TRANS FAIRE

environnement + urbanisme

SAS au capital de 100 000 €
SIRET 438 626 491 00049
3 passage Boutet
94110 Arcueil
Tél : 01 45 36 15 00
Fax : 01 47 40 11 01
contact@trans-faire.net
www.trans-faire.net

SORGEM

Les Charcoix

Le Plessis-Pâté (91)

03 août 2018

Étude ENR&R

La mise en page est optimisée pour une impression recto-verso.

Sommaire

Introduction 5
Objet de l'étude 6
Contexte du projet 7
Etat des lieux des filières 11
Contexte réglementaire..... 12
Contexte énergétique 20
Filières énergétiques locales..... 22
Réseaux d'énergie 44
Scénarios retenus 49
Hiérarchisation des filières 50
Présentation des scénarios retenus 56
Comparaison des scénarios.....67
Méthode 68
Hypothèses 69
Estimation des consommations 76
Estimations des impacts environnementaux 82
Estimation des impacts financiers annuels..... 90
Graphiques récapitulatifs..... 96
Approche en coût global 98
Scénario exemplaire 110
Conclusions.....113

Introduction

Objet de l'étude

Contexte réglementaire

Les caractéristiques du projet font que celui-ci est soumis à étude d'impact systématique au titre de la rubrique 39° du tableau annexé à l'article R122-2 du code de l'environnement.

A ce titre, l'opération d'aménagement des Charcoix doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement d'énergies renouvelables et de récupération, conformément à l'article L300-1 du code de l'urbanisme qui impose :

« *toute action ou opération d'aménagement faisant l'objet d'une évaluation environnementale 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.* »

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.

Objectifs de l'étude

Les objectifs de ce document sont de :

- Analyser des directives et politiques énergétiques à différentes échelles.
- Présenter les différentes filières énergétiques disponibles localement.
- Hiérarchiser ces filières énergétiques au regard de leur pertinence pour le projet dans une logique d'aide à la décision en matière d'investissement énergétique.
- Estimer les consommations énergétiques du futur quartier.
- Étudier des scénarios d'approvisionnement en énergie intégrant des énergies renouvelables et de récupération et la pertinence d'un réseau de chaleur.
- Réaliser une approche comparative en termes d'impacts environnementaux et financiers.

Contexte du projet

Localisation et contexte

Site d'implantation

Le projet s'implante au Plessis-Pâté, commune située dans le département de l'Essonne, à environ 50 km au sud de Paris, dans le territoire de la Communauté d'Agglomération Cœur d'Essonne Agglomération.

Le site d'étude se trouve en continuité est des espaces urbanisés de la commune. Il a actuellement une vocation agricole et est entouré de champs sur ses limites nord, est et sud.

Le sud du site est marqué par la présence de :

- La RD19.
- L'ancienne base aérienne 217 de l'Armée de l'air française qui fait l'objet d'une opération d'aménagement.

Contexte

En 2017, la commune du Plessis-Pâté dispose de 1 544 logements dont 11,44 % de logements sociaux[1].

Le projet des Charcoix devrait permettre d'atteindre 20 % de logements sociaux sur la commune[2].

Il contribuera ainsi à atteindre les objectifs de la loi relative à la Solidarité et au Renouvellement Urbain (SRU) : l'article 55 de la loi SRU oblige les villes de plus de 1 500 habitants en Ile-de-France à avoir au moins 25 % de logements sociaux.

Le projet augmentera l'offre en équipements publics pour la commune.

1 SORGEM, 2017
2 SORGEM, 2017

Conception urbaine et paysagère

Aménagement d'un nouveau quartier

Le projet consiste à aménager une zone à vocation mixte d'habitat et d'équipements publics.

Le développement doit se faire en cohérence avec les objectifs suivants :

- *« Loger des personnes et leur offrir un parcours résidentiel complet au sein de la commune.*
- *Diversifier l'offre avec 50 % de logements aidés.*
- *Promouvoir l'environnement et le paysage, dans les opérations de constructions, notamment le mode de construction en bois.*
- *Préserver l'identité de la commune notamment dans les typologies d'habitat et le paysage.*
- *Créer des espaces verts en cœur de projet.*
- *Répondre aux besoins en équipements publics.*
- *Poursuivre les principes de la démarches haute qualité environnementale »*[3].

3 SORGEM, 2017

Programmation

La programmation intègre la création de :

- **480 logements** répartis de la façon suivante :

Typologie	Nombre logements	Surface de plancher
Petits collectifs	176	11 684 m²
Intermédiaires	71	4 639 m²
Maisons individuelles	63	4 133 m²
Terrains privés en accession (lots libres)	70	5 705 m²
Résidence séniors	100	5 200 m²
Total	480	37 600

- **Des espaces publics** intégrant un parc naturel et écologique de 2 ha, une mare et des noues.
- Des **équipements** publics dont :
  - Un groupe scolaire de 8 classes (2 650 m² SDP et 1 500 m² d'espaces extérieurs).
  - Un équipement sportif (680 m² SDP). En rez-de-chaussée de l'école.
  - Un centre médical (400 m² SDP). En rez-de-chaussée de la résidence séniors.
  - Une crèche de 30 berceaux (390 m² SDP et 200 m² d'espaces extérieurs). En rez-de-chaussée de la résidence séniors.
- Des voiries et stationnements.
- Un merlon paysager le long de la RD19.

La hauteur maximale des bâtiments sera de 12 m au faîtage.

Le centre médical et la crèche étant intégrés en pied de la résidence seniors, ils ne feront pas l'objet d'un scénario particulier dans cette étude. Leur approvisionnement en énergie sera le même que celui de la résidence séniors.

Le groupe scolaire et l'équipement sportif se trouvant dans le même bâtiment, les scénarios d'approvisionnement prendront en compte leurs besoins cumulés en termes d'énergie.

Programmation des équipements (source TGTFP, 2018)

Performances énergétiques visées

Le cahier des charges du projet demande que[1] :

- Les consommations énergétiques soient inférieures aux seuils fixés par la réglementation actuelle, avec un objectif RT 2012 - 30 %.
- Le recours aux énergies renouvelables soit une priorité et s'applique à l'ensemble du projet, y compris aux lots privés.
- 5 % des besoins électriques soient couverts par des énergies renouvelables.
- 80 % des besoins en eau chaude sanitaire soient couverts par des énergies renouvelables.
- Les diagnostics de performances énergétiques des constructions aient un niveau de performance énergétique et de production de GES de niveau A. Soit un Cep ≤ 50 kWhEP/m².an et des émissions de gaz à effet de serre ≤ 5 kgeqCO_2/m².an.

Phasage

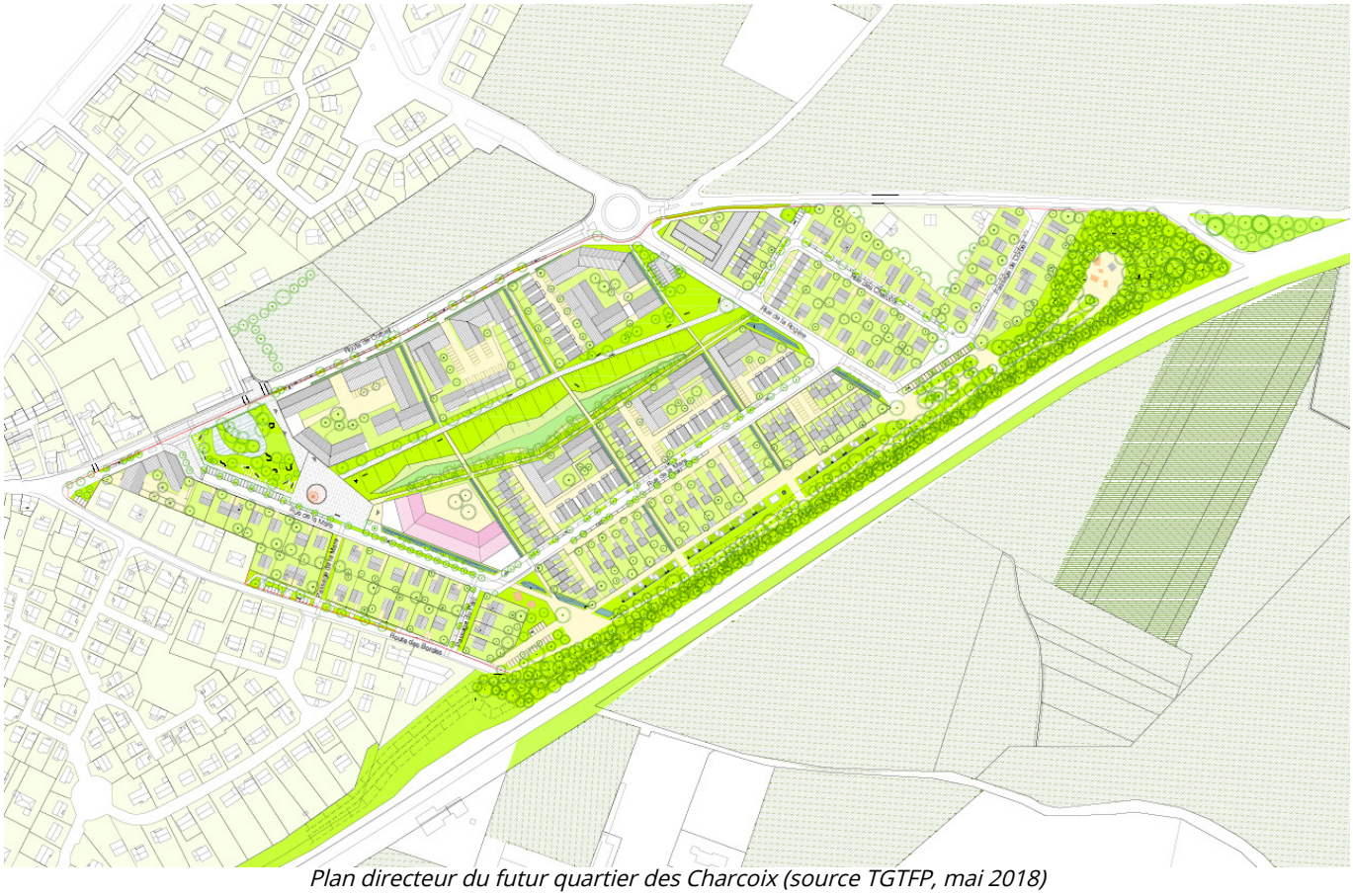
Le début des travaux est prévu pour 2021 pour une livraison envisagée en 2025 (première phase livrée en 2023).

Deux phases sont envisagées pour le développement du projet.

La temporalité du projet demande de prendre en compte de l'évolution des normes de construction et de viser des performances environnementales plus élevées que celles fixées actuellement[2].

1 SORGEM, 2017

2 SORGEM, 2017



Plan directeur du futur quartier des Charcoix (source TGTFP, mai 2018)

Etat des lieux des filières

Contexte réglementaire

Contexte

Les différentes réglementations ou cadres volontaires auxquels le site est soumis, suivant la thématique des énergies renouvelables et réseaux de chaleur, sont, 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).
- La loi relative à la Transition Energétique pour la Croissance Verte (LTECV).
- Les réglementations thermiques RT2012.
- Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCAE) de l'Île-de-France dans sa version définitive du 14 décembre 2012.
- Le Plan de Protection de l'Atmosphère pour l'Île-de-France dans sa version « révision approuvée » du 25 mars 2013.
- Le Schéma Régional de Raccordement aux Réseaux des Energies Renouvelables (S3REnR) d'Ile-de-France dans sa version approuvée du 4 mars 2015.
- Le PLU du Plessis-Pâté, approuvé en 2012 et révisé en 2016.

Présentation des plans et schémas

Plan Climat Énergie Européen

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).

- Une amélioration de 27 % de l'efficacité énergétique.
- 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.

Grenelles de l'Environnement (I et II)

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

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

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

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

Loi relative à la Transition Energétique pour la Croissance Verte (LTECV)

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte a été publiée au journal officiel le 18 août 2015. Elle vise « *à permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et à la préservation de l'environnement, ainsi que de renforcer son indépendance énergétique tout en offrant à ses entreprises et ses citoyens l'accès à l'énergie à un coût compétitif.* »[1]

La loi fixe des objectifs à moyen et long termes, et notamment,[2] :

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

1 MEEM, 2017
2 MEEM, 2017

Réglementations Thermiques RT et labels

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 précédant, fixent :

- Les valeurs maximales de consommation **Cepmax**. Cette valeur s'exprime en m²SRT[1]/ an et caractérise la consommation en énergie primaire d'un bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, la production d'eau chaude sanitaire et les auxiliaires.
- Les valeurs maximales de besoin bioclimatique **Bbiomax**. Cette valeur est sans dimension et caractérise le besoin en énergie des composantes liées à la conception du bâti (chauffage, refroidissement et éclairage).

Le respect de la RT2012 implique que la consommation en énergie primaire (Cep) et le besoin bioclimatique (Bbio) soit inférieurs à ces seuils exprimés en valeur absolue et modulables en fonction de la localisation, des caractéristiques et de l'usage des bâtiments.

Label E+ C-

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

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

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

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

- Les premiers niveaux, E1 ou « Énergie 1 » et E2 ou « Énergie 2 », constituent une amélioration des performances à coût maîtrisé par rapport à la réglementation thermique RT2012, soit par des mesures d'efficacité énergétique, soit par le recours à des énergies renouvelables et de récupération (ENR&R).
- Le niveau E3 ou « Énergie 3 » nécessite un effort en termes d'efficacité énergétique du bâti et des systèmes et un recours significatif aux ENR&R (chaleur et/ou électricité).
- Le niveau E4 ou « Énergie 4 » correspond à un bâtiment qui produit autant voire plus qu'il consomme (bâtiment à énergie positive).

Pour atteindre ces niveaux, le bâtiment doit présenter un niveau énergétique inférieur au niveau de bilan énergétique maximal du niveau considéré.

$$Bilan_{BEPOS} \leq Bilan_{BEPOS,max}$$

Le tableau ci-après présente les bilans énergétiques maximaux de chaque niveau par rapport à la RT2012.

1 Surface de plancher au sens de la RT

Niveau Energie	Maisons individuelles ou accolées	Bâtiments collectifs d'habitation	Autres bâtiments soumis à la réglementation thermique
E1	RT2012 - 5 % + Aue_{ref}	RT2012 - 5 % + Aue_{ref}	RT2012 - 10 % + Aue_{ref}
E2	RT2012 - 10 % + Aue_{ref}	RT2012 - 15 % + Aue_{ref}	RT2012 - 20 % + Aue_{ref}
E3	RT2012 - 20 % + Aue_{ref} - $Prod_{ref}$	RT2012 - 20 % + Aue_{ref} - $Prod_{ref}$	RT2012 - 20 % + Aue_{ref} - $Prod_{ref}$
E4	$Bilan_{BEPOS,max} \leq 0$		

$Prod_{ref}$: production d'énergie renouvelable de référence. Pour les usages considérés, elle est de **20 kWhEP/m²/an**.
Aue_{ref} : consommation de référence des autres usages (usages non réglementaires) en énergie primaire (EP).

Les **performances relatives aux émissions de gaz à effet de serre** de ces bâtiments vont de C1 à C2 :

- Le niveau C1 ou « Carbone 1 » permet une connaissance de l'empreinte carbone du bâtiment, sans exigence de performance.
- Le niveau C2 ou « Carbone 2 » nécessite un travail de réduction de l'empreinte carbone des matériaux, des équipements mis en œuvre et de l'énergie consommée.

Application aux équipements publics

Le II de l'article 8 de la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte prévoit les dispositions suivantes :

« *Toutes les nouvelles constructions sous maîtrise d'ouvrage de l'Etat, de ses établissements publics ou des collectivités territoriales font preuve d'exemplarité énergétique et environnementale et sont, chaque fois que possible, à énergie positive et à haute performance environnementale* ».

Le décret d'application n° 2016-1821 du 21 décembre 2016 permet la mise en œuvre ces dispositions.

D'après l'arrêté du 10 avril 2017, les bâtiments satisfont à l'exigence indiquée à l'article 2 de ce décret, s'ils respectent notamment, a minima les exigences de performances des niveaux carbone 1 et énergie 3 du label E+C-.

Label BBC, BEPOS et BEPOS + Effinergie 2017

Depuis 2006, l'association EFFINERGIE promeut l'efficacité énergétique des bâtiments en construction et en rénovation. Ses actions passent notamment par l'élaboration de labels :

- Label BBC (Bâtiments Basses Consommations) Effinergie 2017.
- Label BEPOS Effinergie 2017.
- Label BEPOS+ Effinergie 2017.

Pour obtenir un label Effinergie, les projets doivent au préalable être conformes à la Réglementation Thermique 2012 et aux exigences minimales liées au référentiel E+C- définies dans le tableau ci-dessous.

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

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

- La sobriété et l'efficacité énergétique (respect d'un Cep ≤ Cepmax[2] - 20 % pour les logements).
- La qualité et le confort.
- L'appropriation du bien et la sensibilisation des futurs occupants aux enjeux de la transition énergétique

2 Cepmax fixé par la RT2012.

Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCAE) d'Île-de-France

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

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

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

Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) d'Île-de-France

Le PPA d'Ile-de-France a été approuvé en janvier 2018 par arrêté inter-préfectoral.

Construit autour de 25 défis, déclinés en 46 actions concrètes, il ambitionne de ramener la région sous les seuils européens à l'horizon 2025. En effet, il doit permettre de réduire très fortement, entre 40 et 70 % selon les polluants, le nombre de franciliens exposés à des dépassements de valeurs limites de qualité de l'air.

Le PPA vise tous les secteurs d'activité : l'aérien, l'agriculture, l'industrie, le résidentiel et les transports.

Il vise particulièrement le chauffage au bois et le trafic routier, principales sources de particule fines et de dioxydes d'azote en Ile-de-France.

Schéma Régional de Raccordement aux Réseaux des Energies Renouvelables (S3REnR) d'Ile-de-France[1]

Le contenu des S3REnR est défini par l'article L321-7 du Code de l'énergie et par le décret n°2012-533 du 20 avril 2012 modifié.

Le S3REnR définit : « *les ouvrages à créer ou à renforcer pour atteindre les objectifs fixés par le schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie [...]. Il évalue le coût prévisionnel d'établissement des capacités d'accueil nouvelles nécessaires à l'atteinte des objectifs quantitatifs visés au 3° du I de l'article L222-1 du même code [code de l'environnement]* ».

« *Les capacités d'accueil de la production prévues dans le schéma régional de raccordement au réseau sont réservées pendant une période de dix ans au bénéfices des installations de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables* ».

D'après le S3REnR d'Ile-de-France :

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

Lancement d'un Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) Cœur d'Essonne Aménagement

En cohérence avec loi du 17 août 2015 sur la transition énergétique pour la croissance verte, ce sont désormais les EPCI de plus de 20 000 habitants qui sont en charge de définir et d'animer les Plans Climat Air Energie Territoriaux (PCAET). Contrairement au Plan Climat Energie Territoriaux, ils ne concernent pas seulement le champ de compétence de la collectivité mais de tout le territoire.

Cœur d'Essonne Aménagement a commencé l'élaboration de son PCAET qui devrait être adopté avant le 31 décembre 2018.

Le diagnostic des émissions de gaz à effet de serre a été réalisé en 2017.

Il a été estimé que 992 528 tCO_2e ont été émis sur le territoire de Cœur d'Essonne Agglomération en 2016. 73 % des émissions proviennent de la consommation (repas), du secteur résidentiel et du déplacement des personnes.

Le diagnostic identifie les enjeux suivants :

- Favoriser une consommation responsable (alimentation et déchets).
- Réduire la dépendance énergétique du territoire (réseaux de chaleur, rénovation et construction durable).
- Aménager durablement le territoire (mobilité).

Les objectifs stratégiques et opérationnels du PCAET seront fixés lors de l'étape de construction.

1 RTE, 2015

PLU du Plessis-Pâté

Le Projet d'Aménagement et de Développement Durable du PLU du Plessis-Pâté se compose de trois principales orientations dont l'une est « *la protection de l'environnement et des ressources, la prévention des risques, des nuisances et des pollutions* ».

Dans ce contexte, une orientation consiste à « *Faciliter le développement des énergies renouvelables dans l'habitat, solaire, thermique…* ».

Le site du projet est classé en zone AU2 au plan de zonage :

« *zone d'extension du bourg destinée à être urbanisée dans le cadre d'un projet d'aménagement d'ensemble et sous réserve de la réalisation des équipements publics nécessaires. Cette zone est actuellement inconstructible, son ouverture à l'urbanisation est subordonnée à une modification ou à une révision du PLU* ».

Aucun élément concernant les performances énergétiques des bâtiments ou l'approvisionnement en énergie n'est donné dans le règlement (absence d'article 15).

Des prescriptions relatives à l'implantation des panneaux solaires sont définies à l'article 11, aspect extérieur, du PLU :

« *Les panneaux solaires doivent être intégrés dans la composition architecturale d'ensemble de la construction dès la conception, que ce soit en façade ou sur toiture.*

Ils seront posés de préférence :

- *Sur les constructions annexes, abris de jardins, garages ou sur une structure posée à l'extérieur en retrait de la construction.*
- *Dans le cas contraire ils pourront être posés en façade en balcon (à condition qu'ils s'inscrivent dans un projet d'intégration architecturale ne soient pas posés en plaquage sur un balcon existant), ou en toiture.*

S'ils sont posés en toiture :

- *Ils devront être intégrés dans le plan des versants des toitures ou inclinés sur les toitures terrasses des constructions annexes.*
- *Ils devront être localisés de manière à assurer la meilleure intégration esthétique possible :*
  - *Soit en ligne continue le long et sur le haut du faîtage en dehors des dépassées de toiture.*
  - *Soit en ligne continue sur les dépassées de toiture le long des planches de rive (à l'exception des dépassées de toiture situées à l'égout de toiture) le long de l'égout du toit.*
  - *Soit sur chaque coté, en continu de manière horizontale.*
  - *Soit en respectant la composition générale des ouvertures de façade* ».

Ambitions

Le projet prévoit un début des travaux en 2021 pour une livraison en 2025.

Le projet devra donc s'inscrire a minima en cohérence avec les objectifs visés à l'horizon 2020 par les différents plans décrits précédemment. Pour aller plus loin, il sera cherché à tendre vers les objectifs des horizons 2030 et 2050.

Ambitions des plans et schémas à l'horizon 2020

- **Plan Climat Energie Européen** : objectif 3 x 20 (Diminution de 20 % des émissions de GES par rapport à 1990, réduction de 20 % des consommations en EP par rapport au scénario tendanciel et 20 % d'énergies renouvelables dans les consommations en EF).
- **Grenelles de l'Environnement (I et II)** : Généralisation des logements neufs à énergie passive ou positive pour baisser de 38 % la consommation énergétique des bâtiments existants.
- **Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte** : 23 % d'énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie.
- **Label E+C-** : label préfigurant la future RT2020. Pour les équipements publics, respect des niveaux carbone 1 et énergie 3.
- **SRCAE IdF** : Développement du chauffage urbain alimenté par des énergies renouvelables et de récupération, avec un objectifs d'augmentation de 40 % d'équivalents logements raccordés.

Contexte énergétique

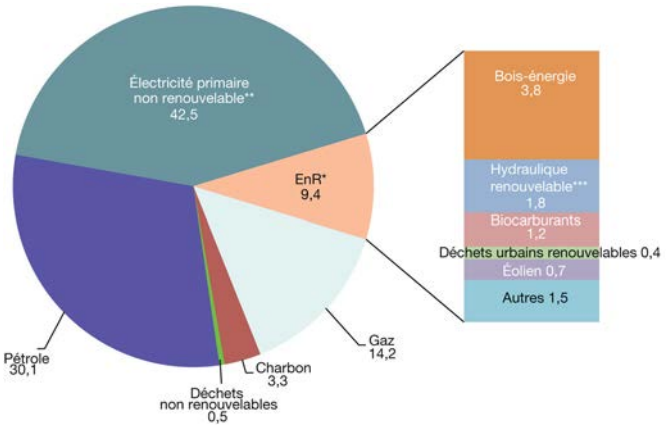
La consommation énergétique nationale[1]

Etat des lieux

Le bâtiment représente près de 45 % de la consommation énergétique nationale et plus 25 % des émissions de gaz à effet de serre.

La consommation d'énergie primaire en France métropolitaine a représenté 256,7 Mtep (méga tonnes équivalent pétrole) en 2015.

Le bouquet énergétique primaire de la France est assez stable de manière générale depuis le milieu des années 2000. Il se compose en 2015 de 42 % d'électricité primaire non renouvelable (nucléaire pour l'essentiel), de 30 % de pétrole, de 14 % de gaz, de 3 % de charbon et d'un peu moins de 10 % d'énergies renouvelables.

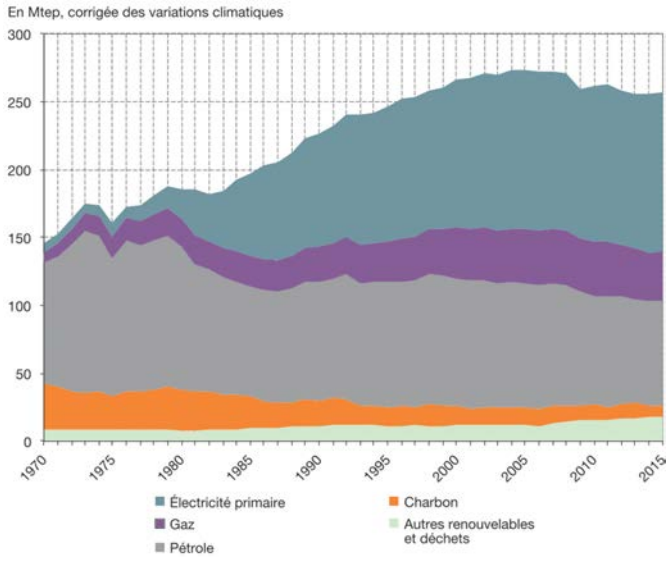


Bouquet énergétique primaire (données corrigées des variations climatiques) (source MEEM, 2016)

* EnR : énergies renouvelables.
** Production nucléaire, déduction faite du solde exportateur d'électricité, et production hydraulique issue des pompages réalisés par l'intermédiaire de stations de transfert d'énergie par pompage (Step).
*** Hydraulique hors pompage.

Tendances

On observe une hausse de la consommation primaire[2] entre 2014 et 2015. Elle est portée en premier lieu par le gaz, qui rebondit de 3 % en 2015 après une chute de 5 % en 2013. La consommation de pétrole est en faible hausse, après une augmentation plus marquée en 2014, tandis que celle de charbon continue à décliner. La consommation d'électricité primaire reste globalement stable, la progression du nucléaire, de l'éolien et du photovoltaïque étant compensée par le recul de l'hydroélectricité. La consommation d'énergies renouvelables thermiques continue à progresser, mais à un rythme moins soutenu que les années précédentes.



Evolution de la consommation par type d'énergie (source MEEM, 2016)

1 MEEM, 2016
2 Consommation corrigée des variations climatiques

Les énergies renouvelables et de récupération

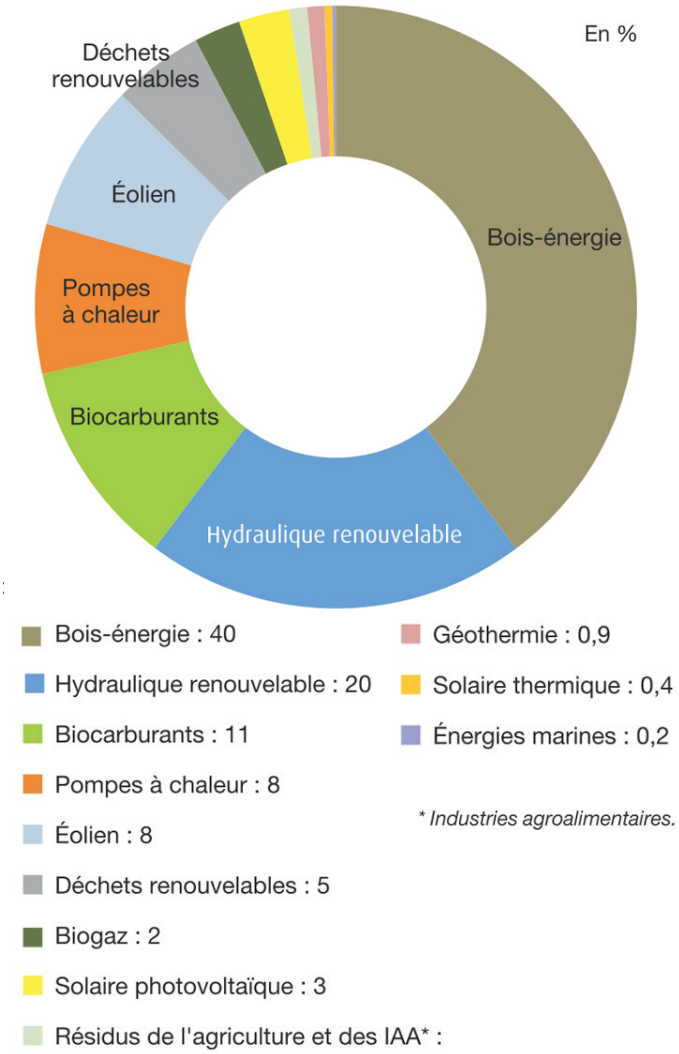
En ajoutant aux filières biomasse, déchets et chaleur primaire renouvelable les filières hydrauliques (hors pompages), marémotrice, éolienne et photovoltaïque, et en retirant la partie non renouvelable des déchets incinérés, on obtient le périmètre de l'ensemble des énergies renouvelables et de récupération.

La production primaire d'énergies renouvelables atteint 23,0 Mtep en 2015 contre 22,4 Mtep en 2014 (24,8 Mtep en 2013 et 17,2 Mtep en 2012).

Environ 60 % de la production primaire d'énergies renouvelables est issue de la biomasse : 40 % pour le bois-énergie, 11 % pour les biocarburants, 5 % pour les déchets urbains renouvelables, 2 % pour le biogaz et 1 % pour les résidus de l'agriculture et des industries agroalimentaires.

L'électricité primaire renouvelable, regroupant l'hydraulique renouvelable, les énergies marines, l'éolien et le photovoltaïque représente en 2015 le tiers de la production primaire.

La chaleur primaire d'origine aérothermique, géothermique ou solaire représente 9 % de la production primaire d'énergies renouvelables.



Production primaire d'énergies renouvelables en 2015 (source MEEM, 2016)

Filières énergétiques locales

Énergies non renouvelables

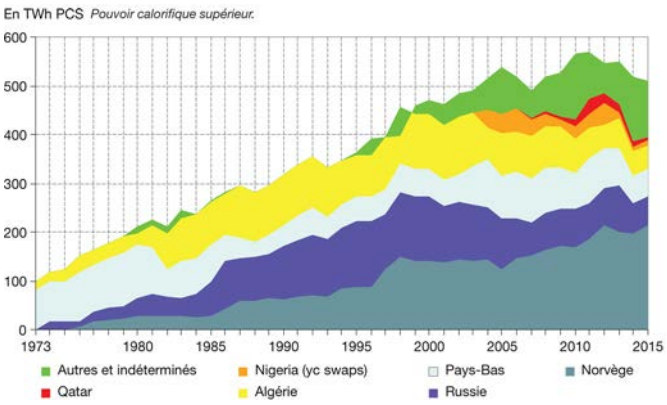
Gaz

Le gaz représente 14 % de l'énergie consommée en France tous secteurs confondus.[1]

L'origine du gaz naturel importé en France est 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.



Evolution des importations de gaz naturel en quantités selon le pays d'origine (source MEEM, 2016)

Disponibilité[2]

Le gestionnaire du réseau gaz est GRDF.

Le plan de géomètre indique la présence d'un réseau gaz acier moyenne pression sous la route des Bordes.

Suite à la reconnaissance sur site :

- Le réseau sous la route des Bordes est présent sur la totalité du linéaire de la route, pour alimentation des coffrets des maisons individuelles.
- Un réseau gaz est présent route de Corbeil, à minima entre la route des Bordes et la rue des Capettes, pour alimentation des coffrets gaz.

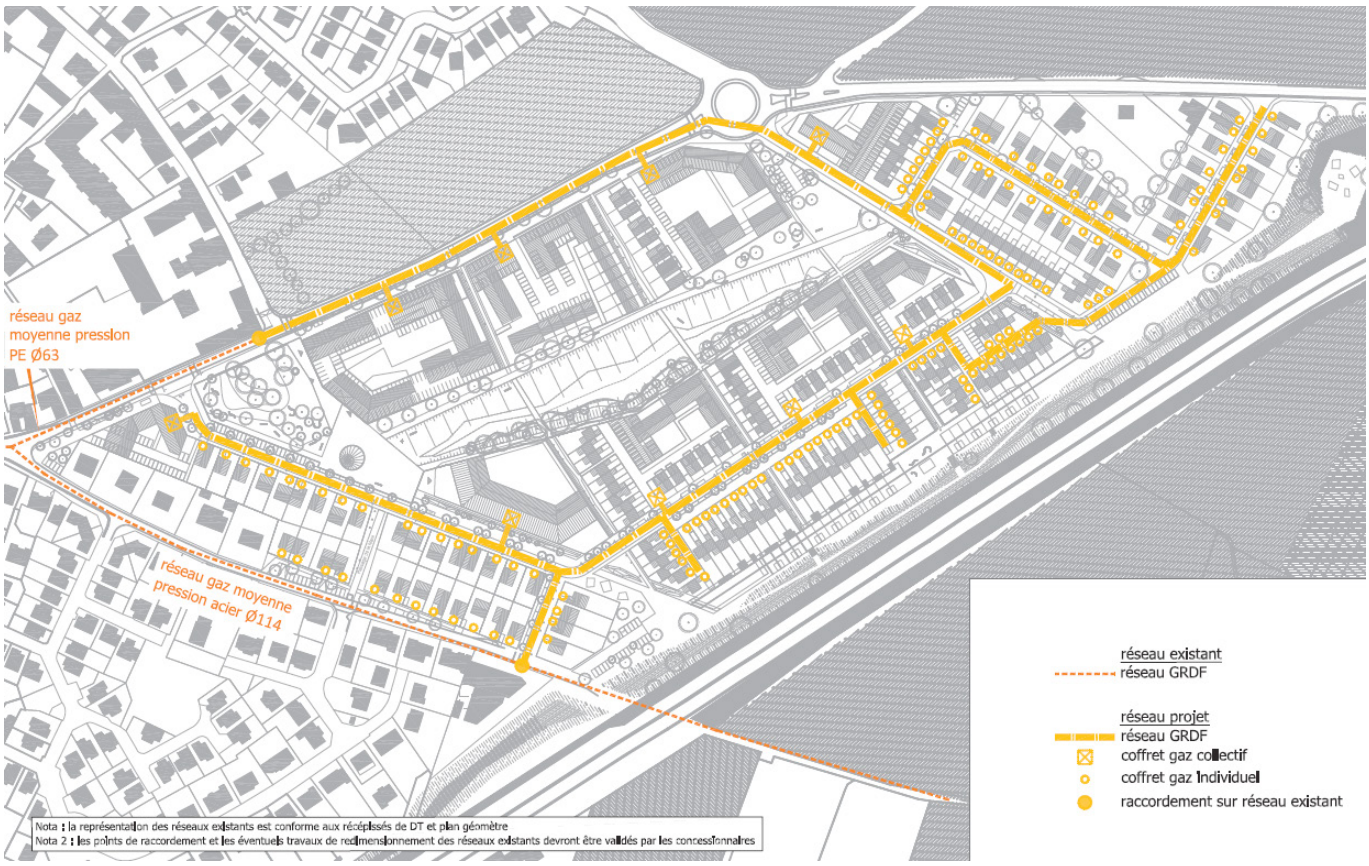
Les maisons du Hameau Charcoix ne semblent pas alimentées pas un réseau gaz.

Pertinence pour l'opération

Une desserte du futur quartier par le réseau de gaz avec une connexion au réseau existant est envisageable.

1 MEEM, 2016

2 SORGEM, février 2018



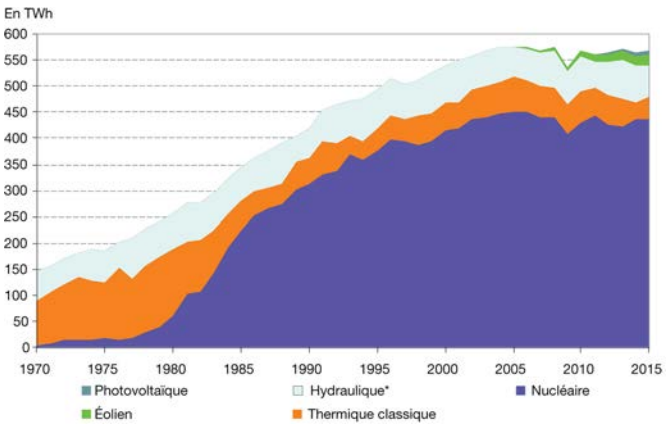
Plan directeur du réseau gaz du futur quartier des Charcoix (source TGTFP, mai 2018)

Electricité

L'électricité non renouvelable représente 42 % de l'énergie consommée en France tous secteurs confondus.

La production brute d'électricité du réseau français (Enedis) provient à 77 % de centrales nucléaires en 2015.

L'électricité d'origine hydraulique (y compris énergie marémotrice) représente 10,7 % de la production française, le thermique classique (centrales à charbon et à gaz) 7,3 %, l'éolien 3,7 % et le photovoltaïque 1,3 %.[1]



Production brute d'électricité (source MEEM, 2016)

Disponibilité[2]

Le gestionnaire du réseau électricité moyenne tension est Enedis.

Réseau d'électricité haute tension

Sur le plan de géomètre, des réseaux électriques haute tension enterrés sont indiqués :

- **Sur la route de Corbeil**, depuis le Chemin du port jusqu'au croisement avec la route des Bordes, principalement positionné sous trottoir, côté projet. La continuité de ce réseau sur la route de Corbeil, après l'intersection avec la route des Bordes n'est pas vérifiée. Le nombre et la dimension des fourreaux/câbles sont aujourd'hui inconnus.
- **Sur la route des Bordes**, entre la rue Victor Hugo et la dernière maison située au 36 route des Bordes, positionné sous trottoir côté opposé au projet.

Selon reconnaissance sur site, ce réseau HTA semble continuer en aérien après la dernière maison en direction de la RD19. Le réseau traverse la RD19 en aérien. L'origine de ce réseau semble être le poste HTA « Liserons » situé rue Victor Hugo.

Suite à la reconnaissance sur site, un réseau électrique haute tension aérien est présent au niveau du chemin du Port. La transformation en basse tension est réalisée au niveau du giratoire, pour l'alimentation par réseau aérien des maisons du Hameau Charcoix.

Réseau d'électricité basse tension

Un réseau électrique aérien basse tension est présent route de Corbeil depuis le giratoire jusqu'au Hameau Charcoix pour l'alimentation des maisons. Le plan de géomètre indique que ce réseau continuerait en enterrer en direction de la RD19, ce qui n'a pas été constaté sur site (pas de remontée aéro-souterraine constaté sur poteau support). Le nombre et la dimension des fourreaux sont aujourd'hui inconnus.

Sur le plan de géomètre, un réseau électrique basse tension enterré est présent route des Bordes entre le 36 route des Bordes et le 20 route des Bordes. Ce réseau proviendrait du poste HTA « Liserons » situé rue Victor Hugo.

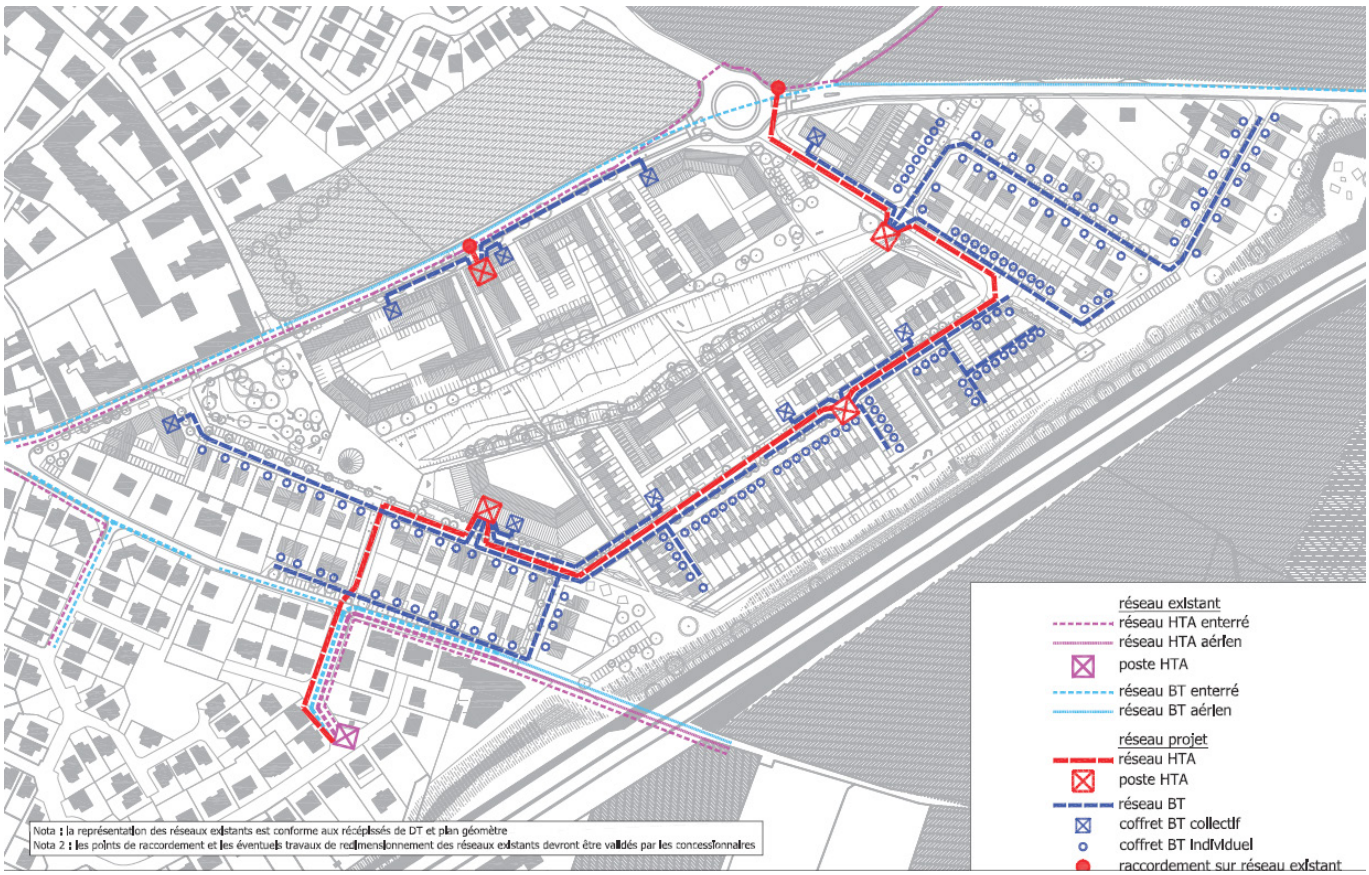
Suite à la reconnaissance sur site, il apparait que des réseaux basse tension enterrés sont présents :

- **Route de Corbeil**, à minima entre la route des Bordes et la rue des Capettes, pour alimentation des coffrets des habitations. A ce stade, nous n'avons pas d'informations complémentaires.
- **Sur la totalité de la route des Bordes**, pour alimentation des coffrets des maisons individuelles.

Pertinence pour l'opération

Le site d'étude peut être desservi par l'extension des réseaux d'électricité qui cheminent à proximité.

1 MEEM, 2016
2 SORGEM, 2018



Plan directeur du réseau d'électricité du futur quartier des Charcoix (source TGTFP, mai 2018)

Énergies renouvelables locales

Énergie solaire

Disponibilité

L'énergie solaire est mobilisable pour la production d'eau chaude sanitaire, de chauffage ou d'électricité.

Sur le site du projet, le gisement solaire annuel est compris entre 1200 et 1400 kWh/m² pour des panneaux installés en toiture (selon leur inclinaison) et est de l'ordre de 950 kWh/m² pour des panneaux verticaux (façade). Le gisement disponible est environ 4 fois plus important au mois de juillet qu'au mois de décembre.

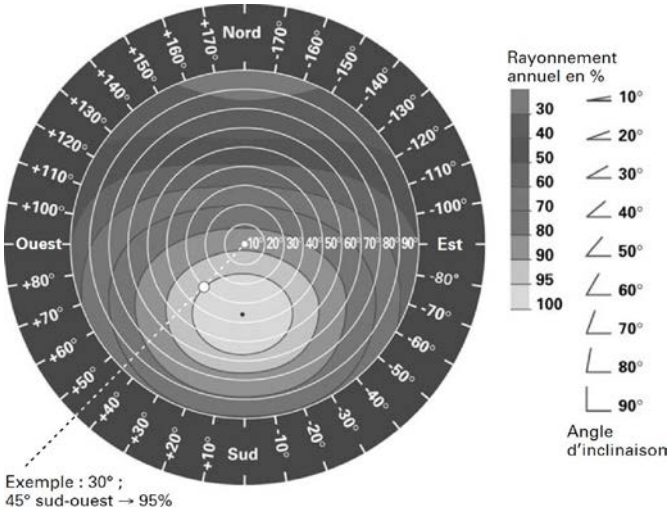
En limite de site, les masques solaires sont faibles :

- Au nord, à l'est et au sud, l'horizon est dégagé (champs).
- A l'ouest, on trouve une zone pavillonnaire avec des maisons individuelles ne créant pas d'ombrage sur le site.

L'énergie solaire est valorisable sur le site avec un horizon sud dégagé et une absence globale de masque solaire.

Pour les logements, il est généralement 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 pour le photovoltaïque).

Pour les activités demandant surtout de l'électricité, les panneaux solaires photovoltaïques restent plus adaptés.



Influence de l'orientation, de l'inclinaison et de l'ombre sur les performances (source Viessman)

Mois	Irradiation horizontale	Irradiation optimale	Irradiation verticale
Janvier	890 Wh/m².jr	1 430 Wh/m².jr	1 450 Wh/m².jr
Février	1 650Wh/m².jr	2 390 Wh/m².jr	2 200 Wh/m².jr
Mars	3 140 Wh/m².jr	4 050 Wh/m².jr	3 240 Wh/m².jr
Avril	4 630 Wh/m².jr	5 230 Wh/m².jr	3 400 Wh/m².jr
Mai	5 280 Wh/m².jr	5 320 Wh/m².jr	2 890 Wh/m².jr
Juin	5 830 Wh/m².jr	5 590 Wh/m².jr	2 780 Wh/m².jr
Juillet	5 720 Wh/m².jr	5 620 Wh/m².jr	2 890 Wh/m².jr
Août	4 860 Wh/m².jr	5 250 Wh/m².jr	3 150 Wh/m².jr
Septembre	3 730 Wh/m².jr	4 650 Wh/m².jr	3 480 Wh/m².jr
Octobre	2 150 Wh/m².jr	3 010 Wh/m².jr	2 660 Wh/m².jr
Novembre	1 100 Wh/m².jr	1 680 Wh/m².jr	1 640 Wh/m².jr
Décembre	789 Wh/m².jr	1 360 Wh/m².jr	1 440 Wh/m².jr
Année	3 320 Wh/m².jr	3 800 Wh/m².jr	2 600 Wh/m².jr

Irradiation solaire (source PVgis, 2016)

Panneaux solaires thermiques

Les panneaux solaires thermiques permettent la production d'eau chaude grâce à un liquide caloporteur qui circule dans le panneau et absorbe le rayonnement électromagnétique émis par le soleil.

L'eau chaude produite peut être utilisée pour l'eau chaude sanitaire (ECS solaire) ou pour le chauffage (plancher solaire direct).

Il existe 3 grandes catégories de panneaux solaires thermiques :

- Les panneaux plans vitrés sont les plus courants. Le fluide caloporteur circule dans un serpentin placé entre la vitre extérieure et une couche réfléchissante.
- Dans les panneaux tubes, le serpentin est placé au centre d'un tube de verre. Ils sont principalement utilisés pour rattraper un angle d'orientation ou d'inclinaison (par rapport à l'horizontale), car même s'ils ont un meilleur rendement le sur-investissement ne se justifie pas autrement.
- Les capteurs non vitrés, de type « moquette solaire » sont utilisés lorsque de grande surface de toiture sont disponibles. En effet leur rendement est nettement inférieur aux panneaux vitrés, mais ils disposent d'un très bon rapport qualité/prix.

Pertinence pour l'opération

Cette solution est pertinente pour l'ensemble des bâtiments de la programmation, qui présentent des besoins en ECS importants.

Panneaux solaires photovoltaïques

L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire au moyen d'une cellule photovoltaïque. Schématiquement, un photon de lumière incidente permet sous certaines circonstances de mettre en mouvement un électron, produisant ainsi un courant électrique.

L'électricité produite peut soit être utilisée en auto-consommation (consommation, en journée, sur le lieu de production) soit être réinjectée sur le réseau Enedis.

Le tarif de rachat 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 cette production de plus en plus rentable.

L'impact environnemental et énergétique de la fabrication des panneaux de silicium (80 % du marché) reste important. Une cellule photovoltaïque doit fonctionner entre un an et demi et cinq ans pour compenser l'énergie utilisée pour la fabriquer[1]. La durée de vie des panneaux est comprise entre 25 et 30 ans.

Pertinence pour l'opération

Les panneaux solaires photovoltaïques seront mis en place sur les toitures des bâtiments en fonction de la place disponible et des objectifs visés.

1 Connaissance des énergies, 2016

Panneaux solaires hybrides

Un panneau solaire hybride fournit à la fois de l'électricité (photovoltaïque) et de l'eau chaude (thermique).

L'inconvénient d'un panneau solaire uniquement photovoltaïque est que son rendement baisse à mesure que la température augmente (en lien avec la baisse de la tension).

Les panneaux solaires mixtes permettent d'associer un capteur solaire thermique aux cellules photovoltaïques. Le fluide qui circule dans la partie thermique capte la chaleur émise par les cellules photovoltaïques et permet de les refroidir (et donc de conserver un bon rendement).

Les avantages des panneaux mixtes sont donc :

- Augmentation du rendement des cellules photovoltaïques en abaissant leur température.
- Économie d'espace en combinant la production électrique et thermique sur une même surface.

Pertinence pour l'opération

Cette solution est adaptée à l'ensemble des bâtiments de la programmation.

Schéma d'une maison équipée de six panneaux hybrides en autoconsommation (source DualSun, 2016)

Capteurs solaires à air (Solar Wall®)

Le système correspond à un capteur solaire à air préchauffant l'air neuf à insuffler dans un bâtiment.

Il est composé d'un bardage microperforé servant de capteur solaire, raccordé à une unité de ventilation.

L'air neuf est aspiré par l'unité de ventilation dans la lame d'air créée entre le bardage et la paroi lourde située derrière celui-ci avant d'être soufflé dans le bâtiment.

Contraintes

Les conditions pour la mise en place d'un tel système sont les suivantes :

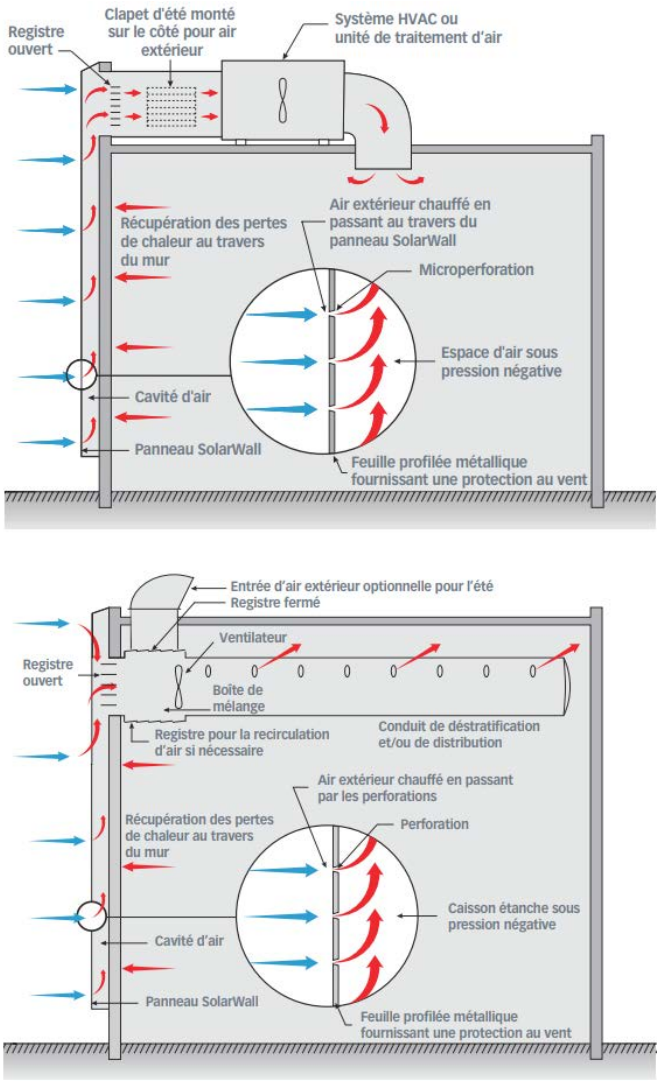
- Surface d'accueil étanche à l'eau, à l'air et parefeu de type M1. Au niveau structurel, la paroi doit être capable de supporter une charge maximale de 20 kg/m².
- Surface du système comprise entre 100 m² et 3 000 m².
- Débit surfacique traversant le système compris entre 18 m³/h/m² et 250 m³/h/m².
- Soufflage de l'air neuf collectif.
- Site ne comportant pas de masques portant ombrage sur le capteur.
- Système de ventilation ne comportant pas d'échangeur de récupération de chaleur sur l'air extrait.
- Piquage de sortie de l'air dimensionné de manière à limiter la vitesse d'air à 5 m/s au maximum. Sa longueur doit être égale à deux fois sa hauteur.

Pertinence pour l'opération

Le système est pertinent pour des locaux possédant une surface à chauffer importante et demandant des débits de ventilation élevés.

Sa mise en place demande l'occultation de la façade la plus ensoleillée et limite donc les apports solaires pour l'éclairage naturel.

Cette solution n'est pas adaptée aux bâtiments du projet.



Schématisation du système Solar Wall (source Solar Wall, 2010)

Exemple de Solar Wall mis en place en Allemagne (source Solar Wall, 2017)

Route solaire pour l'espace public

Une route solaire est composée de cellules photovoltaïques insérées dans un « millefeuille » de couches successives permettant d'assurer la robustesse et l'adhérence pneu/chaussée. L'épaisseur de l'ensemble est d'environ 5 mm.

Un kilomètre de route permet d'alimenter l'éclairage public d'une ville de 5 000 habitants (production de 767 kWh/jour) et 20 m² de dalle solaire permettent d'alimenter en électricité un foyer (hors chauffage)[1].

Pertinence pour l'opération

Le projet intègre la création de 14 500 m² de voirie et la requalification partielle de la RD117. Ces aménagements pourraient être l'occasion de mettre en œuvre une route solaire alimentant l'éclairage public du quartier[2].

Route solaire construite en Normandie (source Le Monde, 2016)

En décembre 2016, une route solaire a été mise en œuvre sur un tronçon d'1km de route départementale desservant la commune de Tourouvre-au-Perche (3 400 habitants) : 2 800 m² de panneaux solaires ont été installés (soit 2 500 dalles). La route a produit 150 MWh d'électricité sur l'ensemble de l'année 2017[3].

1 ADEME/CEREN, 2014, foyer français moyen pour 1 000 heures d'ensoleillement/an).

2 Ce système est actuellement au stade d'expérimentation.

3 Le Moniteur, décembre 2017

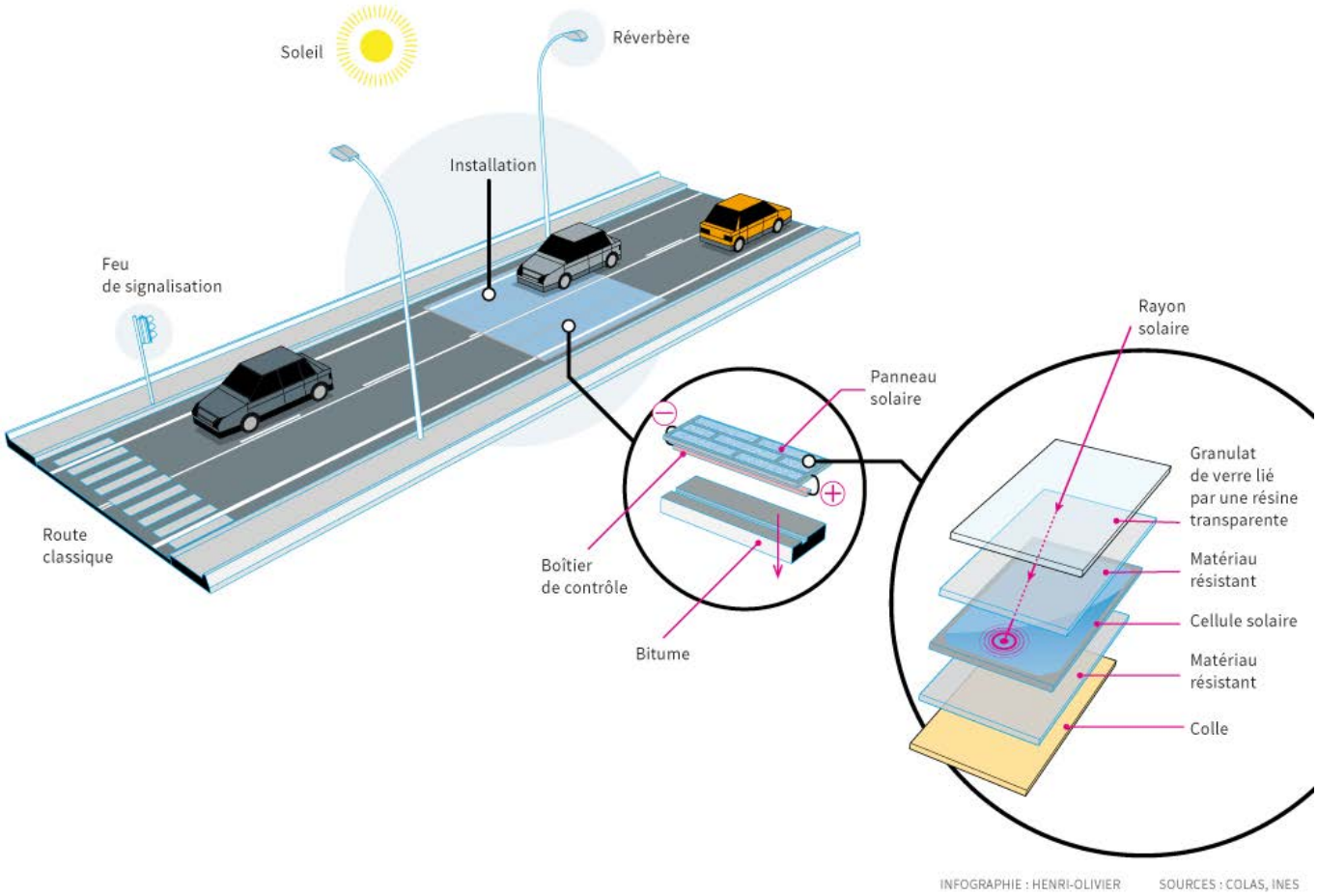


Schéma d'une route solaire (source Le Monde, 2015)

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.

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.

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.

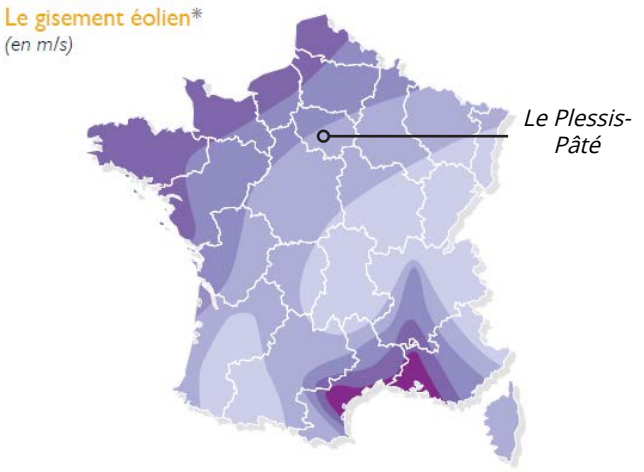
Disponibilité

Le site du projet se situe en zone 2 d'après la carte du gisement éolien de l'ADEME, ce qui correspond à un gisement éolien faible.

D'après la cartographie de la DRIEE, le site ne se trouve pas en zone favorable au développement de l'éolien.

Pertinence pour l'opération

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



	Bocage dense, bois, banlieue	Rase campagne, obstacles épars	Prairies plates, quelques buissons	Lacs, mer	Crêtes, collines**
ZONE 1	<3,5	<3,5	<5,0	<5,5	<7,0
ZONE 2	3,5 - 4,5	4,5 - 5,5	5,0 - 6,0	5,5 - 7,0	7,0 - 8,5
ZONE 3	4,5 - 5,0	5,5 - 6,5	6,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,5 - 10,0
ZONE 4	5,0 - 6,0	6,5 - 7,5	7,0 - 8,5	8,0 - 9,0	10,0 - 11,5
ZONE 5	>6,0	>7,5	>8,5	>9,0	>11,5

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

Gisement éolien à l'échelle nationale (source ADEME, 2015)

Petit éolien

Le petit éolien désigne les éoliennes présentant une puissance inférieure ou égale à 36 kW et dont le mât n'excède généralement pas une vingtaine de mètres[1].

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'intégration paysagère de ces solutions et les nuisances sonores sont également des contraintes à prendre en compte.

La fiche technique de l'ADEME sur le petit éolien (2015), souligne que :

« *Pour éviter une demande de permis de construire beaucoup d'installations font donc moins de 12 m de hauteur, ce qui est inefficace du point de vue de la production électrique et donc de la viabilité économique* ».

Certaines petites éoliennes sont utilisées pour le pompage de l'eau.

Le mouvement rotatif des pales de l'éolienne est transformé en mouvement vertical de la pompe dans le puits, l'activation d'un piston permet l'aspiration de l'eau.

Le pompage de l'eau est assuré à partir d'une vitesse de vent comprise entre 2 à 3 m/s[2]. Les performances dépendent de la profondeur de l'eau pompée et de la force du vent dans le secteur considéré.

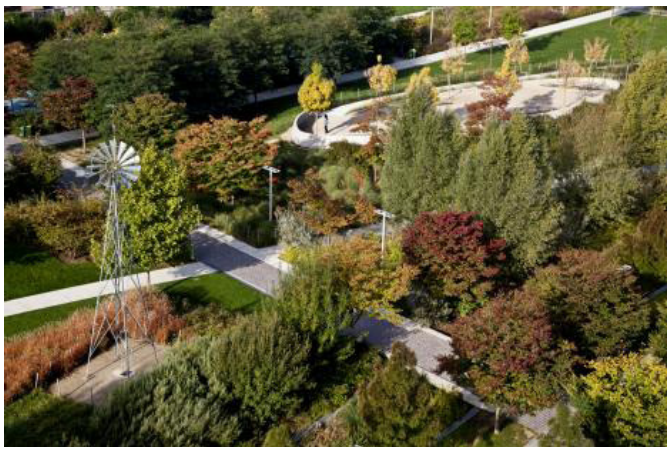
L'eau pompée peut avoir les usages suivants :

- Essentiellement en agriculture pour abreuver le bétail ou irriguer.
- Pour arroser les jardins.
- Pour assécher des zones humides (marais).

Pertinence pour l'opération

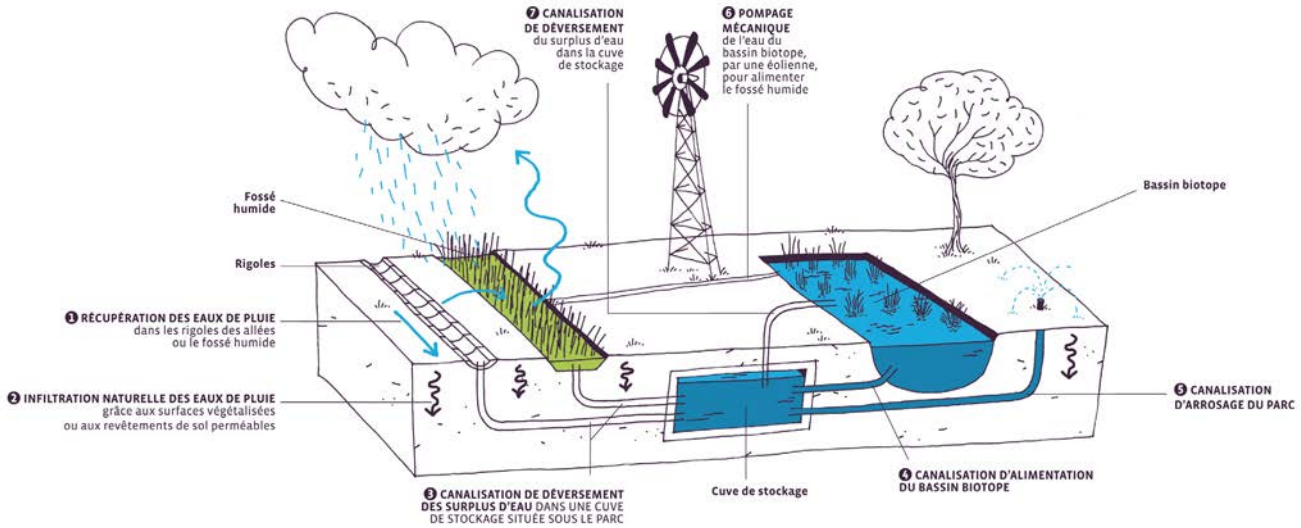
Actuellement, le petit éolien ne possède pas de pertinence économique.

Toutefois, la filière peut constituer un appoint possible dans un but pédagogique au niveau des espaces extérieurs du futur quartier ou afin d'assurer la production d'eau pour l'arrosage des espaces verts.



Parc Clichy-Batignolles Martin Luther King avec éolienne de pompage (source KERIM SALOM ARCHITECTURE, 2018)

1 ADEME, 2015
2 ADEME. 2002



Intégration de éolienne de pompage dans le parc Clichy-Batignolles Martin Luther King (source KERIM SALOM ARCHITECTURE, 2018)

Géothermie

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).

La géothermie est une source d'énergie permanente dont la production ne dépend pas des conditions naturelles ou climatiques contingentes. Elle ne nécessite pas de stockage.

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

Réglementation

La Géothermie de Minime Importance (GMI) est définie et réglementée par décret n°2015-15 du 8 janvier 2015.

La GMI recouvre les ouvrages dont la profondeur est inférieure à 200 mètres et la puissance est inférieure à 500 kW, qui peuvent être des « échangeurs ouverts » (géothermie sur aquifère – à noter que la géothermie sans réinjection sort du régime de minime importance) ou des « échangeurs fermés » (sondes).

D'après la carte des zones en matière de Géothermie de Minime Importance (GMI) établie relativement à l'arrêté du 25 juin 2015, le site se trouve en zone éligible à la GMI. Cela signifie que les activités géothermiques de minime importance ne sont pas réputées présenter de dangers et inconvénients graves. L'installation d'un projet nécessite uniquement une déclaration.

En cas de non éligibilité, le projet est soumis à autorisation, ce qui alourdit et allonge la procédure.

Géothermie « sèche »

La géothermie « sèche » consiste à prélever de la chaleur au sol par le biais d'un fluide adapté qui circule dans l'ouvrage enterré et vient alimenter une pompe à chaleur (PAC).

Le dimensionnement du système géothermique doit être adapté à la capacité de régénération du sol, des cas d'affaiblissement rapide de la température du sous-sol ayant été identifiés par l'ADEME. Les systèmes réversibles évitent cet affaiblissement.

PAC sur pieux géothermiques

Dans ce cas, la PAC 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.

Disponibilité

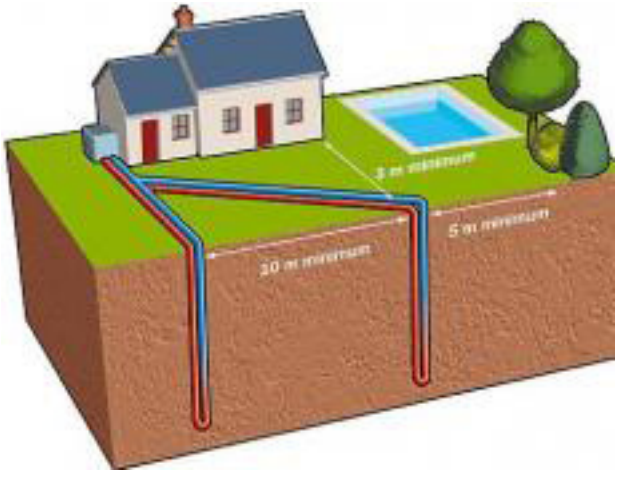
La faisabilité de cette technique dépend de la nature du sol au droit des bâtiments mais également des charges reprises par les pieux.

PAC sur sondes géothermiques

Dans ce système, une pompe à chaleur (PAC) est couplée à un champ de sondes intégré dans le sol, servant de source d'énergie. Le système possède un excellent coefficient de performance (COP de l'ordre de 4) grâce à la température constante de la terre sur toute l'année de fonctionnement.

Disponibilité

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



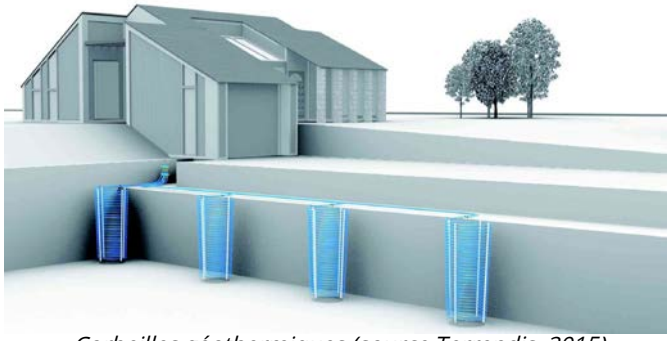
Géothermie sur sondes verticales (source BRGM)

PAC sur corbeilles géothermiques

Les corbeilles géothermiques sont installées à quelques mètres de profondeur (4 au maximum) et doivent être reliées entre elles avant connexion à la PAC.

Disponibilité

Ce système nécessite une superficie de terrain importante.



Corbeilles géothermiques (source Terrendis, 2015)

Pertinence pour l'opération

Les solutions de géothermie « sèche » peuvent être mises en œuvre à l'échelle d'un bâtiment ou d'un groupe de bâtiments et sont adaptées à l'échelle du site.

Géothermie sur nappe

La géothermie sur nappe consiste à prélever de l'eau dans une nappe du sous-sol, utilisée comme source de calories par une PAC eau / eau. Les coefficients de performance (COP) de ces systèmes sont élevés (supérieurs à 4 pour le chauffage, de l'ordre de 3 pour la production d'eau chaude sanitaire).

La réinjection de l'eau puisée est indispensable pour protéger l'environnement et garantir la pérennité de la ressource. Deux puits sont donc nécessaires, 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. Cette distance doit être déterminée par un spécialiste (hydrogéologue) en fonction du contexte local : caractéristique de la nappe, perméabilité, sens d'écoulement…

Géothermie sur nappe profonde

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

Disponibilité

Les nappes mobilisables sont celles de l'Albien (vers 600 m de profondeur - 25°C à 30°C) et du Dogger (1 600 à 1 800 m de profondeur - 55° à 80°C).

En effet, d'après la cartographie de l'exploitabilité du Dogger en région Ile-de-France (BRGM, 2012), le site est localisé en zone favorable (zone verte).

D'après la carte des masses d'eau souterraines (BRGM, 2013), la nappe de l'Albien-Néocomien captif est identifié dans le sous-sol du site.

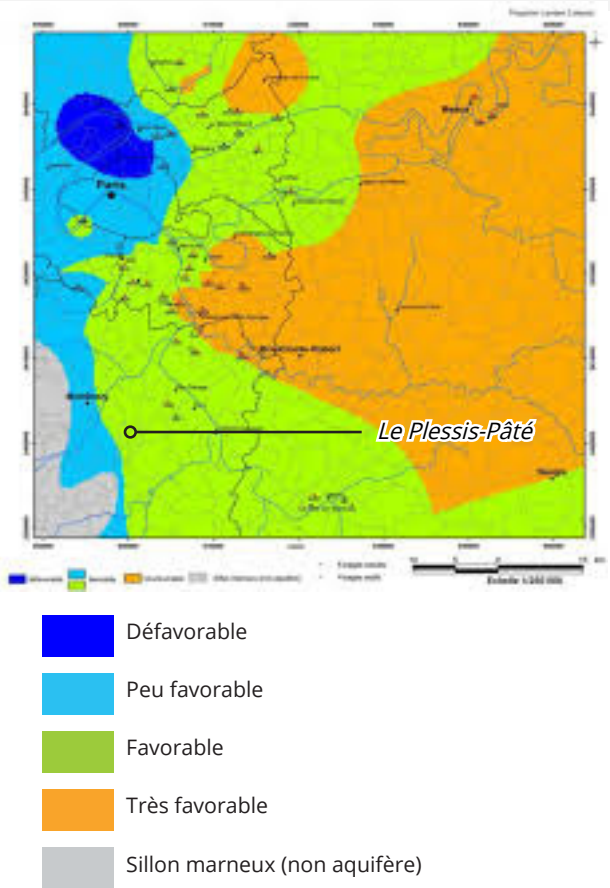
Pertinence pour l'opération

L'exploitation de ce type de géothermie nécessite une densité thermique importante voire très importante.

Pour la nappe du Dogger par exemple, l'exploitation est estimée 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.

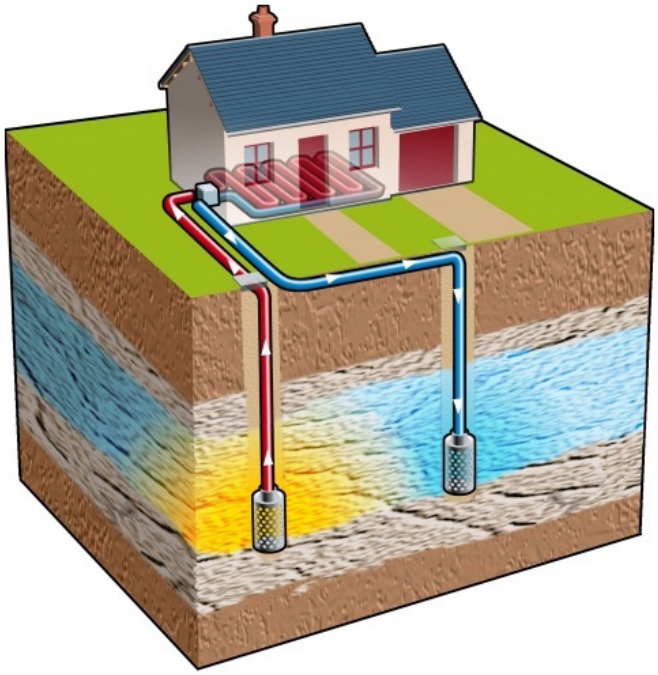
L'équivalent logement n'est pas un concept normalisé, mais il est aligné sur la consommation moyenne du parc immobilier français (y compris logements existants) qui est loin des performances énergétiques recherchées pour la construction de nouveaux logements ou bâtiments tertiaires, ou de rénovation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



Exploitabilité du Dogger en région Ile-de-France (BRGM, 2012)

Géothermie sur nappe superficielle



Géothermie très basse énergie (source BRGM)

L'utilisation d'une nappe de faible profondeur (moins de 200 m) permet l'utilisation d'une eau à température constante de l'ordre de 11-12°C .

L'incidence environnementale d'une géothermie sur nappe superficielle est moindre que sur nappe profonde car les écarts de température entre l'eau prélevée et l'eau rejetée sont faibles.

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.

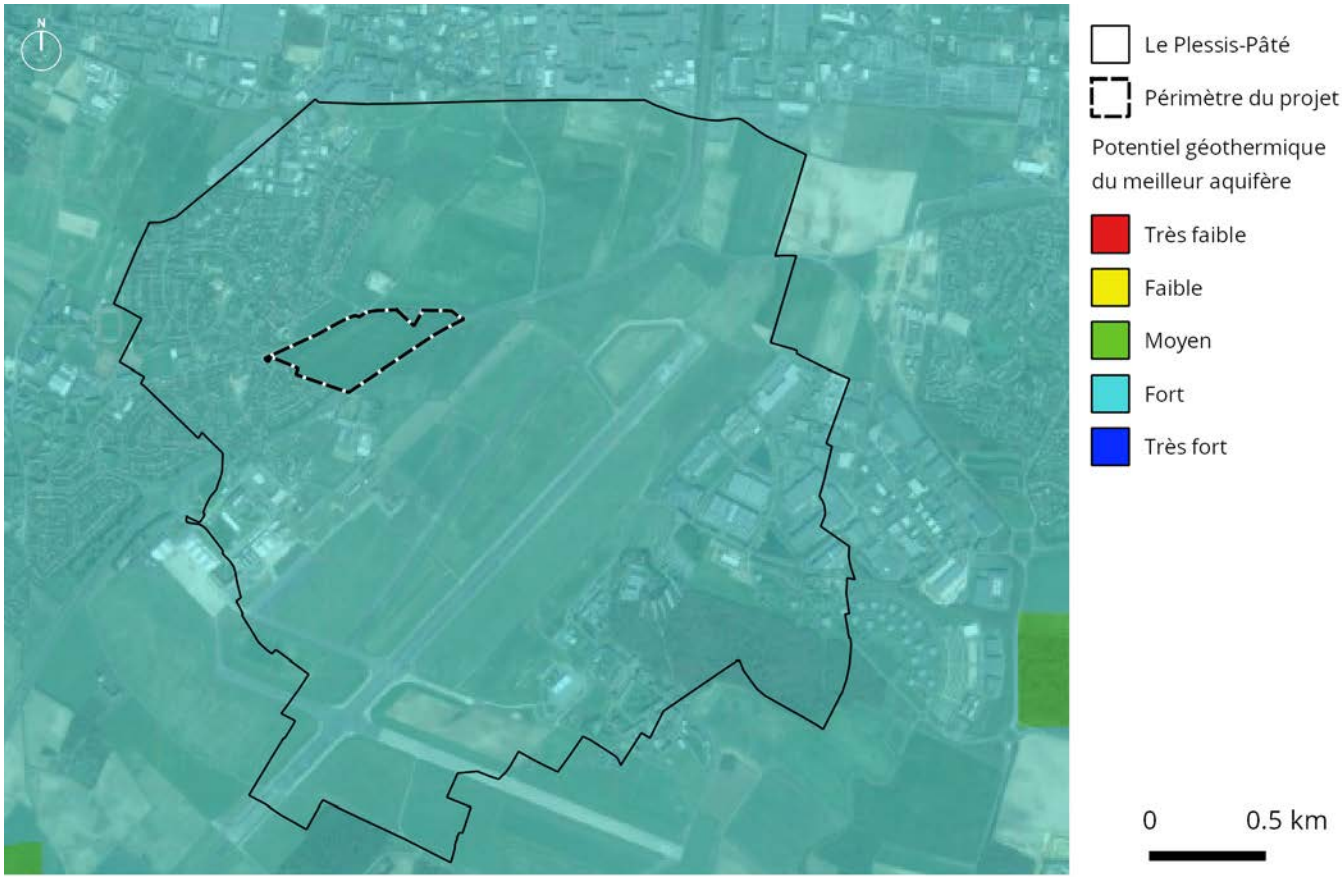
Disponibilité

D'après le BRGM, l'aquifère possédant le meilleur potentiel au niveau du site est la nappe de l'Eocène Moyen et Inférieur. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- Potentiel fort.
- Profondeur 31 - 40 m.
- Débit 50 - 100 m^3/h.
- Épaisseur 50 - 75 m.
- Transmissivité 0,001 à 0,01 m^2/s.
- Moyennement minéralisée.

Pertinence pour l'opération

Une solution de géothermie sur nappe superficielle peut être mise en œuvre à l'échelle d'un bâtiment ou d'un groupe de bâtiments et est adaptée à l'échelle du site.



Potentiel géothermique du meilleur aquifère (source BRGM, 2016)

Bois énergie

Il s'agit de l'utilisation du bois en tant que combustible. Sous réserve d'exploitation durable des forêts, le bois est un matériau 100 % renouvelable.

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.

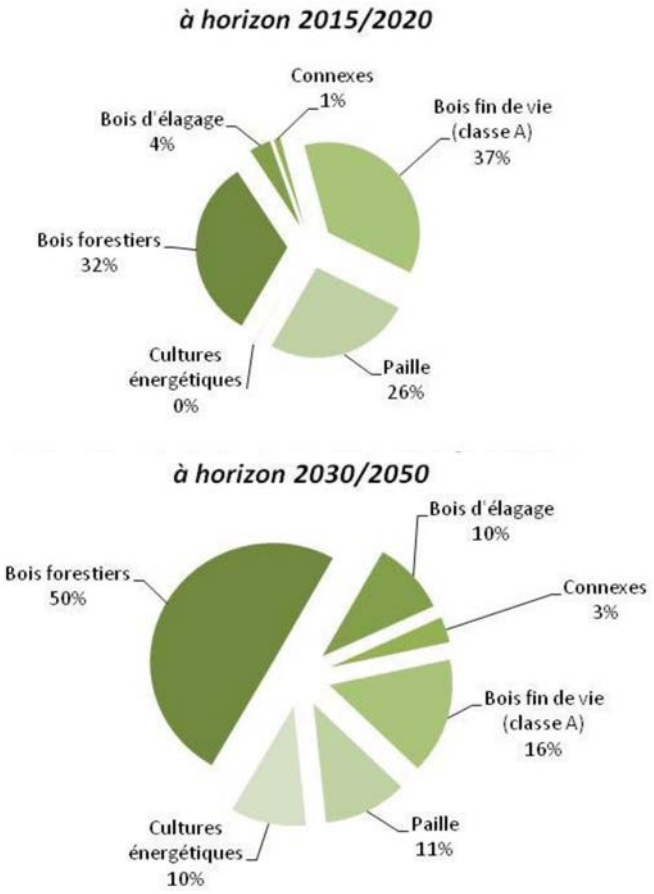
Le bois énergie est principalement disponible sous quatre formes : les bûches, les granulés de bois ou pellets, les briques de bois reconstituées et les plaquettes forestières.

Ressources

D'après l'étude « *Disponibilités forestières pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035* »[1], les capacités de la forêt française permettent une augmentation importante de la récolte à l'horizon 2035, jusqu'à 20 millions de m^3 supplémentaires par an, tout en restant dans le cadre d'une gestion durable et réaliste des forêts.

La consommation du bois énergie représente environ la moitié de l'ensemble du bois récolté.

En Île-de-France, la ressource en biomasse énergie s'élève à l'horizon 2015-2020 à 266 ktep/an (kilo tonne équivalent pétrole), constituée majoritairement de bois forestiers, de bois de fin de vie et de paille[2]. À titre de comparaison, en 2013, 29 ktep de biomasse ont été consommées.



Ressources biomasse disponibles en IDF (source ADEME, Région IDF, 2012)

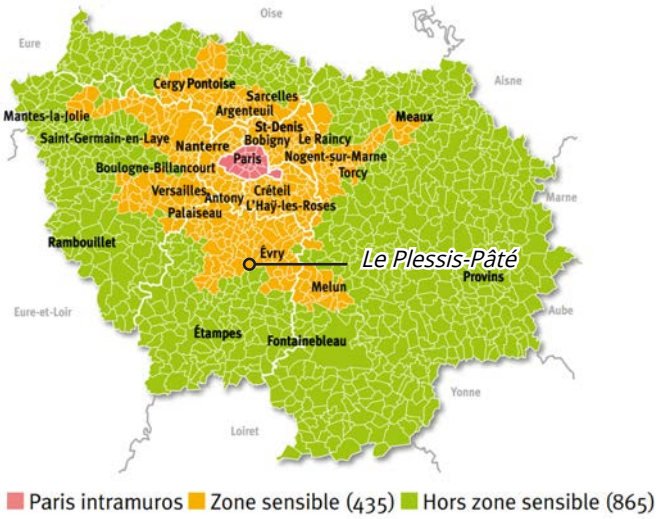
1 ADEME, IGN et FCBA, 2015
2 SRCAE

Contraintes

Les principales contraintes liées au bois énergie sont :

- Surface et infrastructure nécessaires pour le stockage du combustible (à dimensionner selon la taille de l'installation, collective ou individuelle, et le type de combustible).
- Livraison du combustible régulière (sacs, palettes, vrac…) par route.
- Filtration et dépoussiérage des fumées conformément à la réglementation et aux politiques locales (PPA IDF notamment).
- Suivi en continu des émissions pour les installations importantes.
- Respect des bonnes pratiques afin de limiter les émissions de polluants (s'équiper d'un appareil performant, utiliser du bois de qualité, entretenir régulièrement son appareil et ses conduits).

Pour les générations de chaleur individuelles à partir de biomasse, une réglementation sur les émissions de polluants est à respecter en Ile-de-France (révision de janvier 2015 de l'arrêté de mars 2013 relatif à la mise en œuvre du Plan de Protection de l'Atmosphère pour l'Île-de-France).



Zonage pour la réglementation applicable à la combustion individuelle du bois en IDF (source DRIEE IDF, 2015)

Pertinence pour l'opération

Le bois énergie est mobilisable pour le projet, à une échelle collective ou individuelle.

		Paris	Zone sensible (hors paris)	Hors zone sensible
Foyers ouverts	Chauffage principal	**Interdit**	**Interdit**	**Interdit**
	Chauffage d'appoint ou agrément	**Autorisé**	**Autorisé**	**Autorisé**
Equipements existants à foyer fermé	Chauffage principal	**Autorisé** si poussières ≤ 16 mg/m³ à 13 % d'O_2	**Autorisé**	**Autorisé**
	Chauffage d'appoint ou agrément	**Autorisé** si rendement ≥ 65 %	**Autorisé**	**Autorisé**
Equipements neufs a foyer fermé	Chauffage principal	**Autorisé** si poussières ≤ 16 mg/m³ à 13 % d'O_2	**Autorisé** si Flamme Verte 5* ou équivalent	**Autorisé**
	Chauffage d'appoint ou agrément	**Autorisé** si Flamme Verte 5* ou équivalent	**Autorisé** si Flamme Verte 5* ou équivalent	**Autorisé**

Réglementation applicable à la combustion individuelle du bois en IDF (source DRIEE IDF, 2015)

Énergies de récupération

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.

Récupération de chaleur sur les eaux usées

Eaux grises

Système avec PAC

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

Les eaux usées grises (eaux issues des douches) 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 de l'eau chaude sanitaire.

Les eaux usées grises 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. Il peut fournir 100 % des besoins en eau chaude d'un bâtiment.

Système sans PAC

Il existe des systèmes plus simples mais moins performants de récupération de chaleur directe.

Le principe est l'insertion dans la continuité du tuyau d'évacuation des eaux grises, du système qui transfère les calories des eaux grises à l'eau froide en arrivée du chauffe-eau ou du mitigeur de la douche.

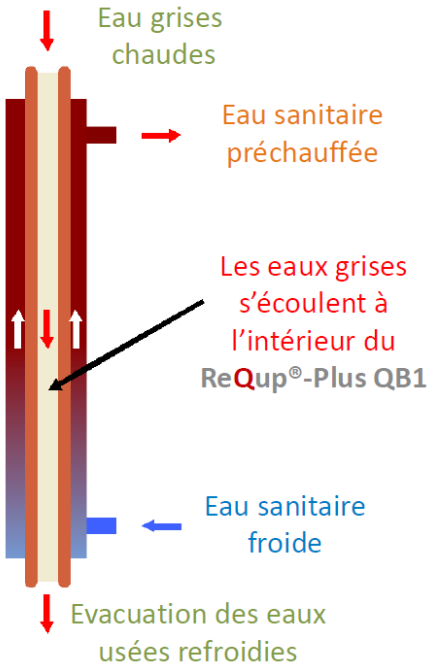


Schéma de fonctionnement des systèmes de récupération statique de chaleur sur eaux grises (source Gaïa Green, 2017)

Disponibilité

Deux modes de mise en œuvre sont possibles :

- Les systèmes composés de plusieurs tubes, assemblés en parallèle. Ces modules nécessitent un local dédié et sont adaptés aux bâtiments collectifs. La récupération directe est possible uniquement s'il y a simultanément consommation et évacuation d'eau chaude.
- Les systèmes composés d'un unique tube mis en place sur les gaines d'évacuation des eaux grises. Ils ont l'avantage de ne pas demander de surface de locaux techniques et sont adaptés à l'individuel comme au collectif.

Le système peut mener à une économie de l'ordre de 30 à 60 % de la production d'eau chaude sanitaire.

Pertinence pour l'opération

Les systèmes de récupération de chaleur sur les eaux grises sont mobilisables à l'échelle des bâtiments du projet.

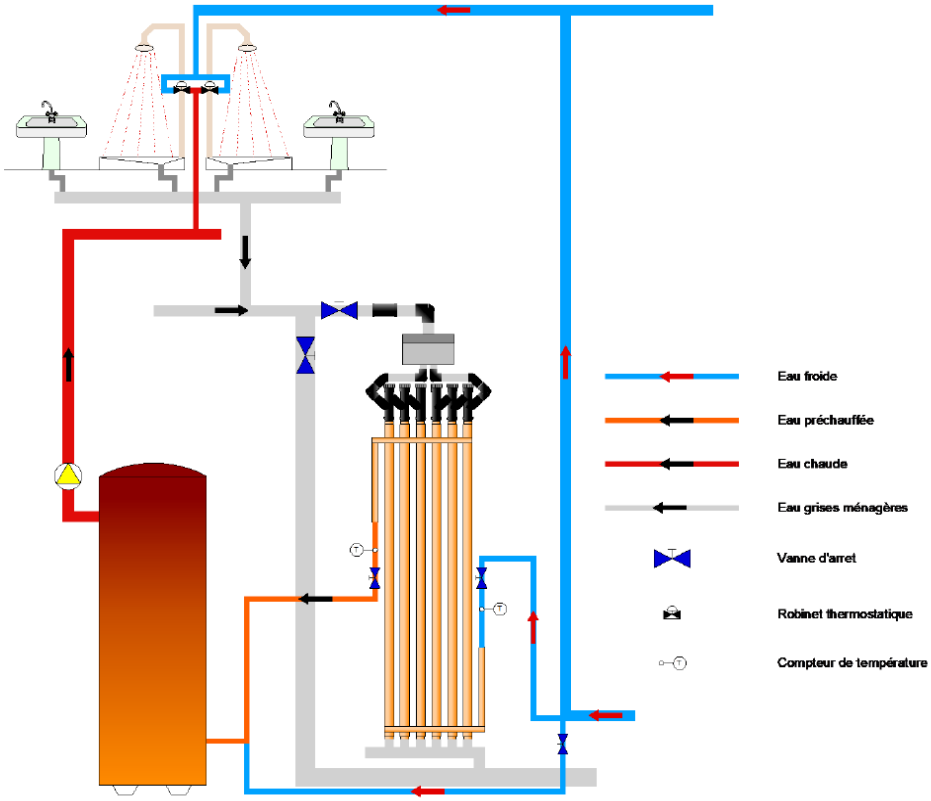


Fig. 3
Schéma de branchement

Schémas de branchements d'un système composé de plusieurs tubes (source Gaïa Green, 2017)

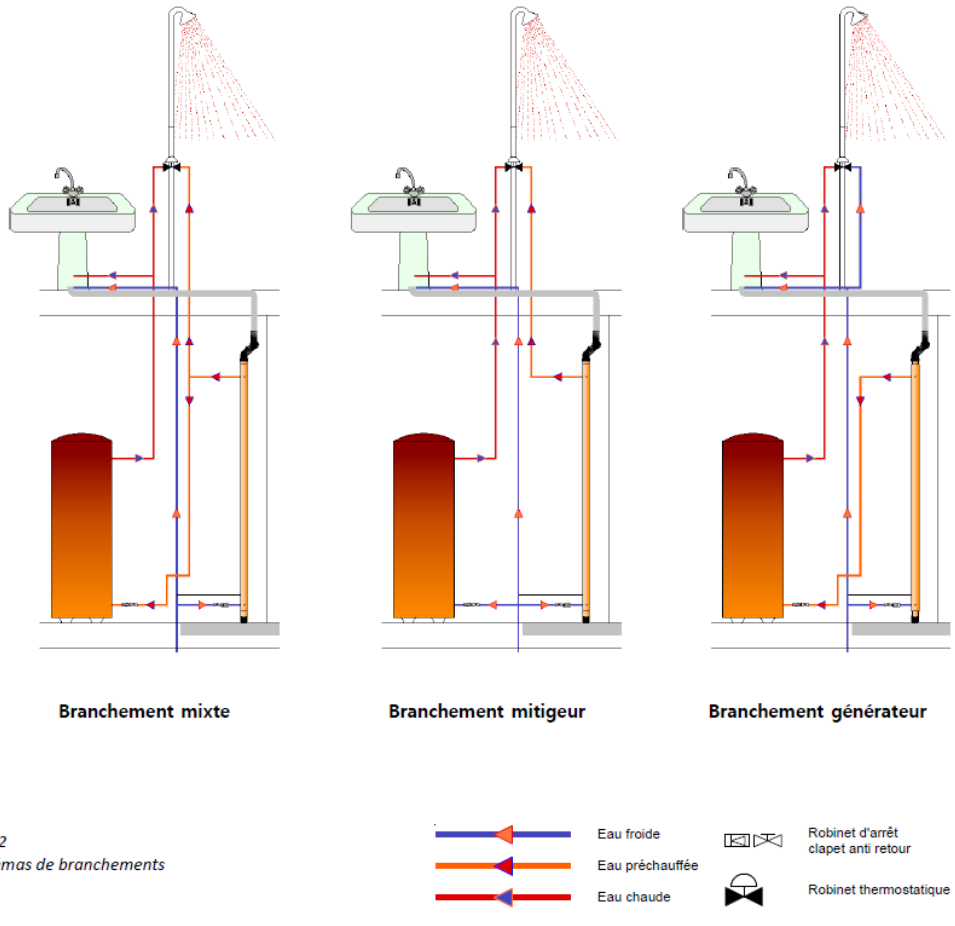


Fig. 2
Schémas de branchements

Schémas de branchements d'un système composé d'un unique tube (source Gaïa Green, 2017)

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. 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.

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.

Pertinence pour l'opération

La mise en œuvre d'un système de récupération de chaleur sur les réseaux d'assainissement est adaptée aux quartiers denses.

A titre d'exemple, l'écoquartier centre Sainte-Geneviève à Nanterre est desservi par un réseau de chaleur alimenté par l'énergie récupérée sur les eaux usées et par la géothermie superficielle. Il présente une densité de logements de 130 logements/ha et une densité des besoins énergétiques de 900 MWh/ha[1].

Le projet prévoit une densité non homogène sur la surface foncière consacrée au logement. Des densités faibles sont envisagées au niveau des logements individuels, permettant de s'inscrire en continuité du tissu urbain existant. D'autre part, la densité des besoins énergétiques devrait être de l'ordre de 90 MWh/ha.

La solution ne semble donc pas pertinente dans le cas présent.

1 CEREMA, 2012

Valorisation énergétique des déchets

Unité de valorisation énergétique de Vert-le-Grand

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.

Disponibilité

L'Ecosite de Vert-Le-Grand, situé à environ 7 km au sud des Charcoix, accueille l'ensemble des activités liées à la gestion des déchets : de la collecte des déchets jusqu'à leur valorisation sous forme de nouvelles matières premières, d'énergie ou encore sous forme organique (compost, bois...)[2].

Le Centre Intégré de Traitement des Déchets (CIDT) de Vert-le-Grand est exploité par la SEMARIV[3]. La collectivité principale bénéficiaire est le SIREDOM[4]. Il a une capacité de traitement de 330 000 t/an de déchets.

Son unité de valorisation énergétique par incinération des déchets produit environ 100 GWh/an d'énergie électrique (cette quantité permet d'alimenter l'équivalent d'une ville de 40 000 habitants). Sur ces 100 GWh d'électricité, 20 GWh sont autoconsommés par le CITD. Le reste est revendu (réinjection sur le réseau).

Pertinence pour l'opération

La distance avec l'incinérateur apparaît a priori trop élevée pour que le raccordement du site du projet au CIDT soit rentable.

2 France Incinération, 2016

3 Filiale du groupe SEMARDEL (Société d'Economie Mixte d'Action pour la Revalorisation des Déchets et des Energies Locales) qui gère et exploite le centre intégré de traitement des déchets de Vert-le-Grand

4 Syndicat Intercommunal pour la Revalorisation et l'Elimination des Déchets et des Ordures Ménagères

Combustibles Solides de Récupération

Disponibilité

L'Ecosite de Vert-le-Grand produit un combustible composé de bois et de Combustibles Solides de Récupération (CSR) constitués en grande partie de papiers, cartons, emballages, bois et plastiques broyés, stérilisés et séchés. Un combustible aujourd'hui produit en France mais qui n'a pour l'instant que peu de débouché. Ce combustible peut être utilisé pour alimenter des chaufferies.

Raccordement du réseau de chaleur urbain

Grand Paris Sud Énergie Positive, délégataire de service public du réseau de chauffage urbain de la Communauté d'Agglomération Grand Paris Sud Seine Essonne Sénart vise à l'horizon 2019 une alimentation de son réseau à partir d'énergies renouvelables, principalement la chaleur de récupération issue du CITD de Vert-le-Grand (55% de la chaleur produite) (valorisation de la chaleur fatale). A l'horizon 2022, la géothermie profonde pourra venir accroître la part d'énergie renouvelable dans le mix énergétique du réseau pour atteindre une couverture de 77 %. Les travaux de raccordement du réseau de chaleur d'Évry-Courcouronnes au centre intégré de traitement des déchets (CITD) de Vert-le- Grand sont en cours de réalisation (7 km d'interconnexion). Dans ce contexte un projet de chaufferie fonctionnant avec du combustible solide de récupération (CSR) est prévu au niveau de l'écosite de Vert-le-Grand et doit contribuer à alimenter le réseau de chaleur urbain.

La valorisation des CSR peut donc se faire par :

- Solution 1 : Création d'une chaudière collective à l'échelle du quartier des Charcoix. Elle serait alimentée par les CSR produits au niveau de l'Ecosite de Vert-le-Grand.
- Solution 2 : Raccordement à l'écosite ou au de réseau de chaleur urbain de Grand Paris Sud Energie Positive alimenté en partie par le CITD.

Pertinence pour l'opération de la solution 1

Le développement d'une chaudière collective à l'échelle du quartier des Charcoix demande la création d'un réseau de chaleur desservant l'ensemble des bâtiments.

La pertinence de cette solution dépend donc de la pertinence du développement d'un réseau de chaleur à l'échelle du quartier.

Cette question est étudiée dans la partie « Réseaux de chaleur urbain » page 46.

La pertinence de cette solution dépend également de la disponibilité effective de CSR. La création de l'unité d'incinération de l'Ecosite de Vert-le-Grand sera notamment à l'origine de consommation de CSR, pouvant réduire la quantité de ressource disponible.

Pertinence pour l'opération de la solution 2

La raccordement du quartier des Charcoix à l'unité d'incinération de Vert-le-Grand ou au réseau de chaleur du Grand Paris alimenté par cette unité demande la création d'un réseau d'une longueur comprise entre 5 et 10 km.

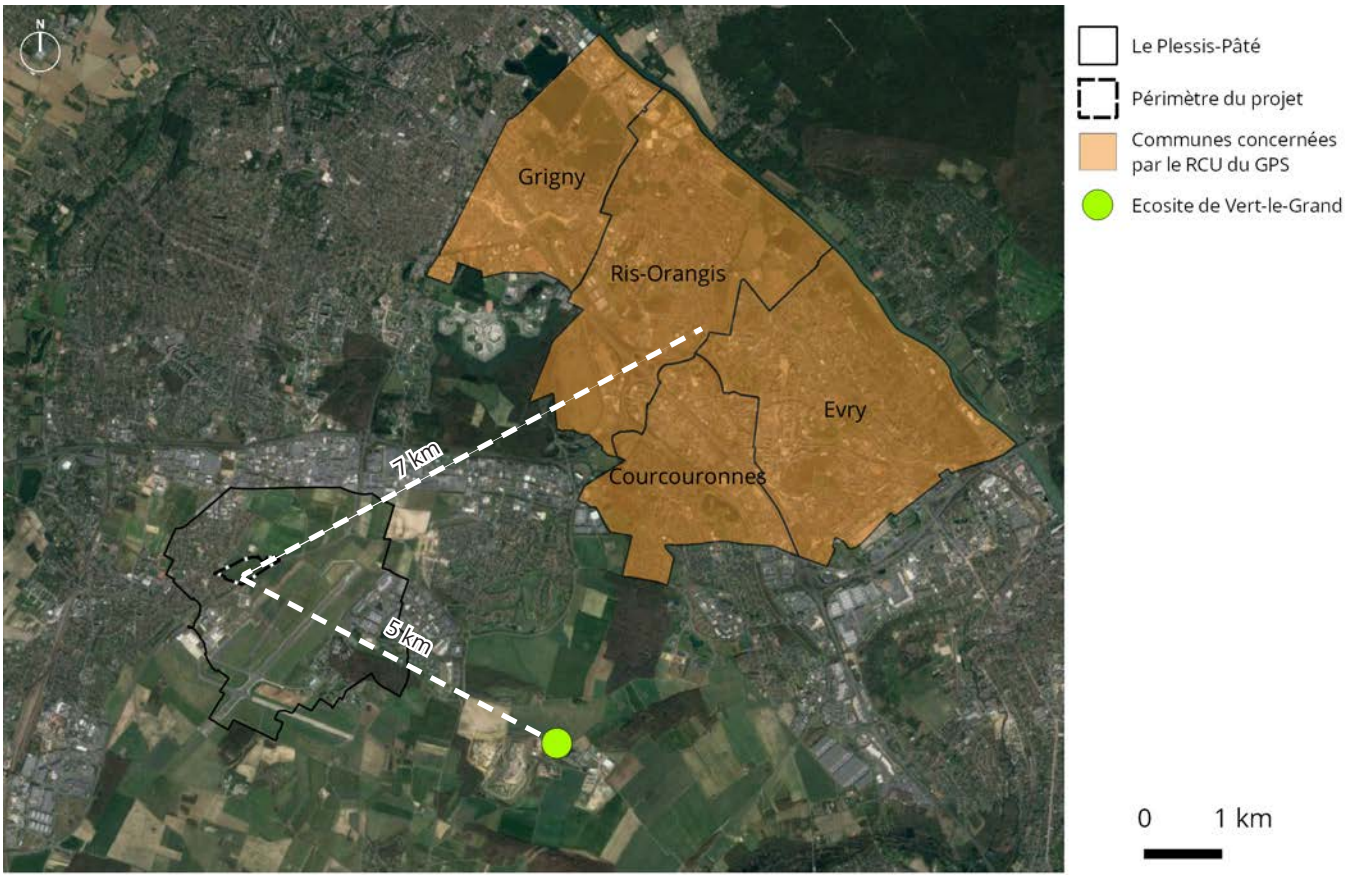
Une telle longueur de réseau implique :

- L'existence de déperditions thermiques importantes, de l'ordre de 10 % pour un réseau haute température.
- Un investissement financier important. A titre d'exemple, les travaux de raccordement de l'ex-BA 217 à l'Ecosite ont été estimés à 2,5 M€HT[5].

L'investissement peut s'avérer pertinent dans la mesure où :

- La densité thermique le long du réseau est élevée et il peut ainsi alimenter d'autres quartiers que celui des Charcoix.
- Le projet de développement du réseau est porté par d'autres acteurs que la commune du Plessis-Pâté, souhaitant bénéficier de son alimentation en énergie, permettant ainsi de mutualiser l'investissement.

5 BURGEAP, 2016



Distance du projet à l'Ecosite de Vert-le-Grand et au réseau de chaleur urbain du Grand Paris Sud (source TRANS-FAIRE, 2018)

Méthanisation

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.

Les contraintes d'implantation sont importantes (distance entre les digesteurs et les habitations occupées par des tiers supérieure ou égale à 50 mètres en particulier). La filière se heurte également à la rentabilité de petites unités de proximité dans un contexte urbain où le prix du foncier est important.

Disponibilité

Il n'existe a priori pas de potentiel suffisant à proximité pour la production de biogaz par méthanisation.

Data center

Les centres de données (data center), 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 de l'eau chaude.

Disponibilité

Aucun data center n'est prévu dans le cadre de la programmation. Il n'y a pas de data center sur la commune ni à proximité du site d'étude. Cette source de chaleur ne peut donc être utilisée[1].

Groupes froid

Un groupe frigorifique ne produit pas du froid mais « retire » de la chaleur à une source chaude (air, eau…). Cette chaleur est le plus souvent évacuée dans l'air ambiant et donc perdue.

Elle peut être récupérée et utilisée, à proximité, directement pour le préchauffage d'eau chaude sanitaire (ECS) ou indirectement comme source chaude d'une pompe à chaleur (PAC).

Disponibilité

La mise en œuvre d'un tel système nécessite une proximité immédiate entre production de froid (activités, commerces) et besoins en ECS (logements).

Aucun système de climatisation n'est envisagé dans la programmation, n'entraînant pas la mise en place de groupes froids à proximité des logements.

1 Data center map, 2016

Réseaux d'énergie

Réseaux d'électricité et de gaz

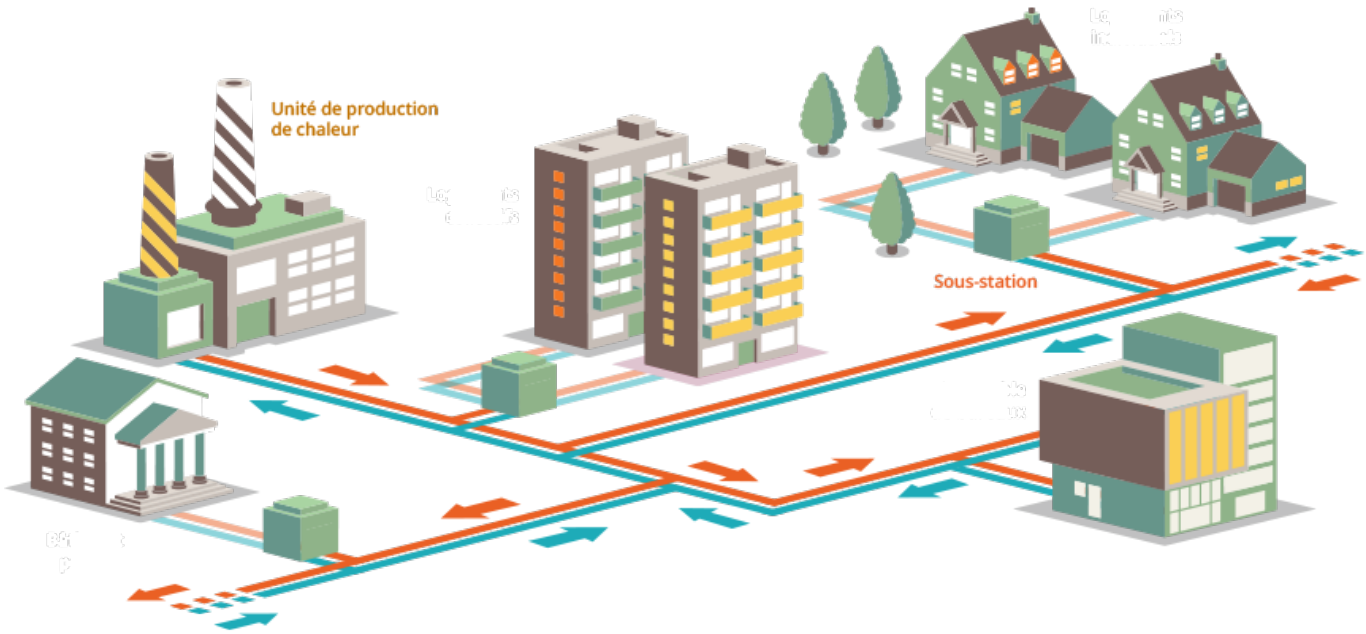
Le site d'étude n'est actuellement pas desservi mais des réseaux se trouvent au niveau de la route des Bordes et de la route de Corbeil, sur lesquels le futur quartier pourra se raccorder (voir cartes page 23 et page 25).

Réseaux de chaleur urbain

Présentation générale

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).

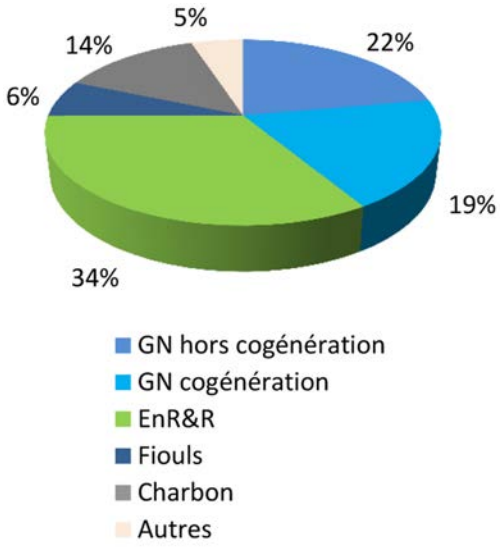


Principe du réseau de chaleur (source ADEME, 2015)

Un réseau de chaleur peut combiner différentes sources d'énergies renouvelables avec des combustibles fossiles.

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 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 %. 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).



Bouquet énergétique des réseaux de chaleur en IDF (source Fedene, SNCU, 2015)

Contexte national[1]

Les réseaux de chaleur français ont représenté en 2014 une consommation de 2,7 Mtep d'énergie.

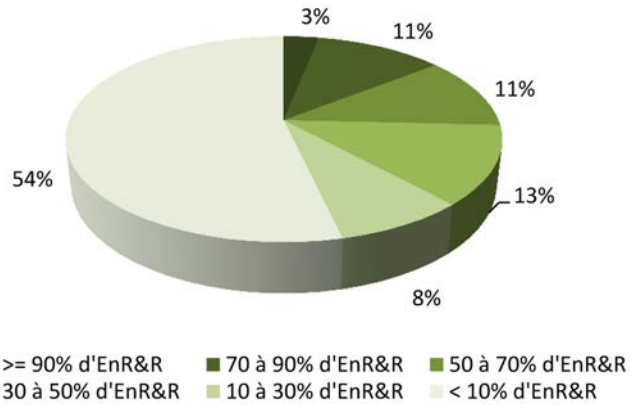
30 % de la consommation primaire des réseaux provient d'énergies renouvelables (contre 24 % en 2013), alors que 44 % de l'énergie employée est du gaz (contre 50 % en 2013).

Contexte régional[2]

Sur la Région Ile-de-France, 106 réseaux de chaleur et de froid ont été recensés en 2013, alimentés par 240 installations de production. Ces installations ont livré un total d'environ 13 600 GWh d'énergie thermique finale.

Les réseaux de chaleur et de froid en Île-de-France sont alimentés à 41 % par du gaz naturel (avec et sans cogénération) et à 34 % par des ENR&R (unité de valorisation énergétique (UVE), géothermie et biomasse).

La part des ENR&R dans les réseaux reste encore faible, 54 % des réseaux comprenant moins de 10 % d'ENR&R dans leur mix énergétique et seulement 24 % en comprenant plus de 50 %).



Part des ENR&R dans les réseaux de chaleur en IDF (source Fedene, SNCU, 2015)

1 CGDD, 2015
2 Fedene, SNCU, 2014

Classement des réseaux

La procédure de classement d'un réseau de chaleur ou de froid permet de rendre obligatoire le raccordement au réseau dans certaines zones, pour les nouvelles installations de bâtiments.

Cet outil de planification énergétique territoriale offre aux collectivités la possibilité de mieux maîtriser le développement de la chaleur renouvelable sur leur territoire, améliore la visibilité pour la réalisation de projets de réseaux de chaleur renouvelable, et contribue à l'amélioration des pratiques notamment via une concertation renforcée[1].

Le cadre juridique pour le classement des réseaux de chaleur et de froid est défini par :

- Les articles L712-1 à L712-5 du code de l'énergie.
- Les articles 5 et 7 de la loi 80-531 du 15 juillet 1980.
- Le décret n°2012-394 du 23 mars 2012 et l'arrêté du 22 décembre 2012 relatifs au classement des réseaux de chaleur et de froid.

Pour qu'un réseau puisse être classé, il doit respecter a minima les trois critères suivants :

- Le réseau est alimenté à au moins 50 % par des énergies renouvelables ou de récupération.
- Un comptage des quantités d'énergie livrées par point de livraison (c'est-à-dire la sous-station) est assuré.
- L'équilibre financier de l'opération pendant la période d'amortissement des installations est assuré.

Disponibilité

Il n'existe pas de réseau de chaleur urbain sur la commune du Plessis-Pâté. Le réseau de chaleur le plus proche se trouve sur la commune de Saint-Michel-sur-Orge et alimente le quartier du Domaine-du-Bois-des-Roches (2 600 équivalents logements). Celui-ci se trouve au nord de la commune à environ 5 km du site d'étude.

Le potentiel de développement d'un réseau de chaleur n'a pas été estimé sur la majeure partie du site d'étude par la DRIEE IDF. A l'ouest et au nord, le potentiel est faible en lien avec la faible densité urbaine des quartiers résidentiels. Cela signifie que si un réseau de chaleur est développé sur le quartier des Charcoix, un raccordement aux autres bâtiments du quartier résidentiel est peu intéressant.

1 MEDDE, 2013

Pertinence pour l'opération

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 : actuellement de 5 à 10 %.

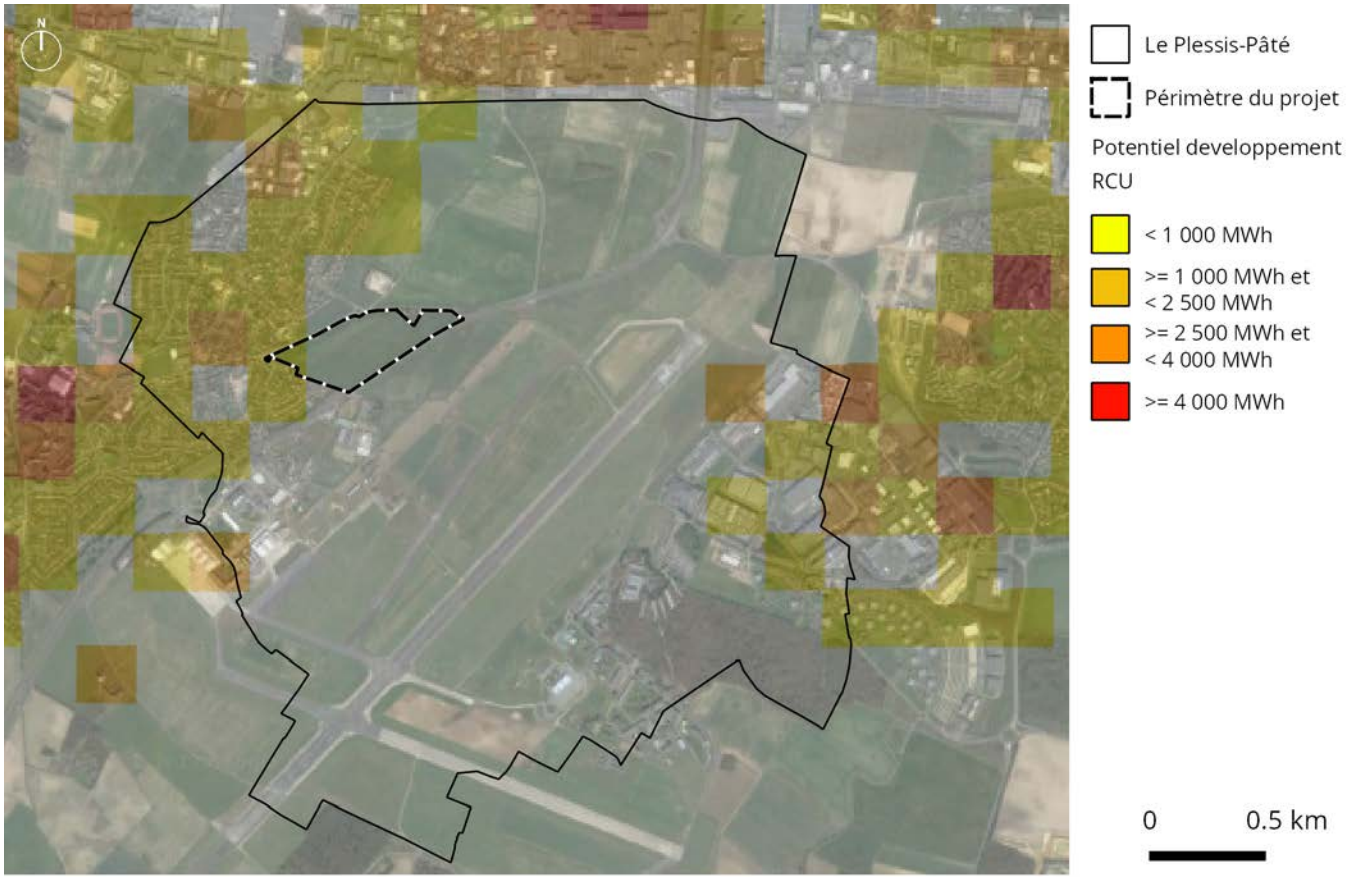
Les réseaux actuels ont une densité énergétique très variable, s'échelonnant de 2 MWh/ml à 18 MWh/ml. La valeur moyenne francilienne est légèrement inférieure à 9 MWh/ml.

En dessous d'une densité thermique de 1,5 MWh/ml.an (limite basse de densité thermique), on considère que la viabilité économique du réseau est difficile à atteindre.

A partir des données de la partie « Consommations réglementaires » page 71 et la partie « Consommations non réglementaires » page 72 et à partir des surfaces au sens de la RT définies dans la partie « Surface des bâtiments » page 71, on obtient une quantité de chaleur livrée (chauffage et ECS) sur une année de 1 250 MWhEU.

Nous avons estimé une longueur de tranchée du réseau de 5 km (longueur de réseau permettant de desservir chaque lot en considérant qu'une unité de production serait mise en place à proximité directe du site).

La densité thermique obtenue est de 0,3 MWh/(ml.an), en-dessous de la limite basse de densité thermique. Le développement d'un réseau de chaleur à l'échelle de l'opération n'apparaît donc pas pertinent.



Potentiel de développement de réseau de chaleur (source DRIEE IDF, 2014) et réseau de chaleur sur la commune (source DRIEE, IDF, 2016)

Scénarios retenus

Hiérarchisation des filières

Les filières sont comparées et hiérarchisées ci-dessous afin d'orienter l'étude sur les sources et usages présentant les plus forts enjeux.

Filière	Production	Échelle possible	Retour sur investissement environnemental
Gaz naturel	Chauffage Eau chaude sanitaire	Bâtiment Ilot	Recours à une énergie fossile : non renouvelable et émettrice de CO2 Vigilance à avoir par rapport à l'origine géographique du gaz
Électricité	Chauffage Eu chaude sanitaire Autres usages	Bâtiment	Émissions importantes de CO2 lors des pics de consommation Déchets nucléaires Vigilance à avoir par rapport à l'origine géographique de l'uranium
Solaire thermique	Eau chaude sanitaire Chauffage Climatisation	Bâtiment	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route
Solaire photovoltaïque	Électricité	Bâtiment	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
Solaire hybride	Eau chaude sanitaire Electricité	Bâtiment	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
Capteur solaire à air	Chauffage	Bâtiment	Amélioration du bilan carbone
Grand éolien	Électricité	Quartier	Amélioration du bilan carbone Réduction de la production de déchets nucléaires Incidences paysagères et écologiques possibles
Petit éolien	Électricité	Ilot Quartier	Amélioration du bilan carbone Réduction de la production de déchets nucléaires
PAC sur sondes géothermiques	Chauffage Rafraîchissement	Bâtiment Ilot	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route

Particularités techniques ou administratives	Données environnementales locales	Pertinence pour le quartier des Charcoix
Abonnement nécessaire	Réseau de gaz disponible à proximité du quartier des Charcoix	Filière de référence pour le chauffage et l'ECS (scénario A)
Abonnement nécessaire	Réseau électrique disponible à proximité du quartier des Charcoix	Filière de référence pour les autres usages (scénario A)
D'autant plus efficace que les besoins en ECS sont constants sur l'année ou supérieurs en période estivale Appoint nécessaire	Baisse des besoins en période estivale du fait des congés	Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique
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	Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique
Performances accrue par rapport aux panneaux photovoltaïques 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	Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique
Contraintes concernant la surface d'accueil du capteur Contraintes sur le système de ventilation	Possibilité d'éviter les phénomènes de masques	Filière non retenue (bâtiments non appropriés pour recevoir un mur solaire occultant toute une façade)
Obtention d'un permis de construire	Potentiel éolien à grande hauteur faible Proximité de zone urbaine Superficie insuffisante	Filière non retenue par manque de surface foncière et manque de gisement
Obtention d'un permis de construire 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	Filière en appoint possible dans un but pédagogique sur le quartier Pas de pertinence économique actuellement
Distance minimale à respecter entre les sondes (régénération du sol nécessaire)		Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique

Filière	Production	Échelle possible	Retour sur investissement environnemental
PAC sur pieux géothermiques	Chauffage Rafraîchissement	Bâtiment	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route
PAC sur nappe superficielle	Chauffage Eau chaude sanitaire Rafraîchissement	Bâtiment Ilot	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route
PAC sur aquifère profond (Albien)	Eau chaude sanitaire Chauffage Rafraîchissement	Quartier	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route
Bois	Chauffage Eau chaude sanitaire Électricité	Bâtiment Ilot	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
Incinération d'ordures ménagères	Électricité Chauffage Eau chaude sanitaire	Quartier	Installations classées avec les contraintes écologiques associées
Méthanisation	Électricité Chauffage Eau chaude sanitaire	Quartier	Filière courte pour le traitement de déchets agricoles et déchets verts Équilibrage du cycle du carbone avec les activités agricoles
Récupération d'énergie sur réseaux d'assainissement	Eau chaude sanitaire Chauffage Climatisation	Quartier	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route
Récupération de chaleur sur eaux grises	Eau chaude sanitaire	Bâtiment	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route Réduction des rejets d'eaux au réseau d'assainissement
Data center	Chauffage Eau chaude sanitaire	Ilot Quartier	Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route
Groupes froid	Eau chaude sanitaire	Bâtiment	Variable

Particularités techniques ou administratives	Données environnementales locales	Pertinence pour le quartier des Charcoix
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	Filière secondaire à favoriser dans l'hypothèse de pieux à réaliser pour le bâti
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 fort	Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique
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 600 m de profondeur Nappe du Dogger vers 1 800 m de profondeur	Filière non retenue (besoins thermiques insuffisants)
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 Implantation d'un éventuel silo de stockage hors d'une zone de remontées des nappes	Fournisseurs de plaquettes et granulés bois dans la région	Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique
Procédure et délais d'études, et d'installation	Pas de modification envisagée du schéma de collecte et de traitement des déchets	Filière non retenue (besoins thermiques insuffisants et absence de ressource à proximité)
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.	Gisement de déchets verts et agroalimentaire à proximité	Filière non retenue (besoins thermiques insuffisants et absence de ressource à proximité)
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. Puissance de production minimum de 150 kW. Distance entre le réseau et le bâtiment inférieure à 300 ml.	Pas de nuisances car intégré à un réseau enterré Production continue et réversible	Filière non retenue (besoins thermiques insuffisants)
Surface de local technique de l'ordre 20 m² Techniques disponibles avec et sans PAC		Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique
Vérification requise des capacités de production de chaleur des data center par un audit énergétique Autorisation spécifique du propriétaire	Pas de nuisances car intégré à un réseau enterré Production continue	Filière non retenue (pas d'installation proche)
Proximité immédiate entre la production de froid (activités, commerces) et le besoin en ECS (logements) nécessaire		Filière non retenue (pas d'installation proche)

Sur base du tableau précédent, un détail des filières pertinentes pour chaque élément de programme a été réalisé et est présenté ci-dessous.

Filière	Logements individuels	Logements intermédiaires	Logements collectifs	Résidence séniors	Groupe scolaire et équipement sportif	Espaces publics
Gaz naturel						
Électricité						
Solaire thermique						
Solaire photovoltaïque						
Solaire hybride						
Capteur solaire à air						
Grand éolien						
Petit éolien						
PAC sur sondes géothermiques						
PAC sur pieux géothermiques						
PAC sur nappe superficielle						
PAC sur aquifère profond (Albien)						
Bois						
Incinération d'ordures ménagères						
Méthanisation						
Récupération d'énergie sur réseaux d'assainissement						
Récupération de chaleur sur eaux grises						
Data center						
Groupes froid						

Filière de référence
Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique
Filière secondaire
Filière non retenue

Présentation des scénarios retenus

Suite à l'analyse du potentiel local en ressources énergétiques renouvelables et des systèmes techniques pouvant être mis en oeuvre dans le cadre de l'opération, les scénarios énergétiques sont décrits ci-après.

Les scénarios A à H étudient des solutions d'approvisionnement individuelles.

Les scénarios I et J étudient des solutions mutualisées (réseau de chaleur).

Dans l'ensemble des scénarios, les postes autres que le chauffage et l'ECS sont couverts par l'électricité.

Scénarios par typologie

Le tableau ci-dessous présente chacun des scénarios envisagé pour chaque typologie.

Scénario	Logements individuels et lots libres	Logements intermédiaires	Logements collectifs	Résidence séniors	Bâtiment accueillant le groupe scolaire et l'équipement sportif
A - Gaz et ballons thermodynamiques	•	•	•	•	•
B - Gaz et production solaire thermique	•	•	•	•	•
C - Gaz et production solaire photovoltaïque	•	•	•	•	•
D - Gaz et production solaire hybride	•	•	•	•	•
E - Biomasse	•	•	•	•	•
F - Géothermie sur sondes			•	•	•
G - Récupération de chaleur sur eaux grises avec PAC			•	•	
H - Récupération statique de chaleur sur eaux grises	•	•	•	•	•

Scénario A : Gaz et ballons thermodynamiques

Dans ce scénario, les solutions envisagées sont les solutions les plus répandues dans les projets de construction. Il constitue le **scénario de référence**.

Une chaudière au gaz à condensation et bas-NOx (le système de condensation permet d'améliorer le rendement de la combustion) assure le chauffage et/ou la production d'eau chaude sanitaire (ECS).

Ce scénario prend les hypothèses suivantes :

- Logements individuels, lots libres et logements intermédiaires - Chauffage gaz et production d'ECS par ballon thermodynamique (recours à une énergie renouvelable obligatoire dans la RT2012 / COP[1] de 3).
- Logements collectifs, résidence séniors et équipements - Chauffage gaz et production d'ECS gaz. On considère des pertes liées à la boucle ECS estimées à 20 %.

On considère un rendement de la chaudière gaz de 96 %[2].

Scénario B : Gaz et production solaire thermique

Ce scénario est basé sur le scénario A : le projet est alimenté au gaz pour tous les éléments de programmes (y compris l'ECS des maisons individuelles et accolées).

En complément, les bâtiments sont dotés de panneaux solaires thermiques placés en toiture.

Ces panneaux couvrent :

- 65 % des besoins en eau chaude sanitaire (ECS) dans les logements individuels et intermédiaires.
- Environ 50 % des besoins en ECS dans la résidence séniors, les logements collectifs et le bâtiment accueillant le groupe scolaire et l'équipement sportif.

Une couverture à hauteur de 80 % des besoins en ECS n'est pas envisagée en raison des problèmes de surchauffe en période estivale.

Cela correspond pour des panneaux performants, à l'implantation de :

Type de bâtiments	Nombre de panneaux solaires thermiques	Surface de panneaux solaires thermiques
Logements individuels	2 panneaux/lgt	2,7 m²/lgt
Logements intermédiaires	2 panneaux/lgt	2,7 m²/lgt
Logements collectifs	0,7 panneaux/lgt	0,9 m²/lgt
Résidence séniors	1,1 panneaux/lgt	1,5 m²/lgt
Bâtiment accueillant le GS et l'ES	18 panneaux	73 m²

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

1 Coefficient de performance
2 PCS (pouvoir calorifique supérieur) classique pour une chaudière gaz condensation

Scénario C : Gaz et production solaire photovoltaïque

Ce scénario est basé sur le scénario A : le projet est alimenté au gaz pour tous les éléments de programme (y compris l'ECS des maisons individuelles et accolées).

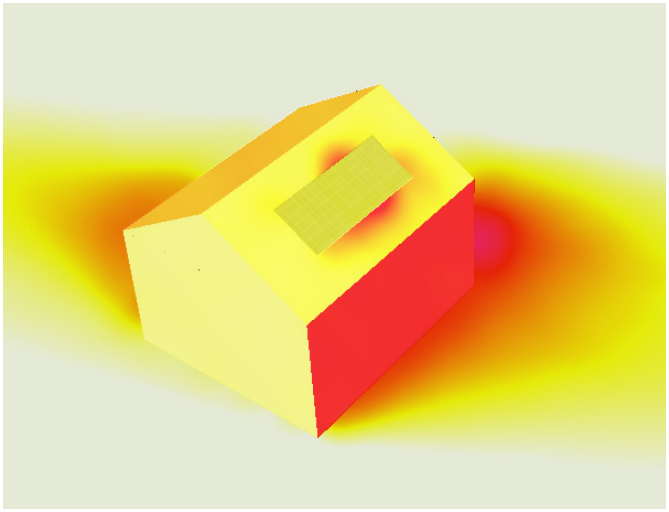
En complément, les bâtiments sont dotés de panneaux solaires photovoltaïques placés sur leurs toitures (intégration : panneaux non visibles depuis le sol).

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

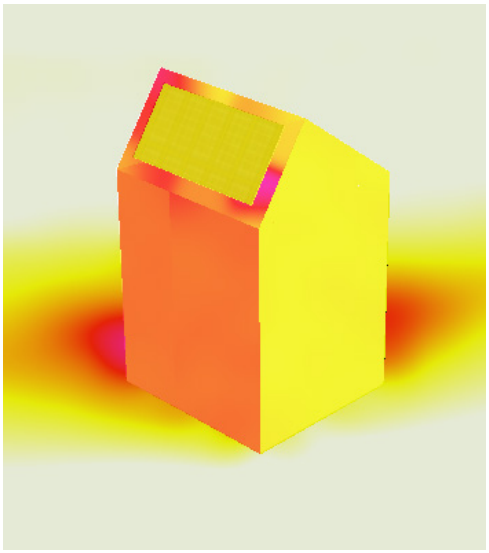
Des panneaux solaires monocristallins sont pris en compte, courants sur le marché à la date de l'étude. On considère une implantation optimale (36° par rapport à l'horizontale, 0° par rapport au sud).

On considère l'implantation de :

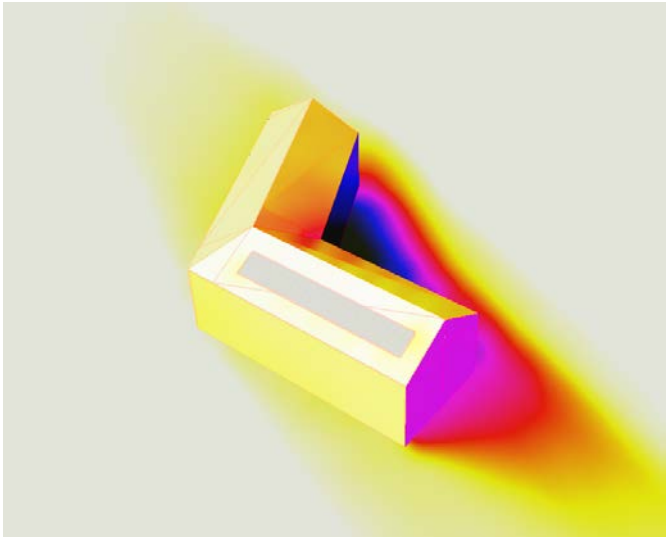
Type de bâtiments	Surface de panneaux solaires photovoltaïques
Logements individuels	environ 10 m²/lgt
Logements intermédiaires	environ 7 m²/lgt
Logements collectifs et résidence séniors	environ 7 m²/lgt
Bâtiment accueillant le GS et l'ES	350 m²



10 m² de panneaux solaires photovoltaïques implantés sur une maison individuelle - vue au 21 mars (source TRANS-FAIRE, 2018)



14 m² de panneaux solaires photovoltaïques implantés sur un bâtiment de logements intermédiaires - vue au 21 mars (source TRANS-FAIRE, 2018)



70 m² de panneaux solaires photovoltaïques implantés sur un bâtiment de logements collectifs - vue au 21 mars (source TRANS-FAIRE, 2018)

Scénario D : Gaz et production solaire hybride

Ce scénario est basé sur le scénario A : le projet est alimenté au gaz pour tous les éléments de programme (y compris l'ECS des maisons individuelles et accolées).

En complément, les bâtiments sont dotés de panneaux solaires hybrides placés sur leur toitures qui assurent une production mixte d'ECS et d'électricité.

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

Ces panneaux couvrent :

- 45 % des besoins en eau chaude sanitaire (ECS) dans les logements individuels et intermédiaires, dans les logements collectifs et la résidence séniors.
- Environ 50 % des besoins en ECS le bâtiment accueillant le groupe scolaire et l'équipement sportif.

On considère l'implantation de :

Type de bâtiments	Surface de panneaux solaires hybrides
Logements individuels	2 panneaux / logement
Logements intermédiaires	2 panneaux / logement
Logements collectifs	1,3 panneaux / logement
Résidence séniors	1,3 panneaux / logement
Bâtiment accueillant le GS et l'ES	64 panneaux

Scénario E : Biomasse

Ce scénario s'applique à tous les éléments de programme.

Dans les maisons individuelles, les lots libres et les logements intermédiaires, la chaudière au gaz et les ballons thermodynamiques sont remplacés par un poêle bois à granulés haute performance (approvisionnement aisé, bon rendement, coût plus élevé que les plaquettes). Il possède une large plage de modulation et assure le chauffage et la production d'ECS.

On considère un rendement des chaudières bois à granulés de 90 %.

Dans les logements collectifs, la résidence séniors et le bâtiment accueillant le groupe scolaire et l'équipement sportif, les chaudières au gaz sont remplacés par une chaudière bois à plaquettes haute performance (coût attractif, silo à prévoir, rendement moins bon que les granulés). Elle possède une large plage de modulation et assure le chauffage et la production d'ECS.

On considère un rendement des chaudières bois à plaquettes de 85 %.

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.

Scénario F : Géothermie sur sondes

Dans ce scénario, des sondes géothermiques sont mises en place (profondeur inférieure à 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 éventuellement rafraîchir les bâtiments toute l'année.

Les sondes sont dimensionnées pour couvrir les besoins de chauffage et d'ECS des logements collectifs, de la résidence séniors et des équipements (le scénario reste similaire au scénario A pour les logements individuels et intermédiaires).

On considère qu'elles assurent une extraction de chaleur spécifique de 50 W/ml.

On considère une PAC fonctionnant 1 800 h par an. Son coefficient annuel de performance (COP réel) est estimé à 4.

Au stade de l'étude nous examinons la solution de géothermie sur sondes. Néanmoins une solution de géothermie sur nappe superficielle est également envisageable (potentiel géothermique fort au niveau du site). Elle fait l'objet d'un scénario de production mutualisée présenté page 65.

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

Pour ce scénario, nous n'avons pas pris en compte d'appoint gaz.

Scénario G : Récupération de chaleur sur eaux grises avec PAC

Ce scénario est basé sur le scénario A : le projet est alimenté au gaz pour tous les éléments de programmes concernés (logements collectifs et résidence séniors).

Le système est adapté à la production d'ECS collective, c'est pourquoi il n'a pas été envisagé à l'échelle des maisons individuelles et des logements intermédiaires.

Le système demande des besoins constants sur l'année. Il n'est donc pas envisagé pour l'équipement sportif et le groupe scolaire, qui ont été considérés comme faiblement exploités en période estivale.

On considère un rendement de la chaudière gaz de 99 %.

La PAC de récupération de chaleur sur eaux grises permet de couvrir 100 % des besoins en eaux chaudes sanitaires à 58°C.

On considère un COP de 5 pour l'ensemble du système.

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

Scénario H : Récupération statique de chaleur sur eaux grises

Ce scénario est basé sur le scénario A : le projet est alimenté au gaz pour tous les éléments de programmes.

On considère un rendement de la chaudière gaz de 99 %.

La production d'ECS est en partie assurée par un système de récupération statique de chaleur sur les eaux grises. Le scénario prend l'hypothèse d'un système sans PAC très facile à mettre en œuvre et permettant des économies de :

- 60 % pour les logements individuels et intermédiaires.
- 35 % pour les logements collectifs, la résidence séniors et les équipements. Les économies sont plus faibles pour ces derniers car il existe des pertes sur le linéaires de réseau en amont du récupérateur de chaleur.

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

Scénarios avec production mutualisée

Dans les scénarios « production mutualisée », on considère le branchement des nouveaux bâtiments sur un réseau de chaleur alimenté soit par la géothermie soit par la biomasse.

Afin de desservir tous les bâtiments, on considère un réseau de chaleur d'une longueur de 5 km.

Une ou plusieurs sous-stations alimentent les bâtiments pour le chauffage et l'ECS. Les autres postes de consommation sont assurés par l'électricité.

Les pertes thermiques de distribution sont estimées à 11 % de l'énergie produite.

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

Scénario I : Biomasse mutualisée : centrale biomasse

Ce scénario est similaire au scénario A, les chaudières au gaz et chauffe-eaux thermodynamiques étant remplacés par une centrale biomasse qui assure le chauffage et la production d'ECS pour l'ensemble des éléments du programme.

La centrale est alimentée par du bois plaquettes (coût attractif, silo à prévoir, rendement moins bon que les granulés).

L'énergie produite alimente un réseau de chaleur qui dessert l'ensemble du quartier des Charcoix.

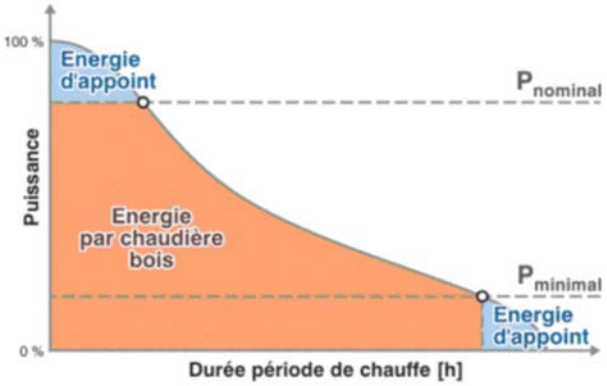
On considère un rendement de la chaudière bois à plaquettes de 85 %.

D'après le document « Réseau de chaleur, bases techniques » produit par le Cerema en 2014, la valeur courante de la durée d'utilisation équivalente à pleine puissance d'une chaudière est de 2 500 h.

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.

Dans ce scénario, un appoint gaz est pris en compte. En effet, la combustion de biomasse est inadaptée aux fortes variations de puissance, comme lors des pointes hivernales et des faibles consommations en été.

On considère que la chaudière bois couvre 80 % de la production d'énergie. Les 20 % restant sont couverts par l'appoint gaz.



Un mix énergétique pour gérer les variations de puissance (source MEEM, janvier 2017)

Si cette solution est retenue, des études plus poussées sur le dimensionnement des chaudières, des silos à bois, les approvisionnements en bois et d'un éventuel appoint gaz devront être menées.

Scénario J : Géothermie mutualisée : géothermie sur nappes superficielles

Dans ce scénario, un doublet de forages est réalisé à une profondeur de 40 m (pour atteindre la nappe) et permet l'utilisation d'une eau à température constante de 11-12°C issue de la nappe de l'Eocène Moyen et Inférieur.

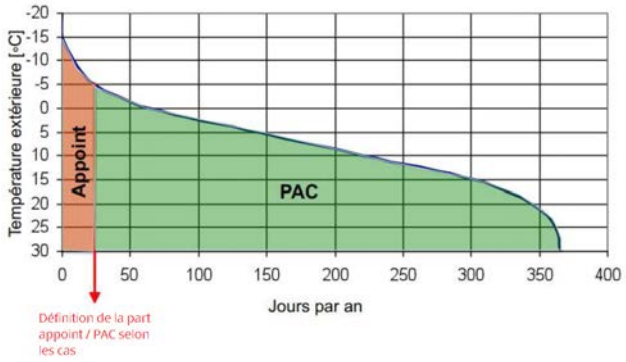
Une pompe à chaleur eau-eau est mise en place et son coefficient annuel de performance (COP annuel) est estimé à 5.

L'énergie produite alimente un réseau de chaleur qui dessert l'ensemble du quartier des Charcoix.

On considère que la PAC eau-eau couvre 80 % de la production d'énergie. Les 20 % restant sont couverts par l'appoint gaz.

En effet, 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.



Un mix énergétique pour gérer les variations de puissance

Si cette solution est retenue, des études plus poussées sur le dimensionnement des PAC, des forages et d'un éventuel appoint gaz devront être menées.

Bilans globaux

Pour chaque type de bâtiment, le scénario le plus pertinent et le scénario le moins pertinent (au regard des critères environnementaux et économiques) sont identifiés.

Cela permet de proposer deux bilans globaux pour le quartier des Charcoix :

- Un bilan global prenant en compte les résultats des scénarios les plus pertinents pour chaque typologie.
- Un bilan global prenant en compte les résultats des scénarios les moins pertinents pour chaque typologie.

Scénario exemplaire

Un scénario exemplaire est proposé pour le bâtiment accueillant le groupe scolaire et l'équipement sportif.

Ce scénario associe deux scénarios permettant de répondre aux objectifs de la programmation en matière de performance énergétique.

Ces scénarios visent à atteindre le niveau E3-C1 pour le groupe scolaire et l'équipement sportif, du label E+C- (voir description « Label E+ C- » page 14).

Comparaison des scénarios

Méthode

Consommations et impacts environnementaux

Les consommations à l'état projeté sont estimées, suivant les différents scénarios d'approvisionnement en énergie décrits précédemment.

Sur cette base sont estimés les émissions polluantes (impact environnemental via les émissions de CO_2, SO_2 et NOx) ainsi que les déchets nucléaires produits.

Une vision globale est présentée sous forme de graphiques pour chaque impact (consommations / pollutions).

L'ensemble des estimations est donné pour une année.

Impacts financiers

Coût annuel

Sur la base des consommations, les coûts annuels des énergies sont estimés (impact financier).

Une vision globale est présentée sous forme de graphiques.

Approche en coût global de la production de chaud

Une approche en coût globale sur 25 ans est ensuite menée sur la production de chaud (chauffage et ECS). Seule la production de chaud est prise en compte, puisque c'est elle qui varie d'un scénario à l'autre. Les autres coûts (ventilation, éclairage, électroménager...) ne sont pas estimés.

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 d'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'obtention des subventions n'est pas automatique et soumise à un ensemble d'exigences mises à jour tous les ans par l'ADEME via le fonds chaleur. Les subventions ADEME prises en compte dans l'étude sont donc purement indicatives.

Hypothèses

Performance énergétique des bâtiments projetés

Surface des bâtiments

Pour l'estimation des consommations énergétiques, les hypothèses suivantes sont prises en compte :

Bâtiments	Surface de plancher (SDP)	Surface de plancher moyenne par logements	Nombre de logements
Maisons individuelles	4 133 m²	66 m²	63
Logements intermédiaires	4 639 m²	65 m²	71
Logements collectifs	11 684 m²	66 m²	176
Résidence séniors	5 200 m²	52 m²	100
Terrains privés en accession	5 705 m²	82 m²	70
Total	38 000 m²		480

Equipements	Surface de plancher
Groupe scolaire	2 650 m²
Equipement sportif	680 m²
Total	3 330 m²

Consommations réglementaires

Les seuils de consommations réglementaires (Cep max RT2012) sont aujourd'hui les suivantes :

Bâtiments	Cep max
Maisons individuelles	50 kWhEP/m².an
Logements intermédiaires (logements accolés)	50 kWhEP/m².an
Logements collectifs	57,5 kWhEP/m².an
Résidence séniors (hébergement pour personnes âgées)	132 kWhEP/m².an
Terrains privés en accession	50 kWhEP/m².an
Groupe scolaire (enseignement primaire)	110 kWhEP/m².an
Equipement sportif	132 kWhEP/m².an

Pour le projet, la maîtrise d'ouvrage vise des performances énergétiques au niveau RT2012 - 30 %. Soit les seuils de consommation suivants :

Bâtiments	Cep max - 30 %
Maisons individuelles	35 kWhEP/m².an
Logements intermédiaires	35 kWhEP/m².an
Logements collectifs	40 kWhEP/m².an
Résidence séniors	92 kWhEP/m².an
Terrains privés en accession	35 kWhEP/m².an
Groupe scolaire	77 kWhEP/m².an
Equipement sportif	92 kWhEP/m².an

Cette hypothèse en matière de performance énergétique est compatible avec l'obtention du niveau E2 du label E+C-. Des efforts pourront être réalisés pour aller plus loin :

- Si un bâtiment assure une production de 20 kWhEP/m².an, il pourra atteindre le niveau E3.
- En respectant les exigences complémentaires des labels BBC Effinergie 2017, BEPOS Effinergie 2017 et BEPOS+ Effinergie 2017[1].

1 Voir description des labels page 14.

Consommations non réglementaires

Les consommations non réglementaires (C_{nr}) sont estimées sur la base des ratios du label BEPOS Effinergie :

Bâtiments	Consommations non réglementaires d'après les ratios du label BEPOS Effinergie
Maisons individuelles	70 kWhEP/m².an
Logements intermédiaires	70 kWhEP/m².an
Logements collectifs	70 kWhEP/m².an
Résidence séniors	70 kWhEP/m².an
Terrains privés en accession	70 kWhEP/m².an
Groupe scolaire	30 kWhEP/m².an
Equipement sportif	150 kWhEP/m².an

En considérant une évolution globale à la baisse des consommations des équipements ménagers, cohérente avec les évolutions technologiques, les hypothèses pour la présente étude sont les suivantes :

Bâtiments	Consommations non réglementaires
Maisons individuelles	60 kWhEP/m².an
Logements intermédiaires	60 kWhEP/m².an
Logements collectifs	60 kWhEP/m².an
Résidence séniors	60 kWhEP/m².an
Terrains privés en accession	60 kWhEP/m².an
Groupe scolaire	26 kWhEP/m².an
Equipement sportif	128 kWhEP/m².an

Répartition des différents postes

Les consommations réglementaires couvrent 5 postes :

- Le chauffage.
- L'eau chaude sanitaire (ECS).
- Le refroidissement.
- L'éclairage.
- Les auxiliaires.

Les besoins liés à l'éclairage, au refroidissement et aux auxiliaires sont regroupés.

Sur base de nos retours d'expériences, le tableau suivant donne la répartition des différents postes suivant la typologie des bâtiments :

Bâtiments	Chaud	ECS	Eclairage et auxiliaires
Maisons individuelles	42 %	40 %	18 %
Logements intermédiaires	40 %	45 %	15 %
Logements collectifs	39 %	47 %	14 %
Résidence séniors	39 %	47 %	14 %
Terrains privés en accession	42 %	40 %	18 %
Groupe scolaire	29 %	16 %	55 %
Equipement sportif	7 %	25 %	68 %

Coûts et impacts des énergies

Conversion énergie primaire / énergie finale

Conversions EP/EF	Énergie finale EF	Énergie primaire EP
Électricité	1,00 kWh EF	2,58 kWh EP
Gaz	1,00 kWh EF	1,00 kWh EP
Bois (Effinergie BEPOS)	1,00 kWh EF	0,00 kWh EP

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 (SO_2) 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 indicateurs retenus sont issus du Référentiel HQE Tertiaire générique Millésime 2015. Ils s'appliquent aux consommations d'énergie finale.

Les déchets radioactifs retenus sont ceux générés annuellement par l'utilisation de l'électricité du réseau français.

Déchets radioactifs	Electricité
Déchets nucléaires faibles et moyens	0,05 g/kWh
Déchets nucléaires forts et très forts	0,01 g/kWh

Déchets (source Référentiel HQE, 2015)

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.

Coût de l'énergie	Professionnels	Particuliers
Électricité (en €TTC/kWhEF)	0,1228	0,1594
Gaz naturel (en €TTC/kWhEF)	0,0456	0,0749
Bois (granulés) (en €TTC/kWhEF)	-	0,0610
Bois (plaquettes) (en €TTC/kWhEF)	0,0288	-

Coûts (source CGDD, 2016 et MEEM, 2017)

Les tarifs d'achats du photovoltaïque sont publiés par le Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer sur la base du décret du 10 mai 2017 et révisés chaque trimestre (tarifs du premier trimestre 2018).

Type d'installation	Prix de revente
Moins de 3 kWc	0,1855 €TTC/kWhEF
3 à 9 kWc	0,1576 €TTC/kWhEF
9 à 36 kWc	0,1207 €TTC/kWhEF
36 à 100 kWc	0,1124 €TTC/kWhEF

Prix de revente de l'électricité photovoltaïque

Energies	CO_2	SO_2	NOx
Électricité (chauffage)	0,180 kg eq CO_2/kWh	0,89 g eq SO_2/kWh	0,47 g eq NO_x/kWh
Électricité (éclairage)	0,080 kg eq CO_2/kWh	0,89 g eq SO_2/kWh	0,47 g eq NO_x/kWh
Électricité (autre)	0,052 kg eq CO_2/kWh	0,32 g eq SO_2/kWh	0,27 g eq NO_x/kWh
Gaz naturel	0,234 kg eq CO_2/kWh	0,00 g eq SO_2/kWh	0,17 g eq NO_x/kWh
Bois	0,000 kg eq CO_2/kWh	0,00 g eq SO_2/kWh	0,32 g eq NO_x/kWh

Émissions polluantes (source Référentiel HQE, 2015)

Indexation 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 (granulés) 2,64 %.
- Augmentation annuelle bois (plaquettes) 4,5 %.
- Taux de dégradation annuel de la performance des panneaux photovoltaïques 0,5 %.

Hypothèses sur les prix d'investissement[1]

Gaz

Pour les logements individuels, on considère un coût d'investissement de 4 000 €TTC par logement.

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

On considère un ratio de puissance installée de 0,05 kW/m² pour les chaudières gaz.

Ballon thermodynamique

On considère un coût à l'unité de 3 000 €TTC.

Solaire thermique

Sur base de données de l'étude sur le coût des énergies renouvelables 2016 de l'ADEME, on estime en moyenne le coût d'investissement à 1060 €TTC/m² de panneaux.

Solaire photovoltaïque

Sur base de données de l'étude sur le coût des énergies renouvelables 2016 de l'ADEME, on considère un investissement de :

- 3,11 €TTC/Wc pour des installations sur des logements individuels.
- 1,78 €TTC/Wc pour un système de moyenne puissance supérieure à 36 kW, installé sur une grandes surface de toiture.

Solaire hybride

Sur la base de la consultation des prix de fournisseurs, on considère un investissement de :

- 1 550 €/panneau pour les logements individuels et accolés.
- 1 200 €/panneau pour les logements collectifs et la résidence séniors.
- 900 €/panneau pour le groupe scolaire et l'équipement sportif.

On considère en effet des frais fixes pour la pose des panneaux hybrides. Ainsi plus l'installation est grande, plus les frais fixes sont répartis et plus le prix par panneau est faible.

Biomasse

Pour les logements individuels, on considère un coût d'investissement de 7 000 €TTC par logement.

Sur base de nos retours d'expérience, un ratio de 250 €TTC/kW est pris en compte pour un production mutualisée.

Géothermie sur sondes

Sur base de données de l'étude sur le coût des énergies renouvelables 2016 de l'ADEME, on considère un investissement de 1 800 €/kW pour la géothermie superficielle sur champ de sondes (pour des puissances comprises en 30 et 300 kW).

On considère un temps de fonctionnement annuel en pleine puissance de 1 800 h.

Récupération de chaleur sur les eaux grises avec PAC

Sur base de la consultation des prix fournisseur, on considère un investissement de 270 k€ pour une installation couvrant une centaine de logements.

Ce coût comprend la fourniture, le transport, l'installation et la mise en service[2].

Récupération statique de chaleur sur les eaux grises

Les prix suivants sont données sur base de la consultation des prix des fournisseurs.

Pour les logements individuels, on considère un coût d'investissement de 1 400 €TTC par logement.

1 Sources retours d'expériences, consultations de fournisseurs, données bibliographiques

2 Données issues de la consultation des fournisseurs des systèmes PAC Facteur 7 et ERS

Pour une production mutualisée, on considère un coût d'investissement de l'ordre de 12 €TTC/m² SDP.

Pour les équipements (groupe scolaire et équipement sportif), on considère un investissement de 12 000 €TTC.

Biomasse mutualisée

Sur la base de l'article « Coût d'investissement d'un réseau de chaleur : quelques repères »[3], on considère un coût moyen de chaufferie bois de 650 €/kW pour une puissance installée de l'ordre de 750 kW à 1 MW.

Dans cette étude, un appoint gaz est pris en compte. D'après les chiffres du document « Réseaux de chaleur, domaine de pertinence »[4], on estime le coût de l'appoint gaz relativement au prix d'investissement de la centrale biomasse : il est en moyenne équivalent à 77 % du prix de la centrale biomasse.

Géothermie sur nappe superficielle

Les ratios pris en compte dans cette étude sont issus du document « Etude technico-économique Géothermie très basse énergie »[5]. On considère :

- 1 100 €TTC/kW pour la PAC.
- 300 €TTC/kW pour les équipements de forage et liaison.
- 850 €TTC/ml pour le forage.

Pour la géothermie sur nappe le coût est très variable et fonction en grande partie de la profondeur des forages (coût de forage, dimensionnement des pompes de circulation). Seuls des sondages d'essais permettent de préciser ce coût.

On considère que le coût de l'appoint gaz est équivalent à 77 % du prix de la PAC eau-eau.

Réseau de chaleur[6]

D'après l'étude ADEME - Perdurance sur les coûts d'investissement des réseaux de chaleur bois, on considère un coût de 400 €/ml (incluant les tranchées, les canalisations et les sous-stations).

Pour le réseau de chaleur basé sur la géothermie, on considère le même ratio.

3 Cerema, 2012
4 MEEM, 2017
5 AFPG, 2014
6 CEREMA, 2012

Hypothèses sur les subventions

On considère les conditions du Fonds chaleur ADEME 2016. Les principales valeurs seuils sont les suivantes :

- Géothermie sur sondes : production supérieure à 2 tep[1] ENR par an. Les logements collectifs et la résidence séniors sont éligibles. L'installation du groupe scolaire et de l'équipement sportif sont en-dessous du seuil de production d'ENR (moins de 2 tep ENR / an).
- Géothermie sur nappes : production supérieure à 6 tep ENR par an. L'installation collective est au-dessus du seuil et est donc éligible.
- PAC sur eaux usées : production supérieure à 10 tep ENR / an. Les productions d'ECS sont trop faibles pour que le système soit éligible.
- Biomasse : production supérieure à 100 tep ENR par an. La production dans le cas du projet (environ 130 tep) est en-dessus du seuil et permet d'envisager cette subvention.
- Réseau de chaleur alimenté au minimum par 50 % d'ENR&R : densité thermique minimum de 1,5 MWh/ml.an. La densité thermique du projet de 0,3 MWh/ml.an ne permet pas d'être éligible.
- Solaire thermique : 25 m² de surface utile de capteur minimum et productivité solaire utile minimale de 350 kWh utile / m².

Les taux de subventions pris en compte sont les suivants :

- Géothermie sur sondes : 440 € / tep ENR par an sur 20 ans.
- Géothermie sur nappes : 110 € / tep ENR par an sur 20 ans et 200 € / ml de puits foré.
- Solaire thermique : 650 € / tep sur 20 ans.
- Biomasse : 95 €/tep ENR sur 20 ans.

L'obtention des subventions n'est pas automatique et soumise à un ensemble d'exigences mises à jour tous les ans par l'ADEME via le Fonds chaleur.

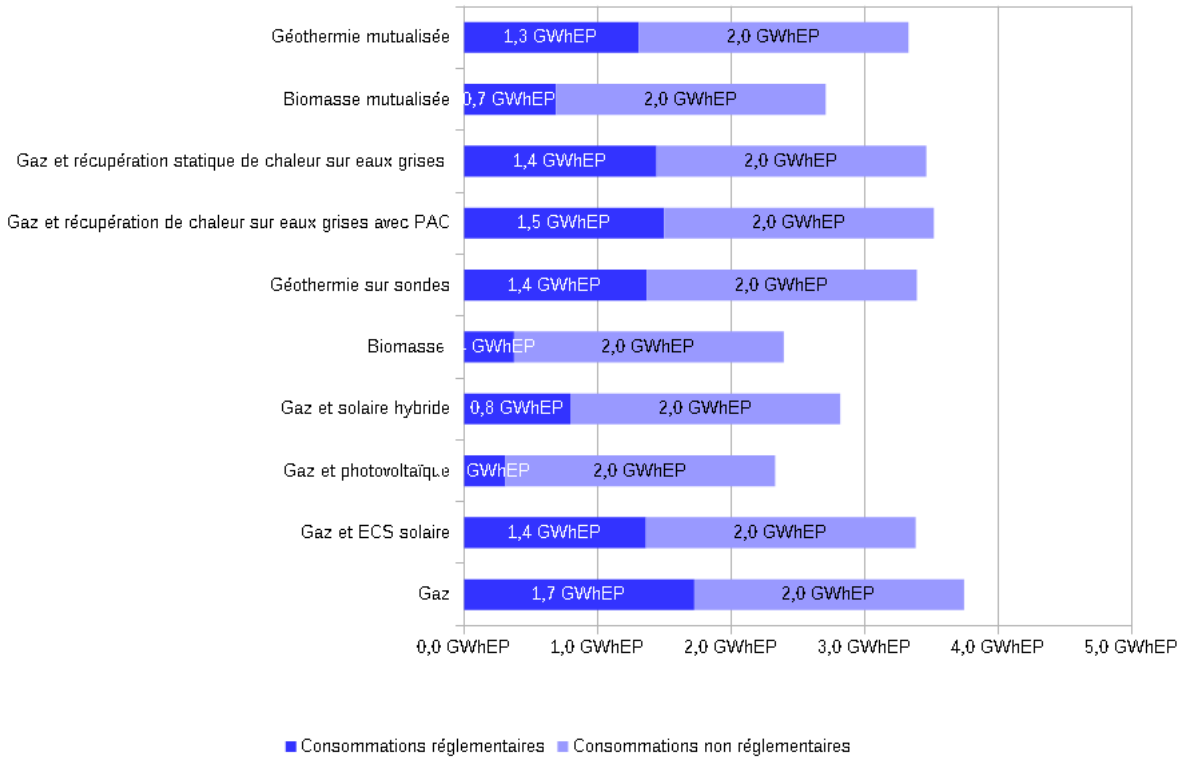
Les subventions ADEME prises en compte dans l'étude sont donc indicatives.

1 Tonne équivalent pétrole / 1 tep = 11,630 MWh

Estimation des consommations

Comparaison des scénarios

Le graphique ci-dessous permet une comparaison visuelle des consommations en énergie primaire (EP) de l'ensemble des éléments de programme, estimées pour les différents scénarios étudiés[1]. Le détail par scénario est présenté à la suite. Sur ce graphique, les consommations réglementaires et non réglementaires sont représentées pour faire ressortir l'impact des solutions énergétiques étudiées et l'importance de ces consommations non réglementaires.



1 Les besoins en énergie sont fixées de façon à respecter les seuils de la RT2012 - 30 %. Voir partie « Consommations réglementaires » page 71.

Scénario A : Gaz et ballons thermodynamiques (scénario de référence)

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Gaz	10 kWhEF/m²	644 MWhEF	10 MWhEP/m²	644 MWhEP
ECS	Gaz / Électricité	9 kWhEF/m²	577 MWhEF	11 MWhEP/m²	706 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	2 kWhEF/m²	145 MWhEF	6 MWhEP/m²	374 MWhEP
Autres usages[2]	Électricité	12 kWhEF/m²	783 MWhEF	31 MWhEP/m²	2 020 MWhEP
Total		33 kWhEF/m²	2 149 MWhEF	57 kWhEP/m²	3 745 MWhEP

Ce scénario constitue le scénario de référence auquel les autres scénarios sont comparés pour estimer les éventuelles économies réalisées.

Scénario B : Gaz et production solaire thermique

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Gaz	10 kWhEF/m²	644 MWhEF	10 MWhEP/m²	644 MWhEP
ECS	Gaz / solaire	5 kWhEF/m²	344 MWhEF	5 MWhEP/m²	344 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	2 kWhEF/m²	145 MWhEF	6 MWhEP/m²	374 MWhEP
Autres usages	Électricité	12 kWhEF/m²	783 MWhEF	31 MWhEP/m²	2 020 MWhEP
Total		29 kWhEF/m²	1 916 MWhEF	51 kWhEP/m²	3 382 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			- 11 %		- 10 %

Par rapport au scénario de référence, ce scénario permet une diminution des consommations globales.

2 Les autres usages correspondent aux consommations non réglementaires décrits dans la partie « Consommations non réglementaires » page 72

Scénario C : Gaz et production photovoltaïque

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Gaz	10 kWhEF/m²	644 MWhEF	10 MWhEP/m²	644 MWhEP
ECS	Gaz	11 kWhEF/m²	751 MWhEF	11 MWhEP/m²	751 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	2 kWhEF/m²	145 MWhEF	6 MWhEP/m²	374 MWhEP
Autres usages	Électricité	12 kWhEF/m²	783 MWhEF	31 MWhEP/m²	2 020 MWhEP
Photovoltaïque	Électricité	-9 kWhEF/m²	-566 MWhEF	-22 MWhEP/m²	-1 459 MWhEP
Total		27 kWhEF/m²	1 757 MWhEF	35 kWhEP/m²	2 330 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			- 18 %		- 38 %

Le scénario permet une diminution significative des consommations. Cette solution est intéressante notamment vu l'importance des consommations non réglementaires qui représentent plus de la moitié des consommations totales.

La production d'ECS assurée au gaz et non plus via ballon thermodynamique dans les logements individuels pénalise le bilan en EF.

Scénario D : Gaz et production solaire hybride

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Gaz	10 kWhEF/m²	644 MWhEF	10 MWhEP/m²	644 MWhEP
ECS	Gaz / solaire	6 kWhEF/m²	410 MWhEF	6 MWhEP/m²	410 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	2 kWhEF/m²	145 MWhEF	6 MWhEP/m²	374 MWhEP
Autres usages	Électricité	12 kWhEF/m²	783 MWhEF	31 MWhEP/m²	2 020 MWhEP
Photovoltaïque	Électricité	-4 kWhEF/m²	-245 MWhEF	-10 MWhEP/m²	-632 MWhEP
Total		26 kWhEF/m²	1 737 MWhEF	43 kWhEP/m²	2 817 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			- 19 %		- 25 %

Le scénario permet une importante diminution des consommations.

Celle-ci est permise grâce la production d'énergie solaire par les panneaux solaires hybrides et à la revente de l'électricité photovoltaïque.

Scénario E : Biomasse

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Bois	11 kWhEF/m²	714 MWhEF	0 MWhEP/m²	0 MWhEP
ECS	Bois	13 kWhEF/m²	840 MWhEF	0 MWhEP/m²	0 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	2 kWhEF/m²	145 MWhEF	6 MWhEP/m²	374 MWhEP
Autres usages	Électricité	12 kWhEF/m²	783 MWhEF	31 MWhEP/m²	2 020 MWhEP
Total		38 kWhEF/m²	2 482 MWhEF	36 kWhEP/m²	2 395 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			+ 16 %		- 36 %

Ce scénario présente des consommations en EF supérieures au scénario de base. Cela est lié à des rendements moins performants (bois par rapport au gaz et au ballon thermodynamique). Les consommations en EP sont réduites du fait d'un coefficient de conversion considéré nul pour le bois (lié au cycle carbone du bois).

Scénario F : Géothermie sur sondes[1]

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Géothermie ou Gaz	5 kWhEF/m²	314 MWhEF	7 MWhEP/m²	479 MWhEP
ECS	Géothermie ou Electricité	3 kWhEF/m²	201 MWhEF	8 MWhEP/m²	517 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	2 kWhEF/m²	145 MWhEF	6 MWhEP/m²	374 MWhEP
Autres usages	Électricité	12 kWhEF/m²	783 MWhEF	31 MWhEP/m²	2 020 MWhEP
Total		22 kWhEF/m²	1 443 MWhEF	51 kWhEP/m²	3 391 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			- 33 %		- 9 %

Cette solution permet une réduction significative des consommations en EF. Les consommations en EP sont pénalisées par le coefficient de conversion de l'électricité.

1 Le bilan est réalisé à l'échelle de l'ensemble des éléments de programme bien que seuls les logements collectifs, la résidence séniors, le groupe scolaire et l'équipement sportif soient concernés par ce mode d'approvisionnement en énergie.

Scénario G : Gaz et récupération de chaleur sur eaux grises avec PAC[1]

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Gaz	10 kWhEF/m²	644 MWhEF	10 MWhEP/m²	644 MWhEP
ECS	PAC / Electricité / Gaz	3 kWhEF/m²	216 MWhEF	7 MWhEP/m²	481 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	2 kWhEF/m²	145 MWhEF	6 MWhEP/m²	374 MWhEP
Autres usages	Électricité	12 kWhEF/m²	783 MWhEF	31 MWhEP/m²	2 020 MWhEP
Total		27 kWhEF/m²	1 788 MWhEF	53 kWhEP/m²	3 519 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			- 17 %		- 6 %

Cette solution permet une réduction des consommations en EF. Les consommations en EP sont pénalisées par le coefficient de conversion de l'électricité.

Scénario H : Gaz et récupération statique de chaleur sur eaux grises

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Gaz	10 kWhEF/m²	644 MWhEF	10 MWhEP/m²	644 MWhEP
ECS	Gaz	6 kWhEF/m²	424 MWhEF	6 MWhEP/m²	424 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	2 kWhEF/m²	145 MWhEF	6 MWhEP/m²	374 MWhEP
Autres usages	Électricité	12 kWhEF/m²	783 MWhEF	31 MWhEP/m²	2 020 MWhEP
Total		30 kWhEF/m²	1 996 MWhEF	52 kWhEP/m²	3 463 MWhEP
Comparaison au scénario de référence			- 7 %		- 8 %

Ce scénario permet une réduction des consommations par rapport au scénario de référence, en privilégiant l'utilisation d'énergie de récupération via un système très simple.

1 Le bilan est réalisé à l'échelle de l'ensemble des éléments de programme bien que seuls les logements collectifs et la résidence séniors soient concernés par ce mode d'approvisionnement en énergie.

Scénario I : Centrale biomasse

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Centrale biomasse	10 kWhEF/m²	654 MWhEF	0 MWhEP/m²	0 MWhEP
	Gaz	2 kWhEF/m²	145 MWhEF	2 MWhEP/m²	145 MWhEP
ECS	Centrale biomasse	12 kWhEF/m²	769 MWhEF	0 MWhEP/m²	0 MWhEP
	Gaz	3 kWhEF/m²	169 MWhEF	3 MWhEP/m²	169 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	2 kWhEF/m²	145 MWhEF	6 MWhEP/m²	374 MWhEP
Autres usages	Électricité	12 kWhEF/m²	783 MWhEF	31 MWhEP/m²	2 020 MWhEP
Total		40 kWhEF/m²	2 665 MWhEF	41 kWhEP/m²	2 708 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			+ 24 %		- 28 %

Ce scénario présente des consommations en EF supérieures au scénario de base. Cela est lié à des rendements moins performants (bois par rapport au gaz et au ballon thermodynamique). Les consommations en EP sont réduites du fait d'un coefficient de conversion considéré nul pour le bois (lié au cycle carbone du bois).

Scénario J : Géothermie sur nappes superficielles

Postes	Énergie	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	Géothermie	2 kWhEF/m²	111 MWhEF	4 MWhEP/m²	287 MWhEP
	Gaz	2 kWhEF/m²	145 MWhEF	2 MWhEP/m²	145 MWhEP
ECS	Géothermie	2 kWhEF/m²	130 MWhEF	5 MWhEP/m²	334 MWhEP
	Gaz	3 kWhEF/m²	169 MWhEF	3 MWhEP/m²	169 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	Électricité	2 kWhEF/m²	145 MWhEF	6 MWhEP/m²	374 MWhEP
Autres usages	Électricité	12 kWhEF/m²	783 MWhEF	31 MWhEP/m²	2 020 MWhEP
Total		22 kWhEF/m²	1 482 MWhEF	50 kWhEP/m²	3 329 MWhEP

Comparaison au scénario de référence			- 31 %		- 11 %

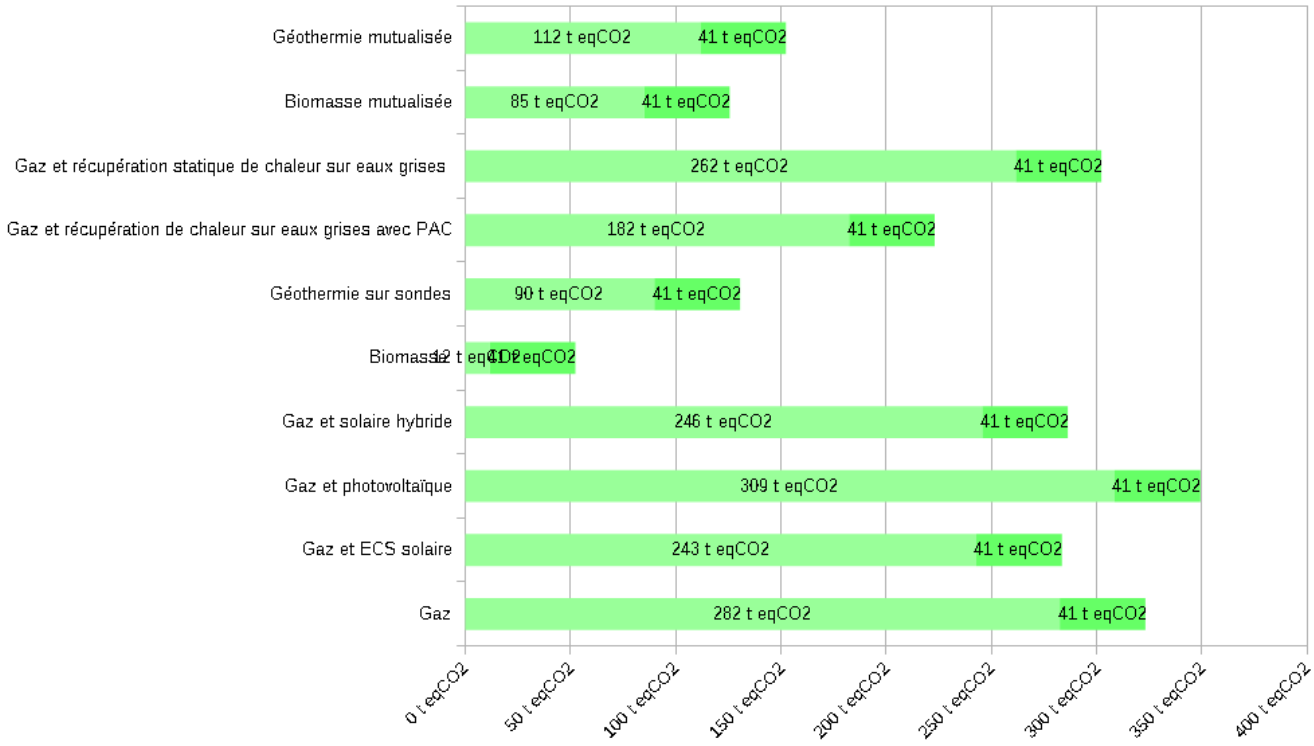
Cette solution permet une réduction significative des consommations en EF. Les consommations en EP sont pénalisées par le coefficient de conversion de l'électricité.

Estimations des impacts environnementaux

Comparaison des scénarios

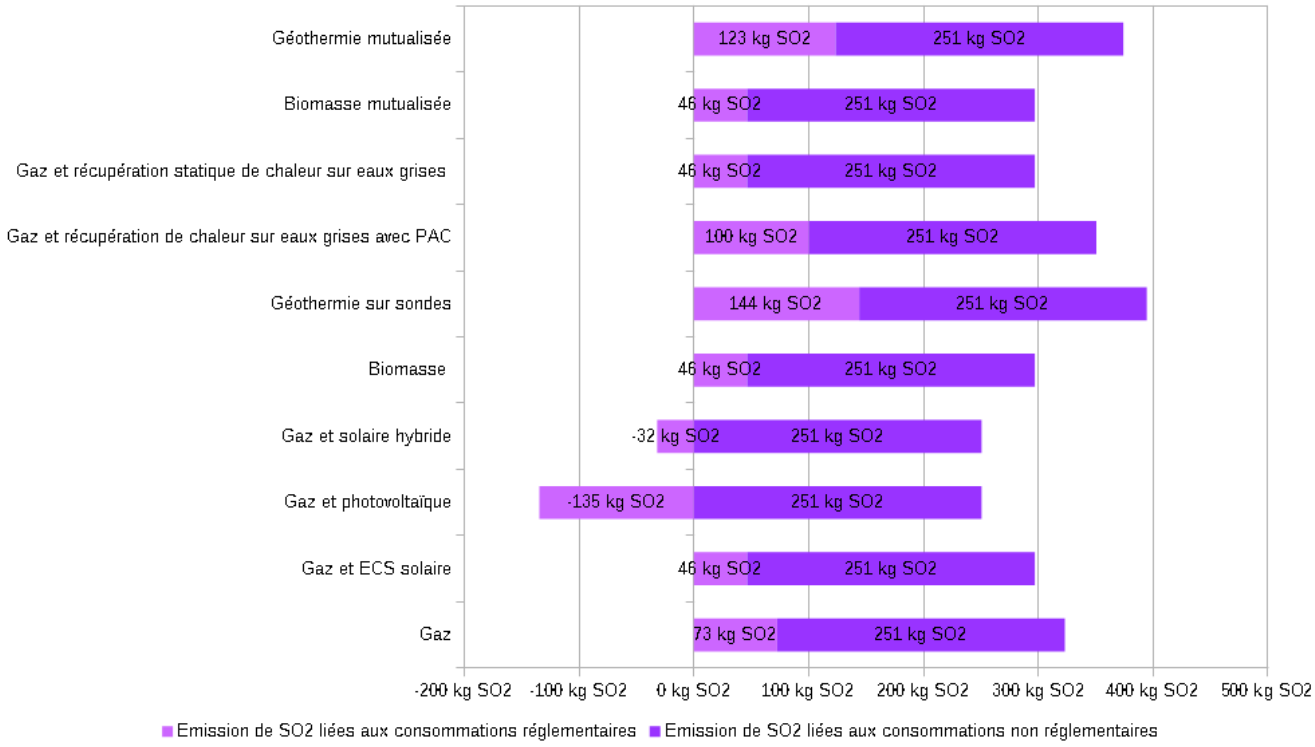
Les graphiques ci-dessous donnent une vision d'ensemble des impacts des différents scénarios étudiés en termes d'émissions polluantes et de production de déchets nucléaires. Le détail par scénario est présenté à la suite.

Emissions de gaz à effet de serre



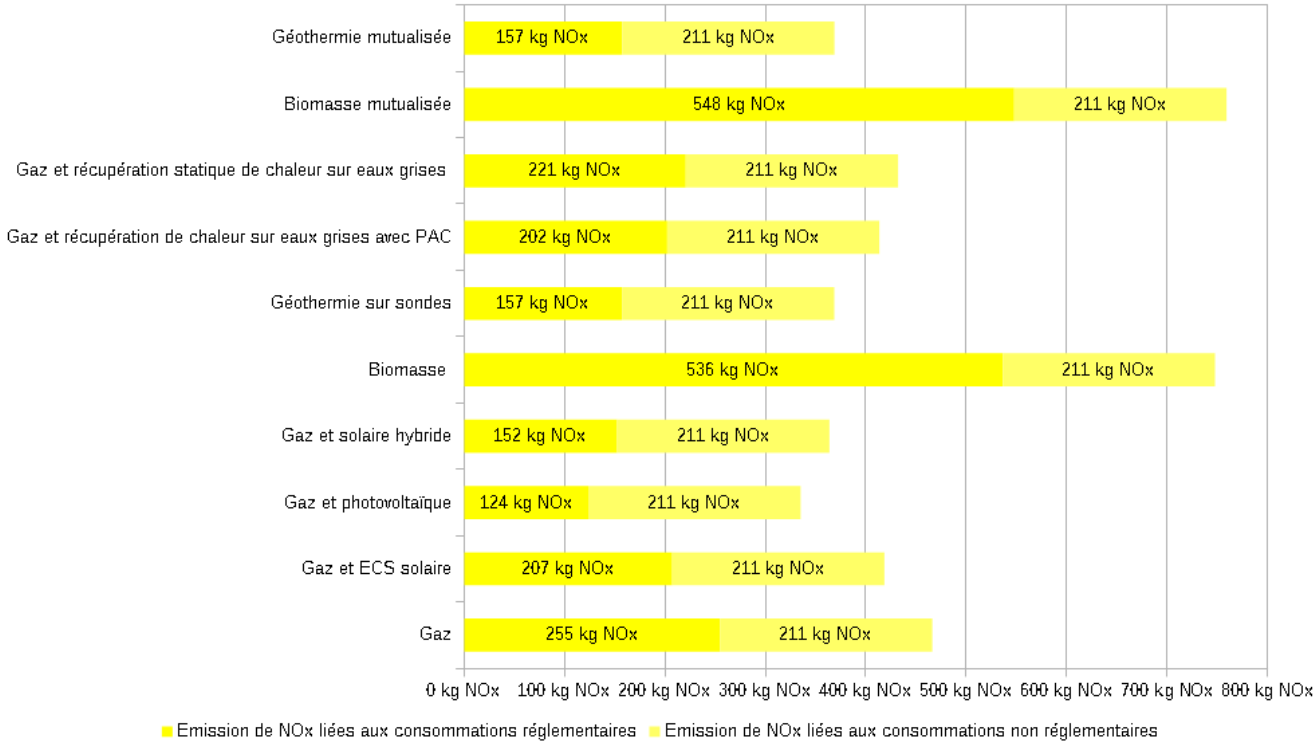
Deux solutions permettent une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre : la géothermie (utilisation de la chaleur du sol) et la biomasse (cyce carbone du bois).

Emissions de SO_2



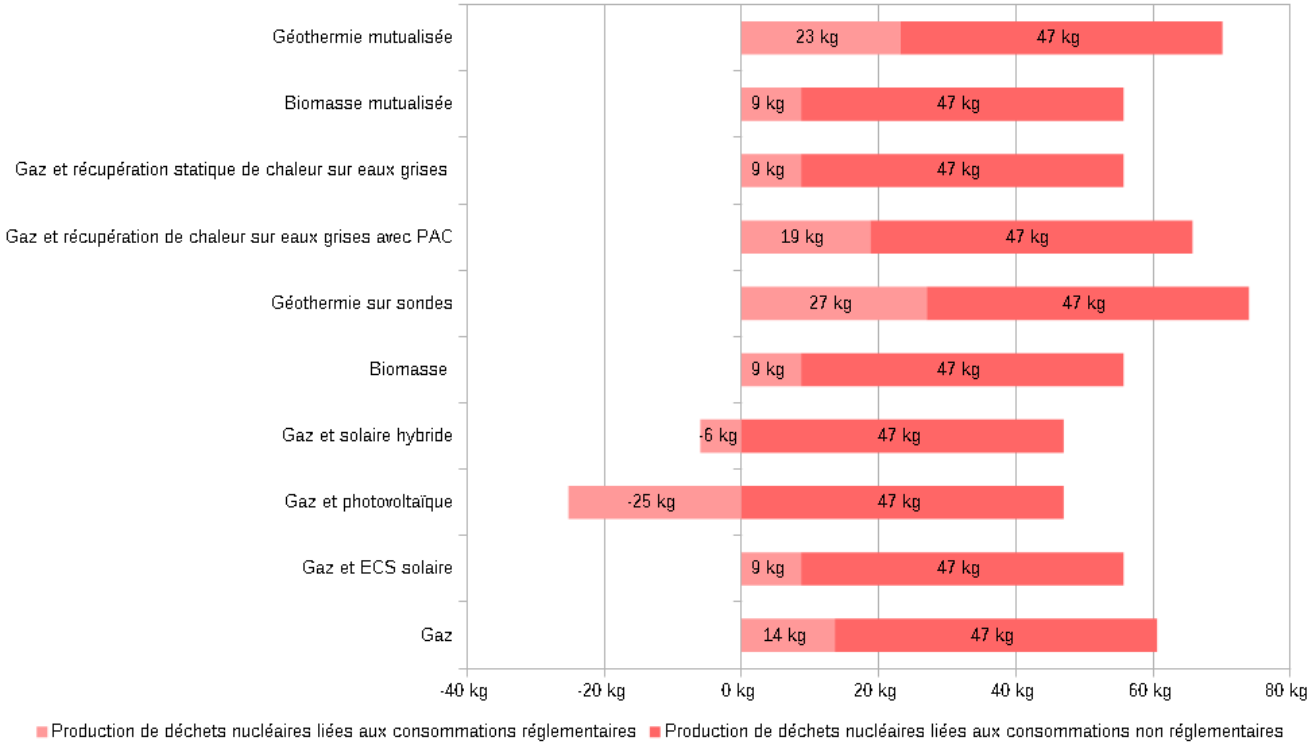
Le scénario photovoltaïque est celui qui a l'impact le plus positif en termes d'émissions de SO_2.

Emissions de NOx



Concernant les émissions de NOx, la solution biomasse ressort comme la plus impactante du fait des fumées. Les réglementations et plans en vigueur, notamment le PPA IDF, établissement des normes et recommandations visant à limiter l'impact des fumées liées aux chaufferies bois.

Production de déchets nucléaires



Le scénario photovoltaïque permet de « compenser » de manière significative la production de déchets nucléaires et ressort comme la solution la moins impactante. Les solutions faisant appel à des PAC électriques (géothermie et récupération de chaleur sur eaux grises avec PAC), présentent le moins bon bilan.

Scénario A : Gaz et ballons thermodynamiques

Postes	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx	Déchets nucléaires
Chaud	151 t eqCO2	0 kg SO2	109 kg NOx	0 kg
ECS	120 t eqCO2	26 kg SO2	106 kg NOx	5 kg
Éclairage et auxiliaires	12 t eqCO2	46 kg SO2	39 kg NOx	9 kg
Autres usages	41 t eqCO2	251 kg SO2	211 kg NOx	47 kg
Total	323 t eqCO2	323 kg SO2	466 kg NOx	61 kg

Ce scénario constitue le scénario de référence auxquels sont comparés les autres scénarios.

Scénario B : Gaz et production solaire thermique

Postes	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx	Déchets nucléaires
Chaud	151 t eqCO2	0 kg SO2	109 kg NOx	0 kg
ECS	80 t eqCO2	0 kg SO2	58 kg NOx	0 kg
Éclairage et auxiliaires	12 t eqCO2	46 kg SO2	39 kg NOx	9 kg
Autres usages	41 t eqCO2	251 kg SO2	211 kg NOx	47 kg
Total	283 t eqCO2	297 kg SO2	419 kg NOx	56 kg

Comparaison au scénario de référence	- 12 %	- 8 %	- 10 %	- 8 %

Ce scénario a une incidence positive sur les émissions de polluants et la production de déchets nucléaires.

Scénario C : Gaz et production photovoltaïque

Postes	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx	Déchets nucléaires
Chaud	151 t eqCO2	0 kg SO2	109 kg NOx	0 kg
ECS	176 t eqCO2	0 kg SO2	128 kg NOx	0 kg
Éclairage et auxiliaires	12 t eqCO2	46 kg SO2	39 kg NOx	9 kg
Autres usages	41 t eqCO2	251 kg SO2	211 kg NOx	47 kg
Photovoltaïque	-29 t eqCO2	-181 kg SO2	-153 kg NOx	-34 kg
Total	349 t eqCO2	116 kg SO2	335 kg NOx	22 kg

Comparaison au scénario de référence	+ 8 %	- 64 %	- 28 %	- 64 %

L'incidence de ce scénario est très positive en termes d'émissions de SO_2 et de production de déchets nucléaires (compensation permise par la production photovoltaïque et remplacement des ballons thermodynamiques par des chaudières gaz).

L'incidence en termes d'émissions de GES est négative (émissions supérieures pour la production d'ECS au gaz des logements individuels et intermédiaires).

Scénario D : Gaz et solaire hybride

Postes	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx	Déchets nucléaires
Chaud	151 t eqCO2	0 kg SO2	109 kg NOx	0 kg
ECS	96 t eqCO2	0 kg SO2	70 kg NOx	0 kg
Éclairage et auxiliaires	12 t eqCO2	46 kg SO2	39 kg NOx	9 kg
Autres usages	41 t eqCO2	251 kg SO2	211 kg NOx	47 kg
Photovoltaïque	-13 t eqCO2	-78 kg SO2	-66 kg NOx	-15 kg
Total	286 t eqCO2	219 kg SO2	364 kg NOx	41 kg

Comparaison au scénario de référence	- 11 %	- 32 %	- 22 %	- 32 %

Comme pour le scénario photovoltaïque, l'incidence de ce scénario est très positive en termes d'émissions de SO_2 et de production de déchets nucléaires (compensation permise par la production photovoltaïque et remplacement des ballons thermodynamiques par des chaudières gaz).

Les émissions de GES sont pénalisées par le passage d'une solution électrique (ballon thermodynamique) à un solution gaz dans les logements individuels. L'incidence sur les émissions de GES reste toutefois positive grâce au recours à l'énergie solaire.

Scénario E : Biomasse

Postes	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx	Déchets nucléaires
Chaud	0 t eqCO2	0 kg SO2	229 kg NOx	0 kg
ECS	0 t eqCO2	0 kg SO2	269 kg NOx	0 kg
Éclairage et auxiliaires	12 t eqCO2	46 kg SO2	39 kg NOx	9 kg
Autres usages	41 t eqCO2	251 kg SO2	211 kg NOx	47 kg
Total	52 t eqCO2	297 kg SO2	748 kg NOx	56 kg

Comparaison au scénario de référence	- 84 %	- 8 %	+ 60 %	- 8 %

L'incidence en termes d'émissions de NO_x est négative en lien avec la production de fumées lors de la combustion du bois.

Le scénario possède une incidence positive sur les émissions en GES, SO_2 et la production de déchets nucléaires.

Scénario F : Géothermie sur sondes

Postes	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx	Déchets nucléaires
Chaud	68 t eqCO2	33 kg SO2	64 kg NOx	6 kg
ECS	10 t eqCO2	64 kg SO2	54 kg NOx	12 kg
Éclairage et auxiliaires	12 t eqCO2	46 kg SO2	39 kg NOx	9 kg
Autres usages	41 t eqCO2	251 kg SO2	211 kg NOx	47 kg
Total	131 t eqCO2	395 kg SO2	369 kg NOx	74 kg

Comparaison au scénario de référence	- 60 %	+ 22 %	- 21 %	+ 22 %

L'incidence de ce scénario est très positive en termes d'émissions de GES.

L'incidence en termes d'émissions de SO_2 et de production de déchets nucléaires est négative (consommations électriques des pompes à chaleur).

Scénario G : Gaz et récupération de chaleur sur eaux grises avec PAC

Postes	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx	Déchets nucléaires
Chaud	151 t eqCO2	0 kg SO2	109 kg NOx	0 kg
ECS	20 t eqCO2	54 kg SO2	53 kg NOx	10 kg
Éclairage et auxiliaires	12 t eqCO2	46 kg SO2	39 kg NOx	9 kg
Autres usages	41 t eqCO2	251 kg SO2	211 kg NOx	47 kg
Total	223 t eqCO2	351 kg SO2	414 kg NOx	66 kg

Comparaison au scénario de référence	- 31 %	+ 8 %	- 11 %	+ 8 %

L'incidence de ce scénario est positive en termes d'émissions de GES.

L'incidence en termes d'émissions de SO_2 et de production de déchets nucléaires est négative (consommations électriques des pompes à chaleur).

Scénario H : Gaz et récupération statique de chaleur sur eaux grises

Postes	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx	Déchets nucléaires
Chaud	151 t eqCO2	0 kg SO2	109 kg NOx	0 kg
ECS	99 t eqCO2	0 kg SO2	72 kg NOx	0 kg
Éclairage et auxiliaires	12 t eqCO2	46 kg SO2	39 kg NOx	9 kg
Autres usages	41 t eqCO2	251 kg SO2	211 kg NOx	47 kg
Total	302 t eqCO2	297 kg SO2	432 kg NOx	56 kg

Comparaison au scénario de référence	- 6 %	- 8 %	- 7 %	- 8 %

Ce scénario possède une incidence positive sur les émissions de polluants et la production de déchets nucléaires, en privilégiant l'utilisation d'énergie de récupération via un système très simple.

Scénario I : Centrale biomasse

Postes	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx	Déchets nucléaires
Chaud	34 t eqCO2	0 kg SO2	234 kg NOx	0 kg
ECS	39 t eqCO2	0 kg SO2	275 kg NOx	0 kg
Éclairage et auxiliaires	12 t eqCO2	46 kg SO2	39 kg NOx	9 kg
Autres usages	41 t eqCO2	251 kg SO2	211 kg NOx	47 kg
Total	126 t eqCO2	297 kg SO2	759 kg NOx	56 kg

Comparaison au scénario de référence	- 61 %	- 8 %	+ 63 %	- 8 %

L'incidence en termes d'émissions de NO_x est négative, en lien avec la production de fumées lors de la combustion du bois.

Le scénario possède une incidence positive sur les émissions en GES, SO_2 et la production de déchets nucléaires.

Scénario J : Géothermie sur nappes superficielles

Postes	Émissions de GES	Émissions de SO2	Émissions de NOx	Déchets nucléaires
Chaud	54 t eqCO2	36 kg SO2	55 kg NOx	7 kg
ECS	46 t eqCO2	41 kg SO2	64 kg NOx	8 kg
Éclairage et auxiliaires	12 t eqCO2	46 kg SO2	39 kg NOx	9 kg
Autres usages	41 t eqCO2	251 kg SO2	211 kg NOx	47 kg
Total	152 t eqCO2	374 kg SO2	369 kg NOx	70 kg

Comparaison au scénario de référence	- 53 %	+ 16 %	- 21 %	+ 16 %

L'incidence de ce scénario est très positive en termes d'émissions de GES.

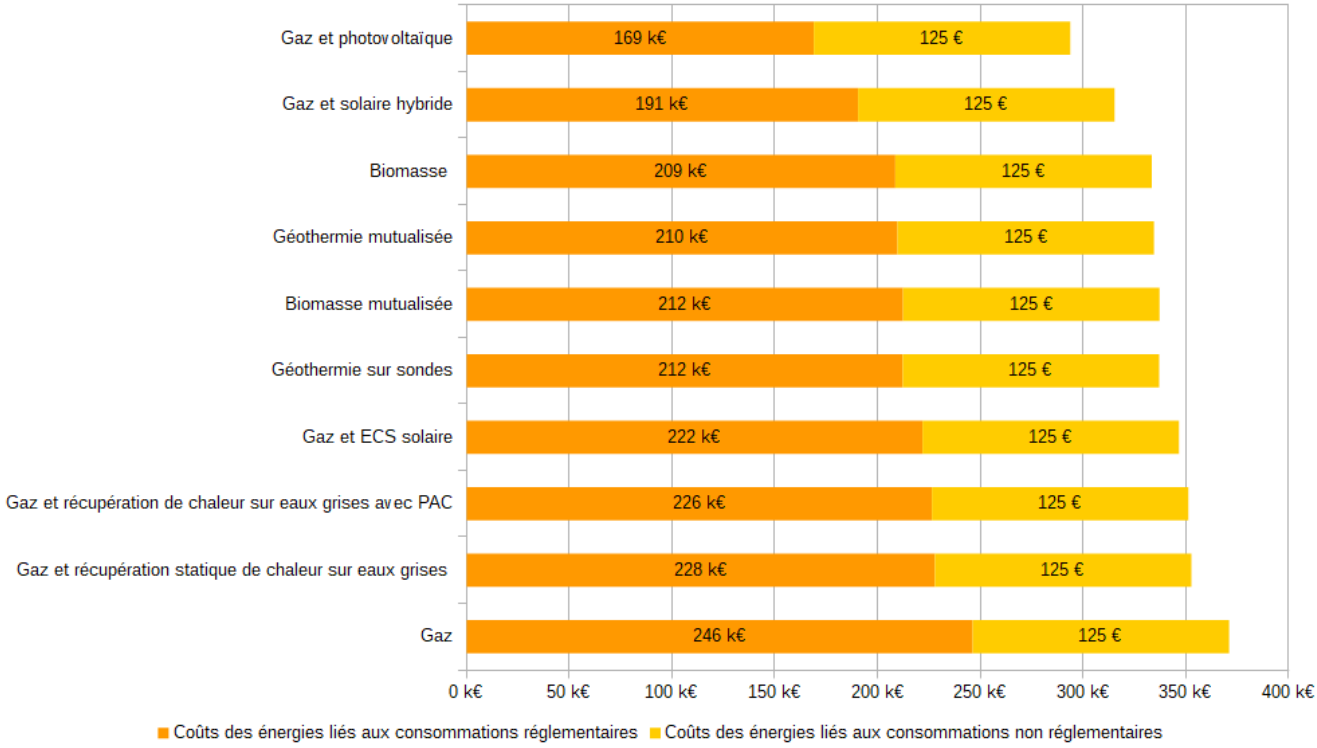
L'incidence en termes d'émissions de SO_2 et de production de déchets nucléaires est négative (consommations électriques des pompes à chaleur).

Estimation des impacts financiers annuels

Comparaison des scénarios

Le graphique ci-dessous donne une vision d'ensemble des impacts financiers[1] des différents scénarios étudiés.

Le détail par scénario est présenté à la suite.



1 Coût annuel des énergies pour l'ensemble des éléments de programme

Poste	Gaz	Gaz et solaire thermique	Gaz et photo-voltaïque	Gaz et solaire hybride	Biomasse	Géothermie sur sondes
Chaud	48 225 €	48 225 €	48 225 €	48 225 €	27 765 €	32 310 €
ECS	50 115 €	25 760 €	56 215 €	30 735 €	32 960 €	31 970 €
Éclairage et auxiliaires	23 135 €	23 135 €	23 135 €	23 135 €	23 135 €	23 135 €
Autres usages	124 815 €	124 815 €	124 815 €	124 815 €	124 815 €	124 815 €
Photovoltaïque			-83 375 €	-36 310 €		
Total	246 290 €	221 935 €	169 015 €	190 600 €	208 675 €	212 230 €

Comparaison au scénario de référence	0 %	- 10 %	- 31 %	- 23 %	- 15 %	- 14 %

Poste	Gaz	Gaz et récupération de chaleur sur eaux grises avec PAC	Gaz et récupération statique de chaleur sur eaux grises	Centrale biomasse	Géothermie sur nappes superficielles
Chaud	48 225 €	48 225 €	48 225 €	29 665 €	28 550 €
ECS	50 115 €	30 320 €	31 760 €	34 795 €	33 280 €
Éclairage et auxiliaires	23 135 €	23 135 €	23 135 €	23 135 €	23 135 €
Autres usages	124 815 €	124 815 €	124 815 €	124 815 €	124 815 €
Total	246 290 €	226 495 €	227 935 €	212 410 €	209 780 €

Comparaison au scénario de référence	0 %	- 8 %	- 7 %	- 14 %	- 15 %

L'ensemble des scénarios étudiés présente un bilan annuel financier plus intéressant que le scénario de référence.

Le scénario qui ressort est la solution photovoltaïque avec 25 % d'économie réalisé.

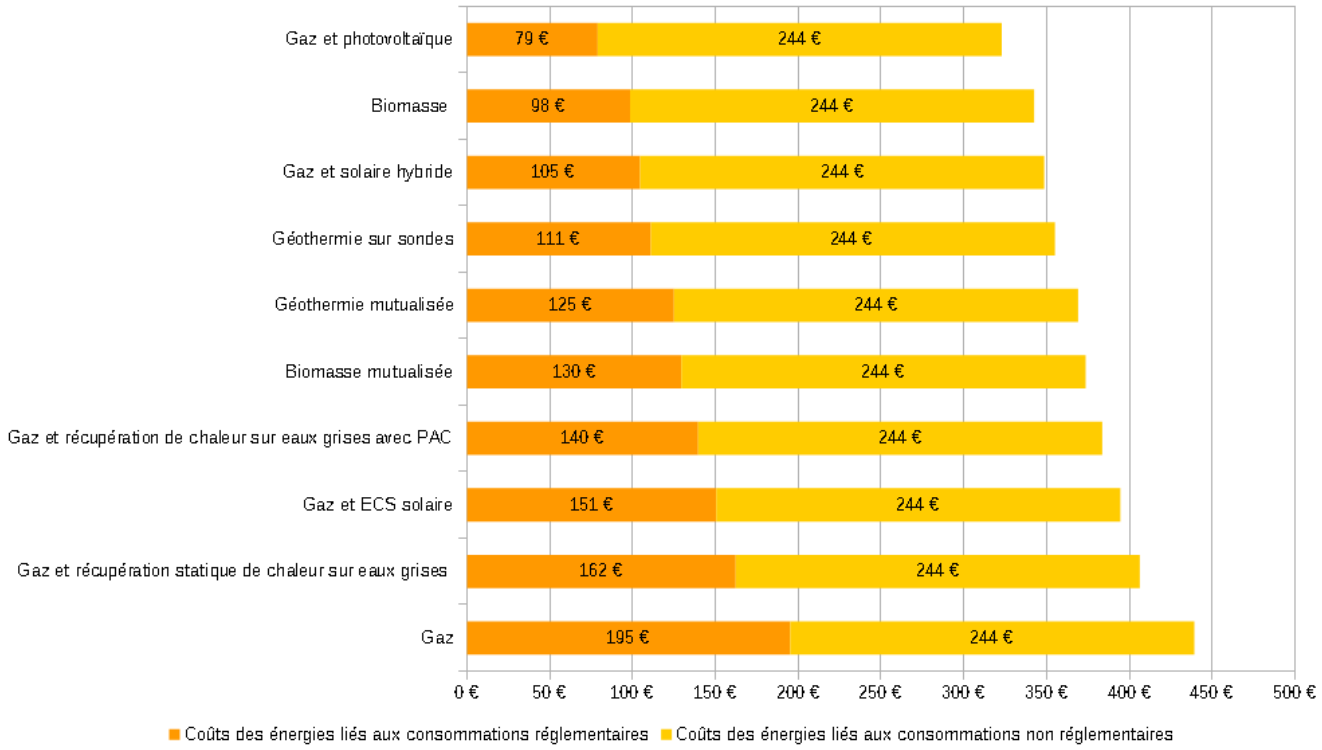
Le scénario solaire hybride, alliant revente de l'électricité photovoltaïque et production d'ECS solaire, possède également un très bon bilan financier.

Comparaison des scénarios par typologie

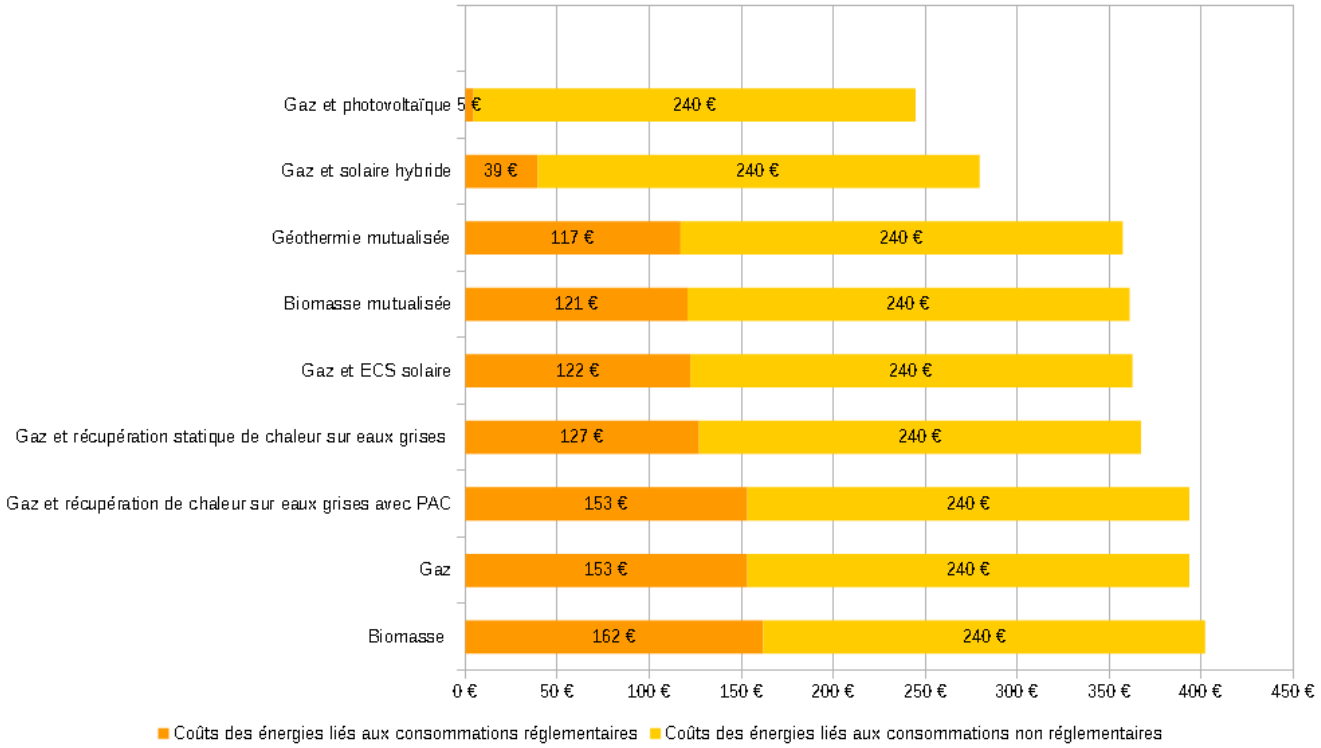
Les graphiques ci-après présentent les résultats des impacts des différents scénarios en termes de charges financières annuelles pour les différentes typologies.

Pour les logements collectifs, intermédiaires et individuels et pour la résidence séniors, les résultats sont présentés en termes de charges financières annuelles par logement.

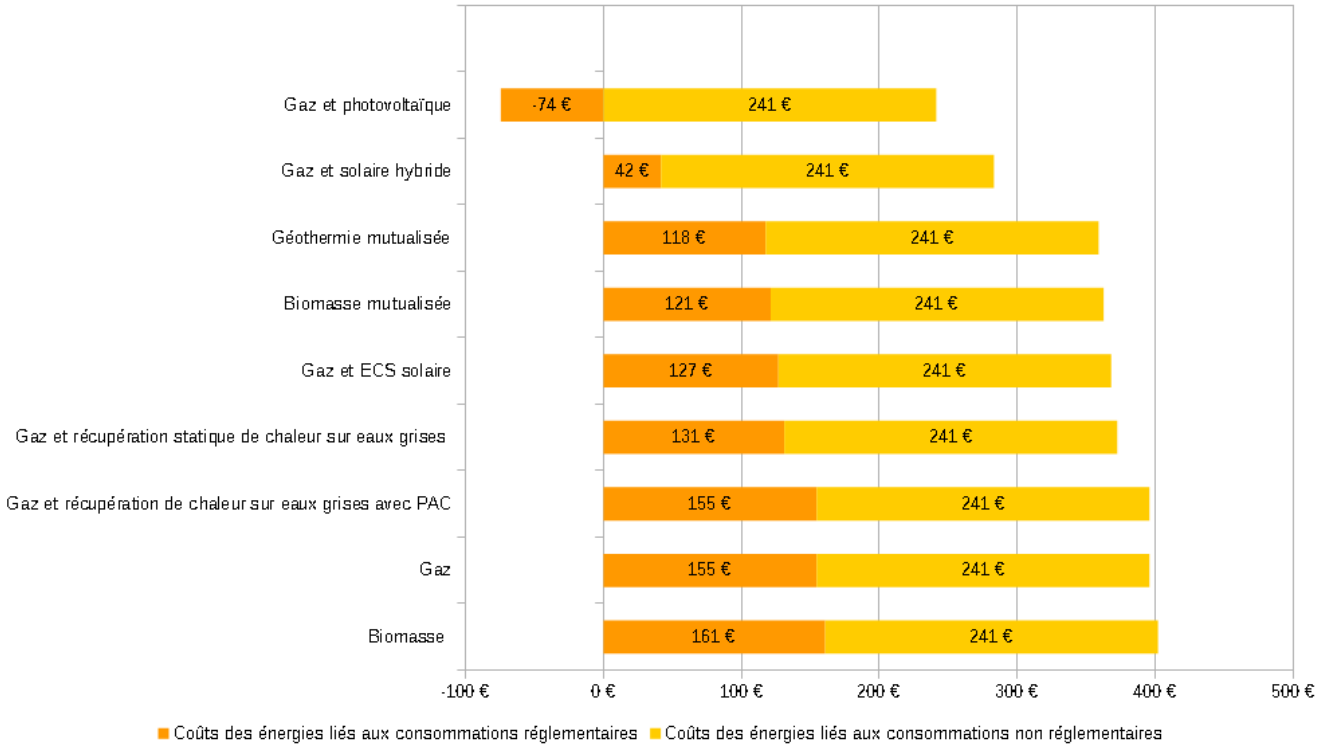
Logements collectifs



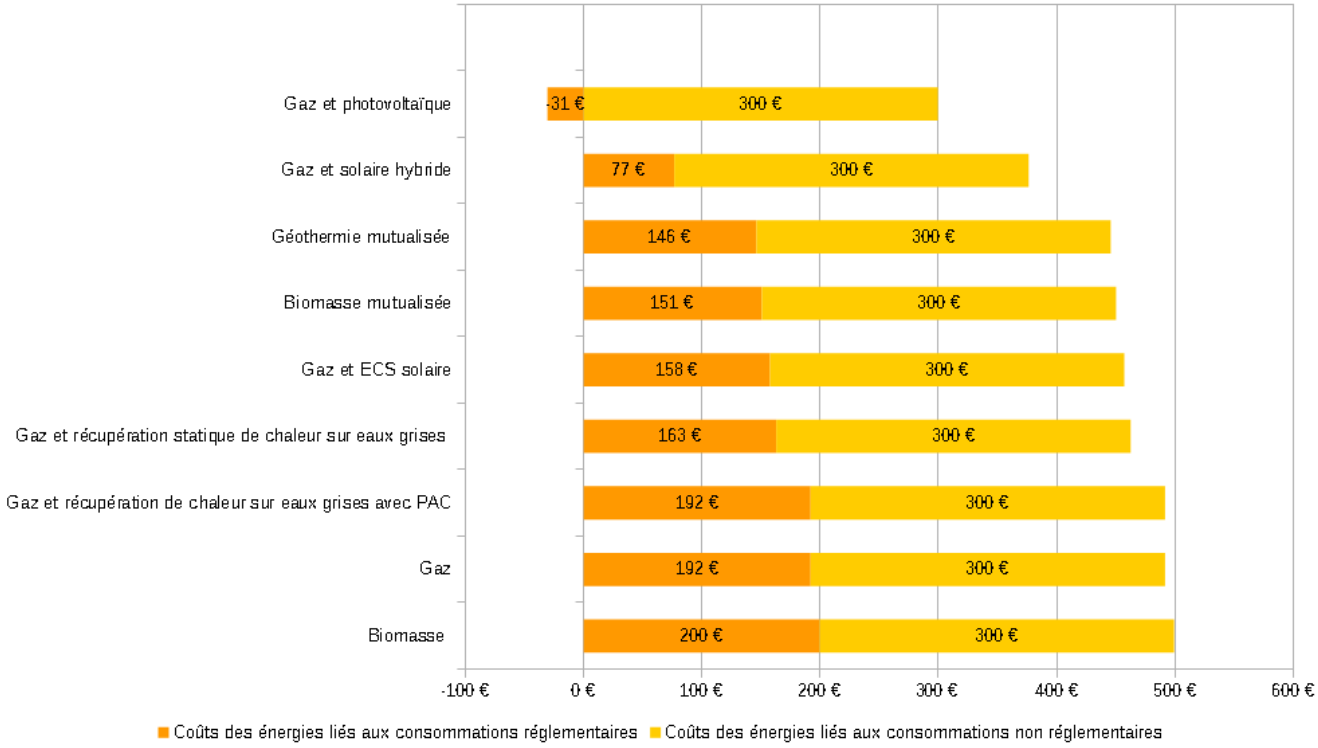
Logements intermédiaires



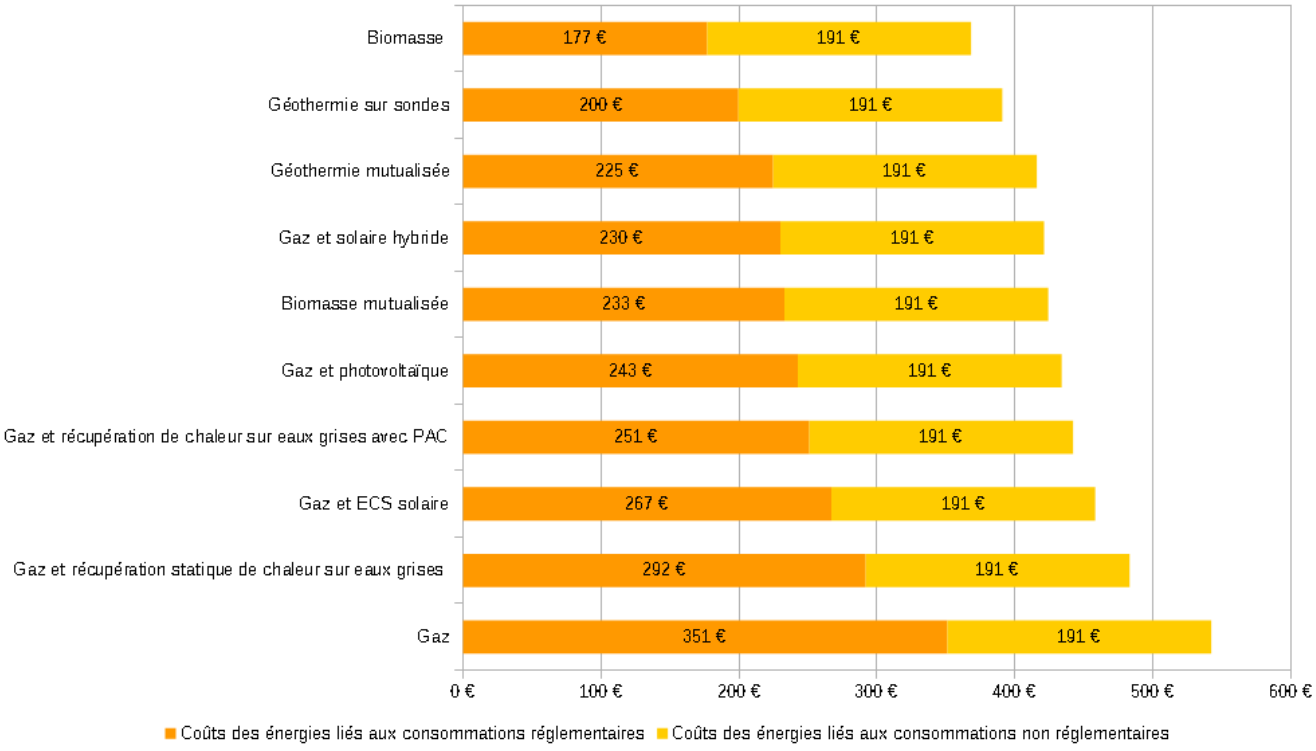
Logements individuels



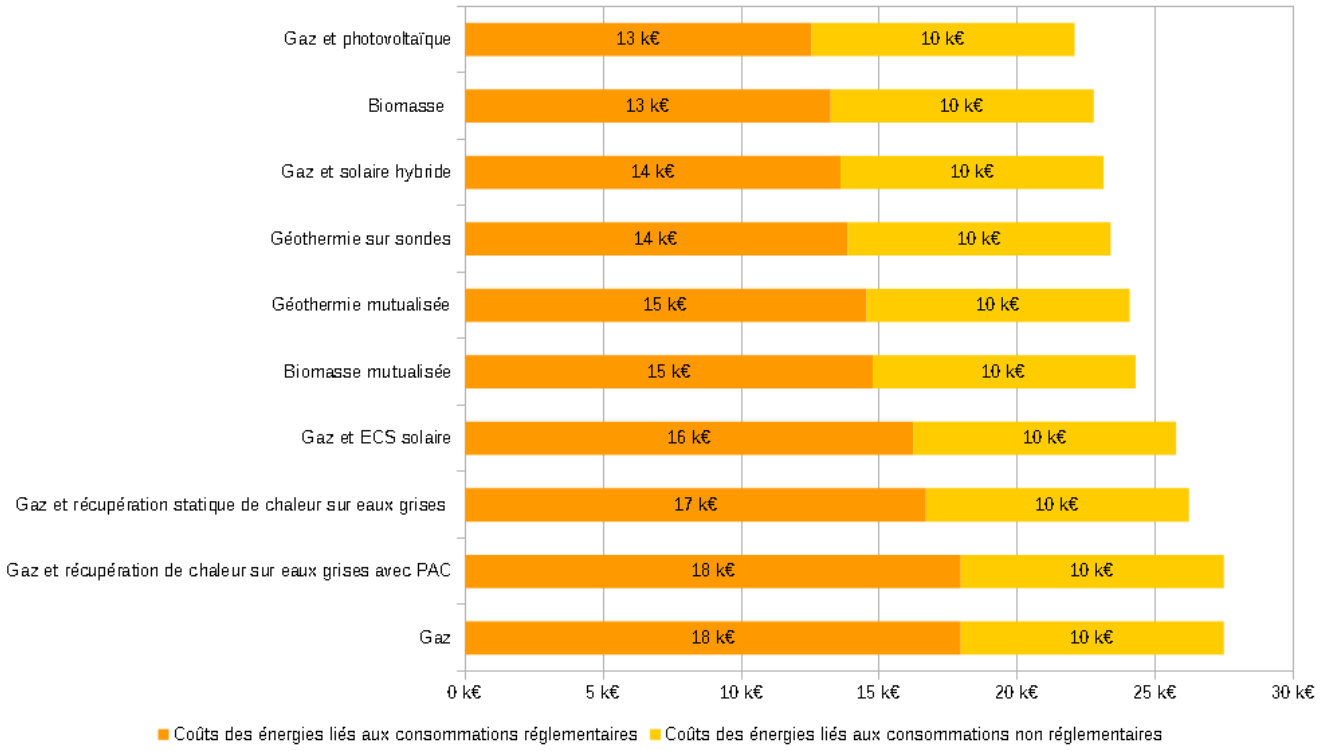
Logements individuels (lots libres)



Résidence séniors

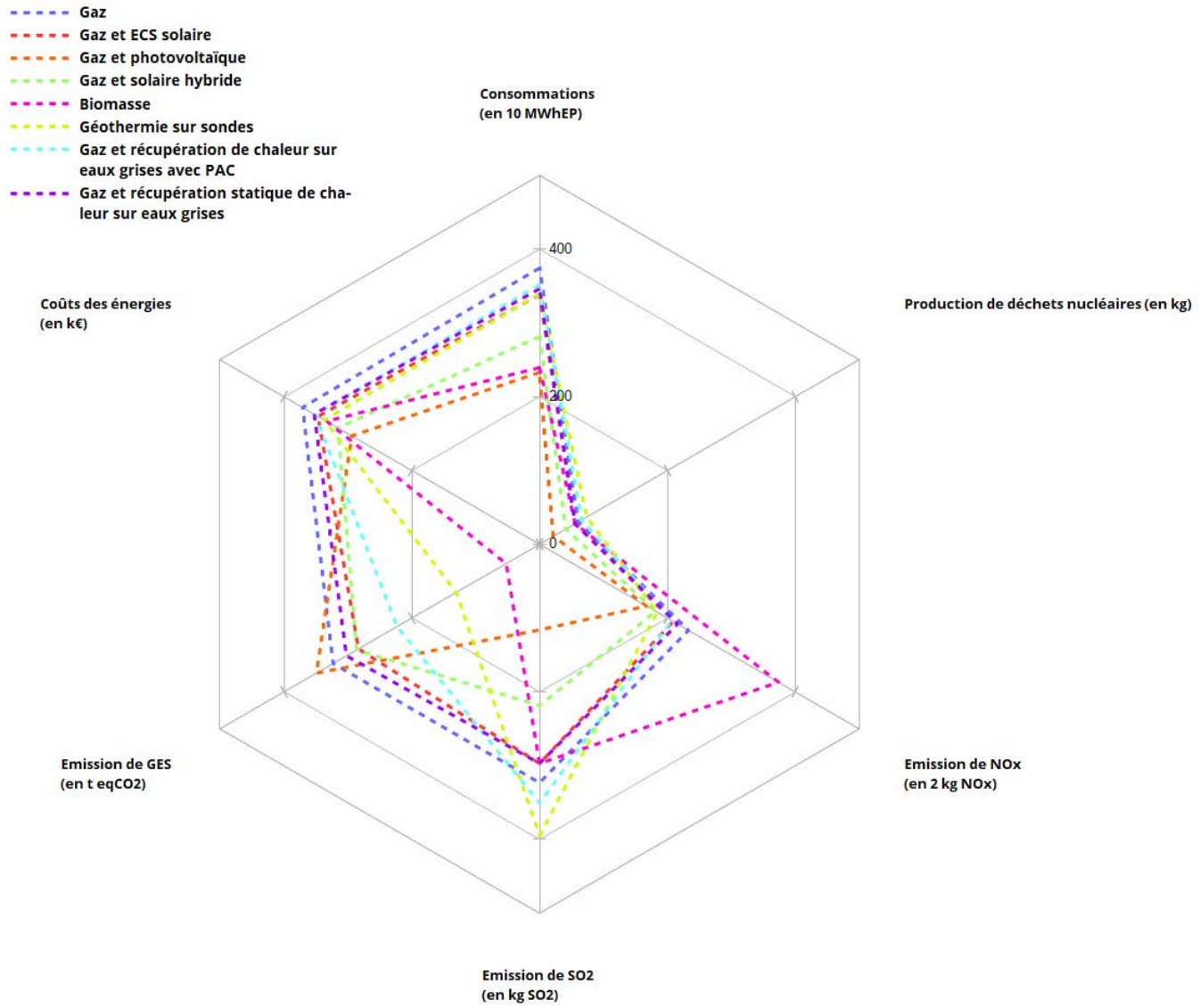


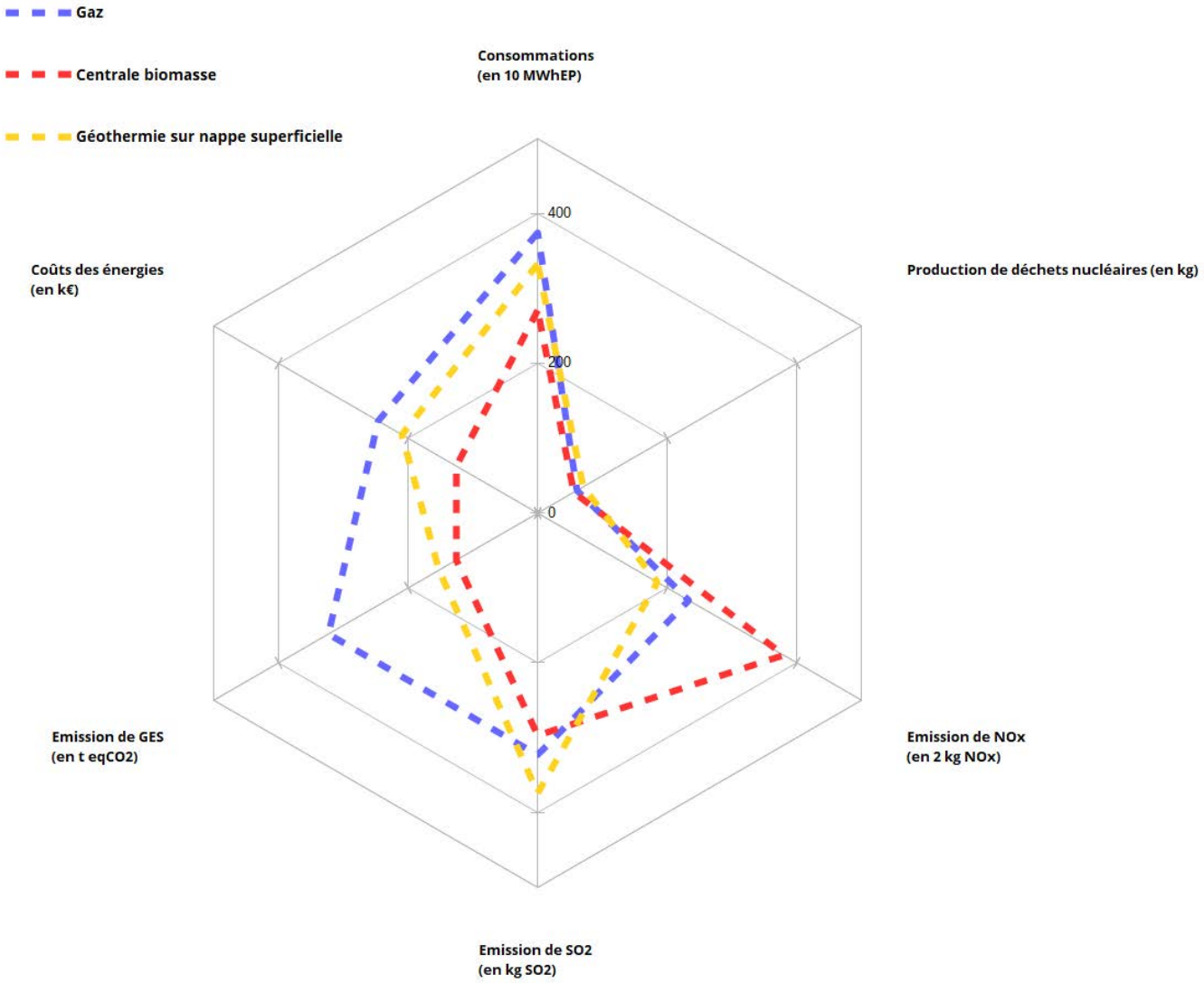
Groupe scolaire et équipement sportif



Graphiques récapitulatifs

Les graphiques ci-après résument les incidences des différents scénarios sur l'environnement et sur les coûts annuels.




Gaz
Centrale biomasse
Géothermie sur nappe superficielle
Consommations
(en 10 MWhEP)
400
200
0
Production de déchets nucléaires (en kg)
Emission de NOx
(en 2 kg NOx)
Emission de SO2
(en kg SO2)
Emission de GES
(en t eqCO2)
Coûts des énergies
(en k€)

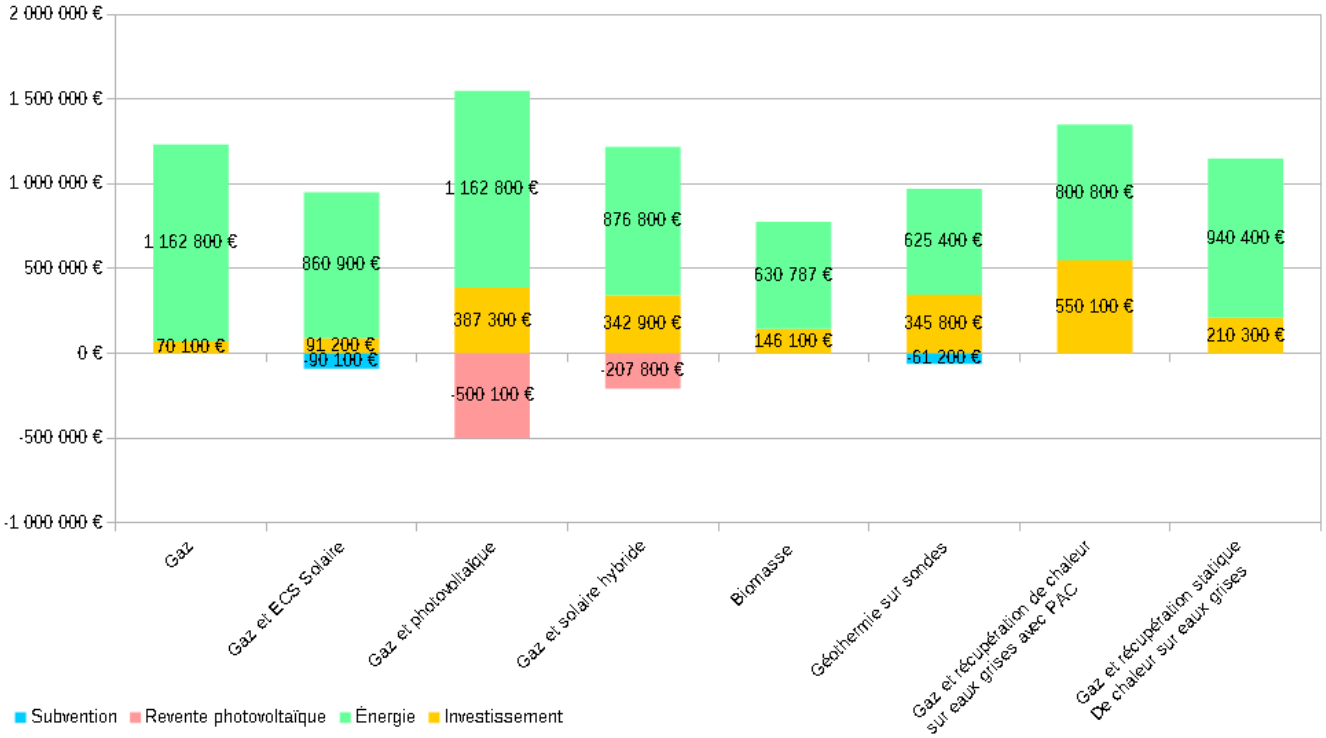
Approche en coût global

Une approche en coûts d'investissement et d'énergie est proposée sur 25 ans. Elle permet de comparer les différents scénarios entre eux.

Logements collectifs

Coûts	Gaz	Gaz et ECS Solaire	Gaz et photovol-taïque	Gaz et solaire hybride	Biomasse	Géothermie sur sondes	Gaz et récu-pération de chaleur sur eaux grises avec PAC	Gaz et récupération statique de chaleur sur eaux grises
Investisse-ment	70 100 €	91 200 €	387 300 €	342 900 €	146 100 €	345 800 €	550 100 €	210 300 €
Énergie	1 162 800 €	860 900 €	1 162 800 €	876 800 €	630 787 €	625 400 €	800 800 €	940 400 €
Revente photovol-taïque			-500 100 €	-207 800 €				
Sub-vention		-90 100 €				-61 200 €		
Total	1 232 900 €	862 000 €	1 050 000 €	1 011 900 €	776 887 €	910 000 €	1 350 900 €	1 150 700 €

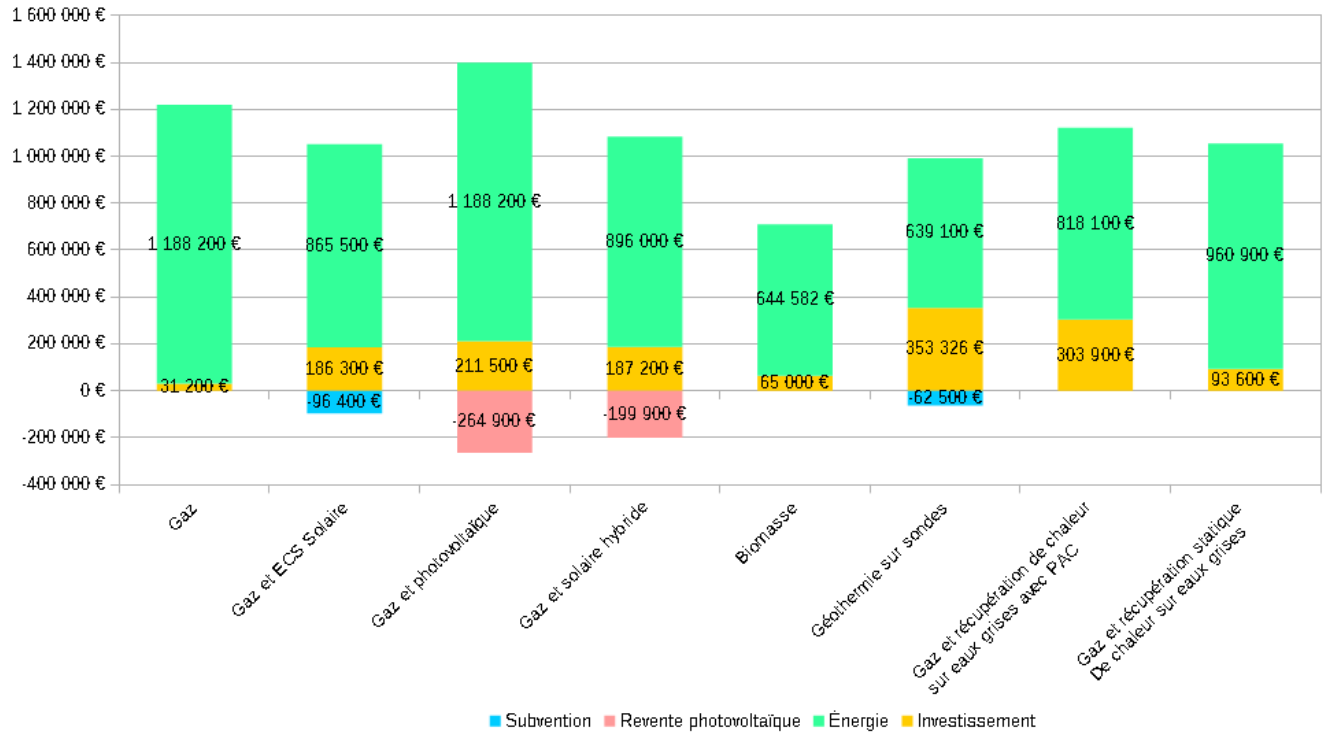
Gain / perte		-30,08%	-14,83%	-17,93%	-36,99%	-26,19%	9,57%	-6,67%
Economie par logement et par an		-84 €	-42 €	-50 €	-104 €	-73 €	27 €	-19 €


2 000 000 €
1 500 000 €
1 000 000 €
500 000 €
0 €
-500 000 €
-1 000 000 €
1 162 800 €
70 100 €
860 900 €
91 200 €
-90 100 €
1 162 800 €
387 300 €
-500 100 €
876 800 €
342 900 €
-207 800 €
630 787 €
146 100 €
625 400 €
345 800 €
-61 200 €
800 800 €
550 100 €
940 400 €
210 300 €
Gaz
Gaz et ECS Solaire
Gaz et photovoltaïque
Gaz et solaire hybride
Biomasse
Géothermie sur sondes
Gaz et récupération de chaleur sur eaux grises avec PAC
Gaz et récupération statique De chaleur sur eaux grises
Subvention
Revente photovoltaïque
Énergie
Investissement

Résidence séniors

Coûts	Gaz	Gaz et ECS Solaire	Gaz et photo-voltaïque	Gaz et solaire hybride	Biomasse	Géothermie sur sondes	Gaz et récupération de chaleur sur eaux grises avec PAC"	Gaz et récupération statique De chaleur sur eaux grises"
Investisse-ment	31 200 €	186 300 €	211 500 €	187 200 €	65 000 €	353 326 €	303 900 €	93 600 €
Énergie	1 188 200 €	865 500 €	1 188 200 €	896 000 €	644 582 €	639 100 €	818 100 €	960 900 €
Revente photo-voltaïque			-264 900 €	-199 900 €				
Sub-vention		-96 400 €				-62 500 €		
Total	1 219 400 €	955 400 €	1 134 800 €	883 300 €	709 582 €	929 926 €	1 122 000 €	1 054 500 €

Gaine / perte	0,00%	-21,65%	-6,94%	-27,56%	-41,81%	-23,74%	-7,99%	-13,52%
Economie par logement et par an		-106 €	-34 €	-134 €	-204 €	-116 €	-39 €	-66 €



Pour les logements collectifs et la résidence séniors, la solution biomasse ressort comme la plus pertinente, avec des économies de plus de 40 %.

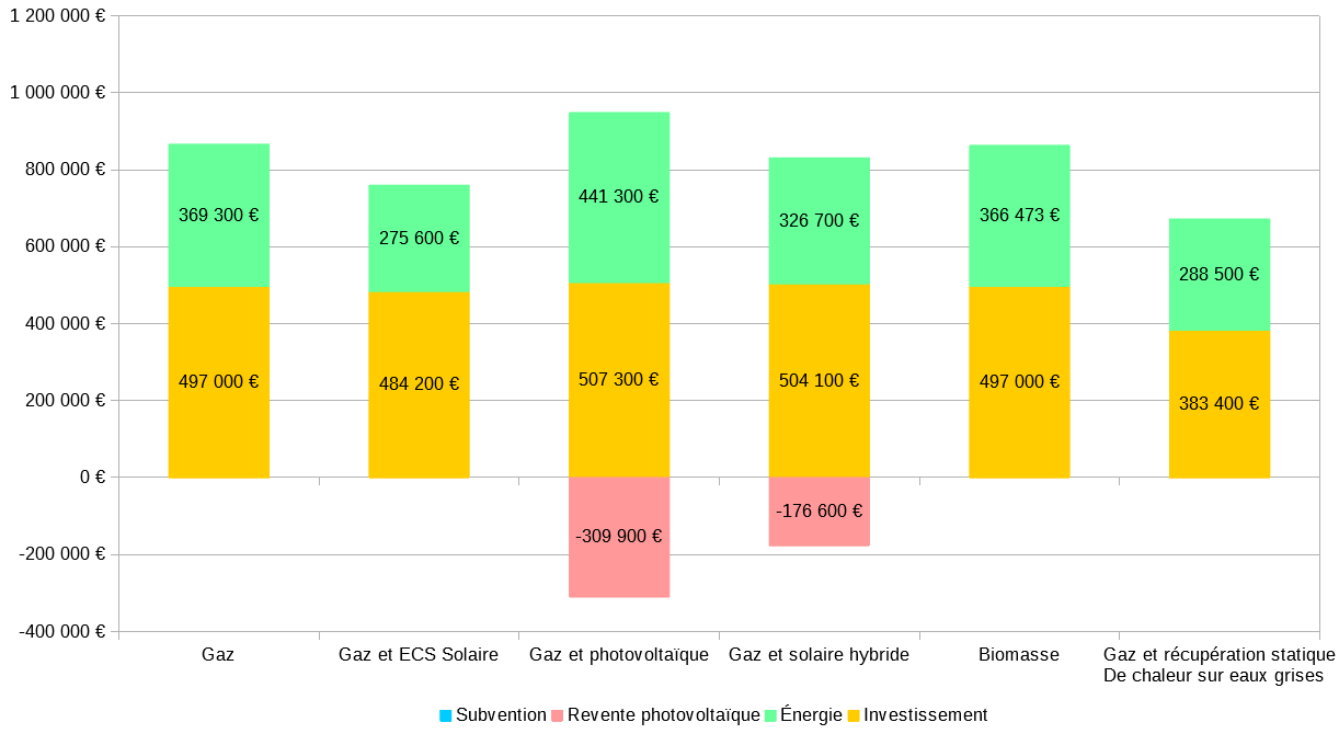
La mise en place de panneaux solaires thermiques ou hybrides est intéressante pour ces bâtiments qui demandent une production d'ECS très importante.

La géothermie sur sondes présentent également un très bon bilan sur 25 ans avec des économies de l'ordre de 25 %. Toutefois, il est à noter que les coûts d'investissement peuvent être très variables en fonction de l'extraction de chaleur assurée par les sondes. Celle-ci dépend de la nature du sous-sol. Des études géotechniques plus poussées doivent donc être effectuées afin de fiabiliser les coûts d'investissement.

Logements intermédiaires

Coûts	Gaz	Gaz et ECS Solaire	Gaz et photovol-taïque	Gaz et solaire hybride	Biomasse	Gaz et récupération statique de chaleur sur eaux grises
Investissement	497 000 €	484 200 €	507 300 €	504 100 €	497 000 €	383 400 €
Énergie	369 300 €	275 600 €	441 300 €	326 700 €	366 473 €	288 500 €
Revente photovoltaïque			-309 900 €	-176 600 €		
Subvention						
Total	866 300 €	759 800 €	638 700 €	654 200 €	863 473 €	671 900 €

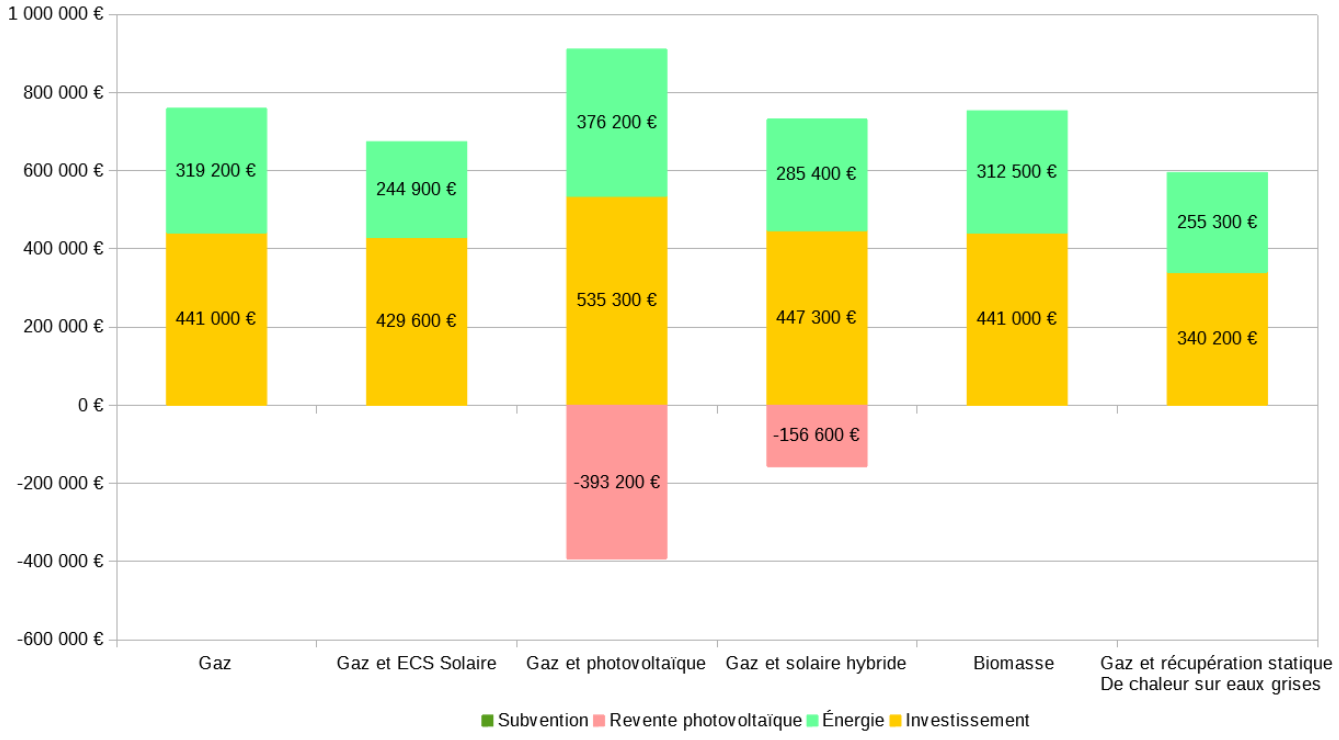
Gain / perte		-12,29%	-26,27%	-24,48%	-0,33%	-22,44%
Economie par logement et par an		-60 €	-128 €	-119 €	-2 €	-110 €



Logements individuels

Coûts	Gaz	Gaz et ECS Solaire	Gaz et photo-voltaïque	Gaz et solaire hybride	Biomasse	Gaz et récupération statique de chaleur sur eaux grises
Investissement	441 000 €	429 600 €	535 300 €	447 300 €	441 000 €	340 200 €
Énergie	319 200 €	244 900 €	376 200 €	285 400 €	312 500 €	255 300 €
Revente photovoltaïque			-393 200 €	-156 600 €		
Subvention						
Total	760 200 €	674 500 €	518 300 €	576 100 €	753 500 €	595 500 €

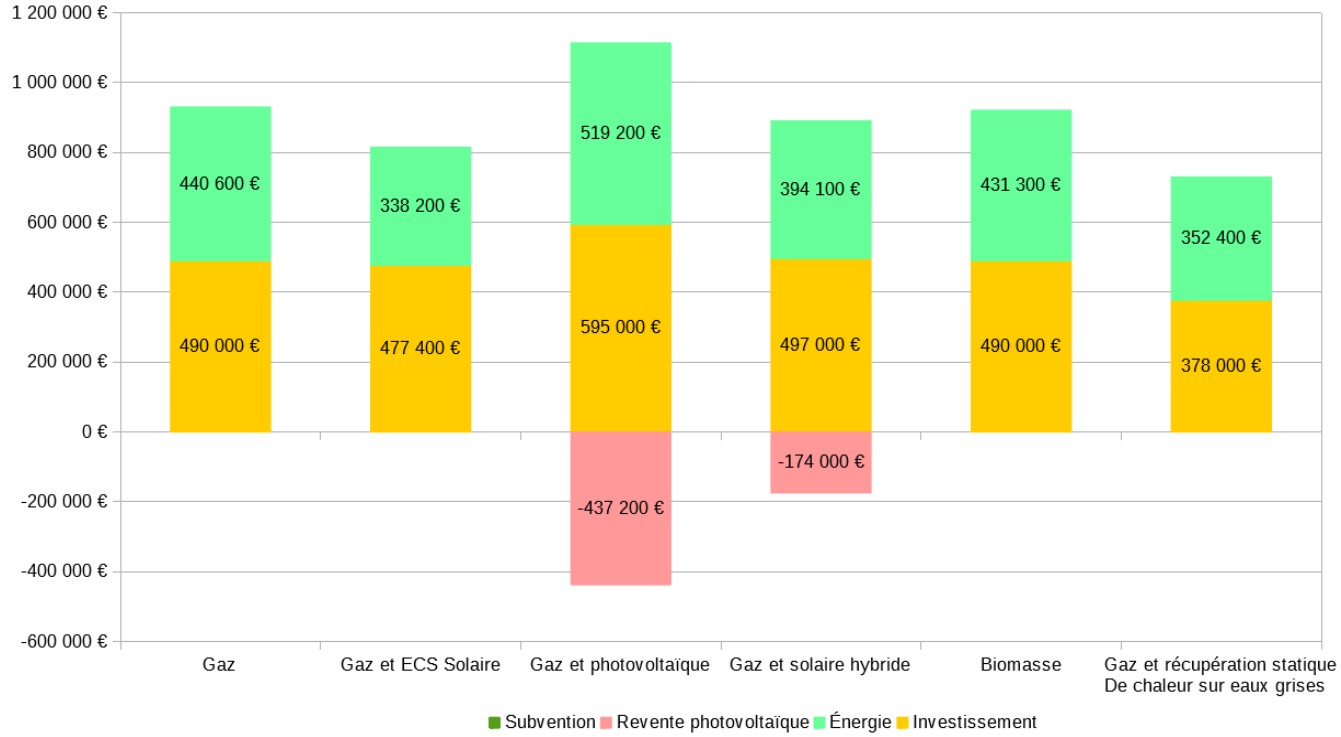
Gain / perte		-11,27%	-31,82%	-24,22%	-0,88%	-21,67%
Economie par logement et par an		-54 €	-154 €	-117 €	-4 €	-105 €



Logements individuels (lots libres)

Coûts	Gaz	Gaz et ECS Solaire	Gaz et photo-voltaïque	Gaz et solaire hybride	Biomasse	Gaz et récupération statique de chaleur sur eaux grises
Investissement	490 000 €	477 400 €	595 000 €	497 000 €	490 000 €	378 000 €
Énergie	440 600 €	338 200 €	519 200 €	394 100 €	431 300 €	352 400 €
Revente photovoltaïque			-437 200 €	-174 000 €		
Subvention						
Total	930 600 €	815 600 €	677 000 €	717 100 €	921 300 €	730 400 €

Gain / perte		-12,36%	-27,25%	-22,94%	-1,00%	-21,51%
Economie par logement et par an		-66 €	-145 €	-122 €	-5 €	-114 €



Les logements individuels et intermédiaires doivent, en cohérence avec la RT2012, mettre en place a minima le recours à une énergie renouvelable. Dans le scénario de référence, les logements sont dotés de ballons thermodynamiques pour répondre à cette réglementation. Dans les autres scénarios envisagés qui font appel à l'énergie solaire, la biomasse ou la récupération de chaleur, les ballons thermodynamiques ne sont plus nécessaires et sont supprimés. Cette suppression représente une première source d'économie pour l'ensemble des scénarios.

Pour ces logements, la solution photovoltaïque ressort comme la plus pertinente.

Grâce à 7 m² de panneaux photovoltaïques par logement intermédiaire, la solution permet de réaliser environ 130 € d'économie par an et par logement.

Grâce à 13 m² de panneaux photovoltaïques par logement individuel, la solution permet de réaliser environ 150 € d'économie par an et par logement.

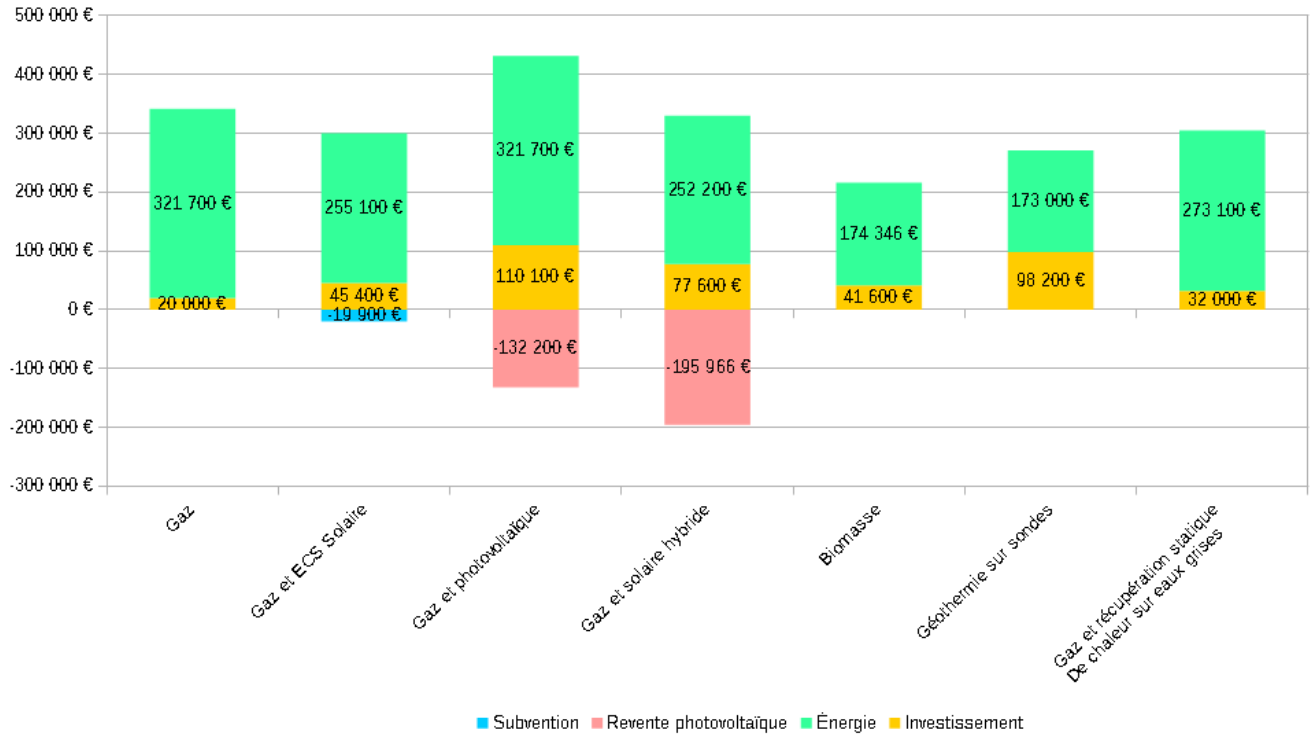
De telles économies s'expliquent par le fait que les installations envisagées pour ces logements sont de petites installations (moins de 3 kWc) qui bénéficient de tarifs de rachat de l'électricité photovoltaïque particulièrement intéressants.

La solution récupération de chaleur sur eaux grises permet des économies de plus de 100 € par an et par logement. Cette solution possède l'avantage d'être simple à mettre en œuvre et à entretenir.

Groupe scolaire et équipement sportif

Coûts	Gaz	Gaz et ECS Solaire	Gaz et photo-voltaïque	Gaz et solaire hybride	Biomasse	Géothermie sur sondes	Gaz et récupération statique de chaleur sur eaux grises"
Investisse-ment	20 000 €	45 400 €	110 100 €	77 600 €	41 600 €	98 200 €	32 000 €
Énergie	321 700 €	255 100 €	321 700 €	252 200 €	174 346 €	173 000 €	273 100 €
Revente photo-voltaïque			-132 200 €	-62 317 €			
Sub-vention		-19 900 €					
Total	341 700 €	280 600 €	299 600 €	267 483 €	215 946 €	271 200 €	305 100 €

Gaine / perte		-17,88%	-12,32%	-21,72%	-36,80%	-20,63%	-10,71%



Pour le bâtiment accueillant le groupe scolaire et l'équipement sportif, la solution la plus pertinente est la biomasse. Elle permet des économies de plus de 35 %.

Les solutions solaires thermiques et hybrides sont également intéressantes pour le groupe scolaire et l'équipement sportif qui possèdent des besoins en ECS importants en lien avec la présence d'un restaurant scolaire et de sanitaires/douches. Ces solutions permettent des économies d'environ 20 %.

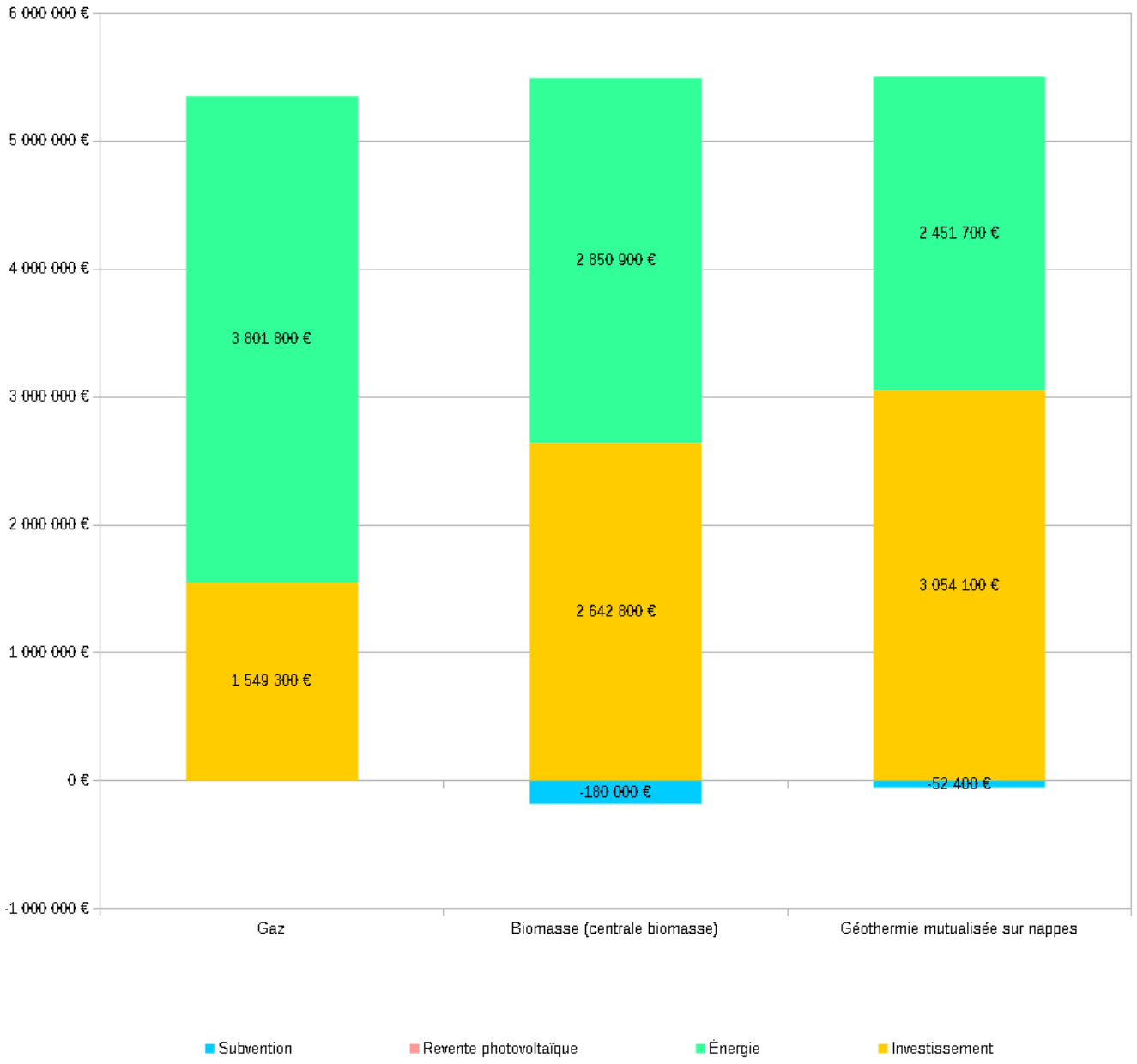
Scénarios mutualisés

Coûts	Gaz	Biomasse (centrale biomasse)	Géothermie mutualisée sur nappes
Investissement	1 549 300 €	2 642 800 €	3 054 100 €
Énergie	3 801 800 €	2 850 900 €	2 451 700 €
Revente photovoltaïque			
Subvention		-180 000 €	-52 400 €
Total	5 351 100 €	5 313 700 €	5 453 400 €

Gaine / perte		-0,70%	1,91%

Comme calculé dans la partie « Potentiel sur le site » page 46, la densité thermique ne permet pas d'assurer la pertinence du développement d'un réseau de chaleur sur le site.

Le calcul en coût global montre également des gains faibles pour la solution biomasse et nuls pour la solution géothermie sur nappe. Les investissements réalisés pour réaliser un réseau de chaleur d'une longueur importante pour desservir l'ensemble des éléments du programme ne sont pas rentabilisé en raison d'une demande en chaleur trop faible sur le site.


6 000 000 €
5 000 000 €
4 000 000 €
3 000 000 €
2 000 000 €
1 000 000 €
0 €
-1 000 000 €
3 801 800 €
1 549 300 €
2 850 900 €
2 642 800 €
-180 000 €
2 451 700 €
3 054 100 €
-52 400 €
Gaz
Biomasse (centrale biomasse)
Géothermie mutualisée sur nappes
Subvention
Revente photovoltaïque
Énergie
Investissement

Scénario exemplaire

Groupe scolaire et équipement sportif

Le programme fixe les objectifs suivants :

- 5 % des besoins électriques couverts par des énergies renouvelables.
- 80 % des besoins en eau chaude sanitaire couverts par des énergies renouvelables.

Afin de répondre à ces objectifs, le scénario exemplaire associe :

- La solution biomasse, permettant de couvrir 100 % des besoins en ECS par une énergie renouvelables.
- La solution photovoltaïque. Elle permet de produire 48 MWh d'électricité, soit une compensation de 14 % des besoins en électricité.

Ce scénario est compatible avec l'atteinte du niveau E3 du label E+C-. En effet, le label fixe un niveau d'énergie de RT - 20 % + Aue_{ref} - $Prod_{ref}$, soit 82 kWhEP/m².an pour le groupe scolaire et 200 kWhEP/m².an pour l'équipement sportif, soit 355 MWhEP/an. D'après les calculs réalisés dans cette étude, ce scénario permet d'atteindre un niveau de 185 MWhEP/an.

Les tableaux suivants présentent les résultats pour le scénario de référence (scénario gaz) et pour le scénario exemplaire.

Postes	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	24 kWhEF/m²	64 MWhEF	24 kWhEP/m²	64 MWhEP
ECS	18 kWhEF/m²	48 MWhEF	18 kWhEP/m²	48 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	23 kWhEF/m²	60 MWhEF	58 kWhEP/m²	155 MWhEP
Autres usages	23 kWhEF/m²	60 MWhEF	58 kWhEP/m²	154 MWhEP
Total	87 kWhEF/m²	232 MWhEF	159 kWhEP/m²	421 MWhEP

Scénario gaz

Postes	Consommation d'énergie finale		Consommation d'énergie primaire	
Chaud	27 kWhEF/m²	72 kWhEF/m²	0 kWhEP/m²	0 MWhEP
ECS	21 kWhEF/m²	55 kWhEF/m²	0 kWhEP/m²	0 MWhEP
Éclairage et auxiliaires	23 kWhEF/m²	60 MWhEF	58 kWhEP/m²	155 MWhEP
Autres usages	23 kWhEF/m²	60 MWhEF	58 kWhEP/m²	154 MWhEP
Photovoltaïque	-18 kWhEF/m²	-48 MWhEF	-47 kWhEP/m²	-124 MWhEP
Total	75 kWhEF/m²	199 MWhEF	70 kWhEP/m²	185 MWhEP

Gain / perte		- 14 %		- 56 %

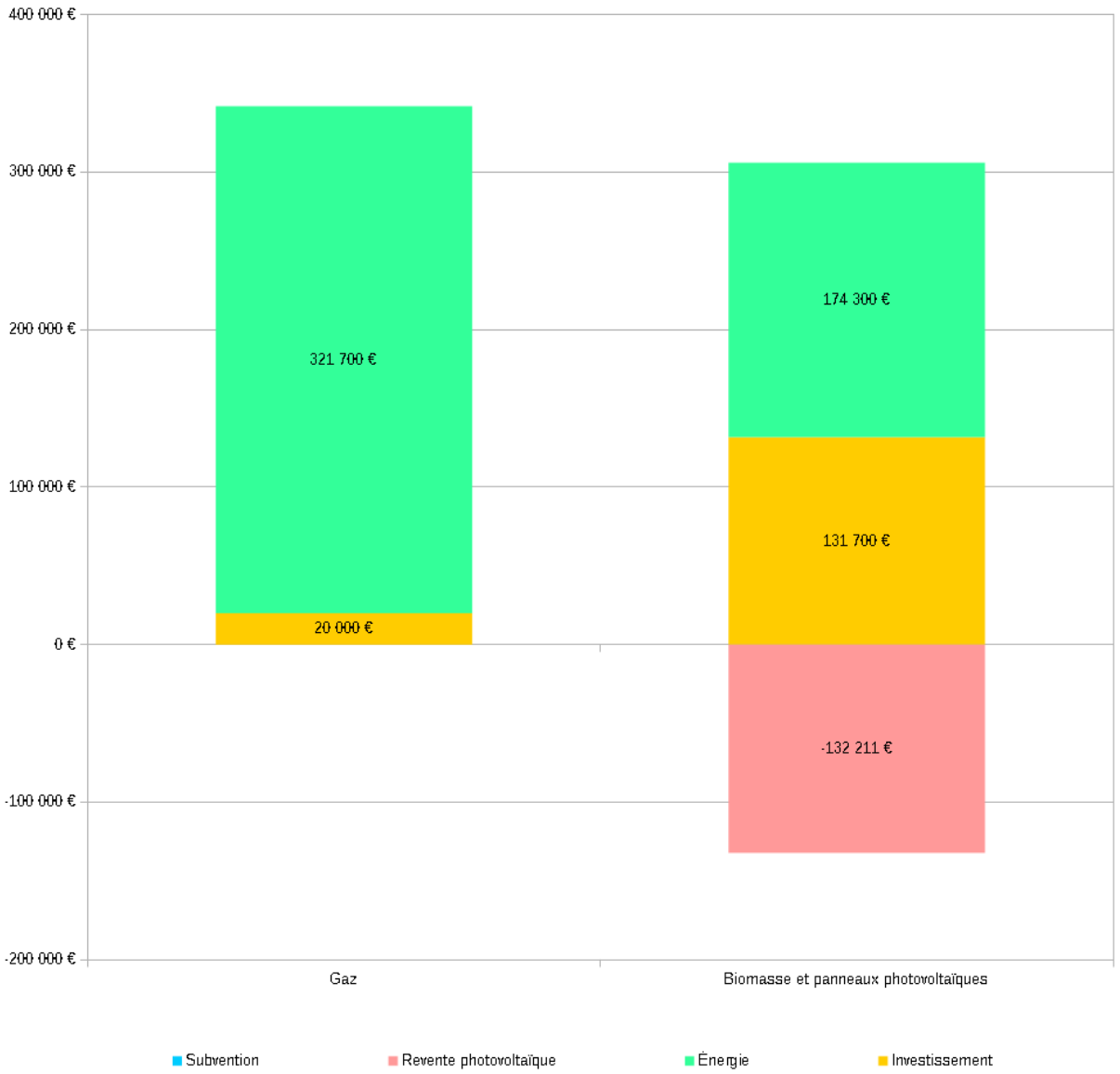
Scénario biomasse et photovoltaïque

Coûts	Gaz	Biomasse et panneaux photovoltaïques
Investissement	20 000 €	131 700 €
Énergie	321 700 €	174 300 €
Revente photovoltaïque		-132 211 €
Subvention		
Total	341 700 €	173 789 €

Gain / perte		-49,14%

Ce scénario demande un investissement plus de 6 fois supérieur à l'investissement réalisé dans le scénario de référence.

Toutefois, les économies réalisées sur 25 ans, sur le coût des énergies permettent d'amortir cet investissement et même de le rentabiliser avec une économie de près de 50 %.



Conclusions

Pertinence des scénarios

Réseau de chaleur

- Faible pertinence du développement d'un réseau de chaleur sur le quartier en raison de la faible densité thermique.

Logements collectifs et résidence séniors

- Solution biomasse la plus adaptée d'après l'étude en coût global. Les contraintes suivantes sont à rappeler : surface et infrastructure nécessaires pour le stockage du combustible, livraison du combustible régulière par route, respect des bonnes pratiques afin de limiter les émissions de polluants (s'équiper d'un appareil performant, utiliser du bois de qualité, entretenir régulièrement son appareil et ses conduits).
- Solutions de production d'ECS solaire (panneaux thermiques ou hybrides) adaptées à cette typologie fortement consommatrice d'ECS.
- Solution géothermie sur sondes intéressante d'après l'étude en coût global. Toutefois, il faut rappeler les contraintes en terme de place pour l'implantation des sondes et la variabilité des coûts d'investissement, très dépendants de la nature du sol.

Logements individuels et intermédiaires

- Solution photovoltaïque particulièrement adaptée à cette typologie qui dispose de surface disponible en toiture importante et de tarifs de rachat de l'électricité particulièrement intéressants (installation photovoltaïque de moins de 3 kWc).
- Solution solaire hybride également très intéressante. La production d'électricité est réduite par rapport à une solution photovoltaïque mais cette solution permet d'assurer une partie de la production d'ECS.

Groupe scolaire et équipement sportif

- Solution biomasse la plus adaptée d'après l'étude en coût global. Les contraintes suivantes sont à rappeler : surface et infrastructure nécessaires pour le stockage du combustible, livraison du combustible régulière par route, respect des bonnes pratiques afin de limiter les émissions de polluants (s'équiper d'un appareil performant, utiliser du bois de qualité, entretenir régulièrement son appareil et ses conduits).
- Solution solaire thermique et hybride également adaptée à cette typologie en raison des besoins en ECS liés au restaurant scolaire et aux douches/ sanitaires de l'équipement sportif.
- Scénario exemplaire demandant un investissement important mais amorti sur 25 ans et compatible avec le niveau E3 du label E+C-.

Espaces publics

- Petit éolien. Solution particulièrement adaptée dans le cadre de la programmation paysagère. Des éoliennes de pompage pour assurer le déplacement de l'eau peuvent être utilisées pour l'arrosage des jardins partagés ou familiaux près du merlon.
- Candélabres fonctionnant à l'énergie solaire photovoltaïque et /ou éolienne dans l'hypothèse où les systèmes utilisés soient compatibles avec le projet de mise en lumière du quartier.
- Route solaire. Le développement de quelques centaines de mètres de route solaire pourrait permettre de couvrir les besoins en éclairage public du futur quartier.
-

Sur base du tableau précédent, un détail des filières pertinentes pour chaque élément de programme a été réalisé et est présenté ci-dessous.

Scénario	Logements individuels	Logements intermédiaires	Logements collectifs	Résidence séniors	Groupe scolaire et équipement sportif
Chaudière Gaz					
Chaudière Gaz + Panneaux solaires thermiques (ECS solaire)			++	++	++
Chaudière Gaz + Panneaux solaires photovoltaïques	++	++			+ Nécessaire pour l'atteinte du niveau E3
Chaudière Gaz + Panneaux solaires hybrides	+	+	++	++	++
Biomasse			++	++	++
Géothermie sur sondes			+	+	
Gaz et récupération statique de chaleur sur eaux grises»					
Biomasse mutualisée					
Géothermie mutualisée					

Solution la plus adaptée
Solution intéressante

Typologie	Recommandations
Toutes typologies dans le cas d'un réseau de chaleur	· Faible pertinence du développement d'un réseau de chaleur sur le quartier en raison de la faible densité thermique.
Logements collectifs et résidence seniors	· Solution biomasse la plus adaptée d'après l'étude en coût global. Les contraintes suivantes sont à rappeler : surface et infrastructure nécessaires pour le stockage du combustible, livraison du combustible régulière par route, respect des bonnes pratiques afin de limiter les émissions de polluants (s'équiper d'un appareil performant, utiliser du bois de qualité, entretenir régulièrement son appareil et ses conduits). · Solutions de production d'ECS solaire (panneaux thermiques ou hybrides) adaptées à cette typologie fortement consommatrice d'ECS. · Solution géothermie sur sondes intéressante d'après l'étude en coût global. Toutefois, il faut rappeler les contraintes en terme de place pour l'implantation des sondes et la variabilité des coûts d'investissement, très dépendants de la nature du sol.
Logements individuels et intermédiaires	· Solution photovoltaïque particulièrement adaptée à cette typologie qui dispose de surface disponible en toiture importante et de tarifs de rachat de l'électricité particulièrement intéressants (installation photovoltaïque de moins de 3 kWc). · Solution solaire hybride également très intéressante. La production d'électricité est réduite par rapport à une solution photovoltaïque mais cette solution permet d'assurer une partie de la production d'ECS.
Groupe scolaire et équipements sportif	· Solution biomasse la plus adaptée d'après l'étude en coût global. Les contraintes suivantes sont à rappeler : surface et infrastructure nécessaires pour le stockage du combustible, livraison du combustible régulière par route, respect des bonnes pratiques afin de limiter les émissions de polluants (s'équiper d'un appareil performant, utiliser du bois de qualité, entretenir régulièrement son appareil et ses conduits). · Solution solaire thermique et hybride également adaptée à cette typologie en raison des besoins en ECS liés au restaurant scolaire et aux douches/sanitaires de l'équipement sportif. · Scénario exemplaire demandant un investissement important mais amorti sur 25 ans et compatible avec le niveau E3 du label E+C-.
Espaces publics	· Petit éolien. Solution particulièrement adaptée dans le cadre de la programmation paysagère. Des éoliennes de pompage pour assurer le déplacement de l'eau peuvent être utilisées pour l'arrosage des jardins partagés ou familiaux près du merlon. · Candélabres fonctionnant à l'énergie solaire photovoltaïque et /ou éolienne dans l'hypothèse où les systèmes utilisés soient compatibles avec le projet de mise en lumière du quartier. · Route solaire. Le développement de quelques centaines de mètres de route solaire pourrait permettre de couvrir les besoins en éclairage public du futur quartier.