



SORéga

Octobre 2022

Étude énergie

Centre ville, Saint-Denis (93)

**TRANS
FAIRE**



environnement + ville

SAS au capital de 100 000 €

SIRET 438 626 491 00049

3 passage Boutet

94110 Arcueil

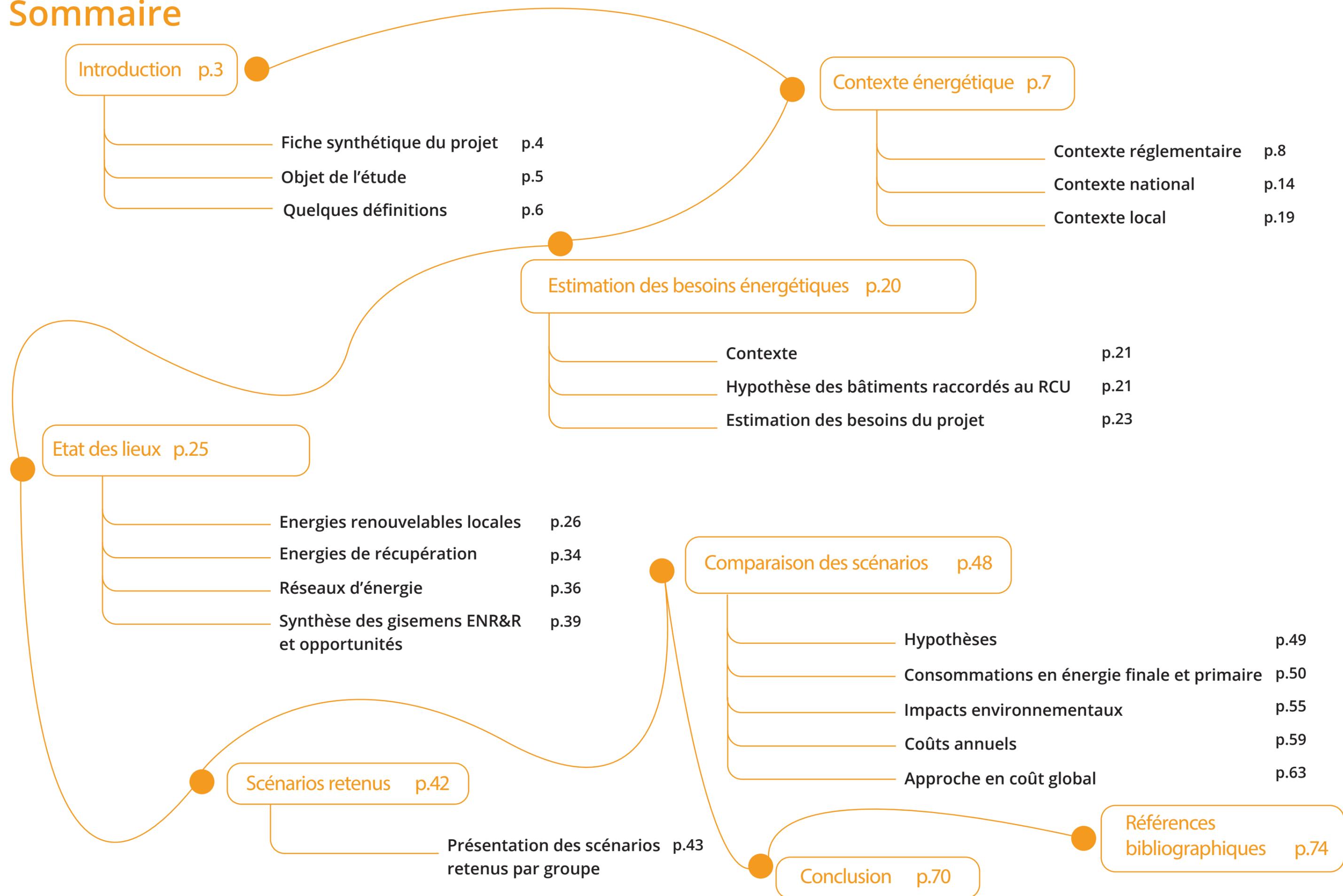
Tél : 01 45 36 15 00

Fax : 01 47 40 11 01

contact@trans-faire.net

www.trans-faire.net

Sommaire



Fiche synthétique du projet

EN BREF

- **Gouvernance**

SOREQA, EPT Plaine Commune Saint-Denis, Ville de Saint-Denis.

- **Localisation**

Centre ville de Saint-Denis (93)

- **Contexte**

L'élaboration des projets est réalisée à l'échelle de chaque îlot, et a pour objectif commun : d'éradiquer l'habitat indigne dans les adresses ciblées, en grande partie dans le centre ancien de la Ville de Saint-Denis, de permettre la construction sur ces îlots déjà urbanisés de diverses typologies de logements (sociaux, accession sociale à la propriété, bail réel solidaire, etc.) et d'apporter une requalification urbaine, patrimoniale et également commerciale.

- **Procédure**

14 opérations sont en cours d'acquisition (4 îlots PNRQAD avenant 3 + 10 îlots du NPNRU).

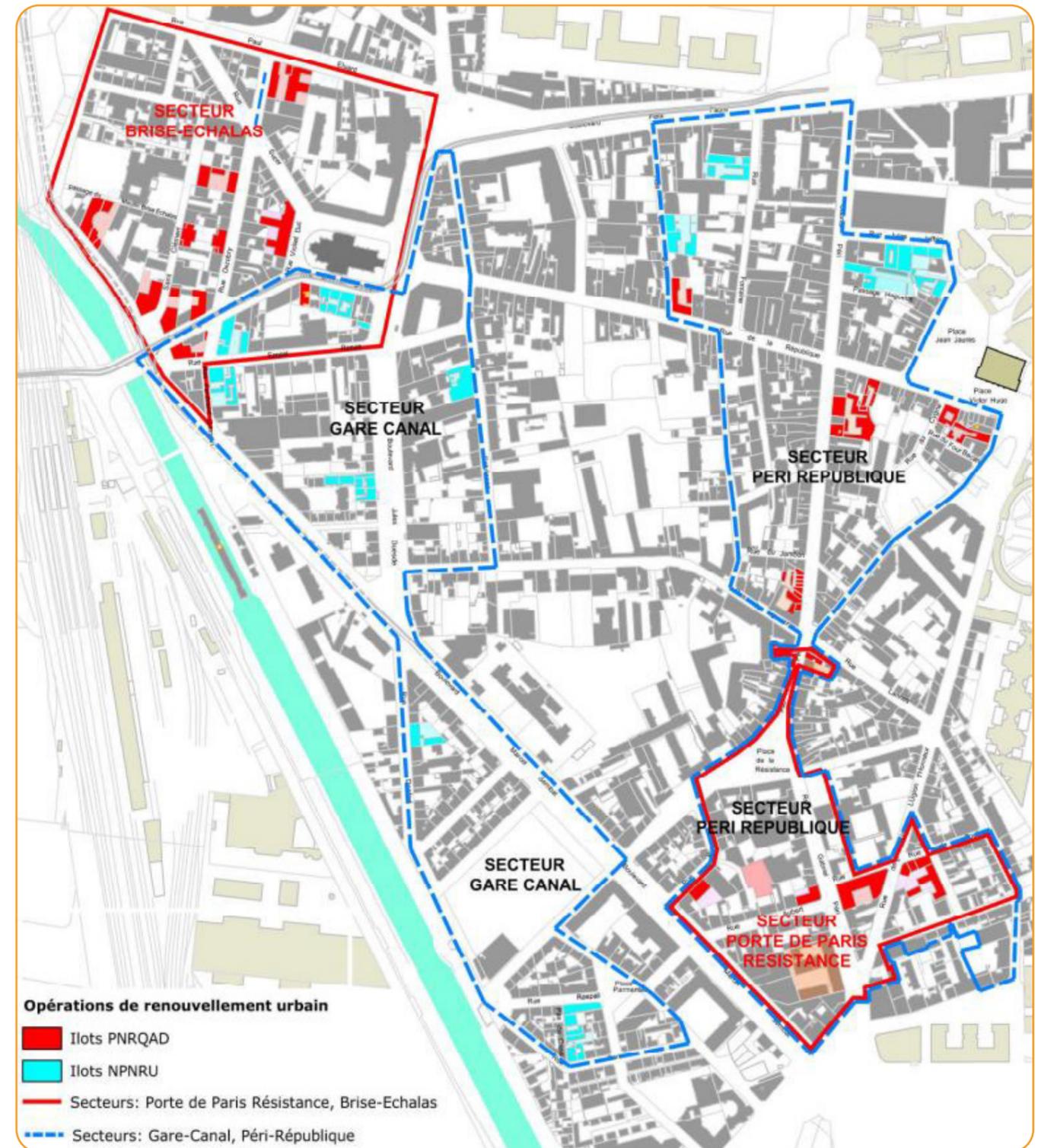
- **Superficie**

1,67 ha cumulés, avec une surface de plancher prévisionnel créée de 29 000 m² au total.

- **Programmation**

Le projet prévoit la démolition/construction et la réhabilitation de 4 typologies :

- Logements neufs
- Logements réhabilités
- Commerces neufs
- Commerces réhabilités



Plan du secteur d'opération intégrant le PNRQAD et le NPNRU (SOREQA, 2022)

Objet de l'étude

Procédure concernée

Les caractéristiques du projet font que celui-ci est soumis à évaluation environnementale au titre de l'article R122-2 du code de l'environnement.

L'article L 300-1 du code de l'urbanisme impose que « 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. »

La présente étude s'inscrit dans ce cadre.

Périmètre de l'étude

L'étude porte sur l'ensemble des éléments du futur programme.

Les process mis en jeu par les futures activités ne sont pas pris en compte pour évaluer la pertinence des différentes filières, ceux-ci n'étant pas connus à ce stade.

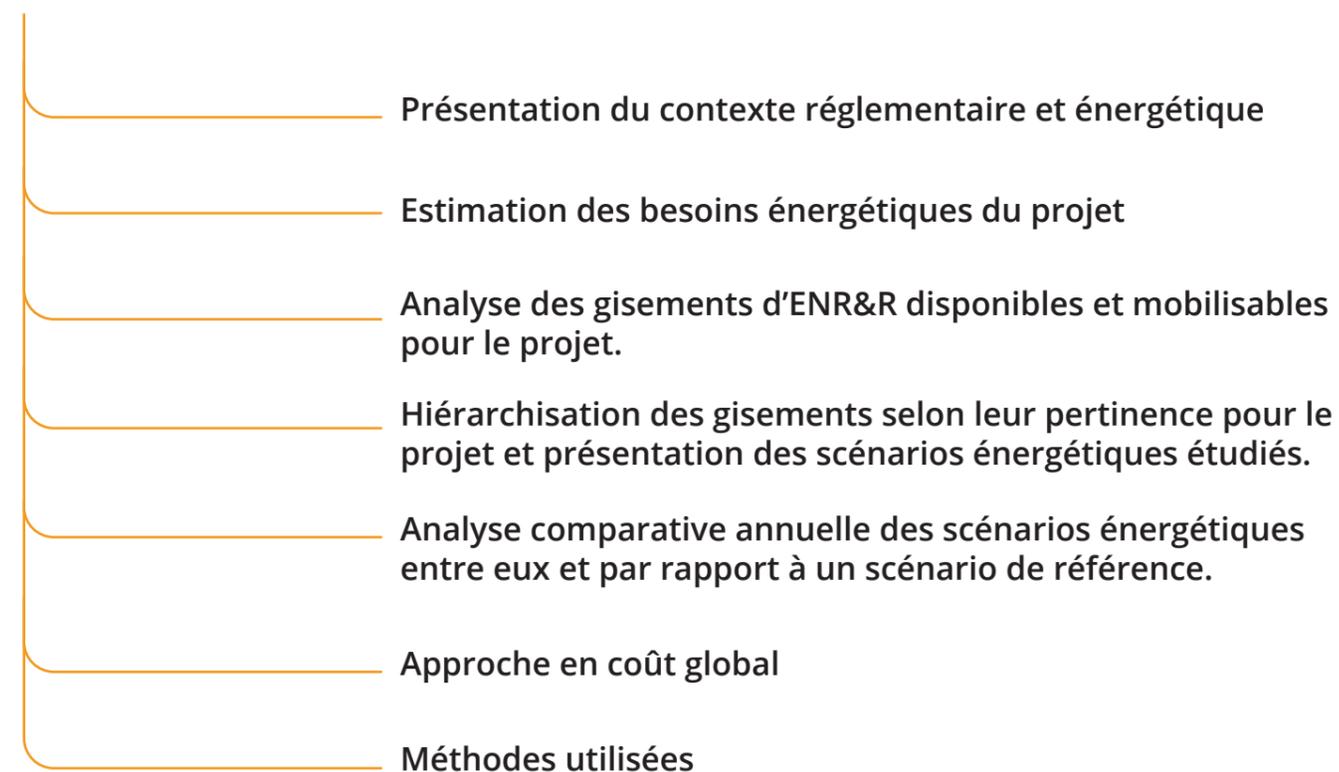
La question de l'alimentation énergétique des transports n'est pas traitée dans la présente étude.

Objectifs de l'étude

L'étude réalisée constitue une aide à la décision, qui poursuit les objectifs suivants :

- Analyser les directives et politiques énergétiques établies à différentes échelles, ainsi que le contexte énergétique dans lequel s'inscrit le projet.
- Présenter les différentes filières énergétiques disponibles sur le secteur et les hiérarchiser en fonction de leur pertinence pour constituer une aide à la décision en matière d'investissement énergétique.
- Estimer les consommations énergétiques futures du projet.
- Étudier des scénarios d'approvisionnement en énergies intégrant des énergies renouvelables et de récupération et la pertinence de raccordement ou de création d'un réseau de chaleur et / ou de froid.
- Proposer une analyse technico-économique des différents scénarios étudiés, ainsi qu'une comparaison de l'incidence environnementale de chaque scénario.
- Proposer un ou deux scénario(s) énergétique(s) optimisé(s), présentant le meilleur bilan au regard de l'analyse multicritères et compétitif(s) par rapport à un scénario de référence.

Structure de l'étude



Quelques définitions

Energies renouvelables

« Il s'agit des énergies dérivées de processus naturels en perpétuel renouvellement. Il existe plusieurs formes d'énergies renouvelables, notamment l'énergie générée par le soleil (photovoltaïque ou thermique), le vent (éolienne), l'eau des rivières et des océans (hydraulique, marémotrice...), la biomasse, qu'elle soit solide (bois et déchets d'origine biologique), liquide (biocarburants) ou gazeuse (biogaz) ainsi que la chaleur de la terre (géothermie). Les énergies renouvelables purement électriques comprennent l'hydraulique, l'éolien, l'énergie marémotrice, le solaire photovoltaïque. Les énergies renouvelables thermiques comprennent le bois de chauffage (ramassé ou commercialisé), les résidus de bois et de récoltes incinérés, les déchets urbains et industriels d'origine biologique incinérés, le biogaz, les biocarburants, le solaire thermique, la géothermie valorisée sous forme de chaleur ou d'électricité, le froid direct et les pompes à chaleur. »¹

¹ Chiffres clés des énergies renouvelables - Édition 2018, CGDD, MTEs

Consommation d'énergie primaire

« La consommation d'énergie primaire correspond [...] à la somme de la consommation finale, des pertes et de la consommation des producteurs et des transformateurs d'énergie. »¹

¹ Chiffres clés des énergies renouvelables - Édition 2018, CGDD, MTEs

Consommation d'énergie finale

« Elle correspond à la consommation des seuls utilisateurs finaux (industries, ménages, services, agriculture, sylviculture et pêche, transports) ; en d'autres termes, il s'agit de la consommation d'énergie à toutes fins autres que la transformation, le transport, la distribution et le stockage d'énergie. »¹

¹ Chiffres clés des énergies renouvelables - Édition 2018, CGDD, MTEs

Energies de récupération

« Sont considérées comme énergies de récupération : la fraction non biodégradable des déchets ménagers ou assimilés, des déchets des collectivités, des déchets industriels, des résidus de papeterie et de raffinerie, les gaz de récupération (mines, cokerie, haut-fourneau, aciérie et gaz fatals) et la récupération de chaleur sur eaux usées ou de chaleur fatale, à l'exclusion de la chaleur produite par une installation de cogénération pour la part issue d'une énergie fossile. »¹

¹ Article R712-1 du code de l'énergie

Chaleur fatale

Il s'agit de « la chaleur générée par un procédé dont l'objectif premier n'est pas la production d'énergie, et qui de ce fait n'est pas nécessairement récupérée. »¹

¹ MTEs, 2016

Consommation corrigée des variations climatiques

Il s'agit de la « consommation corrigée des seuls effets des températures sur la consommation de chauffage. La correction climatique s'applique à la consommation primaire et à la consommation finale. La consommation observée avant toute correction climatique est qualifiée de réelle. »¹

¹ Chiffres clés des énergies renouvelables - Édition 2018, CGDD, MTEs

Production d'électricité

La production brute intègre la consommation des services auxiliaires et les pertes dans les transformateurs des centrales.

La production nette d'électricité correspond à la « production mesurée à la sortie des centrales, c'est-à-dire déduction faite de la consommation des services auxiliaires et des pertes dans les transformateurs des centrales. »¹

¹ Chiffres clés des énergies renouvelables - Édition 2018, CGDD, MTEs

Contexte réglementaire

- Le projet doit s'inscrire dans le cadre défini par la Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, et les lois « Grenelle » I et II.
- Les futures constructions sont soumises à la future Réglementation Environnementale RE2020, dont les premiers textes sont le décret n°2021-1004 du 29 juillet 2021 et l'arrêté du 4 août 2021 pour les logements. Pour les bâtiments de bureaux et enseignement primaire et secondaire, le décret n°2022-305 date du 1er mars 2022.
- Les politiques locales qui s'appliquent au territoire sont le Plan climat énergie européen, le Plan climat du Gouvernement, le SRCAE, le PPA et le SR3EnR d'Île-de-France, le PLU de Saint-Denis.
- Les projets neufs peuvent s'inscrire dans le cadre de labellisations reconnues, en particulier l'expérimentation E+C- ou les labels Effinergie.



40% d'émissions de gaz à effet de serre en moins d'ici 2030 et division par 4 en 2050 par rapport au niveau de 1990

Règlementation

Grenelles de l'environnement (I et II)

À 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 Énergétique 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

Réglementation environnementale RE2020

La nouvelle réglementation environnementale qui vient remplacer la réglementation thermique 2012. Initialement prévue pour 2020, elle est effective pour les logements neufs depuis le 1er janvier 2022, pour les bureaux et établissements scolaires depuis le 1er mars 2022. Elle sera effective pour l'ensemble des programmations en 2023.

Son enjeu majeur est de diminuer significativement les émissions de carbone du bâtiment. Elle repose pour cela sur une transformation progressive des techniques de construction, des filières industrielles et des solutions énergétiques, afin de maîtriser les coûts de construction et de garantir la montée en compétence des professionnels.

Concernant le sujet énergie :

- Le besoin bioclimatique maximum est diminué d'environ 30% par rapport à la RT2012
- Deux nouveaux indicateurs qui s'ajoutent aux indicateurs de la RT2012 : Cep,nr (consommation d'énergie primaire non renouvelable), et Ic énergie (impact carbone associé aux consommations d'énergie primaire)
- Le vecteur énergétique électrique est mis en avant, avec une diminution du coefficient de conversion EF/EP de l'électricité pour passer à 2,3 au lieu de 2,58, diminution de l'impact carbone affecté à l'électricité de chauffage pour passer à 79g/kWh par rapport à 180g/kWh dans la RT2012, et 210g/kWh dans la méthode E+C-.

Concernant le confort d'été :

- Calcul en confort d'été contraignant avec un fichier météo dégradé (équivalent à la canicule 2003).
- Un nouvel indicateur : de degré-heure d'inconfort, qui correspond au niveau d'inconfort perçu par les occupants sur l'ensemble de la saison chaude.

Concernant le sujet carbone :

- Calcul carbone systématique, avec forte valorisation des matériaux biosourcés (ACV dynamique, qui valorise le stockage carbone).
- Un nouvel indicateur, Ic construction, qui prend en compte l'impact sur le changement climatique associé aux produits de construction et de la phase chantier
- Seuils carbonés pour la consommation énergétique. Ceux-ci excluent notamment le tout gaz dans les logements individuels dès 2022 (sauf exception), et dans les logements collectifs à partir de 2025 (hors systèmes hybrides).
- Ambition carbone progressive, ajustée par étape, en 2022, 2025, 2028, puis 2031.

Paquet Energie-Climat Européen

Les politiques climatiques européennes s'inscrivent dans les cadres énergie-climat de l'Union européenne à horizon 2020 et 2030. Le paquet énergie-climat 2020 consiste en un ensemble de directives, règlements et décisions fixant des objectifs précis à l'horizon 2020, dont un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'Union européenne de 20 % par rapport à 1990. Pour l'horizon 2030, les grands objectifs ont été arrêtés par le Conseil européen en octobre 2014. En particulier, l'objectif de réduire les émissions d'au moins 40 % en 2030 par rapport à 1990, qui a constitué le cœur de l'engagement de l'Union européenne dans le cadre de l'Accord de Paris de décembre 2015.

Engagements à l'horizon 2020

Le paquet énergie-climat 2020 aborde de manière intégrée les enjeux énergétiques et climatiques. Il repose sur trois grands objectifs :

- la réduction de 20 % des émissions de GES de l'Union européenne par rapport à 1990,
- la réduction de 20 % de la consommation énergétique européenne par rapport à l'augmentation tendancielle
- une part de 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie totale.

Le premier objectif (atténuation) et le troisième (énergies renouvelables) sont juridiquement contraignants en particulier au travers d'objectifs assignés à chaque pays. Si pour le deuxième (efficacité énergétique) l'objectif global demeure non contraignant, il n'en va pas de même des mesures instaurées par la directive adoptée en 2012.

Engagements à l'horizon 2030

Les conclusions du Conseil européen de fin octobre 2014 entérinent les grands objectifs d'un accord sur le cadre énergie-climat européen à horizon 2030.

Dans la perspective clairement affichée de promouvoir l'accord global sur le climat intervenu fin 2015 à Paris, l'objectif de réduction des émissions de GES domestiques de l'Union d'au moins 40 % en 2030 par rapport à 1990 a marqué la volonté de l'Europe d'être en pointe sur ce sujet.

La répartition de cet objectif est fixée, par rapport à 2005, à hauteur de -43 % pour les secteurs dits EU-ETS et -30 % pour les secteurs hors EU-ETS.

L'UE se fixe également un objectif contraignant d'au moins 27 % d'énergies renouvelables dans sa consommation énergétique.

Le texte fixe enfin un objectif d'efficacité énergétique de 27 % (réduction de la consommation d'énergie primaire par rapport au scénario tendanciel pour 2030).

Plan climat quinquennal

Le Plan climat du Gouvernement a été présenté en juillet 2017. Il décline les axes suivants :

- Rendre l'Accord de Paris irréversible.
- Améliorer le quotidien de tous les Français.
- En finir avec les énergies fossiles et s'engager dans la neutralité carbone (horizon 2050).
- Faire de la France la n°1 de l'économie verte.
- Mobiliser le potentiel des écosystèmes et de l'agriculture pour lutter contre le changement climatique.
- Renforcer la mobilisation internationale sur la climatique.

Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) IdF

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

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

- 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.
- CD 1 Réduire l'empreinte carbone des consommations des franciliens.
- 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) IdF

Le Plan de protection de l'atmosphère (PPA) d'Île-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 concerne 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 particules fines et de dioxydes d'azote en Île-de-France.



S3REnR IdF

Le S3REnR d'Île-de-France a été approuvé par arrêté préfectoral en mars 2015.

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 bénéfice des installations de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables ».

Le S3REnR d'Île-de-France indique que :

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).



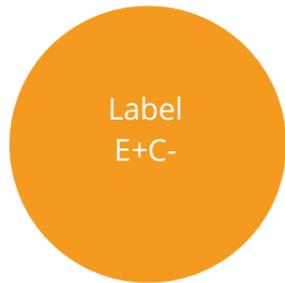
PCAEM
Métropole du
Grand Paris

Approuvé par le Conseil Métropolitain en 2018, le PCAEM vise à structurer les actions menées par les différents acteurs de l'action publique métropolitaine afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) et de permettre une meilleure adaptation au défi climatique. Il définit une stratégie opérationnelle sur le long terme, afin d'atteindre les objectifs suivants:

- Atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050
- Accroître la résilience de la Métropole face aux effets du changement climatique.
- Réduire les concentrations en polluants atmosphériques pour atteindre les niveaux recommandés par l'Organisation mondiale de la Santé
- Réduire les consommations énergétiques finales, particulièrement pour le secteur du transport, ainsi que pour le secteur résidentiel et tertiaire.
- Obtenir un mix énergétique diversifié et décarboné, en développant les énergies renouvelables et de récupération.

Remarque : les labels présentés ci-après ont été définis en lien avec l'ancienne réglementation thermique (RT2012). Des mises à jour de ces labels sont en cours afin de les adapter à la RE2020. Les informations ci-après sont néanmoins données à titre indicatives.

Expérimentations et labels



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.

$\text{BilanBEPOS} \leq \text{BilanBEPOS,max}$

| Niveau Énergie | Maisons individuelles ou accolées | Bâtiments collectifs d'habitation | Bâtiments à usage de bureaux | Autres bâtiments soumis à la RT |
|----------------|---|---|---|---|
| E1 | RT - 5 % + Aue _{ref} | RT - 5 % + Aue _{ref} | RT - 15 % + Aue _{ref} | RT - 10 % + Aue _{ref} |
| E2 | RT - 10 % + Aue _{ref} | RT - 15 % + Aue _{ref} | RT - 30 % + Aue _{ref} | RT - 20 % + Aue _{ref} |
| E3 | RT - 20 % + Aue _{ref} Prod _{ref} | RT - 20 % + Aue _{ref} Prod _{ref} | RT - 40 % + Aue _{ref} Prod _{ref} | RT - 20 % + Aue _{ref} Prod _{ref} |
| E4 | Bilan BEPOS,max < 0 | | | |

Aueref : consommation de référence des autres usages (usages non réglementaires) en énergie primaire (EP).

Prodref : production d'énergie renouvelable de référence (40 kWhEP/m².an pour les bureaux, 20 kWhEP/m².an sinon).

Les performances relatives aux émissions de gaz à effet de serre de ces bâtiments vont de C1 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 oeuvre et de l'énergie consommée.

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

¹ Arrêté du 10 avril 2017



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

- Label BBC (Bâtiment Basse Consommation) Effinergie 2017.
- Label BEPOS Effinergie 2017.
- Label BEPOS+ Effinergie 2017.

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

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

L'obtention d'un label Effinergie implique le respect d'exigences complémentaires telles que : La sobriété et l'efficacité énergétique (respect d'un Cep $\leq \text{Cepmax}^1 - 20\%$ pour les logements, exigence en matière d'étanchéité à l'air...).

- La qualité et le confort.
- L'appropriation du bien et la sensibilisation des futurs occupants aux enjeux de la transition énergétique

¹ Cepmax fixé par la RT2012

Production et consommation énergétiques¹

- La production d'énergie primaire en France en 2020 a été de 1423 TWh, dont environ 75% de nucléaire.
- La consommation primaire a été de 2 650 TWh en 2020 (corrigé des variations climatiques), avec une baisse historique de 8,3% par rapport à 2019 en raison de la crise sanitaire.
- Le bouquet énergétique de la consommation primaire, non corrigée des variations climatiques, se compose de 40 % de chaleur nucléaire, 28 % de pétrole, 16 % de gaz, 3 % de charbon et 13 % d'énergies renouvelables et déchets.
- La part de consommation en énergie finale du secteur tertiaire est passée de 43 % en 1990 à 49 % en 2020. L'électricité reste le vecteur énergétique le plus utilisé pour ces deux secteurs, devant le gaz naturel.
- La production primaire d'énergies renouvelables (ENR) atteint 322 TWh en 2020, en augmentation par rapport aux années précédentes.
- Les principales filières renouvelables restent la biomasse (34,2 %), l'hydraulique renouvelable (19,3 %), l'éolien (12,7 %), les pompes à chaleur (10,1 %) et les biocarburants (8,4 %)
- En 2019, les réseaux ont livré aux consommateurs 26 TWh de chaleur (nette des pertes de distribution), soit 1 % de plus que l'année précédente. Depuis 2016, dans le bouquet énergétique des réseaux, le gaz naturel est dépassé par les énergies renouvelables, en constante augmentation depuis 2007.

BILAN ENERGETIQUE DE LA FRANCE²

Le graphique ci-dessous permet de visualiser les transformations énergie primaire vers énergie finale pour les consommations de la France en 2020.

ENSEMBLE DES ÉNERGIES - BILAN ÉNERGÉTIQUE DE LA FRANCE

En TWh, en 2020 (données non corrigées des variations climatiques)

Note : le diagramme de Sankey, figurant ici et communément utilisé pour représenter des bilans énergétiques, retrace l'ensemble des flux (approvisionnement, transformation, consommation, y compris pertes) sous forme de flèches de largeur proportionnelle à la quantité d'énergie.

P : production nationale d'énergie primaire ; DS : déstockage ; I : solde importateur.

¹ Pour obtenir la consommation primaire, il faut déduire des ressources primaires le solde exportateur d'électricité ainsi que les soutes maritimes et aériennes internationales.

² Y compris énergies marines, hors accumulation par pompage.

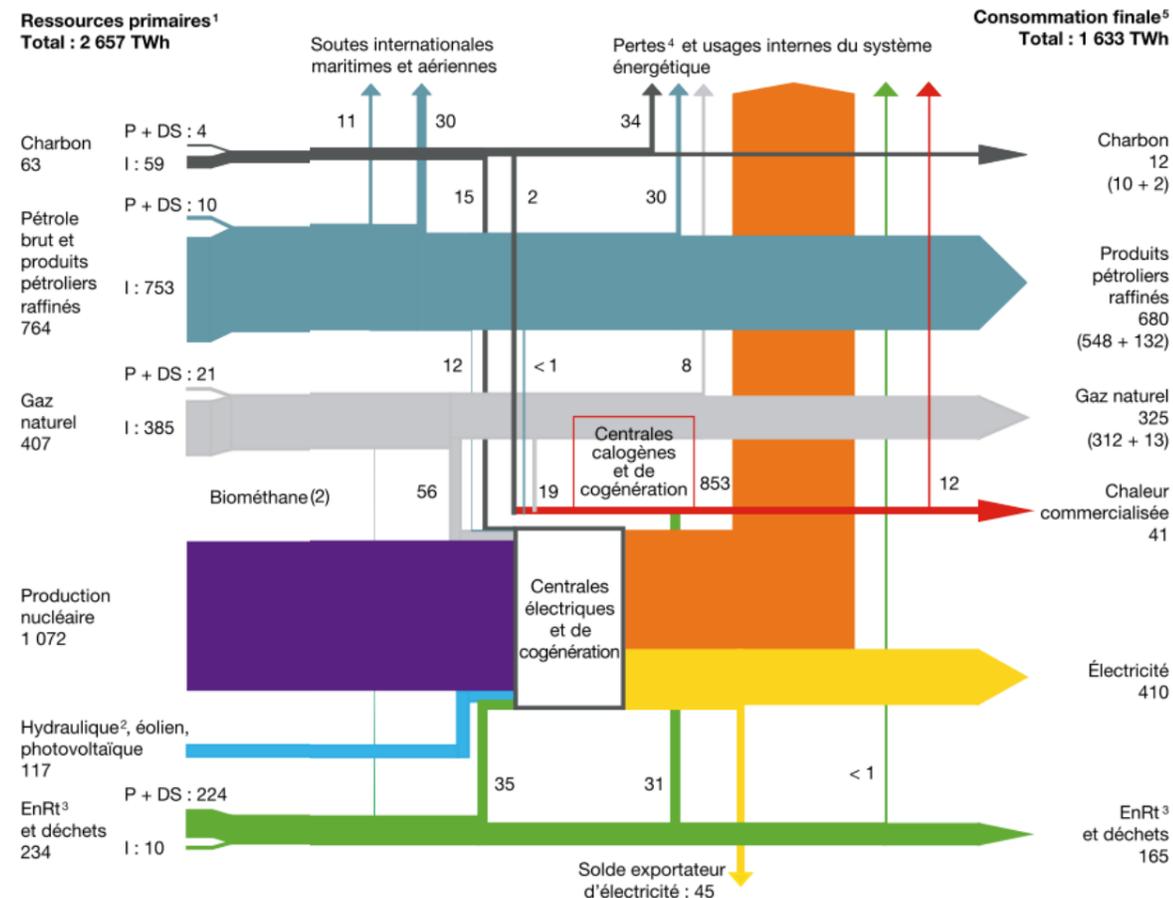
³ Énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique, biocarburants, pompes à chaleur, etc.).

⁴ L'importance des pertes dans le domaine de l'électricité tient au fait que la production nucléaire est comptabilisée pour la chaleur produite par la réaction, chaleur dont les deux tiers sont perdus lors de la conversion en énergie électrique.

⁵ Usages non énergétiques inclus. Pour le charbon, les produits pétroliers raffinés et le gaz naturel, la décomposition de la consommation finale en usages énergétiques et non énergétiques est indiquée entre parenthèses.

Champ : France entière (y compris DROM).

Source : SDES, Bilan énergétique de la France



¹ CGDD, MTES, 2021
² Chiffres clés de l'énergie Edition 2021

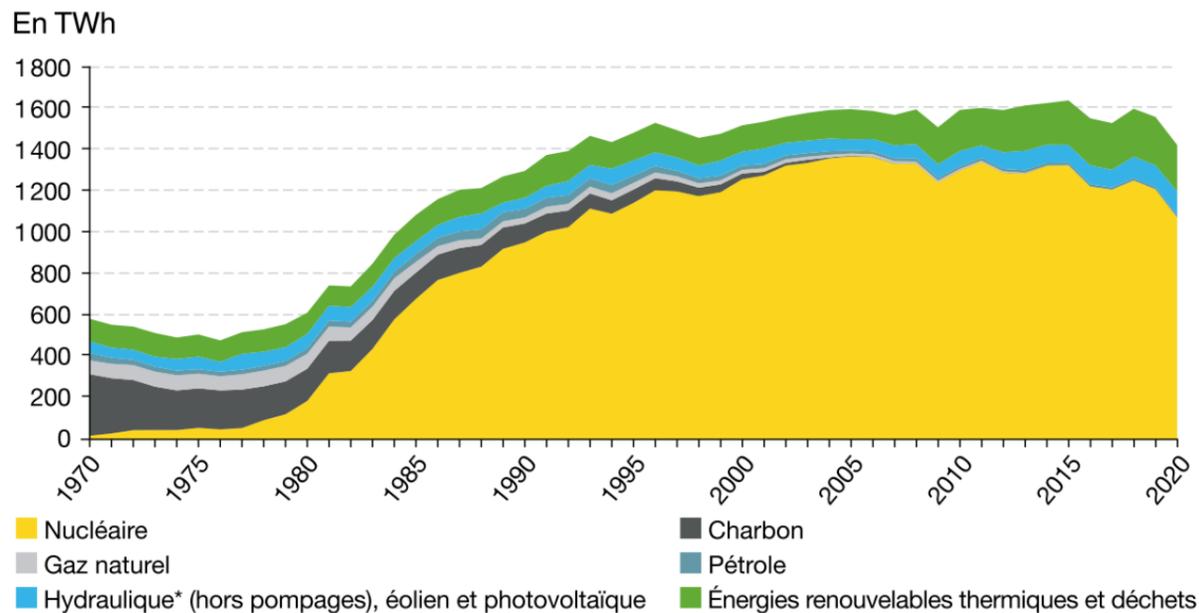
L'ÉNERGIE PRIMAIRE

Production d'énergie primaire

«À la suite de la mise en place du programme nucléaire, la production française d'énergie primaire est passée de 514 TWh en 1973 (dont 9 % de nucléaire) à 1 423 TWh en 2020 (dont 75 % de nucléaire). Elle est en baisse de 8,7 % en 2020 par rapport à 2019, ce qui s'explique par le recul de la production nucléaire (- 11,3 %, à 1 072 TWh), affectée par de nombreuses indisponibilités au sein du parc, le contexte pandémique ayant entraîné des retards dans les maintenances programmées, et également, dans une moindre mesure, par la fermeture de la centrale de Fessenheim. La production nucléaire retombe ainsi à un niveau qui n'avait pas été observé depuis la fin des années 1990. L'extraction d'énergies fossiles a fortement décliné jusqu'au milieu des années 2000 et est désormais marginale avec l'arrêt de l'extraction de charbon et de gaz naturel. La production d'origine renouvelable (éolien, biocarburants, biogaz...) progresse régulièrement depuis le milieu des années 2000».¹

PRODUCTION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE

TOTAL : 1 423 TWh en 2020



* Y compris énergies marines.

Champ : jusqu'à l'année 2010 incluse, le périmètre géographique est la France métropolitaine. À partir de 2011, il inclut en outre les cinq DROM.

Source : SDES, Bilan énergétique de la France.

Production primaire d'énergie (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Edition 2021)

¹ Chiffres clés de l'énergie Edition 2021

Consommation d'énergie primaire

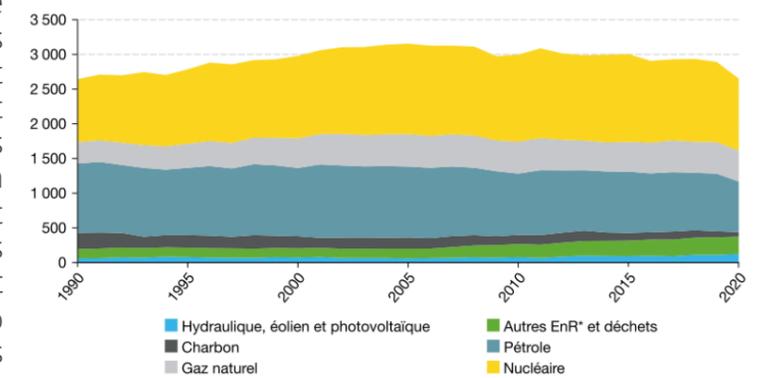
«Après avoir régulièrement augmenté jusqu'en 2005 pour atteindre un pic à 3 155 TWh, la consommation d'énergie primaire, corrigée des variations climatiques, se replie légèrement depuis. L'évolution de long terme est contrastée entre énergies : depuis 1990, les consommations de charbon et de pétrole ont reculé respectivement de 72 % et 27 %. À l'inverse, celles de nucléaire et de gaz naturel ont augmenté respectivement de 15 % et 44 % tandis que celle d'énergies renouvelables a plus que doublé. En 2020, la baisse de la consommation primaire est historique, celle-ci diminuant de 8,3 %. Elle s'explique principalement par la crise sanitaire et les limitations de déplacement associées, qui ont eu pour effet de réduire notamment la consommation de carburants routiers, mais également la production nucléaire et les pertes de chaleur induites.

La consommation primaire de la France s'élève à 2 571 TWh en 2020 (en données non corrigées des variations climatiques). Le bouquet énergétique primaire réel de la France se compose de 40 % de nucléaire, 28 % de pétrole, 16 % de gaz naturel, 14 % d'énergies renouvelables et déchets et 2 % de charbon. Le bois-énergie, qui représente la quasi-totalité de la biomasse solide, demeure la première source d'énergie renouvelable consommée en France, loin devant l'électricité d'origine hydraulique. Son principal usage est le chauffage.»¹

¹ Chiffres clés de l'énergie Edition 2021

CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE

TOTAL : 2 650 TWh en 2020 (données corrigées des variations climatiques)



* EnR : énergies renouvelables.

Champ : jusqu'à l'année 2010 incluse, le périmètre géographique est la France métropolitaine. À partir de 2011, il inclut en outre les cinq DROM.

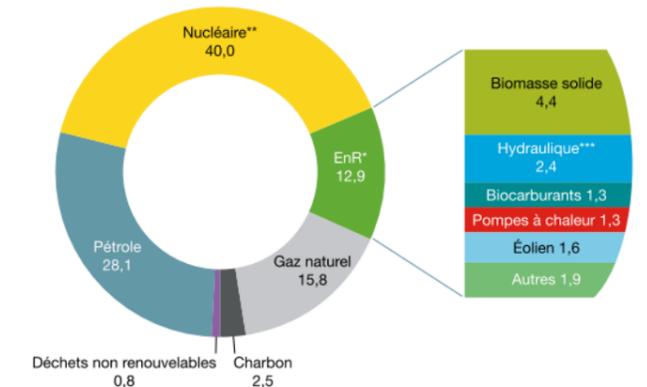
Source : SDES, Bilan énergétique de la France.

Consommation d'énergie primaire en France
(source SDES, Chiffres clés de l'énergie Edition 2021)

RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE EN FRANCE

TOTAL : 2 571 TWh en 2020 (données non corrigées des variations climatiques)

En % (données non corrigées des variations climatiques)



* EnR : énergies renouvelables.

** Correspond pour l'essentiel à la production nucléaire, déduction faite du solde exportateur d'électricité. On inclut également la production hydraulique issue des pompages réalisés par l'intermédiaire de stations de transfert d'énergie, mais cette dernière demeure marginale comparée à la production nucléaire.

*** Hydraulique hors pompages.

Champ : France entière (y compris DROM).

Source : SDES, Bilan énergétique de la France.

Répartition de la consommation d'énergie primaire en France
en 2020 (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Edition 2021)

L'ÉNERGIE FINALE

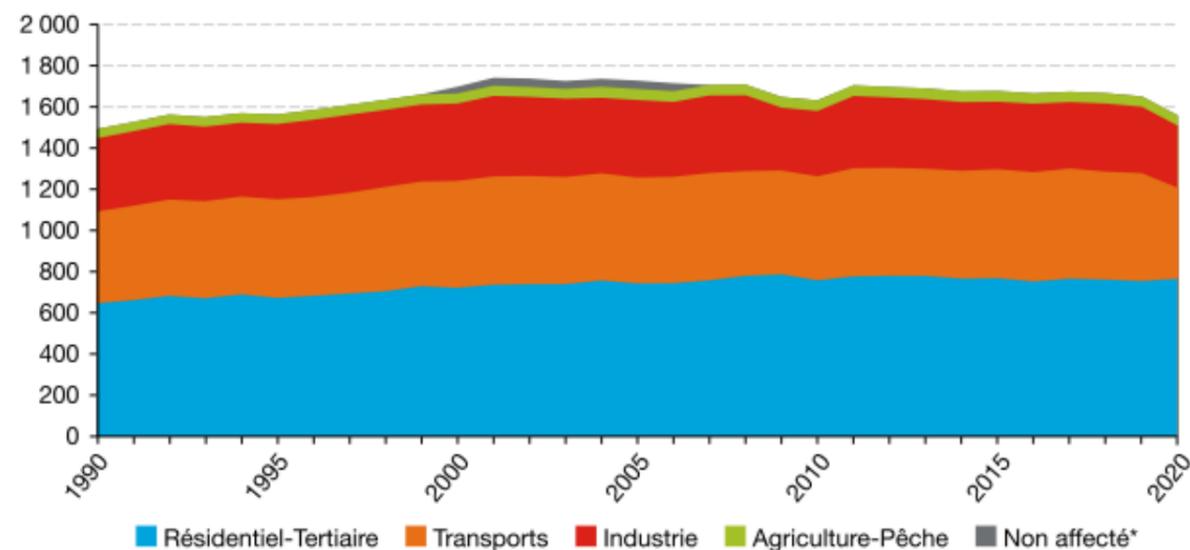
Consommation d'énergie finale par secteur

"La consommation finale à usage énergétique, corrigée des variations climatiques, s'élève à 1 562 TWh en 2020 et est en forte baisse par rapport à 2019 (- 5,6 %) du fait de la pandémie liée au coronavirus. Après une croissance quasi continue entre 1990 et 2001, cette consommation s'est ensuite infléchie (- 0,3 % en moyenne annuelle entre 2001 et 2019). Le résidentiel-tertiaire est de plus en plus prédominant : sa part dans la consommation énergétique est passée de 43 % en 1990 à 49 % en 2020. À l'inverse, celle de l'industrie a diminué de 24 % à 19 %, tandis que celle des transports, fortement affectés par les restrictions de circulation en 2020, a baissé de 30 % à 28 % et que celle de l'agriculture est restée stable à 3 %."

CONSOMMATION FINALE ÉNERGÉTIQUE PAR SECTEUR

TOTAL : 1 562 TWh en 2020 (données corrigées des variations climatiques)

En TWh (données corrigées des variations climatiques)



* La répartition de la chaleur par secteur consommateur n'est pas disponible entre 2000 et 2006.
 Champ : jusqu'à l'année 2010 incluse, le périmètre géographique est la France métropolitaine. À partir de 2011, il inclut en outre les cinq DROM.
 Source : SDES, Bilan énergétique de la France

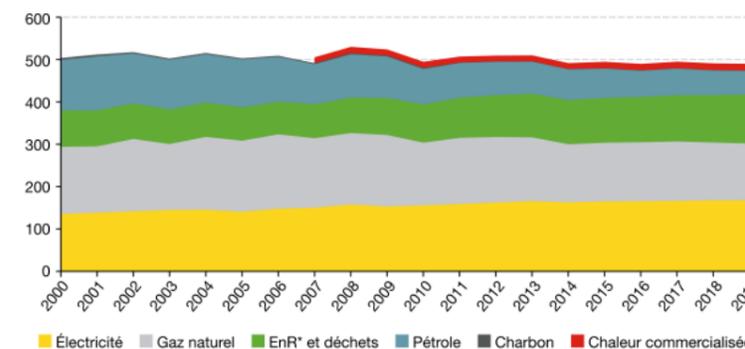
Consommation énergétique finale par secteur (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Edition 2021)

Consommation d'énergie finale pour le secteur résidentiel

"À peu près stable entre 2000 et 2010 autour de 500 TWh, la consommation énergétique du secteur résidentiel diminue légèrement depuis dix ans, à climat constant, et s'établit à 486,6 TWh en 2019. L'électricité demeure l'énergie la plus consommée, avec 34 % du total, devant le gaz naturel (29 %), les énergies renouvelables (23 %) et les produits pétroliers (11 %). Depuis dix ans, les parts du gaz et du pétrole baissent au profit des énergies renouvelables et de l'électricité."

RÉSIDENTIEL : 487 TWh EN 2019 (DONNÉES CORRIGÉES DES VARIATIONS CLIMATIQUES)

En TWh (données corrigées des variations climatiques)



* EnR : énergies renouvelables.
 Champ : jusqu'à l'année 2010 incluse, le périmètre géographique est la France métropolitaine. À partir de 2011, il inclut en outre les cinq DROM.
 Source : SDES, Bilan énergétique de la France

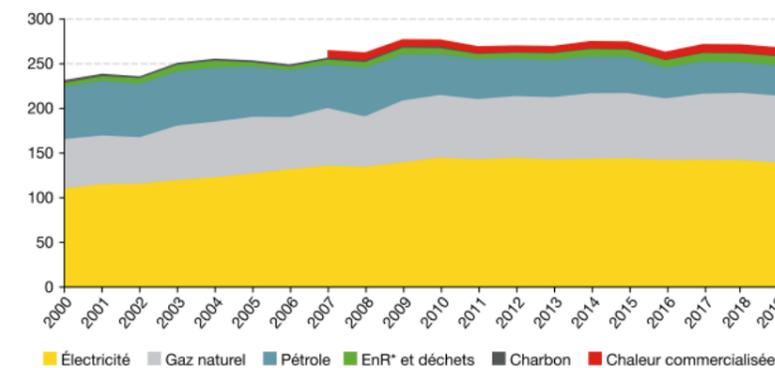
Consommation d'énergie finale pour le secteur résidentiel en France (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Edition 2021)

Consommation d'énergie finale pour le secteur tertiaire

"Après avoir crû dans les années 2000 et peu varié durant la dernière décennie, la consommation énergétique du secteur tertiaire, corrigée des variations climatiques, s'établit à 268,6 TWh en 2019. L'électricité représente un peu plus de la moitié (52 %) du bouquet énergétique, suivie par le gaz naturel (28 %), les produits pétroliers (13 %), les énergies renouvelables (4 %) et la chaleur distribuée par réseau (4 %)."¹

TERTIAIRE : 269 TWh EN 2019 (DONNÉES CORRIGÉES DES VARIATIONS CLIMATIQUES)

En TWh (données corrigées des variations climatiques)



* EnR : énergies renouvelables.
 Champ : jusqu'à l'année 2010 incluse, le périmètre géographique est la France métropolitaine. À partir de 2011, il inclut en outre les cinq DROM.
 Source : SDES, Bilan énergétique de la France

Consommation d'énergie finale pour le secteur tertiaire en France (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Edition 2021)

¹ Chiffres clés de l'énergie Edition 2021

Energies renouvelables et de récupération

PRODUCTION PRIMAIRE D'ENR

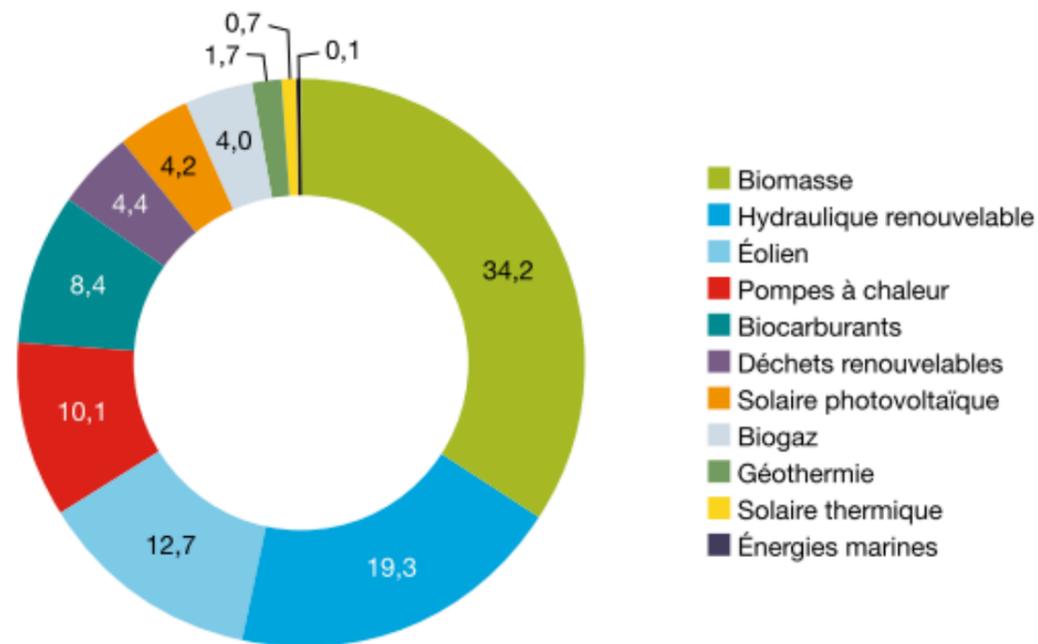
Production primaire d'énergies renouvelables par filière en 2020

«En 2020, la production primaire d'énergies renouvelables s'élève à 322 TWh. Les principales filières restent la biomasse (34,2 %), l'hydraulique renouvelable (19,3 %), l'éolien (12,7 %), les pompes à chaleur (10,1 %) et les biocarburants (8,4 %).»

PRODUCTION PRIMAIRE D'ÉNERGIES RENOUVELABLES PAR FILIÈRE

TOTAL : 322 TWh en 2020

En %



Champ : France entière (y compris DROM).
Source : SDES, Bilan énergétique de la France

Production primaire d'énergies renouvelables par filière en France en 2020
(source SDES, Chiffres clés de l'énergie Edition 2021)

Evolution de la production primaire d'énergies renouvelables par filière

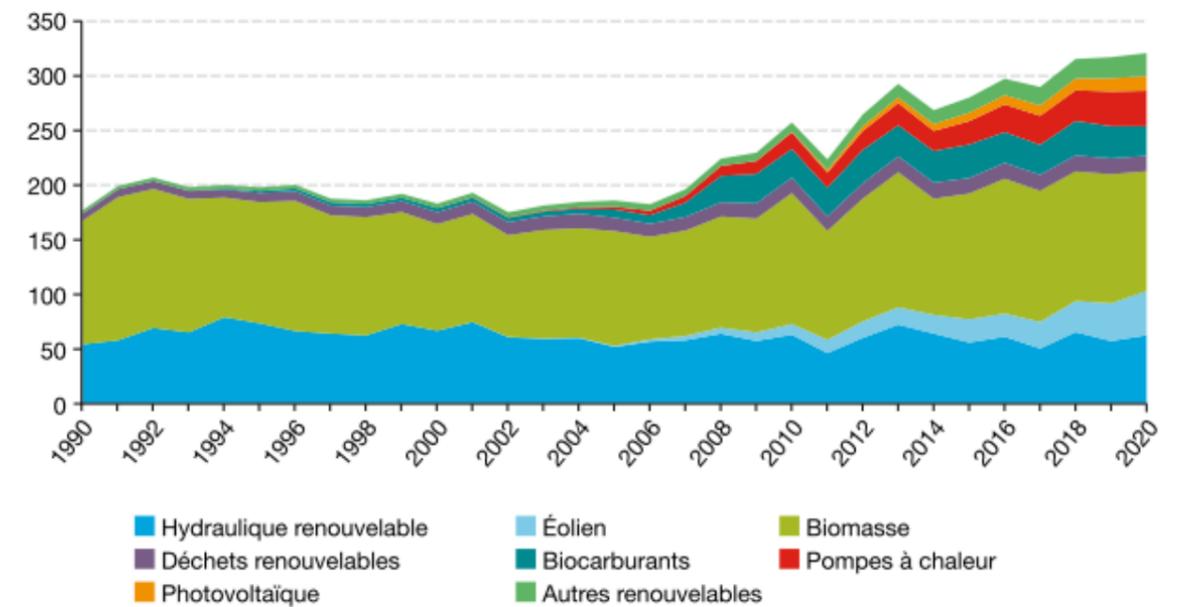
«Entre 2019 et 2020, la production primaire d'énergies renouvelables augmente légèrement, de 3,8 TWh (soit + 1,2 %). Cette hausse est portée principalement par les énergies renouvelables électriques, notamment hydraulique (+ 9,3 %), du fait de précipitations plus abondantes qu'en 2019, et éolienne (+ 17,2 %), en raison de l'augmentation des capacités installées et de conditions de vent plus favorables. À l'inverse, la production primaire de biomasse se replie nettement (- 7,1 %), la douceur de l'année 2020 ayant réduit les besoins de chauffage, de même que la production primaire de biocarburants (- 8,5 %) en conséquence de la limitation des déplacements liée à la crise sanitaire.»

Depuis 2005, la production primaire d'énergies renouvelables a augmenté d'environ 73 %, notamment du fait de l'essor de l'énergie éolienne, des pompes à chaleur et des biocarburants.»¹

ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION PRIMAIRE D'ÉNERGIES RENOUVELABLES PAR FILIÈRE

TOTAL : 322 TWh en 2020

En TWh



Champ : jusqu'à l'année 2010 incluse, le périmètre géographique est la France métropolitaine. À partir de 2011, il inclut en outre les cinq DROM.

Source : SDES, Bilan énergétique de la France

Evolution de la production primaire d'énergies renouvelables par filière en France
(source SDES, Chiffres clés de l'énergie Edition 2021)

¹ Chiffres clés de l'énergie Edition 2021

LES RESEAUX DE CHALEUR

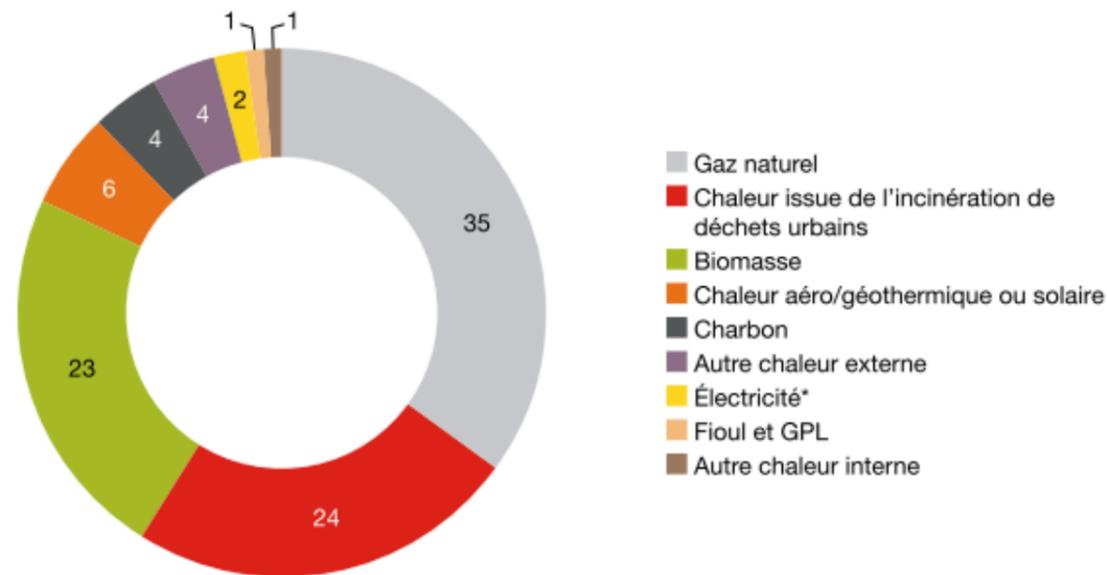
Bouquet énergétique des réseaux de chaleur en 2019

"En 2019, les réseaux ont livré aux consommateurs 26 TWh de chaleur (nette des pertes de distribution), soit 1 % de plus que l'année précédente. À cette fin, ils ont consommé 34 TWh d'énergie. Le bouquet énergétique des réseaux demeure dominé par le gaz naturel, qui représente 35 % de leur consommation, suivi de la valorisation des déchets urbains (24 %) et de la biomasse (23 %). Si l'on considère toutefois l'ensemble des énergies renouvelables (incluant notamment par convention la moitié des déchets urbains), elles constituent la première forme d'énergie utilisée dans les réseaux."

BOUQUET ÉNERGÉTIQUE DES RÉSEAUX DE CHALEUR EN 2019

TOTAL : 34 TWh d'énergie consommée pour produire de la chaleur en 2019

En %



* Comprend la consommation des chaudières électriques et la consommation annexe des auxiliaires.

Note : hors proportion de combustibles utilisée pour la production d'électricité lorsque le réseau de chaleur utilise un procédé de cogénération.

Champ : France métropolitaine.

Source : SDES, Bilan énergétique de la France

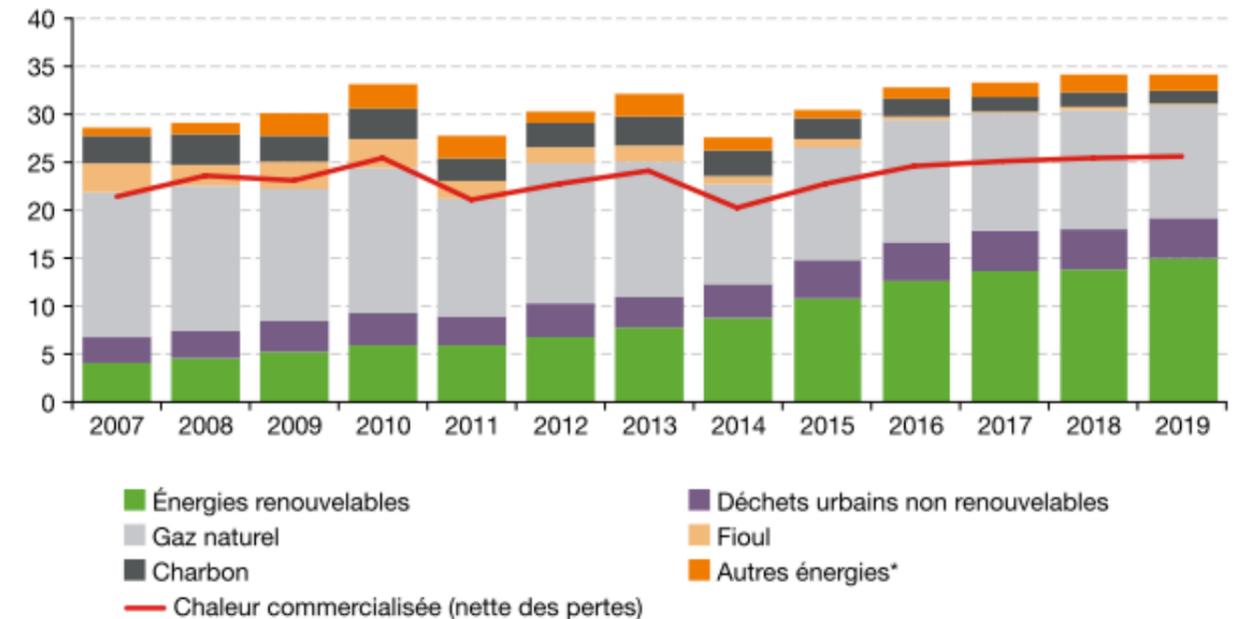
Bouquet énergétique des réseaux de chaleur en France en 2019 (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Edition 2021)

Consommation d'énergie pour la production de chaleur par source d'énergie dans les réseaux de chaleur

"Depuis 2016, dans le bouquet énergétique des réseaux, le gaz naturel est dépassé par les énergies renouvelables, en constante augmentation depuis 2007. Ces deux sources d'énergie représentent, à elles deux, 79 % de la consommation totale des réseaux. À l'inverse, le fioul et le charbon, autrefois prépondérants, poursuivent leur déclin et ne représentent plus que 4 % du bouquet énergétique des réseaux (contre 60 % en 1990)."¹

CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION DE CHALEUR PAR SOURCE D'ÉNERGIE DANS LES RÉSEAUX DE CHALEUR

En TWh (données non corrigées des variations climatiques)



* GPL, gaz de récupération, chaudières électriques, chaleur industrielle, consommation électrique des pompes à chaleur, cogénération externe non renouvelable, autres combustibles non renouvelables.

Note : hors proportion de combustibles utilisée pour la production d'électricité lorsque le réseau de chaleur utilise un procédé de cogénération.

Champ : France métropolitaine.

Source : SDES, Bilan énergétique de la France

Consommation d'énergie pour la production de chaleur par sources d'énergie dans les réseaux de chaleur en France (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Edition 2021)

¹ Chiffres clés de l'énergie Edition 2021

Contexte local

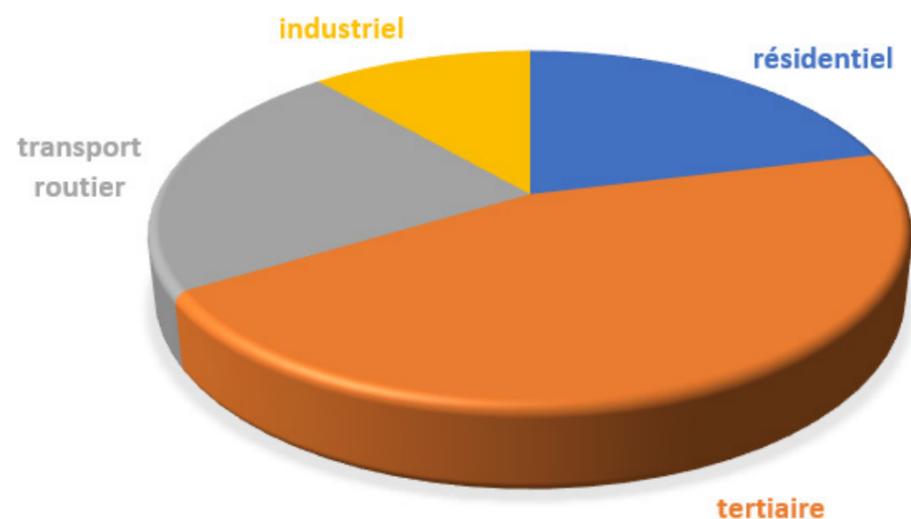
CONSOMMATION ET ÉNERGIES MOBILISÉES

La consommation communale

La consommation globale pour la commune en 2018 est de 1 917 GWh d'énergie finale dont :

- 403 GWh liés au secteur résidentiel (environ 21 %), soit 8 170 kWh par logement ou 3 571 kWh par habitant.
- 862 GWh liés au secteur tertiaire (environ 45 %)
- 427 GWh liés au transport routier (environ 22 %)
- 216 GWh liés au secteur industriel (environ 12 %).

CONSOMMATION GLOBALE DE SAINT-DENIS EN 2018



Consommation globale de Saint-Denis en 2018 par secteur (source ENERGIF, 2022)

Secteur résidentiel

Le chauffage représente environ 59% des consommations, l'eau chaude sanitaire environ 14 % et les autres postes (électricité, cuisson...) environ 27%.

Le logement collectif représente 90% du parc, et totalise 89% des consommations du secteur.

Secteur tertiaire

Le chauffage représente environ 36 % des consommations, l'eau chaude sanitaire environ 7 % et les autres postes (électricité, cuisson...) environ 57 %.

Les bureaux totalisent environ 40 % des consommations du secteur et le commerce environ 21 %.

Les sources d'énergie mobilisées

L'électricité couvre en 2018 41 % des consommations d'énergie finale à Saint-Denis. Environ 22 % des consommations sont couvertes par le gaz, et 25 % par le charbon et les produits pétroliers.

Selon les données de 2014, sur la commune, la production d'ENR&R est très limitée : 0,3 GWh par solaire thermique (hors bâti neuf).

Une présence de réseau de chaleur

La commune compte un réseau de chaleur répertorié. Un raccordement du quartier par celui-ci est envisagé. La localisation du réseau de chaleur est présentée dans la partie « Réseaux d'énergie ».

Contexte

SURFACES PRISES EN COMPTE

La RE2020 s'applique sur la surface utile (SU) pour les bâtiments tertiaires, et à la surface habitable (SHAB) pour les logements.

Les données à notre disposition à ce stade sont les surfaces de plancher (SDP).

Un ratio SHAB/SDP de 0,95 est considéré pour les logements collectifs.

LES BESOINS CONSIDÉRÉS

Les besoins en énergie (énergie utile) ne prennent pas en compte les rendements de production et de distribution interne au bâti (énergie finale), ni les rendements de transports et de distribution externe (énergie primaire).

Les besoins énergétiques pris en compte dans l'étude sont les suivants :

- Besoins en chaud.
- Besoins en froid.
- Besoins en eau chaude sanitaire (ECS).
- Besoins en électricité pour l'éclairage
- Besoins en électricité pour les auxiliaires de ventilation, de chauffage, de climatisation.
- Besoins en électricité pour les usages mobiliers (électroménager, informatique, électronique...).

Ces besoins sont différents selon les types de bâtiments construits. Dans un contexte de transition énergétique, les besoins sont également différents selon la période de construction du bâti (tendance à la baisse).

Hypothèses des bâtiments raccordés au RCU

Comme vu précédemment, la ville de Saint-Denis dispose d'un réseau de chaleur urbain. Les caractéristiques de ce réseau de chaleur sont présentées dans la partie suivante «État des lieux».

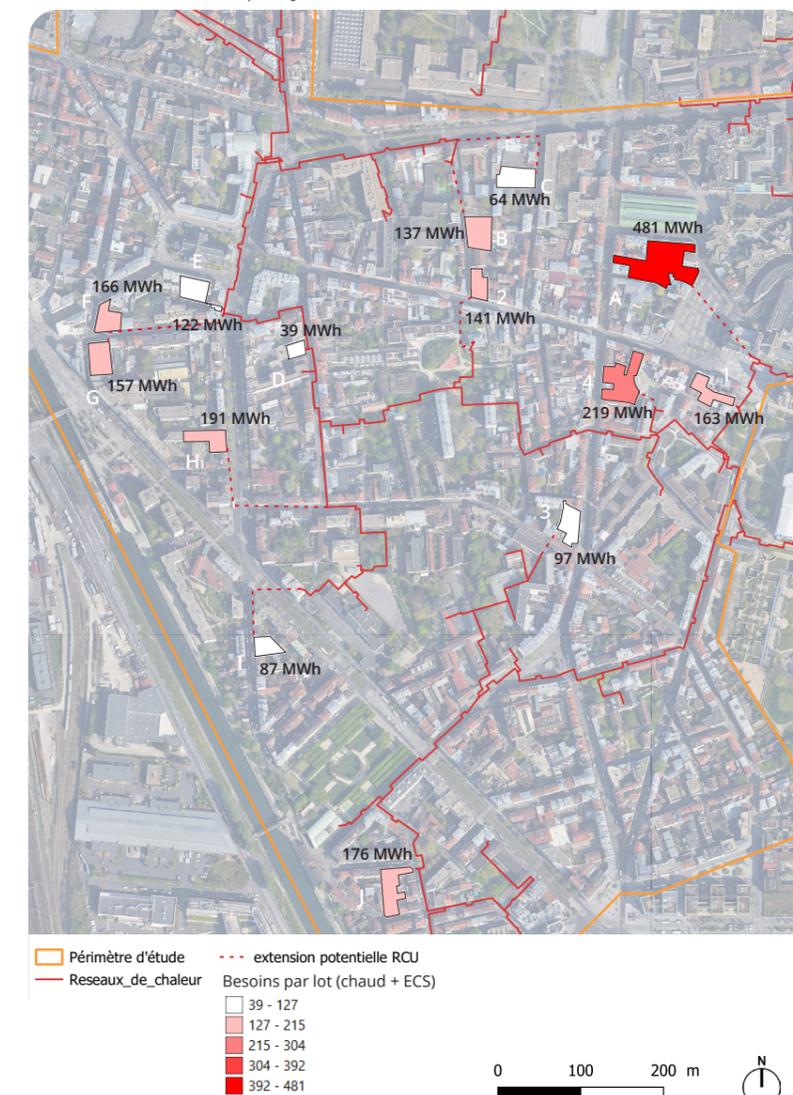
Pour répartir les bâtiments dans des groupes pertinents pour l'étude de scénarios énergétiques, il est d'abord nécessaire de déterminer quels lots il serait pertinent de raccorder au RCU par extension du réseau existant.

Pour cela, les besoins de chaque lot par typologie de projets ont été estimés, à savoir les logements neufs, les logements réhabilités, les commerces neufs et les commerces réhabilités. Ces besoins ont été estimés avec la solution la plus défavorable : le gaz.

La somme des besoins par lot est présentée dans le tableau à la page suivante.

En parallèle les potentielles extensions du RCU existant ont été tracées et les longueurs d'extensions nécessaires au raccordement de chaque lot déterminées. (Les résultats sont présentés dans le tableau à la page suivante).

La carte ci-dessous représente les besoins de chaque lot et les potentielles extensions du RCU pour le raccordement des lots du projet.



Besoins par lots (source TRANS-FAIRE, 2022)

Enfin, il a été déterminé la densité énergétique (MWh/ml) pour justifier de la pertinence économique du raccordement de RCU.

L'hypothèse prise est la suivante et provient de la convention de Délégation de Services Publics (DSP) en application des articles 21.1 et 21.5 :

- Si quantité de MWh/ml > 6 MWh/ml => raccordement au RCU
- Si quantité de MWh/ml < 6 MWh/ml => pas de raccordement au RCU

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous et cartographiés ci-contre.

| Lot | Besoins tot (MWh) | longueur raccordement (ml) | Densité énergétique (MWh/ml) | raccordement RCU |
|-------|-------------------|----------------------------|------------------------------|------------------|
| 1 | 163 | 8 | 20,4 | |
| 2 | 141 | 87 | 1,6 | |
| 3 | 97 | 34 | 2,9 | |
| 4 | 219 | 32 | 6,8 | |
| A | 481 | 110 | 4,4 | |
| B | 137 | 68 | 2,0 | |
| C | 64 | 144 | 0,4 | |
| D | 39 | 4 | 9,8 | |
| E | 122 | 4 | 30,5 | |
| F + G | 323 | 132 | 2,4 | |
| H | 191 | 190 | 1,0 | |
| I | 87 | 115 | 0,8 | |
| J | 176 | 8 | 22,0 | |

Lots potentiellement raccordés au RCU (source TRANS-FAIRE, 2022)

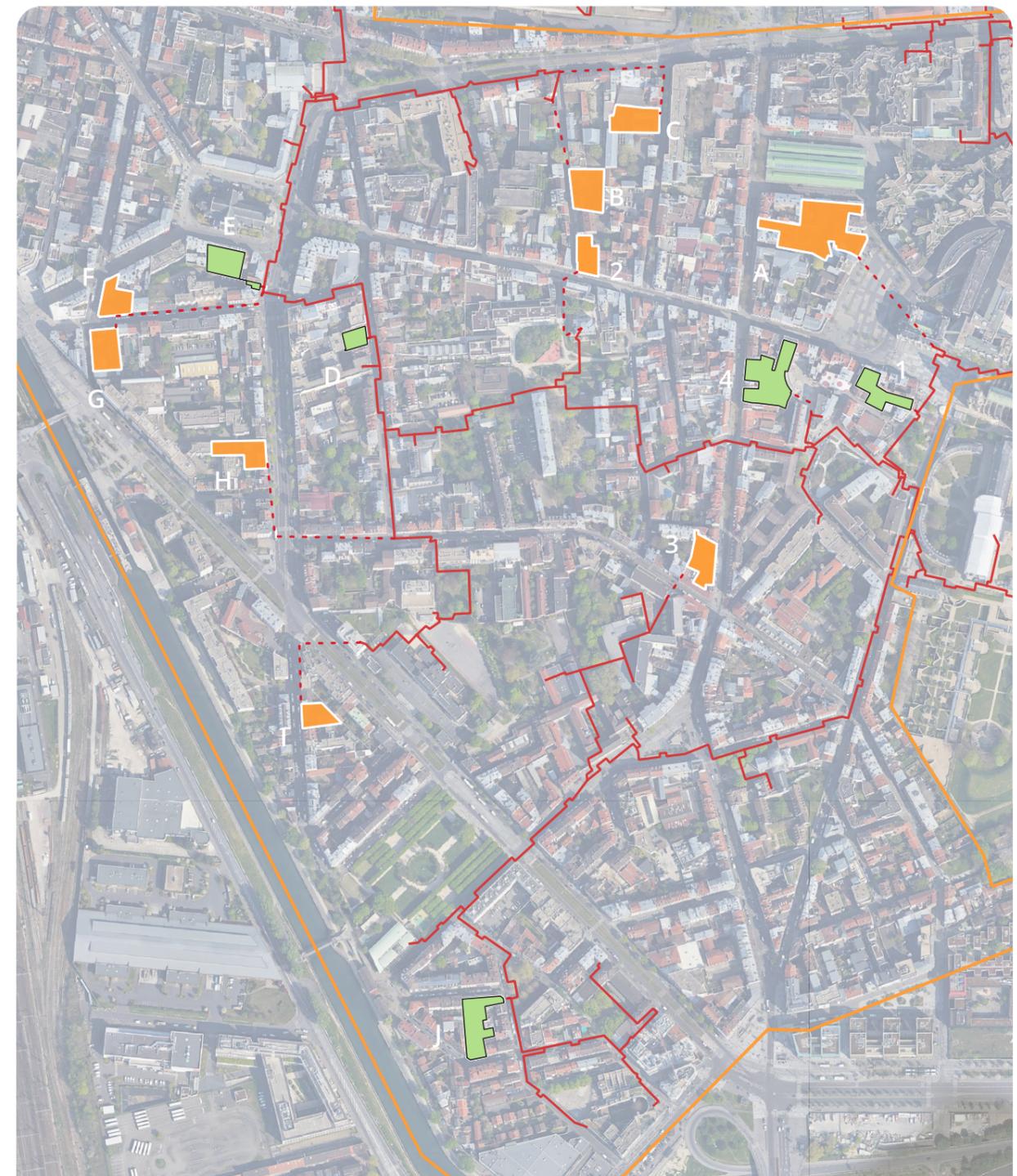
Les lots F et G sont considérés comme un seul lot car il ne serait pas pertinent de raccorder l'un sans l'autre.

On constate donc qu'il est pertinent de raccorder les lots 1, 4, D, E et J au réseau de chaleur de la ville de Saint-Denis et moins pertinent de raccorder les lots 2, 3, A, B, C, F, G, H et I à cause des besoins énergétiques moins importants de ces lots et/ou de la distance de ces derniers au RCU existant. Le raccordement de ces lots est considéré non rentable par la DSP. Par conséquent, 2 ensembles sont considérés dans cette étude : les lots pouvant être raccordés au RCU et les lots non raccordés.

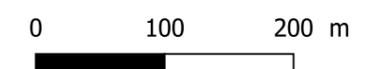
Pour les lots raccordés, nous avons 4 typologies de projet : logements neufs, logements réhabilités, commerces neufs et commerces réhabilités qui font l'objet de 4 groupes.

Pour les lots non raccordés, nous avons également 4 typologies de projet : logements neufs, logements réhabilités, commerces neufs et commerces réhabilités qui font l'objet de 4 groupes.

Les besoins sont donc estimés pour 7 groupes différents et présentés à la page suivante.



▭ Périmètre d'étude ▭ raccordement RCU
— Réseaux_de_chaleur pas de raccordement au RCU
- - - extension potentielle RCU



Lots potentiellement raccordés au RCU (source TRANS-FAIRE, 2022)

Estimation des besoins du projet

NIVEAUX ÉNERGÉTIQUES DE RÉFÉRENCE

Les besoins annuels en énergie sont présentés ci-dessous.

Ils sont estimés en fonction des niveaux énergétiques visés.

La répartition par poste est issue de retours d'expérience sur plusieurs opérations similaires, et est ajustée de manière à s'assurer que le respect des niveaux de performance visés sont atteints.

Hypothèses par groupe :

LOTS RACCORDÉS AU RCU (1, 4, D, E, et J)

Groupe 1 : Logements neufs

Surface considérée : 5 760 m²

Nombre de logements : 86

Besoins énergétiques visés : RE 2020 seuils 2025 - 2027

Groupe 2 : Logements réhabilités

Surface considérée : 1 176 m²

Nombre de logements : 22

Besoins énergétiques visés : RT existant

Groupe 3 : Commerces neufs

Surface considérée : 1 187 m²

Besoins énergétiques visés : RT 2012 - 30% (anticipation de la RE2020)

Groupe 4 : Commerces réhabilités

Surface considérée : 308 m²

Besoins énergétiques visés : RT existant

LOTS NON RACCORDÉS AU RCU (2, 3, 4, A, B, C, F, G, H et I)

Groupe 5 : Logements neufs

Surface considérée : 13 563 m²

Nombre de logements : 205

Besoins énergétiques visés : RE 2020 seuils 2025 - 2027

Groupe 6 : Logements réhabilités

Surface considérée : 1 688 m²

Nombre de logements : 23

Besoins énergétiques visés : RT existant

Groupe 7 : Commerces neufs

Surface considérée : 2 288 m²

Besoins énergétiques visés : RT 2012 - 30%

Groupe 8 : Commerces réhabilités

Surface considérée : 575 m²

Besoins énergétiques visés : RT existant

Les besoins (Énergie utile/m² et Énergie utile) sont présentés par groupe à la page suivante.

| Poste consommation | Besoins (Énergie utile/m²) | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--|
| | Groupe 1 - Logements neufs RCU | Groupe 2 - Logements réhabilités RCU | Groupe 3 - Commerces neufs RCU | Groupe 4 - Commerces réhabilités RCU | Groupe 5 - Logements neufs - non RCU | Groupe 6 - Logements réhabilités - non RCU | Groupe 7 - Commerces neufs - non RCU | Groupe 8 - Commerces réhabilités - non RCU |
| Chaud | 33 kWhEU/m² | 60 kWhEU/m² | 60 kWhEU/m² | 60 kWhEU/m² | 25 kWhEU/m² | 60 kWhEU/m² | 60 kWhEU/m² | 60 kWhEU/m² |
| Froid | 0 kWhEU/m² | 0 kWhEU/m² | 80 kWhEU/m² | 80 kWhEU/m² | 0 kWhEU/m² | 0 kWhEU/m² | 80 kWhEU/m² | 80 kWhEU/m² |
| ECS | 33 kWhEU/m² | 30 kWhEU/m² | 1 kWhEU/m² | 1 kWhEU/m² | 30 kWhEU/m² | 30 kWhEU/m² | 1 kWhEU/m² | 1 kWhEU/m² |
| Éclairage | 3 kWhEU/m² | 3 kWhEU/m² | 95 kWhEU/m² | 95 kWhEU/m² | 3 kWhEU/m² | 3 kWhEU/m² | 95 kWhEU/m² | 95 kWhEU/m² |
| Auxiliaires et autres | 3 kWhEU/m² | 3 kWhEU/m² | 30 kWhEU/m² | 30 kWhEU/m² | 3 kWhEU/m² | 3 kWhEU/m² | 30 kWhEU/m² | 30 kWhEU/m² |
| Usages mobiliers | 27 kWhEU/m² | 27 kWhEU/m² | 90 kWhEU/m² | 90 kWhEU/m² | 27 kWhEU/m² | 27 kWhEU/m² | 90 kWhEU/m² | 90 kWhEU/m² |
| TOTAL | 99 kWhEU/m² | 123 kWhEU/m² | 356 kWhEU/m² | 356 kWhEU/m² | 88 kWhEU/m² | 123 kWhEU/m² | 356 kWhEU/m² | 356 kWhEU/m² |

| Poste consommation | Besoins (Énergie utile) | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|--|
| | Groupe 1 - Logements neufs RCU | Groupe 2 - Logements réhabilités-RCU | Groupe 3 - Commerces neufs - RCU | Groupe 4 - Commerces réhabilités - RCU | Groupe 5 - Logements neufs - non RCU | Groupe 6 - Logements réhabilités - non RCU | Groupe 7 - Commerces neufs - non RCU | Groupe 8 - Commerces réhabilités - non RCU |
| Chaud | 190 MWhEU | 70,6 MWhEU | 71 MWhEU | 18,5 MWhEU | 339 MWhEU | 101 MWhEU | 137 MWhEU | 35 MWhEU |
| Froid | 0 MWhEU | 0 MWhEU | 95 MWhEU | 24,6 MWhEU | 0 MWhEU | 0 MWhEU | 183 MWhEU | 46 MWhEU |
| ECS | 190 MWhEU | 35,3 MWhEU | 1 MWhEU | 0,3 MWhEU | 407 MWhEU | 51 MWhEU | 2 MWhEU | 1 MWhEU |
| Éclairage | 17 MWhEU | 3,5 MWhEU | 113 MWhEU | 29,3 MWhEU | 41 MWhEU | 5 MWhEU | 217 MWhEU | 55 MWhEU |
| Auxiliaires et autres | 17 MWhEU | 3,5 MWhEU | 36 MWhEU | 9,2 MWhEU | 41 MWhEU | 5 MWhEU | 69 MWhEU | 17 MWhEU |
| Usages mobiliers | 156 MWhEU | 31,8 MWhEU | 107 MWhEU | 27,7 MWhEU | 366 MWhEU | 46 MWhEU | 206 MWhEU | 52 MWhEU |
| TOTAL | 570 MWhEU | 144,7 MWhEU | 423 MWhEU | 110 MWhEU | 1194 MWhEU | 208 MWhEU | 814 MWhEU | 206 MWhEU |

Nous pouvons remarquer que les besoins pris en compte pour les logements neufs et réhabilités sont inférieurs aux besoins des commerces rapporté au m².

Les besoins en chaud plus élevés pour les logements neufs raccordés au RCU que pour les logements neufs non raccordés s'expliquent par un impact carbone plus élevé pour les logements non raccordés (hypothèse énergétique : gaz). Par conséquent, les besoins en chaud du scénario non raccordés doivent être réduits afin de respecter les seuils Ic construction 2025 de la RE2020.

Les besoins totaux du projet sur le centre ville de Saint-Denis sont dominés par les logements : 57 % des besoins.

Energies renouvelables locales

- Le solaire est mobilisable pour le projet, aussi bien pour la production de chaleur que d'électricité.
- L'énergie éolienne est peu adaptée aux zones urbaines et n'apparaît pas viable pour le projet.
- La géothermie sèche est une solution pertinente pour le projet. La géothermie sur nappe superficielle (potentiel moyen) peut être une solution pertinente pour le projet.
- La densité thermique du projet est insuffisante pour une solution sur nappe profonde.
- L'énergie hydraulique n'est pas mobilisable sur le secteur.
- Le bois énergie apparaît comme une solution pertinente pour le projet.
- La mise en oeuvre d'une unité de méthanisation nécessiterait une réflexion à une échelle plus large que celle de le quartier.

LE SOLEIL

Ressource mobilisable

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

A Saint-Denis, le gisement solaire annuel est compris entre 1 200 et 1 400 kWh/m² pour des panneaux installés en toiture (selon leur inclinaison) et est de l'ordre de 1015 kWh/m² pour des panneaux verticaux (façade).

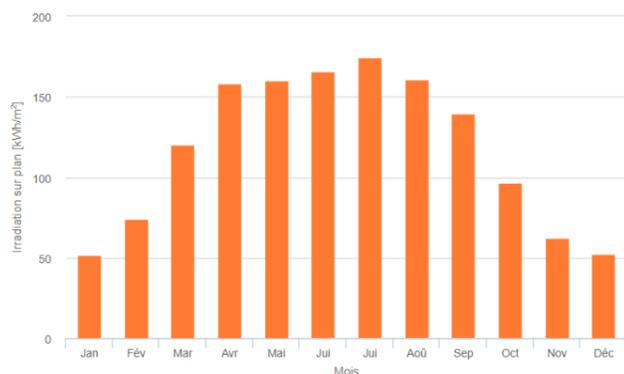
Le gisement disponible est plus de 3 fois plus important au mois de juin qu'au mois de décembre.

| | Irradiation horizontale | Irradiation optimale | Irradiation verticale |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Moyenne journalière | 3 301 Wh/m ² .j | 3876 Wh/m ² .j | 2780 Wh/m ² .j |
| Gisement annuel | 1205 kWh/m ² .j | 1415 kWh/m ² .j | 1015 kWh/m ² .j |

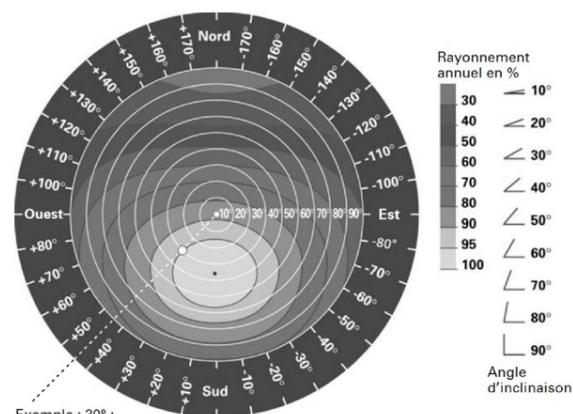
Irradiation solaire à Saint-Denis (source PVGIS, 2022)

La zone d'étude n'est pas impactée par des masques solaires significatifs et bénéficie donc d'un ensoleillement satisfaisant.

Les effets de masque au sein même de la zone d'étude devront faire l'objet d'un travail d'optimisation pour les limiter au maximum.



Irradiations solaires annuelle à Saint-Denis (source PVGIS, 2022)



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

Principales techniques disponibles

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.
- Dans les panneaux tubes, le serpentin est placé au centre d'un tube de verre.
- Les capteurs non vitrés, de type « moquette solaire » sont utilisés lorsque de grande surface de toiture sont disponibles.

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 est actualisé chaque trimestre et dépend de la puissance installée, du type d'intégration au bâti et de la revente en totalité ou non de l'électricité produite.

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 fabriquer¹. La durée de vie des panneaux est comprise entre 25 et 30 ans.

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).

¹ Connaissance des énergies, 2016

Capteur solaire à air

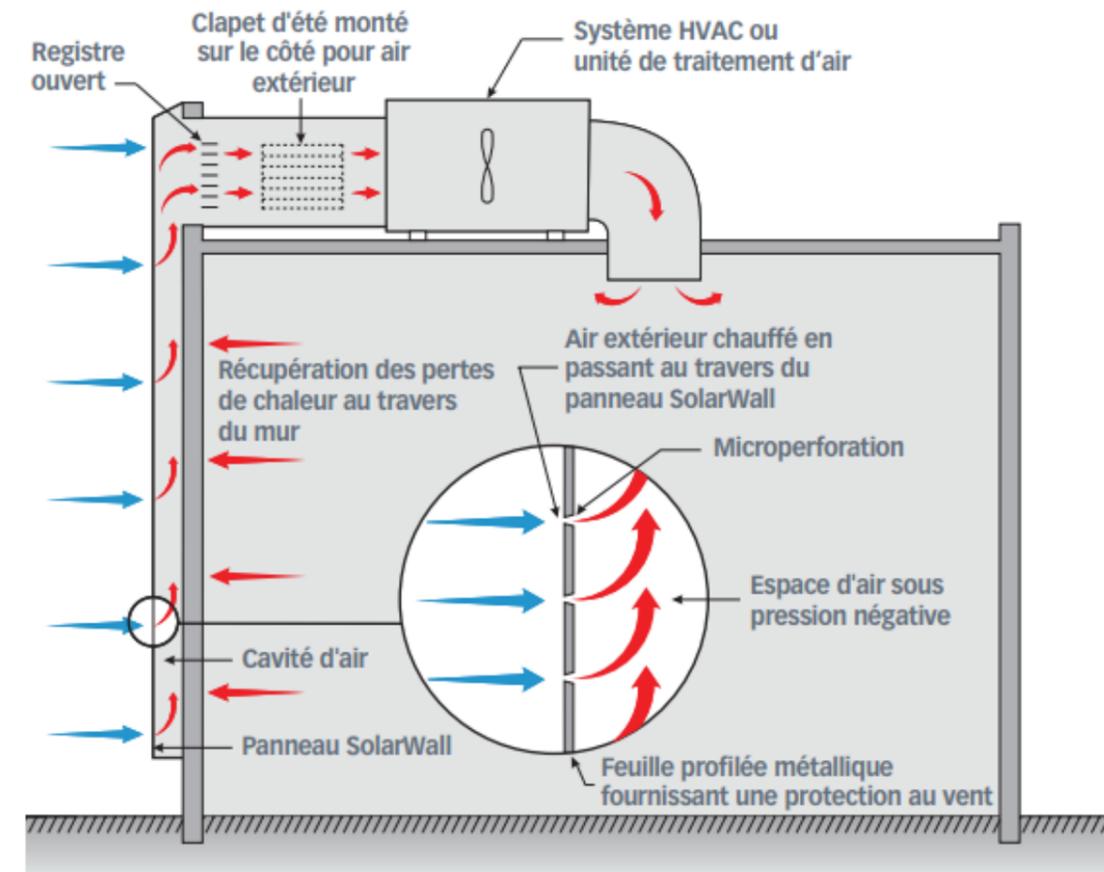
Ce système consiste à préchauffer l'air en le faisant passer entre un bardage micro-perforé servant de capteur solaire et une paroi lourde à forte inertie, avant de l'insuffler dans le bâtiment à l'aide d'une ventilation mécanique.

Il nécessite notamment une surface importante de paroi opaque bien exposée au soleil (sud) et des débits de ventilation importants.

Opportunités pour le projet

Le grand nombre de logements du projet implique une importante demande à la fois en électricité et en ECS. Ainsi, pour ces logements, une production via des panneaux solaires thermiques est préconisée. Prioriser le solaire thermique pour les logements, en raison de leur besoin en ECS important toute l'année : le thermique permet un meilleur rendement que le photovoltaïque. Il est aussi possible de faire le choix de panneaux hybrides.

La mise en place de capteurs solaires à air n'est envisageable que pour des bâtiments possédant de gros volumes (système pertinent uniquement pour des surfaces de capteurs supérieures à 100 m², soit pour des bâtiments demandant des débits d'air neuf supérieurs à 1 800 m³/h), et n'est donc pas pertinente pour le projet.



Schématisme du système Solar Wall en hiver (source Solar Wall, 2010)

L'AÉROTHERMIE

PAC aérothermiques

Les pompes à chaleur (PAC) aérothermiques récupèrent l'énergie calorifique contenue dans l'air pour chauffer :

- L'air intérieur dans le cas d'une pompe à chaleur air-air.
- Un circuit d'eau dans le cas d'une pompe à chaleur air-eau.

Les PAC peuvent être réversibles et assurer le rafraîchissement des locaux en période estivale. Dans ce cas, la PAC ne produit pas du froid mais « retire » de la chaleur à une source chaude (air, eau...).

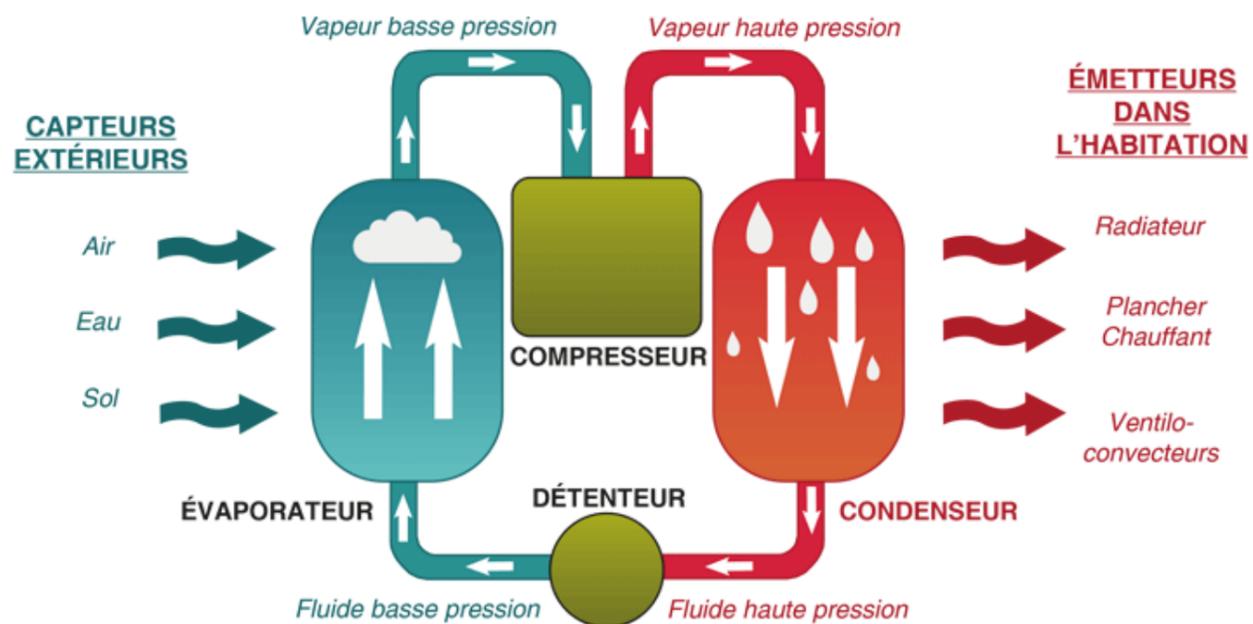


Schéma de fonctionnement d'une PAC air-air (source ENGIE, 2017)

Principales techniques disponibles

PAC air/air

Les PAC air/air ne nécessitent pas de réseau de chauffage pour fonctionner. Elles puisent les calories dans l'air extérieur pour chauffer l'air intérieur. Ce type de PAC est le plus souvent utilisé pour la climatisation, l'air n'étant pas le vecteur le plus efficace pour le chauffage.

Ce type de système dispose généralement d'un coefficient de performance de l'ordre de 3 (3 kWh de chaleur ou de climatisation produits pour 1 kWh d'électricité consommé).

PAC air/eau

Les PAC air/eau nécessitent un réseau de chauffage (de préférence basse température). Les calories puisées dans l'air extérieur sont transmises à la boucle d'eau, et diffusées au niveau des émetteurs (radiateurs ou planchers chauffants).

Il existe des PAC air/eau permettant la production d'ECS seule (aussi appelées chauffe-eau thermodynamiques), permettant la production de chauffage et d'ECS (PAC double service), ou la production de chauffage, ECS et froid (PAC triple service).

Ce type de système existe à l'échelle individuelle (une PAC par logement), et collective (une ou plusieurs PAC en cascade à l'échelle d'un bâtiment collectif).

Le coefficient de performance (COP) moyen considéré pour ce type de solution est de 3.

Opportunités pour le projet

Les PAC aérothermiques sont une solution adaptée à la production de chaleur et d'ECS pour les logements individuels et collectifs.

LE VENT

Ressource mobilisable

L'énergie éolienne est mobilisable pour la production d'électricité.

Un parc éolien exploite la force du vent pour la transformer en énergie électrique. La ressource est variable mais relativement prévisible et gérable.

La force, la fréquence et la régularité des vents sont des facteurs essentiels pour que l'exploitation de la ressource éolienne soit intéressante.

Le gisement éolien est estimé relativement faible dans le nord de Île-de-France. De plus, la rugosité des sols urbains réduit la vitesse du vent et apporte des turbulences néfastes à l'exploitation de l'énergie éolienne.

Principales techniques disponibles

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.

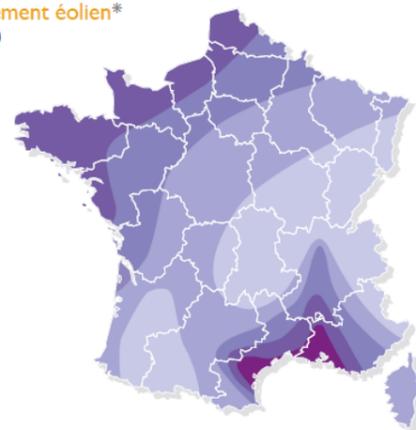
Leur vitesse de rotation est généralement faible : 30 tours / minute pour une pale d'un diamètre de 20 mètres.

Les machines de nouvelle génération, parfois appelées éoliennes toilées, fonctionnent plus rapidement à pleine puissance, même pour des vents moyens à faibles.

Les règles d'implantation du grand éolien sont, a minima, un retrait de 500 m des habitations et un regroupement de 5 éoliennes.

Il s'agit d'une production raccordée au réseau électrique.

Le gisement éolien*
(en m/s)



| | 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

Parmi les machines de puissance inférieure à 250 kW, on distingue le « micro-éolien » (< 1 kW), le « petit éolien » (entre 1 et 36 kW) et le « moyen éolien » (entre 36 et 250 kW). Ces éoliennes font moins de 35 m de hauteur. Elles sont raccordées au réseau ou bien autonomes en site isolé.

Ces éoliennes sont adaptées dans les secteurs ruraux et particulièrement dans les zones non connectées au réseau, sous réserve d'un gisement suffisant. L'ADEME indique qu'à moins de 20 km/h de moyenne annuelle (soit 5,5 m/sec), l'installation d'une éolienne domestique n'est pas conseillée.

Dans les conditions techniques et économiques actuelles, le petit éolien ne se justifie généralement pas en milieu urbain ou péri-urbain, où le vent est en général trop faible ou trop turbulent pour une exploitation rentable¹.

¹ ADEME, 2016

Opportunité pour le projet

L'exploitation de l'énergie éolienne n'est pas pertinente pour la zone d'étude.

LA GEOTHERMIE

Ressource mobilisable

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).

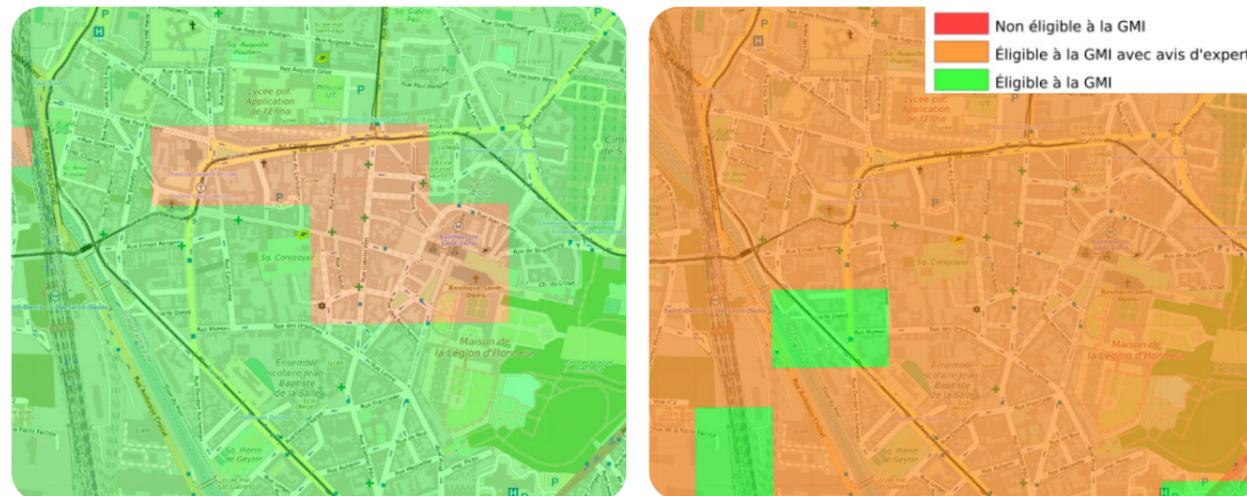
La géothermie est une source d'énergie permanente dont la production ne dépend pas des conditions naturelles ou climatiques contingentes.

La géothermie peut servir pour le chauffage et pour le rafraîchissement du bâti. 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.

Cette ressource à basse température peut également couvrir une partie des besoins en ECS (« préchauffage »).

La géothermie « sèche » consiste à prélever de la chaleur ou de la fraîcheur directement au sol.

Le secteur d'étude se trouve en zone éligible à la géothermie de minime importance¹ pour ce type de géothermie. Une partie du site d'étude est éligible avec avis d'expert (zones en orange sur les cartographies ci-dessous). Cela signifie que ces types d'activités géothermiques ne sont pas réputées pour présenter des dangers et inconvénients graves. L'installation d'un projet est soumise à déclaration.

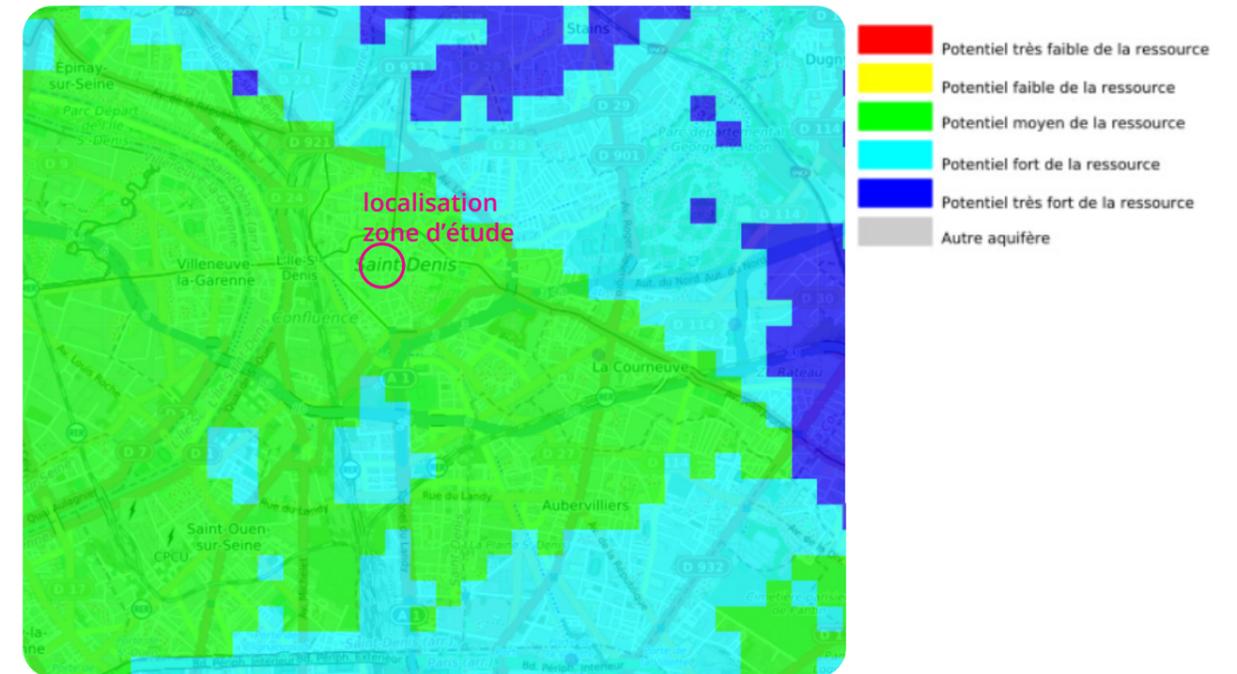


zones éligibles à GMI (de 10 à 50 m de profondeur à gauche et de 50 à 200 m de profondeur à droite (source Géothermies.fr, 2022))

La géothermie sur nappe consiste à prélever de l'eau dans une nappe du sous-sol, utilisée comme source de calories. La réinjection de l'eau puisée est indispensable pour protéger l'environnement et garantir la pérennité de la ressource.

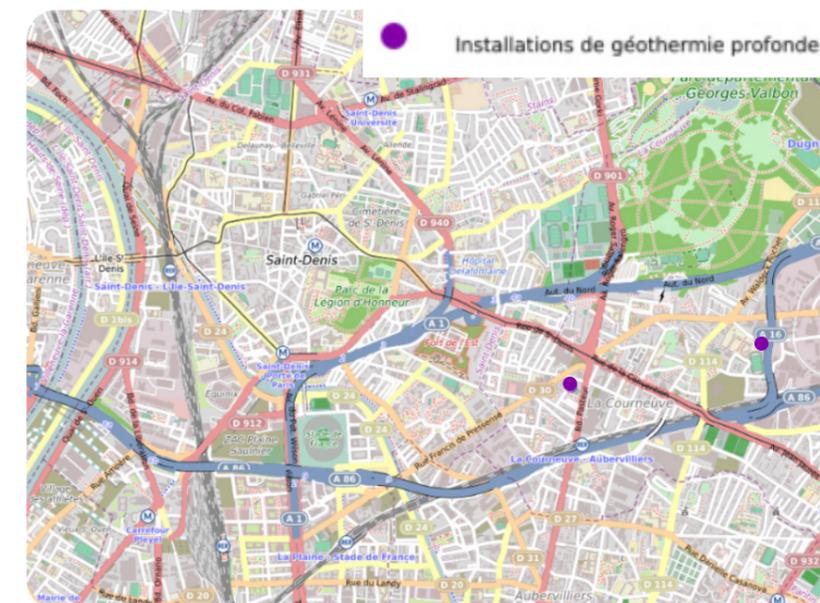
¹ La GMI recouvre les ouvrages dont la profondeur est inférieure à 200 mètres et la puissance est inférieure à 500 kW

La réinjection de l'eau puisée est indispensable pour protéger l'environnement et garantir la pérennité de la ressource.



Potentiel de géothermie sur nappe (source Géothermies.fr, 2022)

Plusieurs opérations de géothermie sont identifiées à proximité du site d'étude. Il s'agit en majorité d'installations de type géothermie de surface sur système ouverts (géothermie sur nappe superficielle).

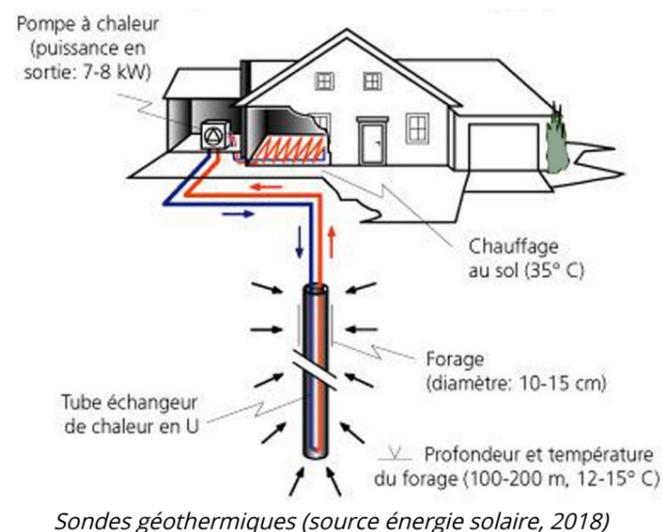


installations géothermie sur nappe (source Géothermies.fr, 2022)

Principales techniques disponibles

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 bon coefficient de performance (COP de l'ordre de 4) grâce à la température constante de la terre sur toute l'année de fonctionnement.



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

Géothermie sur nappe superficielle

Ce système fonctionne avec une PAC eau / eau alimentée par l'eau de la nappe. Les technologies actuelles possèdent un très bon coefficient de performance (COP de l'ordre de 4,5).

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.

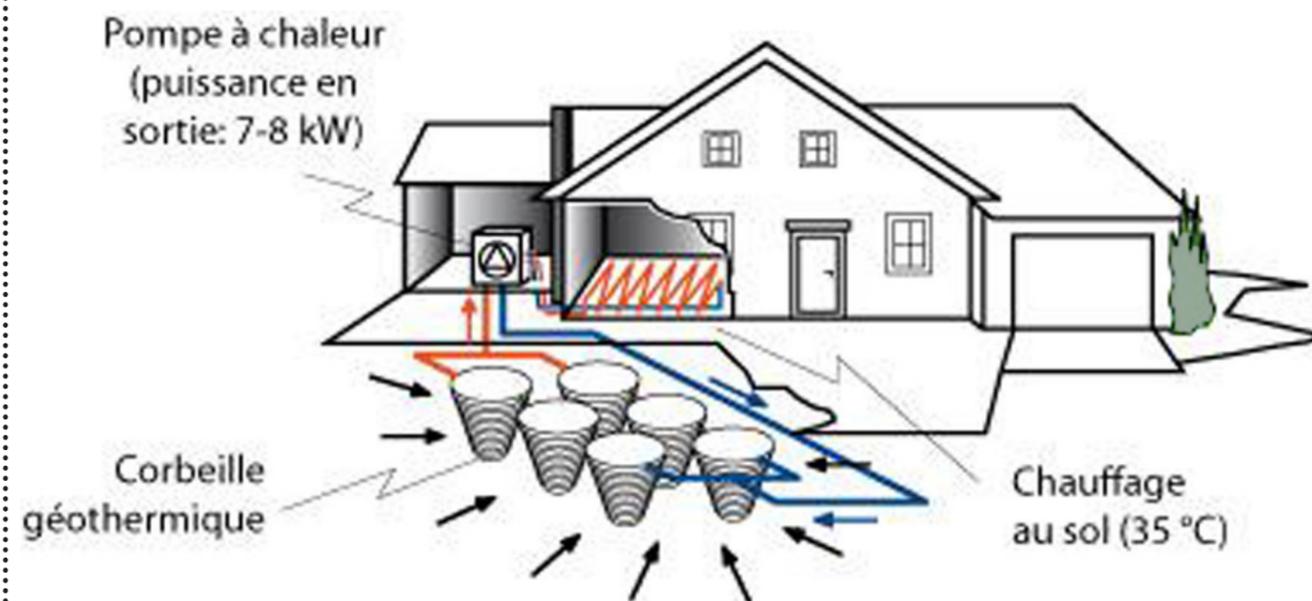
Géothermie sur nappe profonde

Le système est similaire. 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, plus les rendements sont importants mais le coût d'investissement également.

L'exploitation de ce type de géothermie nécessite une densité thermique importante voire très importante. Par exemple, pour la nappe du Dogger en Île-de-France, les éléments disponibles placent le seuil de rentabilité à environ 10 000 logements neufs.

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. Ce système nécessite une superficie de terrain importante.



Corbeilles géothermiques (source énergie solaire, 2018)

Opportunité pour le projet

Les solutions de géothermie ne sont pas pertinentes pour l'opération. En effet, ces solutions demandent de la place pour pouvoir installer les forages. Or, le centre ville de Saint-Denis est contraint en termes de place.

La géothermie sèche pourrait être pertinente pour le projet mais certaines zones du site sont soumises à avis d'expert et un besoin d'espace est également nécessaire.

La géothermie sur nappe superficielle peut être valorisée pour les logements collectifs. En revanche, cette solution nécessite des études locales poussées et le potentiel de géothermie sur site est moyen. Un système réversible n'est pas pertinent car les logements n'ont pas de besoin en froid.

La densité thermique envisagée sur la zone d'étude n'est pas compatible avec une solution de géothermie sur nappe profonde. Cette solution pourra néanmoins être envisagée à plus grande échelle, notamment dans le cadre de l'extention du réseau de chaleur de la ville.

LA BIOMASSE

Ressource mobilisable

La biomasse regroupe l'ensemble de la matière végétale qui peut être utilisée à des fins de valorisation énergétique pour fabriquer de la chaleur, de la vapeur ou de l'électricité. Elle concerne le bois, le biogaz, les huiles végétales, les biocarburants, ...

Bois

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 de bois à l'horizon 2035, jusqu'à 20 millions de m³ 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 entre 2015 et 2020 à 266 ktep/an (kilo tonne équivalent pétrole), constituée majoritairement de bois forestiers, de bois de fin de vie et de paille. À titre de comparaison, en 2013, 29 ktep de biomasse ont été consommés.

Déchets organiques et effluents²

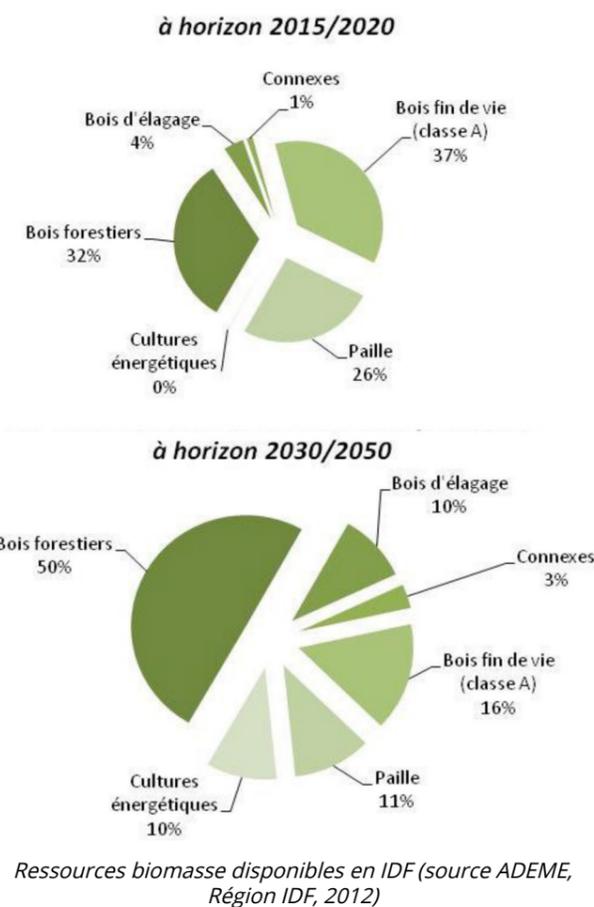
Les déchets organiques sont de différents types :

- Les déchets industriels (déchets de transformation des industries végétales et animales).
- Les déchets agricoles (substrats végétaux solides, déjections d'animaux).
- Les déchets municipaux (journaux, déchets alimentaires textiles, déchets verts, emballages, sous-produits de l'assainissement urbain).

Un gisement local existe à Saint-Denis (déchets des cuisines d'établissements scolaires, déchets des logements en particulier)

Un gisement local d'effluents existe également. Les effluents regroupant :

- Les eaux résiduaires, urbaines ou industrielles.
- Les boues d'épuration (boues primaires et boues biologiques).
- Les effluents agro-alimentaires.



Principales techniques disponibles

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 CO₂ libérée par la combustion du bois est compensée par la capture d'une même quantité de CO₂ pour la croissance de l'arbre. Ceci est vrai tant que l'exploitation du bois conduit à une quantité de bois produite au moins équivalente à celle consommée.

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

Cette ressource peut alimenter un poêle ou une chaudière pour produire du chaud et de l'ECS.

Elle peut également alimenter une unité de cogénération, permettant de produire du chaud et de l'électricité. 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 %, là où 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).

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.

¹ ADEME, IGN et FCBA, 2015

² Connaissance des énergies, 2015

Méthanisation

La méthanisation est un processus de décomposition de matières putrescibles par des bactéries qui agissent en l'absence d'air. On nomme ce processus de décomposition « fermentation anaérobie ».

Ce procédé permet de générer une énergie renouvelable, du biogaz qui comporte entre autres du méthane (CH₄, dans des proportions de 50 % à 70 %, du dioxyde de carbone (CO₂) ainsi que du compost (un « digestat » utilisé comme fertilisant). Le biogaz peut être transformé en chaleur, en électricité et en carburant pour véhicules.

Elle mobilise aussi bien les effluents liquides que les déchets solides organiques.

Le terme « micro-méthanisation » englobe l'ensemble des installations de très petite taille, c'est-à-dire ayant une puissance électrique installée de quelques dizaines de kW au maximum. Ce système est principalement utilisé dans le secteur agricole.

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.

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

Opportunité pour le projet

Le bois énergie est pertinent pour l'opération, à l'échelle de chaque bâtiment (tous types) ou via un réseau de chaleur.

Vu les contraintes liées à l'installation d'une unité de méthanisation, cette solution n'apparaît pas adaptée à ce stade de l'opération.

Energies de récupération

- Il n'existe pas de gisement de chaleur fatale exploitable à proximité du quartier.
- Des chaudières numériques pourront éventuellement être installées au niveau des nouveaux logements.
- La récupération sur eaux usées est un gisement intéressant au niveau des nouveaux logements.

LA CHALEUR FATALE

Ressource mobilisable

La chaleur fatale est la chaleur qui est produite par un processus dont l'objet n'est pas la production de cette chaleur. C'est par exemple la chaleur rejetée lors de l'incinération des déchets, processus dont l'objet principal est la destruction des déchets et non la production d'énergie.

Cette chaleur perdue et gaspillée constitue un gisement intéressant pour une utilisation plus rationnelle de l'énergie.

Les gisements de chaleur fatale peuvent être classés en 4 catégories :

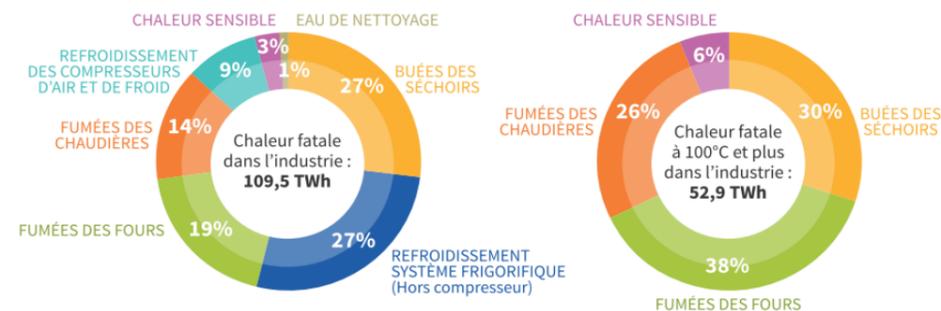
- La chaleur industrielle (chimie plastique, métaux, agroalimentaire, papier, raffinage...) - Gisement exploitable estimé à 109,5 TWh à l'échelle nationale en 2017.
- Les UIOM (Usines d'Incinération des Ordures Ménagères) - Gisement exploitable estimé à 4,4 TWh à l'échelle nationale en 2017, réparti sur plus de 130 usines.
- Les STEP (STations d'EPuration des eaux usées) - Gisement exploitable de 0,4 TWh à l'échelle nationale en 2017, réparti sur 60 stations d'épuration.
- Les Data Center - Gisement exploitable estimé à 3,6 TWh, répertorié sur les 177 Data Center hébergeurs répertoriés en 2015.

A plus petite échelle, la chaleur extraite au niveau des groupes froids installés dans les commerces / bureaux / bâtiments d'activité peut également être exploité.

Principales techniques disponibles

Industrie

La chaleur fatale exploitable issue de l'industrie provient de divers gisements :



Répartition des gisements de chaleur fatale exploitables - Ademe 2017

Cette chaleur peut être utilisée soit :

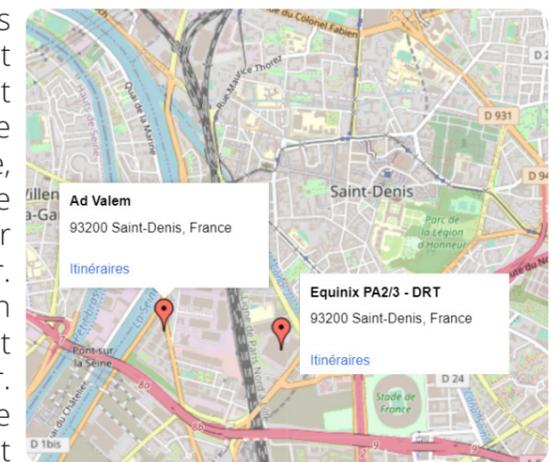
- Pour alimenter un réseau de chaleur urbain ou des industriels avoisinants.
- Pour être introduite dans un turboalternateur produisant de l'électricité.

UIOM (Usine d'Incinération des Ordures Ménagères) et incinération des boues issues des STEP (STations d'EPuration des eaux usées)

L'incinération est un procédé de traitement thermique des déchets avec excès d'air. Ce procédé consiste à brûler les ordures ménagères et les déchets industriels banals (pour les UIOM), et les boues de station d'épuration (au niveau des STEP ou en co-incinération avec les déchets ménagers), dans des fours adaptés à leurs caractéristiques (composition, taux d'humidité). Cette chaleur, récupérée initialement sous forme de vapeur sous pression, va être utilisée de la même manière que la chaleur fatale issue de l'industrie.

Data center / chaudières numériques

Les centres de données (data center), constitués d'équipements informatiques puissants, consomment une grosse quantité d'énergie électrique et dissipent une grande quantité de chaleur. Cette chaleur peut être récupérée et valorisée pour produire de l'eau chaude, qui peut alimenter un réseau de chaleur ou une boucle d'eau tempérée. L'utilisation de cette chaleur réduit fortement les besoins en froid des data center. Une chaudière numérique consiste en la production de chaleur à partir d'un serveur informatique (stockant des données) plongé dans un fluide caloporteur. L'ensemble se présente sous la forme d'une boîte étanche avec onduleurs intégrés. Le fonctionnement des serveurs est constant toute l'année. Il peut donc être mobilisé pour la production d'ECS, en association à un ballon tampon.



Data-centers à proximité du site (source france-datacenter, 2022)

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). Cette récupération d'énergie permet par ailleurs d'améliorer le rendement des groupes froid (dispersion de la chaleur plus facile dans l'eau que dans l'air).

Opportunité pour le projet

L'incinérateur le plus proche se trouve à Saint-Ouen (Centre d'incinération avec valorisation énergétique à Saint-Ouen-sur-Seine (Syctom)), à 5 km du site. Cette filière n'est pas mobilisable pour la zone d'étude.

Deux data-center sont présents à proximité du quartier. En revanche, ils ne sont pas suffisamment proches pour pouvoir exploiter la ressource.

Néanmoins, la programmation à majorité constituée de logements serait favorable à une installation de chaudières numériques pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire.

Aucun groupe froid n'est identifié à proximité immédiate du site.

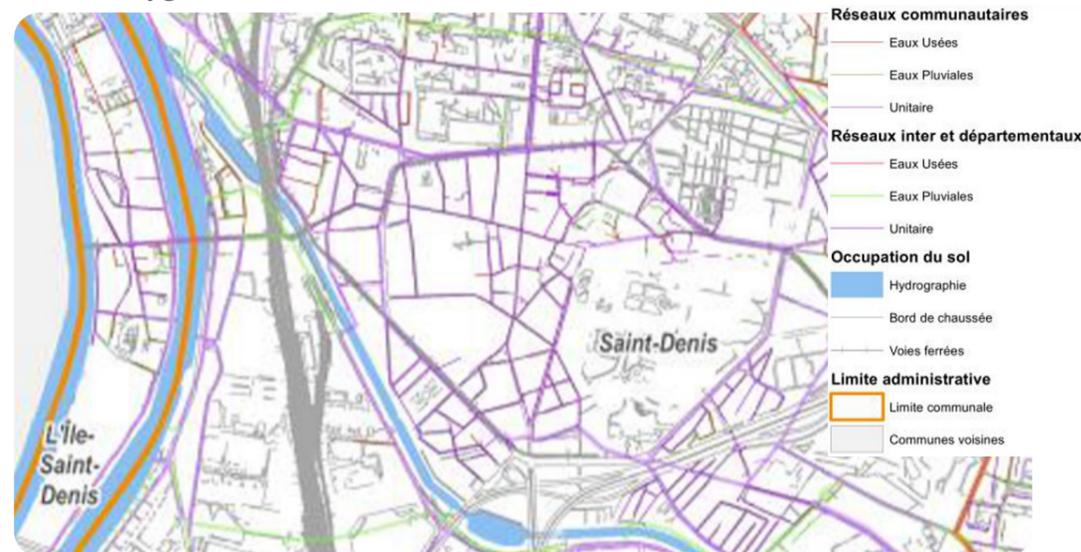
LES EAUX USÉES

Ressource mobilisable

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.

Les eaux usées grises (eaux issues des douches) sont recueillies à une température moyenne de 29°C dans les bâtiments. Elles constituent un gisement intermittent, qui peut être utilisé pour l'ECS.

Le gisement au niveau des collecteurs d'assainissement est estimé fort sur le quartier¹. La station d'épuration des eaux usées de la ville se trouve à proximité du site d'étude au nord (AHC Assainissement Hygiène Confort).



Plan réseaux assainissement (source Seine-Saint-Denis, 2022)

Principales techniques disponibles

Récupération de chaleur sur les réseaux d'assainissement ou au niveau des Stations d'Épuration (STEP)

Le système récupère les calories des eaux usées 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 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 inférieure à 300 m.

Ce type de système est également pertinent à proximité des stations d'épuration, qui concentrent des débits d'eau usée plus importants.

Récupération de chaleur sur les eaux grises - Système avec PAC

Le système est principalement composé d'une cuve d'échange thermique et d'une pompe à chaleur eau / eau. Ce sont les échangeurs immergés dans la cuve, dans lesquels circule un fluide caloporteur, qui vont alimenter en calories la pompe à chaleur du système pour produire de l'eau chaude sanitaire. 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.

Récupération de chaleur sur les eaux grises - 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 et / ou du mitigeur de la douche.

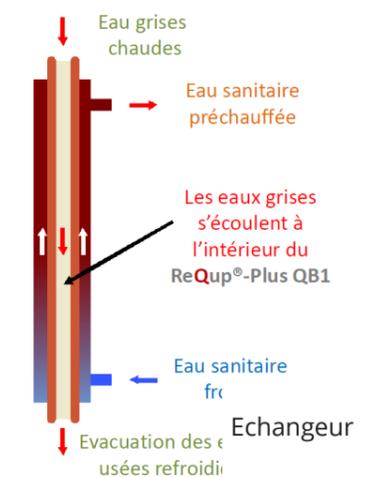
Deux modes de mise en oeuvre sont possibles :

- Les systèmes composés de plusieurs tubes, assemblés en parallèle dans un local dédié et associés à un ballon de stockage. Ils sont adaptés aux bâtiments collectifs.
- 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.

Ces systèmes peuvent mener à une économie de l'ordre de 30 à 60 % de la production d'eau chaude sanitaire.



Principe de récupération de chaleur sur les eaux grises avec stockage (source Ecohabitation)



Principe de récupération de chaleur sur les eaux grises (source Gaïa Green)

Opportunité pour le projet

Considérant les besoins en ECS de l'opération, la récupération de chaleur sur les eaux grises est pertinente pour les Logements collectifs de l'opération.

L'exploitation du gisement en eaux usées du système d'assainissement semble envisageable au vu de la densité de la zone d'étude.

Réseaux d'énergie

- Le projet est raccordé au réseau de gaz et d'électricité.
- Il existe un réseau de chaleur au niveau du site, alimenté en partie par des chaudières à biomasse. Le raccordement au réseau de chaleur semble pertinente.
- La création d'une boucle d'eau tempérée ne semble pas être une solution prioritaire.

Opportunité pour le projet

Le secteur d'étude est actuellement desservi par le réseau de gaz et électrique. Il est raccordé au réseau existant.

RESEAU DE GAZ ET D'ELECTRICITE

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 CO₂ 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.

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 %.²

¹ MEEM, 2016

² MEEM, 2016

RESEAU DE CHALEUR URBAIN

Principe

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'investissement 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).

Un réseau de chaleur peut combiner différentes sources d'énergies renouvelables avec des combustibles fossiles. Il est recommandé d'inciter au raccordement des bâtiments aux réseaux de chaleur à la condition que ces réseaux s'engagent à avoir recours aux EnR&R. Les réseaux de chaleur peuvent également assurer la production d'électricité via cogénération, alimentée de préférence par une énergie renouvelable.

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. 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 par sous-station) est assuré.
- L'équilibre financier de l'opération pendant la période d'amortissement des installations est assuré.

Opportunité pour le projet

Il existe un réseau de chaleur urbain sur la commune du secteur d'étude. Il est exploité par la délégation de service public Plaine Commune Énergie. Le suivi du service public du chauffage urbain est géré par le SMIREC. Ce réseau assure la production et la distribution de chaleur des villes de Saint-Denis, Stains, Pierrefitte, l'Île-Saint-Denis et Aubervilliers.

Il alimente en chauffage et ECS l'équivalent de 50 000 logements sur ces communes. La production énergétique du réseau est issue à plus de 53 % d'énergie renouvelable. La longueur du réseau est de 70 km environ.

Il est alimenté aujourd'hui par 4 chaufferies biomasse et est composé de 535 sous-stations. L'une des chaufferies est située à Saint-Denis, c'est la Centrale du Fort de l'Est. La puissance de cette chaufferie est de 26,5 MW et elle a été mise en service en 2016.

La production du réseau annuelle est estimée à 336 GWh.

Ce réseau de chaleur permet l'économie de 56 000 tonnes d'émissions de CO2 chaque année, soit l'équivalent de 25 000 véhicules en circulation.

Des travaux d'extension du réseau sont actuellement en cours sur la ville de Saint-Denis :

- Au niveau de la place Pleyel (travaux prévus du 6 juin 2022 au 9 septembre 2022)
- Au niveau des rues de la Torpedo et des Renouillères (travaux de début mars 2022 à fin juin 2022)
- Au niveau de la rue de la Procession, de la rue des Drapiers, de l'Impasse Faron et de la Rue de la croix Faron (travaux prévus de début mai 2022 à fin juillet 2022)

Le réseau de chaleur est situé au niveau de la zone d'étude qui correspond au centre de la Ville de Saint-Denis. Il s'agit principalement du réseau haute pression à haute température.



Plan du réseau de chaleur de la ville (source Plaine Commune Énergie, 2022)

BOUCLE D'EAU TEMPÉRÉE À ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

Principe¹

Une boucle d'eau tempérée à énergie géothermique (BETEG) est un système de mutualisation d'énergie pouvant provenir d'une multitude de sources énergétiques :

- Géothermie au sens strict (sondes géothermiques verticales, eaux de nappes souterraines),
- Géostructures, eaux de cavités souterraines),
- Thalassothermie (mers et océans, voire eaux de surface),
- Récupération de chaleur sur les eaux grises (eaux usées, sorties de STEP),
- Récupération de chaleur fatale de moyenne à basse température (data-center, groupe froid...)

Une BETEG est constituée :

- D'un dispositif de captage (ressource géothermique),
- D'un dispositif de mutualisation (boucle d'eau tempérée),
- D'un dispositif de production (Thermopompes ou PACs Géothermiques eau/eau),
- D'un dispositif de régulation.

La température de l'eau dans la boucle tempérée est réhaussée ou abaissée au pied de chaque bâtiment/ilot de bâtiments à l'aide d'une pompe à chaleur (PAC) ou d'une thermofrigopompe, pour assurer la :

- Production de chaleur,
- Production d'eau chaude sanitaire,
- Production de froid passif (géocooling) ou actif (climatisation).

Une BETEG se différencie d'un réseau de chaleur de plusieurs manières :

- Possibilité de réaliser un échange d'énergie thermique entre bâtiments,
- Stockage thermique au niveau de la boucle, qui dispose donc d'une inertie permettant une synergie énergétique et une réduction des pics de demande,
- Pertes énergétiques réduites, du fait de régimes de températures plus faibles (5 à 30°C selon les cas, à comparer avec les régimes de 60 à 80°C pour un réseau de chaleur dit à «basse température»),

¹ La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique - AFPG, mars 2020

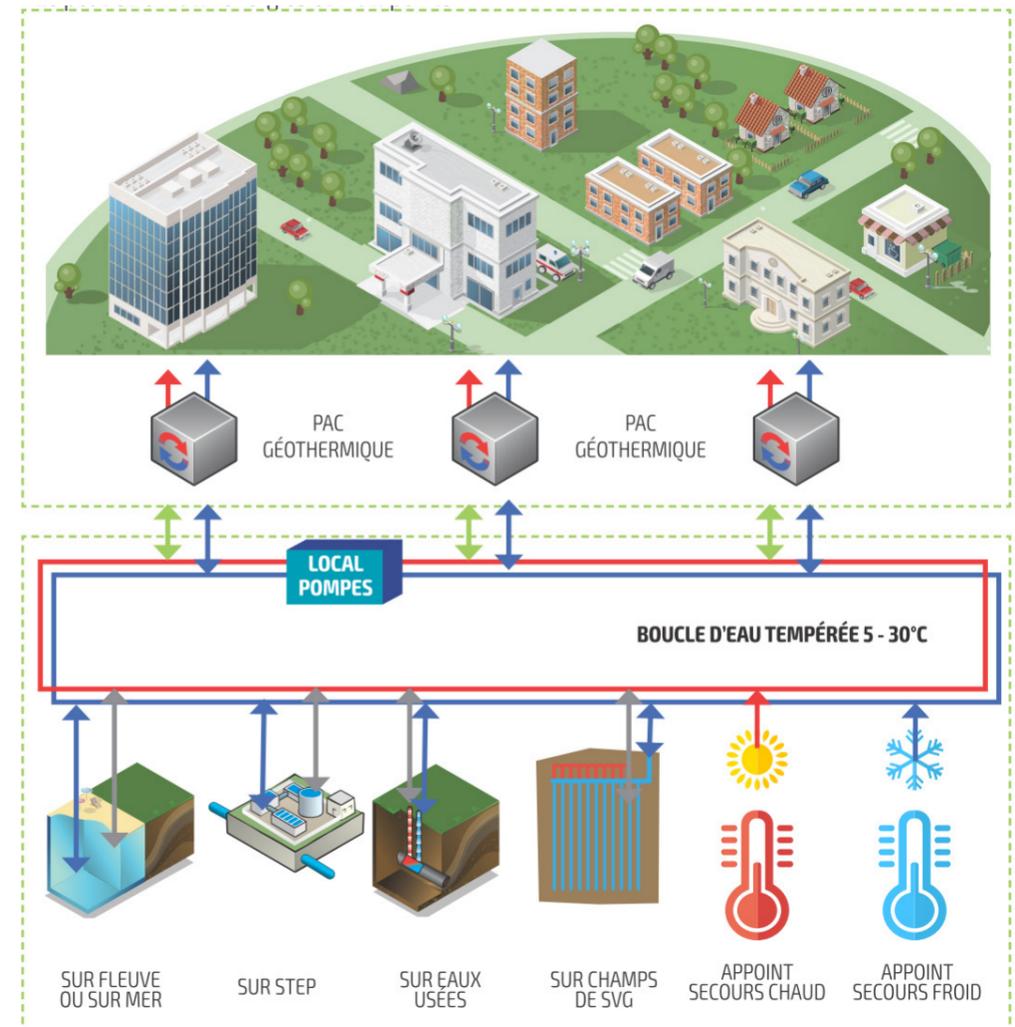


Figure 2
Synoptique de la BETEG
Multi énergies
et multipoints
Source ©AFPG
d'après BURGEAP

La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique - AFPG, mars 2020

Opportunité pour le projet

La création d'une BETEG ne semble pas être une solution à privilégier au niveau du quartier. En effet, la présence d'un réseau de chaleur existant nous pousse à prioriser l'extention de celui-ci, de manière à ne pas démultiplier les investissements en termes de réseaux.

Synthèse des gisements ENR&R et des opportunités

| | |
|--|----------------------|
| | Filière de référence |
| | Filière prioritaire |
| | Filière secondaire |
| | Filière non retenue |

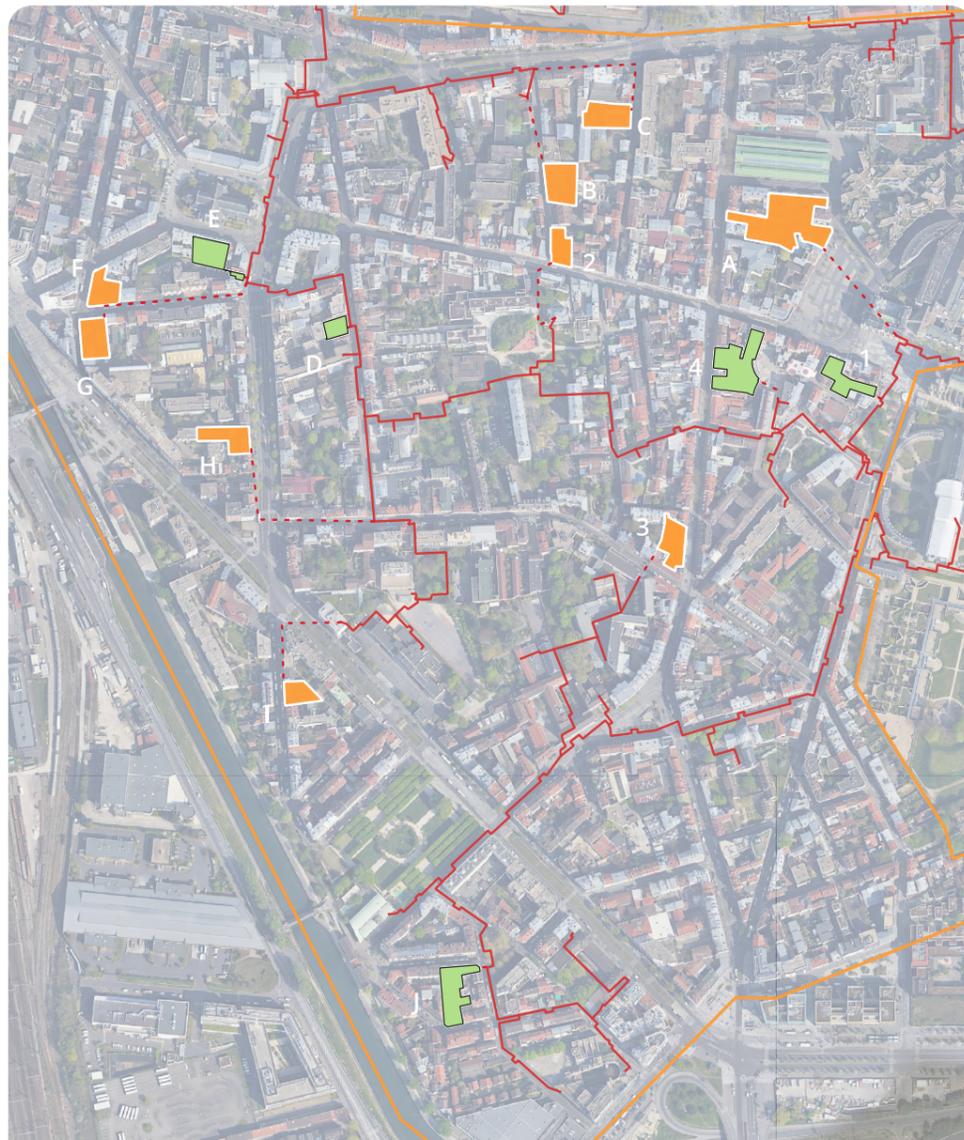
| Filière | Production | Échelle possible | Retour sur investissement économique moyen | Retour sur investissement environnemental | Particularités techniques ou administratives | Données environnementales locales | Pertinence |
|---|--|------------------|--|---|---|---|--|
| Gaz naturel | Chauffage Eau chaude sanitaire (ECS) | Bâtiment | Référence | Recours à une énergie fossile : non renouvelable et émettrice de CO2 Vigilance à avoir par rapport à l'origine géographique du gaz | Abonnement nécessaire | Réseau de gaz disponible au niveau de la zone d'étude | Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique |
| Électricité | Chauffage ECS Froid Autres usages | Bâtiment | Référence | Émissions importantes de CO2 lors des pics de consommation Déchets nucléaires Vigilance à avoir par rapport à l'origine géographique de l'uranium | Abonnement nécessaire | Réseau électrique disponible au niveau de la zone d'étude | Filière de référence pour les autres usages |
| Solaire thermique | ECS Chauffage Climatisation | Bâtiment | 12 à 15 ans | Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route | D'autant plus efficace que les besoins en ECS sont constants sur l'année ou supérieurs en période estivale Appoint nécessaire | Les logements nécessitent des besoins en ECS importants | Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique |
| Solaire photovoltaïque | Électricité | Bâtiment | 15 à 20 ans | Amélioration du bilan carbone Réduction de la production de déchets nucléaires Vigilance à avoir par rapport à l'origine géographique des matériaux / analyse de cycle de vie | Obligation d'achat par EDF jusqu'à 100kWc, sous conditions Intégration au bâti à trouver (toiture terrasse membrane d'étanchéité, brise soleil, vitrage...) | Possibilité d'éviter les phénomènes de masques | Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique |
| Solaire hybride | ECS Electricité | Bâtiment | 12 à 15 ans | Amélioration du bilan carbone Réduction de la production de déchets nucléaires Vigilance à avoir par rapport à l'origine géographique des matériaux / analyse de cycle de vie | Performance 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 secondaire, envisageable pour les logements collectifs |
| Capteur solaire à air | Chauffage | Bâtiment | Reste à déterminer | Amélioration du bilan carbone | Contraintes concernant la surface d'accueil du capteur Contraintes concernant le système de ventilation | Solution uniquement adaptée aux bâtiments disposant de grandes façades non vitrées (type bâtiment logistique) | Filière non retenue (programmation non adaptée) |
| Aérothermie (PAC air-air ou air/eau réversible) | Chauffage Froid | Bâtiment | 10 à 15 ans | Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route | Nécessité de réserver un emplacement extérieur et d'isoler acoustiquement l'unité extérieure de la PAC | Climat relativement doux | Filière de référence pour la production de chaleur et d'ECS dans les logements neufs collectifs et individuels |

| Filière | Production | Échelle possible | Retour sur investissement économique moyen | Retour sur investissement environnemental | Particularités techniques ou administratives | Données environnementales locales | Pertinence |
|--|--|-----------------------|---|--|---|--|--|
| Grand éolien | Électricité | Quartier | 8 à 10 ans | Amélioration du bilan carbone Réduction de la production de déchets nucléaires Incidences paysagères et écologiques possibles | Obtention d'un permis de construire | Potentiel éolien à grande hauteur faible Proximité de l'aéroport Paris - Charles-de-Gaulle et de zones urbaines | Filière non retenue, non adaptée à un quartier résidentiel |
| Micro éolien | Électricité | Bâtiment Quartier | 60 à 140 ans | Amélioration du bilan carbone Réduction de la production de déchets nucléaires | 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 |
| PAC sur sondes géothermiques réversible | Chauffage ECS Climatisation | Bâtiment | 7 à 10 ans | Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route | Distance minimale à respecter entre les sondes (régénération du sol nécessaire) | | Filière non retenue, non adaptée à un quartier résidentiel |
| PAC sur pieux géothermiques réversible | Chauffage ECS Climatisation | Bâtiment | Faible coût si la construction nécessite des fondations sur pieux | Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route | Distance minimale à respecter entre les pieux (régénération du sol nécessaire). Faisabilité dépend de la nature du sol. | A étudier plus précisément en fonction de l'étude de sol pour vérifier l'absence localement de vides souterrains | Filière secondaire à favoriser dans l'hypothèse de pieux à réaliser pour le bâti |
| PAC sur nappe superficielle réversible | Chauffage ECS Climatisation | Bâtiment Quartier | 5 à 16 ans | Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route | Vérification requise du volume d'eau, du débit exploitable, de la température (réalisation d'un forage de contrôle) Délai administratif long | Potentiel géothermique sur nappe moyen | Filière secondaire (moins pertinente que les sondes, nécessite des études plus poussées) |
| PAC sur aquifère profond (Albien) réversible | ECS Chauffage Climatisation | Quartier | | Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route | Vérification requise du volume d'eau, du débit exploitable, de la température (réalisation d'un forage de contrôle) Autorisation spécifique pour cette source stratégique d'eau potable | | Filière non retenue (besoin thermique insuffisant) |
| Bois | Chauffage ECS Cogénération (Électricité) | Bâtiment, Quartier | 8 à 15 ans | Amélioration du bilan carbone en cas de recours à une ressource gérée de manière durable Contrainte liée à l'acheminement Possibilité de valorisation de déchets de bois Possibilité de faire de la cogénération : production d'électricité verte sur le site | Combinaison avec une installation gaz pour couverture des périodes les plus froides Étude à mener sur la concurrence disponible pour le prix de l'énergie 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 |
| Incinération d'ordures ménagères | Chauffage ECS Électricité | Quartier | Reste à déterminer | Installations classées avec les contraintes écologiques associées | Procédure et délais d'études, et d'installation | Pas de modification envisagée du schéma de collecte et de traitement des déchets | Filière non retenue (pas d'installation proche) |
| Méthanisation | Chauffage ECS Électricité | Quartier | 6 à 17 ans | Filière courte pour le traitement de déchets agricoles et déchets verts Équilibrage du cycle du carbone avec les activités agricoles | Surface minimale requise de 1 ha (puissance installée de 250 kW à 500 kW) Distance minimale des habitations de 50 m Procédure ICPE Délai d'installation supérieur à 2 ans Nécessité d'une demande en énergie constante. | Gisement de déchets verts et agroalimentaire à proximité | Filière non retenue (pas d'installation proche) |

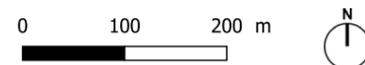
| Filière | Production | Échelle possible | Retour sur investissement économique moyen | Retour sur investissement environnemental | Particularités techniques ou administratives | Données environnementales locales | Pertinence |
|---|-----------------------------------|------------------|--|--|---|---|--|
| Récupération d'énergie sur réseaux d'assainissement | ECS Chauffage Climatisation | Quartier | Entre 2 et 10 ans | Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route | Faisabilité dépend du débit et de la pente du réseau, de la présence d'une chute d'eau, des besoins de chaleur à proximité, de la longueur de l'échangeur de 20 à 200 ml max. 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 secondaire, envisageable pour les logements collectifs |
| Récupération de chaleur sur eaux grises | ECS | Bâtiment | Entre 5 et 15 ans | Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route Réduction des rejets d'eaux au réseau d'assainissement | Surface de local technique de l'ordre 20 m ² Techniques disponibles avec et sans PAC | Solution pertinente pour les logements (besoins en ECS importants) | Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique |
| Data center | Chauffage ECS | Quartier | Variable | Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route | Vérification requise des capacités de production de chaleur des data center par un audit énergétique Autorisation spécifique du propriétaire | Pas de nuisances car intégré à un réseau enterré | Filière non retenue (pas d'installation proche) |
| Chaudière numérique | Chauffage ECS | Quartier | Variable | Amélioration du bilan carbone Utilisation d'une ressource locale sans approvisionnements par la route | S'assurer de la disponibilité de la chaudière à moyen / long terme | Solution pertinente pour les logements (besoins en ECS importants) | Filière secondaire, envisageable pour les logements collectifs |

Présentation des scénarios retenus par groupes

Rappel des hypothèses prises pour les lots raccordés et non raccordés au RCU existant.



▭ Périmètre d'étude
— Réseaux de chaleur
- - - extension potentielle RCU
▭ raccordement RCU
▭ pas de raccordement au RCU



Plan des potentiels raccordement au RCU (TRANS-FAIRE, 2022)

Données communes

Les scénarios sont présentés par groupes selon le raccordement ou non au réseau de chaleur urbain de la ville.

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

Les besoins en ECS des commerces sont couverts par des ballons électriques pour l'ensemble des scénarios.

Pour tous les scénarios, la climatisation pour les commerces est assurée par une PAC air/air disposant d'un COP de 3.

Les pertes de distribution, d'émission et de régulation sont prises en compte à hauteur de 5 %. Les pertes liées aux boucles ECS sont estimées à 20 % pour les logements.

GROUPE 1 : Logements neufs - raccordés au RCU

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|-------|---------------|-------------|---------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | RCU | / | / | RCU | / | / |
| Scénario A2 - Base + solaire PV | RCU | / | / | RCU | / | Photovoltaïque |
| Scénario B - Biomasse | Bois granulés | / | / | Bois granulés | / | / |
| Scénario C - PAC air/eau | PAC air / eau | / | / | PAC air / eau | / | / |
| Scénario D - Gaz | Gaz | / | / | Gaz | / | / |

Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain de la ville

Ce scénario est considéré comme étant le scénario de référence, un raccordement au réseau de chaleur de la ville. Dans ce scénario, la plupart des bâtiments de logements du programme sont raccordés au réseau de chaleur urbain de la ville. Celui-ci permet de couvrir tous les besoins en chaud et en ECS pour les logements neufs raccordés.

Les pertes au niveau du réseau de chaleur sont considérées de 5%.

Scénario A2 - Raccordement au réseau de chaleur urbain de la ville et production solaire photovoltaïque

Ce scénario est basé sur le scénario A pour la production de chauffage et d'ECS. 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 rachats 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). Une productivité de 174 kWh/m²/an est prise en compte, auquel est affectée un coefficient de dégradation de 5% pour tenir compte des masques et orientation non optimales.

On considère l'implantation de 10 m² de panneaux solaires photovoltaïques par logement neuf, soit environ 860 m².

Scénario B - Biomasse

Dans ce scénario, le chauffage et la production d'ECS des logements neufs est assurée par des chaufferies à biomasse.

Il est prévu des chaudières bois à granulés haute performance. Ce type de système 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 ce scénario, le coefficient de conversion entre énergie finale et énergie primaire non renouvelable du bois est considéré comme étant nul, conformément aux règles de calcul RE2020. En effet le CO2 libéré lors de la combustion du bois avait auparavant été stocké par l'arbre lors de sa croissance.

Scénario C - PAC air/eau

Dans ce scénario, les logements neufs sont chauffés par une pompe à chaleur air/eau. Celle-ci prend en charge le chauffage et la production d'ECS. Son COP est de 3. Cette pompe à chaleur va donc fonctionner à un régime régulier, ce qui assure un meilleur rendement et une usure plus faible.

Scénario D - gaz

Ce scénario correspond à une couverture des besoins de chaud et d'ECS par du gaz.

Des chaudières au gaz à condensation et bas- NOx (le système de condensation permet d'améliorer le rendement de la combustion) sont prises en compte, avec un rendement de 95 %.

Les chaudières sont considérées collectives pour chaque bâtiment de logements neufs.

GROUPE 2 : Logements réhabilités - raccordés au RCU

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|---------------------------------------|-----------|-------------------|-------|-------------------|-------------|---------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | RCU | / | / | RCU | / | / |
| Scénario A2 - Base + solaire PV | RCU | / | / | RCU | / | Photovoltaïque |
| Scénario B - Gaz | Gaz | / | / | Gaz | / | / |
| Scénario B1 - Gaz + PAC | Gaz | / | / | PAC air / eau | / | / |
| Scénario B2 - Gaz + solaire thermique | Gaz | / | / | Solaire thermique | Gaz | / |

Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain de la ville

Ce scénario est considéré comme étant le scénario de référence, un raccordement au réseau de chaleur de la ville. Dans ce scénario, la plupart des bâtiments du programme sont raccordés au réseau de chaleur urbain de la ville. Celui-ci permet de couvrir tous les besoins en chaud et en ECS pour les logements réhabilités raccordés.

Les pertes au niveau du réseau de chaleur sont considérées de 5%.

Scénario A2 - Raccordement au réseau de chaleur urbain de la ville et production solaire photovoltaïque

Ce scénario est basé sur le scénario A pour la production de chauffage et d'ECS.

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 rachats 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).

Une productivité de 174 kWh/m²/an est prise en compte, auquel est affectée un coefficient de dégradation de 5% pour tenir compte des masques et orientation non optimales.

On considère l'implantation de 10 m² de panneaux solaires photovoltaïques par logement réhabilité, soit environ 220 m².

Scénario B - gaz

Ce scénario correspond à une couverture des besoins de chaud et d'ECS par du gaz.

Des chaudières au gaz à condensation et bas- NOx (le système de condensation permet d'améliorer le rendement de la combustion) sont prises en compte, avec un rendement de 95 %.

Les chaudières sont considérées collectives pour chaque bâtiment de logements réhabilités.

Scénario B1 - gaz + PAC air/eau

Chaque opération de logements réhabilités est chauffée par chaudière au gaz à condensation et bas-NOx (le système de condensation permet d'améliorer le rendement de la combustion), qui assure chauffage et/ou eau chaude sanitaire (ECS). Le rendement de la chaudière gaz est considéré de 95%.

La production d'ECS est assurée par une PAC air/eau afin de limiter l'utilisation du gaz. Cette PAC dispose d'un COP moyen de 3.

Scénario B2 - gaz + solaire thermique

Ce scénario est basé sur le scénario B pour la production de chauffage et d'ECS.

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

Ces panneaux couvrent 70% des besoins en ECS des logements réhabilités, en considérant une surface de 2,7 m² de panneaux par logement.

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

GROUPE 3 : Commerces neufs - raccordés au RCU

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|-------|-------------------|-------------|---------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | RCU | / | / | Ballon électrique | / | / |
| Scénario B - Gaz | Gaz | / | / | Ballon électrique | / | / |
| Scénario B - Biomasse | Bois granulés | / | / | Ballon électrique | / | / |
| Scénario D - PAC air/eau | PAC air / eau | / | / | Ballon électrique | / | / |

Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain de la ville

Ce scénario est considéré comme étant le scénario de référence, un raccordement au réseau de chaleur de la ville. Dans ce scénario, la plupart des bâtiments du programme sont raccordés au réseau de chaleur urbain de la ville. Celui-ci permet de couvrir tous les besoins en chaud pour les commerces neufs raccordés. Les pertes au niveau du réseau de chaleur sont considérées de 5%.

Les besoins en ECS étant très réduits pour les commerces, la production est assurée par ballon électrique.

Scénario B - gaz

Ce scénario correspond à une couverture des besoins de chaud par du gaz.

Des chaudières au gaz à condensation et bas- NOx (le système de condensation permet d'améliorer le rendement de la combustion) sont prises en compte, avec un rendement de 95 %.

Les chaudières sont considérées individuelles pour chaque commerce neuf.

Les besoins en ECS étant très réduits pour les commerces, la production est assurée par ballon électrique.

Scénario C - Biomasse

Dans ce scénario, le chauffage des commerces neufs est assurée par des chaufferies à biomasse. Il est prévu des chaudières bois à granulés haute performance. Ce type de système 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 ce scénario, le coefficient de conversion entre énergie finale et énergie primaire non renouvelable du bois est considéré comme étant nul, conformément aux règles de calcul RE2020. En effet le CO2 libéré lors de la combustion du bois avait auparavant été stocké par l'arbre lors de sa croissance.

Les besoins en ECS étant très réduits pour les commerces, la production est assurée par ballon électrique.

Scénario D - PAC air/eau

Dans ce scénario, les commerces neufs sont chauffés par une pompe à chaleur air/eau. Celle-ci prend en charge le chauffage. Son COP est de 3. Cette pompe à chaleur va donc fonctionner à un régime régulier, ce qui assure un meilleur rendement et une usure plus faible.

Les besoins en ECS étant très réduits pour les commerces, la production est assurée par ballon électrique.

GROUPE 4 - Commerces réhabilités - raccordés au RCU

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|--------------------------------------|-----------|-------------------|-------|-------------------|-------------|---------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | RCU | / | / | Ballon électrique | / | / |
| Scénario B - Gaz | Gaz | / | / | Ballon électrique | / | / |

Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain de la ville

Ce scénario est considéré comme étant le scénario de référence, un raccordement au réseau de chaleur de la ville. Dans ce scénario, la plupart des bâtiments du programme sont raccordés au réseau de chaleur urbain de la ville. Celui-ci permet de couvrir tous les besoins en chaud pour les commerces réhabilités raccordés.

Les pertes au niveau du réseau de chaleur sont considérées de 5%.

Les besoins en ECS étant très réduits pour les commerces, la production est assurée par ballon électrique.

Scénario B - gaz

Ce scénario correspond à une couverture des besoins de chaud par du gaz.

Des chaudières au gaz à condensation et bas- NOx (le système de condensation permet d'améliorer le rendement de la combustion) sont prises en compte, avec un rendement de 95 %.

Les chaudières sont considérées individuelles pour chaque commerce réhabilité.

Les besoins en ECS étant très réduits pour les commerces, la production est assurée par ballon électrique.

GROUPE 5 - Logements neufs - non raccordés au RCU

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|---|---------------|-------------------|-------|------------------------------|---------------|---------------------|
| Scénario A - Base - PAC air/eau | PAC air / eau | / | / | PAC air / eau | / | / |
| Scénario A1 - Base + solaire PV | PAC air / eau | / | / | PAC air / eau | / | Photovoltaïque |
| Scénario A2 - Base + récupération chaleur sur eaux grises | PAC air / eau | / | / | Récupération sur eaux grises | / | / |
| Scénario A3 - Base + solaire thermique | PAC air / eau | / | / | Solaire thermique | PAC air / eau | / |
| Scénario B - Biomasse | Bois granulés | / | / | Bois granulés | / | / |
| Scénario C - Gaz | Gaz | / | / | PAC air / eau | / | / |

Scénario A - PAC air/eau

Ce scénario est considéré comme base pour les logements neufs non raccordés au RCU. Dans ce scénario, les logements neufs non raccordés sont chauffés par une pompe à chaleur air/eau. Celle-ci prend en charge le chauffage et la production d'ECS. Son COP est de 3.

Cette pompe à chaleur va donc fonctionner à un régime régulier, ce qui assure un meilleur rendement et une usure plus faible.

Scénario A1 - PAC air/eau + panneaux solaires photovoltaïques

Ce scénario est basé sur le scénario A pour la production de chauffage et d'ECS.

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 rachats 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).

Une productivité de 174 kWh/m²/an est prise en compte, auquel est affectée un coefficient de dégradation de 5% pour tenir compte des masques et orientation non optimales.

On considère l'implantation de 10 m² de panneaux solaires photovoltaïques par logement neuf, soit environ 2050 m².

Scénario A2 - PAC air/eau + récupération de chaleur sur eaux grises

Dans ce scénario, la production d'ECS des logements neufs non raccordés est assurée par un système de récupération de chaleur sur les eaux grises.

Un système avec PAC eau / eau (COP de 4,5) est considéré, couvrant 100 % des besoins d'ECS.

Le chauffage est assuré par PAC air/eau, sans modification par rapport au scénario A.

Scénario A3 - PAC air/eau + solaire thermique

Ce scénario est basé sur le scénario A pour la production de chauffage et d'ECS.

En complément, les logements neufs non raccordés sont dotés de panneaux solaires thermiques placés en toiture.

Ces panneaux couvrent 70% des besoins en ECS des logements réhabilités, en considérant une surface de 2,7 m² de panneaux par logement.

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

Scénario B - Biomasse

Dans ce scénario, le chauffage et la production d'ECS des logements neufs est assurée par des chaufferies à biomasse.

Il est prévu des chaudières bois à granulés haute performance. Ce type de système 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 ce scénario, le coefficient de conversion entre énergie finale et énergie primaire non renouvelable du bois est considéré comme étant nul, conformément aux règles de calcul RE2020. En effet le CO₂ libéré lors de la combustion du bois avait auparavant été stocké par l'arbre lors de sa croissance.

Scénario C - gaz + PAC air/eau

Dans ce scénario, chaque opération de logements neufs est chauffée par chaudière au gaz à condensation et bas-NO_x (le système de condensation permet d'améliorer le rendement de la combustion), qui assure chauffage et/ou eau chaude sanitaire (ECS). Le rendement de la chaudière gaz est considéré de 95%.

La production d'ECS est assurée par une PAC air/eau afin de limiter l'utilisation du gaz. Cette PAC dispose d'un COP moyen de 3.

GROUPE 6 - Logements réhabilités - non raccordés au RCU

| | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|--|-----------|-------------------|-------|-------------------|-------------|---------------------|
| Scénario | | | | | | |
| Scénario A - Base - (Gaz) | Gaz | / | / | Gaz | / | / |
| Scénario A1 - Base + solaire PV | Gaz | / | / | Gaz | / | Photovoltaïque |
| Scénario A2 - Base + solaire thermique | Gaz | / | / | Solaire thermique | Gaz | / |
| Scénario A3 - Gaz + PAC | Gaz | / | / | PAC air / eau | / | / |

Scénario A - Gaz

Le scénario de référence correspond à une couverture des besoins de chaud et d'ECS par du gaz.

Des chaudières au gaz à condensation et bas- NO_x (le système de condensation permet d'améliorer le rendement de la combustion) sont prises en compte, avec un rendement de 95%.

Les chaudières sont considérées collectives pour chaque bâtiment de logements réhabilités.

Scénario A1 - Gaz + production solaire photovoltaïque

Ce scénario est basé sur le scénario A pour la production de chauffage et d'ECS.

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 rachats 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).

Une productivité de 174 kWh/m²/an est prise en compte, auquel est affectée un coefficient de dégradation de 5% pour tenir compte des masques et orientation non optimales.

On considère l'implantation de 10 m² de panneaux solaires photovoltaïques par logement neuf, soit environ 230 m².

Scénario A2 - PAC air/eau + solaire thermique

Ce scénario est basé sur le scénario A pour la production de chauffage et d'ECS.

En complément, les logements neufs non raccordés sont dotés de panneaux solaires thermiques placés en toiture. Ces panneaux couvrent 70% des besoins en ECS des logements réhabilités, en considérant une surface de 2,7 m² de panneaux par logement réhabilité. Une couverture à hauteur de 80% des besoins en ECS n'est pas envisagée en raison des problèmes de surchauffe en période estivale.

Scénario A3 - gaz + PAC air/eau

Dans ce scénario, chaque opération de logements réhabilités est chauffée par chaudière au gaz à condensation et bas-NOx (le système de condensation permet d'améliorer le rendement de la combustion), qui assure chauffage et/ou eau chaude sanitaire (ECS). Le rendement de la chaudière gaz est considéré de 95%.

La production d'ECS est assurée par une PAC air/eau afin de limiter l'utilisation du gaz. Cette PAC dispose d'un COP moyen de 3.

GROUPE 7 - Commerces neufs - non raccordés au RCU

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|---------------------------|---------------|-------------------|-------|-------------------|-------------|---------------------|
| Scénario A - Base - (Gaz) | Gaz | / | / | Ballon électrique | / | / |
| Scénario B - Biomasse | Bois granulés | / | / | Ballon électrique | / | / |
| Scénario D - PAC air/eau | PAC air / eau | / | / | Ballon électrique | / | / |

Scénario A - gaz

Le scénario de référence correspond à une couverture des besoins de chaud par du gaz.

Des chaudières au gaz à condensation et bas- NOx (le système de condensation permet d'améliorer le rendement de la combustion) sont prises en compte, avec un rendement de 95 %.

Les chaudières sont considérées individuelles pour chaque commerce neuf.

Les besoins en ECS étant très réduits pour les commerces, la production est assurée par ballon électrique.

Scénario C - Biomasse

Dans ce scénario, le chauffage des commerces neufs est assurée par des chaufferies à biomasse.

Il est prévu des chaudières bois à granulés haute performance. Ce type de système 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 ce scénario, le coefficient de conversion entre énergie finale et énergie primaire non renouvelable du bois est considéré comme étant nul, conformément aux règles de calcul RE2020. En effet le CO2 libéré lors de la combustion du bois avait auparavant été stocké par l'arbre lors de sa croissance.

Les besoins en ECS étant très réduits pour les commerces, la production est assurée par ballon électrique.

Scénario D - PAC air/eau

Dans ce scénario, les commerces neufs sont chauffés par une pompe à chaleur air/eau. Celle-ci prend en charge le chauffage. Son COP est de 3. Cette pompe à chaleur va donc fonctionner à un régime régulier, ce qui assure un meilleur rendement et une usure plus faible.

Les besoins en ECS étant très réduits pour les commerces, la production est assurée par ballon électrique.

GROUPE 8 - Commerces réhabilités - non raccordés au RCU

Ce groupe ne fait pas l'objet de plusieurs scénarios énergétiques car le seul scénario présenté est le recours au gaz. Par conséquent, ce groupe ne sera pas traité dans les parties suivantes.

Hypothèses

Surface des bâtiments

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

| Bâtiments | Surface de plancher (SDP) |
|--|---------------------------|
| Groupe 1 - Logements neufs raccordés au RCU | 5 760 m ² |
| Groupe 2 - Logements réhabilités raccordés | 1 176 m ² |
| Groupe 3 - Commerces neufs raccordés | 1 187 m ² |
| Groupe 4 - Commerces réhabilités raccordés | 308 m ² |
| Groupe 5 - Logements neufs non raccordés | 13 563 m ² |
| Groupe 6 - Logements réhabilités non raccordés | 1 688 m ² |
| Groupe 7 - Commerces neufs non raccordés | 2 288 m ² |

Consommations réglementaires

Les seuils de consommations réglementaires (Cep max RE2020, Cep max RT2012 et Cep max RT existant) prises pour les groupes sont aujourd'hui les suivantes :

| Bâtiments | Cep max |
|--|--|
| Groupe 1 - Logements neufs raccordés au RCU | 98 kWhEP/m ² .an (RE2020 - seuils 2025) |
| Groupe 2 - Logements réhabilités raccordés | 110 kWhEP/m ² .an (RT existant) |
| Groupe 3 - Commerces neufs raccordés | 418 kWhEP/m ² .an (RT 2012 -30%) |
| Groupe 4 - Commerces réhabilités raccordés | 418 kWhEP/m ² .an (RT existant -30%) |
| Groupe 5 - Logements neufs non raccordés | 95 kWhEP/m ² .an (RE2020 - seuils 2025) |
| Groupe 6 - Logements réhabilités non raccordés | 110 kWhEP/m ² .an (RT existant) |
| Groupe 7 - Commerces neufs non raccordés | 418 kWhEP/m ² .an (RT 2012 -30%) |

Les seuils de consommations énergétique primaire non renouvelables fixée par la nouvelle réglementation RE2020 (Cep n,r max) pour les logements neufs sont présentés ci-après :

| Bâtiments | Cep n,r max (RE 2020) |
|---|-------------------------------|
| Groupe 1 - Logements neufs raccordés au RCU | 80 kWhEPnr/m ² .an |
| Groupe 5 - Logements neufs non raccordés | 78 kWhEPnr/m ² .an |

Répartition des différents postes

Les consommations réglementaires couvrent 5 postes :

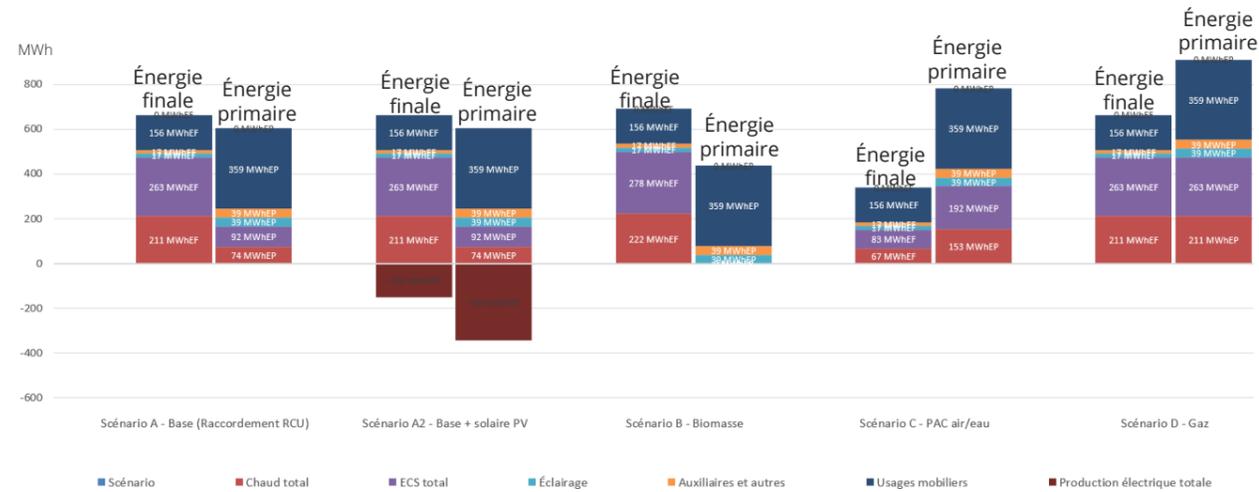
- Le chauffage.
- L'eau chaude sanitaire (ECS).
- Le refroidissement.
- L'éclairage.
- Les auxiliaires.

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

Consommations en énergies finale et primaire

GROUPE 1 : Logements neufs - raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergies finale et primaire non renouvelable pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 1. Les données chiffrées sont présentées dans le tableau ci-dessous.



| Scénario | Chaud total | ECS total | Éclairage | Auxiliaires et autres | Usages mobiliers | Production électrique totale |
|--------------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------------------|------------------|------------------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | | | | | | |
| | 211 MWhEF | 263 MWhEF | 17 MWhEF | 17 MWhEF | 156 MWhEF | 0 MWhEF |
| | 74 MWhEP | 92 MWhEP | 39 MWhEP | 39 MWhEP | 359 MWhEP | 0 MWhEP |
| Scénario A2 - Base + solaire PV | | | | | | |
| | 211 MWhEF | 263 MWhEF | 17 MWhEF | 17 MWhEF | 156 MWhEF | -150 MWhEF |
| | 74 MWhEP | 92 MWhEP | 39 MWhEP | 39 MWhEP | 359 MWhEP | -344 MWhEP |
| Scénario B - Biomasse | | | | | | |
| | 222 MWhEF | 278 MWhEF | 17 MWhEF | 17 MWhEF | 156 MWhEF | 0 MWhEF |
| | 0 MWhEP | 0 MWhEP | 39 MWhEP | 39 MWhEP | 359 MWhEP | 0 MWhEP |
| Scénario C - PAC air/eau | | | | | | |
| | 67 MWhEF | 83 MWhEF | 17 MWhEF | 17 MWhEF | 156 MWhEF | 0 MWhEF |
| | 153 MWhEP | 192 MWhEP | 39 MWhEP | 39 MWhEP | 359 MWhEP | 0 MWhEP |
| Scénario D - Gaz | | | | | | |
| | 211 MWhEF | 263 MWhEF | 17 MWhEF | 17 MWhEF | 156 MWhEF | 0 MWhEF |
| | 211 MWhEP | 263 MWhEP | 39 MWhEP | 39 MWhEP | 359 MWhEP | 0 MWhEP |

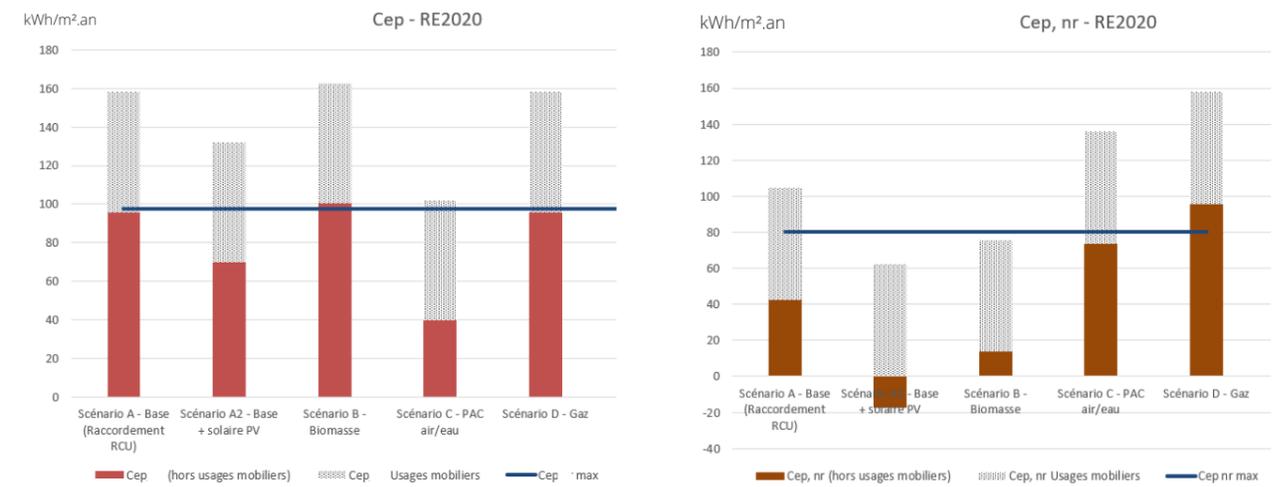
Consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 1

Globalement, l'analyse des consommations en énergie finale fait ressortir les scénarios A2 - raccordement au RCU + PV et C - PAC air/eau comme étant les plus performants. Cela est cohérent avec l'installation des panneaux solaires photovoltaïques sur 860 m² de toiture, qui vont produire une grande quantité d'électricité qui va venir compenser les consommations en énergie finale pour les postes chauffage, éclairage et auxiliaires. Pour la PAC air/eau, la consommation d'énergie finale est plus faible grâce au COP de 3 (pour 1kWh acheté, la PAC restitue 3 kWh de chaleur).

De plus, l'analyse des consommations en énergie primaire fait également ressortir le scénario A2 - raccordement RCU + PV comme étant le plus performant. Cela est également dû à la présence des panneaux solaires photovoltaïques. De plus, le scénario B - biomasse ressort comme étant plus performant en termes de consommations en énergie primaire. Cela est cohérent avec un coefficient de conversion du bois (valant 0), prenant en compte le cycle carbone du matériaux.

Par conséquent, en termes de consommations d'énergie sans panneaux solaires photovoltaïques, les scénarios B - biomasse et C - PAC air/eau sont à privilégier. L'ajout de panneaux solaires photovoltaïques permet de réduire les consommations.

Les graphiques ci-dessous représentent les Cep (consommation en énergie primaire des logements neufs raccordés au RCU) et Cep nr (consommation en énergie primaire non renouvelable des logements neufs raccordés au RCU) selon les seuils de la RE 2020 pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 1.

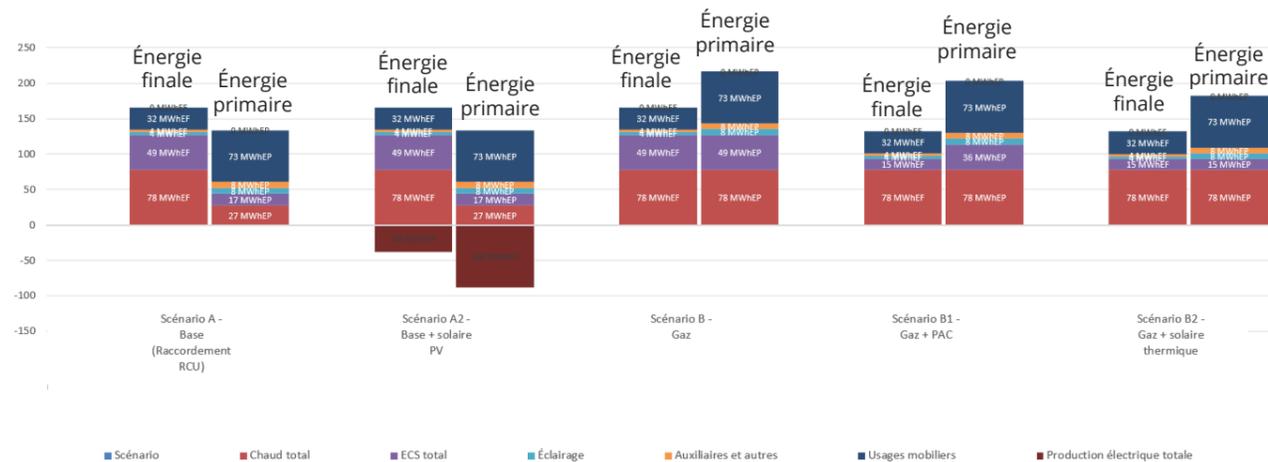


Cep et Cep nr des différents scénarios par rapport au Cepmax et Cep nr max - Groupe 1

On constate que les deux scénarios qui respectent largement les seuils de la RE2020 en termes de Cep et Cep nr sont le scénario A2 - raccordement RCU + PV et le scénario C - PAC air/eau. Cela est dû respectivement à la production photovoltaïque et au COP de la PAC.

GROUPE 2 : Logements réhabilités - raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergies finale et primaire non renouvelable pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 2. Les données chiffrées sont présentées dans le tableau ci-dessous.



| Scénario | Chaud total | ECS total | Éclairage | Auxiliaires et autres | Usages mobiliers | Production électrique totale |
|---------------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------------------|------------------|------------------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | 78 MWhEP | 49 MWhEP | 4 MWhEP | 4 MWhEP | 32 MWhEP | 0 MWhEP |
| Scénario A2 - Base + solaire PV | 27 MWhEP | 17 MWhEP | 8 MWhEP | 8 MWhEP | 73 MWhEP | 0 MWhEP |
| Scénario B - Gaz | 78 MWhEP | 49 MWhEP | 4 MWhEP | 4 MWhEP | 32 MWhEP | 0 MWhEP |
| Scénario B1 - Gaz + PAC | 78 MWhEP | 15 MWhEP | 4 MWhEP | 4 MWhEP | 32 MWhEP | 0 MWhEP |
| Scénario B2 - Gaz + solaire thermique | 78 MWhEP | 36 MWhEP | 8 MWhEP | 8 MWhEP | 73 MWhEP | 0 MWhEP |

Consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 2

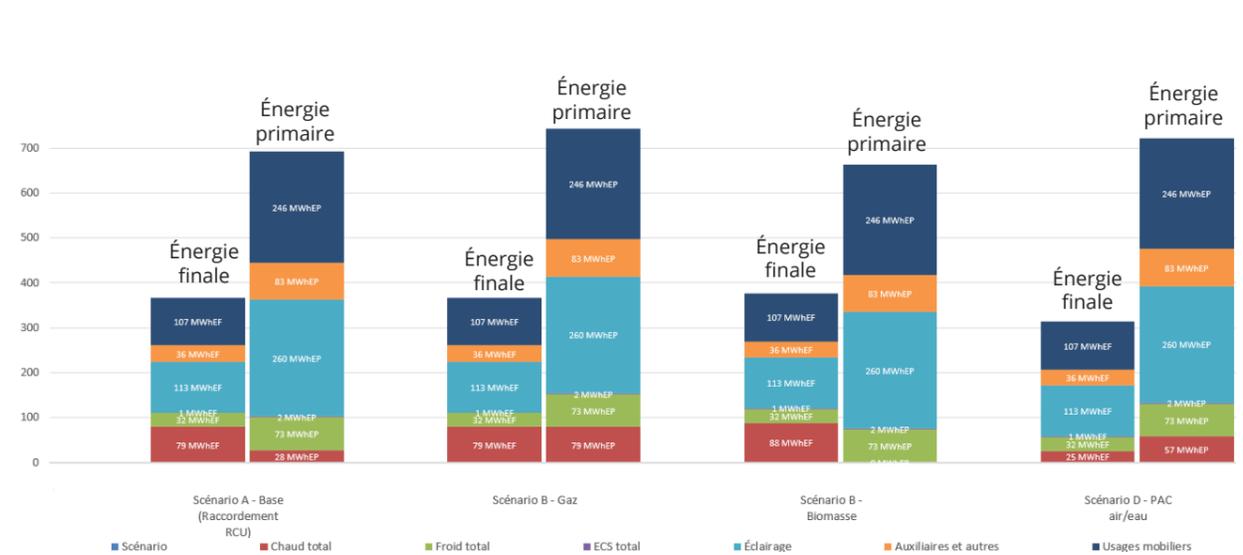
Globalement, l'analyse des consommations en énergie finale fait ressortir les scénarios A2 - raccordement RCU + PV, B1 - gaz + PAC et B2 - gaz + solaire thermique comme étant les plus performants. Cela est cohérent avec l'installation des panneaux solaires photovoltaïques sur 220 m² de toiture, qui vont produire une quantité moyenne d'électricité qui va venir compenser tout de même les consommations en énergie finale pour les postes chauffage, éclairage et auxiliaires. Pour les scénarios B1 et B2, le COP de la PAC et le peu d'installation de panneaux solaires thermiques sur 59 m² de toiture permettent de réduire les consommations en énergie finale.

De plus, l'analyse des consommations en énergie primaire fait également ressortir le scénario A2 - raccordement RCU + PV comme étant le plus performant. Cela est également dû à la présence des panneaux solaires photovoltaïques. De plus, le scénario A - raccordement au RCU ressort comme étant plus performant en termes de consommations en énergie primaire. Cela est cohérent avec la part d'énergie renouvelables du RCU portée à 50%.

Par conséquent, en termes de consommations d'énergie sans panneaux solaires photovoltaïques, le scénario A - raccordement au RCU est à privilégier par rapport au scénario B - gaz. L'ajout de panneaux solaires photovoltaïques permet de réduire les consommations.

GROUPE 3 : Commerces neufs - raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergies finale et primaire non renouvelable pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 3. Les données chiffrées sont présentées dans le tableau ci-dessous.



| Scénario | Chaud total | Froid total | ECS total | Éclairage | Auxiliaires et autres | Usages mobiliers |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------------------|------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | 79 MWhEP | 32 MWhEP | 1 MWhEP | 113 MWhEP | 36 MWhEP | 107 MWhEP |
| Scénario B - Gaz | 28 MWhEP | 73 MWhEP | 2 MWhEP | 260 MWhEP | 83 MWhEP | 246 MWhEP |
| Scénario B - Biomasse | 79 MWhEP | 32 MWhEP | 1 MWhEP | 113 MWhEP | 36 MWhEP | 107 MWhEP |
| Scénario D - PAC air/eau | 25 MWhEP | 32 MWhEP | 1 MWhEP | 113 MWhEP | 36 MWhEP | 107 MWhEP |

Consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 3

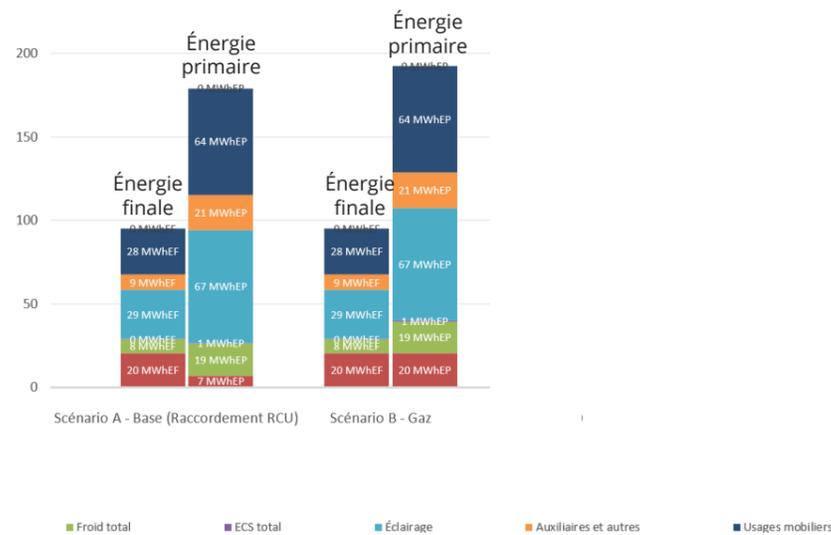
Globalement, l'analyse des consommations en énergie finale fait ressortir le scénario D - PAC air/eau comme étant le plus performant. Le COP de la PAC permet de réduire les consommations en énergie finale.

De plus, l'analyse des consommations en énergie primaire fait également ressortir les scénarios A - raccordement RCU et C - biomasse comme étant les plus performants. Cela est cohérent avec la part d'énergie renouvelables du RCU portée à 50% et le coefficient de conversion du bois égal à 0.

Par conséquent, en termes de consommations d'énergie, tous les scénarios sont pertinents sauf le scénario B - gaz qui voit des consommations d'énergie primaires et finales trop élevées.

GROUPE 4 : Commerces réhabilités - raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergies finale et primaire non renouvelable pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 4. Les données chiffrées sont présentées dans le tableau ci-dessous.



| Scénario | Chaud total | Froid total | ECS total | Éclairage | Auxiliaires et autres | Usages mobiliers | Production électrique totale |
|--------------------------------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------------------|------------------|------------------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | 20 MWhEF | 8 MWhEF | 0 MWhEF | 29 MWhEF | 9 MWhEF | 28 MWhEF | 0 MWhEF |
| Scénario B - Gaz | 20 MWhEF | 8 MWhEF | 0 MWhEF | 29 MWhEF | 9 MWhEF | 28 MWhEF | 0 MWhEF |

Consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 4

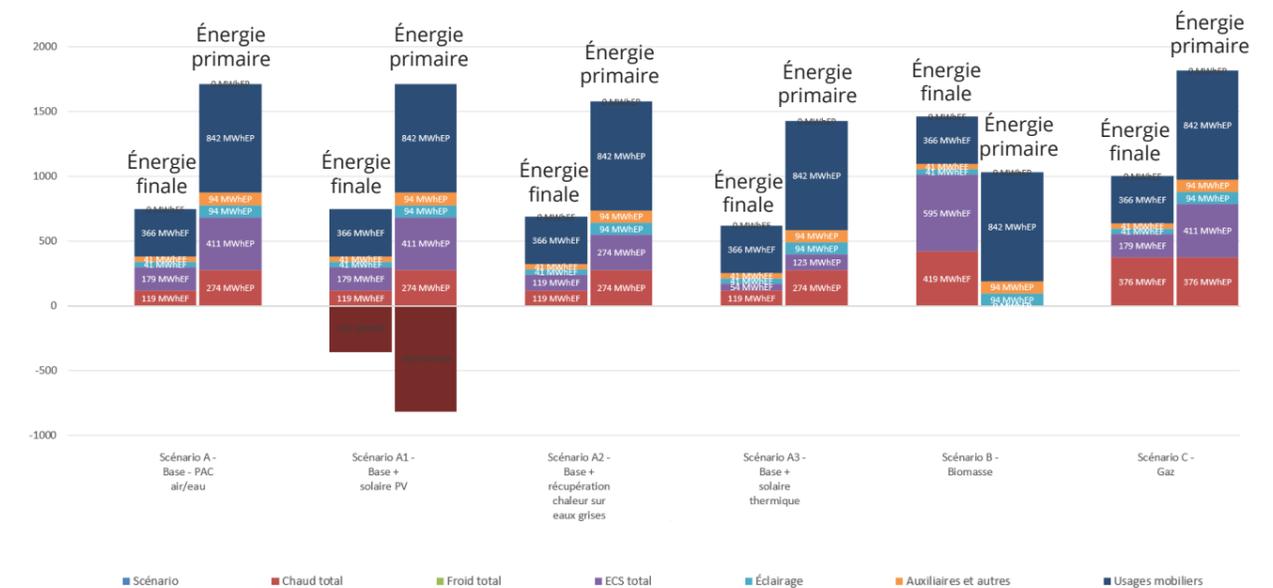
Globalement, l'analyse des consommations en énergie finale ne fait pas ressortir de scénario particulier.

En revanche, l'analyse des consommations en énergie primaire fait ressortir le scénarios A - raccordement RCU comme étant le plus performant. Cela est cohérent avec la part d'énergie renouvelables du RCU portée à 50%.

Par conséquent, en termes de consommations d'énergie, le scénario A - raccordement au RCU est plus pertinent et performant que le scénario B - gaz.

GROUPE 5: Logements neufs- non raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergies finale et primaire non renouvelable pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 5. Les données chiffrées sont présentées dans le tableau ci-dessous.



| Scénario | Chaud total | Froid total | ECS total | Éclairage | Auxiliaires et autres | Usages mobiliers | Production électrique totale |
|---|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------------------|------------------|------------------------------|
| Scénario A - Base - PAC air/eau | 119 MWhEF | 54 MWhEF | 41 MWhEF | 41 MWhEF | 366 MWhEF | 0 MWhEF | 0 MWhEF |
| Scénario A1 - Base + solaire PV | 119 MWhEF | 54 MWhEF | 41 MWhEF | 41 MWhEF | 366 MWhEF | -357 MWhEF | 0 MWhEF |
| Scénario A2 - Base + récupération chaleur sur eaux grises | 119 MWhEF | 54 MWhEF | 41 MWhEF | 41 MWhEF | 366 MWhEF | -820 MWhEF | 0 MWhEF |
| Scénario A3 - Base + solaire thermique | 119 MWhEF | 123 MWhEF | 94 MWhEF | 94 MWhEF | 842 MWhEF | 0 MWhEF | 0 MWhEF |
| Scénario B - Biomasse | 419 MWhEF | 595 MWhEF | 41 MWhEF | 41 MWhEF | 366 MWhEF | 0 MWhEF | 0 MWhEF |
| Scénario C - Gaz | 376 MWhEF | 179 MWhEF | 41 MWhEF | 41 MWhEF | 366 MWhEF | 0 MWhEF | 0 MWhEF |

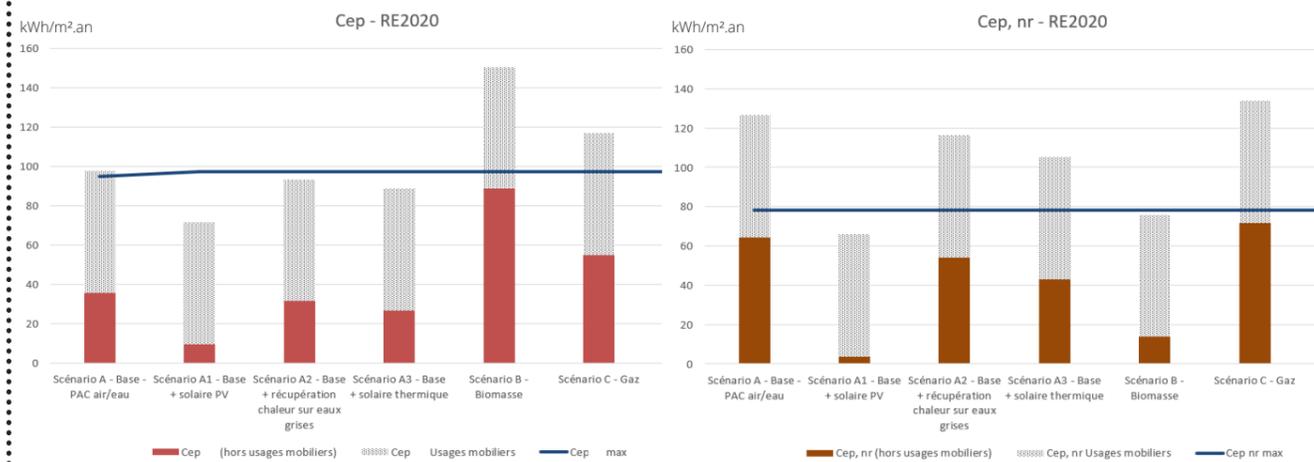
Consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 5

Globalement, l'analyse des consommations en énergie finale fait ressortir le scénario A (base) - PAC air/eau ainsi que ses dérivés (A1, A2 et A3) comme étant les plus performants. Cela est cohérent avec le COP de la PAC qui permet une forte réduction des consommations finales. L'installation des panneaux solaires photovoltaïques sur 2 050 m² de toiture pour le scénario A1 qui vont produire une grande quantité d'électricité va venir compenser les consommations en énergie finale pour les postes chauffage, éclairage et auxiliaires. La récupération de chaleur sur les eaux grises (scénario A2) et l'installation de 554 m² de panneaux solaires thermiques viennent également réduire les consommations en énergie finale du scénario base PAC air/eau.

L'analyse des consommations en énergie primaire fait également ressortir le scénario A1 - PAC air/eau + PV et D - biomasse comme étant les plus performants. Cela est également dû à la présence des panneaux solaires photovoltaïques et au coefficient de conversion du bois (valant 0), prenant en compte le cycle carbone du matériaux.

Par conséquent, en termes de consommations d'énergie sans ajout de panneaux ou de récupération de chaleur sur les eaux grises, les scénarios A - PAC air/eau et B - biomasse sont à privilégier. L'ajout de panneaux solaires photovoltaïques ou thermiques et la récupération de chaleur sur les eaux grises permettent de réduire les consommations.

Les graphiques ci-dessous représentent les Cep (consommation en énergie primaire des logements neufs raccordés au RCU) et Cep nr (consommation en énergie primaire non renouvelable des logements neufs raccordés au RCU) selon les seuils de la RE 2020 pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 5.

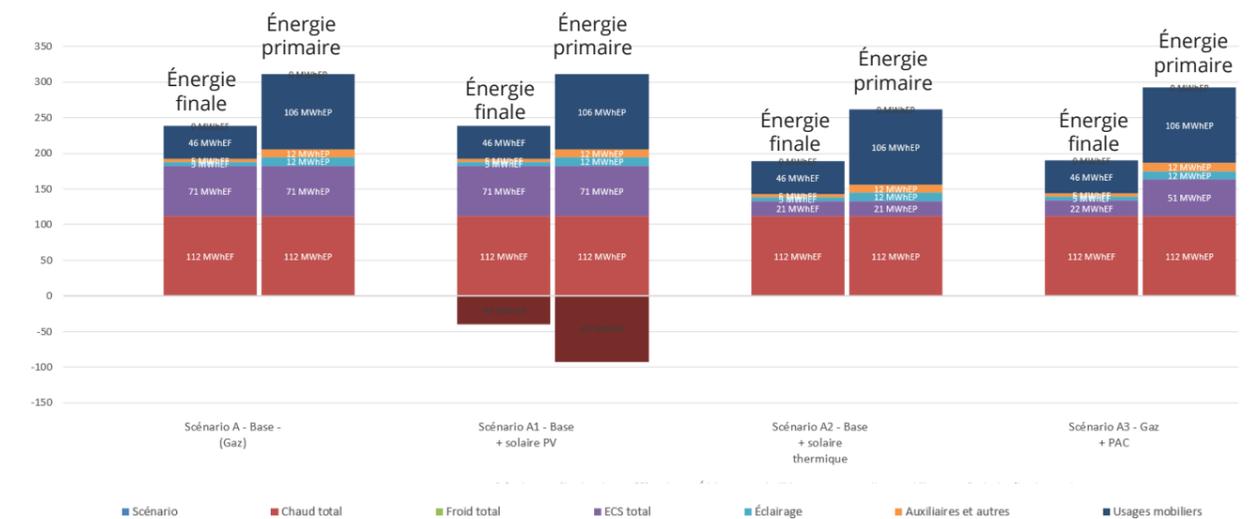


Cep et Cep nr des différents scénarios par rapport au Cepmax et Cep nr max - Groupe 5

On constate que tous les scénarios respectent les seuils imposés par la RE2020. En revanche, les scénarios B - biomasse et C - gaz sont assez proche de ces seuils. Il s'agit du Cep pour le scénario B - biomasse et du Cep nr pour le scénario C - gaz.

GROUPE 6 : Logements réhabilités - non raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergies finale et primaire non renouvelable pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 6. Les données chiffrées sont présentées dans le tableau ci-dessous.



| Scénario | Chaud total | ECS total | Éclairage | Auxiliaires et autres | Usages mobiliers | Production électrique totale |
|--|-------------|-----------|-----------|-----------------------|------------------|------------------------------|
| Scénario A - Base - (Gaz) | 112 MWhEP | 71 MWhEP | 5 MWhEP | 5 MWhEP | 46 MWhEP | 0 MWhEP |
| Scénario A1 - Base + solaire PV | 112 MWhEP | 71 MWhEP | 12 MWhEP | 12 MWhEP | 106 MWhEP | 0 MWhEP |
| Scénario A2 - Base + solaire thermique | 112 MWhEP | 21 MWhEP | 5 MWhEP | 5 MWhEP | 46 MWhEP | 0 MWhEP |
| Scénario A3 - Gaz + PAC | 112 MWhEP | 22 MWhEP | 5 MWhEP | 5 MWhEP | 46 MWhEP | 0 MWhEP |

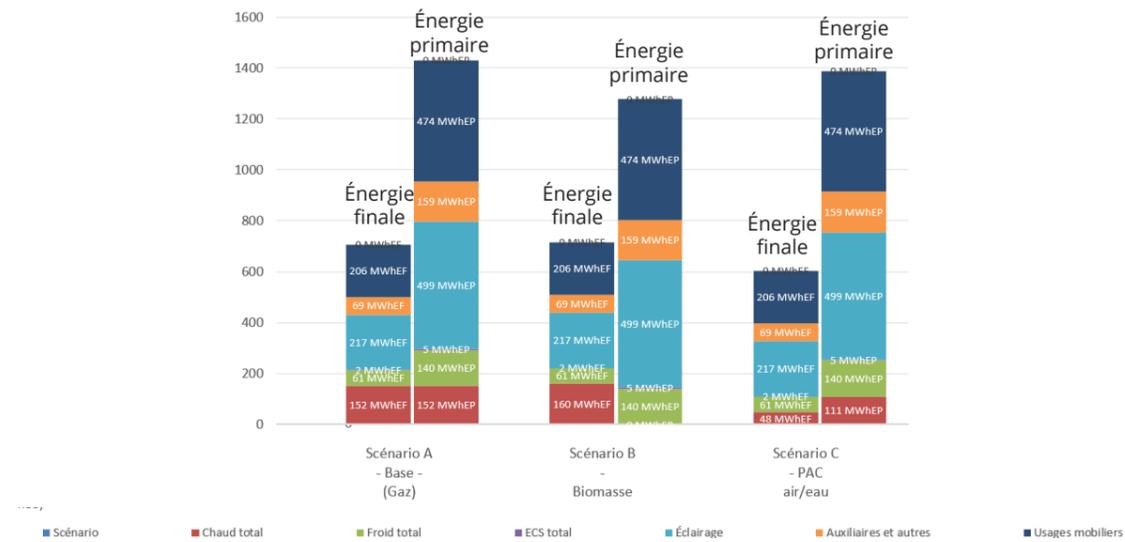
Consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 6

Globalement, l'analyse des consommations en énergie finale montre que le scénario A - gaz est moins performant que les autres scénarios avec complément. De plus, l'analyse des consommations en énergie primaire fait ressortir les scénarios A2 - gaz + solaire thermique et A3 - gaz + PAC comme étant le plus performant.

Par conséquent, en termes de consommations d'énergie pour les logements réhabilités sans raccordement au RCU, la solution gaz semble inévitable mais doit être couplée à du solaire thermique ou une PAC pour l'ECS.

GROUPE 7 : Commerces neufs - non raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergies finale et primaire non renouvelable pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 7. Les données chiffrées sont présentées dans le tableau ci-dessous.



| Scénario | Chaud total | Froid total | ECS total | Éclairage | Auxiliaires et autres | Usages mobiliers | Production électrique totale |
|---------------------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------------------|------------------|------------------------------|
| Scénario A - Base - (Gaz) | 152 MWhEF | 61 MWhEF | 2 MWhEF | 217 MWhEF | 69 MWhEF | 206 MWhEF | 0 MWhEF |
| Scénario B - Biomasse | 160 MWhEF | 61 MWhEF | 2 MWhEF | 217 MWhEF | 69 MWhEF | 206 MWhEF | 0 MWhEF |
| Scénario C - PAC air/eau | 48 MWhEF | 61 MWhEF | 2 MWhEF | 217 MWhEF | 69 MWhEF | 206 MWhEF | 0 MWhEF |

Consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 7

Globalement, l'analyse des consommations en énergie finale fait ressortir le scénario C - PAC air/eau comme étant le plus performant. Le COP de la PAC permet de réduire les consommations en énergie finale.

De plus, l'analyse des consommations en énergie primaire fait également ressortir le scénario C - biomasse comme étant le plus performant. Cela est cohérent avec le coefficient de conversion du bois égal à 0.

Par conséquent, en termes de consommations d'énergie, tous les scénarios sont pertinents sauf le scénario B - gaz qui voit des consommations d'énergie primaires et finales trop élevées.

Impacts environnementaux

HYPOTHESES

Les ratios qui suivent sont issus de la méthode de calcul E+C- (en noir), et de la RE2020 (en bleu).

| Energies | Réchauffement climatique |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Gaz naturel | 0,227 kg eq CO2 / kWh |
| Bois granulés (chaudière) | 0,030 kg eq CO2 / kWh |
| Bois granulés (poêle) | 0,030 kg eq CO2 / kWh |
| Bois plaquettes (chaudière) | 0,024 kg eq CO2 / kWh |
| Réseau de chaleur type biomasse | 0,013 kg eq CO2 / kWh |
| Réseau de chaleur type gaz | 0,126 kg eq CO2 / kWh |
| Électricité (chauffage) | 0,079 kg eq CO2 / kWh |
| Électricité résidentiel (ECS) | 0,065 kg eq CO2 / kWh |
| Électricité résidentiel (éclairage) | 0,069 kg eq CO2 / kWh |
| Électricité résidentiel (autres) | 0,064 kg eq CO2 / kWh |
| Électricité tertiaire (autres) | 0,064 kg eq CO2 / kWh |
| Électricité exportée | 0,064 kg eq CO2 / kWh |
| Électricité refroidissement | 0,064 kg eq CO2 / kWh |
| Électricité éclairage tertiaire | 0,064 kg eq CO2 / kWh |

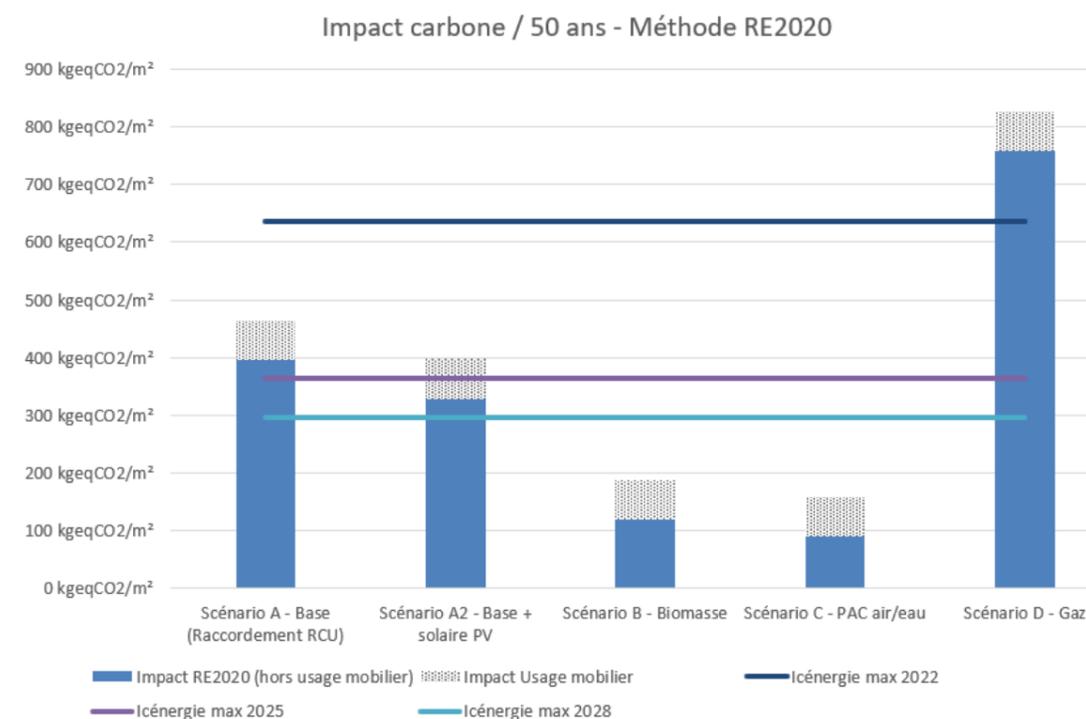
ANALYSE DE L'IMPACT CARBONE

Les impacts carbonés sont présentés pour chacun des groupes selon les différents scénarios.

Ces calculs ont été réalisés selon la méthode RE2020 pour les logements neufs raccordés et non raccordés (groupe 1 et groupe 5) et sont comparés aux seuils de la RE2020 millésime 2025. L'exercice a également été réalisé pour les groupes non concernés par la RE2020 mais sans seuils, à titre indicatif. Cela afin de comparer les émissions carbone des différents scénarios entre eux et non par rapport aux seuils.

GROUPE 1 : Logements neufs - raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise l'impact carbone pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 1.



Impact carbone sur 50 ans - méthode RE2020 - Groupe 1

Le scénario le plus impactant est le scénario D - gaz. Cela n'est pas étonnant puisque c'est une énergie fossile non renouvelable qui émet une grande quantité de dioxyde de carbone lors de son utilisation.

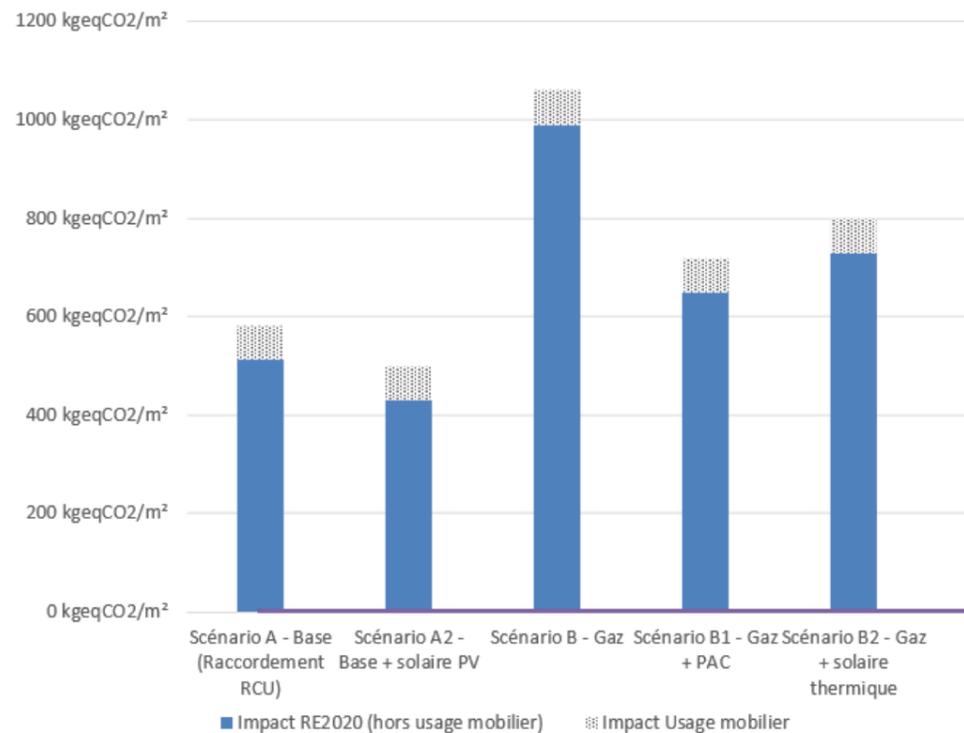
Les scénarios B - Biomasse et C - PAC air/eau sont les moins impactants et permettent de respecter les seuils Ic énergie max de la RE 2020 - millésime 2028. Cela s'explique par le fait que ces 2 solutions ont uniquement recours aux énergies renouvelables (air et bois).

Le scénario A - raccordement au réseau de chaleur urbain permet d'atteindre très largement les seuils de 2022 mais pas ceux de 2025 de la RE2020. En revanche, le scénario A2 aussi raccordé au RCU mais avec ajout de solaires PV permet de respecter les seuils 2025 de la RE2020.

Par conséquent, les scénarios les plus favorables en termes de bilan carbone sont les scénarios B - Biomasse et C - PAC air/eau.

GROUPE 2 : Logements réhabilités - raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise l'impact carbone pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 2. La méthode utilisée est la méthode RE2020 pour ce groupe même si il n'est pas soumis à la RE2020. Cela permet tout de même de comparer l'impact carbone des différents scénarios entre eux et non par rapport aux seuils.



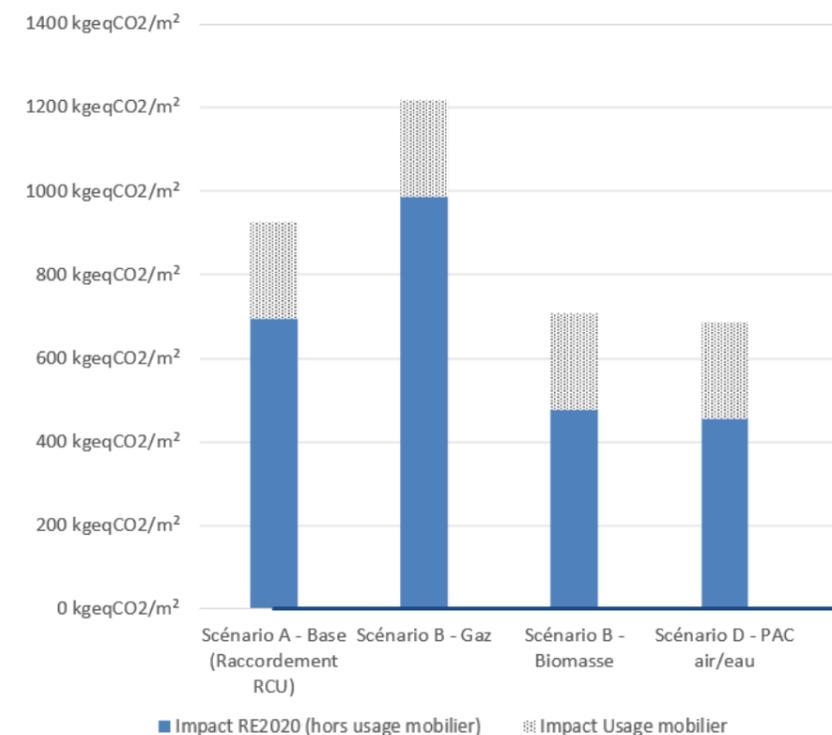
Impact carbone sur 50 ans - méthode RE2020 - Groupe 2

Le scénario le plus impactant est le scénario B - gaz. Cela n'est pas étonnant puisque c'est une énergie fossile non renouvelable qui émet une grande quantité de dioxyde de carbone lors de son utilisation.

Les scénarios A - raccordement au RCU et A1 - raccordement au RCU + PV sont les scénarios les plus favorables pour les logements réhabilités raccordés au RCU.

GROUPE 3 : Commerces neufs - raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise l'impact carbone pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 3. La méthode utilisée est la méthode RE2020 pour ce groupe même si il n'est pas soumis à la RE2020 au moment de la présente étude. Cela permet tout de même de comparer l'impact carbone des différents scénarios entre eux et non par rapport aux seuils.



Impact carbone sur 50 ans - méthode RE2020 - Groupe 3

Le scénario le plus impactant est le scénario B - gaz. Cela n'est pas étonnant puisque c'est une énergie fossile non renouvelable qui émet une grande quantité de dioxyde de carbone lors de son utilisation.

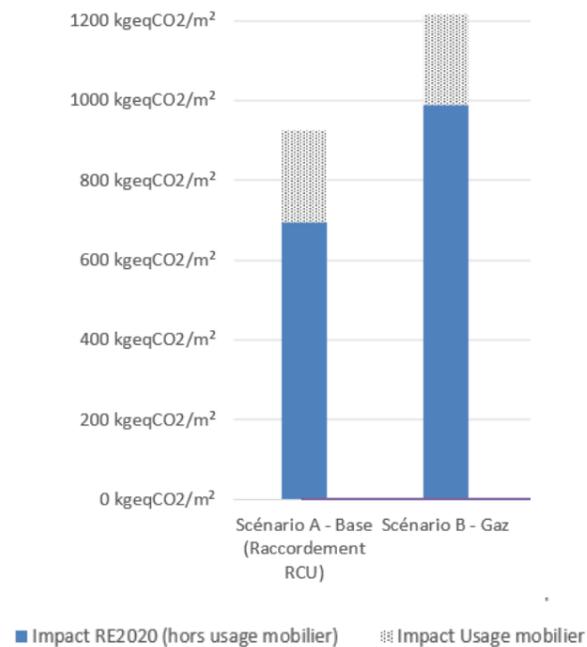
Les scénarios B - Biomasse et C - PAC air/eau sont les scénarios les plus favorables pour ce groupe.

En effet, une PAC n'a besoin pour fonctionner que de deux types d'énergies décarbonées et renouvelables : l'air et l'électricité française. De plus, plus le COP de la PAC est performant, moins la PAC dépense d'énergie pour fonctionner et donc moins son poids carbone est élevé.

Concernant la biomasse, la ressource utilisée est le bois qui présente un impact carbone négatif sur tout son cycle de vie.

GROUPE 4 : Commerces réhabilités - raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise l'impact carbone pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 4. La méthode utilisée est la méthode RE2020 pour ce groupe même si il n'est pas soumis à la RE2020. Cela permet tout de même de comparer l'impact carbone des différents scénarios entre eux et non par rapport aux seuils.



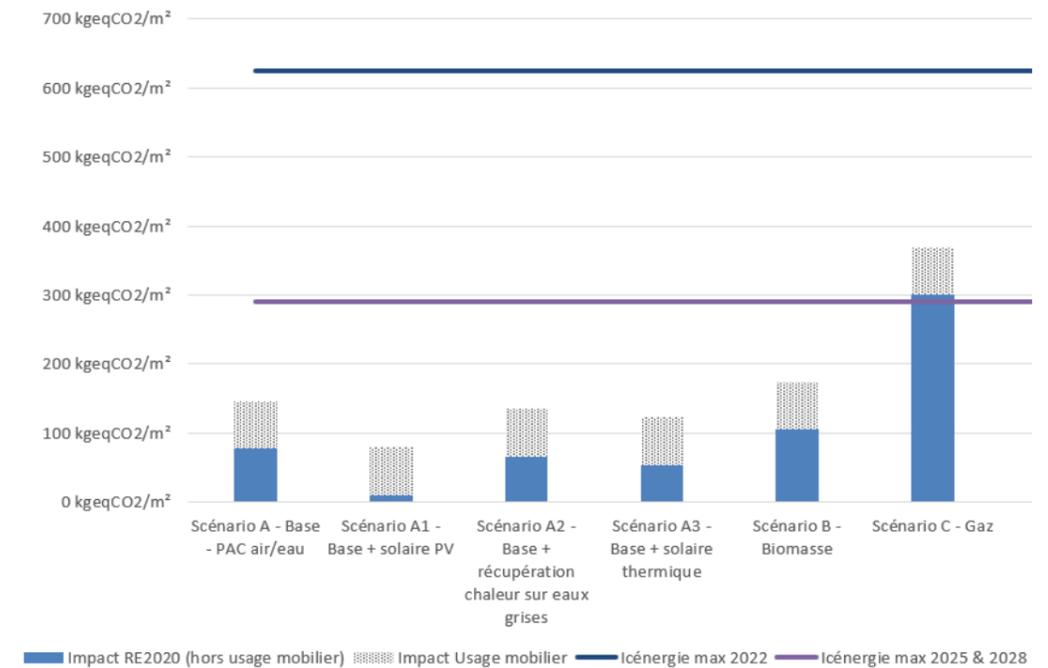
Impact carbone sur 50 ans - méthode RE2020 - Groupe 4

Pour les commerces réhabilités raccordés au RCU, le scénario A - raccordement au RCU est moins impactant que le scénario B - gaz.

On observe un écart de 30 points entre l'impact carbone du scénarios A - raccordement au RCU et le scénario B - gaz.

GROUPE 5 : Logements neufs - non raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise l'impact carbone pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 5.



Impact carbone sur 50 ans - méthode RE2020 - Groupe 5

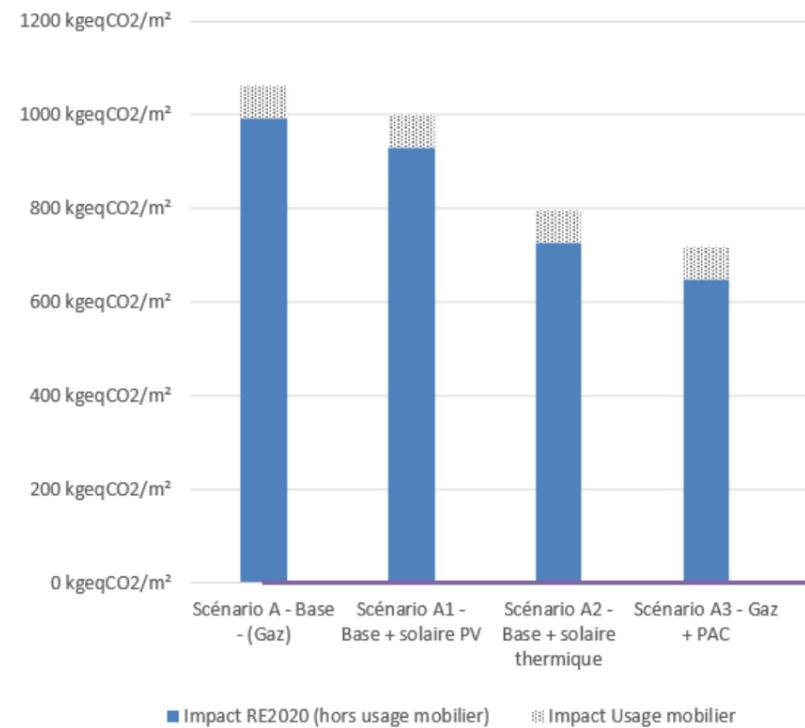
Le scénario le plus impactant est le scénario C - gaz. Cela n'est pas étonnant puisque c'est une énergie fossile non renouvelable qui émet une grande quantité de dioxyde de carbone lors de son utilisation.

Tous les autres scénarios respectent les seuils Ic énergie max de la RE 2020 - millésime 2025 et 2028. Cela s'explique par le fait que les solutions ont uniquement recours aux énergies renouvelables (air et bois).

Le scénario présentant le poids carbone le plus faible, quasi nul est le scénario A1 - PAC air/eau + PV.

GROUPE 6 : Logements réhabilités - non raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise l'impact carbone pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 6. La méthode utilisée est la méthode RE2020 pour ce groupe même si il n'est pas soumis à la RE2020. Cela permet tout de même de comparer l'impact carbone des différents scénarios entre eux et non par rapport aux seuils.



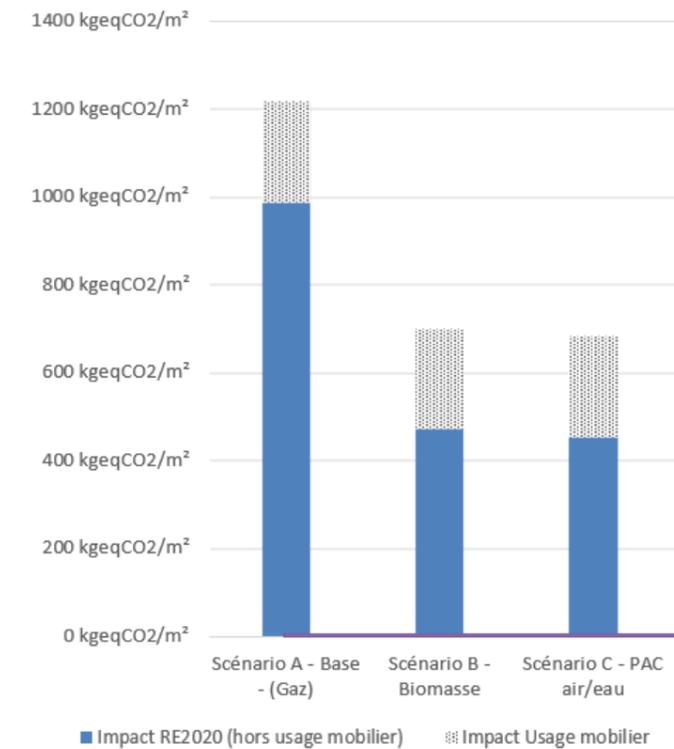
Impact carbone sur 50 ans - méthode RE2020 - Groupe 6

Le scénario le plus impactant est le scénario A - gaz sans complément. Cela n'est pas étonnant puisque c'est une énergie fossile non renouvelable qui émet une grande quantité de dioxyde de carbone lors de son utilisation.

Le complément au gaz qui induit l'impact carbone le plus faible est la PAC pour l'ECS. Ce scénario A3 permet une réduction d'environ 35 % du poids carbone par rapport à la solution tout gaz.

GROUPE 7 : Commerces neufs - non raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise l'impact carbone pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 7. La méthode utilisée est la méthode RE2020 pour ce groupe même si il n'est pas soumis à la RE2020. Cela permet tout de même de comparer l'impact carbone des différents scénarios entre eux et non par rapport aux seuils.



Impact carbone sur 50 ans - méthode RE2020 - Groupe 7

Pour les commerces réhabilités non raccordés au RCU, le scénario A - gaz est le plus impactant.

Les scénarios B - Biomasse et C - PAC air/eau permettent tous les deux de limiter le poids carbone de l'énergie, de plus de 45%.

Coûts annuels

HYPOTHESES

Prix des énergies

Les éléments ci-après sont issus des principaux fournisseurs d'énergie tels que EDF ou Engie pour l'électricité et le gaz, du Ministère de la transition écologique pour le bois et du SMIREC pour le réseau de chaleur urbain de la ville de Saint-Denis.

| Coût de l'énergie (hors abonnements) | Professionnels (€TTC/kWhEF) | Ménages (€TTC/kWhEF) | Sources |
|--|-----------------------------|----------------------|---|
| Électricité | 0,1734 | 0,1734 | EDF, 2022 |
| Gaz naturel | 0,1121 | 0,1121 | Engie, 2022 |
| Bois (granulés) | 0,0883 | 0,0883 | Ministère de la transition écologique (granulé en sac, juin 2022) |
| Réseau de chaleur urbain (Saint-denis) | 0,0739 | 0,0739 | SMIREC |

Les tarifs d'achats du photovoltaïque sont publiés par la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) et révisés chaque trimestre. Les tarifs ci-dessous sont pris pour une implantation sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation.

| Revente électricité photovoltaïque | Vente en totalité (€TTC/kWhEF) | Vente en surplus (€TTC/kWhEF) | Sources |
|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Puissance ≤ 3 kWc | 0,2022 | 0,1000 | photovoltaïque.info - 09/2022 |
| Puissance ≤ 9 kWc | 0,1718 | 0,1000 | photovoltaïque.info - 09/2022 |
| Puissance ≤ 36 kWc | 0,1231 | 0,0600 | photovoltaïque.info - 09/2022 |
| Puissance ≤ 100 kWc | 0,1070 | 0,0600 | photovoltaïque.info - 09/2022 |

Entretien

Les coûts d'entretien annuels pris en compte sont présentés dans le tableau ci-dessous. Ceux-ci sont issus en partie de l'étude «Coût des énergies renouvelables ADEME - 2019», et en partie de nos retours d'expérience.

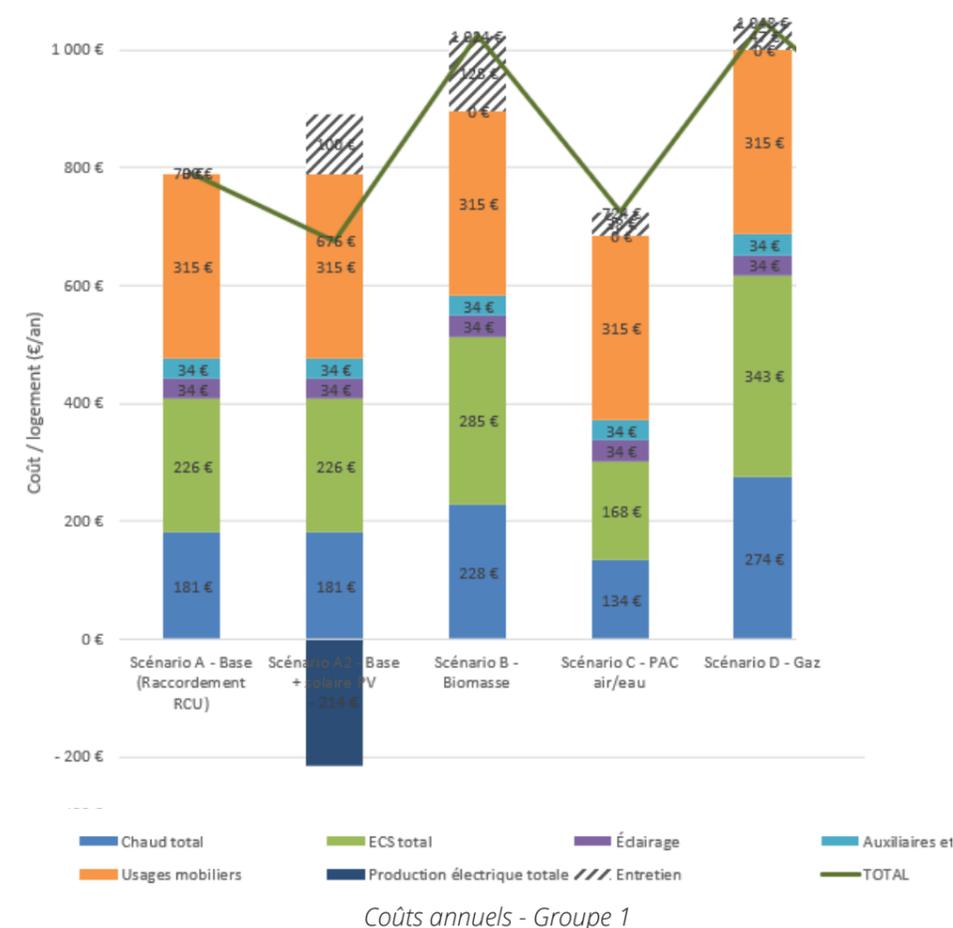
Remarque : le coût d'entretien du réseau de chaleur est considéré comme étant intégré directement dans le prix de l'énergie.

Dans le cadre de cette étude, un taux d'actualisation de 1,61% a été pris en compte (source EY, 2022), estimé à partir d'une moyenne sur la période 2014-2022.

| Coût entretien annuel | Coût / MWh |
|-----------------------|---------------------------|
| gaz (<150 kW) | 8,60 €TTC/MWh |
| gaz (150-500 kW) | 4,40 €TTC/MWh |
| solaire | 10,00 €TTC/m ² |
| PAC air/eau | 35,00 €TTC/MWh |
| ballon élec | 0,00 €TTC/MWh |
| PAC air/air | 35,00 €TTC/MWh |

GROUPE 1 : Logements neufs - raccordés au RCU

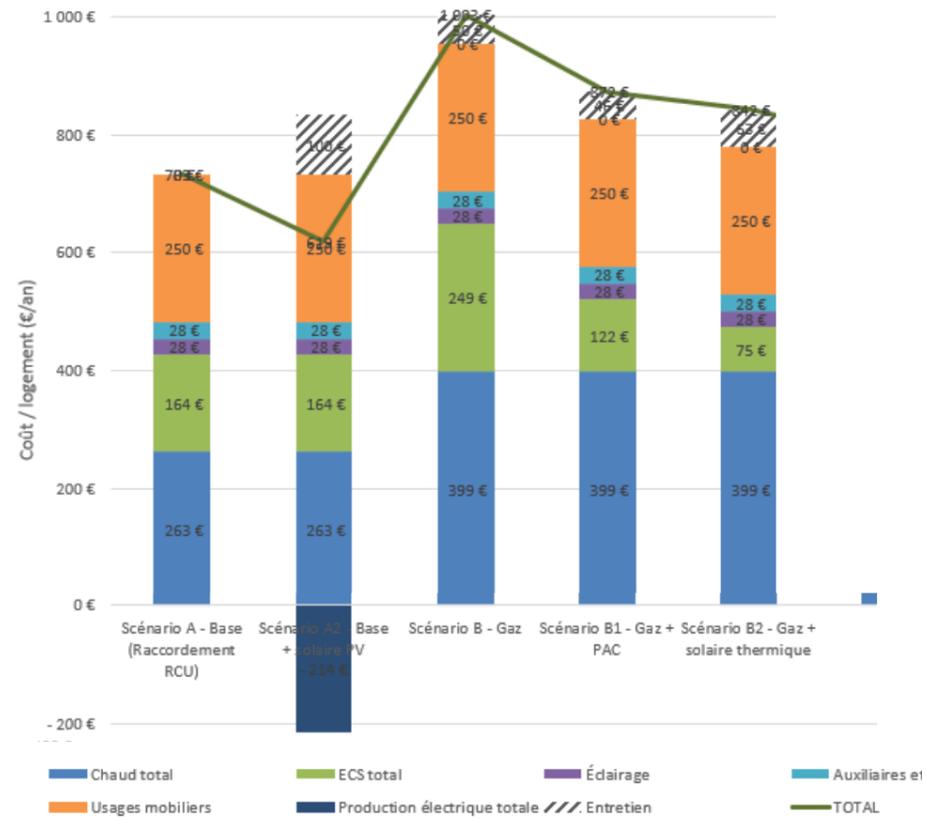
Le graphique ci-dessous synthétise les coûts en énergies et en entretien annuels pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 1.



Pour les logements neufs raccordés au RCU, les scénarios permettant les factures annuelles les plus réduites sont le scénario A1 - raccordement RCU + PV et le scénario C - PAC air/eau. En effet, les panneaux solaires photovoltaïques permettent de gagner de l'argent sur la production électrique totale et donc de compenser les coûts en chaud, en éclairage, en auxiliaires et en entretien. Sans panneaux solaires photovoltaïques, le scénario le plus favorable est le scénario C - PAC air/eau. Ces scénarios permettent une économie annuelle d'environ 10% par rapport au scénario A (base).

GROUPE 2 : Logements réhabilités - raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les coûts en énergies et en entretien annuels pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 2.



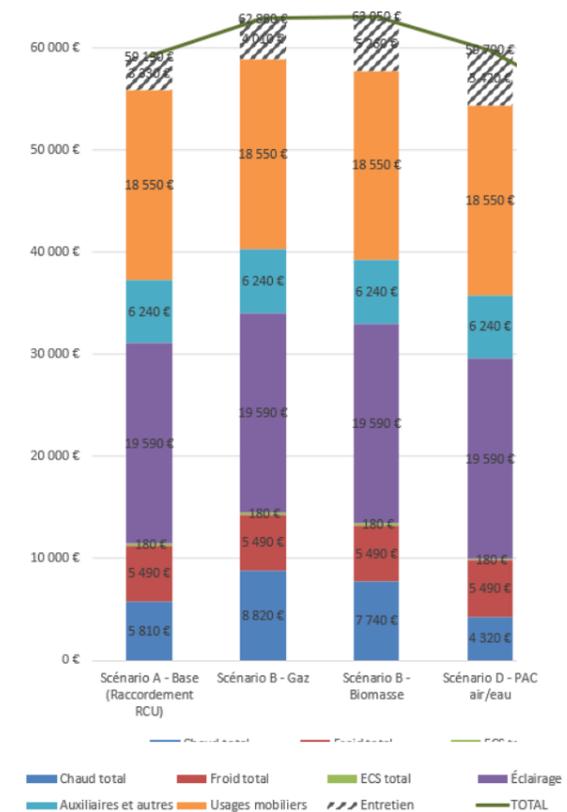
Coûts énergie et entretien annuels - Groupe 2

Pour les logements réhabilités raccordés au RCU, les scénarios permettant les factures annuelles les plus réduites sont le scénario A - raccordement RCU et le scénario B - raccordement RCU + PV. En effet, pour le deuxième scénario, les panneaux solaires photovoltaïques permettent de gagner de l'argent sur la production électrique totale et donc de compenser les coûts en chaud, en éclairage, en auxiliaires et en entretien.

Le scénario raccordement au RCU et donc plus rentable que le scénario gaz. L'ajout de PV réduit les coûts annuels d'environ 16 %.

GROUPE 3 : Commerces neufs - raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les coûts en énergies et en entretien annuels pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 3.



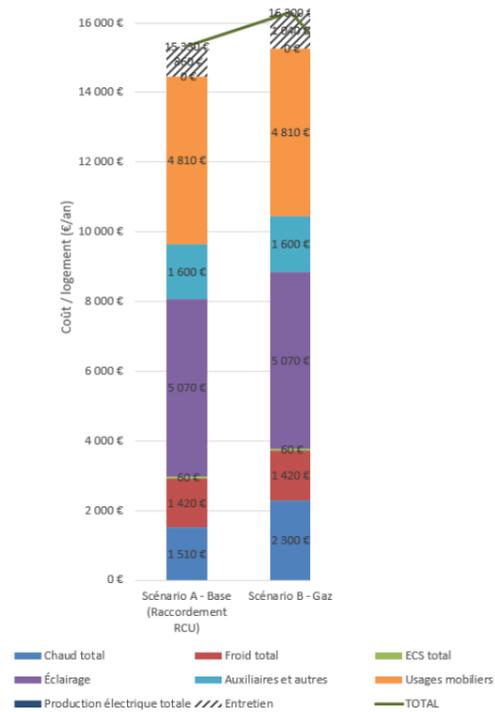
Coûts énergie et entretien annuels - Groupe 3

Pour les commerces neufs raccordés au RCU, les scénarios les plus avantageux en termes de coûts annuels sont les scénarios A - RCU et D - PAC air/eau.

Il permettent une économie par rapport aux deux autres scénarios B - Gaz et C - Biomasse.

GROUPE 4 : Commerces réhabilités - raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les coûts en énergies et en entretien annuels pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 4.



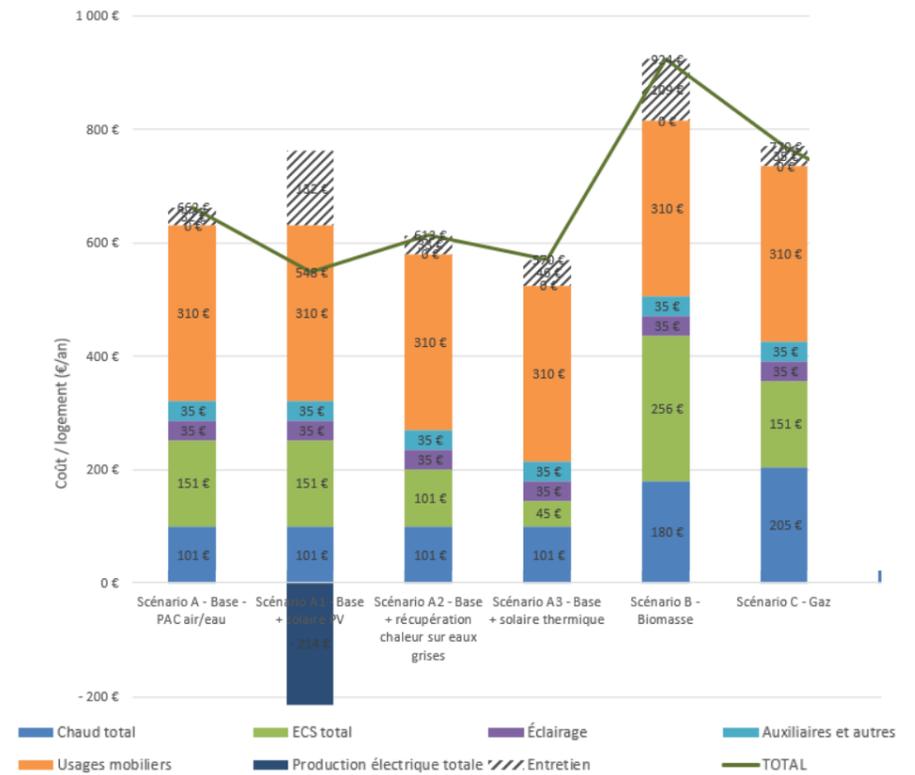
Coûts énergie et entretien annuels - Groupe 4

Pour les commerces réhabilités raccordés au RCU, le scénario permettant les factures annuelles les plus réduites est le scénario A - raccordement au RCU.

Il permet une économie annuelle de 6 % par rapport au scénario gaz.

GROUPE 5 : Logements neufs - non raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les coûts en énergies et en entretien annuels pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 5.



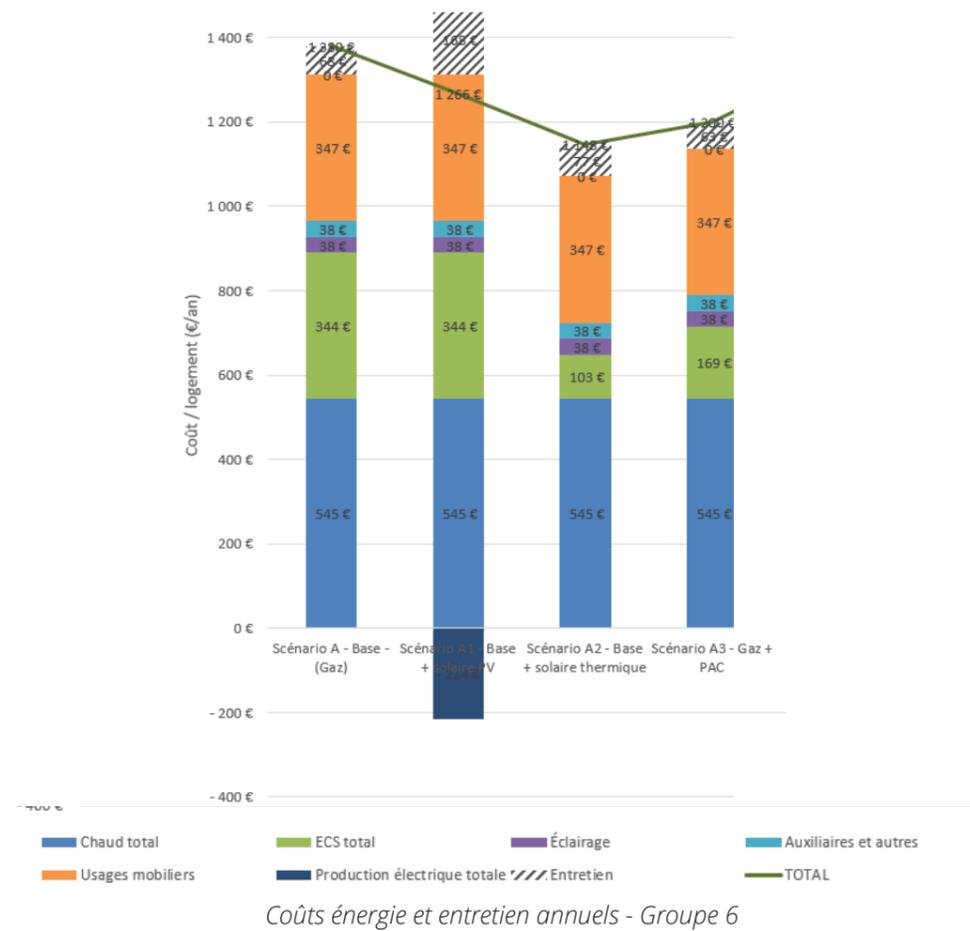
Coûts énergie et entretien annuels - Groupe 5

Pour les logements neufs non raccordés au RCU, les scénarios permettant les factures annuelles les plus réduites sont le scénario A1 - PAC air/eau + PV, le scénario A2 - PAC air/eau + récupération de chaleur sur eaux grises et le scénario A3 - PAC air/eau + solaire thermique.

Le scénario base A - PAC air/eau sans compléments est le plus économique annuellement par rapport aux scénarios B - Biomasse et C - gaz.

GROUPE 6 : Logements réhabilités - non raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergies finale et primaire non renouvelable pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 6.



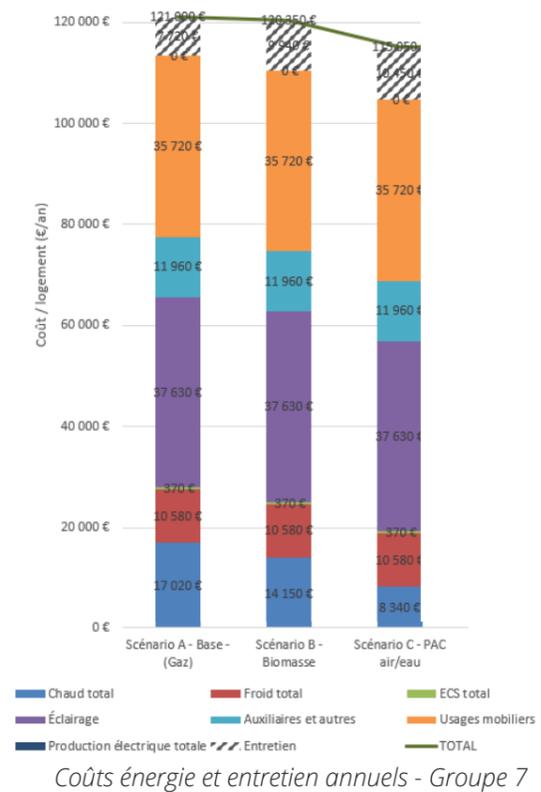
Pour les logements réhabilités non raccordés au RCU, les scénarios permettant les factures annuelles les plus réduites sont le scénario A2 - gaz + solaire thermique, le scénario A3 - gaz + PAC.

Le scénario A2 - gaz + solaire thermique permet une économie annuelle d'environ 17 % par rapport au scénario base A - gaz.

Le scénario A3 - gaz + PAC permet une économie annuelle d'environ 13 % par rapport au scénario base A - gaz.

GROUPE 7 : Commerces neufs - non raccordés au RCU

Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergies finale et primaire non renouvelable pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 7.



Pour les commerces neufs non raccordés au RCU, le scénario C - PAC air/eau est le plus avantageux par rapport aux scénarios A - gaz et B - Biomasse.

Approche en coût global

PRINCIPES

Une approche en coût globale sur 50 ans¹ est menée sur la production de chaud (chauffage et ECS), de climatisation pour les bureaux et d'énergie sur site (photovoltaïque par exemple). Seule cette production 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, de coûts des énergies et d'entretien, 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. D'autant plus dans le contexte actuel où les prix des énergies augmentent beaucoup.

Une indexation du prix des énergies basée sur l'évolution récente des prix de l'énergie en moyenne est prise en compte :

- Gaz 10 %.
- Electricité 10 %.
- Bois 10 % (granulés).

Le projet ne fait pas l'objet de subventions.

Remarque : il est important de garder à l'esprit que le calcul en coût global est très influencé par les hypothèses d'évolution des prix de l'énergie (que personne ne peut prédire à l'avance). Dans cette étude, nous avons pris le parti de considérer des hypothèses défavorables, avec une très forte augmentation du prix de l'énergie (+10% par an), en raison des évolutions constatées durant les dernières années.

HYPOTHESES CONCERNANT L'ÉNERGIE ET L'ENTRETIEN

Entretien & Prix des énergies

Voir partie précédente.

Taux d'actualisation

Le taux d'actualisation est la méthode qui sert à ramener à une même base des flux financiers non directement comparables car se produisant à des dates différentes. Ce taux dépend notamment du fait qu'en matière d'investissements ou d'épargne, toute personne physique ou morale exprime une préférence instinctive pour le présent comparativement au futur.

Indexation du prix des énergies basée sur l'évolution passée

Les hypothèses d'évolution coûts des énergies sont basées sur des moyennes entre les données recueillies via retours d'expériences ou bases de données en ligne.

Un taux de dégradation de la performance des panneaux photovoltaïques est par ailleurs pris en compte, à hauteur de 0,5 % par an.

¹ Conformément à la méthode de calcul du label E+C-

Formule utilisée

La formule suivante est utilisée pour intégrer l'actualisation et l'évolution des prix des énergies et de l'entretien :

Pour l'année 0 :

- $C0 = \text{Investissement} + P1 + P2 - P3 - P4$
- Avec Investissement : voir partie suivante
- $P1 = \text{Conso} \times \text{prix de l'énergie}$
- $P2 = \text{Conso} \times \text{prix de la maintenance}$
- $P3 = \text{Energie revendue} \times \text{prix de revente}$
- $P4 = \text{Montant subventions (voir partie suivante)}$

Pour les années suivantes « n » :

- $Cn = P1n + P2n - P3n - P4n$
- Avec $P1n = P1n-1 \times (1 + \text{taux d'inflation énergie}) / (1 + \text{taux d'actualisation})$
- $P2n = P2n-1 / (1 + \text{taux d'actualisation})$
- $P3n = P3n-1 / (1 + \text{taux d'inflation énergie}) \times (1 - \text{taux dégradation}) / (1 + \text{taux d'actualisation})$
- $P4n = P4n-1 / (1 + \text{taux d'actualisation})$

HYPOTHESES POUR LES PRIX D'INVESTISSEMENT

Les coûts pris en compte sont issus de la bibliographie existante (notamment les publications de l'ADEME et du CGDD) ainsi que de prix constructeurs. Ce sont des prix moyens constatés sur les dernières années, qui ont vocation à être affinés avec l'avancement du projet.

Les prix sont donnés en TTC.

Gaz

Les coûts d'investissement pour les systèmes au gaz mutualisés sont estimés à 255 €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.

Chauffe eau thermodynamique

Nous considérons un coût d'investissement de 1700 €TTC par logement pour un système de chauffe eau thermodynamique pour logements collectifs¹

PAC double service

On considère un coût d'investissement pour une PAC Double service de 1083,33 €TTC par logement.²

Solaire photovoltaïque

On considère un coût d'investissement moyen de 1,50 €/Wc pour une puissance installée comprise entre 9 et 36 kWc.

Solaire thermique

On considère un coût moyen de 980 €/m² de panneau.

Récupération de chaleur sur les eaux grises

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

Ce coût comprend la fourniture, le transport, l'installation et la mise en service.³

Bois

Sur base de données de l'étude sur le coût des énergies renouvelables 2019 de l'ADEME, on considère un investissement de 1305,5 €TTC/kW pour une chaufferie biomasse mutualisée de moins de 500 kW.

On considère un ratio de puissance installée de 0,05 kW/m², et une sur-puissance de 10% pour prendre en compte la production d'ECS.

Réseau de chaleur urbain

Une hypothèse de 0,0739 €TTC/kWh a été prise selon le site du SMIREC.

1 Batichiffrage, 2018

2 Consultation fournisseur (AUER système ZEPAC pour 60 lgts) - février 2022

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

GROS RENOUVELLEMENT

Sur une analyse sur 50 ans, on considère que toutes les chaudières, poêles, PAC et panneaux solaires sont renouvelés une fois.

On considère que les sondes et forages géothermiques ont une durée de vie supérieures ou égales à 50 ans, de même que les réseaux.

HYPOTHESES SUR LES SUBVENTIONS

On considère les conditions du Fonds chaleur ADEME 2021. Les principales valeurs seuils sont les suivantes :

- Solaire thermique : surface utile comprise entre 25 m² et 500 m²
- Biomasse : production supérieure à 1 200 MWh ENR par an.
- Réseau de chaleur : taux d'ENR&R supérieur à 65 %, production comprise entre 300 MWh et 1200 MWh.

L'obtention de subventions n'étant pas automatique, celles-ci ne sont pas prises en compte dans cette étude.

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS EN COÛT GLOBAL

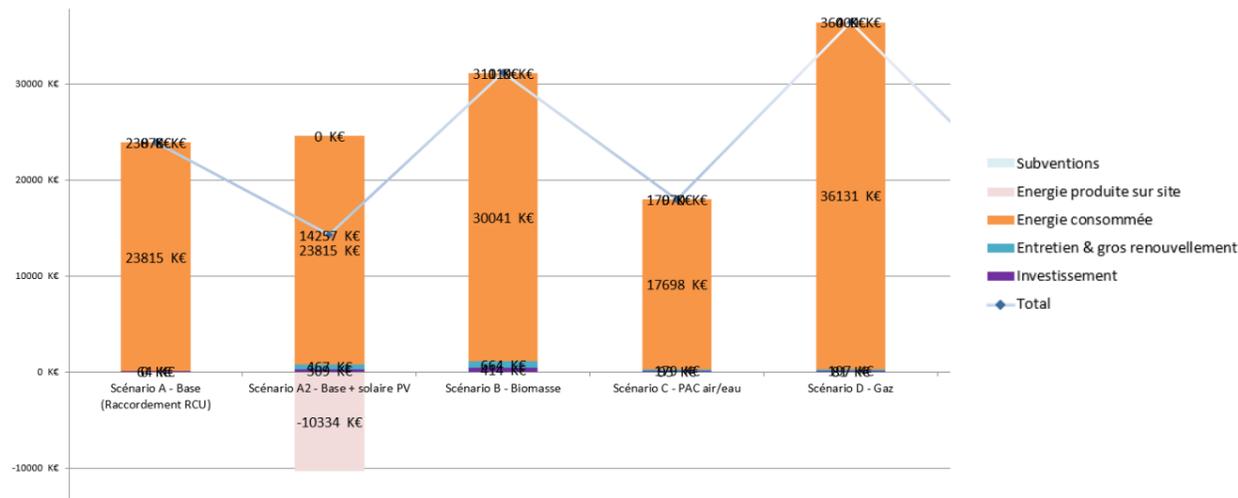
Les résultats de l'étude en coût global sont présentés par groupe.

GROUPE 1 : Logements neufs - raccordés au RCU

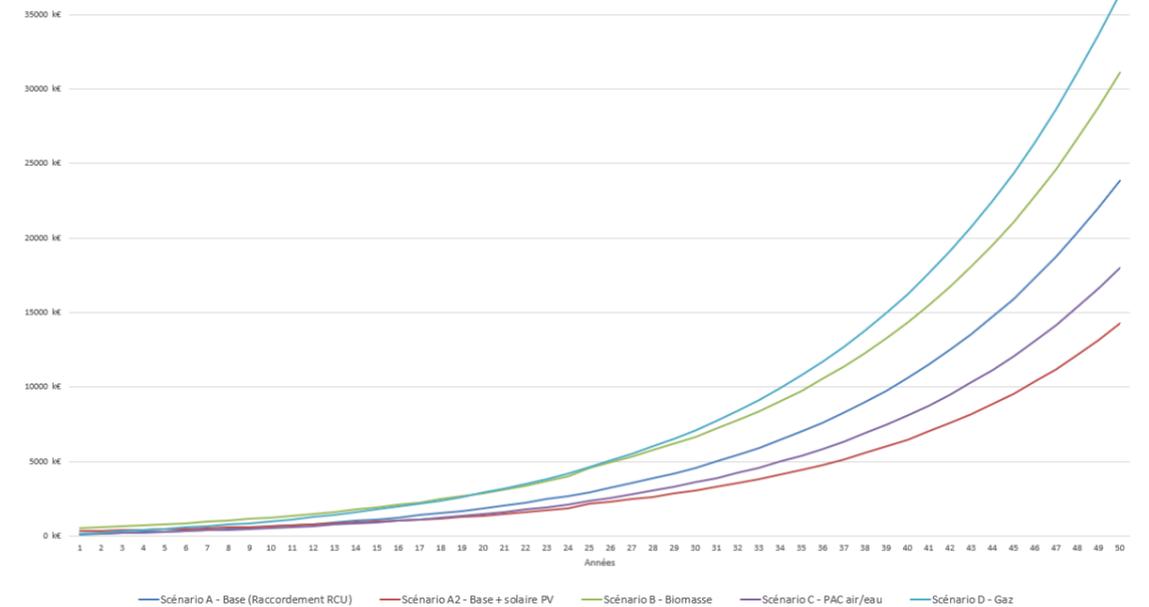
Les scénarios les plus intéressants pour les logements neufs raccordés au RCU sont le scénario A2 - RCU + PV et le scénario C - PAC air/eau, avec une réduction respective de 40% et 25% par rapport au scénario de référence (RCU).

L'analyse en coût global montre que la très large majorité des dépenses sont liées à l'énergie consommée. Cela est dû au contexte actuel avec des augmentations très significatives des prix de l'énergie. En effet, les prix du gaz, de l'électricité et du bois ont augmenté très fortement ces derniers temps. Par conséquent, les scénarios B - Biomasse et D - gaz sont beaucoup moins avantageux que les autres scénarios.

L'ajout de panneaux solaires photovoltaïques pour le scénario A2 - RCU + PV réduit considérablement les coûts. En effet, le coût d'investissement des panneaux solaires photovoltaïques est aujourd'hui négligeable face au coût de l'énergie consommée.



| Scénario | Total | Comparaison au Scénario de référence |
|--------------------------------------|----------|--------------------------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | 23878 K€ | 0% |
| Scénario A2 - Base + solaire PV | 14257 K€ | -40% |
| Scénario B - Biomasse | 31119 K€ | 30% |
| Scénario C - PAC air/eau | 17970 K€ | -25% |
| Scénario D - Gaz | 36409 K€ | 52% |



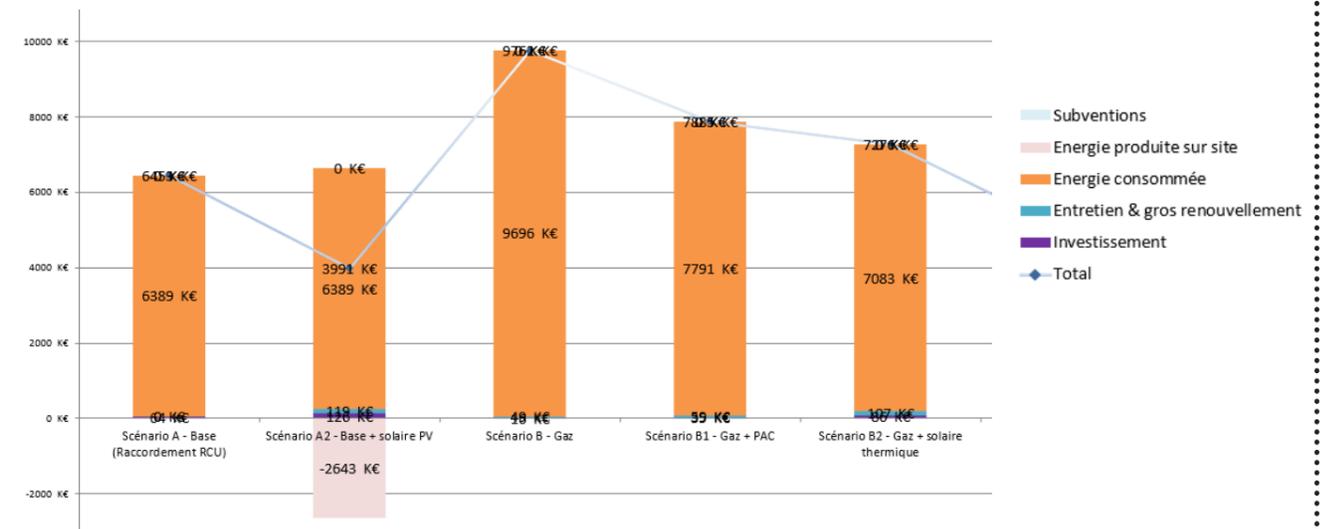
Coût global sur 50 ans - Groupe 1

GROUPE 2 : Logements réhabilités - raccordés au RCU

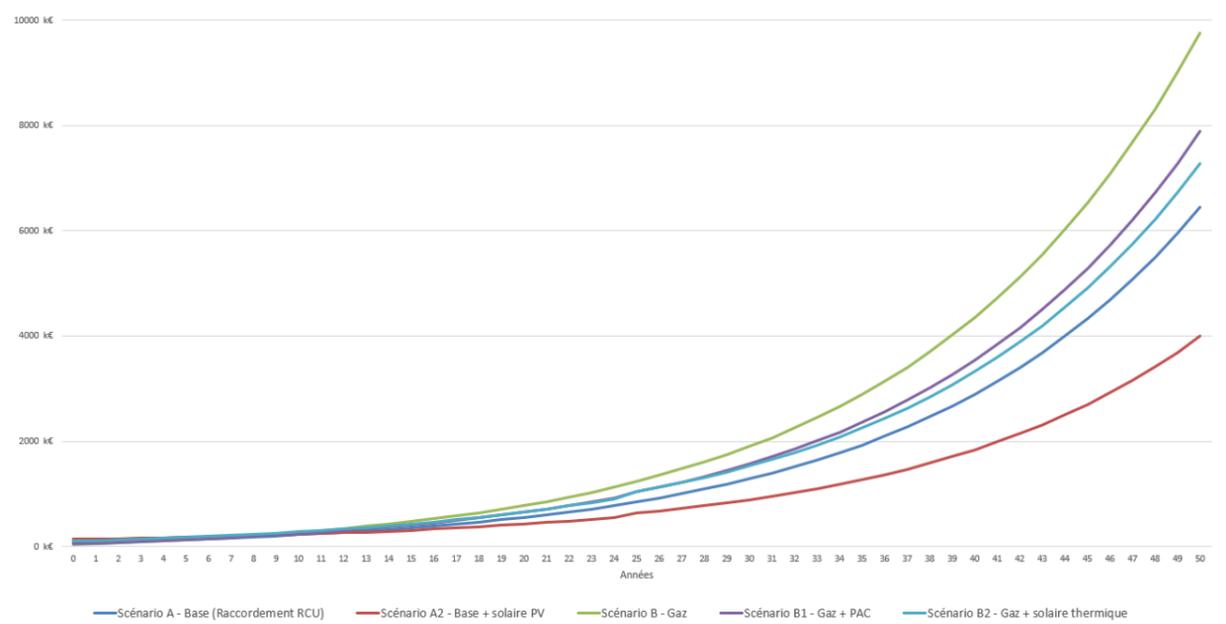
Les scénarios les plus intéressants pour les logements réhabilités raccordés au RCU sont le scénario A - RCU et le scénario A2 - RCU + PV.

L'analyse en coût global montre que la très large majorité des dépenses sont liées à l'énergie consommée. Cela est dû au contexte actuel avec des augmentations très significatives des prix de l'énergie. En effet, les prix du gaz, de l'électricité et du bois ont explosé ces derniers temps. Par conséquent, les scénarios B - gaz et ses variantes B1 et B2 sont beaucoup moins avantageux que les autres scénarios.

L'ajout de panneaux solaires photovoltaïques pour le scénario A2 - RCU + PV réduit considérablement les coûts (-38% par rapport au scénario A). En effet, le coût d'investissement des panneaux solaires photovoltaïques est aujourd'hui négligeable face au coût de l'énergie consommée.



| Scénario | Total | Comparaison au Scénario de réf |
|---------------------------------------|---------|--------------------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | 6453 K€ | 0% |
| Scénario A2 - Base + solaire PV | 3991 K€ | -38% |
| Scénario B - Gaz | 9762 K€ | 51% |
| Scénario B1 - Gaz + PAC | 7885 K€ | 22% |
| Scénario B2 - Gaz + solaire thermique | 7276 K€ | 13% |

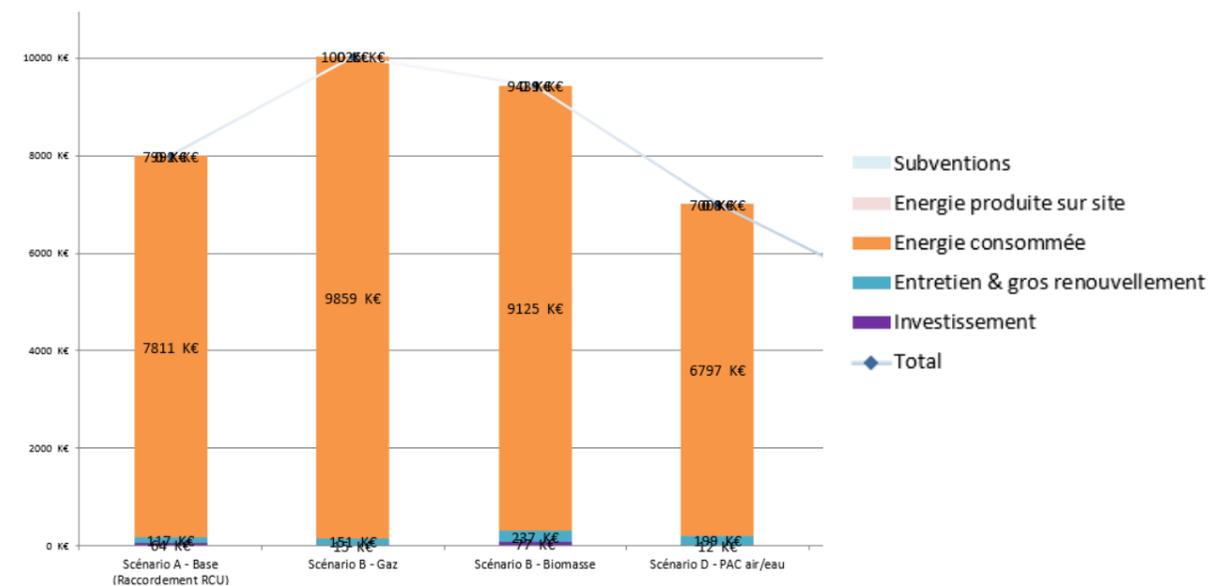


Coût global sur 50 ans - Groupe 2

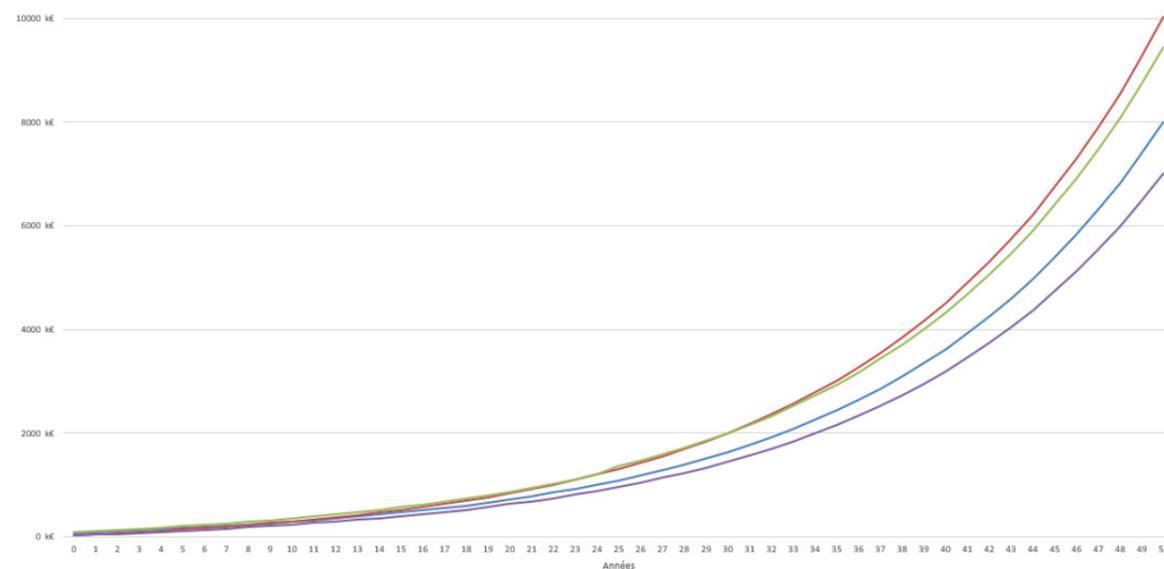
GRUPE 3 : Commerces neufs - raccordés au RCU

Le scénario le plus intéressant pour les logements commerces neufs raccordés au RCU est le scénario C - PAC air/eau, avec une réduction de 12% par rapport au scénario de référence (RCU).

L'analyse en coût global montre que la très large majorité des dépenses sont liées à l'énergie consommée. Cela est dû au contexte actuel avec des augmentations très significatives des prix de l'énergie. En effet, les prix du gaz, de l'électricité et du bois ont explosé ces derniers temps. Par conséquent, les scénarios B - gaz et C - Biomasse sont beaucoup moins avantageux que les autres scénarios.



| Scénario | Comparaison au Scénario de réf |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | 0% |
| Scénario B - Gaz | 25% |
| Scénario B - Biomasse | 18% |
| Scénario D - PAC air/eau | -12% |

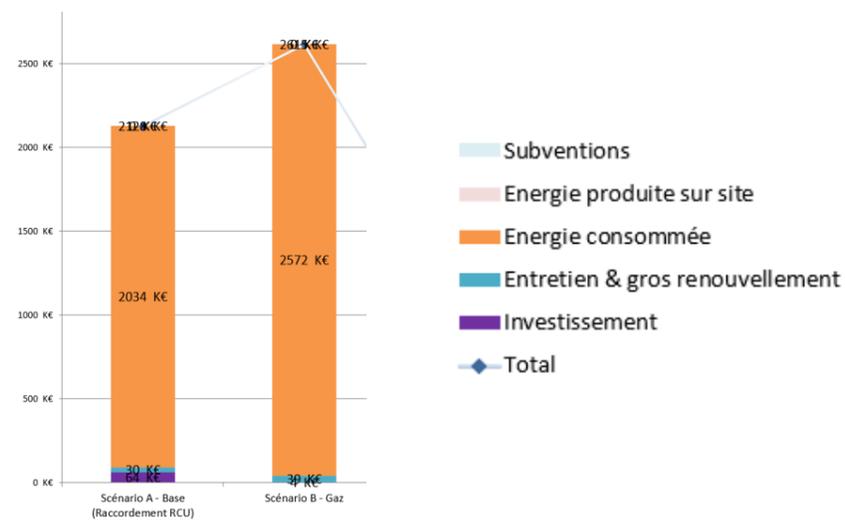


Coût global sur 50 ans - Groupe 3

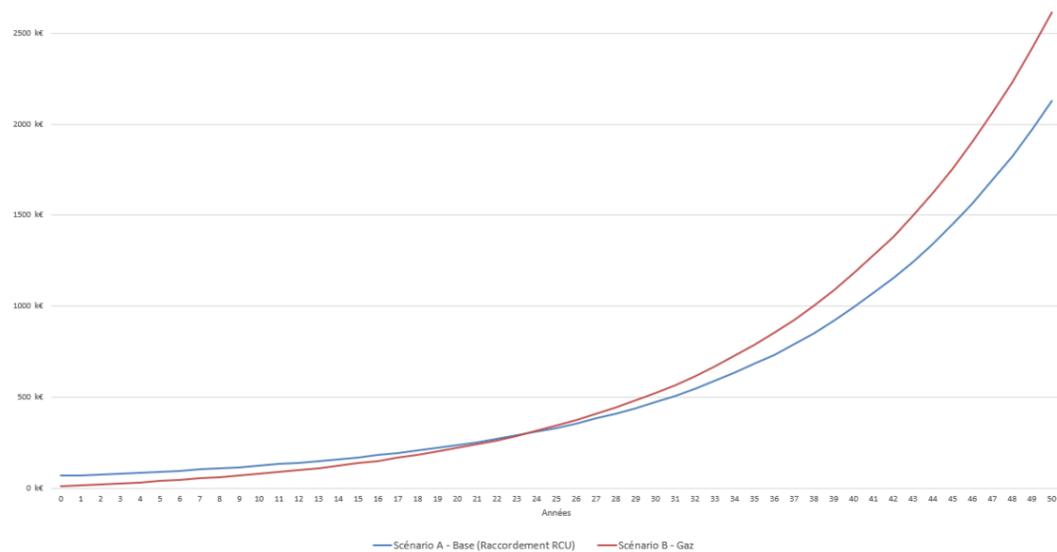
GROUPE 4 : Commerces réhabilités - raccordés au RCU

Le scénario le plus intéressant pour les commerces réhabilités raccordés au RCU est le scénario A - RCU.

L'analyse en coût global montre que la très large majorité des dépenses sont liées à l'énergie consommée. Cela est dû au contexte actuel avec des augmentations très significatives des prix de l'énergie. En effet, les prix du gaz, de l'électricité et du bois ont explosé ces derniers temps. Par conséquent, le scénario B - gaz est beaucoup moins avantageux que le scénario A - RCU, l'analyse en coût global montre qu'il est 23% moins avantageux que le scénario base.



| Scénario | Total | Comparaison au Scénario de réf |
|--------------------------------------|---------|--------------------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | 2128 K€ | 0% |
| Scénario B - Gaz | 2615 K€ | 23% |



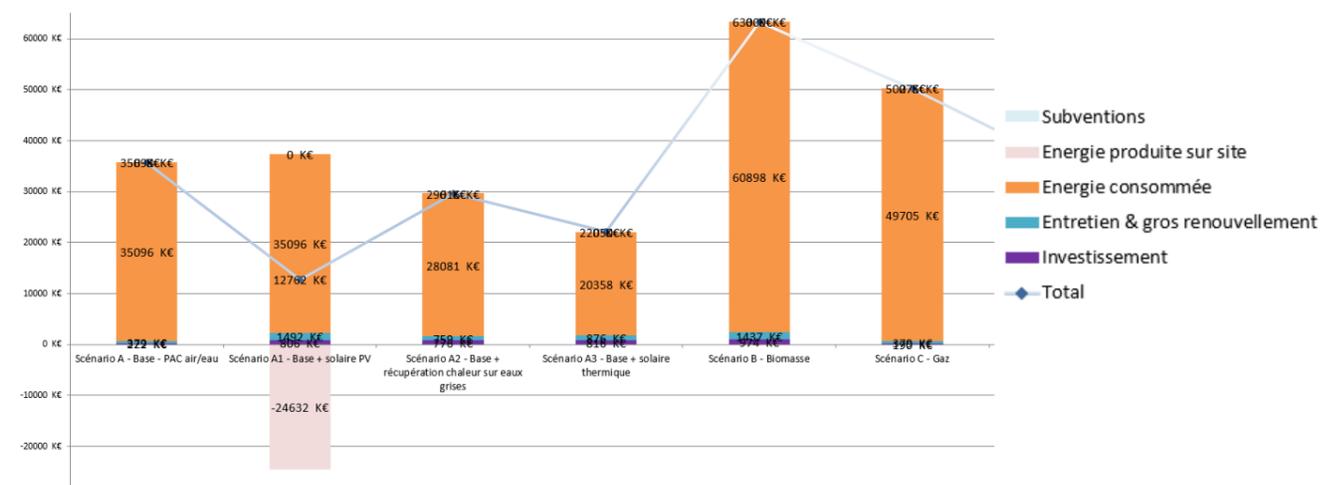
Coût global sur 50 ans - Groupe 4

GROUPE 5 : Logements neufs - non raccordés au RCU

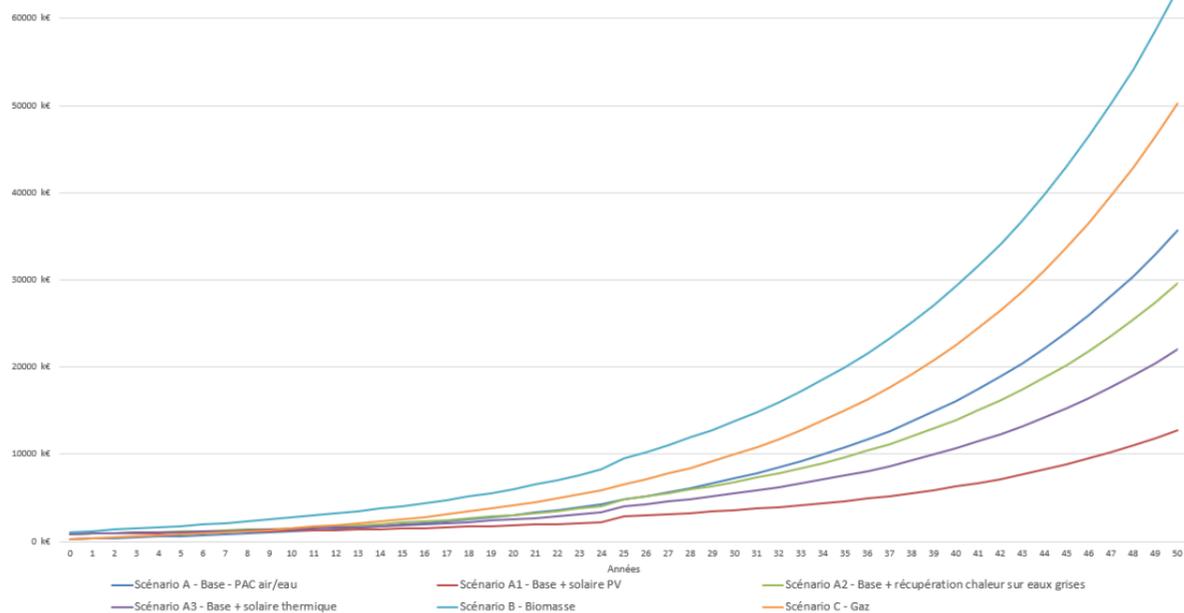
Les scénarios les plus intéressants pour les logements neufs non raccordés au RCU sont le scénario A1 - PAC air/eau + PV, le scénario A2 - PAC air/eau + récupération de chaleur sur les eaux grises et le scénario A3 - PAC air/eau + solaire thermique, avec une réduction respective de 64%, 17% et 38% par rapport au scénario de référence (PAC air/eau).

L'analyse en coût global montre que la très large majorité des dépenses sont liées à l'énergie consommée. Cela est dû au contexte actuel avec des augmentations très significatives des prix de l'énergie. En effet, les prix du gaz, de l'électricité et du bois ont explosé ces derniers temps. Par conséquent, les scénarios B - Biomasse et C - gaz sont beaucoup moins avantageux que les autres scénarios.

L'ajout de panneaux solaires photovoltaïques pour le scénario A2 - RCU + PV réduit considérablement les coûts. En effet, le coût d'investissement des panneaux solaires photovoltaïques est aujourd'hui négligeable face au coût de l'énergie consommée.



| Scénario | Total | Comparaison au Scénario de r |
|---|----------|------------------------------|
| Scénario A - Base - PAC air/eau | 35698 K€ | 0% |
| Scénario A1 - Base + solaire PV | 12762 K€ | -64% |
| Scénario A2 - Base + récupération chaleur sur eaux grises | 29616 K€ | -17% |
| Scénario A3 - Base + solaire thermique | 22050 K€ | -38% |
| Scénario B - Biomasse | 63309 K€ | 77% |
| Scénario C - Gaz | 50275 K€ | 41% |



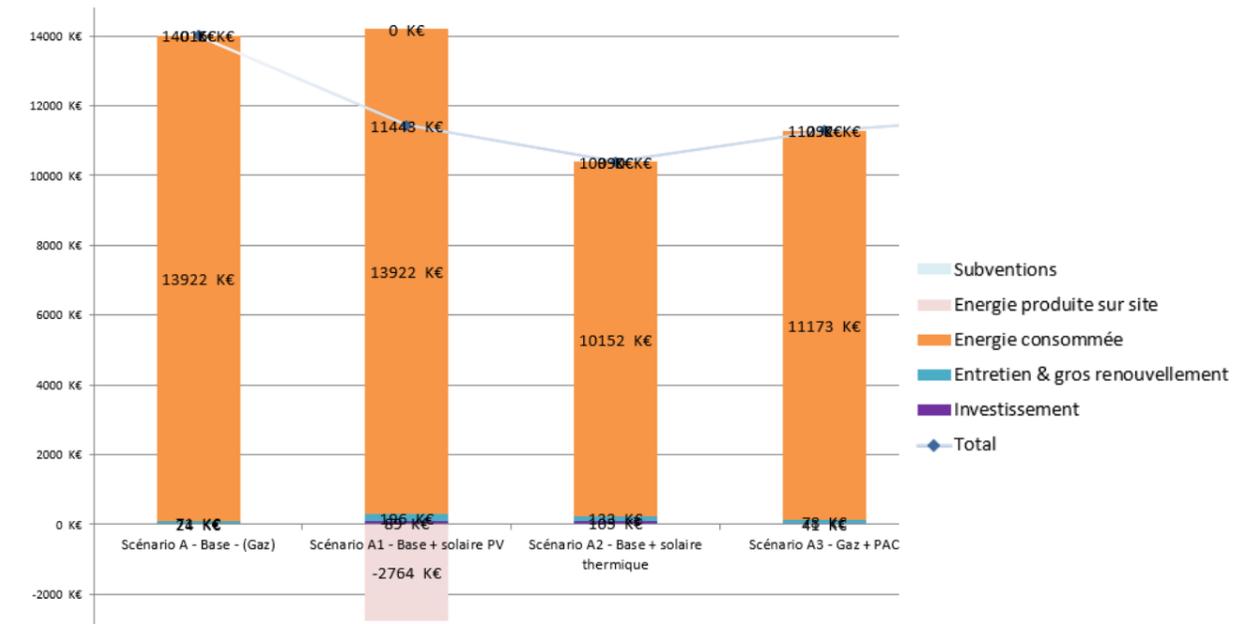
Coût global sur 50 ans - Groupe 5

GROUPE 6 : Logements réhabilités - non raccordés au RCU

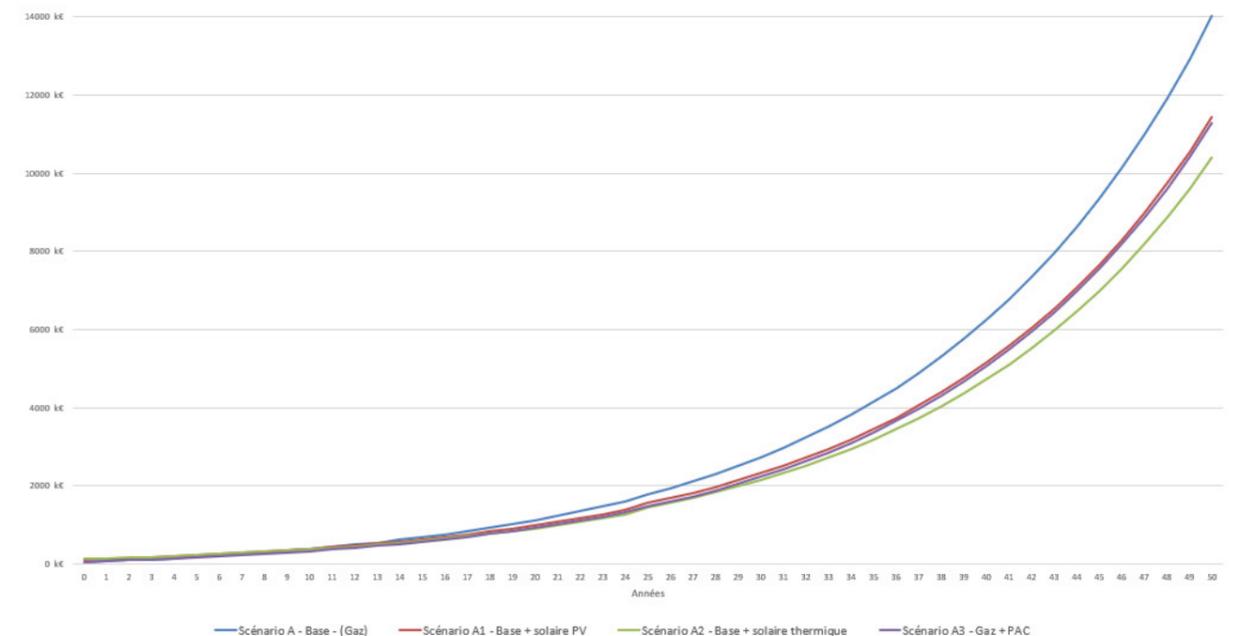
Les scénarios les plus intéressants pour les logements réhabilités non raccordés au RCU sont le scénario A1 - gaz + PV, le scénario A2 - PAC air/eau + solaire thermique et le scénario A3 - gaz + récupération de chaleur sur les eaux grises et, avec une réduction respective de 18%, 26% et 19% par rapport au scénario de référence (PAC air/eau).

L'analyse en coût global montre que la très large majorité des dépenses sont liées à l'énergie consommée. Cela est dû au contexte actuel avec des augmentations très significatives des prix de l'énergie. En effet, les prix du gaz, de l'électricité et du bois ont explosé ces derniers temps. Par conséquent, le scénario A - gaz sans compléments est beaucoup moins avantageux que les autres scénarios.

L'ajout de panneaux solaires photovoltaïques pour le scénario A2 - RCU + PV réduit considérablement les coûts. En effet, le coût d'investissement des panneaux solaires photovoltaïques est aujourd'hui négligeable face au coût de l'énergie consommée.



| Scénario | Total | Comparaison au Scénario de référence |
|--|----------|--------------------------------------|
| Scénario A - Base - (Gaz) | 14016 K€ | 0% |
| Scénario A1 - Base + solaire PV | 11443 K€ | -18% |
| Scénario A2 - Base + solaire thermique | 10390 K€ | -26% |
| Scénario A3 - Gaz + PAC | 11292 K€ | -19% |

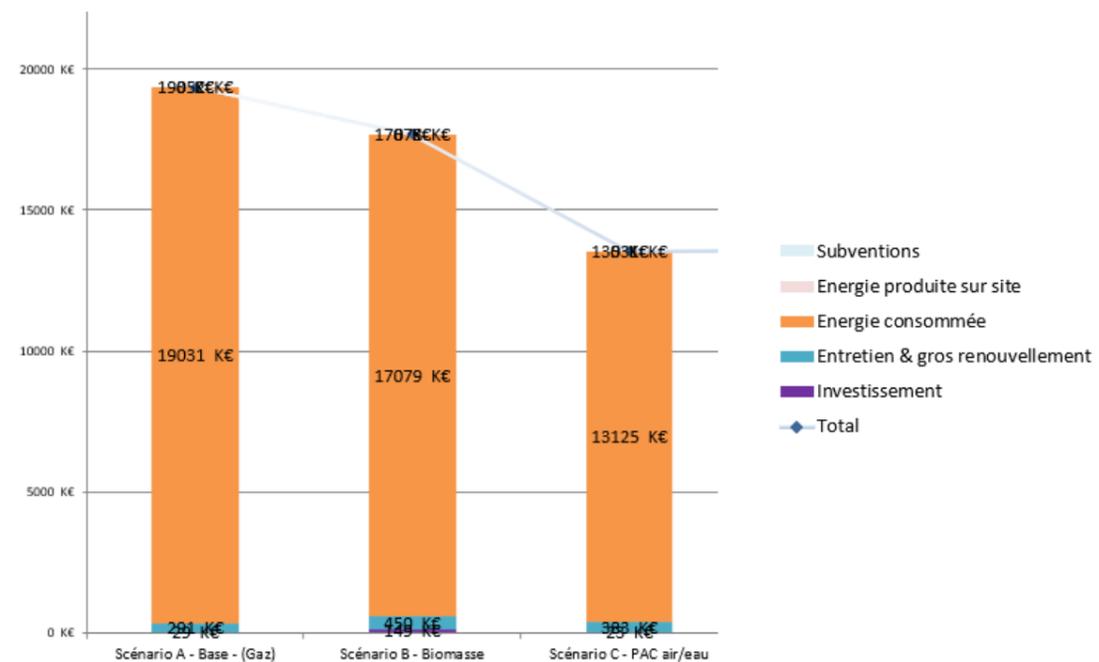


Coût global sur 50 ans - Groupe 6

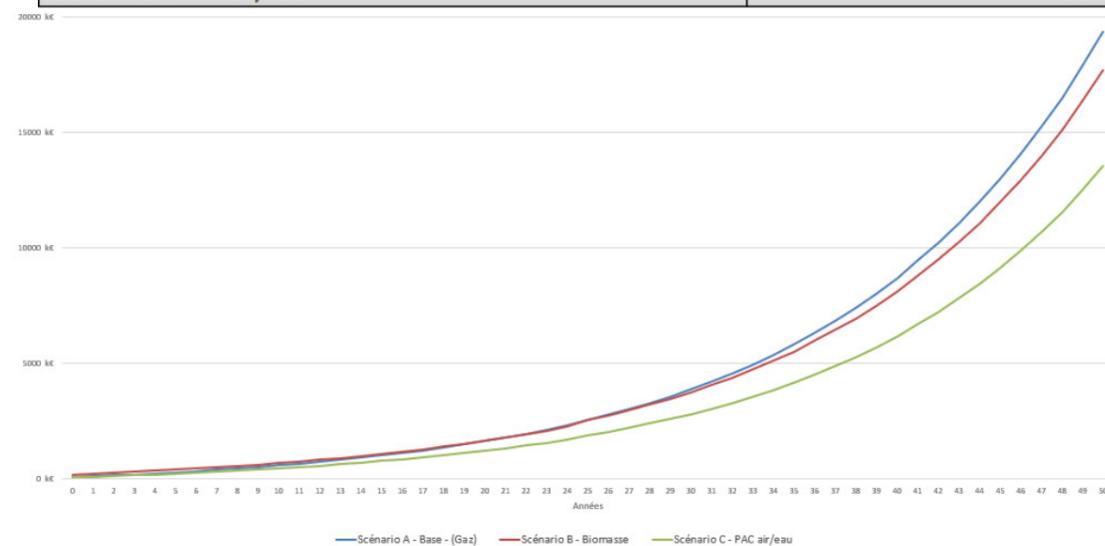
GROUPE 7 : Commerces neufs - non raccordés au RCU

Tous les scénarios étudiés pour les commerces neufs non raccordés au RCU permettent une réduction du coût global sur 50 ans par rapport au scénario de référence (gaz).

En effet, les scénarios B - biomasse et C - PAC air/eau sont plus avantageux. Les économies sont de respectivement 9 % et 30 % par rapport au scénario A - gaz.



| Scénario | Comparaison au Scénario de réf |
|---------------------------|--------------------------------|
| Scénario A - Base - (Gaz) | 0% |
| Scénario B - Biomasse | -9% |
| Scénario C - PAC air/eau | -30% |



Coût global sur 50 ans - Groupe 7

Conclusion

L'analyse des gisements énergétiques au niveau du site d'étude nous a permis d'identifier les solutions les plus pertinentes envisageables pour la partie logistique et pour la partie bureaux.

La présente étude a permis de comparer les scénarios de chaque groupe selon les critères suivants :

- Consommation en énergie primaire et en énergie finale
- Impact environnemental, et plus particulièrement impact carbone lié à l'énergie sur 50 ans
- Coût annuel par logement ou par équipement
- Coût global sur 50 ans

Dans les tableaux ci-après, les différents scénarios étudiés par groupe sont classés entre eux selon les critères définis. Ce classement permet d'identifier le «rang moyen» de chaque scénario par rapport aux autres.

GROUPE 1 : Logements neufs - raccordés au RCU

Les scénarios sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|-------|---------------|-------------|---------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | RCU | / | / | RCU | / | / |
| Scénario A2 - Base + solaire PV | RCU | / | / | RCU | / | Photovoltaïque |
| Scénario B - Biomasse | Bois granulés | / | / | Bois granulés | / | / |
| Scénario C - PAC air/eau | PAC air / eau | / | / | PAC air / eau | / | / |
| Scénario D - Gaz | Gaz | / | / | Gaz | / | / |

Synthèse des scénarios retenus - Groupe 1

| Scénario | Energie finale | Energie primaire non renouvelable | Energie primaire | Coût / an | Impact carbone / 50 ans | Coût global / 50 ans | Rang global |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|----------------------|-------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3,2 |
| Scénario A2 - Base + solaire PV | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1,7 |
| Scénario B - Biomasse | 5 | 2 | 5 | 4 | 2 | 4 | 3,7 |
| Scénario C - PAC air/eau | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1,8 |
| Scénario D - Gaz | 3 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 4,3 |

Conclusion - Groupe 1

Pour le groupe 1 - Logements neufs raccordés au RCU, les scénarios qui ressortent comme étant les plus pertinents au global sont :

- Scénario A2 - RCU + solaire PV
- Scénario C - PAC air/eau

GROUPE 2 : Logements réhabilités - raccordés au RCU

Les scénarios sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|---------------------------------------|-----------|-------------------|-------|-------------------|-------------|---------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | RCU | / | / | RCU | / | / |
| Scénario A2 - Base + solaire PV | RCU | / | / | RCU | / | Photovoltaïque |
| Scénario B - Gaz | Gaz | / | / | Gaz | / | / |
| Scénario B1 - Gaz + PAC | Gaz | / | / | PAC air / eau | / | / |
| Scénario B2 - Gaz + solaire thermique | Gaz | / | / | Solaire thermique | Gaz | / |

Synthèse des scénarios retenus - Groupe 2

| Scénario | Energie finale | Energie primaire non renouvelable | Energie primaire | Coût / an | Impact carbone / 50 ans | Coût global / 50 ans | Rang global |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|----------------------|-------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | 4 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2,7 |
| Scénario A2 - Base + solaire PV | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0 |
| Scénario B - Gaz | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4,7 |
| Scénario B1 - Gaz + PAC | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3,5 |
| Scénario B2 - Gaz + solaire thermique | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2,8 |

Conclusion - Groupe 2

Pour le groupe 2 - Logements réhabilités raccordés au RCU, le scénario qui ressort comme étant le plus pertinent au global est :

- Scénario A2 - RCU + solaire PV

GROUPE 3 : Commerces neufs - raccordés au RCU

Les scénarios sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|-------|-------------------|-------------|---------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | RCU | / | / | Ballon électrique | / | / |
| Scénario B - Gaz | Gaz | / | / | Ballon électrique | / | / |
| Scénario B - Biomasse | Bois granulés | / | / | Ballon électrique | / | / |
| Scénario D - PAC air/eau | PAC air / eau | / | / | Ballon électrique | / | / |

Synthèse des scénarios retenus - Groupe 3

| Scénario | Energie finale | Energie primaire non renouvelable | Energie primaire | Coût / an | Impact carbone / 50 ans | Coût global / 50 ans | Rang global |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|----------------------|-------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2,5 |
| Scénario B - Gaz | 2 | 4 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3,3 |
| Scénario B - Biomasse | 4 | 1 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2,5 |
| Scénario D - PAC air/eau | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,3 |

Conclusion - Groupe 3

Pour le groupe 3 - Commerces neufs raccordés au RCU, le scénario qui ressort comme étant le plus pertinent au global est :

- Scénario D - PAC air/eau

GROUPE 4 : Commerces réhabilités - raccordés au RCU

Les scénarios sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|--------------------------------------|-----------|-------------------|-------|-------------------|-------------|---------------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | RCU | / | / | Ballon électrique | / | / |
| Scénario B - Gaz | Gaz | / | / | Ballon électrique | / | / |

Synthèse des scénarios retenus - Groupe 4

| Scénario | Energie finale | Energie primaire non renouvelable | Energie primaire | Coût / an | Impact carbone / 50 ans | Coût global / 50 ans | Rang global |
|--------------------------------------|----------------|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|----------------------|-------------|
| Scénario A - Base (Raccordement RCU) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0 |
| Scénario B - Gaz | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1,7 |

Conclusion - Groupe 4

Pour le groupe 4 - Commerces neufs raccordés au RCU, le scénario qui ressort comme étant le plus pertinent au global est :

- Scénario A - raccordement au RCU

GROUPE 5 : Logements neufs - non raccordés au RCU

Les scénarios sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|---|---------------|-------------------|-------|------------------------------|---------------|---------------------|
| Scénario A - Base - PAC air/eau | PAC air / eau | / | / | PAC air / eau | / | / |
| Scénario A1 - Base + solaire PV | PAC air / eau | / | / | PAC air / eau | / | Photovoltaïque |
| Scénario A2 - Base + récupération chaleur sur eaux grises | PAC air / eau | / | / | Récupération sur eaux grises | / | / |
| Scénario A3 - Base + solaire thermique | PAC air / eau | / | / | Solaire thermique | PAC air / eau | / |
| Scénario B - Biomasse | Bois granulés | / | / | Bois granulés | / | / |
| Scénario C - Gaz | Gaz | / | / | PAC air / eau | / | / |

Synthèse des scénarios retenus - Groupe 5

| Scénario | Energie finale | Energie primaire non renouvelable | Energie primaire | Coût / an | Impact carbone / 50 ans | Coût global / 50 ans | Rang global |
|---|----------------|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|----------------------|-------------|
| Scénario A - Base - PAC air/eau | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4,2 |
| Scénario A1 - Base + solaire PV | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,0 |
| Scénario A2 - Base + récupération chaleur sur eaux grises | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3,2 |
| Scénario A3 - Base + solaire thermique | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,2 |
| Scénario B - Biomasse | 6 | 2 | 6 | 6 | 5 | 6 | 5,2 |
| Scénario C - Gaz | 5 | 6 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5,3 |

Conclusion - Groupe 5

Pour le groupe 5 - Logements neufs non raccordés au RCU, les scénarios qui ressortent comme étant les plus pertinents au global sont :

- Scénario A1 - PAC air/eau + solaire PV
- Scénario A3 - PAC air/eau + solaire thermique

GROUPE 6 : Logements réhabilités - non raccordés au RCU

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|--|-----------|-------------------|-------|-------------------|-------------|---------------------|
| Scénario A - Base - (Gaz) | Gaz | / | / | Gaz | / | / |
| Scénario A1 - Base + solaire PV | Gaz | / | / | Gaz | / | Photovoltaïque |
| Scénario A2 - Base + solaire thermique | Gaz | / | / | Solaire thermique | Gaz | / |
| Scénario A3 - Gaz + PAC | Gaz | / | / | PAC air / eau | / | / |

Synthèse des scénarios retenus - Groupe 6

| Scénario | Energie finale | Energie primaire non renouvelable | Energie primaire | Coût / an | Impact carbone / 50 ans | Coût global / 50 ans | Rang global |
|--|----------------|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|----------------------|-------------|
| Scénario A - Base - (Gaz) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4,0 |
| Scénario A1 - Base + solaire PV | 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2,5 |
| Scénario A2 - Base + solaire thermique | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1,3 |
| Scénario A3 - Gaz + PAC | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2,2 |

Conclusion - Groupe 6

Pour le groupe 6 - Logements réhabilités non raccordés au RCU, le scénario qui ressort comme étant le plus pertinent au global est :

- Scénario A2 - gaz + solaire thermique

GROUPE 7 : Commerces neufs - non raccordés au RCU

Les scénarios sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

| Scénario | Chauffage | Appoint chauffage | Froid | ECS | Appoint ECS | Production sur site |
|---------------------------|---------------|-------------------|-------|-------------------|-------------|---------------------|
| Scénario A - Base - (Gaz) | Gaz | / | / | Ballon électrique | / | / |
| Scénario B - Biomasse | Bois granulés | / | / | Ballon électrique | / | / |
| Scénario D - PAC air/eau | PAC air / eau | / | / | Ballon électrique | / | / |

Synthèse des scénarios retenus - Groupe 7

| Scénario | Energie finale | Energie primaire non renouvelable | Energie primaire | Coût / an | Impact carbone / 50 ans | Coût global / 50 ans | Rang global |
|---------------------------|----------------|-----------------------------------|------------------|-----------|-------------------------|----------------------|-------------|
| Scénario A - Base - (Gaz) | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2,7 |
| Scénario B - Biomasse | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2,2 |
| Scénario C - PAC air/eau | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,2 |

Conclusion - Groupe 7

Pour le groupe 7 - Commerces neufs non raccordés au RCU, le scénario qui ressort comme étant le plus pertinent au global est :

- Scénario C - PAC air/eau

Références bibliographiques

ADEME. « Le Fonds Chaleur en bref ». In : ADEME [En ligne]. 2021.

ADEME. « Energie éolienne ». In : ADEME [En ligne]. 2016. Disponible sur : < <https://www.ademe.fr/energie-eolienne-l> > (consulté le 26 juillet 2018)

ADEME. « Guide pratique - L'énergie éolienne ». 2015. Disponible sur : < <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-energie-eolienne.pdf> > (consulté le 26 juillet 2018)

ADEME. « Enquête sur les prix des combustibles bois pour le chauffage domestique en 2017 ». In : ADEME [En ligne]. 2017. Disponible sur : < <https://www.ademe.fr/enquete-prix-combustibles-bois-chauffage-domestique-2017> > (consulté le 26 juillet 2018)

BRGM. « Espace cartographique | Géothermie Perspectives ». 2021

CEREMA. Coût d'investissement d'un réseau de chaleur : quelques repères - Réseaux de chaleur et territoires [En ligne]. mai 2012. Disponible sur : < <http://reseaux-chaleur.cerema.fr/cout-dinvestissement-dun-reseau-de-chaleur-quelques-reperes> > (consulté le 29 juillet 2018)

CGDD. « Les réseaux de chaleur : quels prix pour le consommateur ? ». septembre 2016. p. 3.

CONNAISSANCE DES ÉNERGIES. « Méthanisation ». In : Connaissance des Énergies [En ligne]. 2015. Disponible sur : < <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/methanisation> > (consulté le 27 juillet 2018)

DATA CENTER MAP. « Data Center Map ». 2021. Disponible sur : < <http://www.datacentermap.com/> >

FRANCE INCINÉRATION. « Carte des unités d'incinération ». 2021. Disponible sur : < <http://france-incineration.fr/-Cartes->

JRC. « PV potential estimation utility ». 2021. Disponible sur : < <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> >

LEGIFRANCE. Arrêté du 10 avril 2017 relatif aux constructions à énergie positive et à haute performance environnementale sous maîtrise d'ouvrage de l'Etat, de ses établissements publics et des collectivités territoriales.

LEGIFRANCE. Code de l'urbanisme - Article L300-1.

MTEs. « Pegase ». 2018a. Disponible sur : < http://developpement-durable.bsocom.fr/statistiques/ReportFolders/ReportFolders.aspx?sRF_ActivePath=P,6831,6833,6927&sRF_Mode=0&sRF_Expanded=,,P,6831,6833,6927,, >

MTEs. « Prix des énergies [Énergies et climat] : Observation et statistiques ». 2018b. Disponible sur : < <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/energie-climat/s/prix-energies.html> >

MTEs. « Les énergies renouvelables en France : les chiffres clés 2018 ». 2018c. Disponible sur : < <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/energies-renouvelables-en-france-chiffres-cles-2018> >

MTEs. « Chiffres clés du climat ». 2017. Disponible sur : < http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Datalab/2017/datalab-27-CC-climat-nov2017-b.pdf >

SDES, Chiffres clés de l'énergie Edition 2021

OBSERVATOIRE DES RÉSEAUX DE CHALEUR. Evolution du bouquet énergétique [En ligne]. 2018. Disponible sur : < <https://www.observatoire-des-reseaux.fr/evolution-du-bouquet-energetique/> >

SINOE. « Cartes et Indicateurs des déchets ». 2018. Disponible sur : < <http://www.sinoe.org/cartesindicateurs/index> >

TEMIS - MEEM. « Plan d'action national en faveur des énergies renouvelables 2009-2020 ». 2010. Disponible sur : < <http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.html?id=Temis-0067836&requestId=0&number=109> >

VIASEVA. Y a-t-il un réseau de chaleur dans ma commune ? | Via Sèva [En ligne]. 2018. Disponible sur : < <http://viaseva.org/y-a-t-il-un-reseau-de-chaleur-dans-ma-commune/> >

SMIREC, réseau de chaleur de la ville de Saint-Denis <<https://www.smirec.fr/>>



Octobre 2022

