

Application à 2050 de la transition énergétique et de la neutralité carbone à la demande d'énergie, en France

Par Laurent MICHEL

Directeur général de l'Énergie et du Climat, ministère de la Transition écologique et solidaire (DGEC/MTES)

et Quentin DESLOT

Ingénieur des Ponts, des Eaux et des Forêts, DGEC/MTES

Dans son plan Climat de juillet 2017, la France s'est engagée à rehausser son ambition climatique en visant la neutralité carbone à l'horizon 2050. Cet objectif suppose de repenser en profondeur le système énergétique du pays. Celui-ci devra être décarboné en éliminant quasi complètement l'ensemble des énergies fossiles. La biomasse, la chaleur renouvelable et l'électricité auront un rôle croissant à jouer dans le mix énergétique. Cette décarbonation du mix énergétique impose que la consommation d'énergie soit réduite par un facteur 2 environ. Cela passera nécessairement par des efforts systématiques d'efficacité énergétique ainsi que par des comportements individuels et une organisation collective plus sobres en énergie. Il faut également garder en tête que l'objectif de neutralité carbone à l'échelle nationale doit s'accompagner d'efforts sur l'ensemble de l'empreinte du pays afin de prendre les décisions les plus efficaces et un accompagnement spécifique des ménages et des entreprises les plus fragiles. Cette ambition de long terme est indissociable d'une action renforcée de court et moyen terme.

Qu'est-ce que la neutralité carbone ? Et comment l'atteindre en France à l'horizon 2050 ?

L'Accord de Paris appelle les différents États signataires à parvenir à un équilibre entre les émissions de gaz à effet de serre et celles absorbées par les puits au cours de la deuxième moitié du siècle. Il s'agit de la « neutralité carbone » : les émissions de gaz à effet de serre (toutes sources confondues : combustion des énergies fossiles, procédés industriels, procédés agricoles, traitement des déchets, changement d'utilisation des terres) doivent être complètement compensées par les absorptions de ces mêmes gaz par les « puits », notamment les sols et les forêts, ou grâce à certaines technologies comme la capture et le stockage du carbone (CSC).

Dans son plan Climat de juillet 2017, la France s'est engagée à parvenir à la neutralité carbone à l'horizon 2050, allant plus loin que l'objectif précédent fixé dans la loi de Transition énergétique et de croissance verte

(LTECV) de 2015, à savoir diviser les émissions par un « facteur 4 ⁽¹⁾ » au même horizon. Il s'agit donc d'atteindre cet objectif d'équilibre entre émissions et absorptions à l'échelle française sans recourir à une compensation *via* des crédits internationaux. Cette approche, dite territoriale, porte sur les gaz à effet de serre émis et absorbés sur le territoire français, Métropole et Outre-mer. Elle ne comprend pas les émissions liées aux transports internationaux, maritimes et aériens (dits sources internationales). Elle ne prend pas non plus en compte le bilan des émissions liées aux importations et exportations de biens et services. Cette approche territoriale diffère de l'approche dite « empreinte carbone ». Ce renforcement de l'objectif a des conséquences importantes sur la vision du système énergétique de long terme.

Le scénario de référence de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) et de la stratégie nationale bas

(1) Par rapport à 1990.

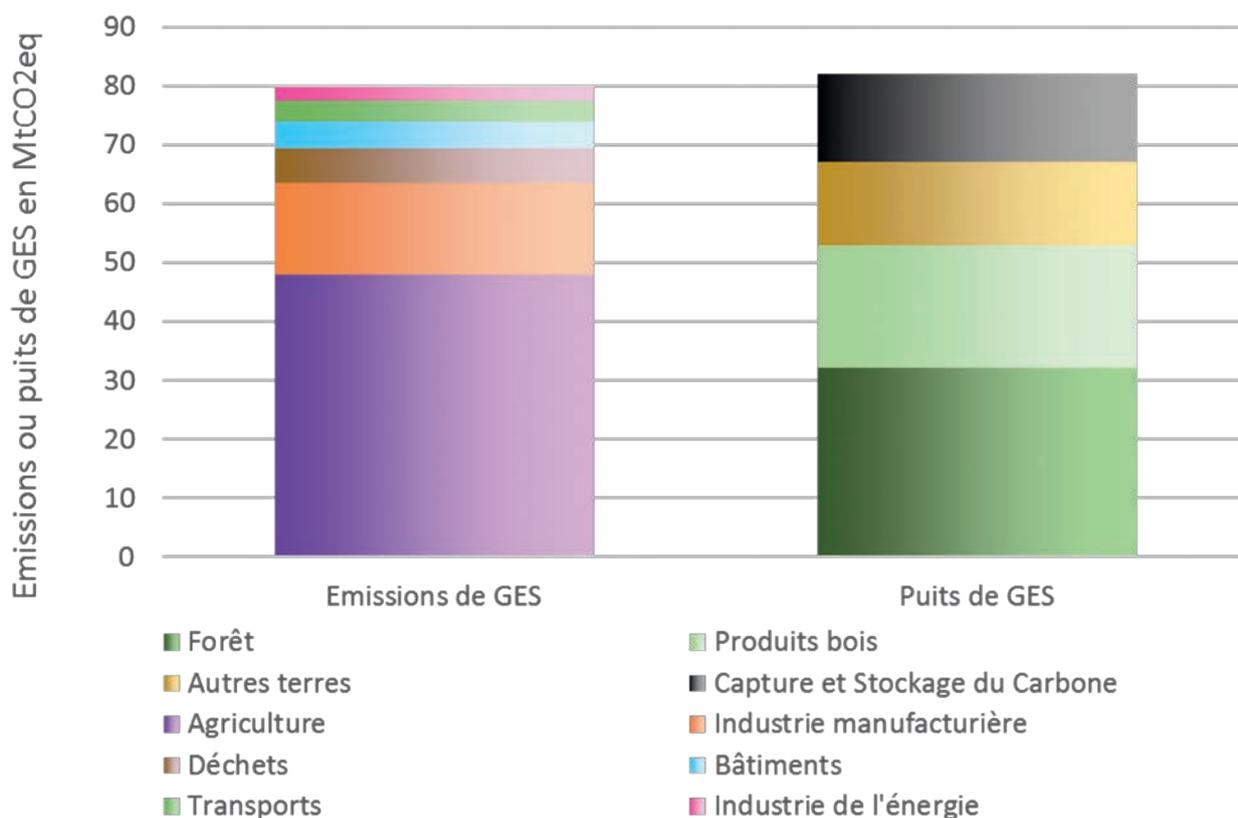


Figure 1 : Émissions et puits de gaz à effet de serre en 2050 dans le scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat (Source : MTEs).

carbone (SNBC) (appelé également scénario « Avec mesures supplémentaires », AMS) décrit une manière raisonnable d'atteindre cet objectif. Il ne recourt pas à des ruptures technologiques importantes, mais il suppose un développement mesuré de certaines technologies qui ne sont pas encore matures aujourd'hui, comme l'hydrogène ou les technologies de CSC. Il repose sur une sollicitation raisonnée des leviers de sobriété se traduisant par des besoins de la population en légère diminution dans l'ensemble des secteurs⁽²⁾, et ce, grâce à un changement important des modes de consommation sans perte de confort. L'efficacité énergétique est développée fortement en mettant à profit autant que possible les technologies connues aujourd'hui. Il en résulte une forte diminution de la consommation énergétique, tous secteurs confondus. La production d'énergie est, quant à elle, complètement décarbonée *via* le recours à l'électricité décarbonée, à la biomasse et à la chaleur renouvelable et issue de l'environnement. Au-delà de l'objectif de neutralité carbone, le scénario retient l'hypothèse d'une décarbonation de la moitié des sources internationales et adopte une philosophie de minimisation de l'empreinte carbone, sans pour autant se hasarder à quantifier précisément l'évolution de ce paramètre jusqu'en 2050.

L'ensemble du système énergétique français devra être efficace et décarboné

À l'horizon 2050, en prenant des hypothèses de croissance raisonnable et durable du stockage par les puits de

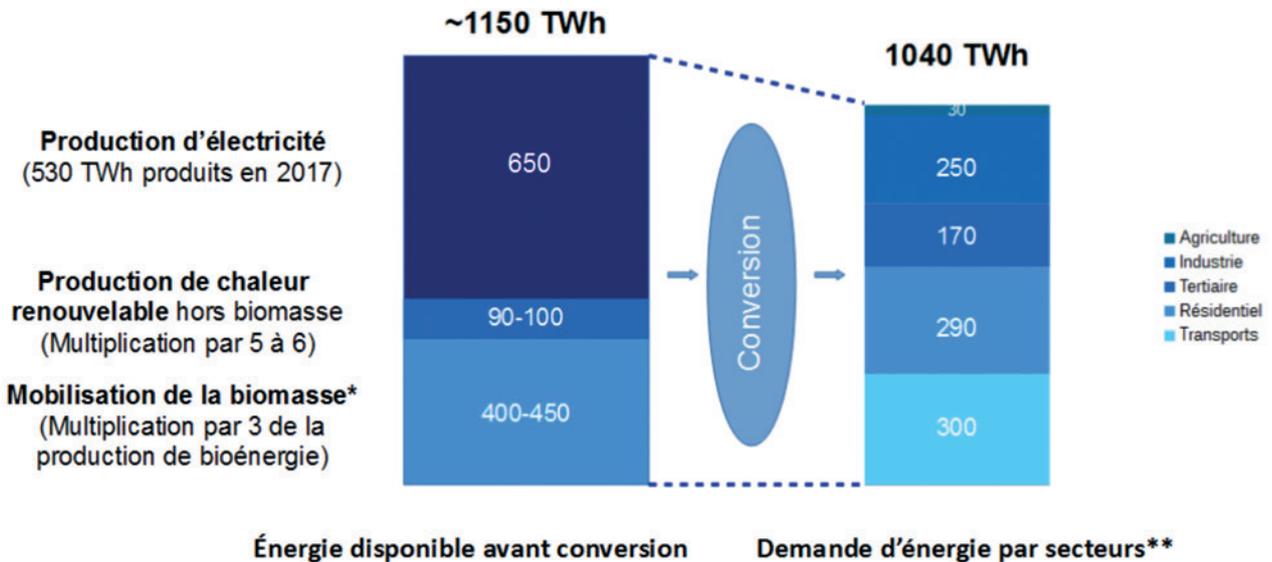
carbone, ceux-ci ne pourront globalement que compenser les émissions de gaz à effet de serre incompressibles. Il s'agit à cet horizon principalement des gaz à courte durée de vie liés aux usages non énergétiques (en particulier, ceux de l'agriculture, de certains procédés industriels ou du secteur des déchets). Certaines émissions énergétiques inévitables subsistent également (transport aérien, fuites de gaz, procédés de méthanisation ou de raffinage). Par conséquent, les émissions liées à la combustion des énergies fossiles doivent être quasi complètement éliminées, car celles-ci ne pourront pas être compensées par les puits de carbone.

Cela signifie que l'ensemble du système énergétique français devra être décarboné à l'horizon 2050⁽³⁾.

À cette fin, trois sources d'énergie décarbonées existent : l'électricité décarbonée, la biomasse et la chaleur renouvelable issue de l'environnement (pompes à chaleur, solaire thermique et géothermie). Chacune d'entre elles possède cependant un potentiel de production limité. Ces potentiels sont basés sur des réalités physiques, sur des enjeux de disponibilité des gisements, d'acceptation sociale,

(3) Certains scénarios de transition atteignent la neutralité carbone en ne décarbonant pas totalement le mix énergétique en 2050. Ces scénarios reposent en général sur des hypothèses d'un développement plus important des puits de carbone comme les technologies de CSC ou comme le puits naturel du secteur des terres. Dans le premier cas, il s'agit d'une rupture technologique importante. Dans le second, se pose la question de la durabilité du puits au-delà de 2050. Quoi qu'il en soit, ces scénarios reposent eux aussi sur une décarbonation très profonde du système énergétique français avec un recours très limité aux énergies fossiles.

(2) Par comparaison à un scénario tendanciel.



*Cela correspond à environ 350-400TWh de ressources en biomasse utilisable en prenant en compte les rendements de conversion.
 ** Inclut les sources internationales mais pas les consommations non-énergétiques

Figure 2 : Potentiels identifiés de production d'énergie décarbonée et consommation d'énergie envisagée dans le scénario de référence de la stratégie française pour l'énergie et le climat en 2050 (Source : MTEs).

d'efficacité économique, de sécurité d'approvisionnement et de diversification du mix électrique.

La consommation énergétique française devra être divisée par deux environ

À l'horizon 2050, les potentiels de production d'énergie décarbonée sont estimés à 400 à 450 TWh pour la biomasse, 100 TWh pour la chaleur renouvelable issue de l'environnement (pompes à chaleur, géothermie, solaire thermique) et à au moins 650 TWh d'électricité décarbonée⁽⁴⁾.

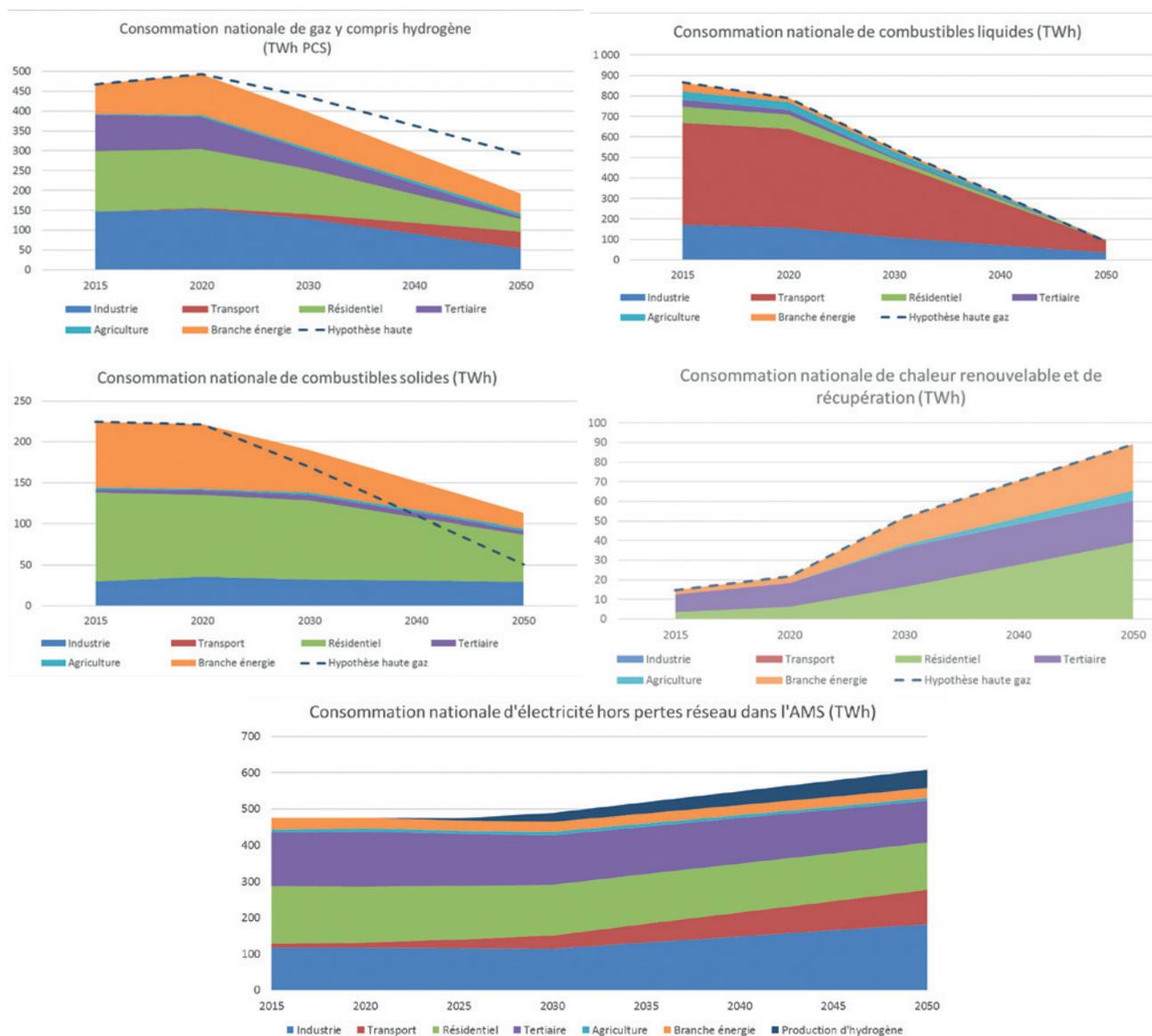
La question de la sollicitation des ressources en biomasse demeure centrale dans le scénario de référence. En effet, il s'agit d'atteindre une production de ressources en biomasse environ 2,5 fois plus importante qu'aujourd'hui. Cette mobilisation importante de ces ressources peut être réalisée de manière durable en améliorant la gestion forestière, la gestion des terres agricoles ainsi que la gestion des déchets. Du côté de la mobilisation des ressources forestières, les ressources en bois prélevées en forêt pour produire directement de l'énergie seraient, en 2050, sensiblement les mêmes qu'aujourd'hui. En revanche, le développement de la bioéconomie permettrait une valorisation énergétique plus importante de la biomasse via les co-produits et une meilleure gestion de la fin de vie des produits biosourcés. Du côté de la mobilisation agricole, la valorisation des résidus de culture et des effluents d'élevage deviendrait la norme. Les cultures énergétiques se développeraient, en particulier les cultures intermédiaires qui présentent l'avantage de ne pas concurrencer les cultures alimentaires.

(4) Pour donner un ordre d'idée, la consommation nationale d'énergie finale était en 2015 d'environ 1 800 TWh.

La production de chaleur renouvelable issue de l'environnement (pompes à chaleur, géothermie, solaire thermique) pourrait, quant à elle, être multipliée d'un ordre de grandeur correspondant à un facteur 5 ou 6 par rapport à aujourd'hui, et ce en accélérant le recours à ces technologies à chaque fois que cela demeure possible.

La production d'électricité devra, quant à elle, augmenter légèrement par rapport à aujourd'hui, ce qui apparaît possible au regard des différentes visions que l'on peut avoir du mix décarboné.

Dès lors que ces potentiels ont pu être identifiés, il apparaît clairement que la consommation d'énergie doit diminuer de manière drastique. La division par 2 de la consommation énergétique finale inscrite dans la loi de Transition énergétique pour la croissance verte donne un bon guide pour obtenir un système dont l'approvisionnement énergétique peut être complètement décarboné. Cela nécessite de recourir systématiquement aux technologies les plus efficaces énergétiquement parlant, et ce quelle que soit l'application qui en est faite : les bâtiments doivent être profondément rénovés, la mobilité électrique, qui est deux à trois fois plus efficace que la mobilité thermique, doit être privilégiée ; les procédés industriels doivent atteindre des gains de performance significatifs. La réduction de la consommation d'énergie passe aussi par la sobriété, c'est-à-dire une modification de l'organisation collective et des comportements individuels : l'économie circulaire permet de réduire nos besoins en ressources à travers la réutilisation, la réparabilité ou le recyclage des produits. De même, le covoiturage ou le recours aux modes de transports doux (le vélo, notamment) doivent être encouragés. Ou bien encore, la température de chauffage pourrait être abaissée dans certains bâtiments, notamment quand personne ne s'y trouve.



Figures 3 : Consommations nationales des principaux vecteurs énergétiques entre 2015 et 2050 (Source : MTEs).

La part des combustibles dans le mix énergétique devra diminuer au regard des contraintes pesant sur les ressources en combustible décarboné

Une forte tension apparaît sur les consommations en combustibles servant dans l'ensemble des secteurs de l'économie. Au vu du potentiel de mobilisation de la biomasse, ce ne serait plus que 30 % des usages qui pourraient être satisfaits par des combustibles décarbonés en 2050, contre près des deux tiers aujourd'hui.

Par ailleurs, le scénario de référence, pour des raisons d'efficacité énergétique, repose sur le principe d'un recours raisonnable à des technologies comme l'hydrogène, le *power-to-gas* ou, plus généralement, le *power-to-X*, des technologies qui permettent de produire des combustibles à partir de l'électricité. Cela ne doit pas pour autant nous empêcher d'explorer activement leur potentiel technique et économique, en particulier au travers du plan Hydrogène adopté en juin 2018

Cela signifie que l'ensemble des consommations de combustibles devront diminuer fortement. Dans le scénario principal, la consommation de combustibles solides (charbon et biomasse solide) passe de 225 TWh en 2015 à environ 110 TWh en 2050, la consommation de combustibles liquides (pétrole et biocarburants) de 865 TWh en 2015 à 100 TWh en 2050 (hors soutes internationales), la consommation de combustibles gazeux (gaz naturel, renouvelable et hydrogène) de 470 TWh en 2015 à 195 TWh en 2050 (hors soutes internationales)⁽⁵⁾.

(5) La répartition des ressources en biomasse sous forme de vecteurs (solide, liquide ou gazeux) demeure assez incertaine à l'horizon 2050. Le scénario principal présente une répartition raisonnable et pragmatique. D'autres seraient possibles. Parmi elles, une autre répartition laisserait plus de place au vecteur gaz via la conversion de certains usages à ce combustible. Cette seconde répartition appelée « variante hypothèse gaz haut » aboutit à une consommation de gaz d'environ 295 TWh à l'horizon 2050 (contre 195 TWh pour le scénario initial). Cette variante requiert néanmoins de mobiliser plus de ressources en biomasse ou d'avoir recours à du gaz naturel en 2050 qu'il faudrait à terme compenser en recourant à du CSC additionnel, par exemple.

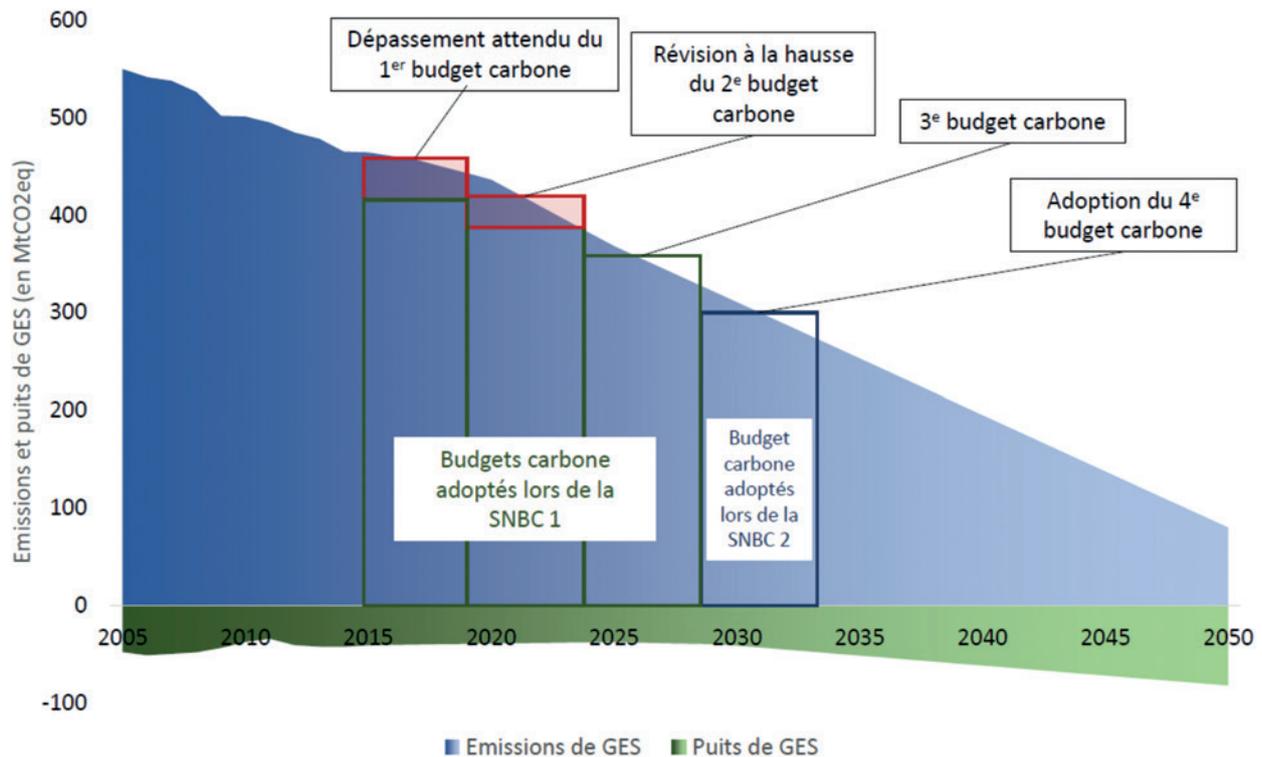


Figure 4 : Historique et trajectoire des émissions de gaz à effet de serre en France entre 2005 et 2050 (Source : MTES, Citepa).

Au fil du temps, la consommation énergétique finale verra disparaître le charbon, puis le pétrole (à l'exception des carburants aériens). Le gaz gardera une place dans le système énergétique sous la forme de gaz renouvelable ou d'hydrogène, tout comme la biomasse solide ou les biocarburants.

Par conséquent, les consommations d'énergie doivent se reporter vers d'autres sources d'énergie. La consommation en chaleur renouvelable et issue de l'environnement sera multipliée par un facteur 5 ou 6 entre 2015 et 2050. La consommation d'électricité, quant à elle, restera stable ou diminuera légèrement (hors production d'hydrogène) entre aujourd'hui et 2030. Puis, elle augmentera à partir de 2030 en raison de l'électrification nécessaire de différents secteurs, en particulier les transports et l'industrie, mais aussi pour répondre aux besoins énergétiques de la production d'hydrogène. En 2050, elle devrait se situer aux environs de 600 TWh.

Trois impératifs : accompagner les plus fragiles dans leur transition, garder en tête que la réduction de l'empreinte énergétique et climatique du pays est également un facteur clé de la transition énergétique et climatique, et, enfin, agir vite et efficacement sur le court et moyen terme

Au vu des modifications profondes du système énergétique qu'elle implique, la neutralité carbone est un défi qui s'annonce colossal. Relever ce défi est cependant

souhaitable pour chacun de nous, car la transition énergétique est un chantier ayant des retombées économiques concrètes en termes d'emploi et va permettre d'orienter à la baisse notre facture énergétique sur le long terme. Bien sûr, parvenir à ces retombées de long terme nécessitera de passer par une période de transition marquée par des investissements importants. L'accompagnement des ménages et des entreprises les plus fragiles sera un facteur clé pour que ceux-ci puissent eux aussi réussir leur transition en dépit de leur capacité d'investissement limitée. Sur les plans du logement et de la mobilité, il s'agit d'enjeux clés qui sont difficiles à négocier pour les ménages les plus modestes. Les dispositifs d'accompagnement actuels doivent encore être renforcés sur le papier, mais aussi et surtout dans leur réalisation concrète. Des stratégies d'ampleur doivent aussi être définies, d'une part, pour l'industrie lourde, qui est fortement émettrice de gaz à effet de serre de par la nature même de ses procédés, et, d'autre part, pour l'agriculture.

Ce défi a également des conséquences positives tangibles, par exemple en réduisant la pollution de l'air. Enfin, atteindre la neutralité carbone est surtout nécessaire pour concrétiser les objectifs climatiques que nous nous sommes fixés au niveau international.

Il faut néanmoins rappeler que l'objectif de neutralité ne concerne que les émissions produites sur le territoire national. Or, la lutte contre le changement climatique ne pourra pas se faire qu'à l'échelle de notre pays. Chaque émission compte, qu'elle ait lieu en France ou ailleurs. La question de l'empreinte énergétique et climatique est de ce point de vue une notion clé. Aujourd'hui, environ la

moitié de l’empreinte carbone d’un Français est constituée d’émissions importées d’autres pays⁽⁶⁾. Cette moitié extra-nationale des émissions actuelles imputées aux Français doit logiquement connaître une évolution similaire à la moitié nationale de nos émissions. L’empreinte carbone mérite ainsi d’être également un indicateur de suivi central de la stratégie française pour l’énergie et le climat.

Enfin, si la neutralité carbone peut être un guide et un outil d’orientation pour le long terme, il nous faut aussi agir vite

(6) Ministère de la Transition écologique et solidaire, Commissariat général au Développement durable (2019), « Chiffres clés du climat, édition 2019 », p. 38, https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-12/datalab-46-chiffres-cles-du-climat-edition-2019-novembre2018_1.pdf

et efficacement sur le court et moyen terme. D’abord, les gaz à effet de serre émis s’accumulant dans l’atmosphère, la somme des émissions (« budget carbone ») « autorisées » est limitée, les récents rapports du GIEC montrent la nécessité d’une réduction rapide et pas seulement de la neutralité carbone après 2050. Ensuite, bon nombre d’efforts seront plus simples à réaliser s’ils sont conduits sur une base régulière, comme la rénovation des bâtiments.

L’action à court et moyen terme (2020 et 2030) est finalement un marqueur clé de la crédibilité de l’ambition politique, notamment par rapport à l’objectif de long terme. L’Union européenne s’y attache à travers son cadre Énergie-climat 2030. La loi de 2015, le plan Climat et les projets de PPE et SNBC tracent le cadre pour l’action nationale, mais les difficultés que nous avons rencontrées pour tenir nos budgets d’émissions de GES au cours des dernières années soulignent l’urgence de l’action.