Bilan des émissions de gaz à effet de serre du Grand Paris Express

Mise à jour 2024

Impacts attendus sur les émissions de GES

Rapport de synthèse
& avis du Conseil scientifique
de la Société des grands projets

Société des Grands Projets

Le bilan carbone du Grand Paris Express réévalué

Le sujet du bilan carbone du Grand Paris Express (GPE) avait émergé dès les premiers débats publics sur le projet. Pour répondre rigoureusement aux questions posées alors sur la balance entre les émissions induites par la construction et les réductions d'émissions permises ensuite par le projet, la Société des grands projets (SGP) s'est dotée d'un outil d'évaluation spécifique : CarbOptimum®. Utilisé pour les évaluations environnementales, cet outil est régulièrement réactualisé.

Cette nouvelle évaluation, après celle de 2018, aboutit à des réductions globales d'émissions légèrement en retrait par rapport à la version antérieure de l'étude, elle confirme cependant que le projet contribuera significativement à la baisse des émissions carbone franciliennes. En particulier, à l'horizon 2050, le nouveau bilan CarbOptimum® devient favorable avec les seuls bénéfices du report modal. Il atteint -10,9 MtéqCO_2 si l'on y intègre les bénéfices du renouvellement urbain induit en 1° couronne sur les émissions des bâtiments. Toutefois, par rapport aux estimations antérieures, ce dernier impact est réévalué à la baisse et différé, l'ambition accrue sur les émissions de chauffage à terme ayant pour contrepartie des émissions plus élevées liées à la construction des bâtis à réaliser pour les atteindre, qui ne s'amortissent que progressivement. A l'horizon 2070, le bilan carbone s'établit ainsi à -24 Mtéq CO_2.

L'outil CarbOptimum® avait été développé pour évaluer les bénéfices du GPE pour le schéma d'ensemble en 2012 puis pour les dossiers de demande d'utilité publique (DUP) des lignes (2015, 2018…).

Cet outil a notamment été utilisé pour les évaluations environnementales du GPE. Il a ensuite été actualisé pour intégrer l'évolution des prévisions de trafic, le Conseil scientifique en ayant examiné l'état en 2020 dans le contexte des débats sur la contribution du GPE la stratégie nationale bas carbone (« SNBC 2 »). La nouvelle étude réévalue réévaluent les hypothèses et les scénarios pris en 2018.

1. CarbOptimum®. Brefs rappels

L'outil CarbOptimum® évalue, outre les bénéfices du report modal, les émissions liées à la construction et au fonctionnement du projet, ainsi que ses effets sur les émissions des bâtiments compte-tenu de la densification urbaine qu'il induira.

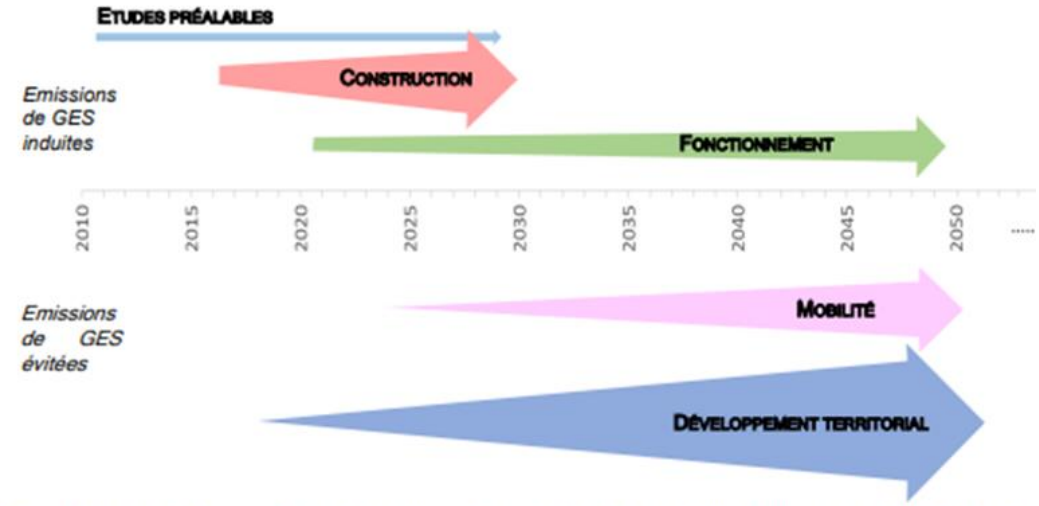


Figure 4 : Principales catégories de postes d'émissions en fonction des différentes phases de réalisation du projet (source : STRATEC 2018)

Ce bilan carbone prospectif du projet doit être réévalué périodiquement afin de :

- prendre en compte les évolutions du projet depuis 2018 (données de conception…),
- ajuster les hypothèses prises en 2018 par rapport à la construction et l'exploitation des infrastructures (facteurs d'émissions, consommation des matériels roulants, gares…etc.),
- intégrer les nouvelles prévisions de traffic sur les lignes du nouveau métro qui sont à la hausse et le déploiement du véhicule électrique, qui s'évère en fait moins rapide que suivant les hypothèses retenues en 2018,
- prendre en compte les évolutions des politiques de décarbonation dans les secteurs des transports et des bâtiments (SNBC, RE2020…etc.).

C'est pourquoi une nouvelle actualisation du bilan carbone a été demandée. Celle-ci a été réalisée, non pas en modifiant à la marge les prévisions antérieures, méthode qui s'avère généralement source de biais importants, mais en « base zéro » avec le souci de choisir chaque paramètre (facteurs d'émissions, évolutions socio-démographiques, trafics…) en utilisant au mieux l'information disponible et les travaux prospectifs les plus récents.

2. Nouveau bilan carbone à l'horizon 2050

Le tableau ci-dessous, qui présente les nouvelles estimations à l'horizon 2050 mettent en exergue des corrections de signe positif ou négatif selon les thématiques, montrant que les estimations précédentes n'avaient cherché à sous-estimer ni les émissions liées à la construction, ni le déploiement du véhicule électrique, qui s'avère en fait moins rapide que suivant les hypothèses retenues en 2018.

Tableau 1. Résultats de la réévaluation 2024 et comparaison avec le bilan 2018 (scénario A) à l'horizon 2050

Mt CO_2	2018	2024
Etudes	0,4	0,4
Construction	4,8	4,4
Fonctionnement	3,1	2,4
Mobilité	-8,1	-10,8
Territorial	-14,5	-7,3
Bilan carbone	**-14,2**	**-10,9**

S'agissant de la construction des infrastructures, les matériaux mis en œuvre (béton et acier) constituent le poste principal. La diminution de 0,4 MtéqCO_2 des émissions est la résultante d'une réévaluation à la baisse de 0,56 MtéqCO_2 pour l'infrastructure, partiellement compensée par le chiffrage affiné des émissions de la construction des bâtiments (+0,16 MtéqCO_2).

Les impacts bénéfiques du projet liés au report modal sont sensiblement accrus (réduction d'émissions supplémentaires de 2,7 MtéqCO_2), du fait du double recalage des prévisions de trafic sur celles de Modus 3.1 et du taux de pénétration du véhicule électrique (cf. Annexe 1). Ainsi, à l'horizon 2050, le bilan carbone favorable du projet apparait acquis grâce à la seule balance entre les réductions d'émissions liées au report modal et celles de la construction et l'exploitation des infrastructures (émissions évitées de 3,6 MtéqCO_2). Ceci apparait en ligne avec l'idée que les transports publics lourds en zone dense sont bien des vecteurs de décarbonation, en dépit des émissions liées à la construction des infrastructures.

Toutefois, le gain supplémentaire apporté par la contribution du GPE au processus de renouvellement urbain est revu sensiblement à la baisse (-7,2 MtéqCO_2), la réduction induite des émissions des bâtiments ayant pour préalable des émissions plus élevées qu'estimé antérieurement. Globalement, le bilan carbone à l'horizon 2050 s'établit ainsi à -10,9 MtéqCO_2.

Classification : Public

3. Complément sur les émissions territoriales

L'ajustement le plus important concerne donc les gains sur les émissions dites territoriales, qui reflètent les conséquences du projet en termes d'émissions de CO_2 liées aux modifications de la morphologie et de la localisation du bâti métropolitain induites par le projet. Celles-ci transitent par trois canaux :

- la densification du bâti résidentiel ;
- la réduction des besoins en voiries et réseaux divers ainsi que des atteintes au puits de carbone des espaces agricoles, naturels et forestiers ;
- et l'accélération des opérations de rénovation et de construction/démolition donnant lieu à des bâtiments énergétiquement plus performants.

Le premier terme dépend mécaniquement de la densification, qui détermine les « m^2 à chauffer », mais aussi des performances relatives des différents types de constructions -logement collectif vs maison individuelle- en termes d'émissions de CO_2.

En l'état, les écarts de performances en termes d'émissions au m^2 des bâtiments entre la ville centre et les territoires péri-urbains reflètent encore l'héritage des choix passés d'équipements de chauffage pour les maisons et les logements collectifs. En particulier, les ménages chauffés au fuel sont nettement plus nombreux que la moyenne à vivre en maison, à être propriétaires et à vivre à l'extérieur des pôles urbains. Cependant, ces éléments de « lock-in » sont appelés à se résorber avec la mise en œuvre des politiques de rénovation des bâtiments, que le GPE contribue à accélérer.

Par ailleurs, le renforcement des exigences réglementaires en matière d'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments neufs permet une réduction des émissions au m^2 de tous les types de bâtiments, qui tend à diminuer les écarts d'émissions au m^2 entre les maisons et les logements collectifs. En conséquence, les estimations passées du bilan carbone du GPE anticipaient un renforcement futur des exigences réglementaires pour les bâtiments neufs, dans l'esprit de la « RT 2012 », qui maintenait cependant le gaz (fossile) comme la référence de chauffage pour les maisons.

Les ruptures majeures introduites par la réglementation environnementale 2020 ont conduit à réévaluer fortement à la baisse ces effets territoriaux à moyen terme. En effet, si la RE2020 a introduit des valeurs seuils d'émissions reflétant des exigences bien plus élevées que précédemment considéré, dans un premier temps, l'investissement se trouve accru si bien que ce n'est que plus tard que les émissions évitées grâce à la diminution des consommations énergétiques du bâti francilien arrivent à compenser les investissements initiaux (cf. Annexe 2).

Les effets carbone du Grand Paris Express en termes de développement territorial sont donc désormais décalés dans le temps, du fait d'émissions de construction neuve des bâtiments accrues pour atteindre les objectifs de la RE2020 et, aussi, de réévaluation concomitante des émissions des opérations de rénovation dont les coûts demeuraient généralement sous-estimés dans le passé. Ceci ne remet pas en cause cependant le fait qu'en favorisant l'accélération du renouvellement urbain de la 1° couronne, les anciens bâtiments qui émettent actuellement de l'ordre de 50kg CO_2/ m^2, seront remplacés par des bâtiments qui, en moyenne sur leur cycle de vie, émettront moins de 15kg CO_2/m^2 (cf. Annexe 3).

4. Bilan à long-terme

Le graphique ci-dessous souligne que les diminutions d'émissions liées à la mobilité et au développement plus durable du territoire compensent leur accroissement initial sur le long terme. Néanmoins, le bilan des émissions de GES demeure favorable : le cumul devient positif à partir de 2036 et croit ensuite fortement, pour atteindre -24 MtéqCO$_2$ à l'horizon 2070.

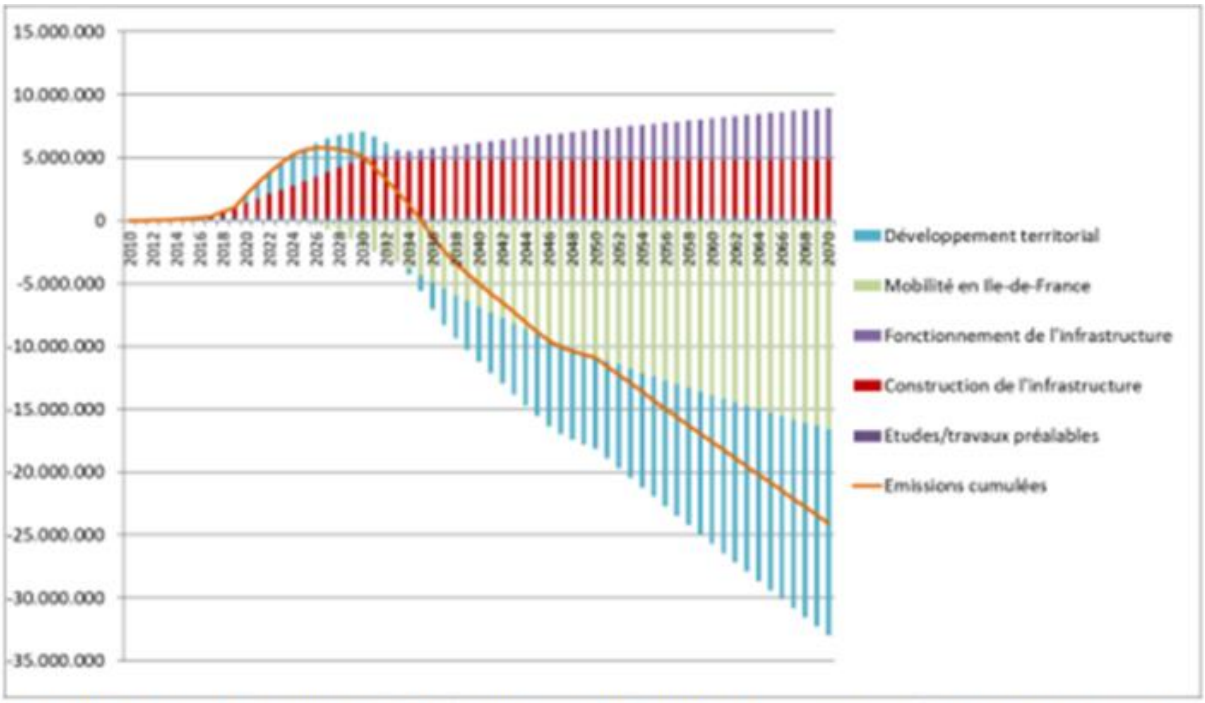


Figure 30 : bilan des émissions de GES liées au projet du Grand Paris Express, cumulées au cours du temps, en téqCO$_2$ (source : CarbOptimum 2024)

Il est important de souligner que l'écart par rapport aux estimations antérieures ne résulte donc pas d'une appréciation différente des effets territoriaux du projet en termes de forme urbaine, mais du fait que l'évaluation en 2018 des émissions carbone liées à la construction des bâtiments résidentiels et tertiaires réalisée sur la base des données de l'ADEME était largement sous-estimée. De plus, l'évolution des technologies utilisées dans le secteur de la construction, qui visent désormais des émissions d'exploitation quasiment ramenées à zéro, nécessite dans un premier temps des émissions accrues liées notamment aux matériaux de construction. Cette modification de profil ayant aussi été intégrée pour les opérations de renouvellement urbain, il n'est donc pas surprenant qu'à l'horizon 2050, le doublement des facteurs d'émissions de la construction neuve pèse lourd, l'écart avec les évaluations antérieures se stabilise par la suite.

En résumé, le bilan global est certes moins favorable qu'en 2018 mais cette réévaluation de 2024, au bilan toujours très positif, s'avère plus réaliste. Elle intègre notamment de nouvelles estimations des impacts du renouvellement urbain sur les émissions carbone des bâtiments résidentiels et tertiaires. Enfin, il convient de noter que si les effets territoriaux du GPE avaient jusqu'à présent été essentiellement abordés sous l'angle du bilan carbone, les autres enjeux de l'étalement urbain, en termes d'artificialisation notamment, sont désormais reconnus, et feront l'objet d''évaluations ultérieures dans ce domaine.

5. Avis du Conseil scientifique

Cette étude a été examinée par le Conseil scientifique de la SGP en décembre 2024, qui a souligné que les nouvelles évaluations résultent de travaux approfondis et documentés, réalisés à un niveau de détail élevé, mais pouvant sembler hétérogène.

Elles ne semblent pas entachées de biais manifeste, certaines hypothèses importantes apparaissent même prudentes, en particulier celle consistant à supposer un accroissement des coûts de rénovation des bâtiments en 1ère couronne comparable à celui associé à la RE 2020 pour les bâtiments neufs.

Par ailleurs, il est observé que ce bilan n'est pas à proprement parlé une estimation cumulée des écarts d'émissions carbone induits par le projet par rapport à un contrefactuel explicite. En effet c'est l'intégralité du contenu en carbone de la construction du projet qui y est imputée alors que, si celui-ci n'était pas réalisé, les dépenses qui s'y substitueraient auraient un certain contenu en carbone.

Les gains sont arrêtés en 2070, en ligne avec la maturité du projet. Ceci n'emporte pas une discordance avec les objectifs de décarbonation fixés par les stratégies nationales bas carbone et européennes, étant noté que : lorsque celles-ci sont associées à des mesures identifiées, en particulier l'interdiction de mise sur le marché des véhicules thermiques en 2035, ces dernières ont été prises en compte ; et que les gains imputés au-delà de 2050 signifient alors, (sous l'hypothèse que la transformation est marginale) qu'en l'absence du GPE, des efforts supplémentaires devraient être réalisés dans d'autres secteurs pour tenir l'objectif de zéro émission nette.

Cette réévaluation met en évidence une volatilité importante des estimations. Certes, il a toujours été signalé que ce type de bilan comportait une forte dimension prospective pour prévoir les facteurs d'émissions. Par ailleurs, la révision précédente avait souligné l'impact des hypothèses sur les trafics. Ainsi, l'incertitude renvoie selon les cas à des facteurs exogènes (évolutions des techniques ou améliorations des techniques de prévision) ou endogènes (révision des données d'entrée reflétant une évolution des hypothèses concernant certains choix techniques).

Cependant, cette étude met en exergue la multiplicité des hypothèses sous-jacentes, dont la mesure n'avait pas été prise jusqu'à présent. En particulier, l'élément le plus nouveau et le plus déterminant apparaît lié à l'évolution des politiques de décarbonation en situation de référence dans les secteurs des transports, de l'énergie et du logement. En effet, celle-ci détermine par exemple les émissions de la production d'électricité utilisée pour la traction des rames, celles du parc automobile (y compris pour la production des véhicules électriques), ou encore les émissions relatives des différents types de logement selon que l'utilisation du gaz y demeure ou non possible.

L'évolution des politiques climatiques est une réalité qui rend inévitable des ajustements et modifications dans l'évaluation et la comptabilisation des gains et coûts carbone du projet. La transparence des hypothèses sur les facteurs d'émissions et les données d'entrée est encore plus essentielle dans ce contexte ainsi que le fait de produire des estimations non biaisées utilisant au mieux l'information disponible à un moment donné. Le travail présenté intègre sans conteste ce souci de rigueur.

Cela doit s'accompagner d'un effort accru pour garantir la compréhension et permettre une assimilation réfléchie des résultats.

Dans cette perspective, il serait souhaitable que les futures évaluations comprennent :

- une analyse qualitative a priori, identifiant les hypothèses critiques,
- au-delà de la justification des différentes hypothèses, des décompositions des résultats en termes de contributions aux évolutions, distinguant selon leur cause, entre les facteurs exogènes et ce qui renvoie au fonctionnement du projet,
- et une analyse des incertitudes associées.

Annexe 1. Report modal. Hypothèses clés

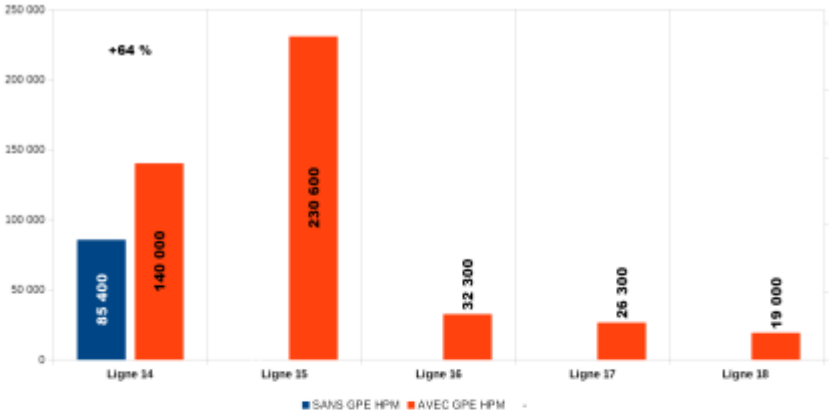


Figure 34 : charges des lignes du GPE à l'HPM en 2030, sans GPE et avec GPE

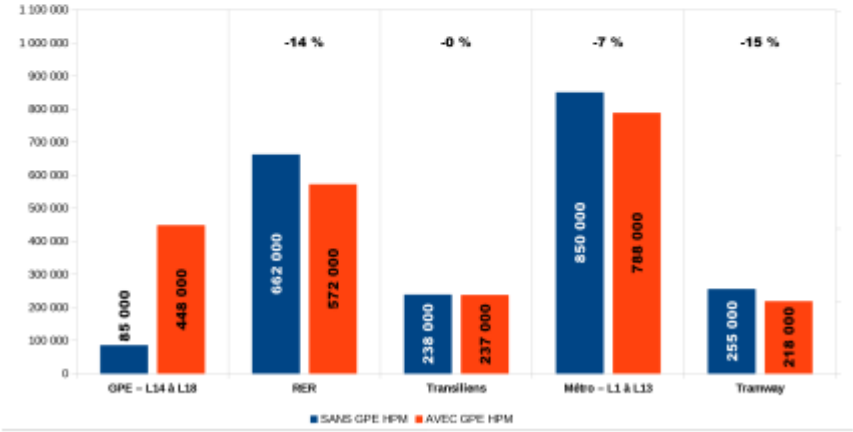
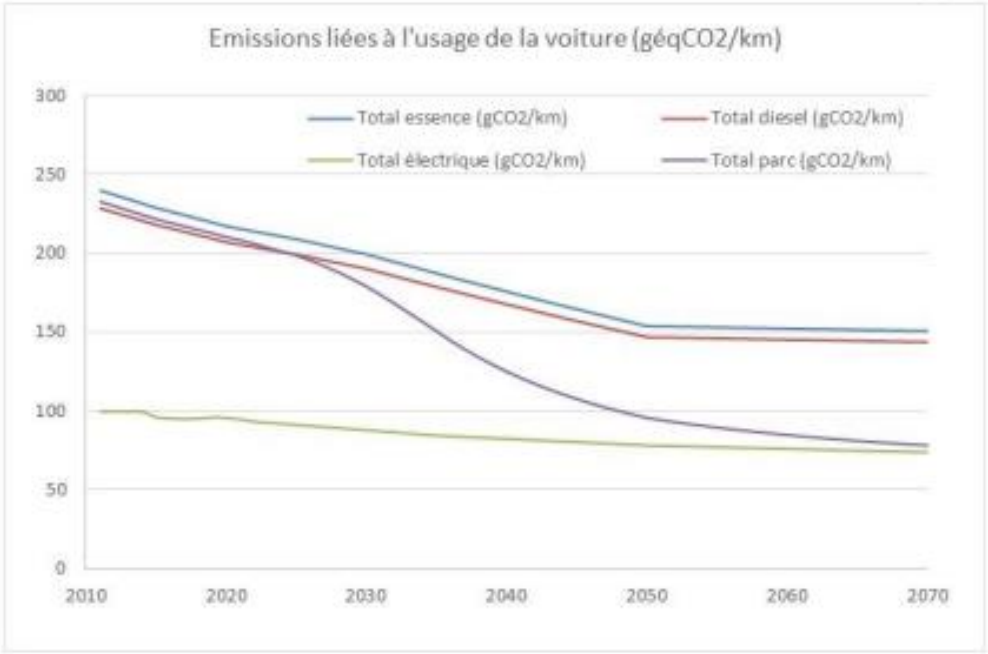


Figure 35 : charges par mode de TC lourds à l'HPM en 2030, sans GPE et avec GPE



Annexe 2. RE 2020

La réglementation environnementale 2020, dite RE 2020, s'applique depuis le 1er janvier 2022 à la construction neuve. S'inscrivant dans la lignée des réglementations successives pour réduire les consommations énergétiques des bâtiments, celle-ci est à la fois plus ambitieuse et modifie profondément ces dernières, avec trois objectifs :

- Améliorer la performance énergétique des logements. Il s'agit de poursuivre la baisse des consommations d'énergie, de réduire le recours aux énergies fossiles (notamment au gaz ou au fioul) et d'augmenter la production de chaleur renouvelable (chauffage au bois, pompe à chaleur...). Pour cela, les logements de demain doivent être mieux conçus et mieux isolés. Par rapport à la RT 2012, l'exigence pour le besoin bioclimatique (Bbio) des logements est abaissée de 30%.

- Développer les constructions «bas carbone», notamment en introduisant davantage de mixité dans les matériaux envisagés, avec un recours plus fréquent au bois et aux matériaux biosourcés. Pour cela, une nouveauté de la RE 2020 est d'exiger un calcul des impacts environnementaux de la maison sur l'ensemble de son cycle de vie.

- Garantir le confort en période estivale et notamment lors de fortes chaleurs tout en limitant les besoins de rafraîchissement. Ainsi, sur la base d'un scénario météo similaire à la canicule de 2003, un indicateur de confort d'été est calculé lors de la conception de la maison, qui s'exprime en degrés-heures (DH). Par ailleurs, la RE 2020 intègre le besoin de refroidissement en été dans le calcul du besoin bioclimatique (Bbio) de la maison, ce qui est nouveau.

Le changement de terminologie entre thermique et environnemental reflète un rééquilibrage des objectifs, renforçant les exigences portant sur les émissions de GES liées à la consommation d'énergie, les solutions énergétiques moins carbonées étant plus incitées (solutions hybrides gaz, RCU vertueux, Pompes à Chaleur, etc.). L'indicateur (Cep) caractérisant la consommation d'énergie primaire importée dans le bâtiment demeure un pilier de la réglementation, avec des seuils de consommations d'énergie primaire abaissés d'environ 15% à 20% par rapport à la RT 2012.

Toutefois, le coefficient correspondant pour l'électricité est revu à la baisse, cette source d'énergie étant essentiellement décarbonée dans notre pays. En effet, avec un coefficient de 2,58 pour l'électricité et un seuil fixé à 50 kWhep/m²/an, il était difficile de respecter la réglementation thermique avec un chauffage électrique. En revanche, avec la RE 2020 et le coefficient de conversion de l'électricité revu à la baisse à 2,3, le chauffage électrique est moins pénalisé.

Par ailleurs, deux nouveaux coefficients plus directement ciblés sur les impacts environnementaux (et non l'énergie) sont introduits, qui deviennent les paramètres critiques pour les choix technologiques :

- l'indicateur Cep,nr (exprimé en kWhep/m²/an) représente la consommation conventionnelle du bâtiment pour les mêmes usages que le Cep, en ne conservant que la part non renouvelable. C'est l'indicateur principal et le plus contraignant pour les consommations d'énergie. Il est calculé comme le Cep, à partir des consommations en énergie finale, mais avec des coefficients de transformation de l'énergie différents.

- l'IC énergie qui doit être inférieur à une valeur maximale exprimée elle en kg équivalent de CO_2/m². Il correspond à l'impact sur le changement climatique, à l'horizon 50 ans, des émissions de gaz à effet de serre relatives aux consommations d'énergie du bâtiment pendant son exploitation. En maisons individuelles, le seuil ambitieux de 4kgCO2/m2/an dès 2022 est compatible avec des PAC électriques et PAC hybrides optimisées. Les chaudières à condensation alimentées au biométhane pourront compléter la gamme des solutions compatibles lorsqu'il sera reconnu dans la RE2020. En logements collectifs, les chaudières individuelles seules et collectives gaz associées à un renforcement du bâti, à un chauffe-eau thermodynamique, ou à du solaire permettent de respecter le seuil de 2022. A partir de 2025,

les solutions hybrides et les PAC devraient se développer ou une alimentation en biométhane lorsque ce dernier sera reconnu dans la RE2020.

Alors qu'une maison moyenne RT2012 émet environ 5 tonnes de CO_2 par an, les nouvelles règles de la RE 2020 imposent ainsi de diviser par un facteur 10 les émissions du chauffage. En conséquence, si les solutions classiques au gaz ne sont pas formellement interdites pour les bâtiments neufs, elles sont de fait exclues dès 2022 pour les maisons individuelles, et 2025 pour les immeubles collectifs. Pour les maisons individuelles, la PAC hybride optimisée sera compatible avec la RE2020. En logement collectif, des solutions hybrides (association d'une PAC ou CET avec une chaudière gaz) et/ou ENR seront nécessaires pour respecter les seuils.

Atteindre cette chute drastique des émissions en phase d'exploitation nécessite d'améliorer la qualité du bâti ce qui, toute choses égales par ailleurs, est source d'émissions supplémentaires en phase construction. D'où l'importance de diminuer aussi l'impact carbone sur le cycle de vie des bâtiments neufs en incitant à recourir plus fortement aux énergies renouvelables et aux matériaux biosourcés, et l'autre nouveauté de la RE2020 : les nouvelles constructions devront désormais respecter des exigences minimales en matière d'émissions de gaz à effet de serre, et ce, sur l'ensemble de leur cycle de vie.

Les plafonds fixés à cet égard apparaissent exigeants mais néanmoins plus élevés que les hypothèses qui avaient été retenues jusqu'à présent dans CarbOptimum®, pour deux raisons : d'une part, parce que c'est la contrepartie de la décarbonation profonde visée en phase d'exploitation, qui nécessite une amélioration de la conception globale des bâtiments; d'autre part, parce que les guides de l'ADEME qui constituaient la référence depuis le début des années 2010 sous estimaient sans doute les émissions de la construction (et de la rénovation). Dans ces conditions, le fonctionnement du bloc « territorial » de CarbOptimum® se trouve modifié dans les conditions suivantes :

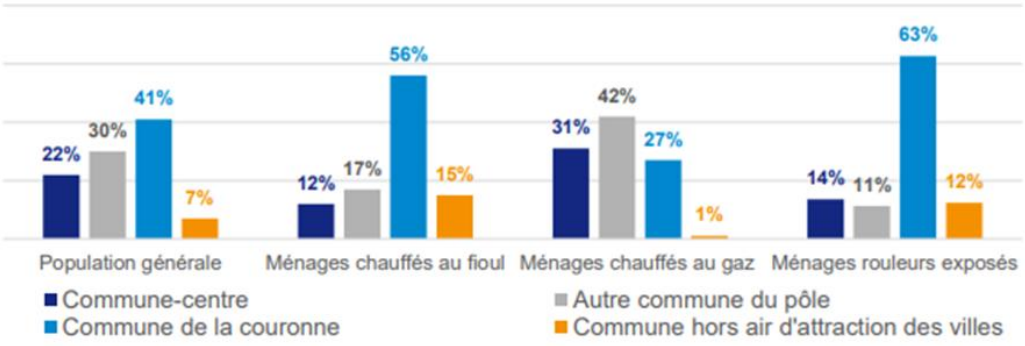
- au niveau du bâti, les émissions de tous les types d'habitat neuf sont drastiquement réduites et tendent à s'homogénéiser, le recours aux solutions gaz classique étant désormais exclues,

- le poids des émissions liées à la construction est plus élevé. Ceci induit pour les opérations de renouvellement urbain une dette carbone initiale plus élevée, qui déforme le profil des émissions nettes cumulées.

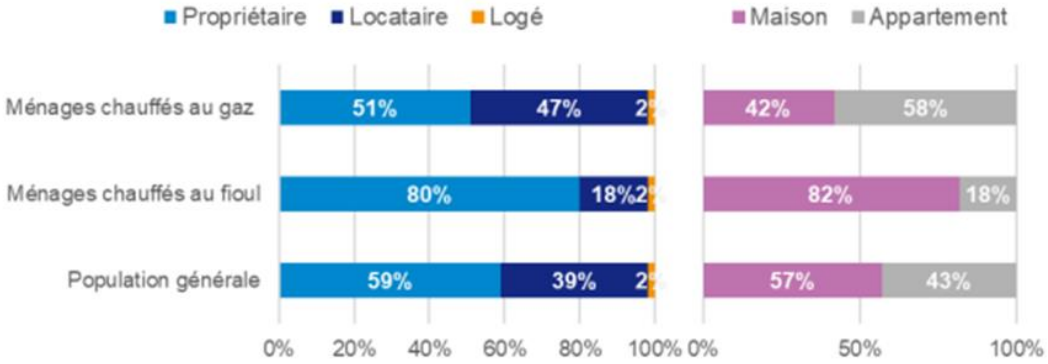
En revanche, si la structure des émissions évitées change, les impacts carbone directs de la densification en termes de surfaces à chauffer demeurent, ainsi que ceux sur les besoins en voiries et réseaux divers.

Annexe 3. Emissions territoriales. Eléments explicatifs

-Etat actuel

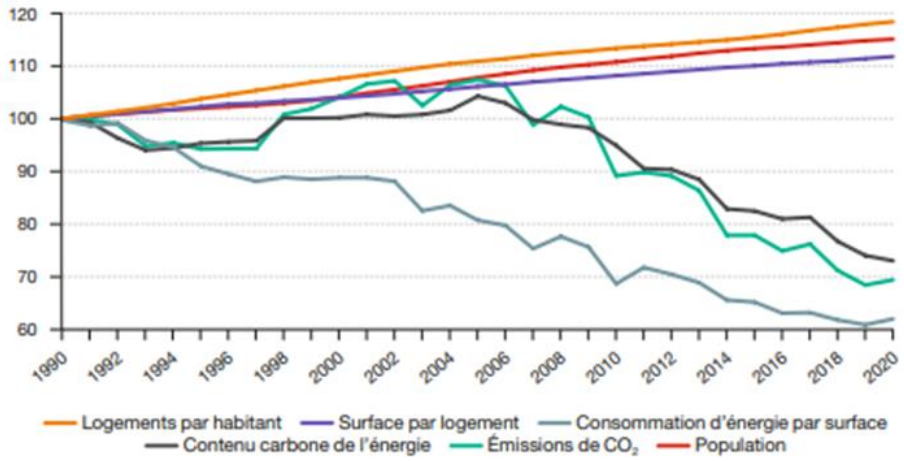


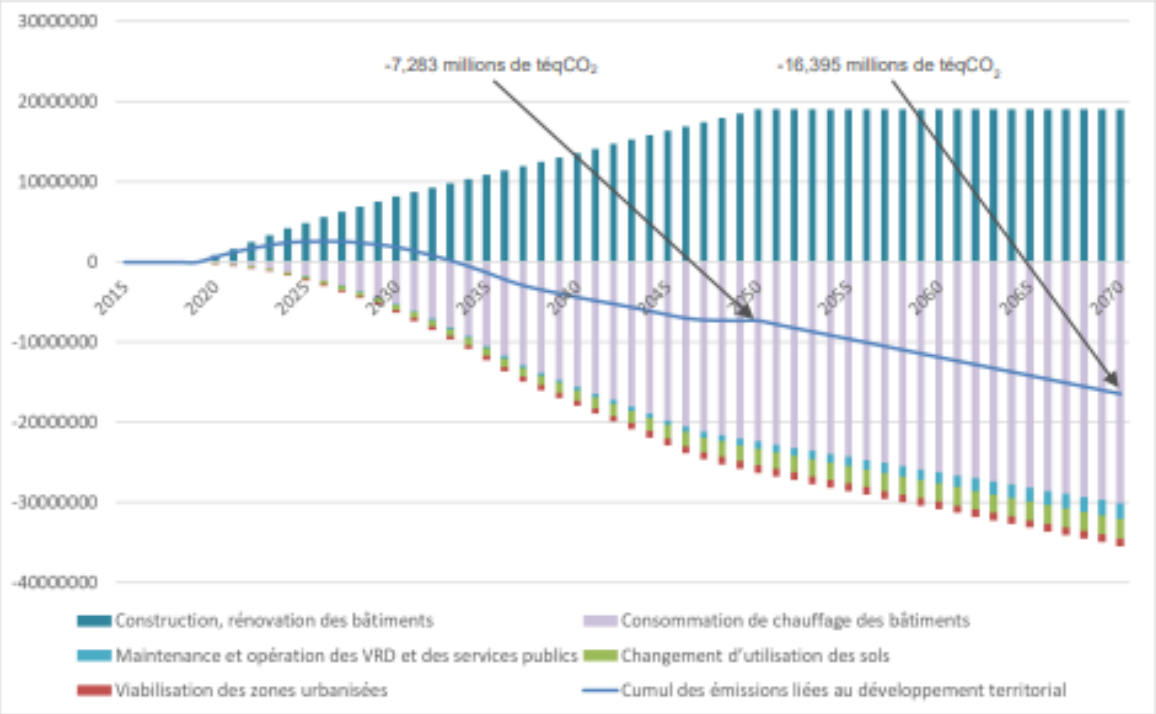
Graphique 8 – Proportion de ménages en fonction de leur catégorie de commune de résidence



Graphique 7 – Répartition des ménages en fonction du statut d'occupation (à gauche) et du type de logement (à droite)

Graphique 8 : décomposition de l'évolution des émissions de CO_2 liées au chauffage résidentiel
Indice base 100 en 1990 (données corrigées des variations climatiques)



Note : les émissions de CO_2 sont égales, à un facteur 100 près, au produit des autres grandeurs représentées.
Source : *calculs SDES*

-Impact GPE : densification et renouvellement urbain