

# Évolutions possibles des usages de l'électricité dans une perspective de neutralité carbone en France et de respect de l'Accord de Paris au niveau mondial

Par Jean-Michel CAYLA

Analyste à la direction de la Stratégie d'EDF

et Donia PEERHOSSANI

Analyste à la direction de la Stratégie d'EDF

Suite à l'Accord de Paris, la France s'est donnée pour objectif d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Utilisée de façon optimale, la stratégie d'électrification des usages énergétiques du bâtiment, des transports et de l'industrie permet d'atteindre la neutralité carbone de façon rapide, certaine et à moindre coût à l'horizon 2050, tout en ne s'accompagnant que d'une augmentation modérée de la consommation d'électricité. En effet, cette stratégie repose sur une électricité d'ores et déjà décarbonée et sur des technologies existantes et compétitives qui permettent de réduire la facture des ménages. Elle est robuste aux incertitudes et permet d'obtenir des premiers résultats importants dès 2030.

## Introduction

La réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) est un enjeu majeur pour l'humanité et la France, laquelle s'est engagée à y répondre en ratifiant l'Accord de Paris avec pour objectif d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Le scénario de référence de la Stratégie nationale bas carbone évalue à 82 MtCO<sub>2</sub>éq le volume des émissions capturable par les puits de GES à l'horizon 2050 pour la France. Les émissions de GES de l'agriculture et des déchets seront compensées de manière incompressible à hauteur de 60 % par ces puits, laissant ainsi subsister seulement une trentaine de millions de tonnes de CO<sub>2</sub> résiduelles. Cet objectif implique donc une réduction drastique de 90 % des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la consommation et à la production d'énergie d'ici à 2050.

Aujourd'hui, les usages les plus émetteurs de CO<sub>2</sub> sont ceux recourant aux énergies fossiles (pétrole, gaz naturel et charbon) ; les voitures particulières et le chauffage des bâtiments représentent à eux seuls plus de 50 % des émissions de CO<sub>2</sub> de la France. Les procédés de combustion dans l'industrie manufacturière se place en troisième position des usages les plus émetteurs, notamment dans les branches d'activité relatives à la chimie, à la sidérur-

gie, à l'agroalimentaire et à la production de minéraux non métalliques. Enfin, les émissions directes de CO<sub>2</sub> liées à la production d'énergie (production d'électricité et de chaleur) sont de l'ordre de 8 % des émissions totales de CO<sub>2</sub> en France.

Ainsi, pour parvenir à atteindre cet ambitieux objectif de neutralité carbone dans le délai imparti, la solution se situe principalement dans la décarbonation des usages directs. Pour cela, il est important de s'engager dans une stratégie de décarbonation de la demande finale qui ne suscite aucun regret. La stratégie de l'atteinte de la neutralité carbone en 2050 décrite ici s'appuie sur le cahier d'acteur transmis par EDF lors des débats publics concernant la PPE (EDF, 2018). Pour être efficace celle-ci se doit de passer en revue l'intégralité non seulement des leviers de réduction de CO<sub>2</sub> déjà disponibles aujourd'hui (isolation des bâtiments, mobilité électrique, pompes à chaleur, réseaux de chaleur, bioénergies), mais aussi de ceux qui pourront être développés dans les années à venir (poids lourds électriques, mobilité hydrogène, production de gaz décarboné, capture et séquestration du CO<sub>2</sub>). Les leviers actuellement disponibles permettent d'infléchir dès aujourd'hui les émissions et d'atteindre d'importantes réductions dès 2030. Les leviers plus prospectifs seront mobilisés ulté-

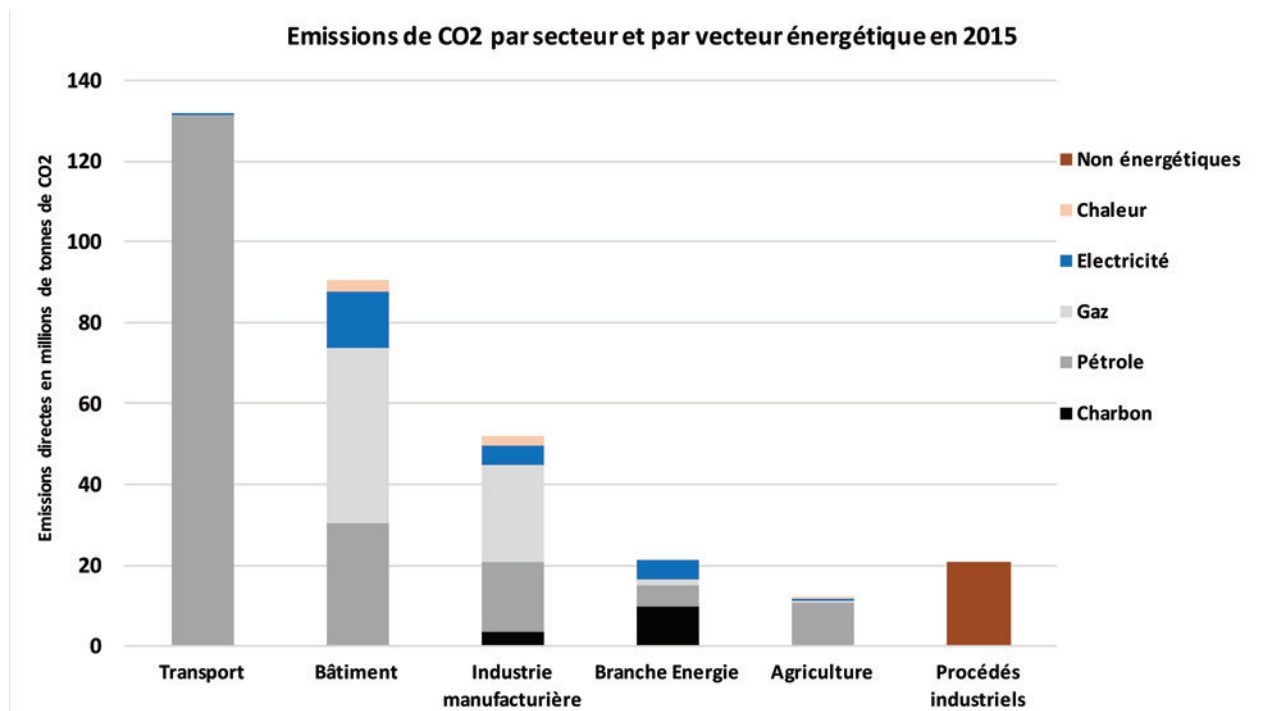


Figure 1 : Émissions de CO<sub>2</sub> en France par secteur et par vecteur énergétique en 2015 : un total de 337 MtCO<sub>2</sub>, contre 395 MtCO<sub>2</sub> en 1990 (Source : EDF, d'après CITEPA).

riurement, en gardant l'éventail des technologies le plus large possible, pour pouvoir passer à la neutralité entre 2030 et 2050. Le choix du déploiement des différents leviers tout au long des trente prochaines années pour finalement atteindre la neutralité carbone en 2050 doit être fait en s'assurant qu'ils permettent une atteinte de l'objectif qui soit rapide et robuste, et doit s'opérer au moindre coût pour la collectivité.

### La stratégie la plus efficace pour atteindre la neutralité carbone repose sur une électrification directe des usages s'appuyant sur un mix électrique déjà largement décarboné

La France possède aujourd'hui un des mix électriques les plus décarbonés au monde, avec un contenu autour de 40gCO<sub>2</sub>/kWh (RTE, 2018). En France, l'électricité ne représente que 7 % des émissions de CO<sub>2</sub>, alors qu'elle assure 25 % des besoins énergétiques. Dans les prochaines années, avec la fermeture des centrales les plus émettrices et le développement des énergies renouvelables, le mix électrique français va encore continuer à réduire ses émissions de CO<sub>2</sub> et pourrait même atteindre la neutralité carbone en 2035 en couplant énergies renouvelables, production nucléaire et moyens de stockage. Couplé à une démarche d'efficacité énergétique, ce mix électrique décarboné et diversifié peut fournir à la France une énergie décarbonée en quantité suffisante et de façon durable. L'électricité permet dès aujourd'hui et pour les prochaines décennies d'avoir accès à une source d'énergie décarbonée peu contrainte en volume.

Pour se positionner sur la voie de la neutralité carbone, la substitution des usages fossiles par l'électricité permet à

la fois un accès en quantité à une source d'énergie décarbonée et de réduire la consommation finale grâce à des technologies électriques, dont les rendements sont très supérieurs à ceux des technologies fossiles. Un certain nombre d'études de référence relatives à la décarbonation du système énergétique s'appuient sur les trois piliers que sont l'efficacité énergétique, la décarbonation du système électrique et l'électrification des usages (SDSN-IDDR, 2015 ; AIE, 2018 ; EURELECTRIC, 2018 ; European Commission, 2018). Cette stratégie est également très largement reprise par le MTES dans son projet de Stratégie nationale bas carbone (2018). Dans la mesure où, en France, l'électricité est d'ores et déjà décarbonée, le recours à l'électrification directe des usages permet de produire immédiatement des résultats d'une ampleur significative.

Dans le secteur du bâtiment, le chauffage et l'eau chaude sanitaire représentent 78 % des consommations d'énergie et 90 % des émissions de CO<sub>2</sub>. La première priorité est donc de rénover thermiquement l'enveloppe du parc de bâtiments existant pour les amener à un niveau de performance proche de celui des bâtiments neufs actuels, ce qui doit permettre de réduire d'environ 50 % les consommations d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub> (The Shift Project, 2013). Réduire les émissions résiduelles nécessite ensuite de recourir à des vecteurs décarbonés en changeant de systèmes de chauffage. La stratégie optimale consiste ici à recourir 1) aux réseaux de chaleur urbains dans les bâtiments où cela est possible à des conditions économiquement acceptables, 2) au bois en usage direct (chaudières ou poêles), mais sous la contrainte que représente le volume des ressources disponibles, et 3) aux pompes à chaleur, une technologie d'ores et déjà compétitive (CGDD, 2016) venant en substitution aux

chaudières fioul et gaz. La construction neuve ne doit plus recourir, dès aujourd'hui, qu'à des vecteurs bas carbone de façon à ne pas être source de regrets, ces bâtiments étant construits pour un temps très long.

Dans le secteur des transports de personnes, l'objectif est également de diminuer le besoin correspondant et donc les consommations d'énergie en favorisant les télé-services, les modes de déplacement doux (marche, vélo) et les transports en commun là où cela est possible (The Shift Project, 2017). Cependant, une très grande part de la mobilité, entre 60 % et 75 %, restera liée au véhicule particulier (MTES, 2018 ; IDDRI, 2017). Il convient donc de favoriser le covoiturage non seulement à longue distance, mais aussi à courte distance, notamment en zone dense. Le développement de motorisations thermiques efficaces, des véhicules électriques ainsi que le recours aux biocarburants, notamment pour l'aviation, permettront de réduire les émissions restantes. Le véhicule électrique est déjà une technologie compétitive (McKinsey, 2019 ; IFPEN, 2018) et sa diffusion massive constitue le principal levier de baisse des émissions de CO<sub>2</sub>, tout en permettant une diminution de la facture des ménages (IDDRI/CIREN/EDF, 2017).

Dans le secteur du transport de marchandises, malgré une tertiarisation de l'économie et un développement de l'économie circulaire, la croissance économique continuera à tirer la demande de transport de marchandises vers le haut. Cette demande de transport continuera d'être attachée au mode routier pour une très large part, environ 85 %, comme le constate la SNBC (MTES, 2018). Le développement du fret rail ainsi que l'amélioration des taux de chargement des véhicules doivent être privilégiés, même s'ils

représentent un potentiel réellement accessible relativement modeste. Le développement des véhicules utilitaires légers électriques ainsi que des poids-lourds électriques offre, à l'instar du transport de personnes, le potentiel de baisse des émissions de CO<sub>2</sub> le plus important. Le développement complémentaire des poids-lourds recourant à un hydrogène électrolytique bas carbone sur le segment des transports internationaux à longue distance ainsi que le développement des biocarburants, voire du bioGNV, permettront de réduire les émissions restantes. La pertinence du poids-lourd électrique était jusqu'il y a peu considérée comme assez faible, mais la révolution que constitue la baisse du coût des batteries et l'augmentation de leur densité massique, fait désormais ressortir cette solution comme crédible. Mieux, elle est aujourd'hui considérée comme l'alternative la plus compétitive à un horizon de court-moyen terme par de nombreuses études (ECF, 2018 ; McKinsey, 2019 ; ICCT, 2018) ; d'ailleurs, nombreux sont les constructeurs à annoncer la sortie prochaine de déclinaisons électriques de leurs modèles.

Dans le secteur de l'industrie, la décorrélation entre la production physique et la valeur ajoutée, ainsi que le développement de l'économie circulaire, tel que proposés par la SNBC (MTES, 2018), vont permettre de réduire les besoins de production. Une mobilisation réaliste <sup>(1)</sup> des

(1) Une fois écartées les actions considérées comme déjà réalisées ou impossibles à mettre en œuvre par les industriels, et en ne mobilisant qu'une partie des actions reposant sur des ruptures technologiques ou à fort TRI, conformément au scénario ADEME (2013, 2017).

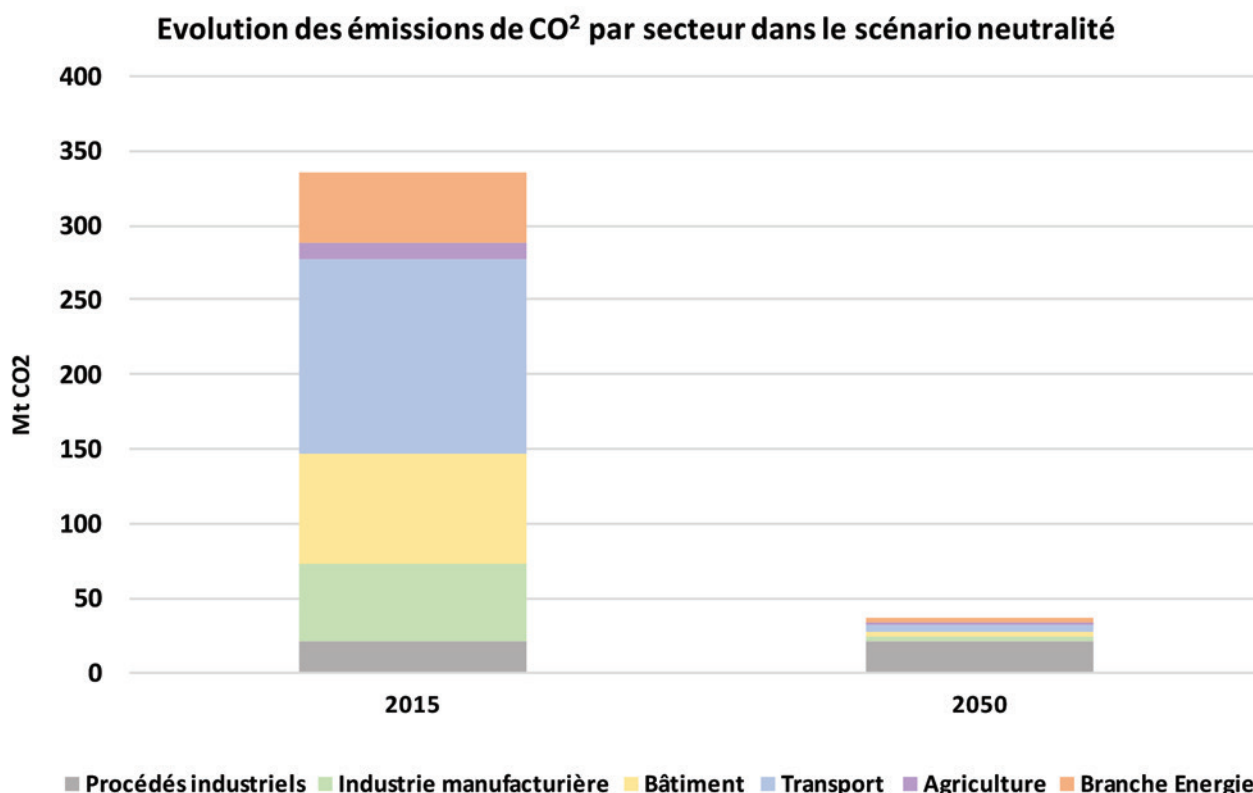


Figure 2 : Évolutions des émissions de CO<sub>2</sub> par secteur en France entre 2015 et 2050 (Source : EDF).

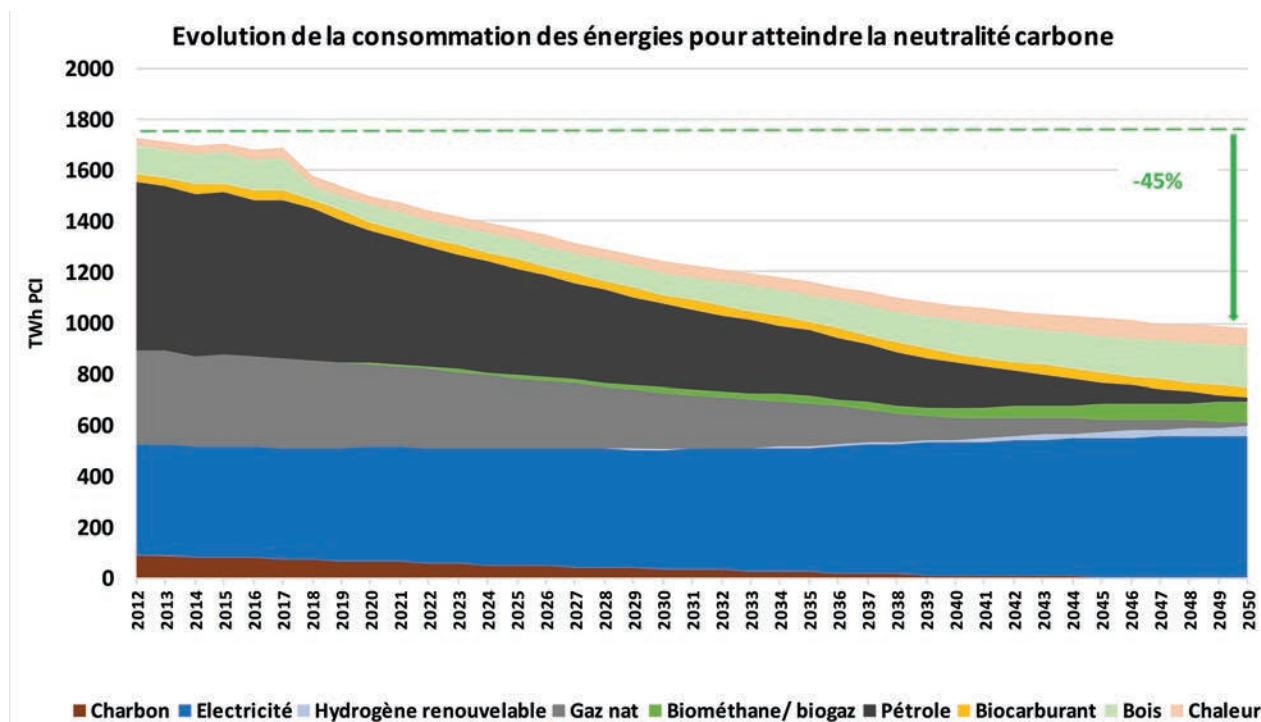


Figure 3 : Évolution de la consommation d'énergie pour chacune des sources d'énergie pour pouvoir atteindre la neutralité carbone en 2050 (Source : EDF).

gisements d'économie d'énergie mis en évidence par le CEREN (2012, 2013, 2014) permet de réduire les consommations d'environ 20 %. Par ailleurs, les pompes à chaleur à haute température représentent une solution déjà efficace en termes de coût pour décarboner (Carbone 4, 2018). Mais son potentiel de déploiement reste limité, car elle ne permet pas de répondre aux besoins de chaleur à très haute température de l'industrie. Une étude du CEREN (2019) relative aux gisements que représentent certaines techniques électriques, a permis de montrer qu'il est possible de passer d'une part de consommation d'électricité de 34 % actuellement à 48 %. Cette valeur semble en ligne avec la fourchette d'estimation issue de divers scénarios de décarbonation : 38 % pour l'AIE (2018), entre 38 et 50 % pour EURELECTRIC (2018). Ainsi, un besoin résiduel de gaz dans l'industrie, compris entre 70 à 80 TWh, semble réaliste et cohérent avec les scénarios de l'ADEME (2013, 2017). La SNBC s'appuie, quant à elle, sur un taux très élevé d'électrification compris entre 70 et 80 %, en 2050. Elle est plutôt en rupture avec les autres études.

### Une trajectoire qui permet d'atteindre une réduction par deux de la consommation énergétique, sans générer d'impact majeur sur le système électrique

Le scénario décrit ici permet l'atteinte de l'objectif climatique de la neutralité carbone à l'horizon 2050, ainsi qu'une réduction de 45 % de la consommation d'énergie finale. En effet, les technologies électriques à l'aval (pompes à chaleur et véhicules électriques, notamment) permettent non seulement de décarboner, mais également de réduire fortement les consommations grâce à leur grande perfor-

mance énergétique. De ce fait, si l'on peut constater une augmentation des consommations d'électricité, celle-ci est relativement modérée : la demande atteindrait 480 TWh en 2030 (+ 40 TWh) et 620 TWh (+ 160 TWh) en 2050, elle représenterait ainsi 60 % de la demande d'énergie finale, et ce malgré un taux d'électrification des usages très important : ainsi, 70 % des bâtiments et 85 % des véhicules routiers seront équipés des technologies électriques.

Sur la période considérée, l'évolution de la pointe de consommation électrique reste maîtrisée, elle n'augmente que de 10 %. Cela s'explique, d'abord, par le fait que la consommation d'électricité augmente dans des proportions raisonnables à l'horizon 2050. En effet, la consommation d'électricité pour le chauffage, l'un des usages responsables de la pointe électrique hivernale, reste stable, autour de 60 TWh entre 2015 et 2050. En effet, l'augmentation des parts de marché est compensée par l'isolation des bâtiments et la forte efficacité des PAC<sup>(2)</sup>. De plus, bien que cet effet n'ait pas été pris en compte dans l'étude, le chauffage électrique sera beaucoup plus pilotable qu'aujourd'hui, dans la mesure où les bâtiments bien isolés offrent une meilleure inertie thermique, et donc de meilleures possibilités d'effacement à la pointe. Concernant les transports, la consommation d'électricité nécessaire pour alimenter les véhicules électriques ne représentera que 20 % de la consommation actuelle, mais surtout les possibilités de *smart-charging* permettront d'optimiser la satisfaction des besoins et de lisser la courbe de charge (UFE, 2019 ; RTE 2019). Enfin,

(2) La rénovation des bâtiments ayant recours à l'électricité pour assurer leur chauffage conduit à des baisses de consommations.

certains usages contribuant à la pointe électrique vont diminuer du fait de progrès réalisés en matière d'efficacité énergétique, c'est notamment le cas de l'éclairage avec la diffusion des LED. Cette estimation est par ailleurs cohérente avec celle réalisée par le cabinet E-CUBE (2019), qui considère que la pointe électrique sera d'environ 105 GW à l'horizon 2050 (celui de la neutralité carbone), contre 95 GW aujourd'hui, soit à peine 10 % d'augmentation.

### La stratégie d'électrification des usages permet d'atteindre bien plus rapidement et avec le plus de certitude la neutralité carbone

La stratégie décrite ici s'appuie principalement sur une électrification directe des usages à l'aval. L'électricité étant d'ores et déjà décarbonée, et les technologies y ayant recours déjà compétitives, la trajectoire de transition énergétique ici décrite permet ainsi d'obtenir rapidement des résultats importants en termes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. En effet, la mise en œuvre de cette stratégie permet d'atteindre, dès 2030, une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de 50 %, tout en ne se traduisant que par une augmentation très modérée de la consommation d'électricité, de l'ordre de 7 %.

De plus, elle s'appuie sur des technologies existantes ; elle ne repose donc ni sur un pari technologique ni sur une rupture en termes de mobilisation des ressources. La production de biométhane, telle qu'envisagée par l'ADEME (2018) et dans une moindre mesure par la SNBC, s'appuie sur des volumes conséquents de ressources agricoles et forestières. Il s'agit d'une forte rupture avec les modes de gestion actuels, et la mobilisation des ressources considérées à cette fin pose des problèmes de concurrence d'usage

(biomatériaux et usage direct de la chaleur) et de respect de l'environnement (de la biodiversité, de la fertilité des sols).

À ce titre, une mobilisation à l'horizon 2050 d'environ 70 à 80 TWh de gaz renouvelable issu essentiellement de la méthanisation – une option en ligne avec les scénarios bas carbone les plus récents de l'ADEME (2017) –, semble déjà très volontariste, les filières pyrogazéification et méthanation représentant clairement un pari (France Stratégie, 2018). Cette production permettra globalement de répondre aux besoins en gaz de l'industrie. Mais développer les usages du gaz au-delà de ce secteur nous exposerait au risque de manquer l'objectif de neutralité carbone. Par exemple, une surconsommation de gaz renouvelable à hauteur de seulement 30 TWh conduirait dans la stratégie gazière à manquer les objectifs climatiques d'environ 52 MtCO<sub>2</sub>, et à hauteur de 23 MtCO<sub>2</sub> dans le cas de la SNBC, mais seulement de 10 MtCO<sub>2</sub> dans la stratégie d'électrification des usages.

La stratégie exposée ici présente également l'avantage d'être robuste face à l'incertitude que représentent les changements de comportement des ménages, et constitue un pari sur lequel s'appuient massivement certains scénarios (NEGAWATT, 2017), mais qui n'en reste pas moins fortement incertain. Le surplus d'émissions de CO<sub>2</sub> induites par une demande de service énergétique supplémentaire est ainsi 20 fois inférieur dans le scénario décrit ici que dans un scénario de décarbonation privilégiant les usages du gaz. En effet, dans ce dernier cas, il est alors nécessaire de recourir à du gaz fossile importé<sup>(3)</sup>.

(3) Il est également possible de produire du gaz de synthèse, mais pour un coût environ 10 fois supérieur.

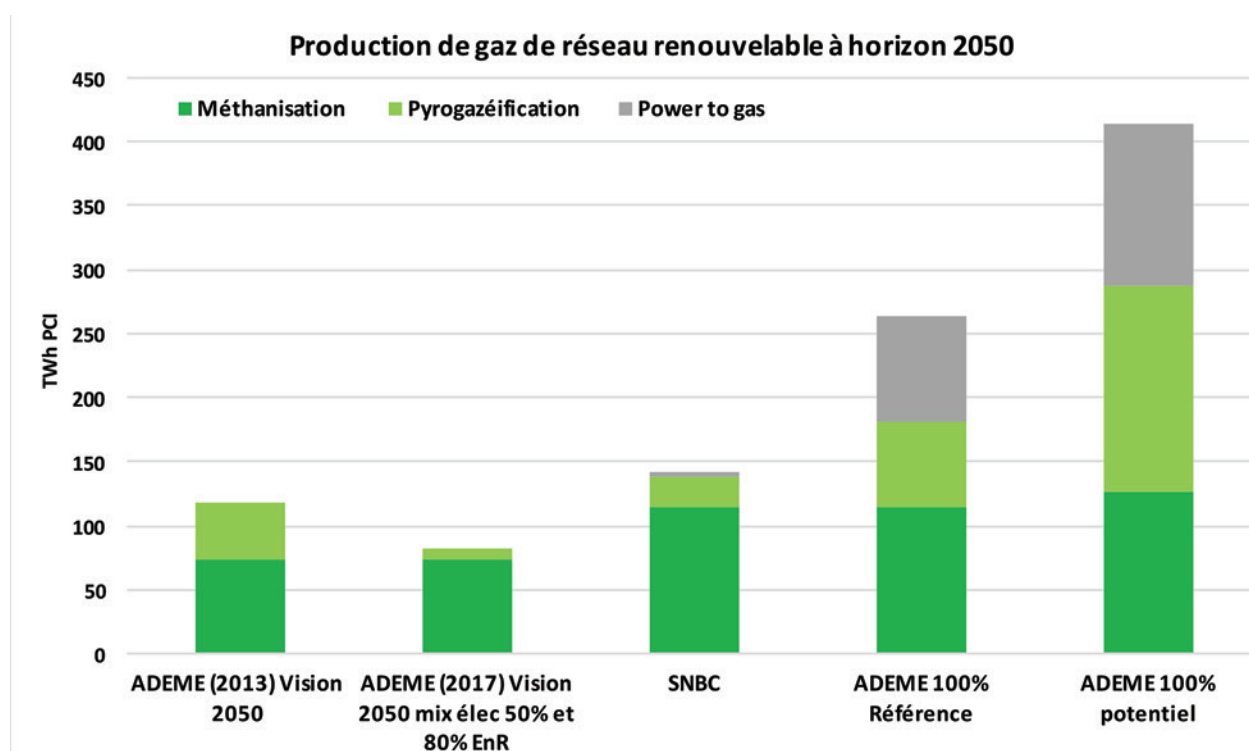


Figure 4 : Production de gaz renouvelables à l'horizon 2050 en France, en fonction de différents scénarios.

## Cette trajectoire de neutralité carbone est aussi une des moins coûteuses pour la collectivité

Les technologies évoquées dans cet article sont compétitives et le seront encore plus dans le futur. Elles représentent ainsi sur un horizon de court-moyen terme des mesures dont le coût de la tonne de CO<sub>2</sub> évitée est bien inférieur aux recommandations du récent rapport sur la valeur de l'action pour le climat (France Stratégie, 2019 ; Carbone 4, 2018).

En revanche, les coûts de production du gaz renouvelable sont très élevés et bien supérieurs au coût du gaz naturel fossile importé. En effet, l'ADEME, dans son étude « Un mix de gaz 100 % renouvelable » (2018), fait état de coûts de production de biométhane issu de la méthanisation ou de la pyrogazéification compris entre 75-95 euros/MWh environ, soit 4 à 5 fois plus que le coût actuel du gaz fossile. Le méthane de synthèse issu de *power to gas* pour-rait, quant à lui, être produit dans des quantités significatives, mais à un coût de production avoisinant 180 euros/MWh, soit près de 10 fois le coût actuel.

De nombreuses études ont cherché à comparer entre eux les coûts de stratégies de décarbonation basées sur l'électrification des usages, d'une part, et sur le développement massif de gaz renouvelables, d'autre part (DENA, 2017 ; Pöyry, 2018). Elles parviennent à la conclusion que la stratégie gazière est celle qui est la moins coûteuse pour le système énergétique. Cependant, ces études comparent une stratégie gazière hybride, dès lors qu'elle s'appuie, elle aussi, sur des technologies électriques à l'aval, à une stratégie théorique d'électrification extrême, dans laquelle l'électricité est utilisée en dehors de sa zone de pertinence, conduisant bien entendu à des coûts très élevés.

La stratégie d'électrification des usages est ici appliquée de façon optimale du fait qu'elle s'appuie sur des solutions complémentaires entre elles : réseaux de chaleur, bioénergies (bois de chauffage, biocarburants, biogaz), hydrogène (H<sub>2</sub>) électrolytique bas carbone, CCS pour satisfaire les usages pour lesquels l'électrification reste difficile (*process* industriels, besoins de chaleur à haute température, transport aérien, maritime ou routier sur longue distance). Elle permet ainsi un fonctionnement du système énergétique pour un coût global maîtrisé, inférieur à celui qui s'imposerait pour atteindre l'objectif climatique dans le cas d'une stratégie gaz décarboné ; elle s'accompagne également d'une réduction de la facture énergétique des ménages d'environ 50 %. Ce résultat est d'ailleurs en ligne avec une étude réalisée par ECF (2019), qui montre que la mise en œuvre des stratégies gazières conduit à un surcoût annuel pour le système énergétique compris entre 12 et 24 %.

Cette même étude met également en lumière un autre résultat intéressant, à savoir que la consommation totale d'électricité est d'un tiers moindre dans un scénario d'atteinte de la neutralité carbone reposant sur l'électrification directe des usages par rapport à un scénario basé sur une production de gaz renouvelables. Ce résultat plutôt contre-intuitif s'explique par le fait que production de cha-

leur par une chaudière brûlant du méthane de synthèse obtenu par méthanation à partir de la production d'hydrogène électrolytique renouvelable, présente un rendement global très faible, environ 6 à 7 fois inférieur à la production de chaleur par une pompe à chaleur. La stratégie d'électrification des usages est donc également la plus sobre du point de vue de la consommation des ressources.

## Bibliographie

- ADEME, « L'exercice de prospective de l'ADEME. Vision 2030-2050 », 2013.
- ADEME, « Actualisation du scénario Énergie-climat 2035-2050 », 2017.
- ADEME/GRTgaz/GrDF, « La France indépendante en gaz en 2050. Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050 ? Étude de faisabilité technico-économique », 2018.
- AIE, "World Energy Outlook 2018", 2018.
- CARBONE 4, « Baromètre de la décarbonation. Comment décarboner en profondeur et sans tarder le bâtiment, les transports et l'industrie ? », 2018.
- CEREN, « Les gisements d'économie d'énergie dans l'industrie lourde », étude 0314, 2012.
- CEREN, « Les gisements d'économie d'énergie dans les industries intermédiaires », étude 1314, 2013.
- CEREN, « Les gisements d'économie d'énergie dans la petite industrie », étude 2314, 2014.
- CEREN, « Gisement des techniques électriques dans l'industrie. Approfondissement », étude 8354, 2019.
- CGDD/MTES, « Trajectoire de transition bas carbone en France, au moindre coût », 2016.
- DENA, "Erneuerbare Gase – Ein systemupdate der Energiewende", 2017.
- ECF, "Trucking into a greener future – The economic impact of decarbonizing goods vehicles in Europe", 2018.
- ECF, "Towards fossil-free energy in 2050", 2019.
- E-CUBE, « Analyses autour de la stratégie nationale bas carbone – Analyses de sensibilité de la trajectoire du scénario SNBC de référence des pouvoirs publics et analyses de couverture de la demande de pointe », 2019.
- EDF, « Contribution au débat public sur la programmation pluriannuelle de l'énergie », Cahier d'acteur n°43, 2018.
- EURELECTRIC, "Decarbonization pathways. European economy: EU electrification and decarbonization scenario modelling, synthesis and key-findings", 2018.
- EUROPEAN COMMISSION, "A clean planet for all. A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy", 2018.
- FRANCE STRATÉGIE, « Quelle place pour le gaz dans la transition énergétique ? », 2018.
- FRANCE STRATÉGIE, « La valeur de l'action pour le climat. Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques », Rapport de la commission présidée par A. Quinet, 2019.
- ICCT, "Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles. Economic and environmental aspects of technology options", 2018.
- IDDR/CIREDD/EDF, BRIAND Y., LEFEVRE J. & CAYLA J-M., "Pathways to deep decarbonization of the passenger transport sector in France", 2017.

IFPEN, « Bilan transversal de l'impact de l'électrification par segment : PROJET E4T », ADEME, 21 p., 2018.

McKINSEY, "Global energy perspectives 2019", 2019.

MTES, « Projet de stratégie nationale bas carbone. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone », 2019.

NEGAWATT, « Scénario négawatt 2017-2050 », 2017.

PÖYRY, "Fully decarbonizing Europe's energy system by 2050", 2018.

RTE, « Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique », 2019.

RTE, « Bilan électrique 2018 », 2018.

SDSN-IDDRI, "Deep Decarbonization Pathways Project", rapport 2015 sur les trajectoires de décarbonation profonde – Résumé exécutif, SDSN – IDDRI.

THE SHIFT PROJECT, « Performance énergétique du bâtiment. Programme de rénovation thermique du parc existant, 2015-2050 », Rapport du groupe de travail « Rénovation thermique du bâtiment », 2013.

THE SHIFT PROJECT, « Décarboner la mobilité dans les zones de moyenne densité. Moins de carbone, plus de lien », note méthodologique, 2017.

UFE, « Développement de l'électromobilité : démystifier les questions de faisabilité pour faire apparaître les opportunités pour le système électrique », 2019.