avril 2025

TRANS FAIRE

Rapport d'étude

Etude de faisabilité sur le potentiel de développement des énergies renouvelables et de récupération

ZAC La Molette, Le Blanc-Mesnil, Seine-Saint-Denis (93)

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

Introduction p.3
- Fiche synthétique du projet p.4
- Objet de l'étude p.5
- Quelques définitions p.6

Contexte énergétique p.7
- Contexte réglementaire p.8
- Contexte national p.15
- Contexte local p.23

Estimation des besoins énergétiques p.23
- Contexte p.24
- Estimation des besoins du projet p.25

Etat des lieux p.27
- Energies renouvelables locales p.29
- Energies de récupération p.38
- Réseaux d'énergie p.41
- Synthèse des gisements ENR&R et opportunités p.45

Scénarios retenus p.48
- Présentation des scénarios retenus par groupe p.49

Comparaison des scénarios p.51
- Hypothèses p.52
- Consommations en énergie finale et primaire p.53
- Impacts environnementaux p.65
- Coûts annuels p.68
- Approche en coût global p.72

Conclusion p.82

Références bibliographiques p.87

Introduction

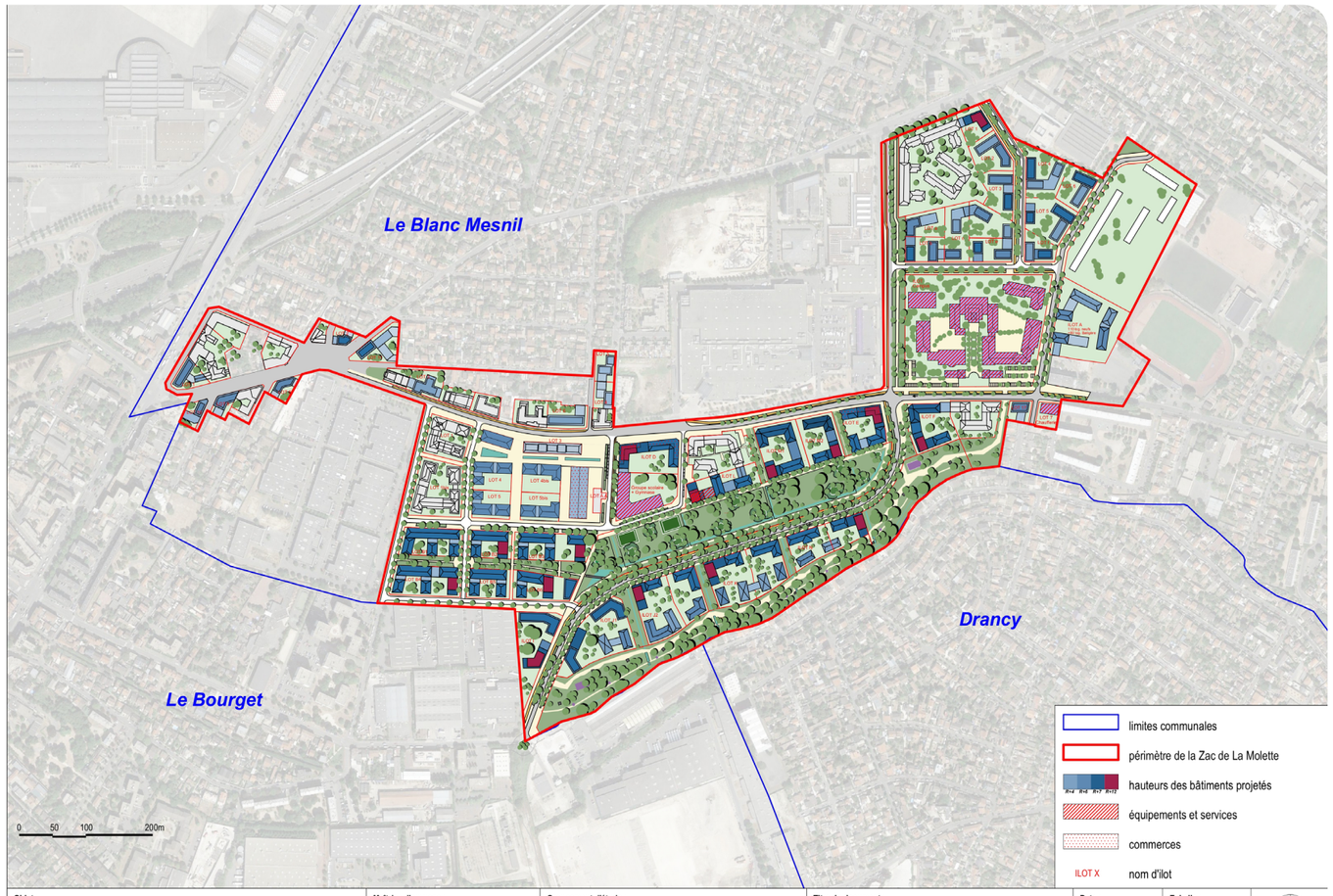
Principales caractéristiques du projet

Objectifs du projet urbain

Le projet s'inscrit dans le contexte global initié par la Ville du Blanc-Mesnil qui souhaite limiter la présence d'investisseurs au bénéfice de propriétaires occupants.

L'ambition sur ce secteur, au-delà du périmètre de la ZAC, est donc d'engager la mutation de cette zone à vocation principalement économique vers un nouveau quartier mixte développant des densités et
fonctions adaptées à son environnement pour créer des transitions soignées avec les tissus pavillonnaires et d'activités économiques périphériques.

Le projet de requalification du quartier de la Molette doit répondre à un triple objectif :
- Un projet phare du renouvellement de l'image globale de la commune
- L'implantation d'équipements urbains de premier plan
- Une nouvelle centralité pour la Ville du Blanc Mesnil



Plan masse du projet (source MBE Atelier, 2025)

Programmation

Le projet se traduit par la programmation suivante :

- 5 761 nouveaux logements.
- Un groupe scolaire de 22 classes (maternelle et élémentaire) et un gymnase.
- Un campus international trilingue privé.
- 2425 m² de commerces et 1 241 m² d'activités.
- Un parc de 7,3 hectares scindé en deux parties.

Intentions urbaines et architcturales

Un projet de renouvellement urbain de qualité.
Cette opération s'inscrit dans un projet territorial global de développement urbain équilibré et cohérent.

Des logements de qualité sont programmés avec :
- Un maximum de 6 logements par palier.
- Des logements dotés de surfaces généreuses avec des surfaces minimum.
- Des logements multi-orientés.
- Des prolongements extérieurs pour tous les logements.

Les espaces privés collectifs comprennent :
- Des halls traversants et décorés.
- Des locaux vélos facilement accessibles et éclairés naturellement.
- Des paliers éclairés naturellement.

Chaque programme est rattaché à un projet paysager de qualité et des surfaces de pleine terre.

Sur les espaces publics, les principales intentions sont :
- La composition d'une ambiance participant à la qualité résidentielle du quartier, à son identité.
- L'aménagement d'un parc paysager scindé en deux grands jardins séparés par une rue large généreusement végétalisée participant à l'ambiance verdoyante et à l'affirmation d'un esprit du quartier-jardin. Ces jardins proposeront des espaces de promenade et de repos ainsi que des équipements récréatifs.
- La création d'un maillage de rues plantées, faisant transition entre le parc et les cœurs d'îlots végétalisés.
- L'intégration de cheminements généreux, notamment pour les piétons et les cyclistes.

Objet de l'étude

Procédure concernée

Le projet est une Zone d'Aménagement Concerté (ZAC) créée par acte le 20 novembre 2003 et déclaré d'utilité publique par arrêté préfectoral le 14 avril 2008.

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 les futurs bâtiments du quartier de la Molette, qui constituent l'enjeu énergétique majeur à l'échelle de l'aménagement.

Les typologie couvertes par cette étude sont les suivantes :

- Les logements neufs
- Les logements réhabilités du secteur Batigère
- Le campus trilingue
- Les commerces, services et la crèche

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.

Quelques définitions

« 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]

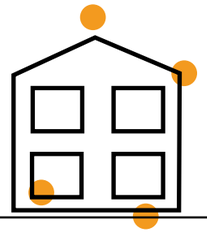
1 Chiffres clés des énergies renouvelables - Édition 2018, CGDD, MTES

Contexte énergétique

Contexte règlementaire

EN BREF

- 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 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.
- Les politiques locales qui s'appliquent au territoire sont le Plan climat énergie européen, le Plan climat du Gouvernement, le SDRIF-E, le PPA et le SR3EnR d'Île-de-France, le PLU du Blanc Mesnil et le PCAET de l'EPT Terres d'envol .



LTECV

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)

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

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

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

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

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

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

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

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

1 MEEM, 2017
2 MEEM, 2017

Réglementation evironnementale 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.

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 (équivalant 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 construciton et de la phase chantier
- Seuils carbones 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 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

La dernière mouture du Plan climat du Gouvernement a été présenté en décembre 2023. Il décline les axes suivants :

- Etablir les budgets carbone pour 2024-2028
- Améliorer l'efficacité énergétique
- En finir avec les énergies fossiles et s'engager dans la neutralité carbone (horizon 2050).
- Investir dans les énergies et les modes de transports durables
- Réduire les émissions des secteurs clés

Schéma Directeur de la Région Ile-de-Fance Environnemental (SDRIF-E)

Le SDRIF-E est la dernière version du Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) d'Île-de-France. Arrêté en juillet 2023, il sera adopté vers l'été 2024

Le principaux objectifs du SDRI-E sont les suivants :

- Viser le Zero Artificialisation Nette et le Zero émissions Nette en réduisant de 20% par décennie l'artificialisation de terres.
- Protéger l'environnement et les espaces verts en sanctuarisant 13% du territoire francilien.
- Développer les transports et la mobilité en développant les projets de transports en commun et en construisant les pistes cyclables.
- Favoriser le développement des énergies renouvelables en allouant des espaces pour les activités économiques et industrielles et en visant 100% d'énergie décarbonée d'ici 2050.

Plan de protection de l'atmosphère (PPA) IdF

Le dernier Plan de protection de l'atmosphère (PPA) d'Île-de-France a été approuvé en janvier 2024 par arrêté inter-préfectoral. Celui-ci est une révision du plan de 2018 et cherche à renforcer les mesures mises en place précédemment pour corriger la trajectoire actuelle.

Son objectif est de ramener la concentration en polluants dans l'atmosphère de la région Île-de-France à un niveau conforme aux critères de qualité de l'air, pendant la période 2025-2030. Il s'organise selon les mesures suivantes :

- Favoriser les mobilités actives et partagées
- Accompagner la Métropole du Grand Paris pour la mise en place de sa ZFE et accompagner la transition du parc routier
- Favoriser la logistique à faibles émissions
- Contrôler les émissions des véhicules routiers
- Réduire les pollutions liées aux plateformes aéroportuaires
- Réguler le trafic sur les grands axes routiers en zones denses
- Renforcer les contrôles et les normes industrielles
- Réduire les émissions des chantiers
- Réduire l'exposition des populations par un urbanisme adapté
- Privilégier les solutions de chauffages bas carbone non émettrices de polluants de l'air
- Encourager la réduction de l'usage de feux d'agrément

S3REnR IdF

Le S3REnR d'Île-de-France a été approuvé par arrêté préfectoral en mars 2015, la version 2024 est disponible pour consultation.

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 actuel 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 lesobjectifs 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.

PCAET de l'Etablissement Public Territorial Terres d'envol

Le Blanc Mesnil est concerné par le Plan Climat Energie Territorial de l'EPT Paris Terres d'envol. Ce document fixe les objectifs et le programme, à l'horizon 2050, pour atténuer le changement climatique sur le territoire. Les axes prioritaires sont les suivants :

- Développer les transports sobres en énergie et faiblements émetteur de gaz à effet de serre.
- Améliorer l'efficacité énergétique dans le bati existant, promouvoir la construciton durable et développer les énergies renouvelables et de récupération locales
- Encourager une consommation alimentaire responsable et la réduction des déchets
- Préserver les fonctions de captation du carbone et s'adapter aux risques naturels

SCoT
Schéma de cohérence territoriale de la Métropole du Grand Paris

Le schéma de cohérence territoriale est un document de planification approuvé le 13 juillet 2023 pour organiser le développement de la Métropole du Grand Paris. Le DOO comporte les mesures prioritaires suivantes :

- Conforter une Métropole polycentrique, économe en espaces et équilibrée dans la répartition de ses fonctions (espaces verts, équipements, logements, emploi, commerces, services de proximité)
- Embellir la Métropole et révéler les paysages, renforcer la présence de la nature et de l'agriculture en ville, renforcer le développement de la biodiversité en restaurant notamment des continuités écologiques telles que les trames vertes et bleues, tout en offrant des îlots de fraicheur et la rétention de l'eau à la parcelle
- Permettre aux quartiers en difficulté de retrouver une dynamique positive de développement
- S'appuyer sur les nouvelles technologies et les filières d'avenir pour accélérer le développement économique, la création d'emplois et la transition écologique
- Mettre en valeur la singularité culturelle et patrimoniale de la Métropole du Grand Paris au service de ses habitants et de son rayonnement dans le monde
- Offrir un parcours résidentiel à tous les Métropolitains
- Agir pour la qualité de l'air, transformer les modes de déplacement et rendre l'espace public paisible
- Renforcer l'accessibilité de tous à tous les lieux en transports en commun et tisser des liens entre territoires
- Confirmer la place de la Métropole comme une première créatrice de richesse en France en confortant les fonctions productives et la diversité économique
- Engager le territoire métropolitain dans une stratégie ambitieuse d'économie circulaire et de réduction des déchets
- Organiser la transition énergétique
- Maîtriser les risques et lutter contre les dégradation environnementales, notamment par l'arrêt de la consommation et la reconquête des espaces naturels, boisés et agricoles.

Expérimentations et labels

Label BBCA, BEPOS, et Effinergie 2020

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

- Label BBCA (Bâtiment Bas Carbone)
- Label Effinergie 2020.
- Label BEPOS+ Effinergie 2020.

Ces labels se reposent sur la technique de «l'analyse du cycle de vie» , démocratisée avec la mise en place de la RE2020.

L'obtention du label Effinergie implique le respect d'exigences pour les bâtiments neufs telles que :

- La sobriété et l'efficacité énergétique (Bbi et Cep plus faibles respectivement de 15% et 10% par rapport à la réglementation...).
- Des émissions carbone qui anticipent les futurs seuils de la réglementation.
- L'appropriation du bien et la sensibilisation des futurs occupants aux enjeux de la transition énergétique

L'option BEPOS du label valorise les bâtiments dont la production d'énergie compense la demande des occupants. Ceux-ci obtiennent l'appellation de «Bâtiment à Energie Positive».

Plan local d'urbanisme (PLU) du Blanc Mesnil

Le PLU en vigueur actuellement a été approuvé le 21 mars 2016.

La réglementation du PLU doit notamment rendre possibles les innovations techniques dans le domaine des économies d'énergie et peut recommander l'utilisation des énergies renouvelables pour l'approvisionnement énergétique des constructions neuves en vertu de l'article L.123-1 14° du code de l'urbanisme.

Conformément à l'article L L.123-1 14° du code de l'urbanisme, la réglementation du PLU doit permettre les innovations techniques à même de permettre des économies d'énergie et doit favoriser l'usage des énergies renouvelables pour l'approvisionnement des constructions nouvelles.

En matière de maîtrise de l'énergie et des ressources, le PLU a entre autre pour objectif de promouvoir les pratiques de développement durable, par le biais de l'intégration dans les opérations de construction ds exigences environnementales et des performances énergétiques, notamment avec le recours aux énergies renouvelables (en particulier les panneaux solaires et la géothermie).

Contexte national

EN BREF

- La production d'énergie primaire en France en 2023 a été de 1 420 TWh, dont environ 72% de nucléaire.
- La consommation primaire a été de 2 523 TWh en 2023 (corrigé des variations climatiques).
- Le bouquet énergétique primaire réel de la France se compose de 39 % de nucléaire, 30 % de pétrole, 13 % de gaz naturel, 16 % d'énergies renouvelables et déchets (dont 1 % de déchets non renouvelables), 2 % de charbon, 5 % de biomasse. La consommation énergétique du secteur résidentiel, à climat constant, s'établit à 460 TWh en 2023 (données corrigées du climat). L'électricité constitue 34 % du total, devant le gaz (25 %), les énergies renouvelables (28 %) et les produits pétroliers (8 %)
- En 2023, la production primaire d'énergies renouvelables s'élève à 350 TWh, soit en augmentation par rapport aux années précédentes.
- Les principales filières sont la biomasse (33 %), l'hydraulique renouvelable (15 %), l'éolien (14 %), les pompes à chaleur (14 %), et le solaire photovoltaïque (6 %).
- En 2022, les réseaux de chaleur ont livré aux consommateurs près de 26 TWh de chaleur. La quantité de chaleur livrée augmente de 12 % par rapport à 2021. Le bouquet énergétique des réseaux demeure dominé par le gaz naturel (30 %). Les énergies renouvelables (biomasse, chaleurs externes, biogaz hors biométhane et, par convention, la moitié des déchets urbains) constituent la première forme d'énergie utilisée dans les réseaux (49 %). La chaleur issue de la valorisation des déchets ménagers renouvelables et non renouvelables constituent28 % de la consommation des réseaux) et les biocarburants en représentent 25 %).

ENSEMBLE DES ÉNERGIES - BILAN ÉNERGÉTIQUE DE LA FRANCE

En TWh, en 2023
(données non corrigées des variations climatiques)

Le diagramme de Sankey, représenté 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.

[1] Y compris énergies marines, hors accumulation par pompage.

[2] Énergies renouvelables thermiques.

[3] 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 un tiers de l'énergie est convertie en énergie électrique, les deux tiers restants étant dissipés dans l'environnement.

[4] La chaleur retracée ici est la chaleur vendue (par les réseaux de chaleur ou cogénérée).

Champ : France.

***Source :** SDES, Bilan énergétique de la France*

Production et consommation énergétiques

BILAN ÉNERGÉTIQUE DE LA FRANCE[1]

Le graphique permet de visualiser les transformations énergie primaire vers énergie finale pour les consommations de la France en 2023.

ENSEMBLE DES ÉNERGIES - BILAN ÉNERGÉTIQUE DE LA FRANCE

En TWh, en 2023
(données non corrigées des variations climatiques)

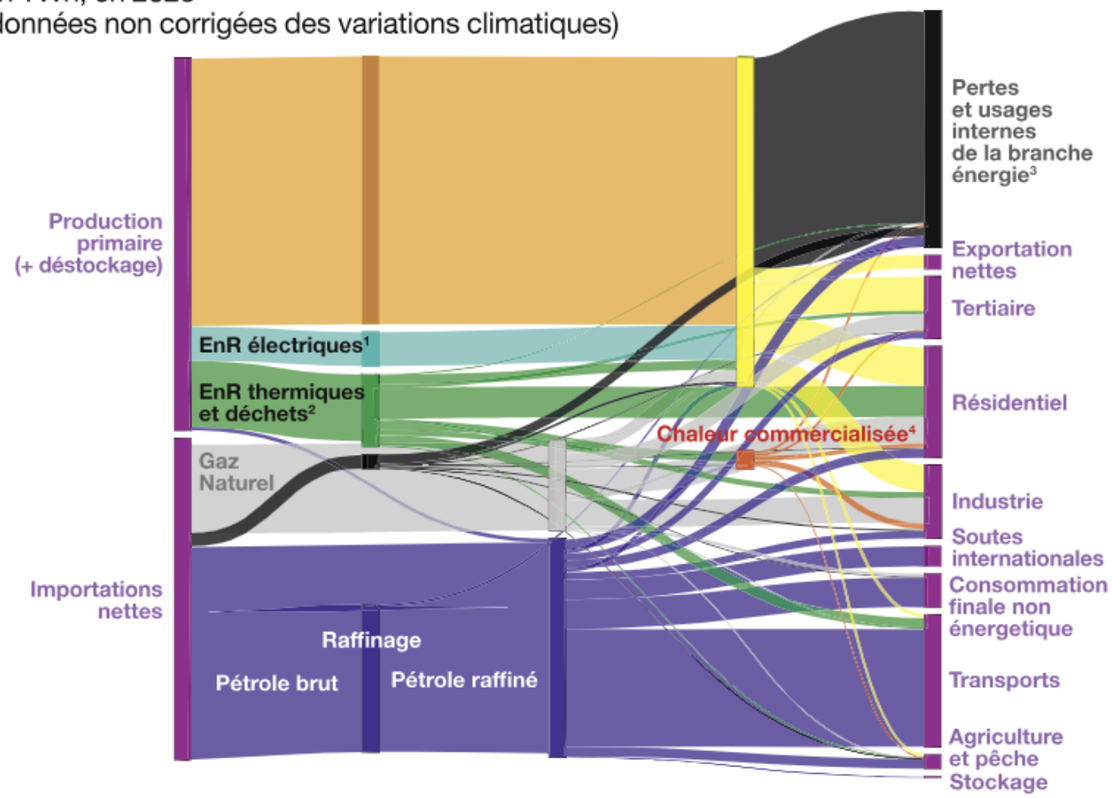


Diagramme de Sankey de la France en 2023 (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Édition 2024)

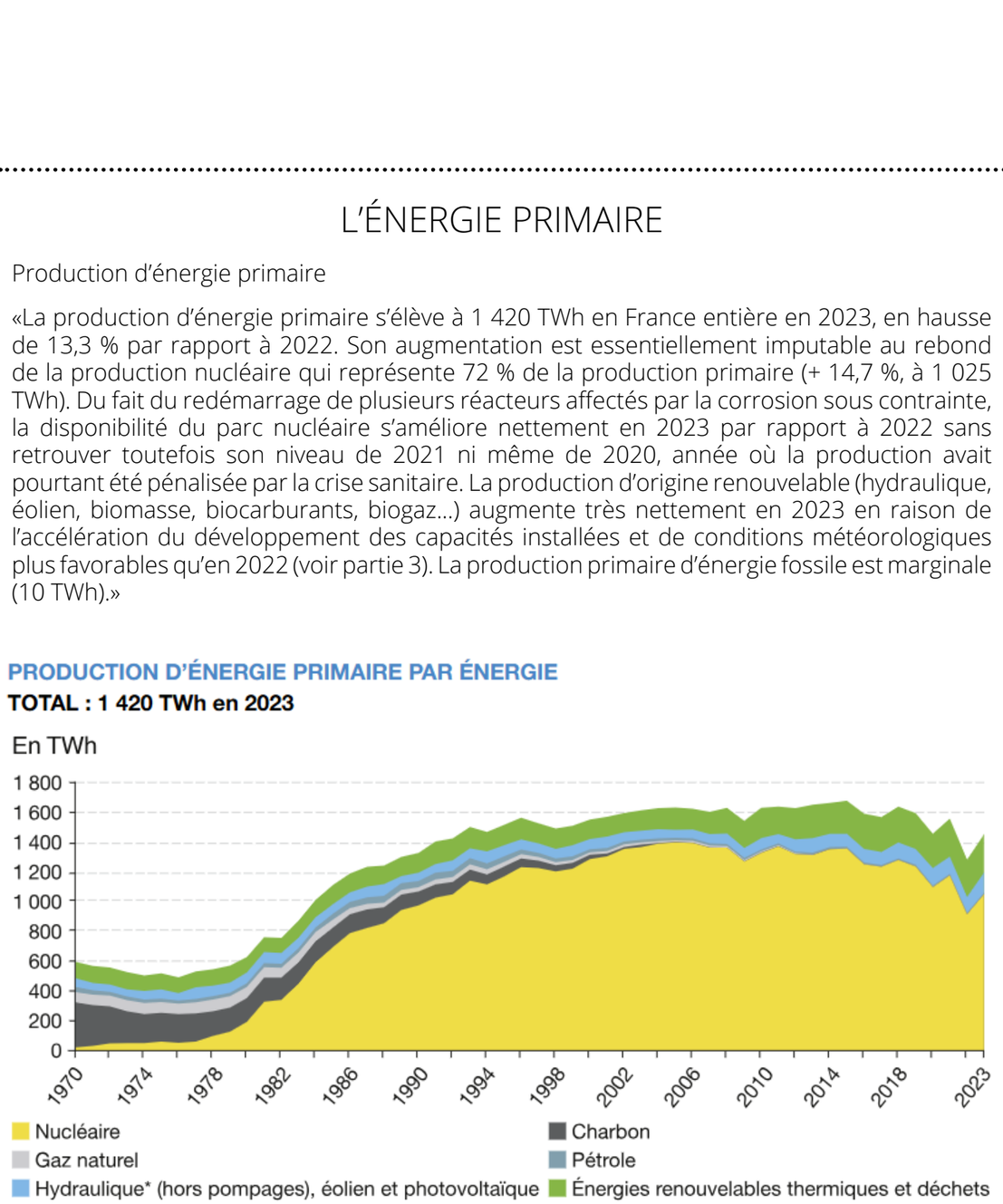
L'ÉNERGIE PRIMAIRE

Production d'énergie primaire

«La production d'énergie primaire s'élève à 1 420 TWh en France entière en 2023, en hausse de 13,3 % par rapport à 2022. Son augmentation est essentiellement imputable au rebond de la production nucléaire qui représente 72 % de la production primaire (+ 14,7 %, à 1 025 TWh). Du fait du redémarrage de plusieurs réacteurs affectés par la corrosion sous contrainte, la disponibilité du parc nucléaire s'améliore nettement en 2023 par rapport à 2022 sans retrouver toutefois son niveau de 2021 ni même de 2020, année où la production avait pourtant été pénalisée par la crise sanitaire. La production d'origine renouvelable (hydraulique, éolien, biomasse, biocarburants, biogaz…) augmente très nettement en 2023 en raison de l'accélération du développement des capacités installées et de conditions météorologiques plus favorables qu'en 2022 (voir partie 3). La production primaire d'énergie fossile est marginale (10 TWh).»

PRODUCTION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE

TOTAL : 1 420 TWh en 2023



Production primaire d'énergie en 2023 (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Édition 2024)

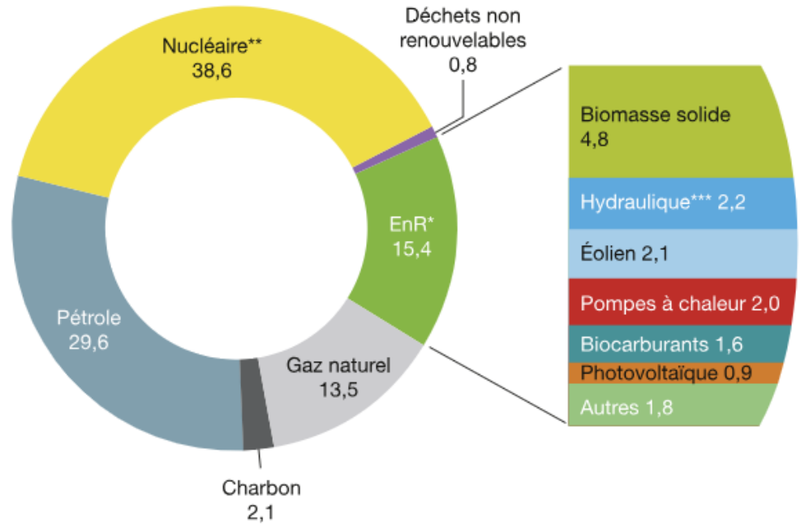
Consommation d'énergie primaire

«La consommation d'énergie primaire de la France correspond à la demande intérieure d'énergie avant transformation et usages internes de la branche énergie. Elle s'établit à 2 523 TWh en 2023 (en données réelles non corrigées des variations climatiques). Le bouquet énergétique primaire réel de la France se compose de 39 % de nucléaire, 30 % de pétrole, 13 % de gaz naturel, 16 % d'énergies renouvelables et déchets (dont 1 % de déchets non renouvelables) et 2 % de charbon. Le bois-énergie, qui représente la quasi-totalité de la biomasse solide (5 % de la consommation primaire), demeure la première source d'énergie renouvelable consommée en France, loin devant l'électricité d'origine hydraulique. Il est quasi exclusivement dédié au chauffage.

RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE

TOTAL : 2 523 TWh en 2023 (donnée non corrigée des variations climatiques)

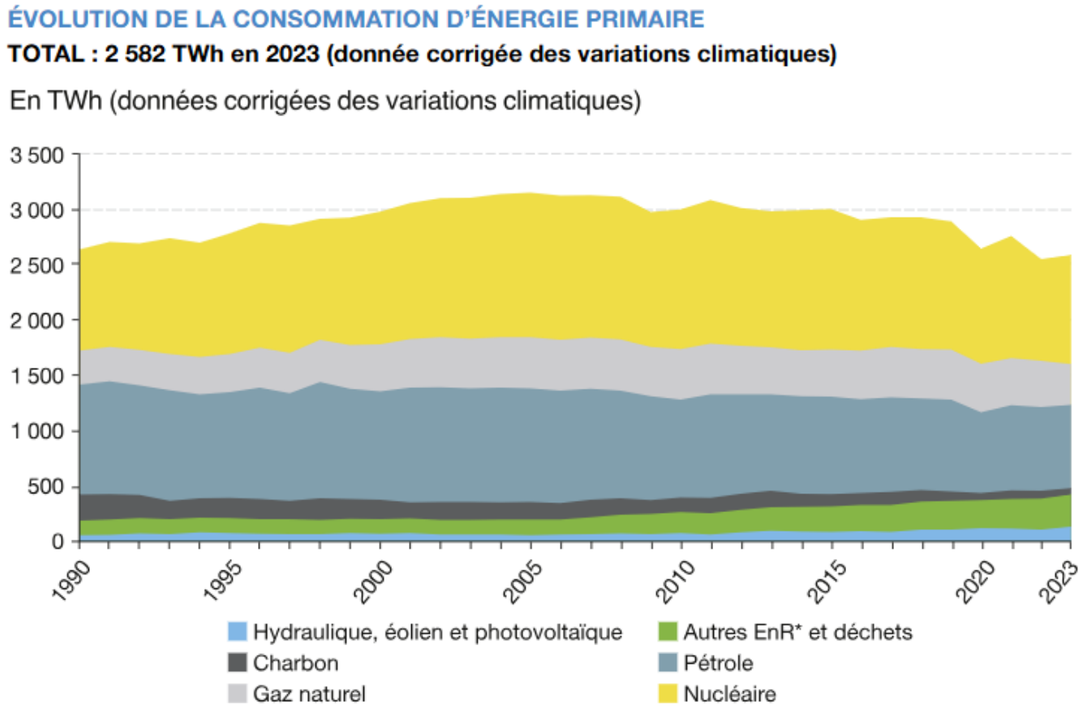
En % (données non corrigées des variations climatiques)



** 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.*
Note : la production nucléaire correspond à la chaleur dégagée par la réaction nucléaire évaluée par convention à environ le triple de la production d'électricité obtenue au final.
Champ : France.
***Source :** SDES, Bilan énergétique de la France*

Consommation d'énergie primaire par énergie en 2023 (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Édition 2024)

Évolution de la consommation primaire en France



** 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*

Évolution de la production primaire (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Édition 2024)

Après avoir régulièrement augmenté jusqu'en 2005, la consommation d'énergie primaire, corrigée des variations climatiques, se replie légèrement depuis. L'évolution de long terme est différenciée selon les énergies : depuis 1990, les consommations de charbon et de pétrole ont reculé respectivement de 77 % et 24 %. À l'inverse, la consommation de gaz naturel a augmenté de 19 % tandis que celle d'énergies renouvelables a plus que doublé.

En 2023, la consommation primaire augmente légèrement (+ 1,5 %) en raison de la hausse de la production nucléaire.»

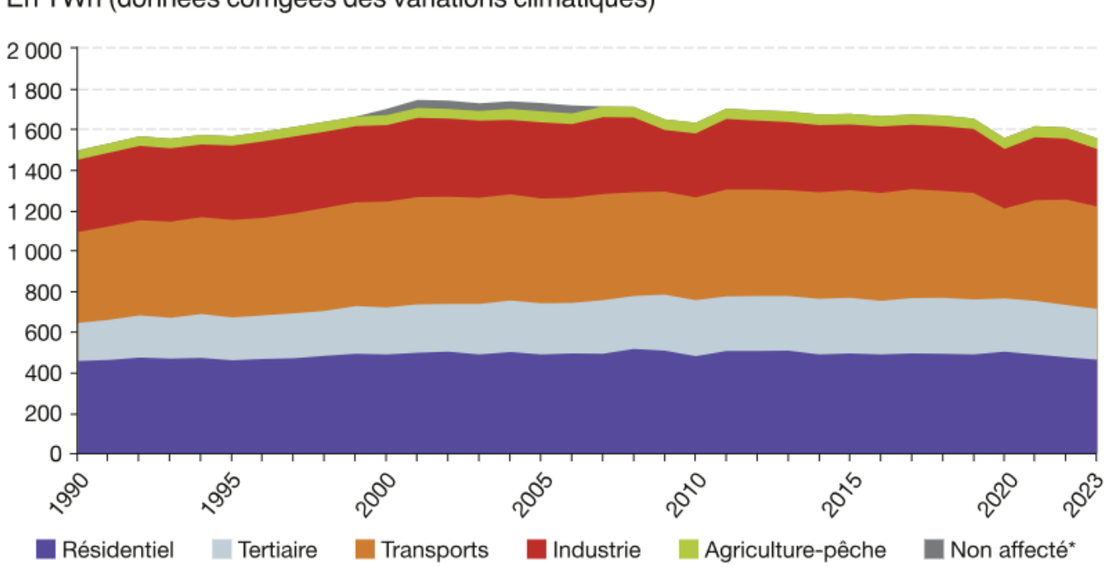
L'ÉNERGIE FINALE

Consommation d'énergie finale par secteur

«En 2023, la consommation finale à usage énergétique s'élève à 1 496 TWh. À climat corrigé, cette consommation est de 1 549 TWh, en baisse par rapport à 2022 (- 3,2 %). Cette baisse concerne tous les secteurs : industrie (- 5,2 %), agriculture et pêche (- 3,5 %), tertiaire (- 2,9 %), transport (- 2,9 %) et résidentiel (- 2,5 %).

CONSOMMATION FINALE ÉNERGÉTIQUE PAR SECTEUR

TOTAL : 1 549 TWh en 2023 (donnée corrigée 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*

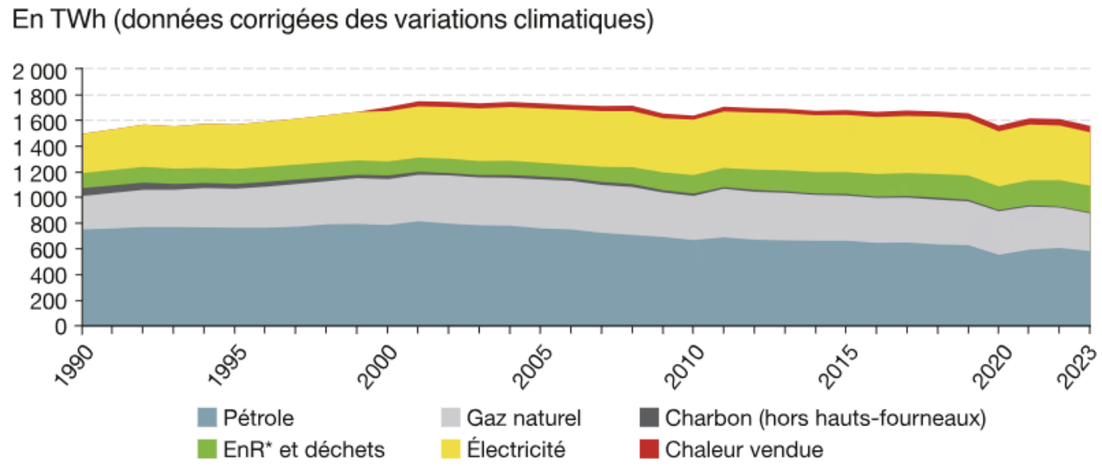
Consommation d'énergie finale par secteur en France en 2023
(source SDES, Chiffres clés de l'énergie Édition 2024)

Après une croissance quasi continue entre 1990 et 2001, la consommation finale énergétique s'est ensuite infléchie (- 0,7 % en moyenne annuelle entre 2011 et 2022, à climat corrigé). De 1990 à 2023, la part du tertiaire dans la consommation a progressé de 13 % à 16 % alors que celle de l'industrie a diminué de 24 % à 18 %. La part des transports a légèrement augmenté (de 30 à 33 %) et celles du résidentiel (30 %) et de l'agriculture (3 %) sont restées stables..»[1]

1 Chiffres clés de l'énergie Édition 2024

CONSOMMATION FINALE À USAGE ÉNERGÉTIQUE PAR ÉNERGIE

TOTAL : 1 549 TWh en 2023 (donnée corrigée des variations climatiques)



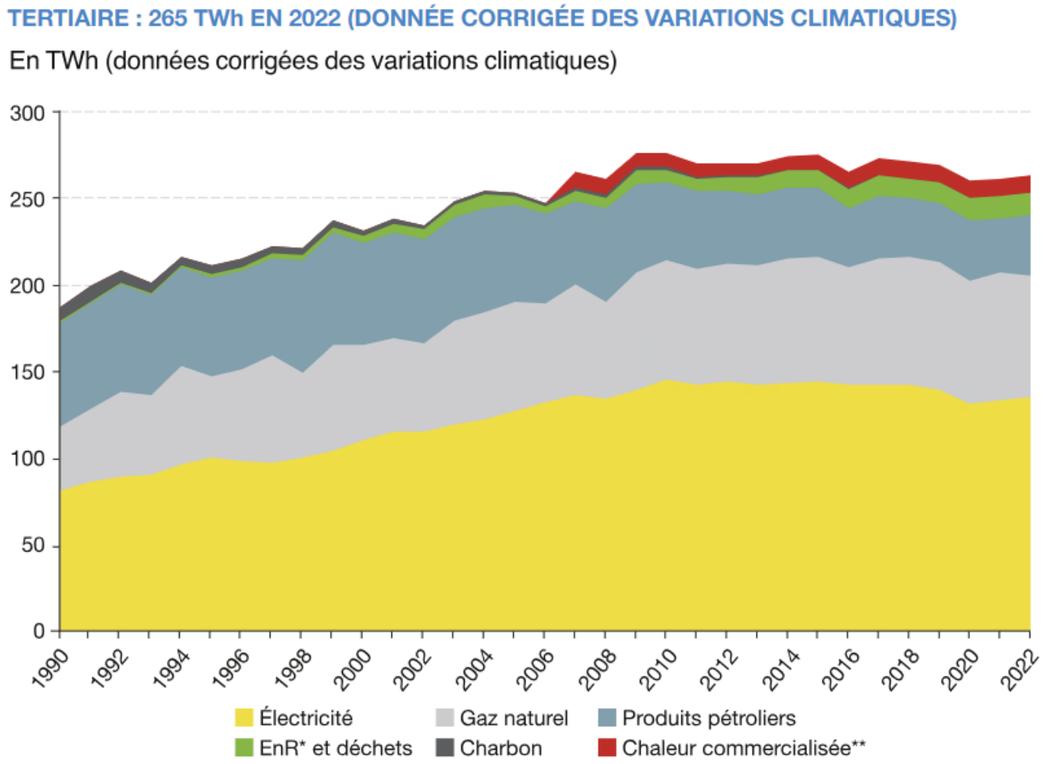
** EnR = énergies renouvelables.*
Champ : jusqu'à l'année 2010 incluse, le périmètre géographique est la France métropolitaine. À partir de 2011, il inclut en outre les cinq DROM.
***Source :** SDES, Bilan énergétique de la France*

Après une période de croissance entre 1990 et 2001, la consommation finale diminue par la suite. La part du pétrole dans la consommation diminue de 50 % en 1990 à 38 % en 2023 alors que celle des énergies renouvelables augmente de 8 % à 13 % et celle de l'électricité de 20 % à 27 %. Entre 2012 et 2023, la consommation finale d'énergie s'infléchit de 0,8 % par an, liée à la diminution de la consommation des énergies fossiles (- 1,2 %) et de l'électricité (- 0,6 %). À l'inverse, les consommations finales d'énergies renouvelables et de chaleur commercialisée progressent 2,7 % par an.»[1]

Evolution de la consommation d'énergie finale en France en 2023
(source SDES, Chiffres clés de l'énergie Édition 2024)

1 Chiffres clés de l'énergie Édition 2024

Consommation d’énergie finale pour le secteur tertiaire



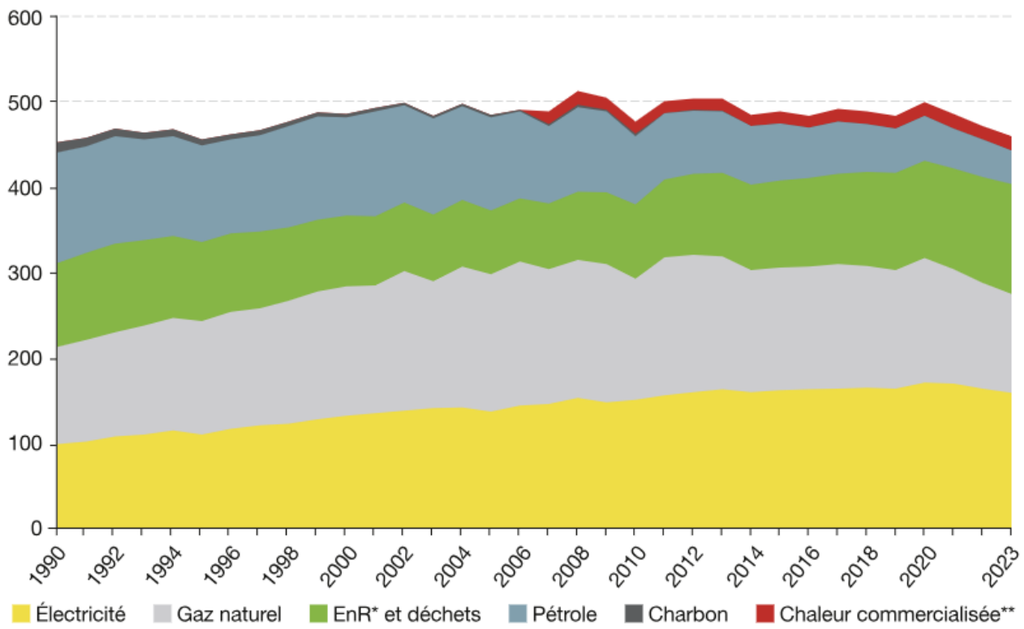
** EnR = énergies renouvelables*
*** Données disponibles à partir de 2007 uniquement.*
Champ : jusqu'à l'année 2010 incluse, le périmètre géographique est la France métropolitaine.
À partir de 2011, il inclut en outre les cinq DROM.
***Source :** SDES, Bilan énergétique de la France*

Consommation d'énergie finale pour le secteur tertiaire en France
(source SDES, Chiffres clés de l'énergie Édition 2024

«La consommation énergétique du secteur tertiaire, corrigée des variations climatiques, s’établit à 249 TWh en 2023 (237 TWh en données non corrigées du climat). Elle diminue de 3 % entre 2022 et 2023. Après une phase de croissance entre 1990 et 2009, elle varie peu depuis 2010 (- 0,8 % entre 2010 et 2022). L’électricité représente un peu plus de la moitié du bouquet énergétique (53 %). Elle est suivie par le gaz naturel (27 %), dont la consommation a baissé de 3 % en 2022. Viennent ensuite les produits pétroliers (10 %), les énergies renouvelables et déchets (6 %) et la chaleur distribuée par réseau (4 %).»[1]

1 Chiffres clés de l’énergie Édition 2024

Consommation d’énergie finale pour le secteur résidentiel



** EnR = énergies renouvelables non électriques (bois principalement, solaire thermique...).*
*** Données disponibles à partir de 2007 uniquement.*
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 Édition 2024

«En 2023, la consommation énergétique du secteur résidentiel poursuit sa diminution, à climat constant, et s’établit à 460 TWh. Cette baisse de 2,5 % est portée par le gaz naturel (- 6,4 %) et l’électricité (- 2,8 %). L’électricité demeure l’énergie la plus consommée dans les logements, avec 34 % du total, devant le gaz (25 %), les énergies renouvelables (28 %) et les produits pétroliers (8 %). Depuis 2011, les parts du gaz et du pétrole diminuent au profit des énergies renouvelables, principalement le bois, et de l’électricité.»[1]

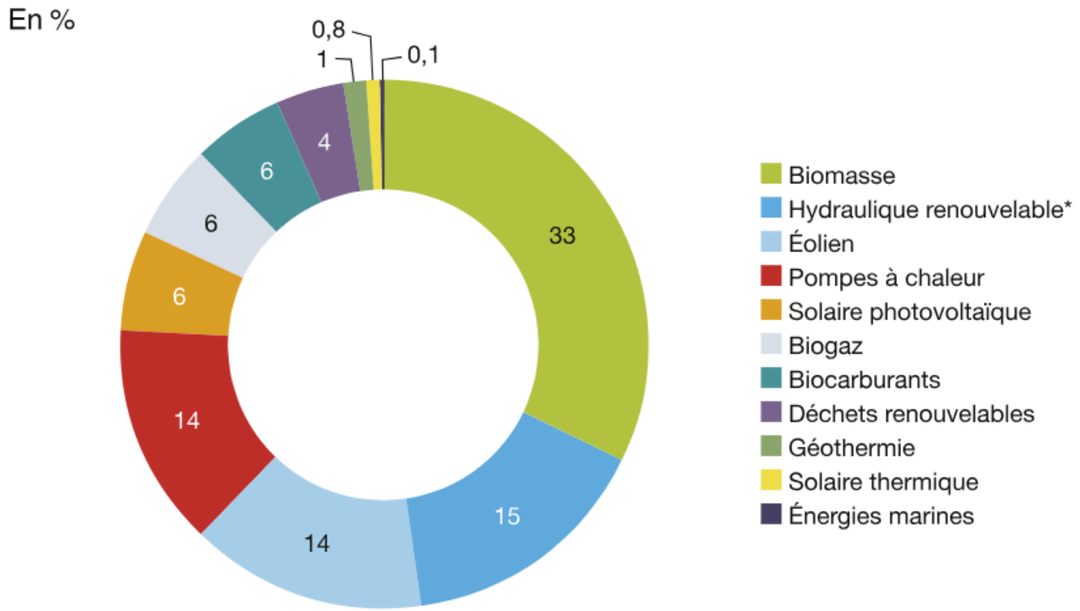
1 Chiffres clés de l’énergie Édition 2024

Energies renouvelables et de récupération

PRODUCTION PRIMAIRE D'ENR

Production primaire d'énergies renouvelables par filière en 2024

«En 2023, la production primaire d'énergies renouvelables s'élève à 365 TWh, soit 26 % de la production primaire d'énergie en France. Les principales filières sont la biomasse (33 %), l'hydraulique renouvelable (15 %), l'éolien (14 %), les pompes à chaleur (14 %), et le solaire photovoltaïque (6 %).»[1]



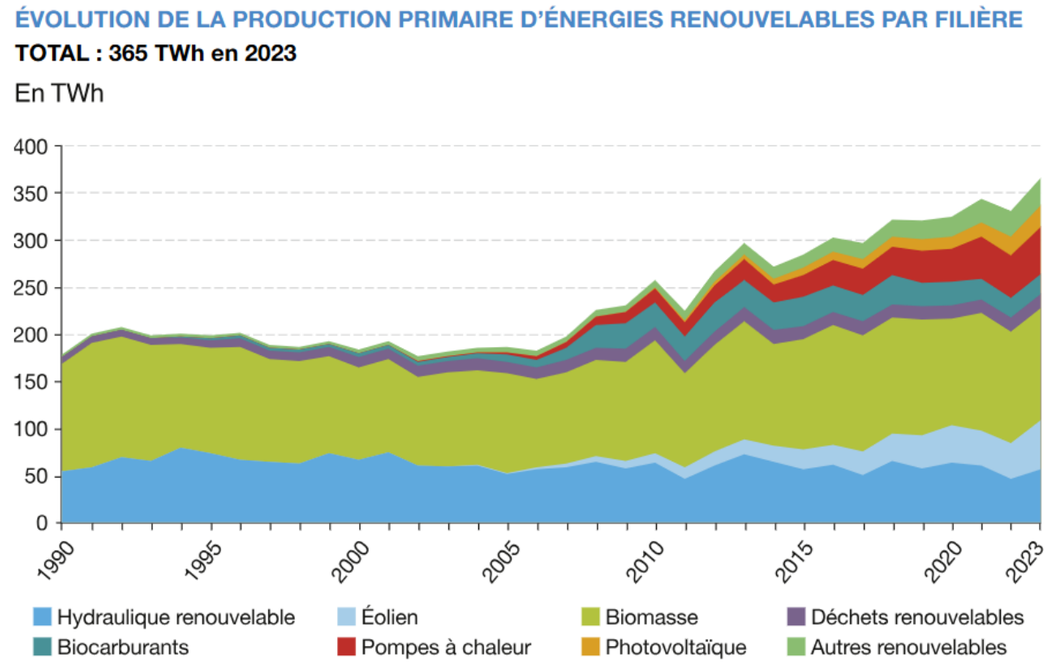
** Hydraulique hors pompages.*
Champ : France.
***Source :** SDES, Bilan énergétique de la France*

Production primaire d'énergies renouvelables par filière en France en 2023 (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Édition 2024)

1 Chiffres clés de l'énergie Édition 2024

Evolution de la production primaire d'énergies renouvelables par filière

Stable jusqu'au milieu des années 2000, la production primaire d'énergies renouvelables a quasiment doublé depuis 2005. Cette croissance résulte principalement du fort développement de l'éolien, du photovoltaïque, des pompes à chaleur et du biogaz : ces quatre filières, qui ne représentaient que 3 % de la production primaire d'énergies renouvelables en France en 2005, en représentent 40 % en 2023.



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*

Évolution de la production primaire d'énergies renouvelables par filière en France en 2023 (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Édition 2024)

Entre 2022 et 2023, la production primaire d'énergies renouvelables augmente de 350 TWh (soit + 11 %). Cette hausse est portée par les énergies renouvelables électriques, notamment éolienne (+ 38 %), hydraulique hors pompage (+ 24 %) et photovoltaïque (+ 16 %), du fait de conditions de vent, de pluviométrie et d'ensoleillement favorables, ainsi que du développement du parc éolien et solaire.

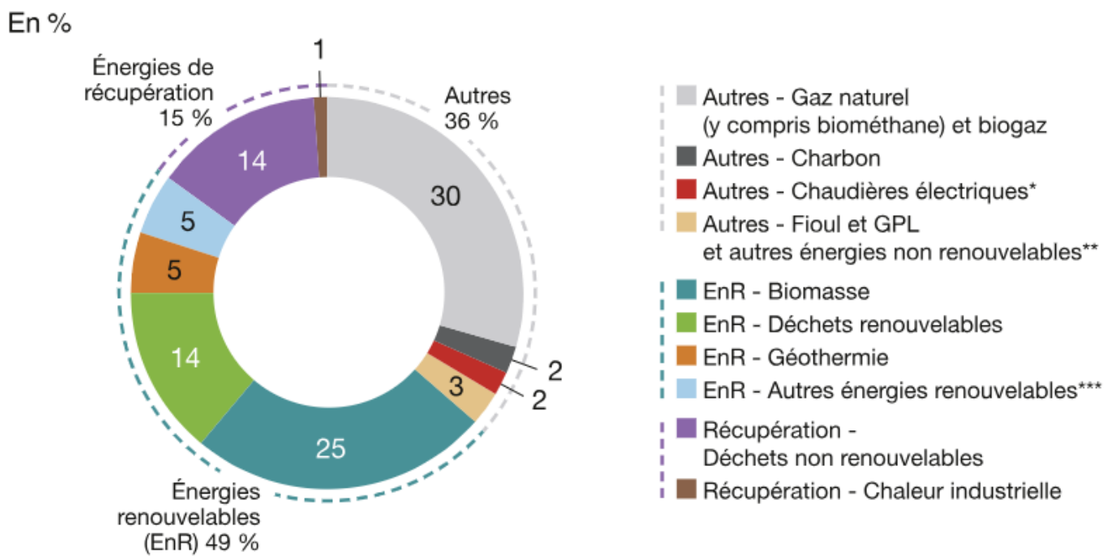
LES RESEAUX DE CHALEUR

Bouquet énergétique des réseaux de chaleur en 2022

«En 2022, les réseaux ont livré aux consommateurs près de 26 TWh de chaleur et ont consommé environ 35 TWh d'énergie. La quantité livrée baisse de 12 % par rapport à 2021 en raison des températures plus élevées de 2022 (+ 2 °C en moyenne sur l'automne 2022 par rapport à 2021 et une fin d'hiver plus douce). À cette fin, ils ont consommé environ 35 TWh d'énergie. Les énergies renouvelables (biomasse, chaleurs externes, biogaz hors biométhane et, par convention, la moitié des déchets urbains) constituent ensemble la moitié de l'énergie utilisée dans les réseaux (49 %). Cependant pris individuellement le gaz naturel (qui inclut aussi le biogaz) domine le bouquet énergétique des réseaux : il représente 30 % de la consommation des réseaux, suivi de la chaleur issue de la valorisation des déchets ménagers renouvelables et non renouvelables (28 % de la consommation des réseaux) et des biocarburants (25 %).»[1]

RÉPARTITION PAR SOURCE D'ÉNERGIE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DES RÉSEAUX DE CHALEUR

TOTAL : 35 TWh d'énergie consommée pour produire de la chaleur en 2022



** Chaudières électriques : dont consommation annexe d'électricité.*
*** Fioul, GPL (gaz de pétrole liquéfié) et autres énergies non renouvelables : dont cogénération, autre consommation d'électricité, chaleur ambiante...*
**** Autres énergies renouvelables : dont cogénération renouvelable, chaleur ambiante renouvelable, biogaz et solaire thermique.*
Source : *SDES, enquête annuelle sur les réseaux de chaleur et de froid*

Bouquet énergétique des réseaux de chaleur en France en 2022 (source SDES, Chiffres clés de l'énergie Édition 2024)

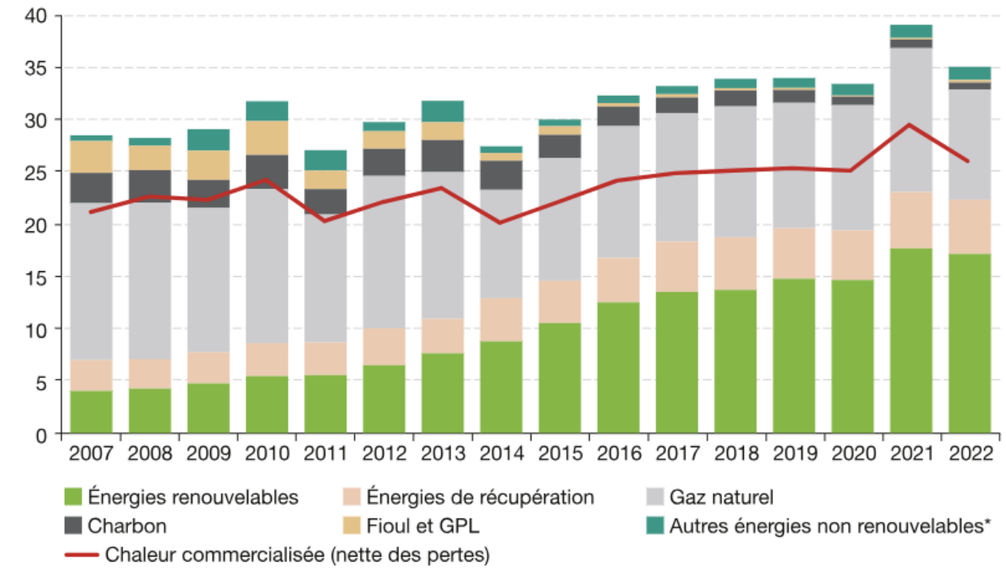
1 Chiffres clés de l'énergie Édition 2024

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

«Depuis 2016, les énergies renouvelables devancent le gaz naturel dans le bouquet énergétique des réseaux. Elles représentent, en 2022, 49 % de la consommation totale des réseaux (30 % pour le gaz naturel). Depuis 2012 la part des énergies renouvelables a plus que doublé passant de 22 % à 49 % en 2022. À l'inverse, le fioul, le GPL et le charbon, autrefois prépondérants, poursuivent leur déclin et ne représentent plus que 3 % du bouquet énergétique des réseaux (contre 21 % en 2007 et 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)



** Autres énergies non renouvelables : dont cogénération, autre consommation d'électricité, chaleur ambiante...*
GPL : gaz de pétrole liquéfié.
Source : *SDES, enquête annuelle sur les réseaux de chaleur et de froid*

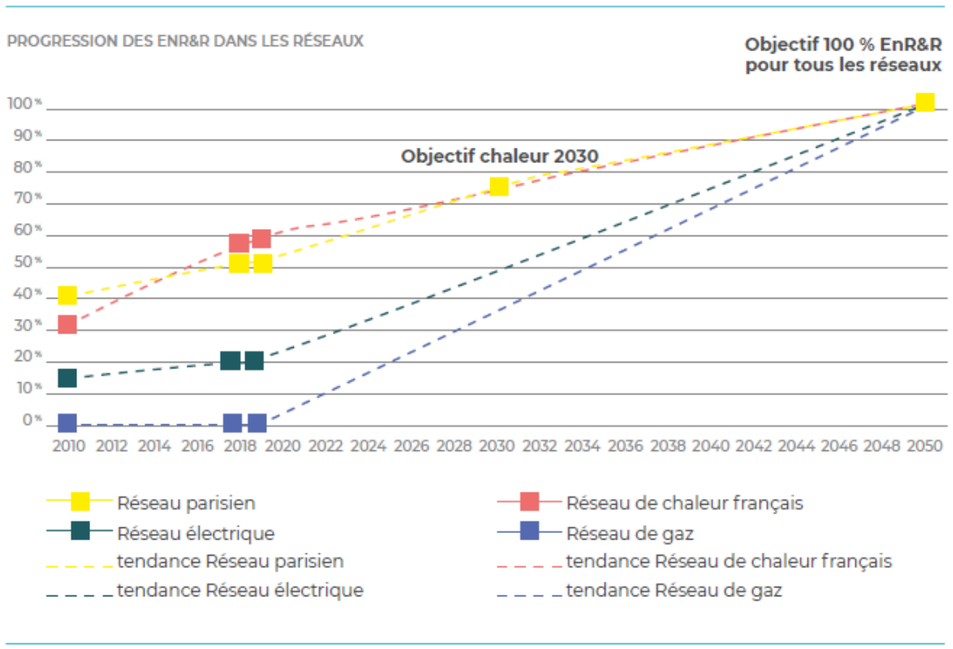
Consommation d'énergie pour la production de chaleur par sources d'énergie dans les réseaux de chaleur en France
(source SDES, Chiffres clés de l'énergie Édition 2024)

1 Chiffres clés de l'énergie Edition 2021

Schéma directeur du Réseau de chaleur urbain parisien - Perspectives

Le schéma directeur fixe des objectifs précis et ambitieux pour verdir, étendre et moderniser le réseau, et rendre le réseau plus résilient face au risque de crue. Tout en s'inscrivant dans une démarche globale de transition énergétique et sociale. L'objectif du schéma est d'atteindre 75% d'énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) dans le mix énergétique du réseau, pour une transition complète vers 100% d'EnR&R en 2050, pour un réseau neutre en carbone.

Des simulations dans le cadre de la rédaction du schéma directeur ont permis de réaliser les projections des ordres de grandeur à l'horizon 2030. Le réseau de chaleur parisien sera



Progression de la part d'EnR dans les réseaux de 2010 jusqu'à 2050 (source Schéma directeur du réseau de chaleur parisien 2020-2050)

caractérisé par les éléments suivants :

- Taux d'EnR de 75% en 2030 pour 51% en 2019.
- Recours aux énergies locales de 2% pour 1% en 2030.
- Un contenu en CO2 de 63 kg de CO2/MWh (pour 161 kgeCO2/MWh en 2019).
- La fourniture de chaleur à 1500 abonnées supplémentaires (pour 5 881 en 2019).
- Le coût de la chaleur de 91 €/MWh (77 € MWh en 2019, soit +18 % du coût de la chaleur de 91 €/MWh (77 €/MWh en 2019, soit +18 % ou +1,8 %/an) ou +1,8 %/an) si aucun financement n'est obtenu. Mais un coût de chaleur réduit de 1 ou 1.5 €/MWh respectivement pour des subventions de 30% et 50% sur les investissements réalisés.
- Pour une facture stable pour les consommateurs, en prenant en compte une augmentation des réductions des consommations unitaires (de -17% en 2030 à -50% en 2050).

Plusieurs trajectoires sont envisagées pour atteindre les objectifs de développement du réseau de chaleur urbain parisien à l'horizon 2050 :

- La trajectoire cible «Transformation», pour laquelle des actions démarrées sur la période 2020-2030 permettent d'atteindre la neutralité carbone par la décentralisation du réseau, ainsi que la maximisation de la captation des ressources locales d'énergies renouvelables.
- La trajectoire de repli «Modernisation» dans le cas où les actions réalisées entre 2020 et 2030 n'ont pas été finalisées, qui atteint aussi les objectifs de neutralité carbone par un réseau plus centralisé que dans la trajectoire «Transformation». Cela laisse place à la centralisation de la production d'énergie grâce à de nouvelles centrales de production.

Un plan constitué de 28 propositions d'action a été construit pour atteindre les objectifs. Celles-ci sont organisées en fonction de leur temporalité :

Les actions de refondation doivent être lancées en dans un futur proche, pour amorcer une nouvelle dynamique du réseau de chaleur parisien. Elles suivent plusieurs thèmes :

- Verdir le réseau et améliorer sa résilience : remettre en état, renforcer le réseau de retour d'eau.
- Retrouver une compétitivité économique : convertir les foyers au fioul vers le réseau de chaleur, sécuriser les approvisionnements, maîtriser les coûts tout en maintenant la qualité du service.
- Soutenir la place et la notoriété de réseau de chaleur : en questionnant l'intérêt du réseau, mettre en place une approche client orientée vers la sobriété.
- Faciliter l'intégration du réseau dans la ville avec les villes voisines : en étudiant la faisabilité du passage des boucles d'eau chaude en galeries souterraines pour réduire l'impact des chantiers.

Les actions de fond à court et moyen terme visent l'atteinte des objectifs fixés à l'horizon 2030 :

- Densifier le réseau pour intégrer 20% à 30% de clients supplémentaires.
- Faire muter les centrales de production existantes vers les énergies renouvelables quand c'est possible, pour sortir du fioul, du charbon et du gaz.
- Imposer l'achat par l'exploitant du réseau de sources d'énergie renouvelables diffuses.

Les actions de modernisation ou de transformation, à long et moyen terme, rentrent dans le cadre des trajectoires Transformation et Modernisation, pour des objectifs à l'horizon 2050. Elles sont articulées autour de la thématique « verdir le réseau et améliorer sa résilience ».

- Privilégier tous nouveaux développements du réseau en eau chaude et engager la conversion du réseau de vapeur chaque fois que c'est possible.
- Mener des études de transformation des sites de production existants pour développer la production de chaleur à base d'énergie renouvelable.

Contexte local

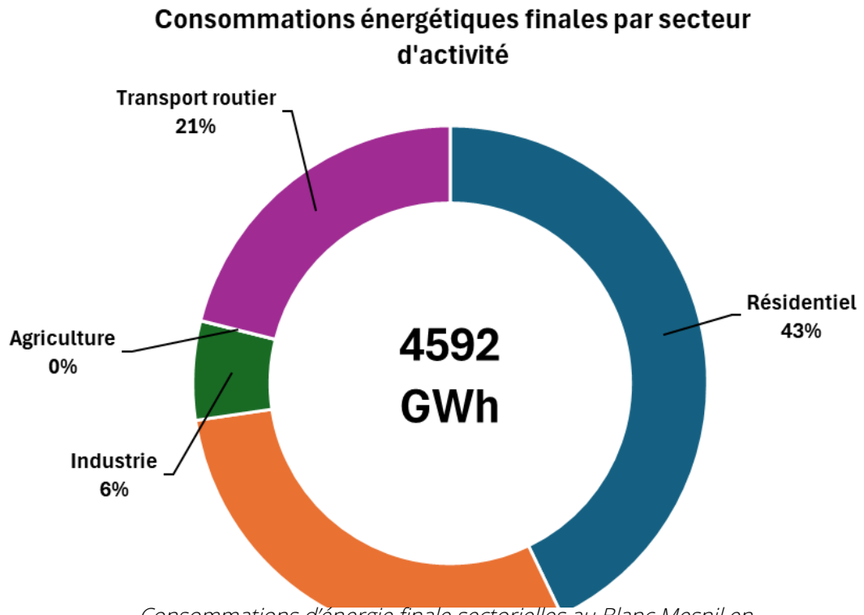
Les données de consommation pour 2021, sont disponibles à l'échelle de l'intercommunalité de Paris Terres d'envol. Elles sont mises à disposition par le Réseau d'Observation Statistique de l'Énergie et des émissions de gaz à effet de serre en Île-de-France (ROSE).

La consommation énergétique sectorielle

Les consommations totales de l'intercommunalité sont de l'ordre 4600 GWh, parmi lesquelles le secteur résidentiel représente le poste d'émission le plus important avec 1968 GWh. Vient ensuite le secteur tertiaire avec 1370 GWh consommés en 2021 puis les transports routiers avec 968 GWh.

Les secteurs de l'agriculture et de l'industrie sont minoritaires avec respectivement 0.6 et 285 GWh consommés.

Les consommations d'énergies à l'échelle de l'intercommunalité de Paris Terres d'envol présentent une majorité réparti autour de trois postes : le gaz naturel, l'électricité puis les produits pétroliers. Leur consommation respective est de 1546 GWh, 1315 GWh et 1149 GWh.



Consommations d'énergie finale sectorielles au Blanc Mesnil en 2021 (source ENERGIF, 2025)

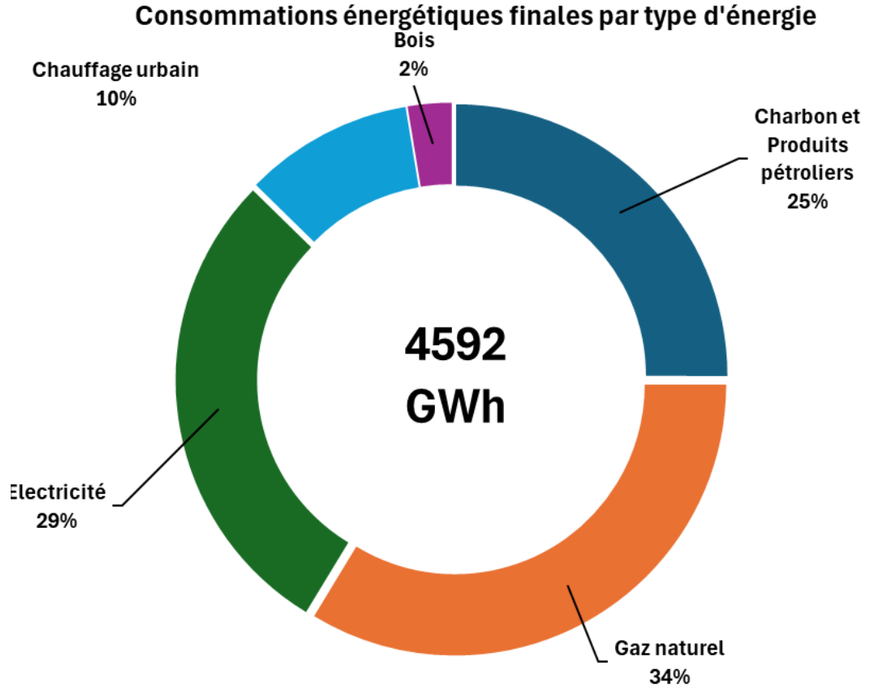
Le chauffage urbain et le bois sont minoritaires avec respectivement 462 GWh et 120 GWh.

La consommation énergétique par type d'énergie

La consommation globale de 2021 pour l'intercommunalité est répartie comme suit :

- 1 149 GWh liés aux produits pétroliers (25 %)
- 1 546 GWh dû au gaz naturel (34 %)
- 1 315 GWh par l'électricité (29 %)
- 462 GWh par le chauffage urbain (10 %)
- 120 GWh de bois (2 %)

La majorité des postes de consommation d'énergie concerne le gaz et les produits pétrolier/charbon. Ce sont des énergie fossiles qui présentent un impact carbone élevé. Leur prépondérance est due à la coloration fortement tertiaire du territoire, le poids important du secteur des transports routiers ainsi que le mix énergétique du secteur résidentiel.



Consommations d'énergie finale au Blanc Mesnil en 2021 (source ENERGIF, 2025)

Les consommations du secteur résidentiel

Les consommations du parc résidentiel de l'intercommunalité de Paris Terres d'envol sont les suivantes :

- 918 GWh en gaz naturel
- 552 GWh en électricité
- 115 GWh de bois
- 283 GWh de chauffage urbain
- 100 GWh de produits pétroliers et de charbon

Le mix énergétique du secteur résidentiel est majoritairement constitué d'énergies fossiles (gaz naturel et produits pétroliers/charbon pour 54%).

La transition énergétique du parc résidentiel du Blanc Mesnil est donc importante et nécessaire pour contribuer à atteindre les objectifs environnementaux du territoire.

Les émissions intercommunales sectorielles

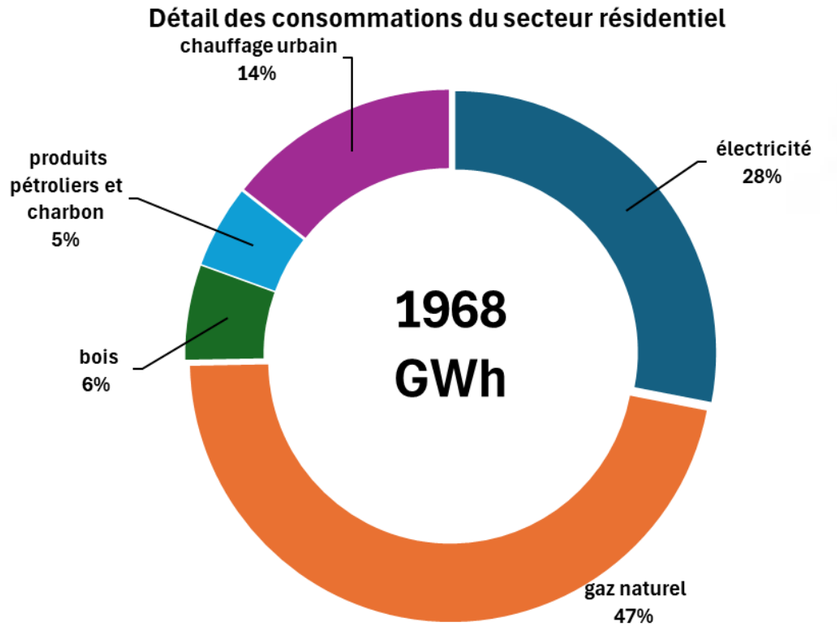
Les émissions de gaz à effet de serre de énergie du parc résidentiel de l'intercommunalité de Paris Terres d'envol sont les suivantes :

- 286 $ktCO_2$ pour le secteur résidentiel
- 82 $ktCO_2$ par les autres transports
- 178 $ktCO_2$ par le tertiaire
- 46 $ktCO_2$ par l'industrie
- 274 $ktCO_2$ par les transports routiers
- 0.7 $ktCO_2$ par l'agriculture

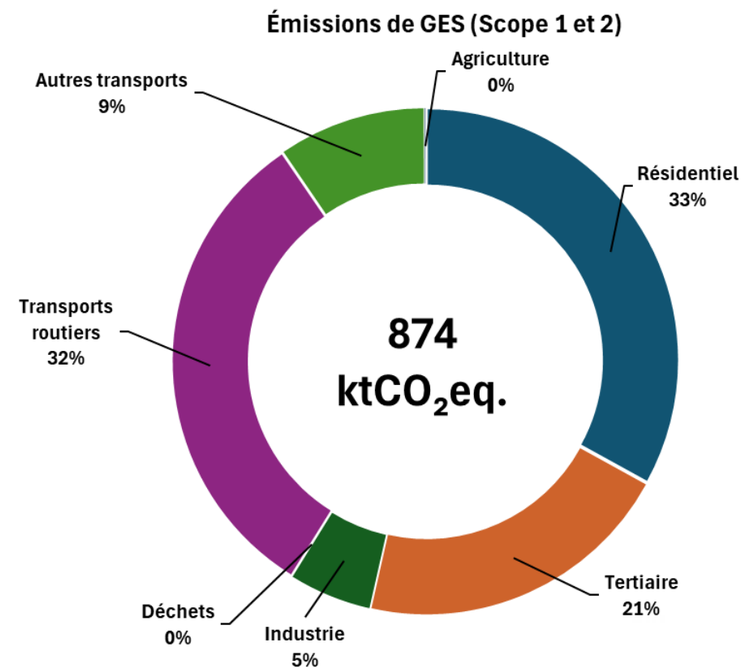
Ces données reflètent les tendances soulevées précédemment. Les postes d'émission de gaz à effet de serre majoritaires sont représentés par des secteurs utilisant des énergies fossiles en proportions importantes.

Au vu de la répartition fortement résidentielle du projet, le choix des systèmes énergétiques réalisés doivent refléter les ambitions environnementales du territoire afin de réduire les émissions.

Des sources d'énergies décarbonnées doivent être mobilisées sur le projet afin de réduire le bilan carbone de la ville et l'intercommunalité.



Consommations énergétiques finales intercommunale, par secteur d'activité (ROSE, 2025)



Emmissions de gaz à effet de serre par secteur d'activité (ROSE, 2025)

Estimation des besoins énergétiques

Contexte et estimation des besoins du projet

SURFACES PRISES EN COMPTE

Les données à notre disposition à ce stade sont les surfaces de plancher (SDP) et la surface des plots des différentes typologies résidentielles (logements collectifs neufs et réhabilités) et d'activités (Campus trilingue, commerces et crèche).

LES BESOINS CONSIDÉRÉS

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.

NIVEAUX ÉNERGÉTIQUES DE RÉFÉRENCE

Les besoins annuels en énergie sont présentés ci-après.

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.

GROUPE 1 : Logements collectifs neufs

Surface considérée : 329000 m²

Performance énergétique visée : RE 2020 - seuils 2028

GROUPE 2 : Logements collectifs réhabilités

Surface considérée : 12000 m²

Performance énergétique visée : RT globale (20% de réduction)

GROUPE 3 : Campus trilingue

Surface considérée : 15000 m²

Performance énergétique visée : RE 2020 - seuils 2028

GROUPE 4 : Commerces, services et crèche

Surface considérée : 1450 m²

Performance énergétique visée : RT 2012 (30% de réduction)

	Besoins (Energie utile / m²)			
Poste consommation	Groupe 1 - Logements collectifs neufs	Groupe 2 - Logements collectifs réhabilités	Groupe 3 - Campus trilingue	Groupe 4 - Commerces, services et crèche
Chaud	30 kWhEU/m²	33 kWhEU/m²	30 kWhEU/m²	35 kWhEU/m²
Froid	0 kWhEU/m²	0 kWhEU/m²	0 kWhEU/m²	7 kWhEU/m²
ECS	30 kWhEU/m²	30 kWhEU/m²	8 kWhEU/m²	8 kWhEU/m²
Eclairage	3 kWhEU/m²	3 kWhEU/m²	5 kWhEU/m²	40 kWhEU/m²
Auxiliaires et autres	3 kWhEU/m²	3 kWhEU/m²	8 kWhEU/m²	35 kWhEU/m²
Usages mobiliers	27 kWhEU/m²	27 kWhEU/m²	8 kWhEU/m²	90 kWhEU/m²
TOTAL	93 kWhEU/m²	96 kWhEU/m²	59 kWhEU/m²	215 kWhEU/m²

	Besoins (Energie utile)					
Poste consommation	Groupe 1 - Logements collectifs neufs	Groupe 2 - Logements collectifs réhabilités	Groupe 3 - Campus trilingue	Groupe 4 - Commerces, services et crèche	TOTAL	
Chaud	9870 MWhEU	396 MWhEU	450 MWhEU	51 MWhEU	10767 MWhEU	33%
Froid	0 MWhEU	0 MWhEU	0 MWhEU	10 MWhEU	10 MWhEU	0%
ECS	9870 MWhEU	360 MWhEU	120 MWhEU	12 MWhEU	10362 MWhEU	31%
Eclairage	987 MWhEU	36 MWhEU	75 MWhEU	58 MWhEU	1156 MWhEU	4%
Auxiliaires et autres	987 MWhEU	36 MWhEU	120 MWhEU	51 MWhEU	1194 MWhEU	4%
Usages mobiliers	8883 MWhEU	324 MWhEU	120 MWhEU	131 MWhEU	9458 MWhEU	29%
TOTAL	30597 MWhEU	1152 MWhEU	885 MWhEU	312 MWhEU	32946 MWhEU	100%
Total Chaud	**19740 MWhEU**	**756 MWhEU**	**570 MWhEU**	**62 MWhEU**	**21128 MWhEU**	

Total	32946 MWhEU
Total chaud	21128 MWhEU
Chaud / Total	64%

Avec les hypothèse prises, la répartition des besoins énergétiques sur le projet fait ressortir 3 grands postes de consommation : le chauffage des bâtiments, la production d'eau chaude sanitaire et l'alimentation des usages mobiliers électriques (cuisson, électroménager,etc...).

Ces 3 postes représentent 93 % des besoins des bâtiments de la ZAC. Cette répartition est due au groupe 1, responsable de 93% des besoins totaux du projet.

Etat des lieux

Energies renouvelables locales

EN BREF

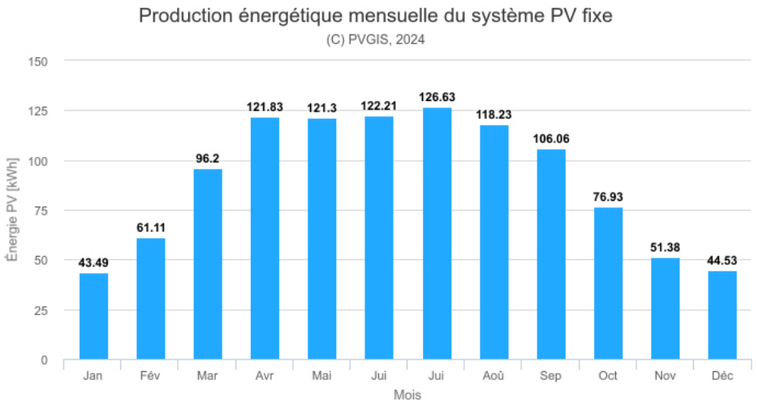
- **Le solaire est mobilisable sur le projet pour la production d'électricité.**
- **Les PAC air-eau réversibles sont adaptées aux typologies considérées**
- **L'énergie éolienne n'est pas adaptée au projet situé en zone urbaine dense.**
- **La production d'énergie à partir du bois est une solution envisageable.**
- **La mise en œuvre d'une unité de méthanisation n'est pas pertinente pour le projet.**

LE SOLEIL

Ressource mobilisable

L'énergie solaire est mobilisable pour la production d'eau chaude sanitaire, de chauffage et/ou d'électricité. Les principales contraintes à l'exploitation solaire est l'irradiation solaire et la présence de masques.

Au Blanc Mesnil, le gisement solaire annuel est d'environ 1410 kWh/m² pour des panneaux installés en toiture (selon leur inclinaison, l'angle optimal étant de 38°).



Production solaire annuelle au Blanc Mesnil (source PVGIS, 2024)

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 du 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 fabriquer[1]. 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).

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.

1 Connaissance des énergies, 2016

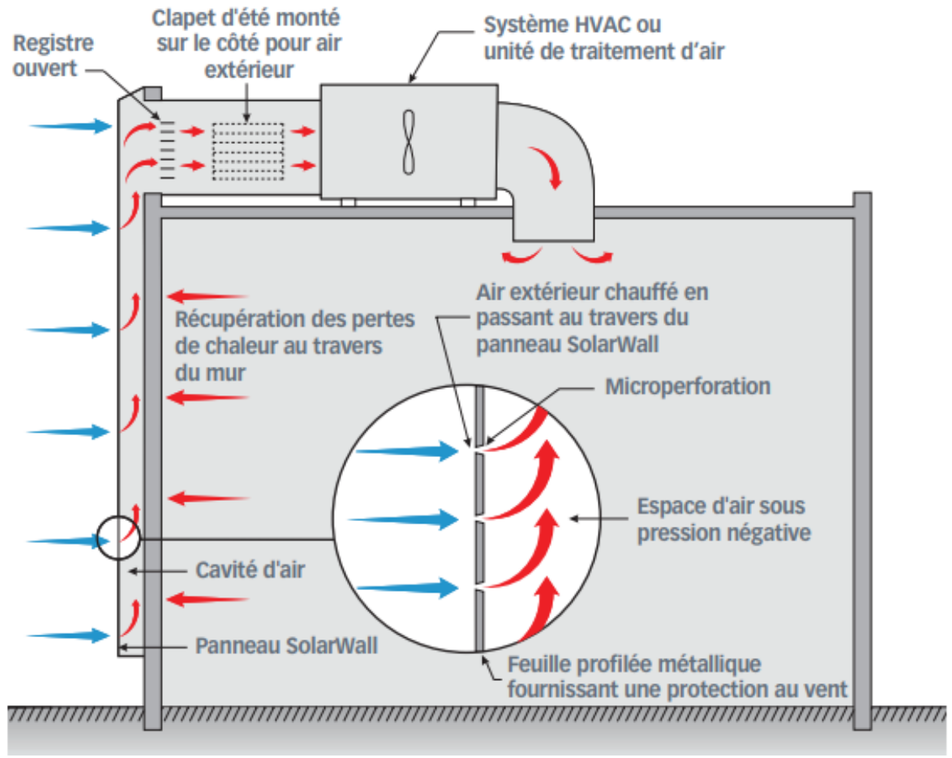
Opportunités pour le projet

Les panneaux solaires photovoltaïques sont envisageables pour les bâtiments d'activités (commerces, crèche et campus) en raison de la forte demande en électricité de ces typologies.

Pour les logements, une production thermique et / ou photovoltaïque est adaptée par leur demande importante en électricité et ECS.

Pour les commerces et le campus trilingue, une production photovoltaïque est intéressante par leur besoins importants en électricité.

Les capteurs à air ne sont pas adaptés à l'opération (ils conviennent d'avantage à des bâtiments disposant de larges façades sans ouvertures, de type hangar).



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

L'AEROTHERMIE

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…).

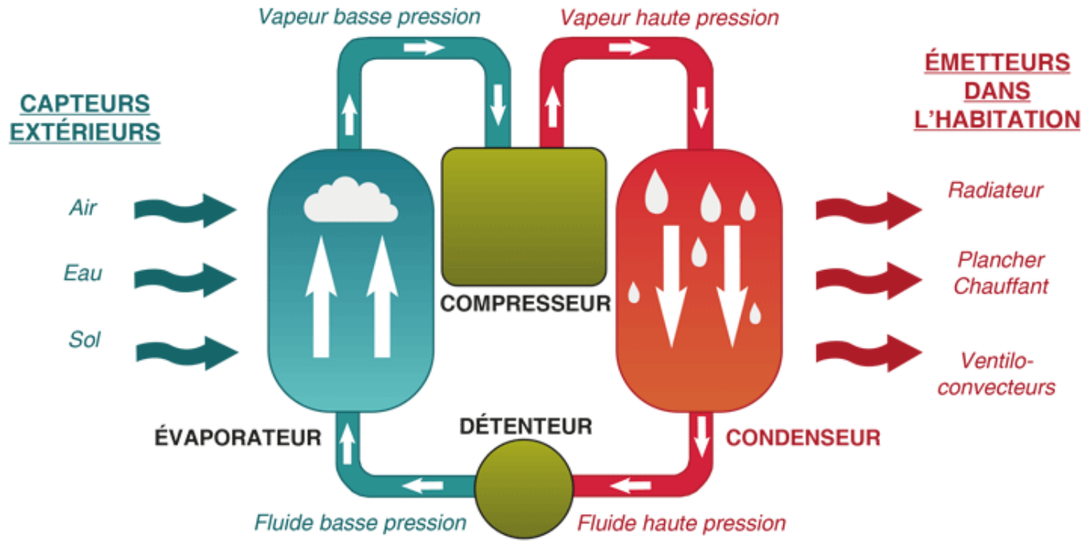


Schéma de fonctionnement d'une PAC air-air (source ENGIE, 2017)

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 réversibles peuvent être envisagées quelque soit la typologie considérée.

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.

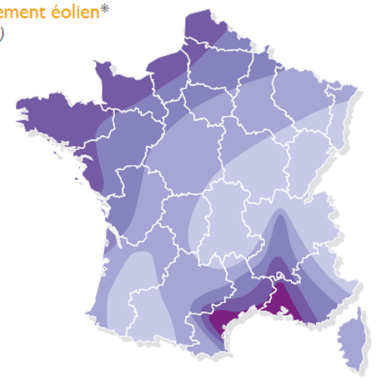
Leur vitesse de rotation est généralement faible : 30 tours / minute pour une pale d'un diamètre de 20 mètres.

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 rentable[1].

Opportunité pour le projet

L'énergie éolienne n'est pas pertinente pour ce projet. Le projet est situé dans une zone urbaine dense, cela ne présente pas des conditions optimales pour cette technique.

1 ADEME, 2016

LA GEOTHERMIE

Explication

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.

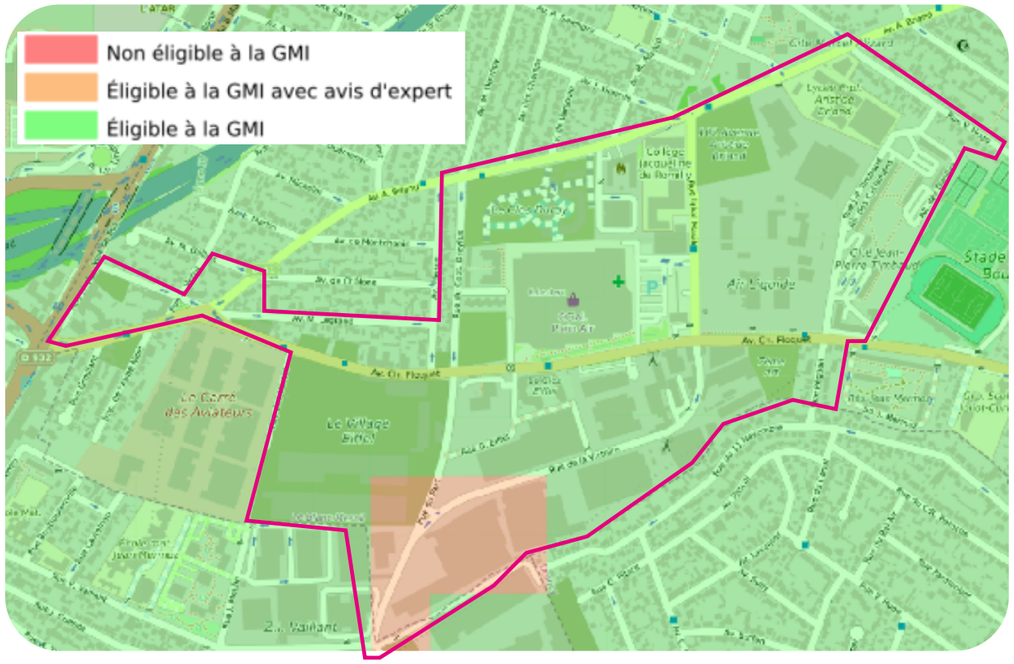
La géothermie sur nappe consiste à prélever de l'eau dans une nappe du sous-sol, utilisée comme source de calories. La réinjection de l'eau puisée est indispensable pour protéger l'environnement et garantir la pérennité de la ressource.

Ressource mobilisable

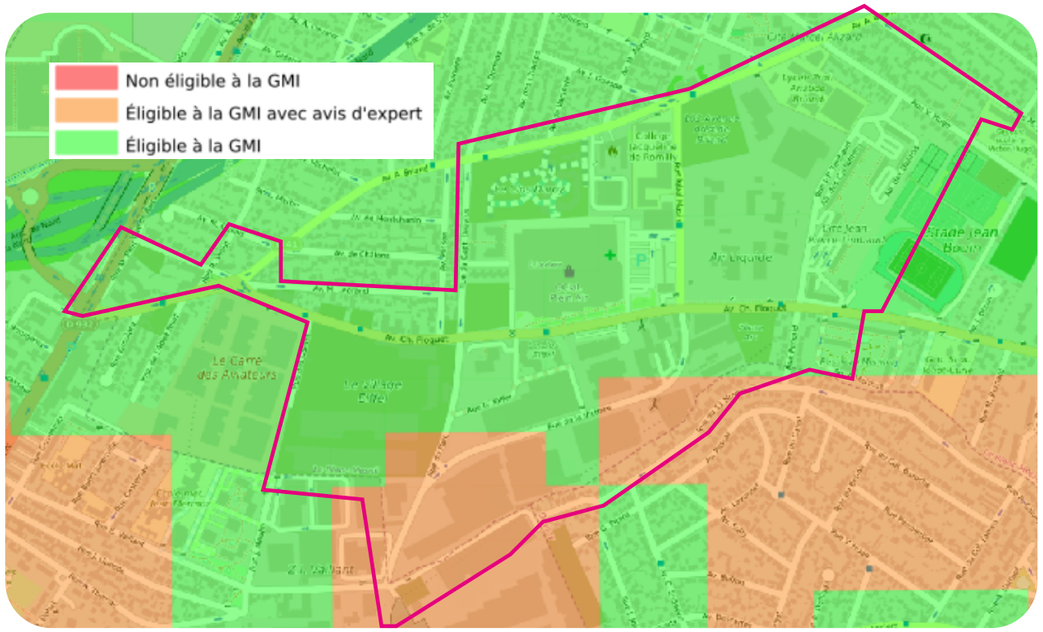
Sur les cartographies ci-contre nous pouvons voir que le secteur d'étude est éligible à la géothermie de minime importance[1] en grande partie. Cependant les zones situées dans le sud nécessite l'avis d'un expert pour mettre en place cette technique.

Les courbes piézométriques indiquent une profondeur de nappe situé à 25 mètres environ pour l'éocène moyen. Ce gisement est envisageable.

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



zones éligibles à la GMI sur nappe pour les ouvrages de moins de 200 m de profondeur et zone éligible à la geothermie sur sonde pour les ouvrages de moins de 50 m de profondeur (source Géothermies.fr, 2024)



zones éligibles à la GMI sur sonde pour les ouvrages de 50 à 200 m de profondeur (source Géothermies.fr, 2024)

LA GEOTHERMIE

Ressources géothermales de surface sur nappe (source Géothermies.fr, 2024)

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

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).

Le potentiel géothermique sur nappe superficielle de l'Éocène est fort sur le secteur d'après la cartographie du BRGM

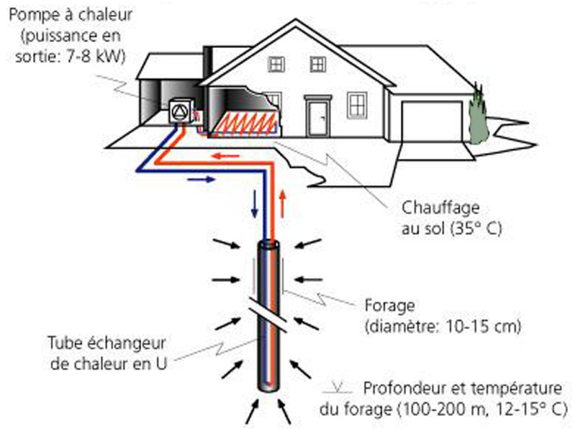
Opportunité pour le projet

Le potentiel géothermique de la zone d'étude est important et accessible à la GMI avec ou sans avis d'expert. Par conséquent ce gisement est prioritaire.

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.



Sondes géothermiques (source énergie solaire, 2018)

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.

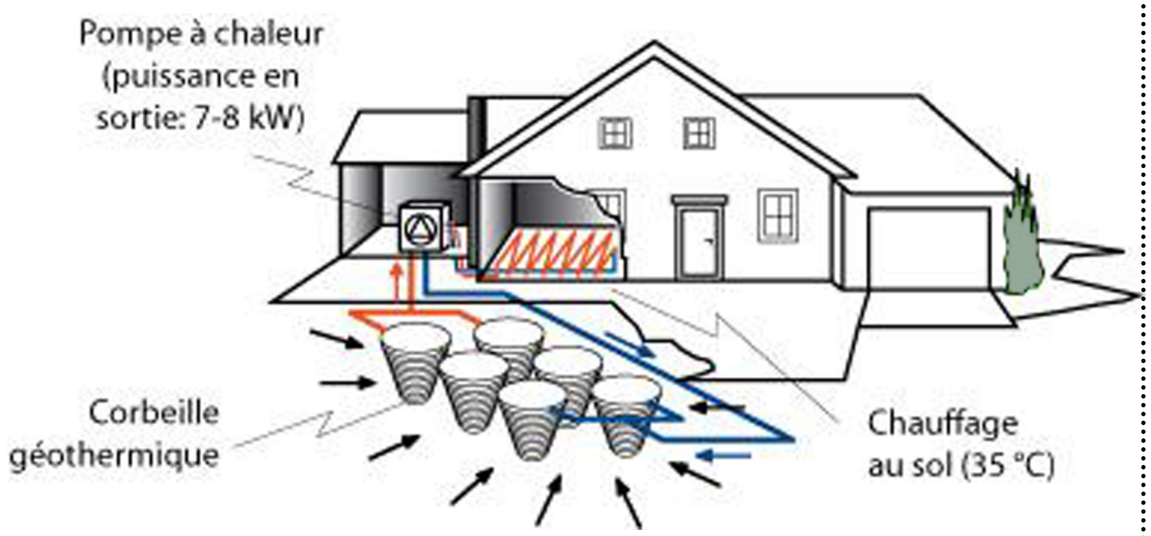
Géothermie sur nappe profonde

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 energie solaire, 2018)

Les solutions de géothermie « sèche » peuvent être mises en œuvre à l'échelle d'un bâtiment ou d'un groupe de bâtiments et sont adaptées à l'échelle du site. Une solution géothermie sur sondes est envisageable sous réserve que la surface au sol est suffisante pour installer des sondes.

Le dimensionnement des ouvrages est tel qu'ils sont couverts par la réglementation relative à la Géothermie de Minime Importance : sondes de profondeur inférieure à 200 m et pompes à chaleur de puissance inférieure à 500 kW.

Une solution de géothermie sur nappe superficielle est envisageable à l'échelle d'un bâtiment ou d'un groupe de bâtiments et est adaptée à l'échelle du site.

Opportunité pour le projet

Les solutions de géothermie sont pertinentes pour l'opération.

Pour les équipement, les systèmes de géothermie « sèche » sont privilégiés, en cohérence avec les besoins réduits en chauffage et ECS.

La géothermie sur nappe superficielle peut être valorisée pour les logements collectifs, néanmoins cette solution nécessiterait des études locales poussées.

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

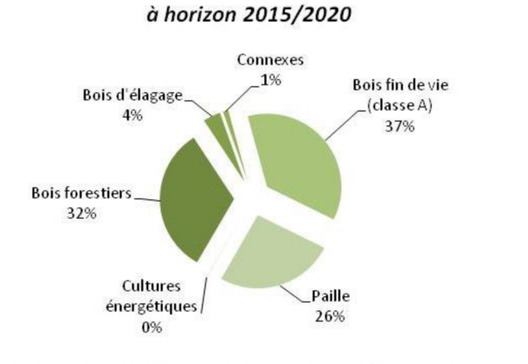
D'après l'étude « Disponibilités forestières pour l'énergie et les matériaux à l'horizon 2035 »[1], les capacités de la forêt française permettent une augmentation importante de la récolte de bois à l'horizon 2035, jusqu'à 20 millions de m3 supplémentaires par an, tout en restant dans le cadre d'une 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 consommées.

Déchets organiques et effluents[2]

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).



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

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 CO_2 libérée par la combustion du bois est compensée par la capture d'une même quantité de CO_2 pour la croissance de l'arbre. Ceci est vrai tant que l'exploitation du bois conduit à une quantité de bois produite au moins équivalente à celle consommée.

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

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

La production d'énergie à partir du bois est une solution envisageable pour l'opération, à l'échelle de chaque bâtiment ou via un réseau de chaleur.

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

La méthanisation en revanche n'est pas adapté au contexte urbain du projet, vu les contraintes liées à l'installation d'une unité de méthanisation,

Energies de récupération

EN BREF

- Il n'y a pas d'incinérateur à proximité du projet.
- Le gisement futur en eaux usées du système d'assainissement est mobilisable en raison du nombre important de logements prévus.
- La récupération de chaleur sur les eaux grises est adaptée au projet grâce à l'importante programmation en bâtiments résidentiels.
- Les data center existants ne sont pas mobilisables car trop éloignés
- Il n'existe pas de réseau de froid à proximité.
- Une chaudière numérique est envisageable pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire.

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 rationnelle de l'énergie.

Les gisements de chaleur fatale peuvent être classées 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.

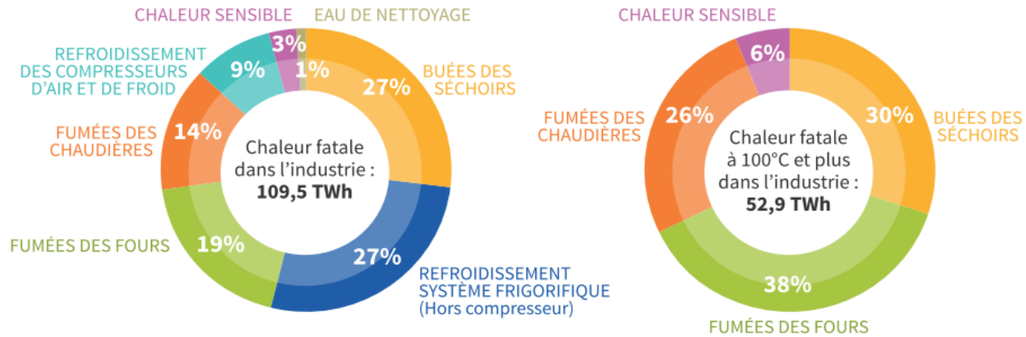
Principales techniques disponibles

Industrie

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

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.



Répartition des gisements de chaleur fatale exploitables - Ademe 2017

Incinération avec valorisation énergétique

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 dans des fours adaptés à leurs caractéristiques (composition, taux d'humidité).

L'incinération avec valorisation énergétique consiste à récupérer la chaleur dégagée par la combustion.

Cette chaleur, récupérée initialement sous forme de vapeur sous pression, va ensuite être :

- Soit utilisée pour alimenter un réseau de chaleur urbain ou des industriels avoisinants.
- Soit introduite dans un turboalternateur produisant de l'électricité.

Les valeurs limites d'émission à respecter sont fixées par la réglementation.

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.

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

Il n'y a pas de data centers à proximité du site. Les plus proches se situent à environ 3.5 km des premiers bâtiments du projet.

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

La programmation à majorité constituée de logements peut être favorable à une installation de chaudière numérique pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire.

LES DÉCHETS MÉNAGERS

Ressource mobilisable

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

Principales techniques disponibles

Incinération avec valorisation énergétique[1]

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 dans des fours adaptés à leurs caractéristiques (composition, taux d'humidité).

L'incinération avec valorisation énergétique consiste à récupérer la chaleur dégagée par la combustion. Cette chaleur, récupérée initialement sous forme de vapeur sous pression, va ensuite être :

- Soit utilisée pour alimenter un réseau de chaleur urbain ou des industriels avoisinants.
- Soit introduite dans un turboalternateur produisant de l'électricité.

Les valeurs limites d'émission à respecter sont fixées par la réglementation.

Opportunité pour le projet

L'incinérateur le plus proche se trouve à Sarcelles, à 12 km du site. Cette filière n'est pas mobilisable pour la zone d'étude.

Les déchets verts font l'objet d'une collecte séparée au Blanc Mesnil, pour être utilisé dans l'agriculture.[2]

1 ADEME, 2017
2 https://www.paristerresdenvol.fr/actus/la-collecte-des-dechets-verts-reprend

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.

Principales techniques disponibles

Récupération de chaleur sur les réseaux d'assainissement ou au niveau des STations d'EPuration (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 ml.

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.

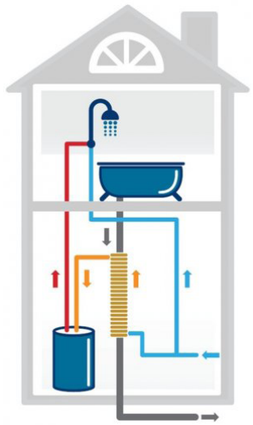
Récupération de chaleur sur les eaux grises - Système sans PAC

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.

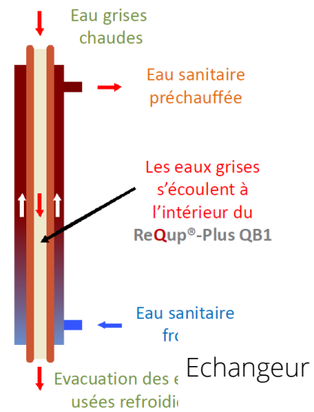
Deux modes de mise en œuvre sont possibles :

- 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

Le nombre important de logements qui seront construits ainsi que leur forte consommation en ECS justifient la pertinence de la récupération de chaleur sur les eaux grises et usées pour les logements collectifs.

Réseaux d’énergie

EN BREF

- **Le projet est raccordable aux réseaux de gaz et d’électricité existants.**
- **Le projet est proche du réseau de la ville du Blanc Mesnil.**

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 CO_2 et de ce fait, il a un impact environnemental de niveau intermédiaire entre les sources d’énergies renouvelables et les ressources fossiles du type fioul ou charbon.

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

Electricité

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

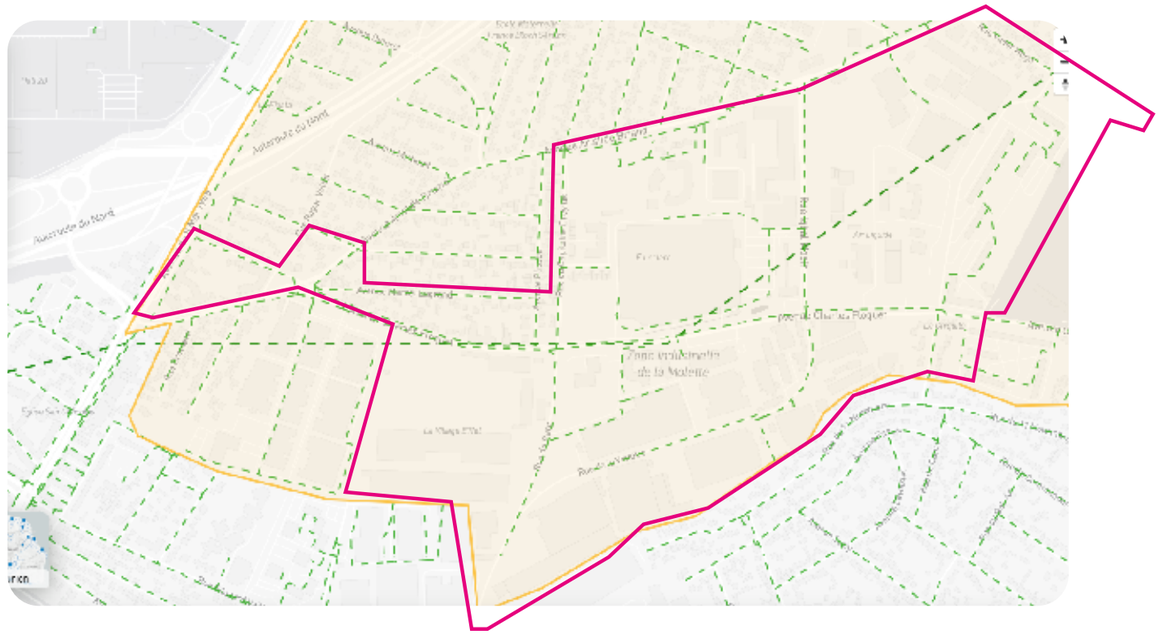
La production brute d’électricité du réseau français (Enedis) provient à 77 % de centrales nucléaires en 2015.

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]

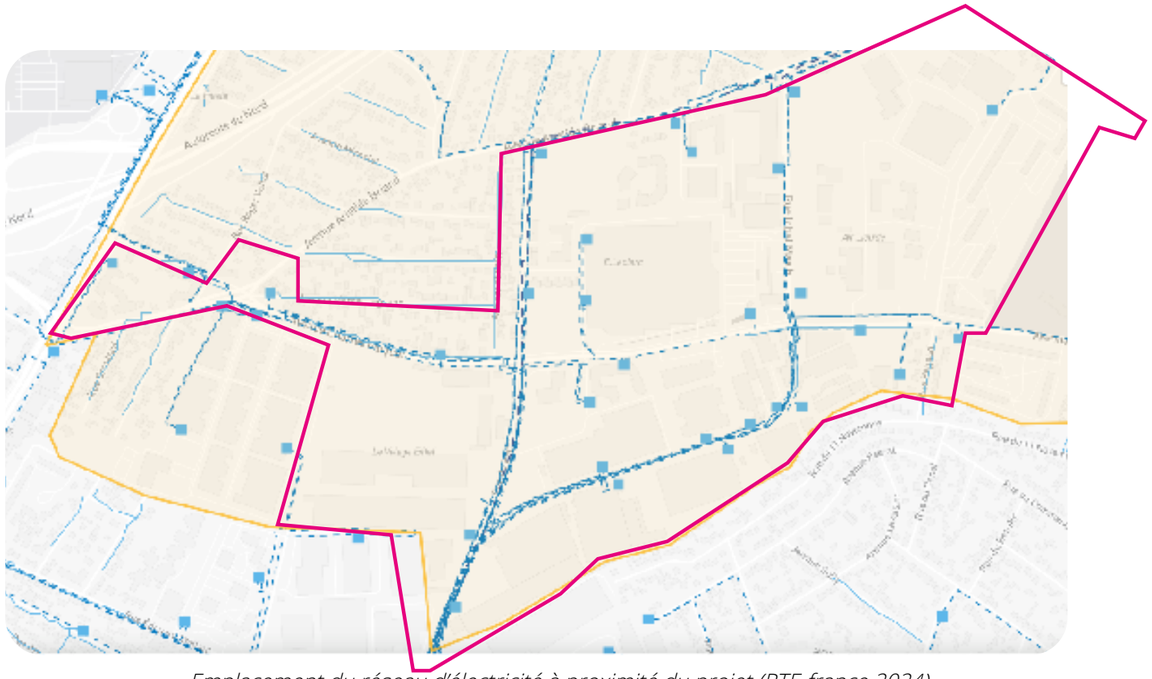
Opportunité pour le projet

Le site est raccordé au réseau d’électricité et le réseau de gaz est accessible même si ce dernier n’est pas prioritaire dans le raccordement des nouveaux projets..

1 MEEM, 2016
2 MEEM, 2016



Emplacement du réseau de gaz à proximité du projet (RTE-france 2024)



Emplacement du réseau d’électricité à proximité du projet (RTE-france 2024)

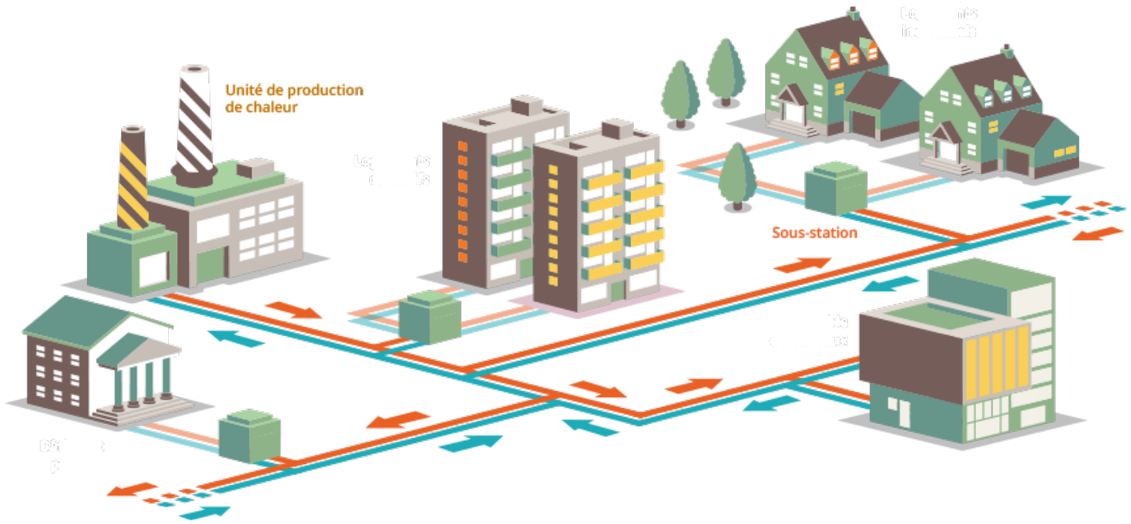
RESEAU DE CHALEUR URBAIN

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.



Principe du réseau de chaleur (source ADEME, 2015)

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.

BOUCLE D'EAU TEMPÉRÉE A ENERGIE GÉOTHERMIQUE

Principe[1]

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),
- Thalassothérapie (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/îlot 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).

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

Une BETEG se différentie 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»),

Opportunité pour le projet

Le site du projet est traversé par le réseau de chaleur du Blanc Mesnil. Le tracé complet est fourni sur la page ci-après, un agrandissement centré sur le site du projet est présenté ci-dessous. A la date de cette étude celui-ci est classé en taux d'énergie renouvelable important (56.8%) et un coefficient d'émission CO_2 faible (107 g/kWh). De ce fait, le mix énergétique est constitué majoritairement de gaz et de géothermie, soit respectivement 42.5% et 40.3% puis d'énergie issue de pompe à chaleur (17.2%).

Par conséquent ce réseau est pertinent pour cette étude. Néanmoins il doit être étendu sur tout le site du projet pour raccorder les logements.

Tracé du réseau de chaleur urbain du Blanc Mesnil, présent sur le projet (source : France chaleur urbaine, 2025)

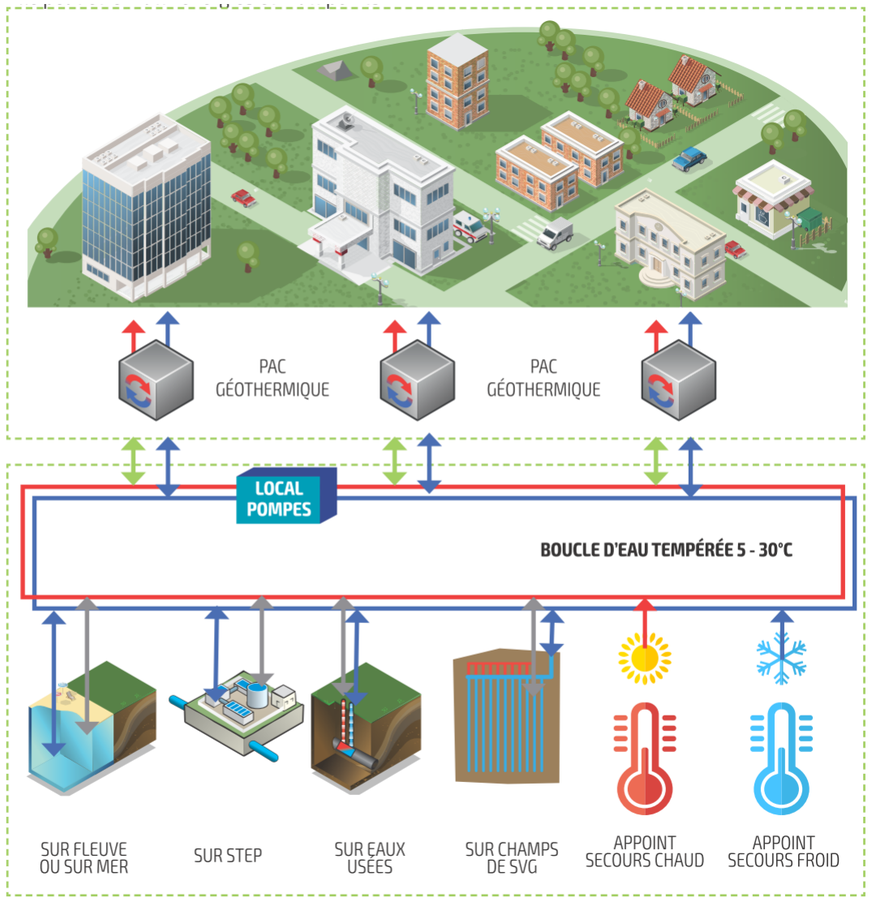
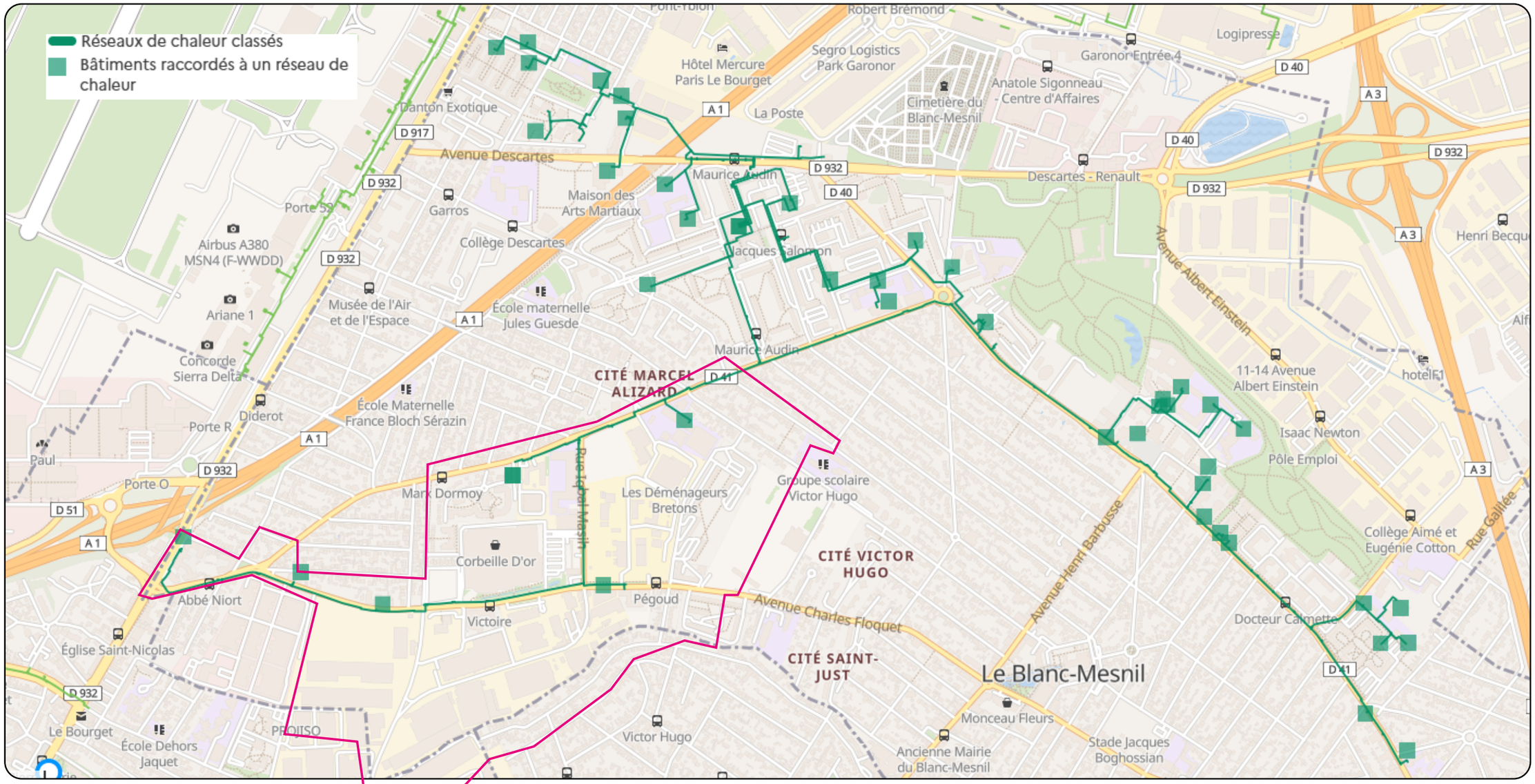


Figure 2

Synoptique de la BETEG Multi énergies et multipoints

Source ©AFPG d'après BURGEAP

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



Tracé du réseau de chaleur urbain du Blanc Mesnil (source : France chaleur urbaine, 2025)

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 CO_2 Vigilance à avoir par rapport à l'origine géographique du gaz	Abonnement nécessaire	Réseau de gaz disponible à proximité	Filière de référence pour le chauffage et l'ECS mais le gaz n'est plus prioritaire pour les nouveaux projets
Électricité	Chauffage ECS Froid autres usages	Bâtiment	Référence	Émissions importantes de CO_2 lors des pics de consommation Déchets nucléaires Vigilance à avoir par rapport à l'origine géographique de l'uranium	Abonnement nécessaire	Réseau électrique disponible à proximité	Filière de référence
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	Prioriser pour les logements où les besoins en ECS et en électricité sont constants toute l'année	Filière retenue pour les typologies à forte demande en ECS (logement)
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...)	Prioriser pour les logements où les besoins en ECS et en électricité sont constants toute l'année	Filière retenue pour les typologies à forte demande en électricité (applicable pour les logements, le campus la crèche et les commerces)
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...)	Prioriser pour les logements où les besoins en ECS et en électricité sont constants toute l'année	Filière adaptée pour les typologies à forte demande en ECS (logement) mais non retenue pour cette étude
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 adaptée aux bâtiments disposant de grandes façades non vitrées (type bâtiment logistique)	Filière non retenue suivant l'importance des surfaces non vitrées
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 adaptée pour les typologie à forte demande en chauffage (logement, commerce, crèche et campus) mais non retenue pour cette étude
Grand éolien	Électricité	ZaC	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 Emplacement urbain dense	Filière non retenue, non adaptée au site
Micro éolien	Électricité	Bâtiment ZaC	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 Emplacement urbain dense	Filière non retenue, non adaptée au site

Filière	Production	Échelle possible	Retour sur investissement économique moyen	Retour sur investissement environnemental	Particularités techniques ou administratives	Données environnementales locales	Pertinence
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)	Site éligible à la GMI Potentiel géothermique fort le système de PAC réversible n'est pas nécessaire pour les typologie sans besoins en froid	Filière prioritaire faisant l'objet d'un scénario énergétique
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.	Site éligible à la GMI Potentiel géothermique fort	Filière alternative à la géothermie sur sondes à favoriser dans l'hypothèse de pieux à réaliser pour le bâti
PaC sur nappe superficielle réversible	Chauffage ECS Climatisation	Bâtiment ZaC	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	Site éligible à la GMI Potentiel géothermique fort	Filière secondaire (moins pertinente que les sondes, nécessite des études plus poussées)
PaC sur aquifère profond (albien) réversible	ECS Chauffage Climatisation	ZaC		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)	Nappe de l'Albien vers 600 m de profondeur et du Dogger vers 1600 / 1800 m de profondeur	Filière non retenue (besoin thermique insuffisant)
Réseau de Chaleur Urbain	Chauffage Froid ECS	Bâtiment, ZaC	Variable	Réduction des gaz à effet de serre et polluants	Vérifier la pertinence de relier d'autre bâtiment du projet au réseau de chaleur du Blanc Mesnil	Réseau de chaleur existant à proximité : RCU du Blanc Mesnil	Filière retenue pour toutes les typologies
Bois	Chauffage ECS Cogénération (Électricité)	Bâtiment, ZaC	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	Filière relativement pertinente vu le gisement français	Filière retenue pour toutes les typologies
Incinération d'ordures ménagères	Chauffage ECS Électricité	ZaC	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 Incinérateur le plus proche situé à 12 km	Filière non retenue par absence d'incinérateur à proximité
Méthanisation	Chauffage ECS Électricité	ZaC	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.	Pas d'installation proche	Filière non retenue par absence d'installation proche
Récupération d'énergie sur réseaux d'assainissement	ECS Chauffage Climatisation	ZaC	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. Distanceentre le réseau et le bâtiment inférieure à 300 ml.	Nombre important de logements programmé Solution pertinente pour les logements où les besoins en ECS sont importants	Filière alternative pour les logements à la récupération de chaleur sur les eaux grises

Filière	Production	Échelle possible	Retour sur investissement économique moyen	Retour sur investissement environnemental	Particularités techniques ou administratives	Données environnementales locales	Pertinence
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 m² Techniques disponibles avec et sans PaC	Nombre important de logements programmé Solution pertinente pour les logements où les besoins en ECS sont importants	Filière retenue pour les logements
Data center	Chauffage ECS	ZaC	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	Deux datacenters présent de l'autre côté de la ville	Filière non retenue (pas d'installation proche)

Scénarios retenus

Données communes

Les scénarios sont présentés par groupes selon les différents types d'usage prévus par le projet.

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 bâtiments d'activités (campus trilingue et commerces/services/crèches) sont couverts par des ballons électriques pour l'ensemble des scénarios.

GROUPE 1 : Logements collectifs neufs

Les scénarios suivants sont communs aux bâtiments résidentiels collectifs neufs et rénovés.

Scénario	Chauffage	Appoint chauffage	Froid	ECS	Appoint ECS	Production sur site
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	RCU	/	/	RCU	/	/
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire thermique	RCU	/	/	Solaire thermique	RCU	/
Scénario A2 - Raccordement au RCU + solaire	RCU	/	/	RCU	/	Photovoltaïque
Scénario A3 - Raccordement au RCU + récupération sur	RCU	/	/	Récupération sur eaux grises	/	/
Scénario B - Biomasse	Bois	/	/	Bois plaquette	/	/
Scénario C - Gaz + chauffe-eau thermodynamique	Gaz	/	/	Ballon thermodynamique	/	/
Scénario D - Géothermie sur sondes	PAC géothermique	Gaz	/	PAC géothermique	Gaz	/

Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain du Blanc Mesnil

Dans ce scénario, les bâtiments sont raccordés au réseau de chaleur de la ville du Blanc Mesnil, présent sur le périmètre. Celui-ci prend en charge le chauffage et les ECS. Ce réseau de chaleur pourra bénéficier à l'ensemble du périmètre de projet, ce qui assure un meilleur retour sur investissement si le réseau de chaleur est optimisé.

Scénario A1 - RCU - Solaire thermique

Ce scénario est basé sur le scénario A pour la production de chauffage.

Pour l'ECS, les bâtiments sont dotés de panneaux solaires thermiques placés sur leurs toitures (intégration : panneaux non visibles depuis le sol)., ils couvrent 70% des besoins en ECS. Le réseaux de chaleur utilisé pour le besoins de chaleur complète le reste de la production d'ECS

On considère une implantation de 36° par rapport à l'horizontale, 0° par rapport au sud).

Une productivité de 460 kWh/m²/an est prise en compte, à laquelle est affectée un coefficient de dégradation de 5% pour tenir compte des masques et orientation non optimales.

L'hypothèse de couverture de la production d'ECS, par des panneaux thermiques, nécessite l'implantation de 14101 m² de panneaux, soit 11% de la surface de la surface des plots concernés par cette typologie, d'après les données à l'état projet.

Scénario A2 - RCU - Solaire photovoltaïque

Ce scénario est basé sur le scénario A pour la production de chauffage et d'ECS. En complément les bâtiments présentent des panneaux solaires photovoltaïques en toiture.

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

Une productivité de 174 kWh/m²/an est considérée, qui inclut un coefficient de dégradation de 5% pour tenir compte des masques et orientation non optimales.

La production électrique est considérée comme étant autoconsommée à 100%.

On considère les hypothèses d'implantation de panneaux solaires suivantes :

Typologie de bâtiments	Surface de panneaux solaires implantée
Groupe 1 - Logements collectifs neufs	1/3 de la surface des plots de cette typologie d'après les données à l'état projet soit 4211 m².
Groupe 2 - Logements collectifs réhabilités	1/3 de la surface des plots de cette typologie d'après les données à l'état projet soit 3260 m².
Groupe 3 - Campus trilingue	1/3 de la surface des plots de cette typologie d'après les données à l'état projet soit 1439 m².
Groupe 4 - Commerces, crèche et services	1/3 de la surface des plots de cette typologie d'après les données à l'état projet soit 483 m².

Scénario A3 - RCU - Récupération sur eaux grises

Ce scénario est basé sur le scénario B pour la production de chauffage et une pompe à chaleur récupère l'énergie des eaux usées pour produire des ECS.

Le système (compresseurs, circulateurs, armoire d'automatisme et de régulation, compteurs, nettoyage automatique...) a un Coefficient de Performance (COP) de 4.5. Il peut fournir 100 % des besoins en eau chaude sanitaire du bâtiment.

Scénario B - Biomasse

Dans ce scénario, le chauffage des bâtiments est assuré par des chaufferies à biomasse.

Il est prévu des chaudières bois à plaquettes haute performance. Ce type de système possède une large plage de modulation et assure le chauffage. On considère un rendement des chaudières bois à plaquette 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.

Scénario C - Raccordement au réseau de gaz

Un raccordement au réseau de gaz de la ville est modélisé. Celui-ci permet de couvrir tous les besoins en chaud pour les bâtiments.

Les pertes au niveau du rendement des chaudières gaz sont considérées de 5%.

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

L'ECS est produite par un ballon d'eau chaude thermodynamique disposant d'un COP moyen de 3.

Scénario D - Géothermie sur sonde

Dans ce scénario les besoins en chaud sont couverts à 80% par une géothermie basse température sur sondes.

Le COP réel de la PAC estimé à 4. L'appoint de chauffage est assuré au gaz à hauteur de 20% des besoins en chaud et d'ECS pour ce scénario.

GROUPE 2 : Logements collectifs rénovés

Les scénarii considérés pour ce groupe de bâtiments sont les mêmes que pour les logements collectifs neufs

Les scénarios suivants sont communs aux bâtiments résidentiels collectifs neufs et rénovés. Leurs besoins en ECS sont couverts par des ballons électriques pour l'ensemble des scénarios.

Pour le scénario A2 RCU - Solaire photovoltaïque, l'hypothèse de couverture de la production d'ECS, par des panneaux thermiques, nécessite l'implantation de 557 m² de panneaux, soit 6% de la surface de toiture estimée d'après les données à l'état projet, pour cette typologie

GROUPE 3 : Campus trilingue

Les scénarii considérés pour ce groupe de bâtiments sont communs avec le commerces, services et la crèche.

Scénario	Chauffage	Appoint chauffage	Froid	ECS	Appoint ECS	Production sur site
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	RCU	/	/	Ballon électrique	/	/
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque	RCU	/	/	Ballon électrique	/	Photovoltaïque
Scénario B - Biomasse	Bois plaquette	/	/	Ballon électrique	/	/
Scénario C - Gaz	Gaz	/	/	Ballon électrique	/	/
Scénario D - Géothermie sur sondes	PAC géothermique	Gaz	/	Ballon électrique	/	/

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

GROUPE 4 : Commerces, services et crèche neufs

Les scénarii considérés pour ce groupe de bâtiments sont les mêmes que pour le campus trilingue.

Comparaison des scénarios

Hypothèses

Consommations règlementaires

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

Typologie	Cep max
Groupe 1 - Logements collectifs neufs	RE2020 - Niveau 2028
Groupe 2 - Logements collectifs réhabilités	RT globale - 20%
Groupe 3 - Campus trilingue	RE2020 - Niveau 2028
Groupe 4 - Commerces, crèche et services	RT2012 - 30%

Surface de plancher et nombre de logements

Les surfaces de plancher et le nombre de logements considérés par typologie sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Typologie	SDP	Nombre de logements
Groupe 1 - Logements collectifs neufs	329000	5062
Groupe 2 - Logements collectifs réhabilités	12000	200
Groupe 3 - Campus trilingue	15000	0
Groupe 4 - Commerces, crèche et services	1450	0

Surface de toiture mobilisée pour l'installation de panneaux solaires thermiques

La surface mobilisable en toiture pour de la production électrique via des panneaux solaires thermique prend en compte les valeurs du tableau ci-dessous. :

Typologie de bâtiments	Surface de panneaux solaires thermiques implantée	
Groupe 1 - Logements collectifs neufs	14101 m²	11%
Groupe 2 - Logements collectifs réhabilités	557 m²	6%

Surface de toiture pour l'installation de panneaux photovoltaïque :

La surface mobilisable en toiture pour de la production électrique via des panneaux solaires photovoltaïque prend en compte les valeurs du tableau ci-dessous. :

Typologie de bâtiments	Surface de panneaux solaires implantée
Groupe 1 - Logements collectifs neufs	1/3 de la surface des plots de cette typologie d'après les données à l'état projet soit 4211 m².
Groupe 2 - Logements collectifs réhabilités	1/3 de la surface des plots de cette typologie d'après les données à l'état projet soit 3260 m².
Groupe 3 - Campus trilingue	1/3 de la surface des plots de cette typologie d'après les données à l'état projet soit 1439 m².
Groupe 4 - Commerces, crèche et services	1/3 de la surface des plots de cette typologie d'après les données à l'état projet soit 483 m².

Extension du réseau de chaleur urbain du Blanc Mesnil

Le réseau de chaleur de la ville est mis à contribution pour cette étude, la modélisation des investissements nécessite d'étendre le réseau existant sur le projet pour relier les nombreux bâtiments programmés.

Les longueurs estimées de réseau de chaleur urbain construites pour les besoins de cette étude par typologie sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

Typologie	Longueur construite
Groupe 1 - Logements collectifs neufs	2706 m
Groupe 2 - Logements collectifs réhabilités	602 m
Groupe 3 - Campus trilingue	331 m
Groupe 4 - Commerces, crèche et services	50 m

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 collectifs neufs

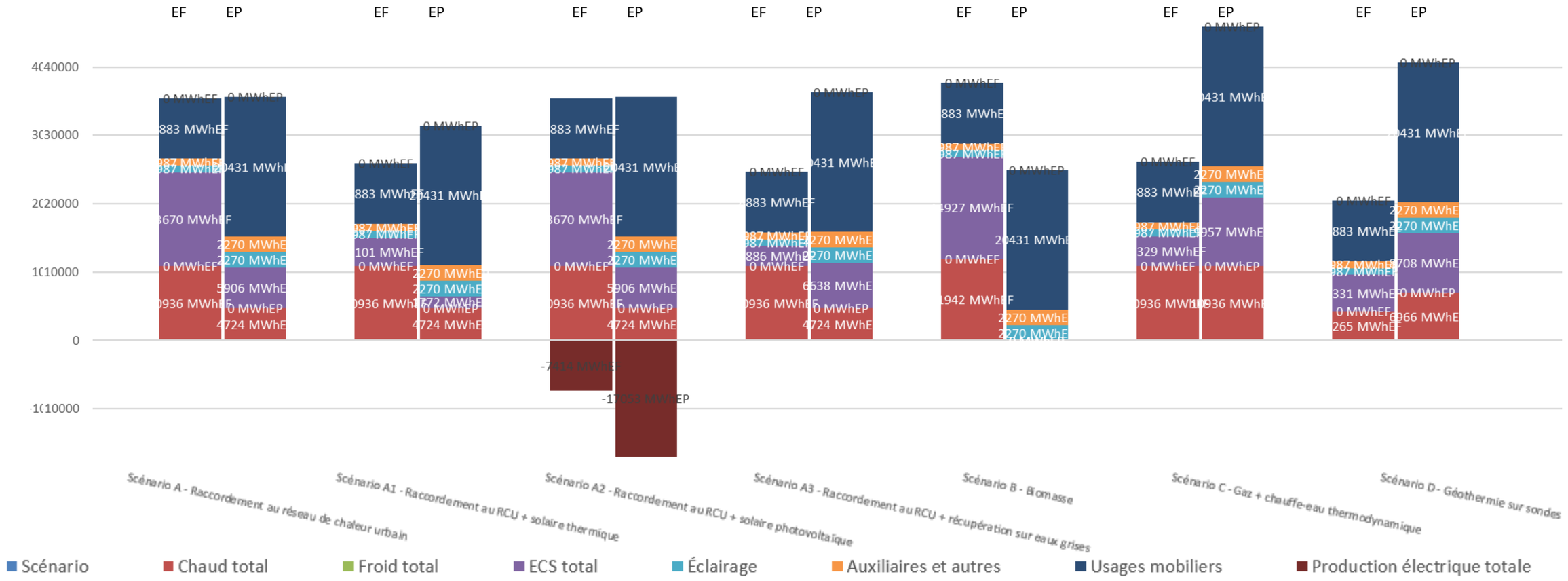
Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergie finale et primaire non renouvelables pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 1. Les données chiffrées sont présentées dans le tableau ci-après.

Globalement, l'analyse des consommations en énergie finale fait ressortir les scénarios D - Géothermie sur sonde, A3 - RCU + récupération sur eaux grises et A1 - RCU + solaire thermique comme étant les plus performants.

L'analyse des consommations en énergie primaire fait ressortir les scénarii B - Biomasse, A2 - RCU solaire photovoltaïque comme plus performant grâce à la revente de l'énergie produite. Hors photovoltaïque, les scénarios A1 -RCU + solaire thermique et A - RCU ressortent comme plus performants .

De manière générale nous pouvons voir que la consommation d'énergie des usages mobiliers occupent les postes de consommation les plus important. Malgré cela, ce poste ne rentre pas dans le périmètre de la réglementation. Les ECS sont le deuxième poste le plus consommateur et couvert par réglementation.

Par conséquent, en termes de consommations d'énergie, le scénario A1 RCU + solaire thermique, est à privilégier.



Consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 1

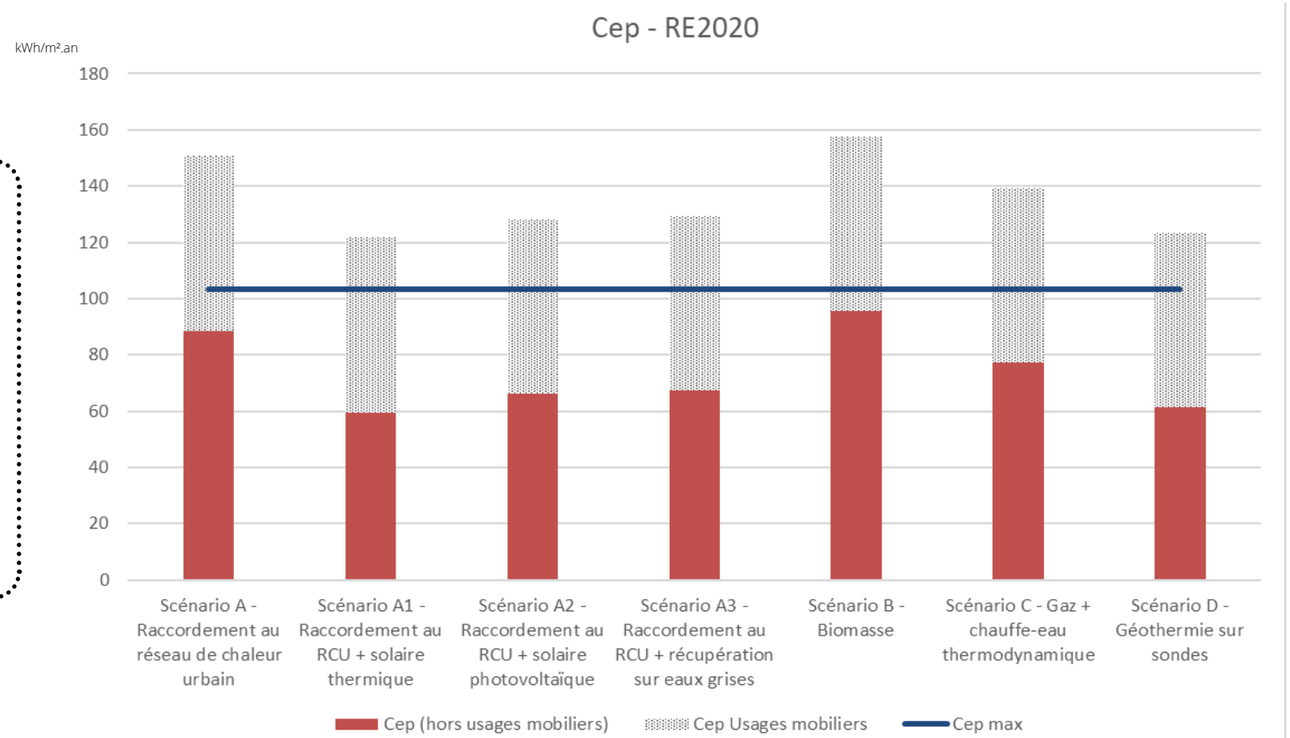
Tableau des consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 1

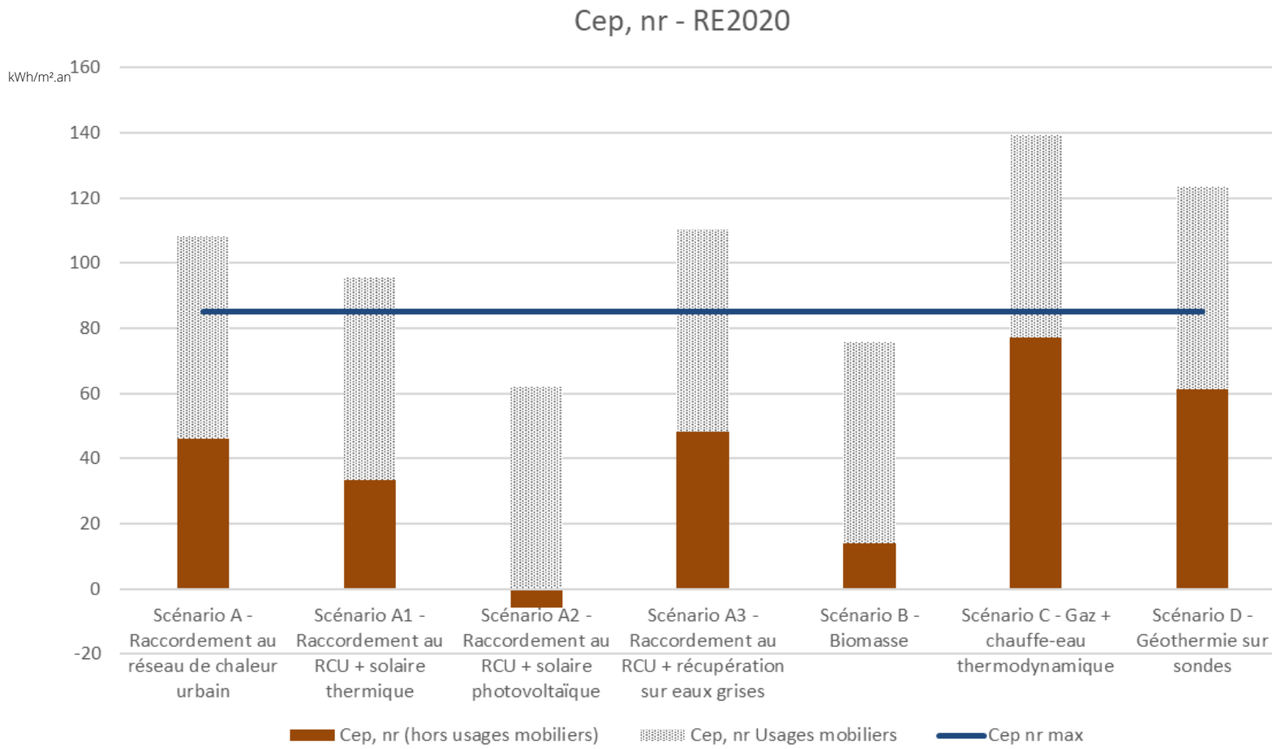
Scénario	Chaud total	Froid total	ECS total	Éclairage	Auxiliaires et autres	Usages mobiliers	Production électrique tota
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain							
	10936 MWhEF	0 MWhEF	13670 MWhEF	987 MWhEF	987 MWhEF	8883 MWhEF	0 MWhEF
	4724 MWhEP	0 MWhEP	5906 MWhEP	2270 MWhEP	2270 MWhEP	20431 MWhEP	0 MWhEP
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire thermique							
	10936 MWhEF	0 MWhEF	4101 MWhEF	987 MWhEF	987 MWhEF	8883 MWhEF	0 MWhEF
	4724 MWhEP	0 MWhEP	1772 MWhEP	2270 MWhEP	2270 MWhEP	20431 MWhEP	0 MWhEP
Scénario A2 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque							
	10936 MWhEF	0 MWhEF	13670 MWhEF	987 MWhEF	987 MWhEF	8883 MWhEF	-7414 MWhEF
	4724 MWhEP	0 MWhEP	5906 MWhEP	2270 MWhEP	2270 MWhEP	20431 MWhEP	-17053 MWhEP
Scénario A3 - Raccordement au RCU + récupération sur eaux grises							
	10936 MWhEF	0 MWhEF	2886 MWhEF	987 MWhEF	987 MWhEF	8883 MWhEF	0 MWhEF
	4724 MWhEP	0 MWhEP	6638 MWhEP	2270 MWhEP	2270 MWhEP	20431 MWhEP	0 MWhEP
Scénario B - Biomasse							
	11942 MWhEF	0 MWhEF	14927 MWhEF	987 MWhEF	987 MWhEF	8883 MWhEF	0 MWhEF
	0 MWhEP	0 MWhEP	0 MWhEP	2270 MWhEP	2270 MWhEP	20431 MWhEP	0 MWhEP
Scénario C - Gaz + chauffe-eau thermodynamique							
	10936 MWhEF	0 MWhEF	4329 MWhEF	987 MWhEF	987 MWhEF	8883 MWhEF	0 MWhEF
	10936 MWhEP	0 MWhEP	9957 MWhEP	2270 MWhEP	2270 MWhEP	20431 MWhEP	0 MWhEP
Scénario D - Géothermie sur sondes							
	4265 MWhEF	0 MWhEF	5331 MWhEF	987 MWhEF	987 MWhEF	8883 MWhEF	0 MWhEF
	6966 MWhEP	0 MWhEP	8708 MWhEP	2270 MWhEP	2270 MWhEP	20431 MWhEP	0 MWhEP

Les graphiques ci-contre représentent les Cep (consommation en énergie primaire des bâtiments) et Cep nr (consommation en énergie primaire non renouvelable) pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 1. Tous les scénarii sont en dessous du seuil de la RE2020.

Les scénarii avec les Cep les plus faibles sont les scénarii A1 - RCU + solaire thermique et D - Géothermie sur sonde, A2 - RCU + solaire photovoltaïque et A3 - RCU + récupération sur eaux grises.

Les scénarii avec les Cep nr les plus faibles sont les scénarii A2 - RCU + solaire photovoltaïque et B - RCU + Biomasse.





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

GROUPE 2 : Logements collectifs réhabilités

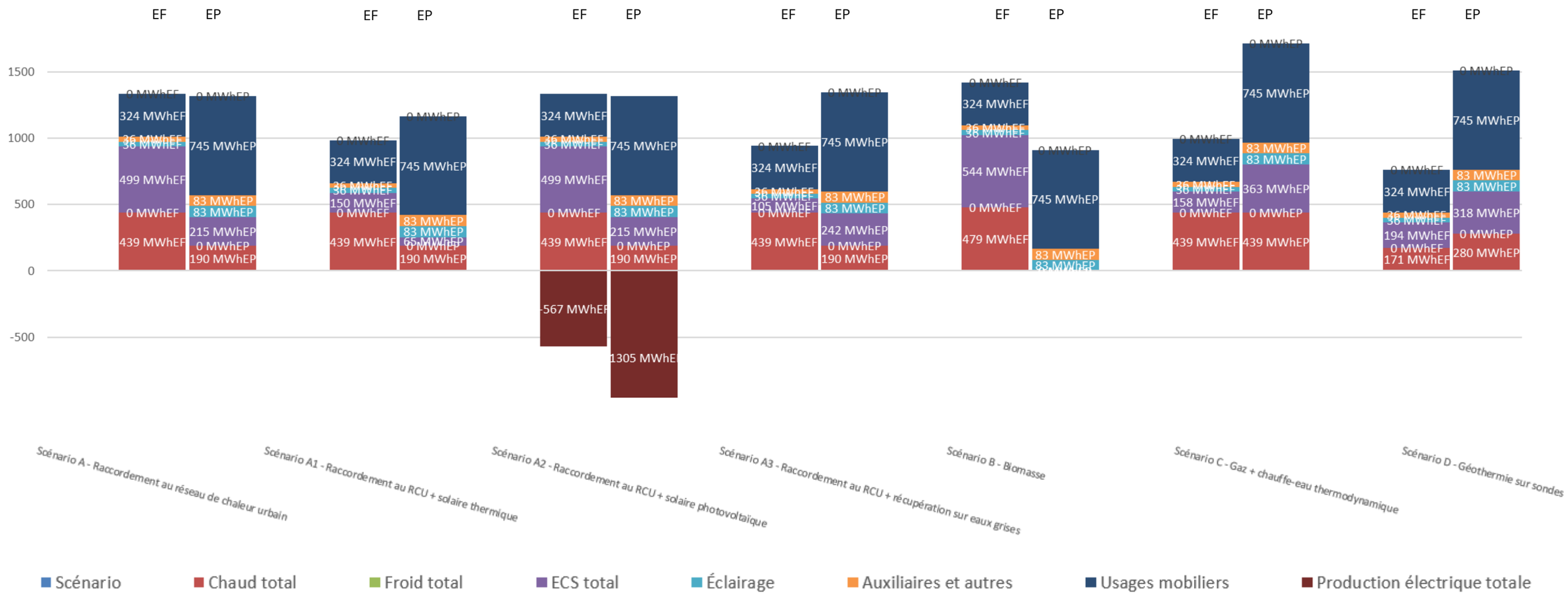
Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergies finale et primaire non renouvelables pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 2.

Les données chiffrées sont présentées dans le tableau ci-après.

L'analyse des consommations en énergie primaire fait ressortir les scénarii A1 - RCU + solaire thermique et B - Biomasse en termes de performance.

L'analyse des consommations en énergie finale fait ressortir le scénario D - Géothermie sur sonde et A3 - RCU + récupération sur eaux grises en termes de performance.

L'ajout de panneaux solaires photovoltaïques ou thermiques permet de compenser une partie des consommations comme le montre les scénarii A2 et A1.



Consommation en énergie finale et primaire - Groupe 2

Tableau des consommations en énergie finale et primaire - Groupe 2

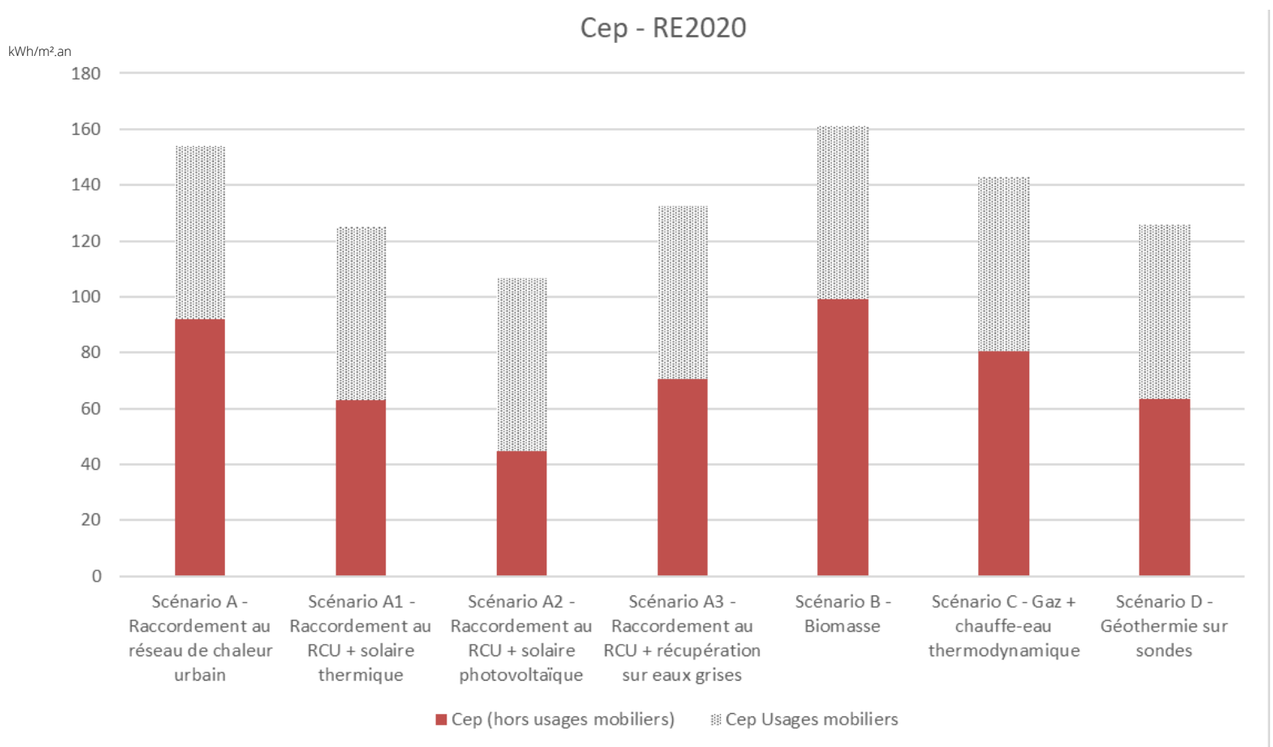
Scénario	Chaud total	Froid total	ECS total	Éclairage	Auxiliaires et autres	Usages mobiliers	Production électrique tota
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain							
	439 MWhEF	0 MWhEF	499 MWhEF	36 MWhEF	36 MWhEF	324 MWhEF	0 MWhEF
	190 MWhEP	0 MWhEP	215 MWhEP	83 MWhEP	83 MWhEP	745 MWhEP	0 MWhEP
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire thermique							
	439 MWhEF	0 MWhEF	150 MWhEF	36 MWhEF	36 MWhEF	324 MWhEF	0 MWhEF
	190 MWhEP	0 MWhEP	65 MWhEP	83 MWhEP	83 MWhEP	745 MWhEP	0 MWhEP
Scénario A2 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque							
	439 MWhEF	0 MWhEF	499 MWhEF	36 MWhEF	36 MWhEF	324 MWhEF	-567 MWhEF
	190 MWhEP	0 MWhEP	215 MWhEP	83 MWhEP	83 MWhEP	745 MWhEP	-1305 MWhEP
Scénario A3 - Raccordement au RCU + récupération sur eaux grises							
	439 MWhEF	0 MWhEF	105 MWhEF	36 MWhEF	36 MWhEF	324 MWhEF	0 MWhEF
	190 MWhEP	0 MWhEP	242 MWhEP	83 MWhEP	83 MWhEP	745 MWhEP	0 MWhEP
Scénario B - Biomasse							
	479 MWhEF	0 MWhEF	544 MWhEF	36 MWhEF	36 MWhEF	324 MWhEF	0 MWhEF
	0 MWhEP	0 MWhEP	0 MWhEP	83 MWhEP	83 MWhEP	745 MWhEP	0 MWhEP
Scénario C - Gaz + chauffe-eau thermodynamique							
	439 MWhEF	0 MWhEF	158 MWhEF	36 MWhEF	36 MWhEF	324 MWhEF	0 MWhEF
	439 MWhEP	0 MWhEP	363 MWhEP	83 MWhEP	83 MWhEP	745 MWhEP	0 MWhEP
Scénario D - Géothermie sur sondes							
	171 MWhEF	0 MWhEF	194 MWhEF	36 MWhEF	36 MWhEF	324 MWhEF	0 MWhEF

GROUPE 2 : Logements collectifs réhabilités

Les graphiques ci-contre représentent les Cep (consommation en énergie primaire des bâtiments et Cep nr (consommation en énergie primaire non renouvelable) pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 2.

On constate que les scénario avec les Cep les plus faibles sont le scénario A1 - RCU + solaire thermique, A2 - RCU + solaire photovoltaïque et D - géothermie sur sonde.

Les scénarii avec les Cep nr les plus faibles sont le B - BIomasse et A2 - RCU + solaire photovoltaïque.



Cep et Cep nr des différents scénarios par rapport au Cep max et Cep nr max - Groupe 2

GROUPE 3 : Campus trilingue

Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergies finale et primaire non renouvelable pour les différents scénarios considérés pour le groupe 3.

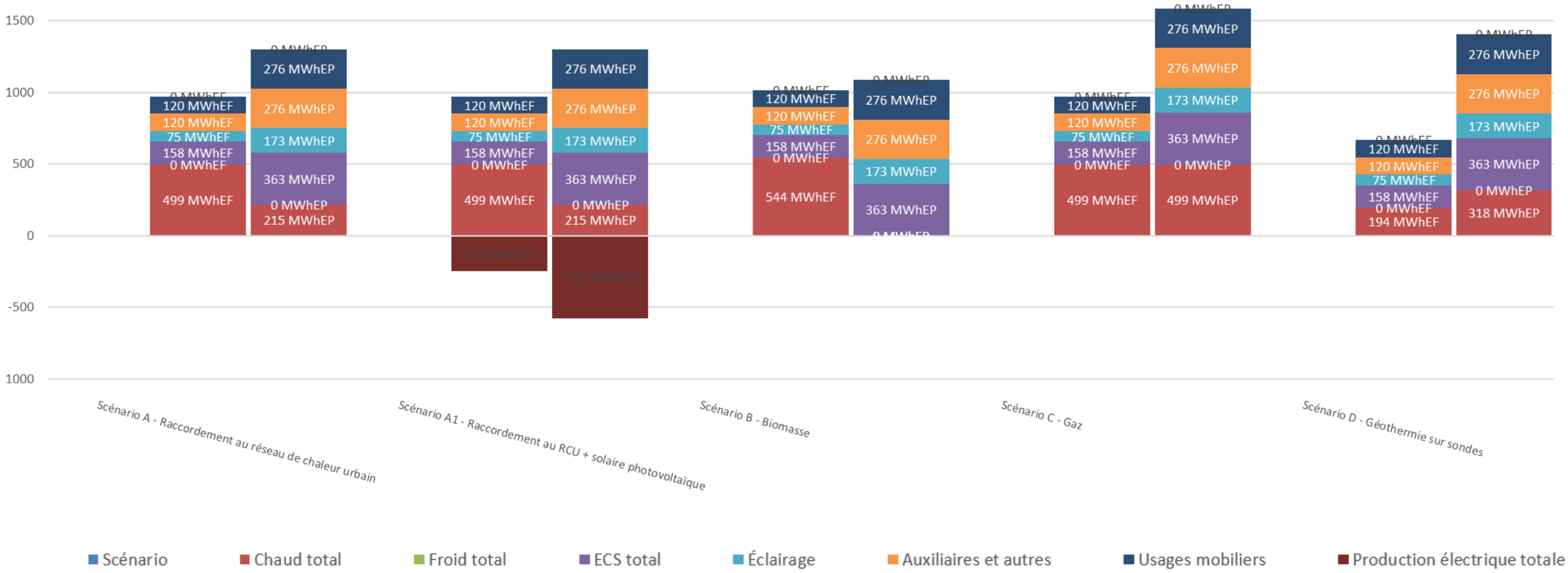
Les données chiffrées sont présentées dans le tableau ci-après.

L'analyse des consommations en énergie primaire fait ressortir les scénarii A1 - RCU + solaire photovoltaïque et B - Biomasse en termes de consommations en énergie primaire.

L'analyse des consommations en énergie finale fait ressortir le scénario D - Géothermie sur sonde et A1 - RCU + solaire photovoltaïque en termes de consommations en énergie finale.

L'ajout de panneaux solaires photovoltaïques permet de compenser une partie des consommations comme le montre le scénario A1.

.



Consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 3

Tableau des consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 3

Scénario	Chaud total	Froid total	ECS total	Éclairage	Auxiliaires et autres	Usages mobiliers	Production électrique tota
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain							
	499 MWhEF	0 MWhEF	158 MWhEF	75 MWhEF	120 MWhEF	120 MWhEF	0 MWhEF
	215 MWhEP	0 MWhEP	363 MWhEP	173 MWhEP	276 MWhEP	276 MWhEP	0 MWhEP
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque							
	499 MWhEF	0 MWhEF	158 MWhEF	75 MWhEF	120 MWhEF	120 MWhEF	-250 MWhEF
	215 MWhEP	0 MWhEP	363 MWhEP	173 MWhEP	276 MWhEP	276 MWhEP	-576 MWhEP
Scénario B - Biomasse							
	544 MWhEF	0 MWhEF	158 MWhEF	75 MWhEF	120 MWhEF	120 MWhEF	0 MWhEF
	0 MWhEP	0 MWhEP	363 MWhEP	173 MWhEP	276 MWhEP	276 MWhEP	0 MWhEP
Scénario C - Gaz							
	499 MWhEF	0 MWhEF	158 MWhEF	75 MWhEF	120 MWhEF	120 MWhEF	0 MWhEF
	499 MWhEP	0 MWhEP	363 MWhEP	173 MWhEP	276 MWhEP	276 MWhEP	0 MWhEP
	499 MWhEF	0 MWhEF	158 MWhEF	75 MWhEF	120 MWhEF	120 MWhEF	0 MWhEF
	499 MWhEP	0 MWhEP	363 MWhEP	173 MWhEP	276 MWhEP	276 MWhEP	0 MWhEP
Scénario D - Géothermie sur sondes							
	194 MWhEF	0 MWhEF	158 MWhEF	75 MWhEF	120 MWhEF	120 MWhEF	0 MWhEF
	318 MWhEP	0 MWhEP	363 MWhEP	173 MWhEP	276 MWhEP	276 MWhEP	0 MWhEP

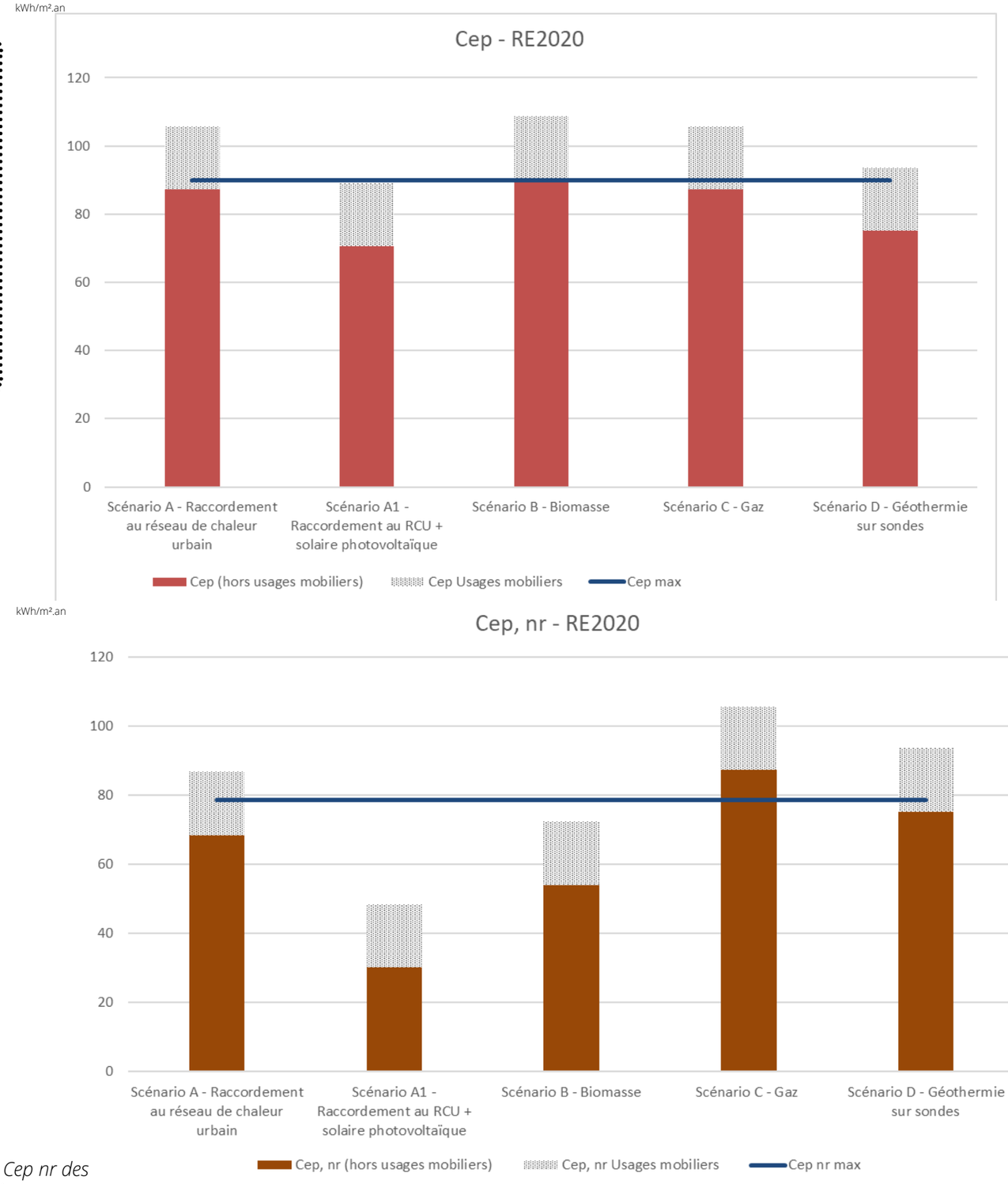
GROUPE 3 : Campus trilingue

Les graphiques ci-contre représentent les Cep (consommation en énergie primaire des bâtiments et Cep nr (consommation en énergie primaire non renouvelable) pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 3.

Le scénario B - Biomasse est légèrement au dessus du seuil réglementaire pour l'indicateur CEP tandis que le scénario C - Gaz est supérieur au seuil pour le CEP nr. Par conséquent il ne sont pas envisageables.

On constate que les scénarios avec les Cep les plus faibles sont le scénario A1 - RCU + solaire photovoltaïque et D - Géothermie sur sonde.

On constate que les scénarios avec les Cep nr les plus faibles sont le scénario A1 - RCU + solaire photovoltaïque et B - Biomasse.



Cep et Cep nr des scénarios par

Cep max et Cep nr max - Groupe 3

différ
rapp

GROUPE 4 : Commerces, services et crèche

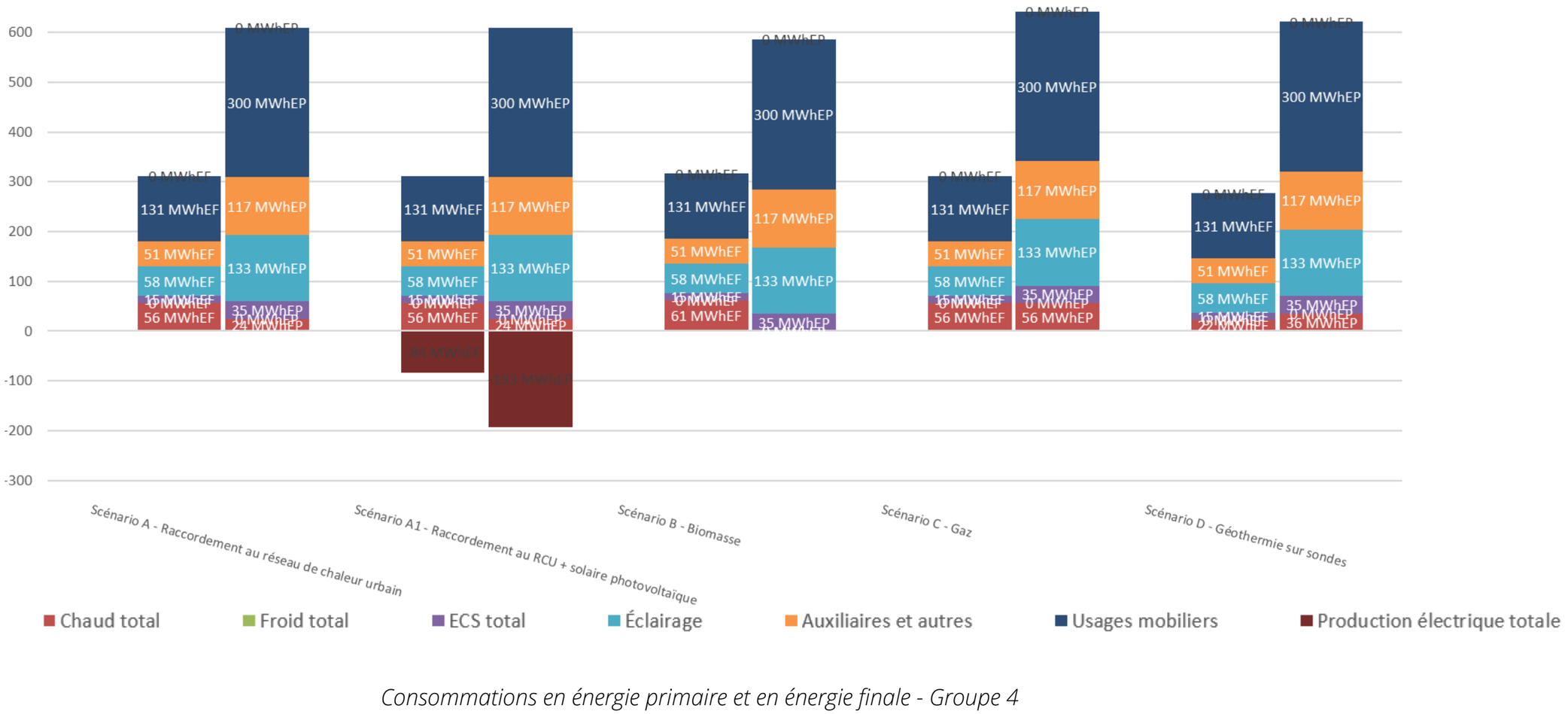
Le graphique ci-dessous synthétise les consommations en énergies finale et primaire non renouvelable pour les différents scénarios considérés pour le groupe 4.

Les données chiffrées sont présentées dans le tableau ci-après.

L'analyse des consommations en énergie primaire fait ressortir les scénarii A1 - RCU + solaire photovoltaïque et B - Biomasse en termes de performance.

L'analyse des consommations en énergie finale fait ressortir le scénario A1 - RCU + solaire photovoltaïque et D - géothermie sur sonde comme plus performants.

L'ajout de panneaux solaires photovoltaïques permet de compenser une partie des consommations comme le montre le scénario A2.



Consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 4

Tableau des consommations en énergie primaire et en énergie finale - Groupe 4

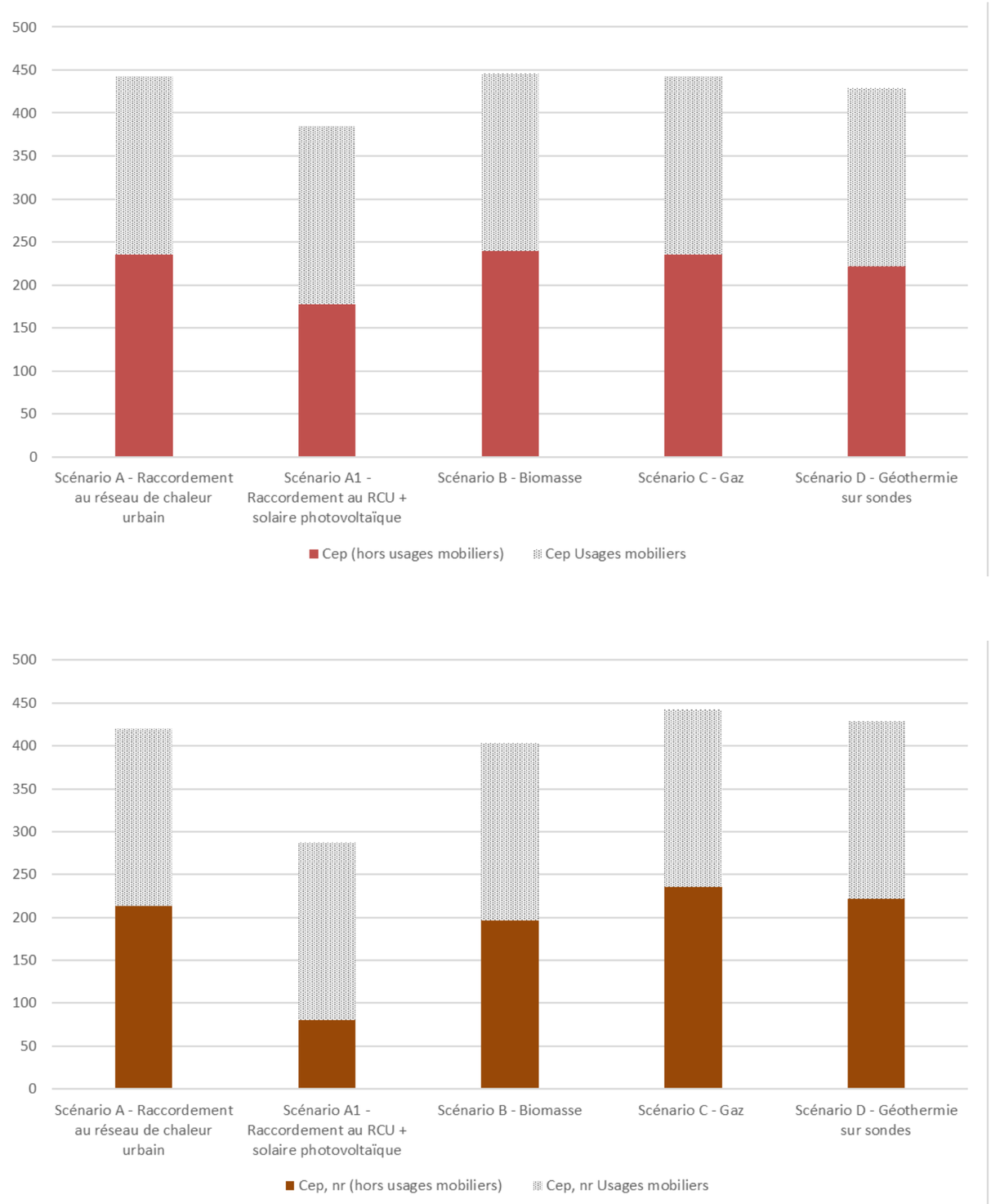
Scénario	Chaud total	Froid total	ECS total	Éclairage	Auxiliaires et autres	Usages mobiliers	Production électrique tota
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain							
	56 MWhEF	0 MWhEF	15 MWhEF	58 MWhEF	51 MWhEF	131 MWhEF	0 MWhEF
	24 MWhEP	0 MWhEP	35 MWhEP	133 MWhEP	117 MWhEP	300 MWhEP	0 MWhEP
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque							
	56 MWhEF	0 MWhEF	15 MWhEF	58 MWhEF	51 MWhEF	131 MWhEF	-84 MWhEF
	24 MWhEP	0 MWhEP	35 MWhEP	133 MWhEP	117 MWhEP	300 MWhEP	-193 MWhEP
Scénario B - Biomasse							
	61 MWhEF	0 MWhEF	15 MWhEF	58 MWhEF	51 MWhEF	131 MWhEF	0 MWhEF
	0 MWhEP	0 MWhEP	35 MWhEP	133 MWhEP	117 MWhEP	300 MWhEP	0 MWhEP
Scénario C - Gaz							
	56 MWhEF	0 MWhEF	15 MWhEF	58 MWhEF	51 MWhEF	131 MWhEF	0 MWhEF
	56 MWhEP	0 MWhEP	35 MWhEP	133 MWhEP	117 MWhEP	300 MWhEP	0 MWhEP
Scénario D - Géothermie sur sondes							
	22 MWhEF	0 MWhEF	15 MWhEF	58 MWhEF	51 MWhEF	131 MWhEF	0 MWhEF
	36 MWhEP	0 MWhEP	35 MWhEP	133 MWhEP	117 MWhEP	300 MWhEP	0 MWhEP

GROUPE 4 : Commerces, services et crèche

Les graphiques ci-contre représentent les Cep (consommation en énergie primaire des bâtiments et Cep nr (consommation en énergie primaire non renouvelable) pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 4.

On constate que les scénarii avec les Cep les plus faibles sont le scénario A1 - RCU + solaire PV puis D - Géothermie sur sonde.

Pour le Cep nr ce sont les scénarii A2 - RCU + solaire photovoltaïque et B - Biomasse.



Cep et Cep nr des scénarios par rapport au Cep max et Cep nr max - Groupe 4

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
Réseau de chaleur type cogénération gaz	
Réseau de chaleur local	0,236 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
Electricité refroidissement	0,064 kg eq CO2 / kWh
Electricité éclairage tertiaire	0,064 kg eq CO2 / kWh

ANALYSE DE L'IMPACT CARBONE

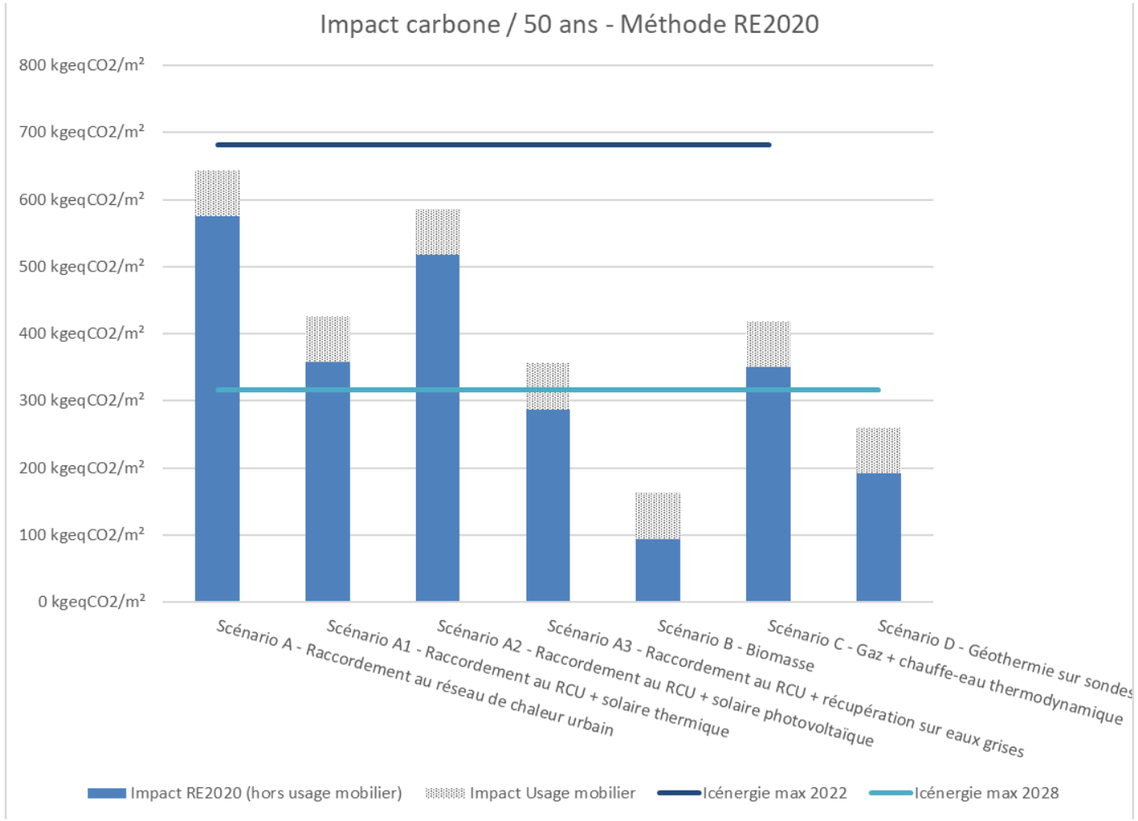
Les impacts carbone sont présentés pour chacun des groupes selon les différents scénarios.

Ces calculs ont été réalisés selon la méthode RE2020 pour les logements du groupe 1 et le campus trilingue du groupe 3. Ils sont comparés aux seuils de la RE2020 millésime 2028.

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 collectifs neufs

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



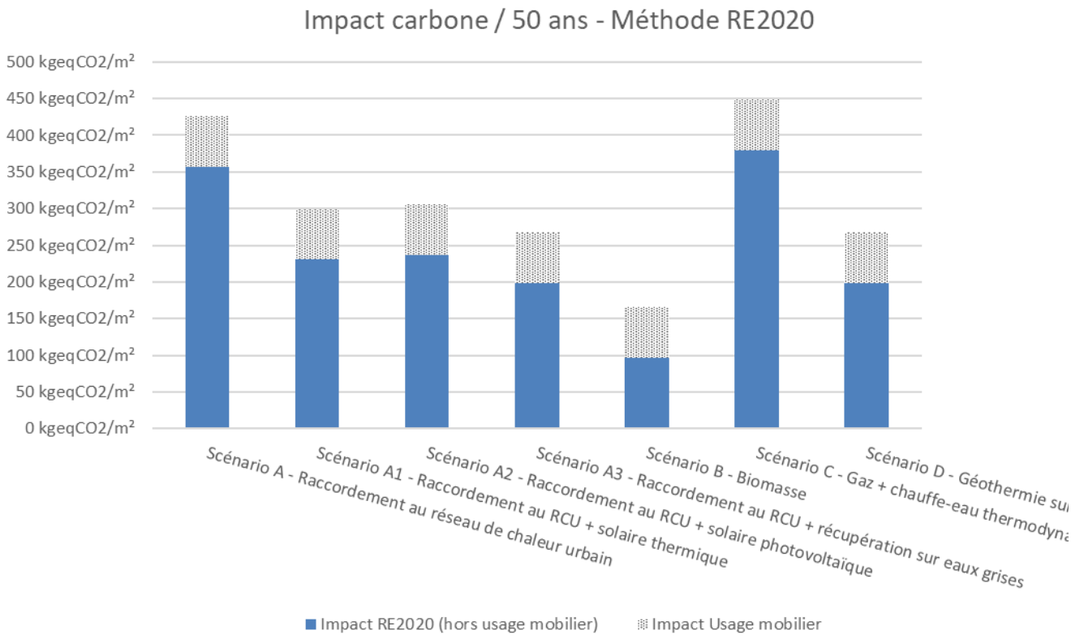
Impact carbone sur 50 ans - méthode RE2020 - Groupe 1

Les scénarios les plus favorables en termes de bilan carbone sont les scénarios B - Biomasse, D - Géothermie sur sonde et A3 - RCU + Récupération sur eaux grises. Leur impact carbone respectif est inférieur au seuil 2028 de la RE2020.

Le poids carbone des autres scénarii est supérieur au seuil 2028 de la RE2020. Par conséquent ces scénarios ne sont pas envisageables.

GROUPE 2 : Logements collectifs réhabilités

Le graphique ci-dessous synthétise l'impact carbone pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 2.



Impact carbone sur 50 ans - méthode RE2020 - Groupe 2

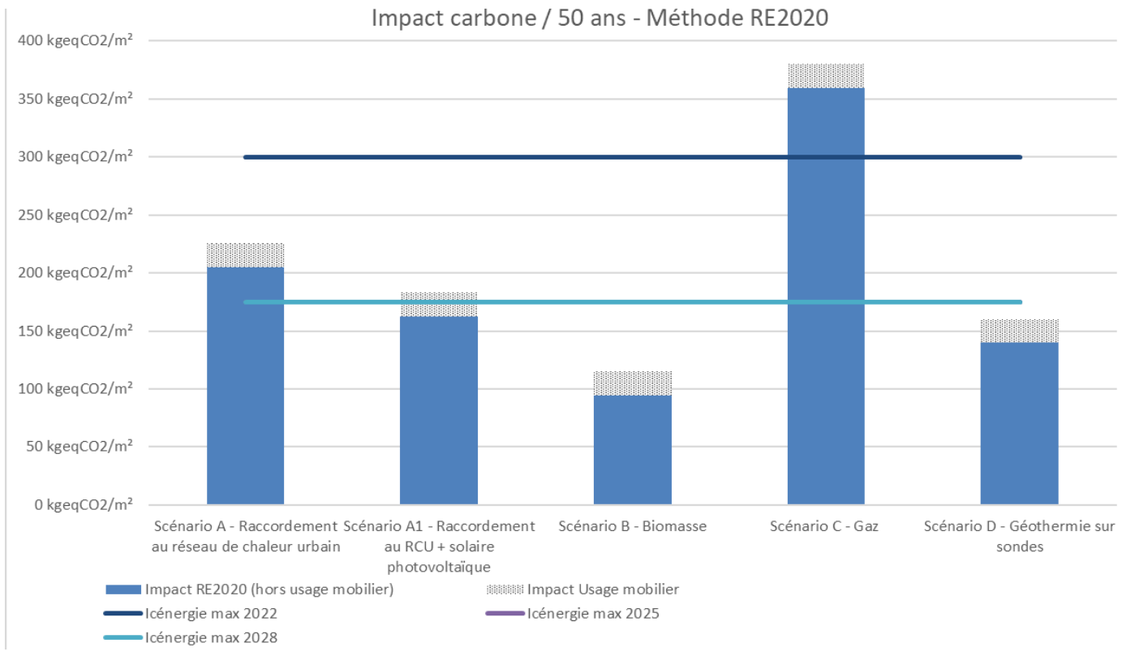
Les scénarios B - Biomasse, D - Géothermie sur sonde et A3 + RCU + Récupération sur eaux grises sont les scénarios les plus favorables pour cette typologie.

Le scénario possédant l'empreinte carbone la plus lourde est le C - gaz. Cela s'explique par son caractère d'énergie fossile, très carboné.

Le scénario RCU est le deuxième plus impactant, sur le critère de l'impact carbone, mais les panneaux solaires ainsi que la récupération d'énergie sur les eaux grises permettent de diminuer son impact carbone comme le montre les autres scénarii basés sur celui-ci (A1, A2 et A3).

GROUPE 3 : Campus trilingue

Le graphique ci-dessous synthétise l'impact carbone pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 3.



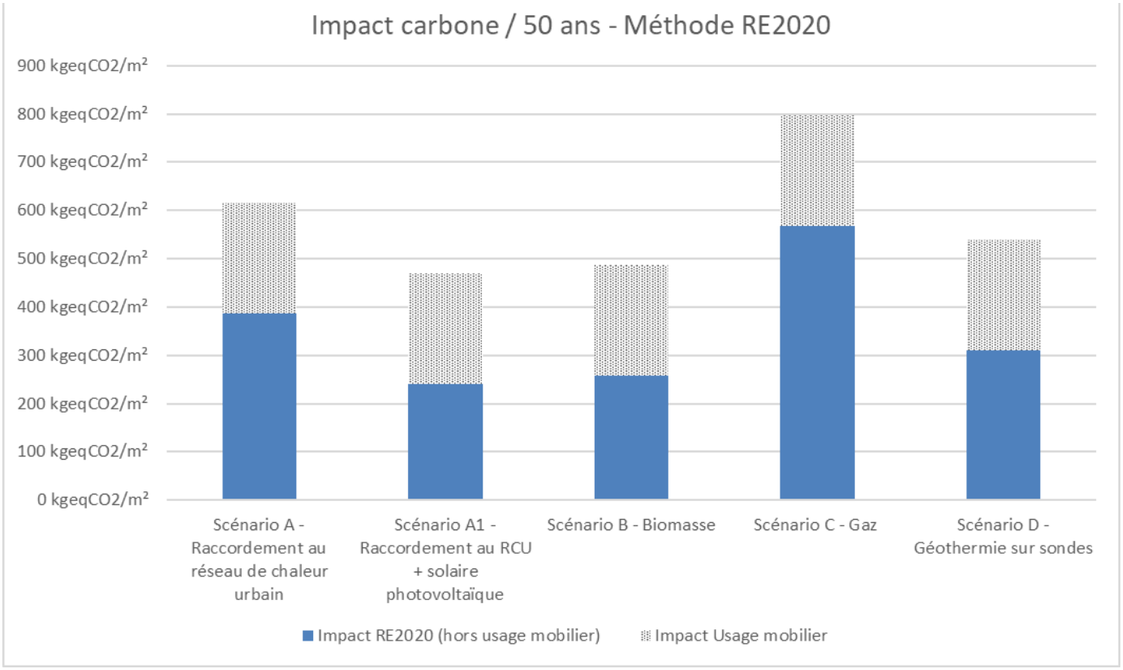
Impact carbone sur 50 ans - méthode RE2020 - Groupe 3

Les scénarii les plus impactant sont le scénario A - RCU et C - gaz. Ceux-ci dépassent d'ailleurs le seuil réglementaire 2028 de la RE2020, par conséquent ils ne sont pas envisageables. Cependant d'après le scénario A1 - RCU + PV, l'ajout de panneaux solaires photovoltaïques permet de passer sous le seuil réglementaire de la RE2020.

Les scénarios B - Biomasse et D - Géothermie sur sonde sont les scénarios les plus favorables pour le campus trilingue. Leur impact carbone est situé sous le seuil 2028 de la RE2020.

GROUPE 4 : Commerces, services et crèche

Le graphique ci-dessous synthétise l'impact carbone pour les différents scénarios pris en compte pour le groupe 4.



Impact carbone sur 50 ans - méthode RE2020 - Groupe 4

Les scénarii les plus impactant sont le scénario A - RCU et C - gaz.

D'après le scénario A1 - RCU + PV, l'ajout de panneaux solaires photovoltaïques permet de réduire l'impact carbone du scénario A - Raccordement au RCU.

Hors scénario impliquant le solaire, les scénarii B - Biomasse et D - Géothermie sur sonde sont les scénarios les plus favorables pour cette typologie.

Considérations réglementaires et méthodologiques

Fluides frigorigène

Les fluides frigorigènes sont utilisés dans les pompes à chaleur et autres dispositifs visant à établir un cycle frigorifique pour, par exemple, décarboner notre mode de vie et participer à notre confort de vie. Souvent pointés du doigt pour leur impact environnemental important leur utilisation doit être mûrement réfléchie.

Usages mobiliers

Les usages mobiliers sont caractérisés par la RT2012 comme tous les appareils ne correspondants pas aux catégories usuelles (chauffage, refroidissement, éclairage, ECS et auxiliaires). Actuellement leur impact n'est pas pris en compte par la réglementation environnementale même si il peut être significatif à l'échelle d'un projet.

Malgré cela nous avons choisi dans notre étude de présenter leur impact environnemental à titre indicatif.

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.

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

Coût de l'énergie (hors abonnements)	Professionnels (€TTC/kWhEF)	Ménages (€TTC/kWhEF)	Source
Électricité	0,1237	0,2320	Eurostat 2ème semestre 2022 (pro) - Eurostat 1er semestre 2023 (ménage)
Gaz naturel	0,0696	0,1043	Eurostat 2022 (pro) - Eurostat 1er semestre 2023 (ménage)
Bois (plaquettes)	0,0230	0,0230	Cout des énergies renouvelables ADEME - 2022
Réseau de chaleur urbain - Retenu	0,07885	0,07885	ADEME - Etude prix chaleur aura 2022

Revente électricité photovoltaïque	Vente en totalité (€TTC/kWhEF)	Vente en surplus (€TTC/kWhEF)	Source
Puissance ≤ 3 kWc	0,1779	0,1000	photovoltaïque.info -07/2021
Puissance ≤ 9 kWc	0,1512	0,1000	photovoltaïque.info -07/2021
Puissance ≤ 36 kWc	0,1095	0,0600	photovoltaïque.info -07/2021
Puissance ≤ 100 kWc	0,0952	0,0600	photovoltaïque.info -07/2021

Entretien

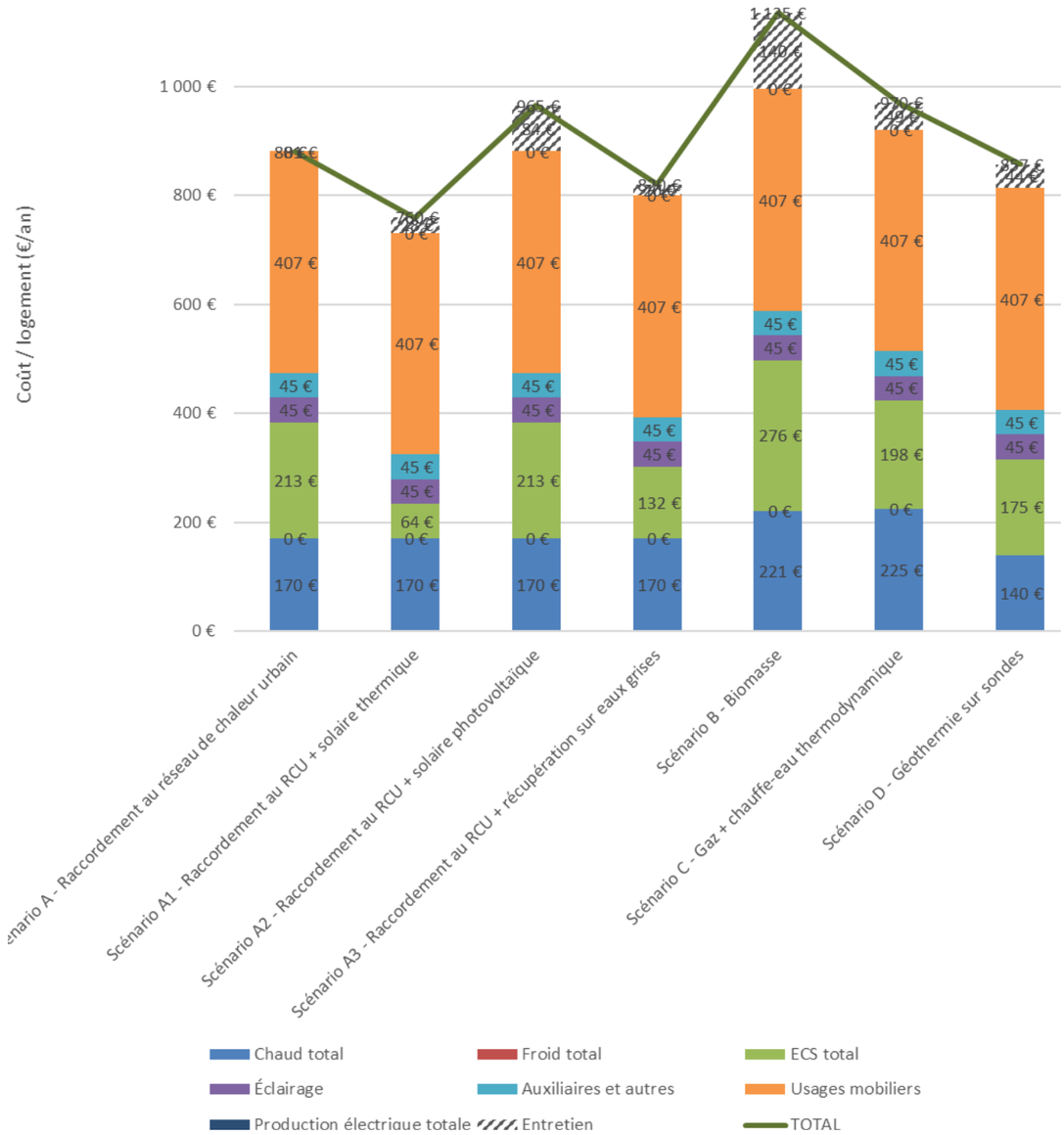
Les coûts d'entretien annuels pris en compte sont présentés dans le tableau ci-contre. Ceux-ci sont issus en partie de l'étude « Coût des énergies renouvelables ADEME - 2019 », et en partie de nos retours d'expérience.

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

Coût entretien annuel	Coût / MWh		Source
gaz (>150 kW)	10,80	€TTC/MWh	Coût des énergies renouvelables ADEME - 2022
bois	26,40	€TTC/MWh	Coût des énergies renouvelables ADEME - 2022
ballon thermo.	35,00	€TTC/MWh	
PAC nappe superficielle	30,00	€TTC/MWh	Coût des énergies renouvelables ADEME - 2022
PAC air/eau	35,00	€TTC/MWh	
PAC sur eaux grises	35,00	€TTC/MWh	
PAC double service collectif	22,00	€TTC/MWh	Consultation fournisseur (AUER) - février 2022
PAC double service individuel	84,00	€TTC/MWh	Consultation fournisseur (AUER) - février 2022

GROUPE 1 : Logements collectifs

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

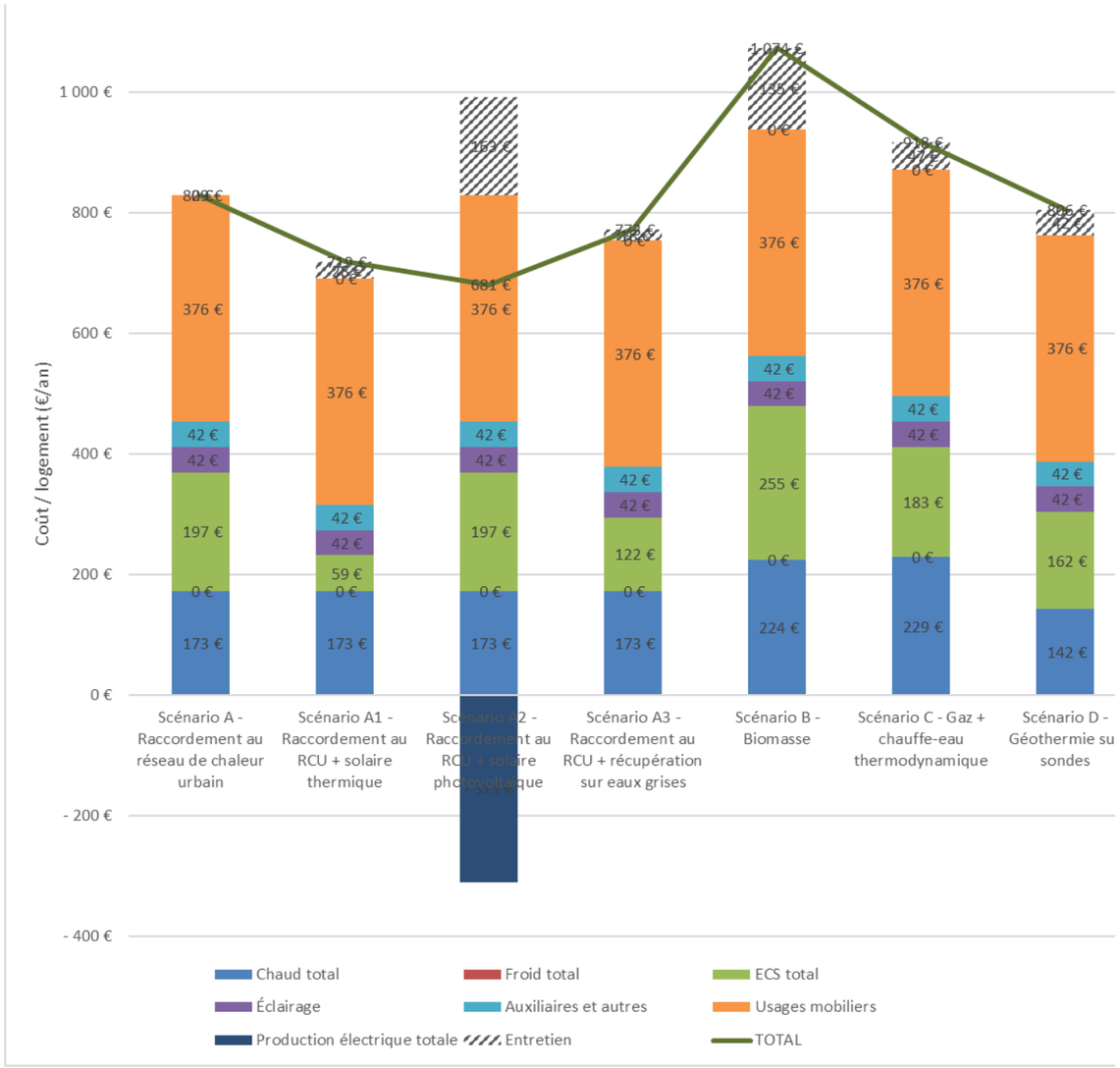


Coûts annuels - Groupe 1

Pour l'ensemble des scénarii, les coûts d'entretien annuels s'élèvent en moyenne à 889 € par logement et par an. La Biomasse est responsable des coûts les plus importants tandis que les scénarii les plus accessibles sont constitués des alternatives A2 - RCU/solaire thermique, D - géothermie sur sonde et A3 - RCU/récupération de chaleur sur eaux grises.

GROUPE 2 : Logements collectifs réhabilités

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



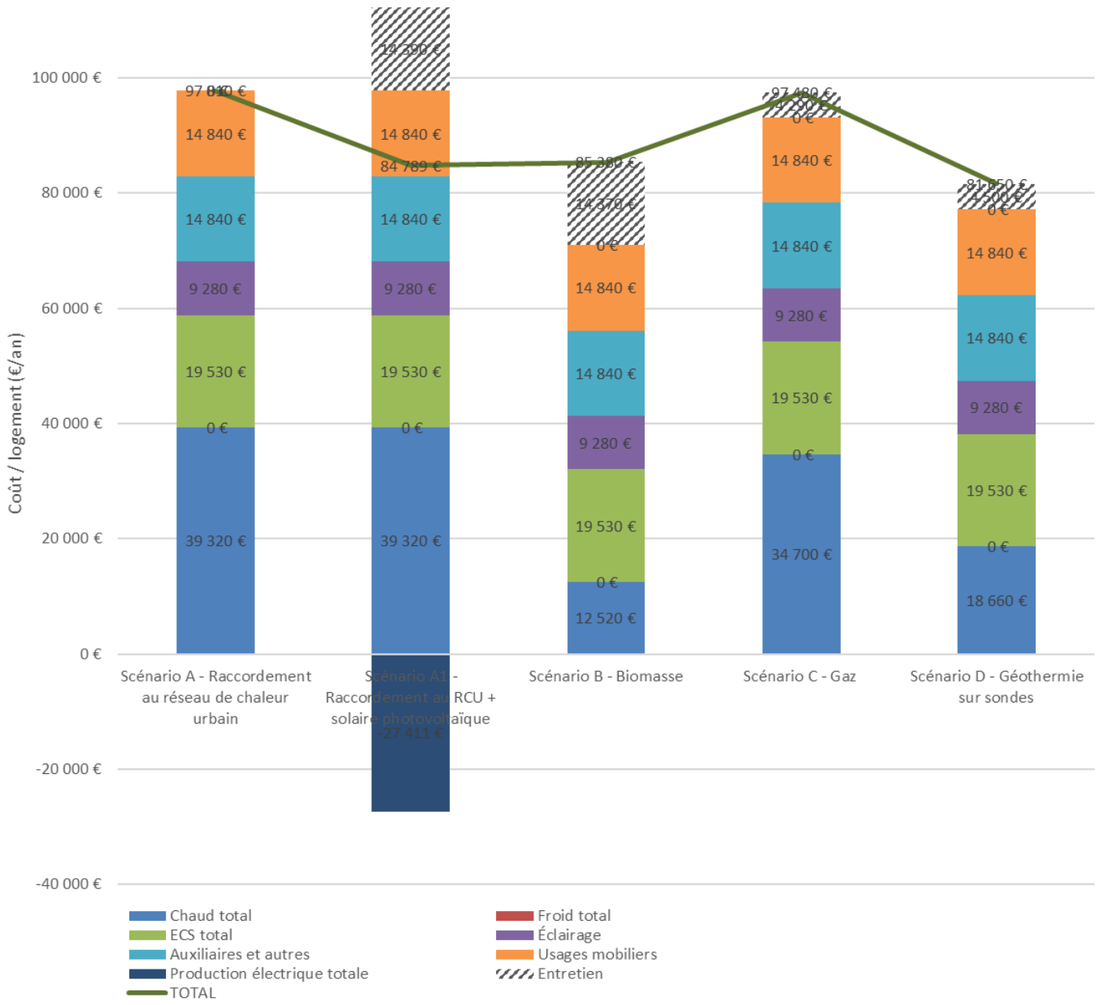
Coûts énergie et entretien annuels - Groupe 2

Pour les logements collectifs réhabilités, les scénarios permettant les factures annuelles les plus réduites sont le scénario A1 - RCU + solaire thermique et le scénario A3 - RCU + récupération sur eaux grises (hors scénario Solaire PV).

Le scénario intégrant des panneaux solaires photovoltaïques permet de compenser une partie des coûts en chaud, en éclairage. De ce fait ce scénario permet la facture la plus faible.

GROUPE 3 : Campus trilingue

Le graphique ci-dessous synthétise les coûts en énergies et en entretien annuel pour les différents scénarios pris en compte pour l'ensemble des bâtiments du groupe 3.



Coûts annuels - Groupe 3

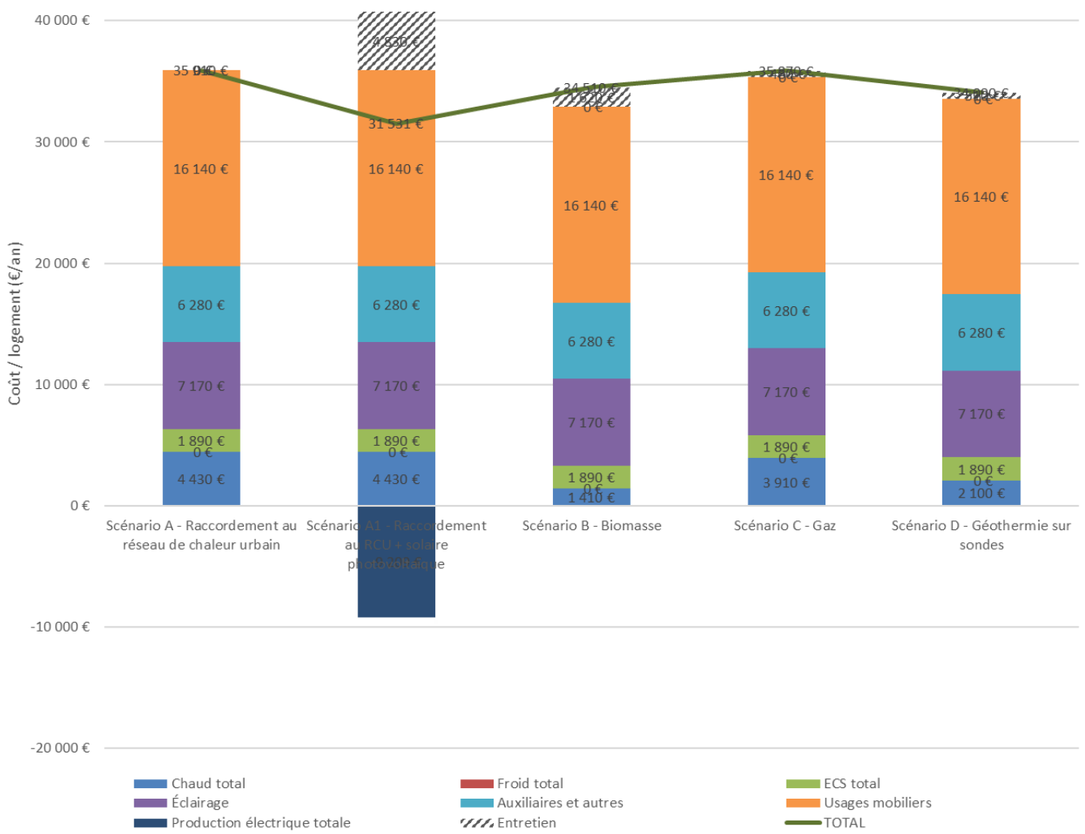
Pour le campus trilingue, les scénarios permettant les factures annuelles les plus réduites sont le scénario B - Biomasse et le scénario D - Géothermie sur sonde (hors scénario Solaire PV).

Le scénario intégrant des panneaux solaires photovoltaïques permet de compenser une partie des coûts en chaud, en éclairage, en auxiliaires et en entretien. Au total la production et revente de l'énergie produite permet de réduire les coûts à 85380 €.

Sur l'ensemble des scénarii la moyenne des coût annuels se situe autour de 89422€ pour l'ensemble des bâtiments de la typologie.

GROUPE 4 : Commerces, services et crèche

Le graphique ci-dessous synthétise les coûts en énergies et en entretien annuels pour les différents scénarios et pris en compte pour l'ensemble des bâtiments du groupe 3.



Coûts annuels - Groupe 3

Pour les commerces, les scénarios permettant les factures annuelles les plus réduites, sur l'ensemble des bâtiments de cette typologie, sont le scénario A1 - RCU + solaire photovoltaïque et le scénario D - Géothermie sur sonde.

Le scénario intégrant des panneaux solaires photovoltaïques permet d'optimiser l'investissement économique sur la production électrique totale et de compenser une partie des coûts en chaud, en éclairage, en auxiliaires et en entretien.

Sur tous les scénarios la moyenne se situe à 34382 € par an pour l'ensemble des bâtiments du groupe 4.

Approche en coût global

PRINCIPES

Une approche en coût globale sur 25 ans[1] est menée sur la production de chaud (chauffage et ECS) 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. Pour cette même raison les coûts associés à l'installation de ballons d'eau chaude sanitaire dans les typologies tertaires ne sont pas pris en compte. 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. Pour le gaz, l'électricité et le bois en plaquette 5 %.

L'étude ne prend pas en compte les possibles subventions qui peuvent influencer les choix de raccordement énergétiques.

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 (+5% 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.

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.

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 = Investissement + P1 + P2 - P3 - P4
- Avec Investissement : voir partie suivante
- P1 = Conso x prix de l'énergie
- P2 = Conso x prix de la maintenance
- P3 = Energie revendue x prix de revente
- P4 = Montant subventions (voir partie suivante)

Pour les années suivantes « n » :

- Cn = P1n + P2n - P3n - P4n
- Avec P1n = P1n-1 x (1 + taux d'inflation énergie) / (1 + taux d'actualisation)
- P2n = P2n-1 / (1 + taux d'actualisation)
- P3n = P3n-1 / (1 + taux d'inflation énergie) x (1 - taux dégradation) / (1 + taux d'actualisation)
- P4n = P4n-1 / (1 + 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.

Solaire

Les donnée sont basées sur l'étude de l'ADEME Coût des énergies renouvelables - 2019.

Pour les panneaux solaires thermiques nous considérons un coût d'installation moyen de 980 €TTC/m^2 ainsi qu'un coût d'installation de 3000 €/bâtiment.

Pour les panneaux solaires hybrides nous considérons un coût d'installation moyen de 800 €TTC/m^2 et un coût d'installation de 3000 €/bâtiment.

Pour le photovoltaïque le coût d'investissement moyen est de 1,10 €/Wc pour une puissance installée comprise entre 36 et 100 kWc.

Bois

Sur base de données de l'étude sur le coût des énergies renouvelables 2022 de l'ADEME

On considère un investissement de 1558.8 €TTC/kW pour les chaudières de faible puissance (<500kW) et de 1542 €TTC/kW pour les appareils de moyenne et forte puissance(>500kW).

On considère un ratio de puissance installée de 0,05 kW/m².

Réseau de chaleur urbain

Nous modélisons un coût global constitué de 600 €TTC/ml de réseau construit, de 30 000 €TTC/ sous-station (estimées au nombre de 59 pour le groupe 1, 4 pour le groupe 2, 5 pour le groupe 3, 3 pour le groupe 4).

Les hypothèses de construction pour le réseau varient suivant la proximité du bâtiment considéré au réseau existant (2706 m pour le groupe 1, 331 m pour le groupe 2, 50 m pour le groupe 4).

Chauffe eau thermodynamique

D'après les données 2018 du logiciel Batichiffrage, on considère un prix d'investissement pour un ballon thermodynamique de 833€ par logement collectif.

Géothermie sur sonde

Les données sont basées sur l'étude de l'ADEME Coût des énergies renouvelables - 2019.

Nous considérons un coût d'investissement de 1674 €/kW h/an.

Récupération d'énergie sur eaux grises

Sur la base de retours d'expérience nous modélisons un coût d'investissement pour l'achat de pompe à chaleur de 2700€ par logement.

GROS RENOUVELLEMENT

Sur une analyse sur 25 ans, on considère qu'aucun équipement technique n'a fait l'objet de renouvellement..

On considère que les réseaux ont une durée de vie supérieures ou égales à 50 ans.

HYPOTHESES SUR LES SUBVENTIONS

L'obtention de subventions n'étant pas automatique et dépendant d'une approche globale ou séparée par lots, 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.

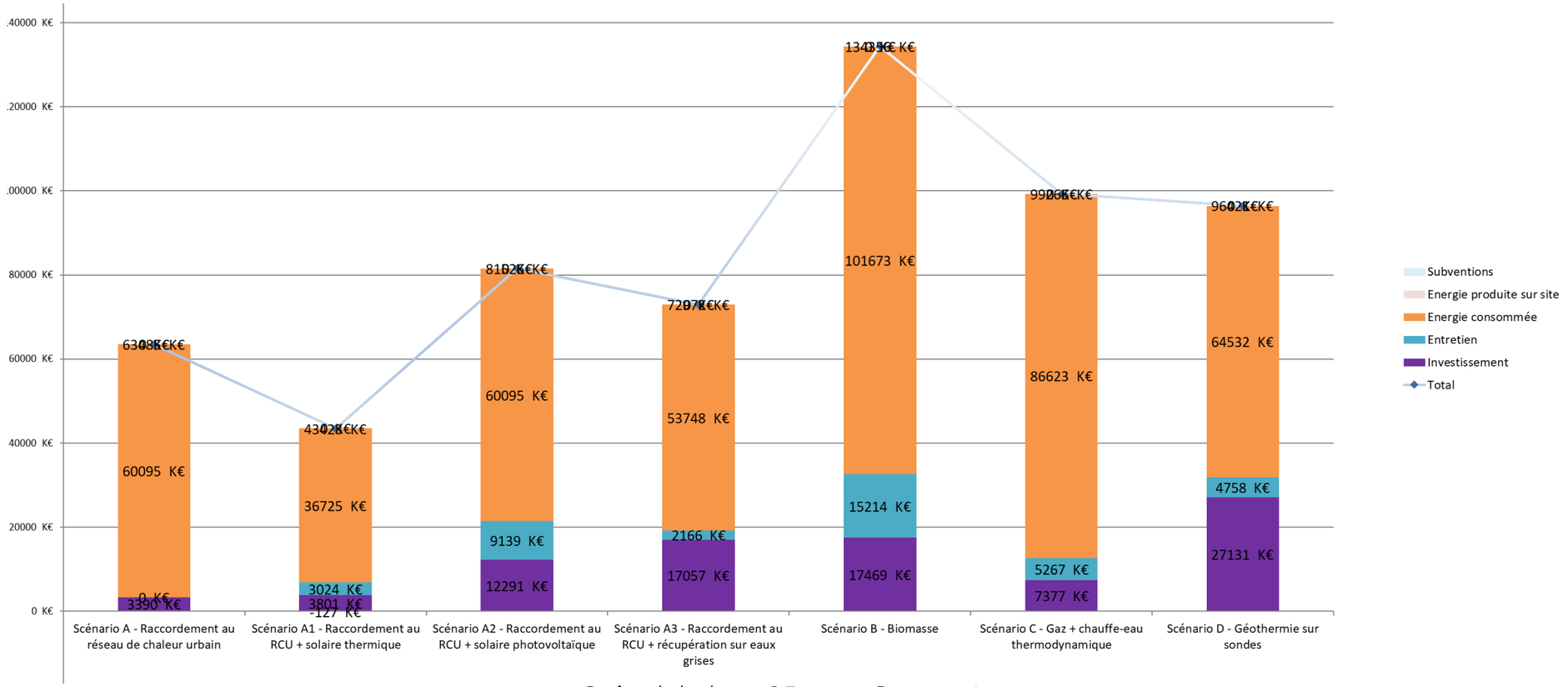
GROUPE 1 : Logements collectifs neufs

Le graphe du coût global sur 25 ans et l'évolution des coûts sur 25 ans sont présentées respectivement ci-dessous et ci-après. Le tableau des valeurs relatives au coût global sur 25 ans est disponible ci-après.

Les scénarios les plus intéressants pour les activités résidentielles sont les scénarii intégrant le RCU (A, A1, A2 et A3). Parmi ces derniers nous pouvons observer que le couplage avec une autre solution technologique permet de réduire la quantité d'énergie consommée.

Les scénario intégrant des panneaux solaires permettent d'effacer en partie (-32% avec les panneaux thermiques, -20% avec les panneaux photovoltaïques par rapport au scénario A) le surplus des coûts liés aux investissements initiaux et l'entretien, sur les 25 ans étudiés.

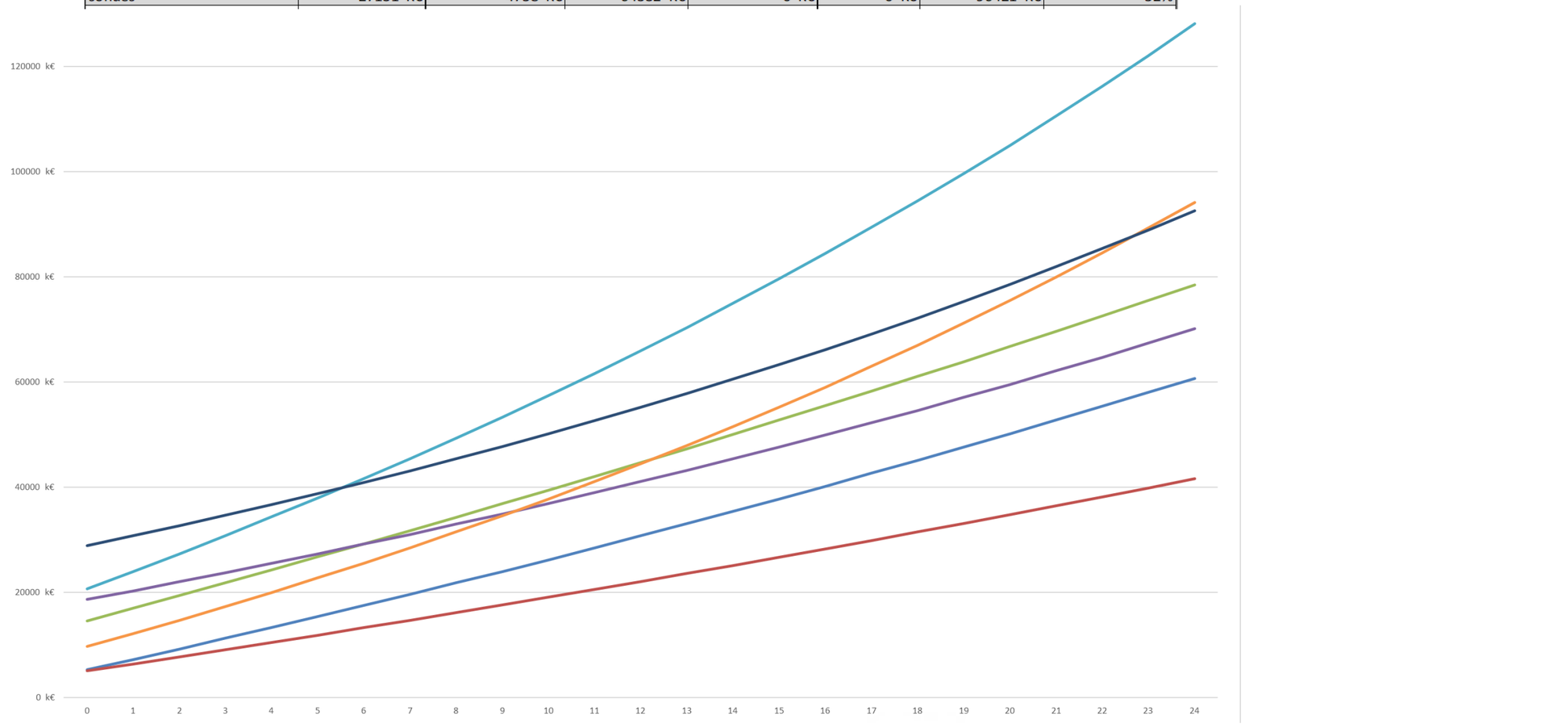
De façon générale, l'analyse en coût global montre que la majorité des dépenses sont liées à l'énergie consommée puis à l'investissement. Cela est dû au contexte actuel avec des augmentations des prix de l'énergie.



Coût global sur 25 ans - Groupe 1

Tableau du coût global sur 25 ans - Groupe 1

Scénario	Investissement	Entretien	Energie consommée	Energie produite sur site	Subventions	Total	Comparaison au Scénario de réf
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	3390 K€	0 K€	60095 K€	0 K€	0 K€	63485 K€	0%
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire thermique	3801 K€	3024 K€	36725 K€	0 K€	-127 K€	43423 K€	-32%
Scénario A2 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque	12291 K€	9139 K€	60095 K€	0 K€	0 K€	81526 K€	28%
Scénario A3 - Raccordement au RCU + récupération sur eaux grises	17057 K€	2166 K€	53748 K€	0 K€	0 K€	72972 K€	15%
Scénario B - Biomasse	17469 K€	15214 K€	101673 K€	0 K€	0 K€	134356 K€	112%
Scénario C - Gaz + chauffe-eau thermodynamique	7377 K€	5267 K€	86623 K€	0 K€	0 K€	99266 K€	56%
Scénario D - Géothermie sur sondes	27131 K€	4758 K€	64532 K€	0 K€	0 K€	96421 K€	52%



Coût global sur 25 ans - Groupe 1

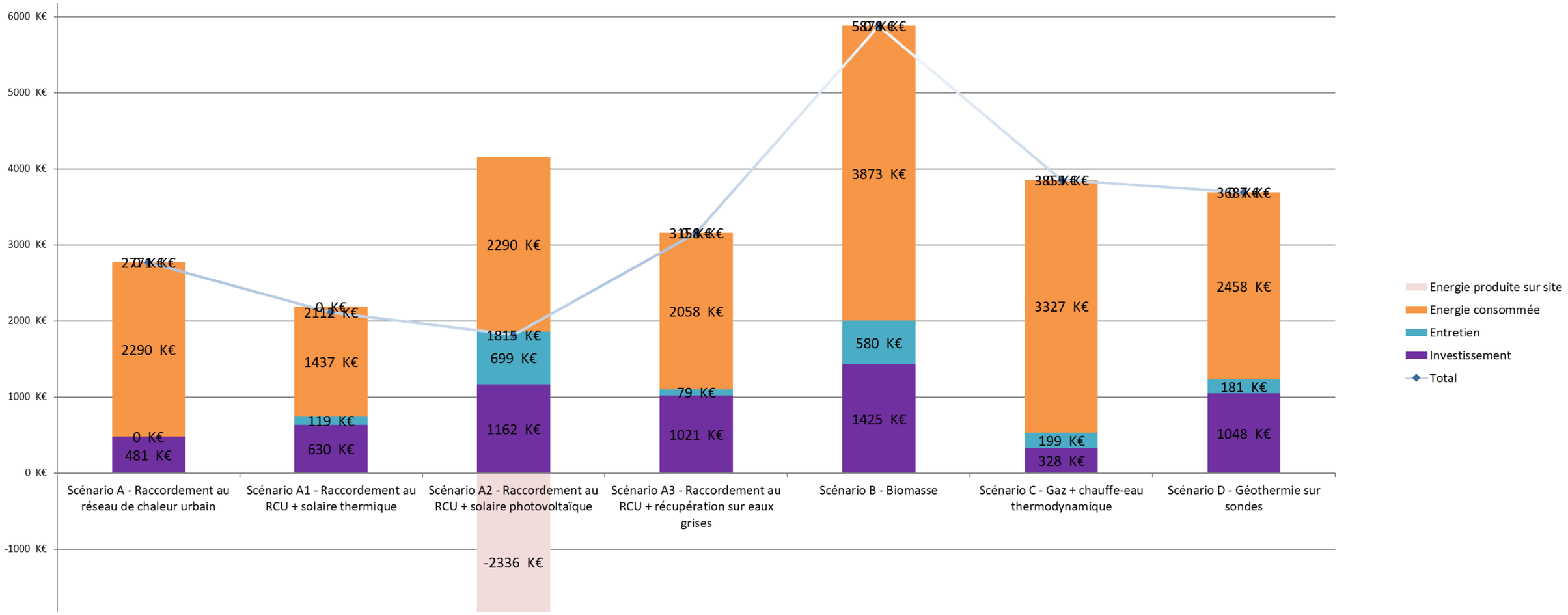
GROUPE 2 : Logements collectifs réhabilités

Le graphe du coût global sur 25 ans et l'évolution des coûts sur 25 ans sont présentés respectivement ci-dessous et ci-après. Le tableau des valeurs relatives au coût global sur 25 ans est disponible ci-après.

Le scénario le moins coûteux est le scénario A2 dont les panneaux photovoltaïques qui permettent de réduire le coût global. En effet, le coût d'investissement des panneaux solaires photovoltaïques permet un retour sur investissement face au coût de l'énergie consommée.

En dehors du scénario incluant des panneaux photovoltaïques, les plus intéressants pour les logements collectifs réhabilités sont les scénarii impliquant le RCU de la ville (A, A1 et A3).

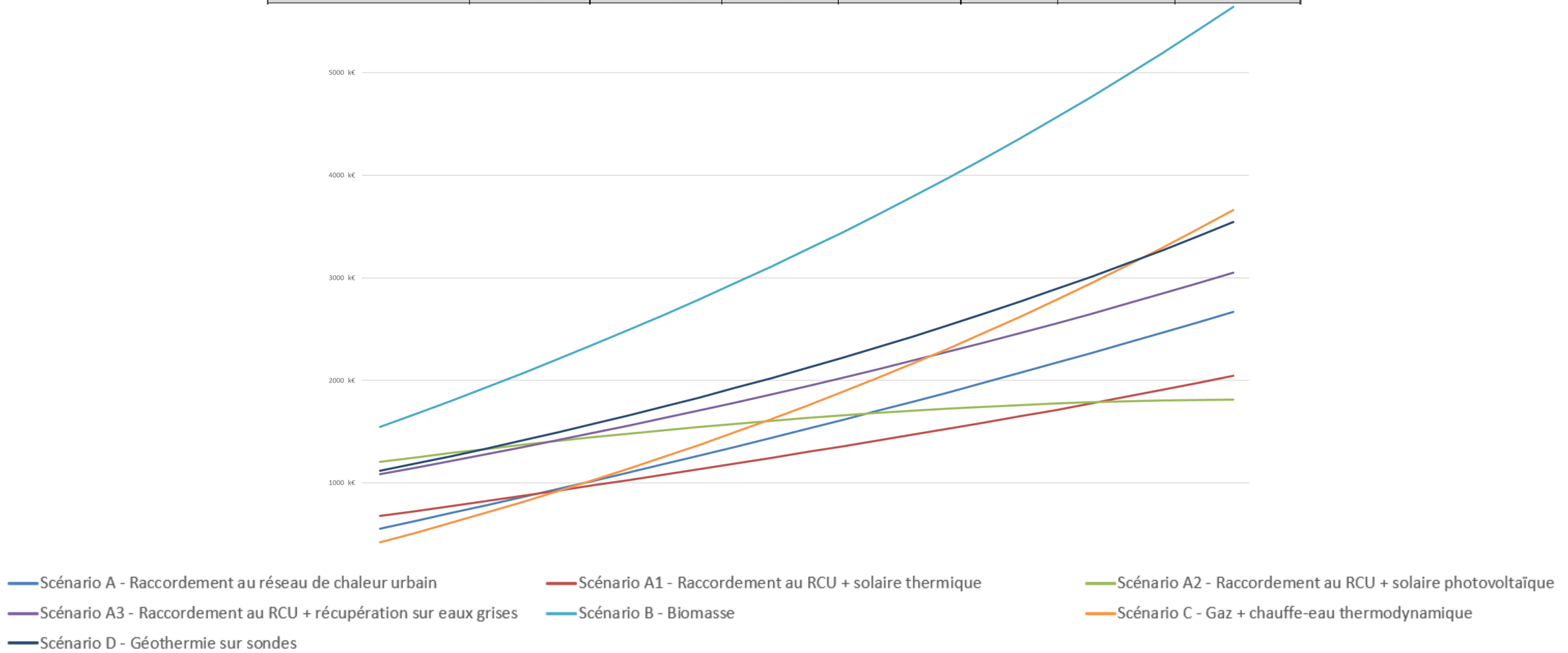
L'analyse en coût global montre que la majorité des dépenses sont liées à l'énergie consommée. Cela est dû au contexte actuel avec des augmentations significatives des prix de l'énergie.



Coût global sur 25 ans - Groupe 2

Tableau du coût global sur 25 ans - Groupe 2

,	Investissement	Entretien	Energie consommée	Energie produite sur site	Subventions	Total	Comparaison au Scénario de réf
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	481 K€	0 K€	2290 K€	0 K€	0 K€	2771 K€	0%
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire thermique	630 K€	119 K€	1437 K€	0 K€	-74 K€	2112 K€	-24%
Scénario A2 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque	1162 K€	699 K€	2290 K€	-2336 K€	0 K€	1815 K€	-34%
Scénario A3 - Raccordement au RCU + récupération sur eaux grises	1021 K€	79 K€	2058 K€	0 K€	0 K€	3158 K€	14%
B - Biomasse	1425 K€	580 K€	3873 K€	0 K€	0 K€	5878 K€	112%
Scénario C - Gaz + chauffe-eau thermodynamique	328 K€	199 K€	3327 K€	0 K€	0 K€	3855 K€	39%
Scénario D - Géothermie sur sondes	1048 K€	181 K€	2458 K€	0 K€	0 K€	3687 K€	33%



Coût global sur 25 ans - Groupe 2

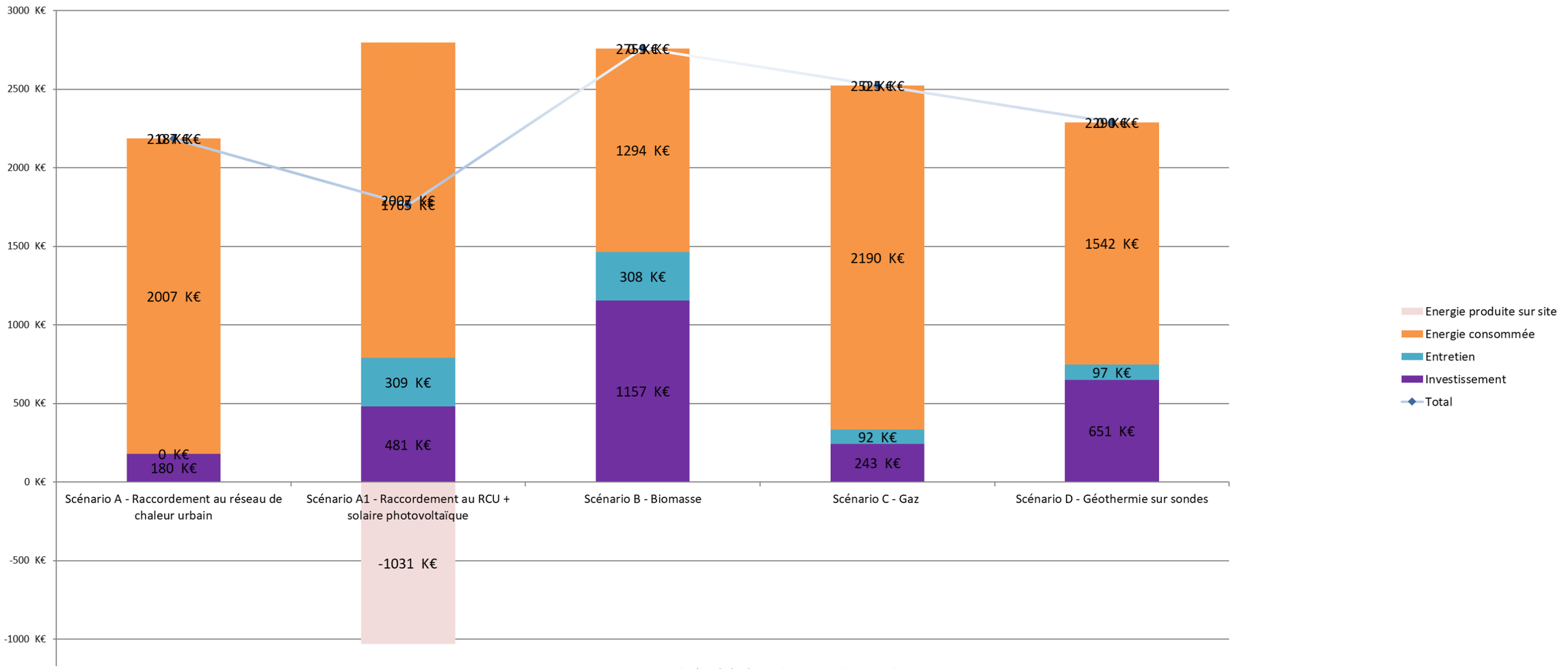
GROUPE 3 : Campus trilingue

Le graphe du coût global sur 25 ans et l'évolution des coûts sur 25 ans sont présentés respectivement ci-dessous et ci-après pour le groupe 3. Le tableau des valeurs relatives au coût global sur 25 ans est disponible ci-après.

Le scénario le moins coûteux est le scénario A2 dont les panneaux photovoltaïques permettent de réduire le coût global. En effet, le coût d'investissement des panneaux solaires photovoltaïques permet un retour sur investissement face au coût de l'énergie consommée, en 10 et 13 ans environ resectivement par rapport au scénario A - RCU.

En dehors du scénario incluant des panneaux photovoltaïques, le plus intéressant pour le campus trilingue est le scénario A - RCU, puis D - Géothermie sur sonde

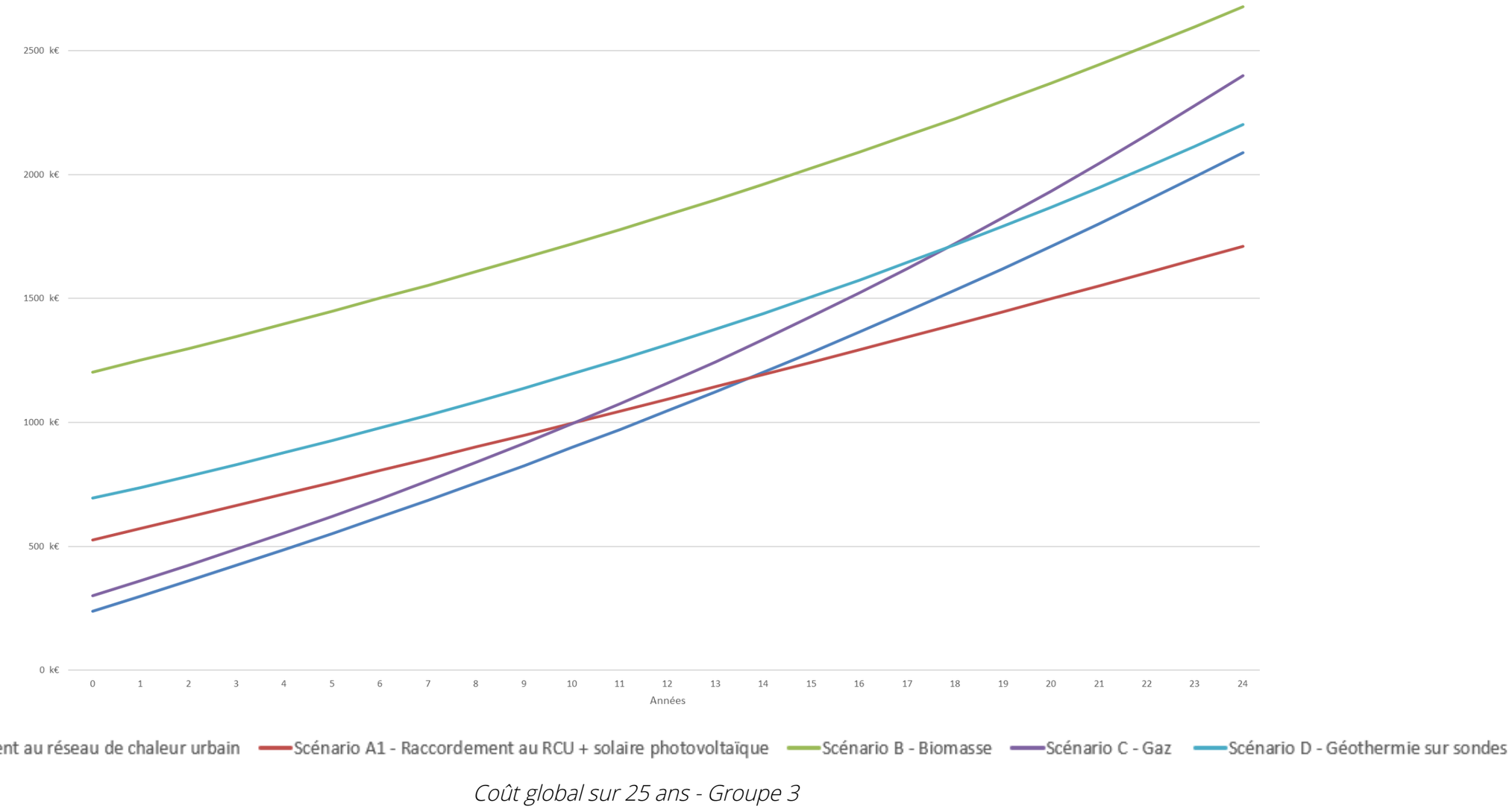
L'analyse en coût global montre que la majorité des dépenses sont liées à l'énergie consommée. Cela est dû au contexte actuel avec des augmentations significatives des prix de l'énergie. En effet, les prix du gaz, de l'électricité et du bois ont augmenté significativement ces derniers temps.



Coût global sur 25 ans - Groupe 3

Tableau du coût global sur 25 ans - Groupe 3

Scénario	Investissement	Entretien	Energie consommée	Energie produite sur site	Subventions	Total	Comparaison au Scénario de réf
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	180 K€	0 K€	2007 K€	0 K€	0 K€	2187 K€	0%
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque	481 K€	309 K€	2007 K€	-1031 K€	0 K€	1765 K€	-19%
Scénario B - Biomasse	1157 K€	308 K€	1294 K€	0 K€	0 K€	2759 K€	26%
Scénario C - Gaz	243 K€	92 K€	2190 K€	0 K€	0 K€	2525 K€	15%
Scénario D - Géothermie sur sondes	651 K€	97 K€	1542 K€	0 K€	0 K€	2290 K€	5%



Coût global sur 25 ans - Groupe 3

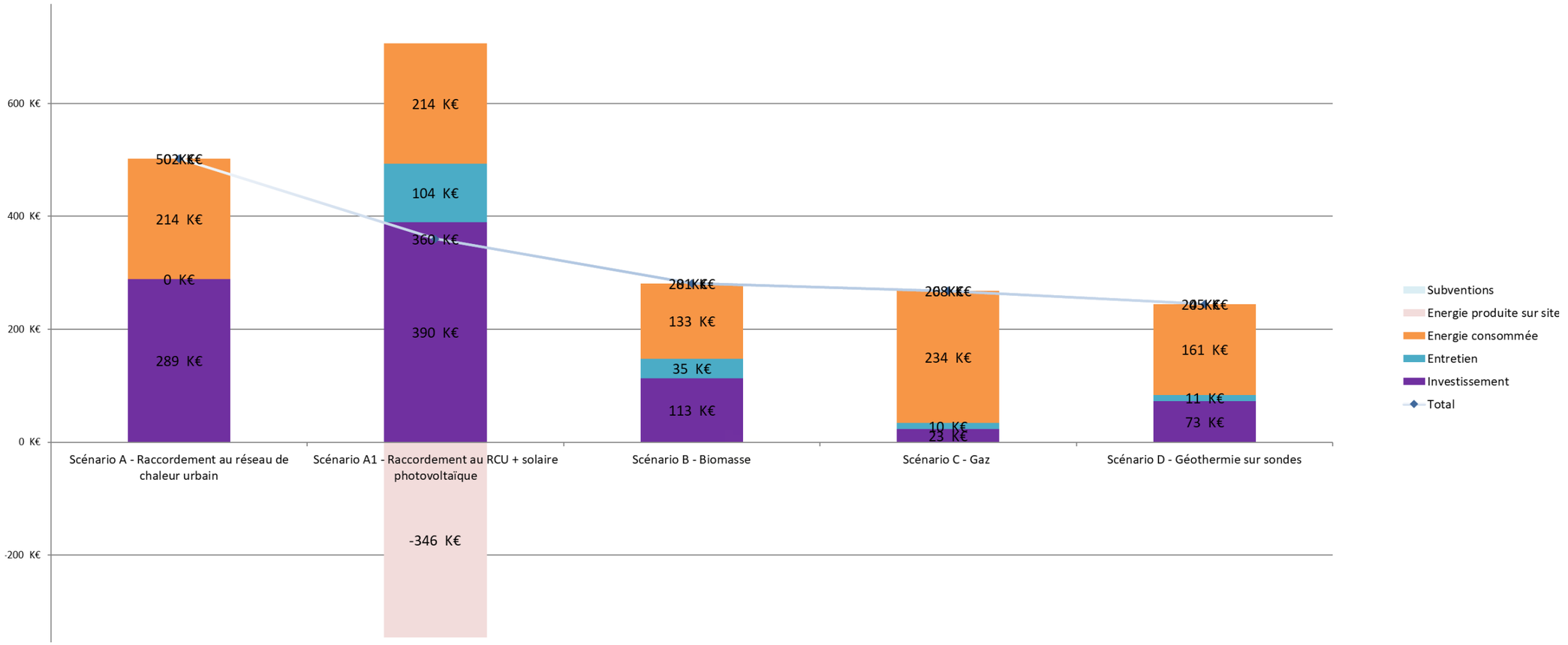
GROUPE 4 : Commerces, services et crèche

Le graphe du coût global sur 25 ans et l'évolution des coûts sur 25 ans pour le groupe 4 sont présentés respectivement ci-dessous et ci-après. Le tableau des valeurs relatives au coût global sur 25 ans est disponible ci-après.

Les scénarii les moins coûteux sont le scénario D - Géothermie sur sonde, le scénario B - Biomasse et le scénario C - Gaz. Cependant l'écart entre les performances respectives de ces scénarii, sur le critère de coût global, reste faible.

Pour les scénarii A et A1, impliquant un raccordement au RCU, le poste de coût majoritaire est lié au raccordement des bâtiment au RCU, cela les place en tant que scénarii les plus coûteux pour ce groupe. Ce résultat est probablement surévalué. En effet il est peu probable que la faible densité de commerces et services couvrent l'ensemble des frais de raccordement du projet, ainsi que l'investissement dans les sous-stations pour leurs activités uniquement.

Dans les hypothèses formulées le scénario A1 - RCU + solaire PV permet au retour sur investissement par rapport au scénario A - RCU en 13 ans environ.



Coût global sur 25 ans - Groupe 4

Tableau du coût global sur 25 ans - Groupe 4

Scénario	Investissement	Entretien	Energie consommée	Energie produite sur site	Subventions	Total	Comparaison au Scénario de réf
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	289 K€	0 K€	214 K€	0 K€	0 K€	502 K€	0%
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque	390 K€	104 K€	214 K€	-346 K€	0 K€	360 K€	-28%
Scénario B - Biomasse	113 K€	35 K€	133 K€	0 K€	0 K€	281 K€	-44%
Scénario C - Gaz	23 K€	10 K€	234 K€	0 K€	0 K€	268 K€	-47%
Scénario D - Géothermie sur sondes	73 K€	11 K€	161 K€	0 K€	0 K€	245 K€	-51%

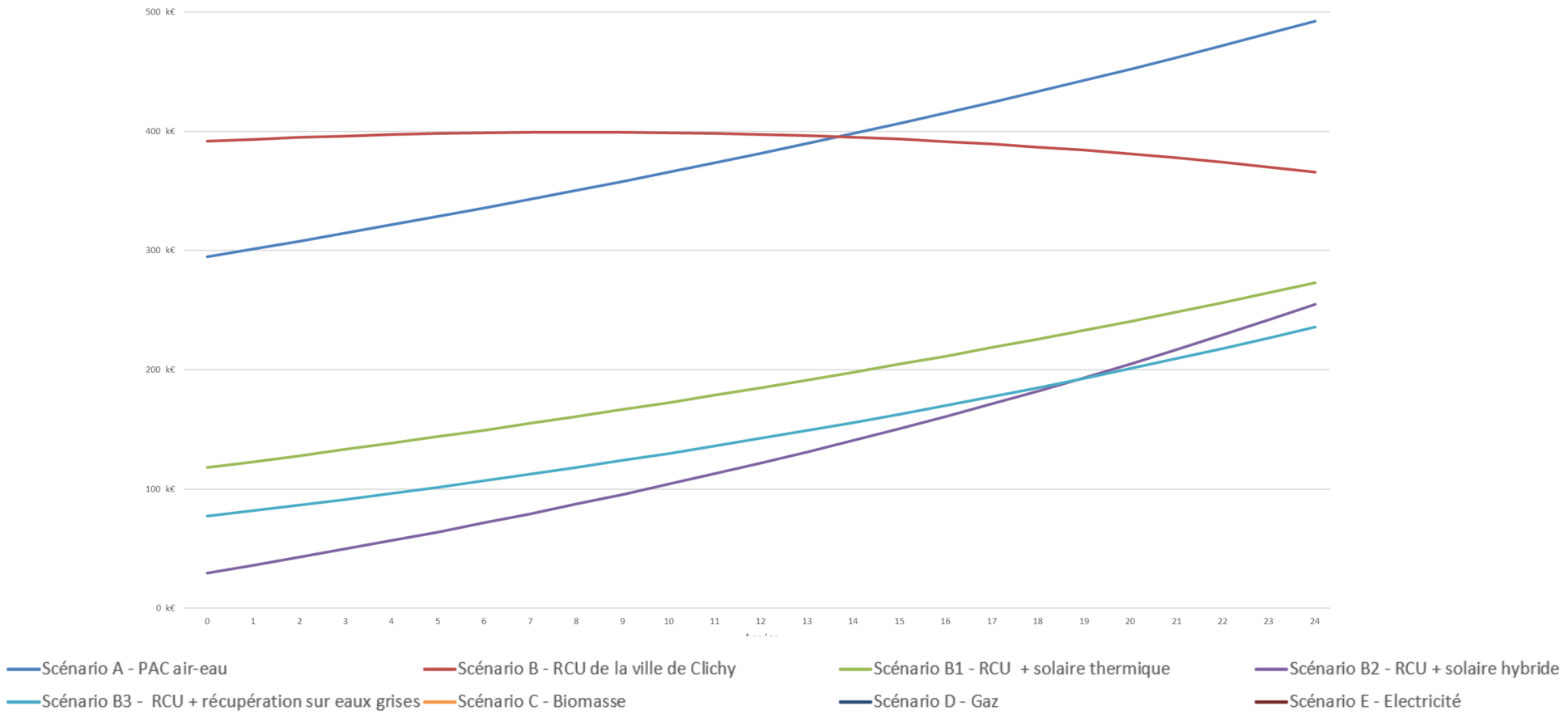


Tableau du coût global sur 25 ans - Groupe 4

Conclusion

Conclusion

L'analyse des gisements énergétiques au niveau du site d'étude nous a permis d'identifier les solutions les plus pertinentes envisageables pour le projet.

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 25 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 collectifs neufs

Les scénarios sont détaillés dans le tableau ci-contre et classés par rang global selon les critères étudiés pendant l'étude dans le tableau ci-dessous :

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

- Scénario A1 - RCU + solaire thermique
- Scénario A3 - RCU + récupération sur eaux grises
- Scénario D - Géothermie sur sonde
- Scénario A2 - RCU + solaire photovoltaïque

L'ajout de panneaux solaires thermiques, photovoltaïques et la récupération de chaleur sur les eaux grises permet d'améliorer les performances du scénario A - RCU. Ces gains de performance sont généralisables aux autres scénarii si ces équipement leurs sont ajoutés.

Synthèse des scénarios retenus - Groupe 1

Scénario	Chauffage	Appoint chauffage	Froid	ECS	Appoint ECS	Production sur site
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	RCU	/	/	RCU	/	/
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire thermique	RCU	/	/	Solaire thermique	RCU	/
Scénario A2 - Raccordement au RCU + solaire	RCU	/	/	RCU	/	Photovoltaïque
Scénario A3 - Raccordement au RCU + récupération sur	RCU	/	/	Récupération sur eaux grises	/	/
Scénario B - Biomasse	Bois	/	/	Bois plaquette	/	/
Scénario C - Gaz + chauffe-eau thermodynamique	Gaz	/	/	Ballon thermodynamique	/	/
Scénario D - Géothermie sur sondes	PAC géothermique	Gaz	/	PAC géothermique	Gaz	/

Groupe 1 - Logements collectifs neufs

Scénario	Energie finale	Energie primaire non renouvelable	Energie primaire	Coût / an	Impact carbone / 50 ans	Coût global / 25 ans	Rang global
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	6	4	6	4	7	2	5
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire thermique	3	3	1	1	5	1	2
Scénario A2 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque	5	1	3	4	6	4	4
Scénario A3 - Raccordement au RCU + récupération sur eaux grises	2	5	4	2	3	3	3
Scénario B - Biomasse	7	2	7	7	1	7	5
Scénario C - Gaz + chauffe-eau thermodynamique	4	7	5	6	4	6	5
Scénario D - Géothermie sur sondes	1	6	2	3	2	5	3

Conclusion - Groupe 1

GROUPE 2 : Logements collectifs réhabilités

Les scénarios sont détaillés dans le tableau ci-contre et classés par rang global selon les critères étudiés pendant l'étude dans le tableau ci-dessous :

Pour le groupe 2 - logements collectifs réhabilités, les scénarios qui ressortent comme étant les plus pertinents au global sont :

- Scénario A1 - RCU + solaire thermique
- Scénario A2 - RCU + solaire photovoltaïque

L'ajout de panneaux solaires thermiques, photovoltaïques et la récupération de chaleur sur les eaux grises permettent d'améliorer les performances du scénario A - RCU. Ces gains de performances sont généralisables aux autres scénarii si ces équipement leurs sont ajoutés.

Synthèse des scénarios retenus - Groupe 2

Scénario	Chauffage	Appoint chauffage	Froid	ECS	Appoint ECS	Production sur site
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	RCU	/	/	RCU	/	/
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire thermique	RCU	/	/	Solaire thermique	RCU	/
Scénario A2 - Raccordement au RCU + solaire	RCU	/	/	RCU	/	Photovoltaïque
Scénario A3 - Raccordement au RCU + récupération sur	RCU	/	/	Récupération sur eaux grises	/	/
Scénario B - Biomasse	Bois	/	/	Bois plaquette	/	/
Scénario C - Gaz + chauffe-eau thermodynamique	Gaz	/	/	Ballon thermodynamique	/	/
Scénario D - Géothermie sur sondes	PAC géothermique	Gaz	/	PAC géothermique	Gaz	/

Groupe 2 - Logements collectifs réhabilités							
Scénario	**Energie finale**	**Energie primaire non renouvelable**	**Energie primaire**	**Coût / an**	**Impact carbone / 50 ans**	**Coût global / 25 ans**	**Rang global**
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	6	4	6	5	6	3	5
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire thermique	4	3	2	2	4	2	3
Scénario A2 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque	2	1	1	1	5	1	2
Scénario A3 - Raccordement au RCU + récupération sur eaux grises	3	5	4	3	2	4	4
Scénario B - Biomasse	7	2	7	7	1	7	5
Scénario C - Gaz + chauffe-eau thermodynamique	5	7	5	6	7	6	6
Scénario D - Géothermie sur sondes	1	6	3	4	3	5	4

Conclusion - Groupe 2

Conclusion

GROUPE 3 : Campus trilingue

Les scénarios sont détaillés dans le tableau ci-contre et classés par rang global selon les critères étudiés pendant l'étude dans le tableau ci-dessous :

Pour le groupe 3 - Campus trilingue, les scénarios qui ressortent comme étant les plus pertinents au global sont :

- Scénario A - PAC air/eau
- Scénario A1 - PAC air/eau + solaire photovoltaïque
- Scénario D - Géothermie sur sonde

Les autres alternatives sont moins favorables pour cette typologie. En effet pour la majorité des critères étudiés leurs impacts respectifs sont globalement défavorables.

Synthèse des scénarios retenus - Groupe 3

Scénario	Chauffage	Appoint chauffage	Froid	ECS	Appoint ECS	Production sur site
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	RCU	/	/	Ballon électrique	/	/
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque	RCU	/	/	Ballon électrique	/	Photovoltaïque
Scénario B - Biomasse	Bois plaquette	/	/	Ballon électrique	/	/
Scénario C - Gaz	Gaz	/	/	Ballon électrique	/	/
Scénario D - Géothermie sur sondes	PAC géothermique	Gaz	/	Ballon électrique	/	/

Groupe 3 - Campus trilingue

Scénario	Energie finale	Energie primaire non renouvelable	Energie primaire	Coût / an	Impact carbone / 50 ans	Coût global / 25 ans	Rang global
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	1	1	2	1	4	2	2
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque	5	3	5	3	3	1	3
Scénario B - Biomasse	4	5	4	5	1	5	4
Scénario C - Gaz	3	4	3	4	5	4	4
Scénario D - Géothermie sur sondes	2	2	1	2	2	3	2

Conclusion - Groupe 3

GROUPE 4 : Commerces, services et crèche

Les scénarios sont détaillés dans le tableau ci-contre et classés par rang global selon les critères étudiés pendant l'étude dans le tableau ci-dessous :

Pour le groupe 4 - Commerce, services et crèche les scénarios qui ressortent comme étant les plus pertinents au global sont :

- Scénario D - Géothermie sur sonde
- Scénario A1 - RCU + solaire photovoltaïque
- Scénario B - Biomasse

L'ajout de panneaux solaires photovoltaïques et la récupération de chaleur sur les eaux grises permettent d'améliorer les performances du scénario A - RCU. Ces gains de performances sont généralisables aux autres scénarii si cet équipement est ajouté.

Synthèse des scénarios retenus - Groupe 4

Scénario	Chauffage	Appoint chauffage	Froid	ECS	Appoint ECS	Production sur site
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	RCU	/	/	Ballon électrique	/	/
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque	RCU	/	/	Ballon électrique	/	Photovoltaïque
Scénario B - Biomasse	Bois plaquette	/	/	Ballon électrique	/	/
Scénario C - Gaz	Gaz	/	/	Ballon électrique	/	/
Scénario D - Géothermie sur sondes	PAC géothermique	Gaz	/	Ballon électrique	/	/

Groupe 4 - Commerces, services et crèche

Scénario	Energie finale	Energie primaire non renouvelable	Energie primaire	Coût / an	Impact carbone / 50 ans	Coût global / 25 ans	Rang global
Scénario A - Raccordement au réseau de chaleur urbain	3	3	3	5	4	5	4
Scénario A1 - Raccordement au RCU + solaire photovoltaïque	1	1	1	1	3	4	2
Scénario B - Biomasse	5	2	5	2	1	3	3
Scénario C - Gaz	3	5	3	4	5	2	4
Scénario D - Géothermie sur sondes	2	4	2	3	2	1	2

Conclusion - Groupe 4

Références bibliographiques

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/ >

avril 2025

TRANS FAIRE