 MW : 60 mg/Nm³ (soit 90 mg/Nm³ à 6 % d'O2),
  - à partir de 2 MW : 10 mg/Nm³ (soit 15 mg/Nm³ à 6 % d'O2).
- installations existantes utilisant de la biomasse : les VLE poussières (TSP) applicables sont :
  - jusqu'à 2 MW : 150 mg/Nm³ à 11 % d'O2 (soit 225 mg/Nm³ à 6 % d'O2),
  - 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/m³ pour le gaz naturel, 200 pour le fioul domestique et le GPL, 500 pour la biomasse et 550 pour les autres combustibles.

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-a-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 crées ou soutenus).

C. Bois énergie et réseaux 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.

Son projet de centrale biomasse à Gennevilliers a été retenu dans le cadre de l'appel à projet CRE 4 lancé par la Commission de Régulation de l'Énergie. Cette chaufferie viendra alimenter à la fois le réseau de Gennevilliers et le réseau CPCU. Cette production de chaleur renouvelable se substituerait 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 souillé.

12. RESEAUX DE CHALEUR

A. Présentation générale

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&R (moindre sensibilité des tarifs aux variations des prix des énergies fossiles, TVA à taux réduit).

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.

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.

Situation à Gennevilliers

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

- Longueur du réseau : 13,0 km
- Équivalent logements desservis : 5 852
- Production de chaleur : 76 699 MWh
- Énergies utilisées : gaz à 98 %, fioul à 2 %
- Cogénération : oui ; production électrique totale : 18 382 MWh
- Contenu en CO_2 du réseau : 0,235 kg/kWh

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_2 est inférieur ou égal à 50 g/kWh,
- +20 % pour les réseaux dont le contenu CO_2 est supérieur à 50g/kWh et inférieur ou égal à 100 g/kWh,
- +10 % pour les réseaux dont le contenu CO_2 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.

Cependant le réseau de chaleur de Gennevilliers présente actuellement un contenu CO_2 de 235 g/kWh, ne permettant pas d'accéder à la modulation du Cepmax RT 2012.

Une évolution du réseau de chaleur existant pour une utilisation de la biomasse (bois énergie) est en cours de réalisation. La part d'EnR passera alors à 60 %. Le nouveau réseau permettra l'atteinte d'un seuil permettant la modulation du Cepmax.

Pour cela une nouvelle chaufferie sera bâtie au croisement de la rue des Caboeufs et de l'avenue de Cely. Elle sera alimentée en plaquettes forestières et bois recyclés provenant de moins de 100 km (source : offre Gennevilliers Énergie – Janvier 2013).

Le contenu carbone du futur réseau est estimé à **106 g/kWh**.

La mise en service est prévue pour 2016.

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

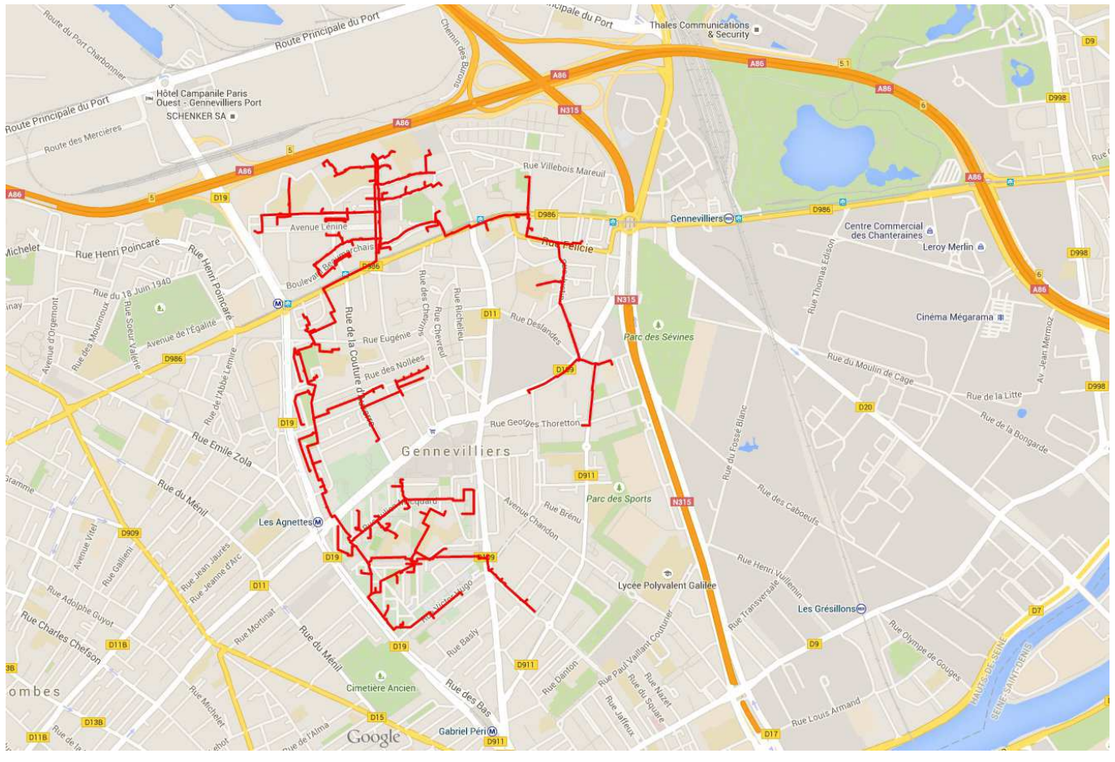
- dépoussiéreur multi-cyclones,
- filtres à manches.

Les niveaux d'émission seront inférieurs à la réglementation :

Combustible	VLE attendues dans le prochain arrêté	Engagement de Gennevilliers Energie
Poussières	30 mg/Nm^3 (à 6% d'O_2)	15 mg/Nm^3 (à 6% d'O_2)
CO	200 mg/Nm^3 (à 6% d'O_2)	200 mg/Nm^3 (à 6% d'O_2)
NO_x	400 mg/Nm^3 (à 6% d'O_2)	300 mg/Nm^3 (à 6% d'O_2)
SO_2	200 mg/Nm^3 (à 6% d'O_2)	200 mg/Nm^3 (à 6% d'O_2)

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 de Gennevilliers passe le long de la rue Henri Barbusse, en bordure est de la ZAC.

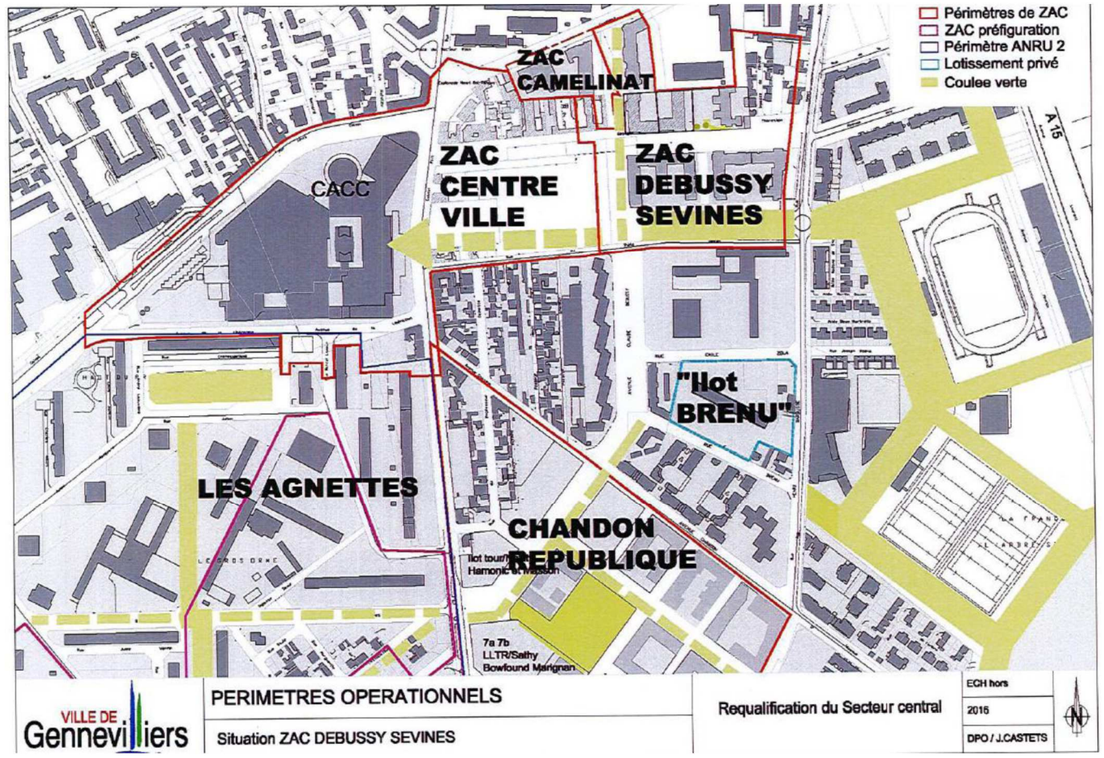


Plan actuel du réseau de chaleur Gennevilliers Énergie, qui arrive à proximité de la ZAC

Rappel des principales caractéristiques du site d'étude et du projet modificatif de ZAC

1. CONTEXTE

La ZAC Debussy-Sévines, créée en 2006, s'inscrit dans un contexte global de requalification du secteur central de Gennevilliers.



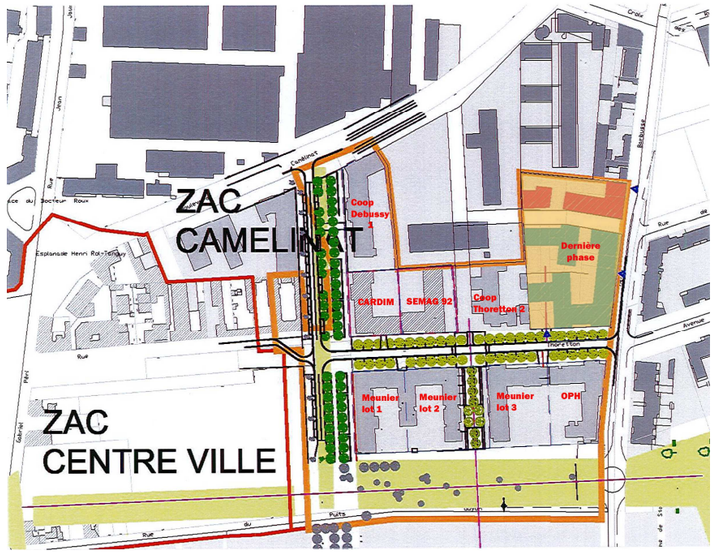
Source : Ville de Gennevilliers

2. SITUATION DE LA ZAC EN 2016

En mai 2016, le programme réalisé ou en cours de réalisation (avec une livraison prévue au plus tard en 2017) est le suivant :

- 33 646 m²SP de logements (soit 424 logements) dont 25 % de logements sociaux.
- 349 m²SP de commerces et services.
- 194 m² de locaux d'artisanat.

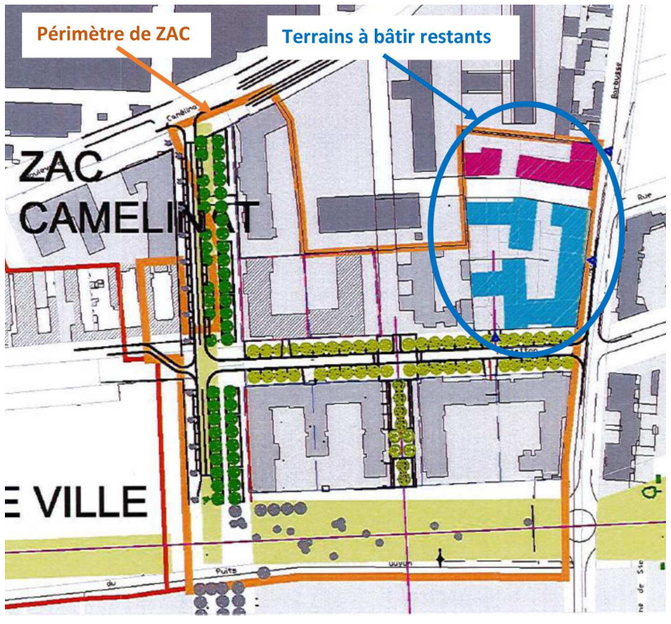
Dans la présente étude, la situation en mai 2016 est considérée comme la situation initiale de référence.



Source : Ville de Gennevilliers et SEMAG 92

3. SITUATION PROJETEE

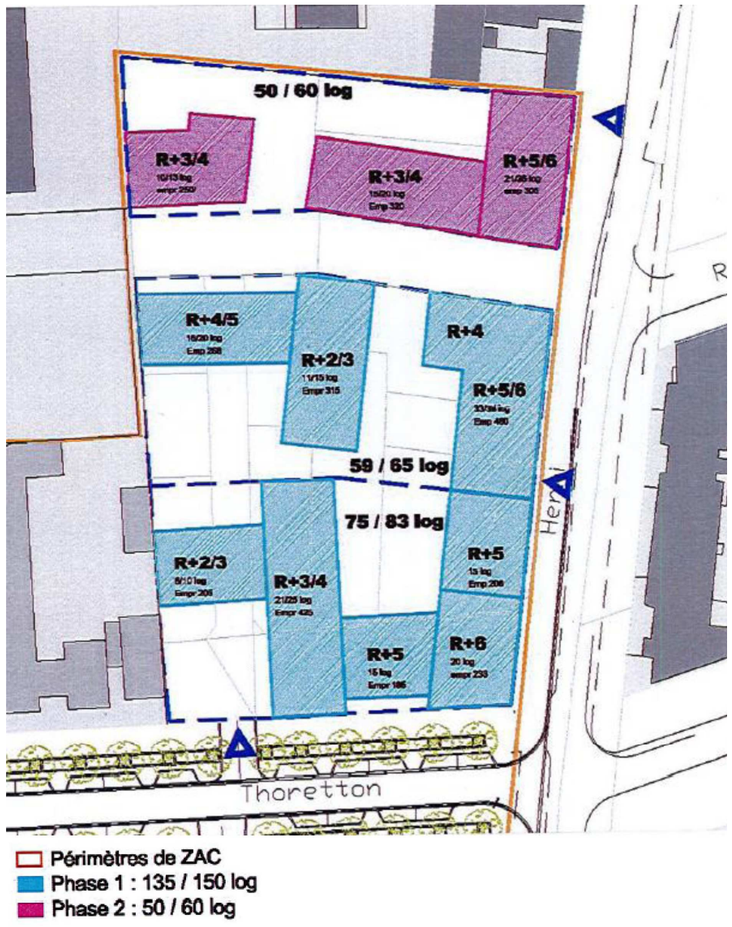
Le projet modificatif de ZAC prévoit l'aménagement des terrains situés au nord-est de son périmètre. La programmation initiale de ZAC est presque atteint, toutefois ces terrains restent à bâtir.



Source : Ville de Gennevilliers et SEMAG 92

Le programme prévu est le suivant :

- 16 278 m²SP de logements (soit entre 185 et 210 logements) dont 50 % de logements sociaux.



Source : Ville de Gennevilliers et SEMAG 92

Hiérarchisation des filières énergétiques pour la ZAC et présentation des scénarios retenus

Ce chapitre compare les filières et propose une hiérarchisation afin d'orienter l'étude sur les sources et usages présentant les plus forts enjeux. Nous retenons uniquement les filières indiquées en vert dans le tableau. Ces scénarios retenus sont présentés.

1. HIERARCHISATION DES FILIERES

Filière	Production	Retour sur investissement économique moyen	Retour sur investissement écologique	Particularités techniques ou administratives	Données environnementales locales	Échelle possible	Orientation pour la ZAC
Gaz naturel	Chauffage Eau chaude sanitaire	Référence	Recours à une énergie fossile : non renouvelable et émettrice de CO2		Réseau de gaz disponible sur la ZAC	Logement Bâtiment Secteur ZAC	Filière de référence faisant l'objet d'un scénario énergétique (scénario A)
Électricité	Chauffage Eu chaude sanitaire	Voir géothermies, photovoltaïque	Émissions de CO2 lors des pics de consommation		Réseau électrique disponible sur la ZAC	Logement Bâtiment	Filière faisant indirectement l'objet d'un scénario, via la géothermie (PAC) (scénario C)
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	Fournisseurs de plaquettes et granulés bois dans la région	Bâtiment Secteur ZAC	Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique (scénario C) à l'échelle du projet et d'un scénario basé sur le futur réseau de chaleur alimenté par chaufferie biomasse (scénario B)
PAC sur nappe aquifère superficiel	Chauffage Eau chaude sanitaire Rafraîchissement	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	Potentiel géothermique sur nappe moyen	Bâtiment Secteur ZAC	Filière de référence étudiée indirectement via le scénario de géothermie sur sondes (scénario D)
PAC sur sondes géothermiques	Chauffage Rafraîchissement	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 D)
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 en ECS 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 E)
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 jusqu'à 100kWc, sous conditions 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 F)

Filière	Production	Retour sur investissement économique moyen	Retour sur investissement écologique	Particularités techniques ou administratives	Données environnementales locales	Échelle possible	Orientation pour la ZAC
Récupération de chaleur sur eaux usées grises	Eau chaude sanitaire	Entre 5 et 15 ans	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route Réduction des rejets d'eaux au réseau d'assainissement	Surface de local technique de l'ordre 20 m^3		Bâtiment	Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique (scénario G)
Récupération d'énergie sur réseau d'assainissement	Eau chaude sanitaire Chauffage Climatisation Electricité	Entre 2 et 10 ans	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route	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 minimum doit être de 150 kW. Et la distance entre le réseau et le bâtiment doit être inférieur à 300 ml.	Pas de nuisances car intégré à un réseau enterré Production continue et réversible	Quartier	Filière secondaire, envisageable notamment pour un réseau de chaleur
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	Variable	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

Filière	Production	Retour sur investissement économique moyen	Retour sur investissement écologique	Particularités techniques ou administratives	Données environnementales locales	Échelle possible	Orientation pour la ZAC
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	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

2. PRESENTATION DES SCENARIOS RETENUS

A. Scénario A : Gaz

Ce scénario est la solution la plus facile à mettre en œuvre : le gaz est une solution abordable et facile à mettre en place.

Chaque opération est chauffée par chaudière au gaz à condensation et bas-NOx (le système de condensation permet d'améliorer le rendement de la combustion), qui assure chauffage et ECS collectifs.

On considère un rendement de la chaudière gaz de 99 % et des pertes liées à la boucle ECS estimées à 20 %.

Les autres postes de consommation sont assurés par l'électricité.

B. Scénario B : Réseau de chaleur alimenté par biomasse

Dans ce scénario, on considère le branchement des nouveaux bâtiments sur le réseau de chaleur de Gennevilliers qui passe le long de la rue Henri Barbusse. Une ou des sous-stations alimentent les bâtiments pour le chauffage et l'ECS. 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 est en cours de conception. À terme le bois couvrira 60 % des 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 %.

On considère des pertes liées à la boucle ECS estimées à 20 %.

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_2 libéré lors de la combustion du bois avait auparavant été stocké par l'arbre lors de sa croissance.

Les autres postes de consommation sont assurés par l'électricité.

C. Scénario C : Biomasse

Ce scénario est similaire au scénario A, la chaudière au gaz étant remplacée par une chaudière au bois haute performance avec une large plage de modulation, qui assure le chauffage et la production d'ECS.

Le système choisi pour la simulation est une chaufferie alimentée aux granulés, technologie qui offre de bons rendements (meilleurs que les plaquettes) et qui est facile à mettre en œuvre (stockage et approvisionnent aisés, silo léger…).

On considère un rendement de la chaudière bois de 90 % et des pertes liées à la boucle ECS estimées à 20 %.

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_2 libéré lors de la combustion du bois avait auparavant été stocké par l'arbre lors de sa croissance.

Si cette solution est retenue, des études plus poussées sur le dimensionnement de la chaudière, le silo à bois et les approvisionnements en bois devront être menées.

D. Scénario D : Géothermie sur sonde et appoint gaz

Dans ce scénario, des sondes géothermiques sont mises en place (profondeur 200 m) et exploitent la chaleur du sous-sol, mais sans échange direct d'eau avec la nappe phréatique. La température constante du sous-sol tout au long de l'année (entre 10 et 12°C) permet de puiser les calories pour chauffer et rafraîchir les bâtiments toute l'année.

Ces sondes (via une pompe à chaleur électrique) couvrent 80 % des consommations en chauffage.

Le coefficient annuel de performance (COP réel) de la PAC est estimé à 4. Les consommations électriques des pompes électriques représentent 2 kWhEF/m².an.

L'appoint est assuré par chaudière gaz, aussi employée pour l'ECS. On considère un rendement de la chaudière gaz de 99 % et des pertes liées à la boucle ECS estimées à 20 %.

Au stade de l'étude nous examinons la solution de géothermie sur sonde. Néanmoins une solution de géothermie sur nappe superficielle (Eocène) est également envisageable.

Si cette solution est retenue, des études plus poussées sur le dimensionnement de l'installation (nombre de sondes, profondeur) devront être menées.

E. Scénario E : Gaz et ECS Solaire

Ce scénario est basé sur le scénario A : le projet est alimenté au gaz.

En complément, les bâtiments neufs sont dotés de panneaux solaires thermiques placés sur leurs toitures. Ces panneaux couvrent 60 % des besoins énergétiques pour la production de l'eau chaude sanitaire (ECS).

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

Afin d'optimiser la production, les panneaux sont préférentiellement orientés au sud. L'inclinaison optimale en Île-de-France est de 36° par rapport à l'horizontal. La mise en œuvre de panneaux tubes permet de s'affranchir de cette contrainte.

F. Scénario F : Gaz et production photovoltaïque

Ce scénario est basé sur le scénario A : le projet est alimenté au gaz.

En complément, les bâtiments neufs sont dotés de panneaux solaires photovoltaïques placés sur leurs toitures (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 454 kWhEP/m² de panneau, ce qui correspond à des panneaux solaires monocristallins, courants sur le marché à la date de l'étude.

Environ 50 % des surfaces totales de toitures disponibles sont couvertes de panneaux.

G. Scénario G : Gaz et récupération de chaleur sur les eaux grises

Pour ce scénario, chaque opération est chauffée par chaudière au gaz à condensation et bas-NOx. On considère un rendement de la chaudière gaz de 99 %.

La production d'ECS est assurée par un système de récupération de chaleur sur les eaux grises. Le système est principalement composé d'une cuve d'échange thermique et d'une pompe à chaleur eau/eau. On considère un COP de 4 pour l'ensemble du système. On considère des pertes liées à la boucle ECS de 20 %.

Estimation des consommations et des coûts par scénarios

1. METHODE ET HYPOTHESES

A. Méthode

Les consommations de la situation initiale de la ZAC sont estimées.

Les consommations à l'état projeté sont ensuite estimées, suivant les différents scénarios d'approvisionnement en énergie décrits précédemment. Ces consommations s'ajoutent aux consommations de la situation initiale qui reste inchangée.

Sur la base de ces consommations sont estimés les coûts des énergies (impact financier) et les émissions polluantes (impact environnemental via les émissions de CO_2, SO_2 et NOx).

Les scénarios sont ensuite comparés selon ces indicateurs.

L'ensemble des estimations est donné par an.

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

B. Performance énergétique des bâtiments existants

Logements

Deux lots de logements (lot SEMAG 92 et lot CARDIM) sont livrés en 2016 et 2017 et soumis à la RT2012. Pour ces lots, les consommations réglementaires sont donc issues des rapports d'étude thermique. Les consommations non réglementaires (électroménager, informatique, domotique…) sont estimées sur la base des ratios du label BEPOS-Effinergie (30 kWhEP/m².an pour les groupes scolaires, 70 pour les logements et 100 pour les autres typologies).

Pour les autres logements (livrés en 2009 et 2010), les consommations sont estimées à partir de ratios issus des chiffres clés de l'ADEME (année 2014). On considère un chauffage au gaz qui représente 67 % des consommations finales (chiffres clés de l'ADEME).

Commerces, artisanat

Pour ces bâtiments, les consommations sont estimées à partir de ratios issus des données statistiques du CEREN (année 2015). On considère un chauffage au gaz qui représente 47 % des consommations finales (chiffres clés de l'ADEME).

A noter qu'en l'absence de données, on assimile les locaux d'artisanat à des locaux tertiaires.

C. Performance énergétique des bâtiments projetés

Les consommations des bâtiments de logements projetés sont estimées, pour les consommations réglementaires, sur la base des seuils fixés dans la RT2012 (on considère une consommation de 60 kWhEP/m².an), et pour les consommations non réglementaires, sur la base des ratios du label BEPOS-Effinergie (70 kWhEP/m².an pour les logements).

D. Prix des énergies

Les éléments ci-après sont issus de la base de données Pégase publiée par le Commissariat général au Développement durable pour l'année 2015.

Pour le réseau de chaleur, les données sont fournies par la SEMAG 92 (données 2016).

Les tarifs d'achats du photovoltaïque sont publiés par le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer sur la base de l'arrêté tarifaire du 4 mars 2011 et révisés chaque trimestre.

Coût de l'énergie	Professionnels	Particuliers
Électricité	0,1414 €TTC/kWhEF	0,1965 €TTC/kWhEF
Gaz naturel	0,0625 €TTC/kWhEF	0,0711 €TTC/kWhEF
Bois (granulés)	0,0620 €TTC/kWhEF	
Réseau de chaleur urbain	0,0721 €TTC/kWhEF	
Revente électricité photovoltaïque	0,1261 €TTC/kWhEF	

E. Conversion énergie primaire / énergie finale

- Électricité : coefficient de 2,58 (source : RT2005, RT2012).
- Gaz : coefficient de 1 (source : RT2005, RT2012).
- Bois : coefficient de 0 (source : règle de calcul du label BEPOS-Effinergie).
- Réseau de chaleur urbain futur : coefficient de 0,4.

F. Émissions polluantes

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. Les contributions de la production d'énergie sont données en équivalent CO_2.

Le dioxyde de souffre (SO2) est l'un des responsables des pluies acides car, dans l'atmosphère, il peut se transformer en acide sulfurique. Il peut avoir également des effets sur la santé humaine (irritation des muqueuses, de la peau, des voies respiratoires).

L'oxyde d'azote (NOx) intervient dans le processus de formation de l'ozone (effet de serre) et contribue au phénomène des pluies acides. Il peut avoir également des effets sur la santé humaine (problèmes respiratoires).

Les éléments ci-dessous sont issus du Référentiel HQE Tertiaire générique Millésime 2015. Ils s'appliquent aux consommations d'énergie finale.

Pour le réseau de chaleur futur de Gennevilliers, les données sont fournies par la SEMAG 92 (données 2016) et issus des engagements de Gennevilliers Energie.

	CO2	SO2	NOx
Électricité (chauffage)	0,180 kg eq CO2 / kWh	0,89 g eqSO2/kWh	0,47 g eqSO2/kWh
Électricité (éclairage)	0,080 kg eq CO2 / kWh	/	/
Électricité (autre)	0,052 kg eq CO2 / kWh	0,32 g eqSO2/kWh	0,27 g eqSO2/kWh
Gaz naturel	0,234 kg eq CO2 / kWh	0,00 g eqSO2/kWh	0,17 g eqSO2/kWh
Bois	0,000 kg eq CO2 / kWh	0,00 g eqSO2/kWh	0,32 g eqSO2/kWh
Réseau de chaleur urbain	0,090 kg eq CO2 / kWh	0,02 g eqSO2/kWh	0,03 g eqSO2/kWh

4. SITUATION INITIALE A L'ECHELLE DE LA ZAC

A. Estimation des consommations

Type de bâti	Surface de plancher	Consommation réglementaire	Consommation non réglementaire	Consommation totale
Logements (RT2012)	7 321 m²	64 kWhEP/m²	70 kWhEP/m²	985 MWhEP
Logements (RT2005)	26 325 m²	110 kWhEP/m²	70 kWhEP/m²	4 740 MWhEP
Commerces et services	349 m²	450 kWhEP/m²	100 kWhEP/m²	190 MWhEP
Artisanat	194 m²	350 kWhEP/m²	100 kWhEP/m²	85 MWhEP
TOTAL	34 189 m²			6 000 MWhEP

B. Impact financier et environnemental

Type de bâti	Coût des énergies	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx
Logements (RT2012)	73 835 €	64 t eqCO2	96 kg SO2	116 kg NOx
Logements (RT2005)	354 440 €	368 t eqCO2	430 kg SO2	579 kg NOx
Commerces et services	10 830 €	12 t eqCO2	19 kg SO2	23 kg NOx
Artisanat	4 915 €	5 t eqCO2	9 kg SO2	10 kg NOx
TOTAL	444 020 €	450 t eqCO2	553 kg SO2	729 kg NOx

L'impact le plus fort au niveau de la ZAC est lié aux logements construits avant la RT2012.

5. ETAT PROJETE

Pour rappel, la surface de logements programmée est de 16 278 m²SP et les consommations prises en compte pour le scénario de référence sont de 130 kWhEP/m², dont 70 kWhEP/m² pour les consommations non réglementaires (« autres usages » dans les tableaux ci-après).

A. Scénario A : Gaz

Ce scénario est considéré comme le scénario de référence.

Estimation des consommations

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Gaz	23 kWhEF/m²	381 MWhEF	23 kWhEP/m²	381 MWhEP
ECS	Gaz	28 kWhEF/m²	459 MWhEF	28 kWhEP/m²	459 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	3 kWhEF/m²	53 MWhEF	8 kWhEP/m²	137 MWhEP
Autres usages	Électricité	27 kWhEF/m²	442 MWhEF	70 kWhEP/m²	1 139 MWhEP
Total		82 kWhEF/m²	1 335 MWhEF	130 kWhEP/m²	2 116 MWhEP

Impact financier et environnemental

Postes	Coût des énergies	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx
Chaud	27 080 €	89 t eqCO2	0 kg SO2	65 kg NOx
ECS	32 640 €	107 t eqCO2	0 kg SO2	78 kg NOx
Éclairage et auxiliaires	10 415 €	3 t eqCO2	17 kg SO2	14 kg NOx
Autres usages	86 785 €	23 t eqCO2	141 kg SO2	119 kg NOx
Total	156 920 €	222 t eqCO2	158 kg SO2	276 kg NOx

B. Scénario B : Réseau de chaleur alimenté par biomasse

Estimation des consommations

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	RCU	26 kWhEF/m²	419 MWhEF	10 kWhEP/m²	168 MWhEP
ECS	RCU	25 kWhEF/m²	404 MWhEF	10 kWhEP/m²	162 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	3 kWhEF/m²	53 MWhEF	8 kWhEP/m²	137 MWhEP
Autres usages	Électricité	27 kWhEF/m²	442 MWhEF	70 kWhEP/m²	1 139 MWhEP
Total		81 kWhEF/m²	1 318 MWhEF	99 kWhEP/m²	1 605 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			- 1 %		- 24 %

Impact financier et environnemental

Postes	Coût des énergies	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx
Chaud	30 225 €	38 t eqCO2	8 kg SO2	11 kg NOx
ECS	29 140 €	36 t eqCO2	7 kg SO2	11 kg NOx
Éclairage et auxiliaires	10 415 €	3 t eqCO2	17 kg SO2	14 kg NOx
Autres usages	86 785 €	23 t eqCO2	141 kg SO2	119 kg NOx
Total	156 565 €	100 t eqCO2	173 kg SO2	156 kg NOx

Comparaison au scénario de référence	- 0 %	- 55 %	+ 9 %	- 44 %

Ce scénario permet de réduire significativement les consommations en énergie primaire ainsi que les émissions en CO_2 (grâce à la chaufferie biomasse) et de NOx. Les émissions de SO2 sont légèrement supérieures que dans le scénario de base.

Le coût des énergies dans ce scénario est similaire au scénario de base.

C. Scénario C : Biomasse

Estimation des consommations

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Bois	26 kWhEF/m²	419 MWhEF	0 kWhEP/m²	0 MWhEP
ECS	Bois	26 kWhEF/m²	419 MWhEF	0 kWhEP/m²	0 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	3 kWhEF/m²	53 MWhEF	8 kWhEP/m²	137 MWhEP
Autres usages	Électricité	27 kWhEF/m²	442 MWhEF	70 kWhEP/m²	1 139 MWhEP
Total		82 kWhEF/m²	1 333 MWhEF	78 kWhEP/m²	1 276 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			- 0 %		- 40 %

Impact financier et environnemental

Postes	Coût des énergies	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx
Chaud	25 960 €	0 t eqCO2	0 kg SO2	134 kg NOx
ECS	25 960 €	0 t eqCO2	0 kg SO2	134 kg NOx
Éclairage et auxiliaires	10 415 €	3 t eqCO2	17 kg SO2	14 kg NOx
Autres usages	86 785 €	23 t eqCO2	141 kg SO2	119 kg NOx
Total	149 120 €	26 t eqCO2	158 kg SO2	402 kg NOx

Comparaison au scénario de référence	- 5 %	- 88 %	0 %	+ 45 %

Par rapport au scénario de référence, cette solution a un impact très positif sur les consommations en énergie primaire et les émissions de CO2, qui sont très fortement réduites. Les émissions en NOx sont supérieures (rejets de fumées).

L'impact financier de cette solution est légèrement positif, sachant que les consommations non réglementaires ont un poids prépondérant sur le coût total.

D. Scénario D : Géothermie sur sonde et appoint gaz

Estimation des consommations

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Géothermie / Gaz	5 kWhEF/m²	76 MWhEF	5 kWhEP/m²	76 MWhEP
ECS	Gaz	28 kWhEF/m²	459 MWhEF	28 kWhEP/m²	459 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	8 kWhEF/m²	128 MWhEF	20 kWhEP/m²	331 MWhEP
Autres usages	Électricité	27 kWhEF/m²	442 MWhEF	70 kWhEP/m²	1 139 MWhEP
Total		68 kWhEF/m²	1 105 MWhEF	123 kWhEP/m²	2 006 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			- 17 %		- 5 %

Impact financier et environnemental

Postes	Coût des énergies	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx
Chaud	5 415 €	18 t eqCO2	0 kg SO2	13 kg NOx
ECS	32 640 €	107 t eqCO2	0 kg SO2	78 kg NOx
Éclairage et auxiliaires	25 235 €	7 t eqCO2	41 kg SO2	35 kg NOx
Autres usages	86 785 €	23 t eqCO2	141 kg SO2	119 kg NOx
Total	150 075 €	155 t eqCO2	182 kg SO2	245 kg NOx

Comparaison au scénario de référence	- 4 %	- 30 %	+ 15 %	- 11 %

Ce scénario permet un gain financier modéré (le poids des consommations non réglementaires étant important). En termes d'émissions de polluants, l'impact est positif en ce qui concerne les GES et le NOx mais négatif pour le SO2 (lié aux consommations électriques plus importantes).

E. Scénario E : Gaz et ECS Solaire

Estimation de la production solaire

L'estimation est réalisée à partir du logiciel Tecsol. L'atteinte d'un taux de couverture des besoins en ECS de 60 % par le solaire thermique nécessite la mise en œuvre de 750 m² de panneaux tubes.

Station Météo	Nanterre
Latitude du lieu	48°52
Modules	Vitosol 200T SP2A - 10 VIESSMANN
(°) Coefficient B	0,75
(°) Coefficient K	1,91 W/m².°C
Orientation	0°/ Sud
Inclinaison	0 °/ Horiz
Surface	750 m²

	Irradiation capteurs	Besoins	Apports	Apports	Taux
Janvier	833 Wh/m².j	42 307 kWh	10 010 kWh	323 kWh/j	23,7 %
Février	1 547 Wh/m².j	37 583 kWh	15 824 kWh	565 kWh/j	42,1 %
Mars	2 656 Wh/m².j	40 596 kWh	26 585 kWh	858 kWh/j	65,5 %
Avril	4 026 Wh/m².j	38 580 kWh	31 025 kWh	1 034 kWh/j	80,4 %
Mai	4 723 Wh/m².j	38 163 kWh	32 365 kWh	1 044 kWh/j	84,8 %
Juin	5 257 Wh/m².j	35 802 kWh	30 919 kWh	1 031 kWh/j	86,4 %
Juillet	5 500 Wh/m².j	36 257 kWh	31 498 kWh	1 016 kWh/j	86,9 %
Août	4 668 Wh/m².j	35 852 kWh	30 927 kWh	998 kWh/j	86,3 %
Septembre	3 315 Wh/m².j	36 422 kWh	28 410 kWh	947 kWh/j	78,0 %
Octobre	2 023 Wh/m².j	38 974 kWh	21 919 kWh	707 kWh/j	56,2 %
Novembre	1 108 Wh/m².j	39 679 kWh	12 593 kWh	420 kWh/j	31,7 %
Décembre	656 Wh/m².j	42 015 kWh	8 039 kWh	259 kWh/j	19,1 %
Total		462 230 kWh	280 114 kWh		60,6 %

Estimation des consommations

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Gaz	23 kWhEF/m²	381 MWhEF	23 kWhEP/m²	381 MWhEP
ECS	Solaire / Gaz	11 kWhEF/m²	184 MWhEF	11 kWhEP/m²	184 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	3 kWhEF/m²	53 MWhEF	8 kWhEP/m²	137 MWhEP
Autres usages	Électricité	27 kWhEF/m²	442 MWhEF	70 kWhEP/m²	1 139 MWhEP
Total		65 kWhEF/m²	1 059 MWhEF	113 kWhEP/m²	1 841 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			- 21 %		- 13 %

Impact financier et environnemental

Postes	Coût des énergies	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx
Chaud	27 080 €	89 t eqCO2	0 kg SO2	65 kg NOx
ECS	13 055 €	43 t eqCO2	0 kg SO2	31 kg NOx
Éclairage et auxiliaires	10 415 €	3 t eqCO2	17 kg SO2	14 kg NOx
Autres usages	86 785 €	23 t eqCO2	141 kg SO2	119 kg NOx
Total	137 335 €	158 t eqCO2	158 kg SO2	230 kg NOx

Comparaison au scénario de référence	- 12 %	- 29 %	0 %	- 17 %

Cette solution permet un gain financier intéressant et contribue à réduire l'impact environnemental (GES et NOx) grâce à des consommations évitées.

F. Scénario F : Gaz et production photovoltaïque

Estimation de la production solaire photovoltaïque

L'estimation est réalisée à partir du logiciel Tecsol. On considère que la moitié des surfaces de toiture disponibles est utilisée pour la production photovoltaïque (en intégration au bâti simplifiée), soit environ 1 650 m².

Station Météo	Nanterre
Latitude du lieu	48°52
Modules PV	HYUNDAI HiS-S215SF (Verre/Tedlar)
	Puissance 215 Wc
	Surface unitaire 1,451 m²
Orientation	0 ° / Sud
Inclinaison	0 ° / horizontale
Surface utile	1655 m²
Puissance crête	245,3 kWc

Mois	Énergie solaire reçue plan horizontal	Énergie solaire reçue plan des capteurs	Électricité produite par le système
Janvier	831 Wh/m².j	833 Wh/m².j	4 815 kWh
Février	1 543 Wh/m².j	1 547 Wh/m².j	8 077 kWh
Mars	2 649 Wh/m².j	2 656 Wh/m².j	15 350 kWh
Avril	4 019 Wh/m².j	4 026 Wh/m².j	22 515 kWh
Mai	4 718 Wh/m².j	4 723 Wh/m².j	27 294 kWh
Juin	5 257 Wh/m².j	5 257 Wh/m².j	29 405 kWh
Juillet	5 503 Wh/m².j	5 500 Wh/m².j	31 790 kWh
Août	4 675 Wh/m².j	4 668 Wh/m².j	26 977 kWh
Septembre	3 324 Wh/m².j	3 315 Wh/m².j	18 540 kWh
Octobre	2 031 Wh/m².j	2 023 Wh/m².j	11 695 kWh
Novembre	1 113 Wh/m².j	1 108 Wh/m².j	6 195 kWh
Décembre	656 Wh/m².j	656 Wh/m².j	3 789 kWh
Total			206 442 kWh

Productivité	842 kWh/kWc.an

Estimation des consommations

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Gaz	23 kWhEF/m²	381 MWhEF	23 kWhEP/m²	381 MWhEP
ECS	Gaz	28 kWhEF/m²	459 MWhEF	28 kWhEP/m²	459 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	3 kWhEF/m²	53 MWhEF	8 kWhEP/m²	137 MWhEP
Autres usages	Électricité	27 kWhEF/m²	442 MWhEF	70 kWhEP/m²	1 139 MWhEP
Photovoltaïque	Électricité	-13 kWhEF/m²	-206 MWhEF	-33 kWhEP/m²	-533 MWhEP
Total		69 kWhEF/m²	1 128 MWhEF	97 kWhEP/m²	1 584 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			- 15 %		- 25 %

Impact financier et environnemental

Postes	Coût des énergies	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx
Chaud	27 080 €	89 t eqCO2	0 kg SO2	65 kg NOx
ECS	32 640 €	107 t eqCO2	0 kg SO2	78 kg NOx
Éclairage et auxiliaires	10 415 €	3 t eqCO2	17 kg SO2	14 kg NOx
Autres usages	86 785 €	23 t eqCO2	141 kg SO2	119 kg NOx
Photovoltaïque	-26 030 €	-11 t eqCO2	-66 kg SO2	-56 kg NOx
Total	130 890 €	212 t eqCO2	92 kg SO2	221 kg NOx

Comparaison au scénario de référence	- 17 %	- 5 %	- 42 %	- 20 %

L'impact de ce scénario est positif, aussi bien d'un point de vue financier qu'environnemental. La production photovoltaïque permet de compenser une partie des consommations et des émissions polluantes (GES, SO2 et NOx).

G. Scénario G : Gaz et récupération de chaleur sur les eaux grises

Estimation des consommations

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Gaz	23 kWhEF/m²	381 MWhEF	23 kWhEP/m²	381 MWhEP
ECS	ERS	0 kWhEF/m²	0 MWhEF	0 kWhEP/m²	0 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	9 kWhEF/m²	144 MWhEF	23 kWhEP/m²	371 MWhEP
Autres usages	Électricité	27 kWhEF/m²	442 MWhEF	70 kWhEP/m²	1 139 MWhEP
Total		59 kWhEF/m²	966 MWhEF	116 kWhEP/m²	1 892 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			- 28 %		- 11 %

Impact financier et environnemental

Postes	Coût des énergies	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx
Chaud	27 080 €	89 t eqCO2	0 kg SO2	65 kg NOx
ECS	0 €	0 t eqCO2	0 kg SO2	0 kg NOx
Éclairage et auxiliaires	28 275 €	7 t eqCO2	46 kg SO2	39 kg NOx
Autres usages	86 785 €	23 t eqCO2	141 kg SO2	119 kg NOx
Total	142 140 €	120 t eqCO2	187 kg SO2	223 kg NOx

Comparaison au scénario de référence	- 9 %	- 46 %	+ 18 %	- 19 %

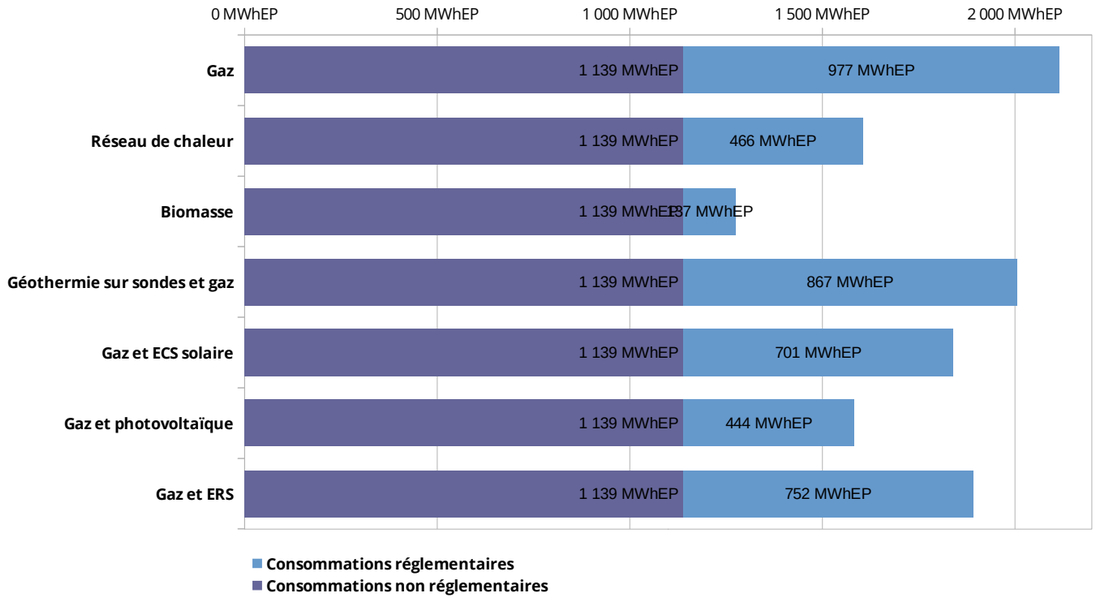
Ce scénario permet, par rapport au scénario gaz de référence, une réduction des consommations et des coûts liés aux énergies. On note également une nette réduction des émissions de GES et dans une moindre mesure de NOx. L'impact est négatif en ce qui concerne le SO2, ceci est dÛ aux consommations électriques liées à la PAC.

6. COMPARAISON DES SCENARIOS

Rappel des scénarios :

- Scénario A : Gaz.
- Scénario B : Réseau de chaleur alimenté par biomasse.
- Scénario C : Biomasse.
- Scénario D : Géothermie sur sonde et appoint gaz.
- Scénario E : Gaz et ECS Solaire.
- Scénario F : Gaz et production photovoltaïque.
- Scénario G : Gaz et récupération de chaleur sur les eaux grises (ERS).

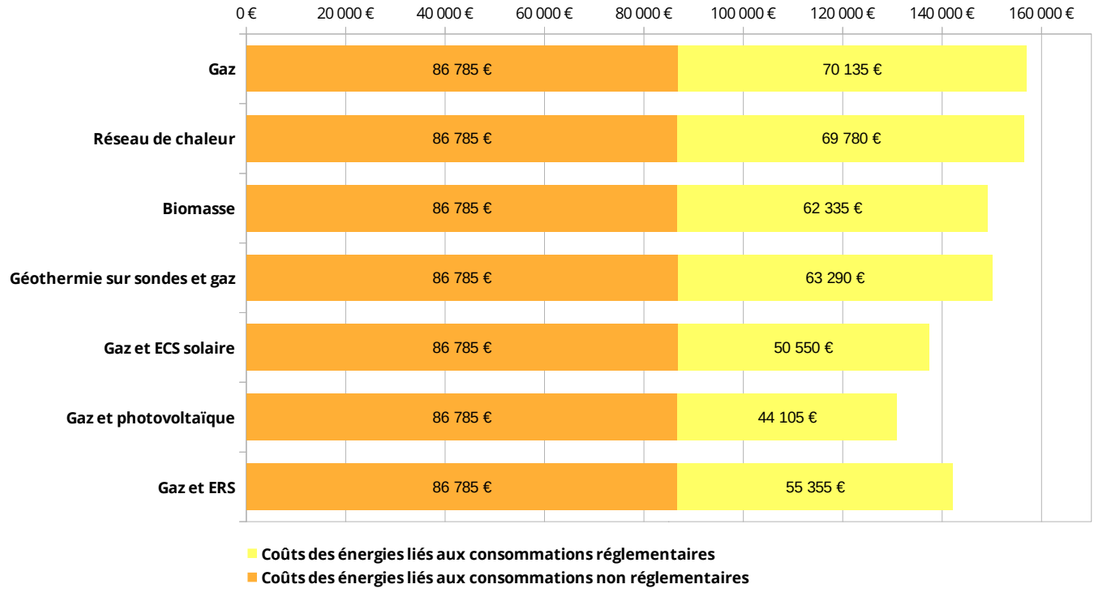
Consommations totales en énergie primaire en MWhEP par an



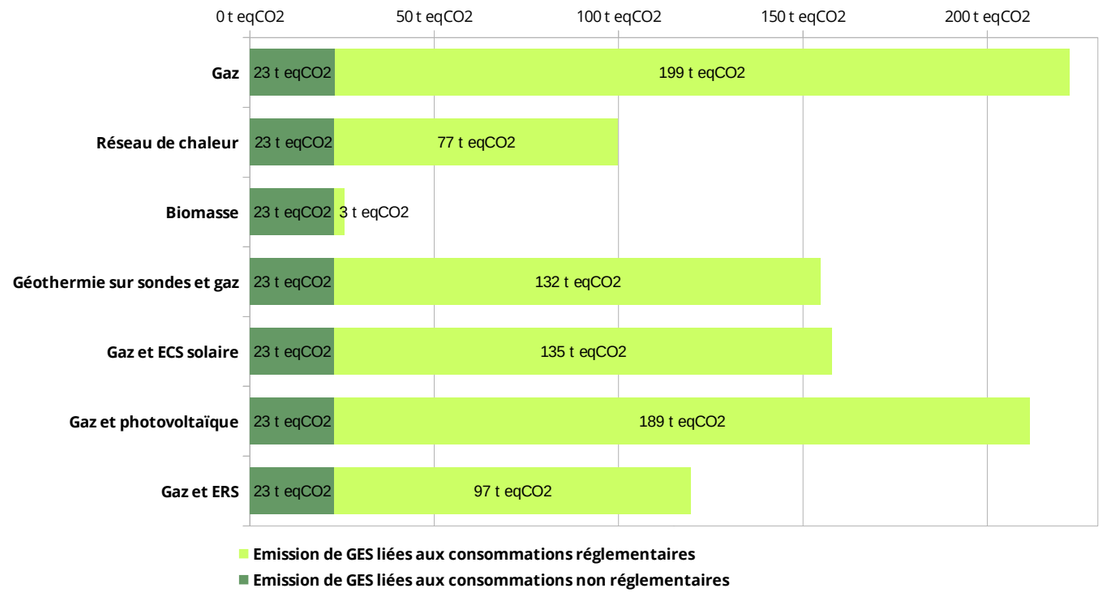
On constate un impact fort des consommations « non réglementaires » sur le bilan énergétiques du projet. Les différents scénarios étudiés permettent de réduire les consommations d'énergie primaire. C'est le scénario Biomasse qui a l'impact positif le plus important, suivi des solutions solaires puis du réseau de chaleur biomasse et de la récupération sur les eaux grises (dit ERS = *Energy Recycling System*).

Le constat concernant les consommations non réglementaires est identique en ce qui concerne les coûts d'énergie. Les solutions solaires permettent une réduction plus importante des coûts. Viennent ensuite la solution ERS puis les solutions géothermie et biomasse. La solution réseau de chaleur à un coût similaire au scénario gaz.

Coût des énergies en €TTC par an

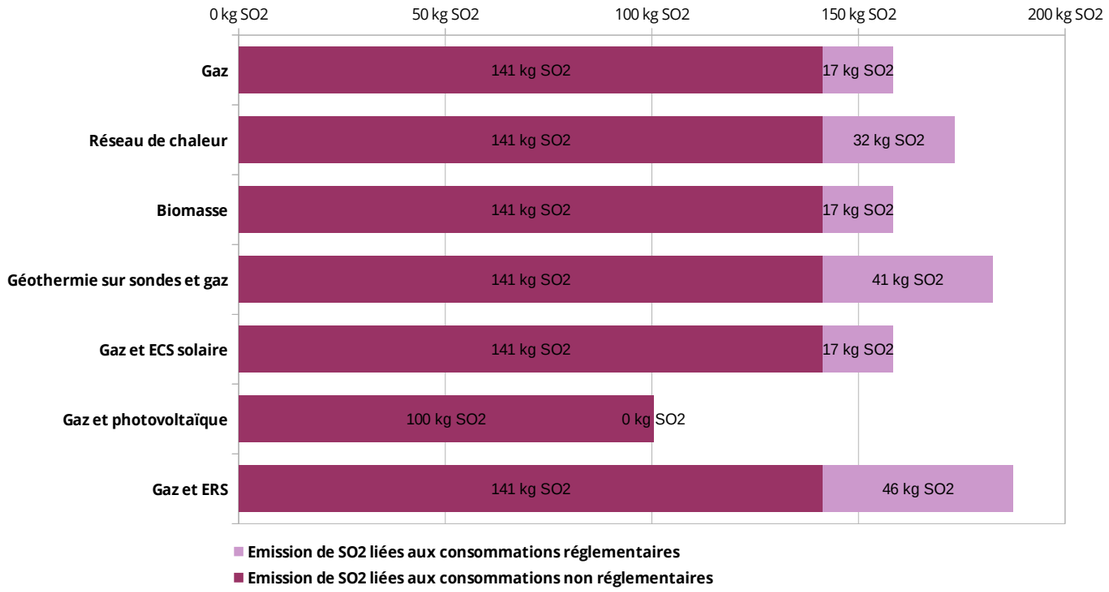


Emissions de gaz à effet de serre en tonnes équivalent CO_2 par an



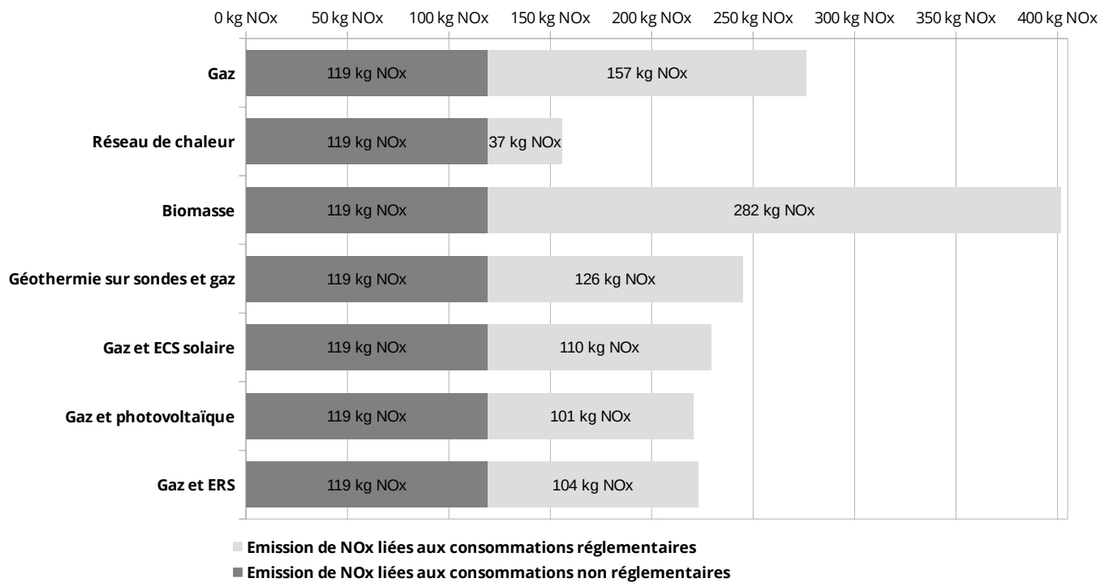
La solution biomasse permet d'éviter la majeure partie des émissions de GES. Les solutions réseau de chaleur et ERS et dans une moindre mesure les scénarios de géothermie et de solaire thermique ont également un impact positif par rapport à la solution gaz.

Emissions de dioxyde de souffre en kg SO_2 par an



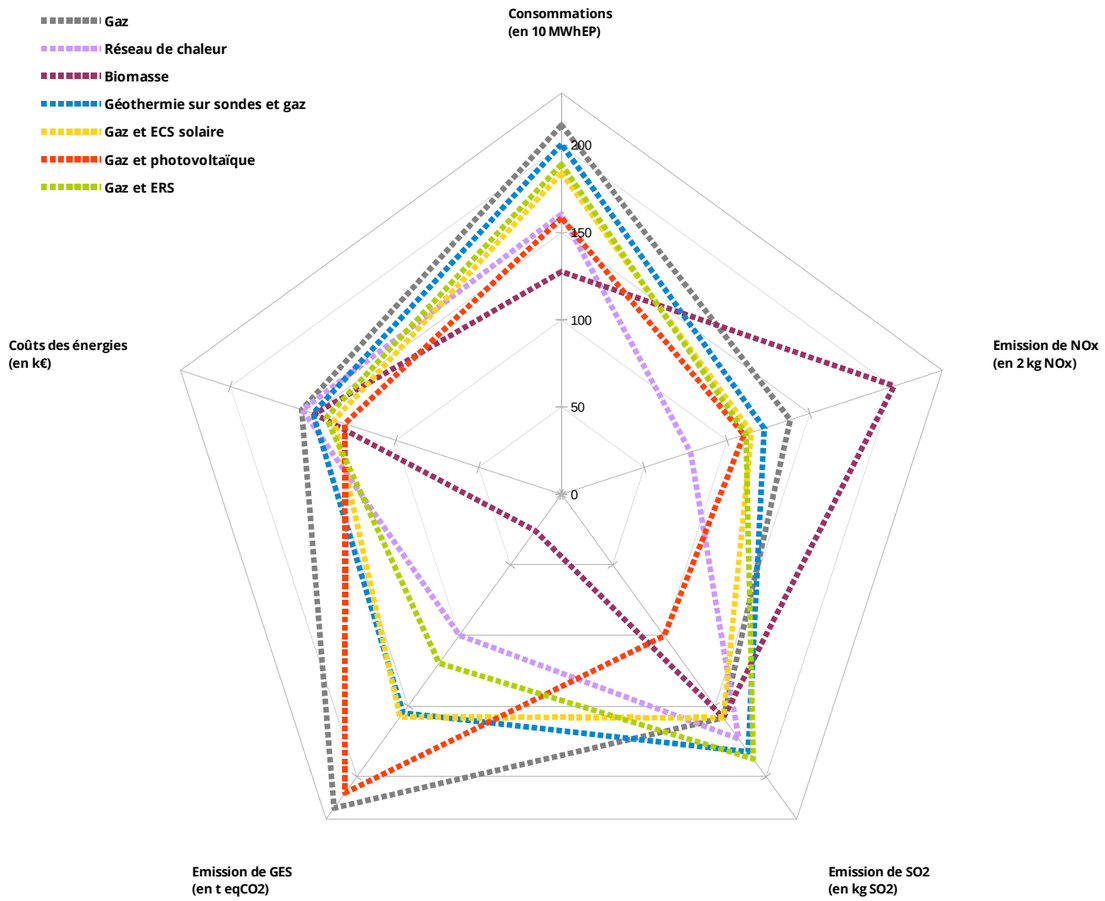
Le scénario photovoltaïque est nettement la meilleure solution en termes d'émissions de SO2 (compensation). Les solutions réseau de chaleur, géothermie et ERS ont un impact négatif par rapport au scénario gaz.

Emissions d'oxyde d'azote en kg NOx par an



La solution biomasse est le scénario qui a l'impact le plus important, supérieur au scénario de référence. Les autres solutions permettent une réduction des émissions. La solution réseau de chaleur permet de limiter fortement l'impact en NOx notamment grâce au système de filtration mis en place sur la chaufferie bois.

Conclusion



Selon le critère pris en compte pour la comparaison des scénarios étudiés, les performances varient, comme présenté ci-avant. Dans tous les cas, on constate que les consommations non réglementaires (électriques) ont un impact important sur le bilan énergétique.

Approche en coût global

1. METHODE ET HYPOTHESES

A. Méthode

Cette approche vise à estimer les grandes masses financières d'investissement et de coûts des énergies, afin de comparer les solutions entre elles. Ces estimations ne doivent donc pas être considérées en tant que telles mais bien comme outil d'aide à la décision pour le choix approvisionnement en énergie à long terme. On rappelle que les incertitudes sur l'évolution des prix des énergies et des investissements sont fortes dans une approche en coût global.

L'étude est menée sur une période de 25 ans.

Concernant les coûts d'investissement, seuls ceux pour la production de chaud et d'ECS sont pris en compte, puisque ce sont ceux qui varient d'un scénario à l'autre. Les autres coûts (ventilation, éclairage, électroménager…) ne sont pas estimés.

L'obtention des subventions n'étant pas automatique, aucune subvention n'est prise en compte dans l'étude.

B. Hypothèses sur les prix des énergies

Les hypothèses des coûts des énergies sont basées sur la base de données Pégase publiée par le Commissariat général au Développement durable pour la période 2007-2015.

Augmentation annuelle électricité	3,3 %
Augmentation annuelle gaz	3,0 %
Augmentation annuelle bois	2,7 %
Augmentation annuelle réseau de chaleur	2,0 %
Taux de dégradation de la performance des panneaux photovoltaïques	0,5 %

C. Hypothèses sur les prix d'investissement

Gaz

Les coûts d'investissement pour les systèmes au gaz sont estimés à 120 €TTC/kW (arrivée gaz, chaudières et auxiliaires de fonctionnement, fumisterie). Sur la base de nos retours d'expérience récents, un ratio de puissance installée de 0,05 kW/m² est pris en compte pour les logements.

Réseau de chaleur

Le coût de raccordement au réseau de chaleur urbain de Gennevilliers est considéré de 102,22 €HT/kW souscrit (source SEMAG 92, 2016).

Biomasse

Sur la base de nos retours d'expérience, un ratio de 1,07 €/kWhEF est pris en compte.

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.

Solaire thermique

Sur la base des cas de figures rencontrés en Île-de-France, on estime en moyenne la production à 1 000 kWh/an par m² de panneaux et le coût d'investissement à 700 €TTC/m².

Solaire photovoltaïque

Sur la base de l'étude ADEME sur la filière photovoltaïque en France (Septembre 2015), un coût d'investissement de 2,46 €TTC/Wc est pris en compte (Wc = watt crète).

Récupération de chaleur sur les eaux grises

Sur la base de devis d'entreprise récents, un coût d'investissement de 19 €TTC/L est pris en compte.

2. COMPARAISON EN COUT GLOBAL

Les cinq scénarios étudiés font l'objet d'une comparaison qui prend en compte l'investissement initial pour les équipements de production de chaud et d'ECS et les coûts des énergies sur une période de 25 ans.

Coûts	Gaz	Réseau de chaleur	Biomasse	Géothermie sur sondes et gaz	Gaz et ECS solaire	Gaz et photovoltaïque	Gaz et ERS
Investissement	59 000 €	135 000 €	89 500 €	108 000 €	540 500 €	801 500 €	101 500 €
Énergie	2 292 500 €	1 999 000 €	1 925 000 €	2 030 000 €	1 541 000 €	1 312 500 €	1 039 500 €
Total	2 351 500 €	2 134 000 €	2 014 500 €	2 138 000 €	2 081 500 €	2 114 000 €	1 141 000 €

L'étude en coût global montre que le poids de l'investissement est assez faible comparé au coût annuel des énergies sur 25 ans. D'où l'importance d'une telle approche afin de limiter la charge financière des bâtiments à long terme.

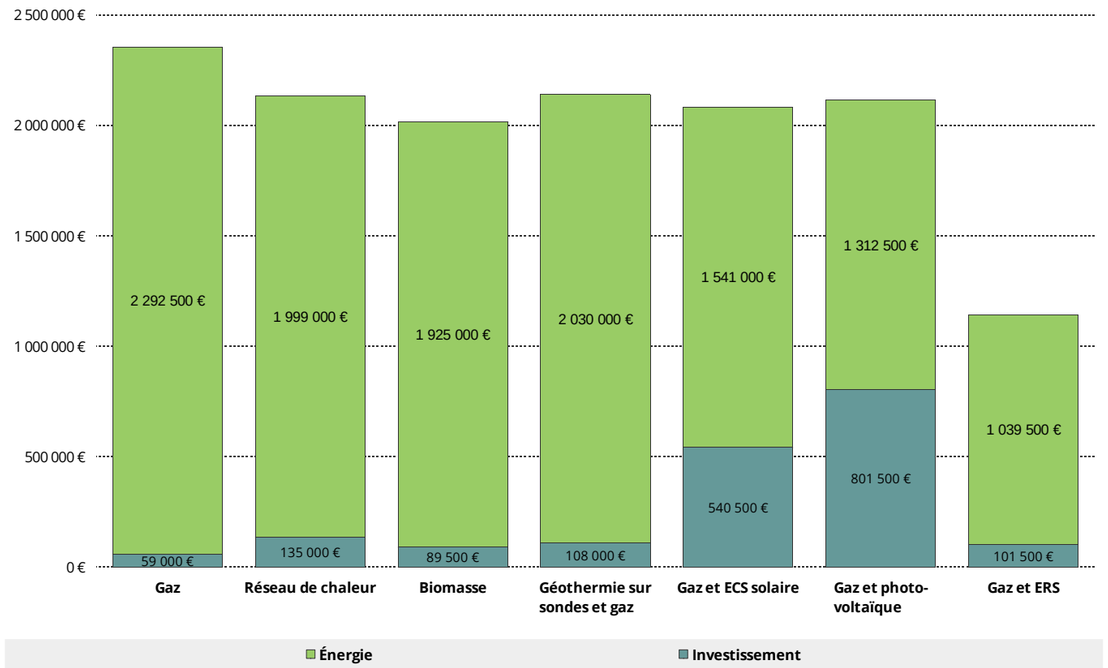
On constate que, sur une période de 25 ans, la solution de récupération de chaleur sur les eaux grises ressort comme la plus performante. Cette solution est en effet bien adaptée à une opération de logements où la production d'eaux grises et les besoins en ECS, importants, sont en adéquation. L'économie sur 25 ans est de l'ordre de 1,2 M€ (soit environ 48 500 € par an).

La solution biomasse permet une économie intéressante, de l'ordre de 337 000 € sur 25 ans par rapport à la solution gaz (soit environ 13 500 € par an).

Les solutions solaires sont impactées par un investissement initial plus important. Elles permettent tout de même de réaliser des économies sur le long terme, avec pour le solaire thermique une économie sur 25 ans de l'ordre de 270 000 € et pour le photovoltaïque de l'ordre de 238 000 € (soit rapporté à l'année respectivement 11 000 € et 9 500 €).

La solution réseau de chaleur alimenté en biomasse permet de réaliser une économie sur 25 ans d'environ 218 000 € (soit environ 8 700 € par an).

La solution géothermique permet de réaliser une économie sur 25 ans d'environ 214 000 € (soit environ 8 500 € par an). Cette solution est moins bien adaptée à des logements où les besoins en ECS sont supérieurs aux besoins en chaud.



Globalement l'évolution des tarifs des énergies fossiles dans les prochaines années va renforcer la pertinence des solutions d'énergie renouvelables, y compris la solution réseau de chaleur.