

1

L'OBJET DE L'ÉTUDE

L'OBJET DE L'ÉTUDE :

QUEL SYSTÈME ÉLECTRIQUE POUR SORTIR DES ÉNERGIES FOSSILES ET ÊTRE NEUTRE EN CARBONE EN 2050 ?

1.1 Un objectif de neutralité carbone en 2050

Afin de contribuer à l'engagement pour limiter le réchauffement de la planète, la France a pour objectif d'être neutre en carbone d'ici 2050.

Cet objectif engage la France auprès de l'Union européenne et des Nations-Unies dans le cadre de l'accord de Paris. Il est intégré dans la loi française depuis 2019 (loi climat-énergie).

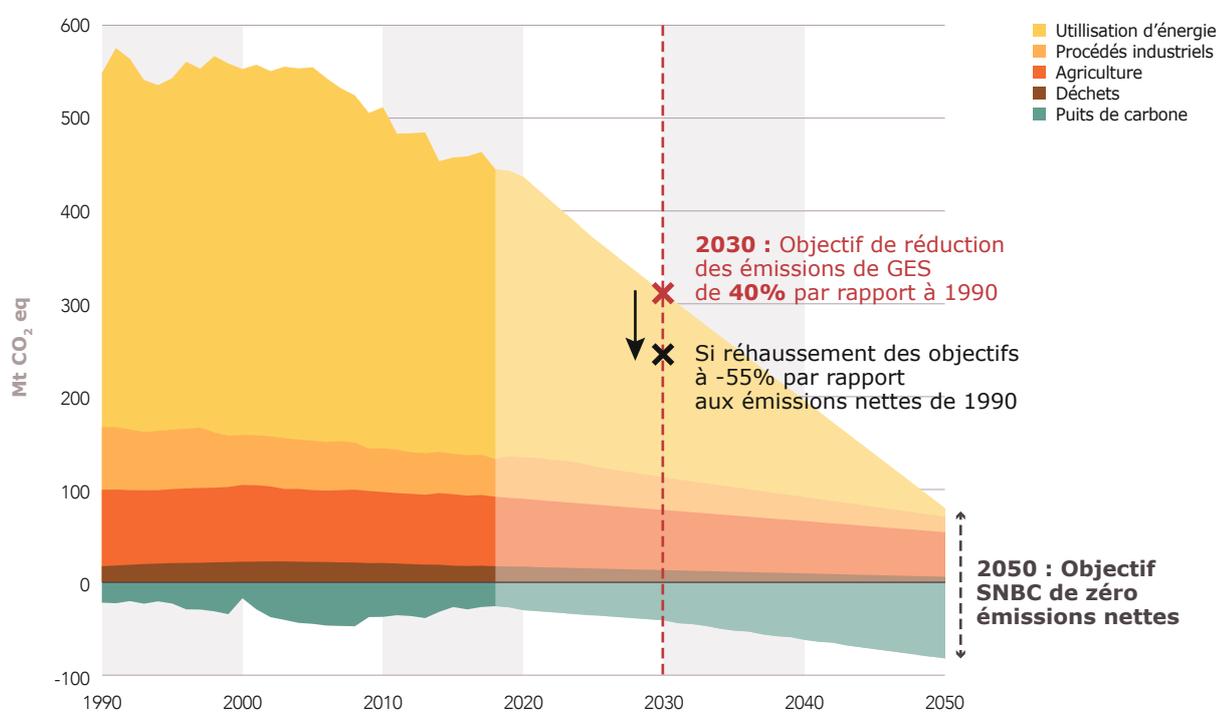
L'ambition de neutralité carbone en 2050 signifie que les émissions nationales de gaz à effet de serre ne devront alors pas dépasser les quantités de gaz à effet de serre absorbées sur le territoire français par les écosystèmes (forêts, prairies, sols agricoles...) et certains procédés industriels (capture et stockage ou réutilisation du carbone). Cela nécessite ainsi, d'une part, de réduire considérablement les émissions brutes et de les rapprocher le plus possible de zéro, et d'autre part, de développer les puits de carbone pour parvenir *a minima* à compenser les émissions marginales. Dans tous les cas, il s'agit d'une tâche considérable, qui

implique de sortir des énergies fossiles, qui ont alimenté la croissance économique depuis la révolution industrielle.

Les engagements climatiques de la France, et plus généralement de l'Union européenne, ne se réduisent pas à une cible 2050. Ils impliquent qu'une partie de l'effort soit réalisée lors de la décennie 2020-2030, ce qui se traduit à date par un engagement de réduire, d'ici 2030, les émissions de gaz à effet de serre de 40% par rapport à leur niveau de 1990.

Cet engagement intermédiaire est lui-même en cours de révision. Dans le cadre de la préparation de la COP 26 à Glasgow, l'Union européenne a adopté une loi climat et fixé un nouvel objectif de réduction de 55% des émissions nettes de gaz à effet de serre d'ici 2030. Cet objectif n'est pas encore traduit dans des cibles contraignantes pour chaque État membre, mais il est certain qu'il implique une augmentation de l'effort par rapport à l'objectif des -40%.

Enseignement n° 18 Évolution des émissions et des puits de gaz à effet de serre (historique et objectifs)



(Source : SNBC)

1.2 Pour respecter les engagements climatiques de la France, il faut sortir des énergies fossiles sur lesquelles notre économie et nos modes de vie sont aujourd'hui assis

En France, environ 60% de l'énergie utilisée est d'origine fossile : il s'agit principalement des produits pétroliers (de l'ordre de 40%), du gaz naturel (de l'ordre de 20%) et du charbon (moins de 1%).

Cette énergie dépend des importations des pays producteurs (notamment l'Arabie saoudite, le Kazakhstan, la Russie, le Nigeria et l'Algérie pour le pétrole brut, la Norvège, la Russie, les Pays-Bas et le Nigeria pour le gaz). Les crises énergétiques qui se succèdent ont montré combien la France était exposée par ce biais aux variations des cours des produits énergétiques sur les marchés mondiaux, qui dépendent de dynamiques géopolitiques complexes et de l'état de l'économie mondiale.

C'est pourtant bien ce système articulé autour des énergies fossiles qui a été le socle de la croissance économique du pays au cours des Trente Glorieuses. Malgré les chocs pétroliers, il a alimenté la France avec une énergie bon marché, encore abondante et facilement stockable. Les combustibles fossiles satisfont aujourd'hui une consommation finale de plus de 930 TWh par an, contre 430 TWh pour l'électricité.

Le système électrique français, contrairement à celui de la majorité de ses voisins, n'est pas assis sur les énergies fossiles. Sa caractéristique principale est de reposer en majorité sur un parc de

56 réacteurs nucléaires, construits et mis en service de manière très rapprochée entre la fin des années 1970 et le début des années 1990 pour la plupart, et qui se sont ajoutés à une base de production hydraulique déjà importante (60 TWh). Le programme électronucléaire français répondait à un souci d'autonomie énergétique à la suite des chocs pétroliers. Aujourd'hui, il n'est pas contestable qu'il constitue un atout majeur de la France dans la lutte contre le changement climatique en produisant une électricité très largement décarbonée en grandes quantités.

Comme dans toutes les démocraties occidentales, le choix du nucléaire civil suscite en France un débat démocratique. La discussion s'est cristallisée, ces dernières années, autour de la notion de «part» du nucléaire dans le mix électrique, à tel point qu'une partie de la population a pu croire que cette part renvoyait à celle du nucléaire dans la consommation énergétique totale de la France. **Or, si le nucléaire représente bien 70% de l'électricité produite en France, il représente moins de 20% de l'énergie finale utilisée par les français.** La prépondérance du nucléaire dans la production d'électricité ne doit pas occulter la dépendance de la France aux énergies fossiles et importées pour ses besoins en énergie. Dès lors, l'atteinte de la neutralité carbone oblige à renoncer en quasi-totalité à ces énergies fossiles.

1.3 La stratégie française pour l'avenir : une énergie bas-carbone et souveraine, fondée sur l'efficacité énergétique, l'électricité bas-carbone et le développement des usages de la biomasse

La stratégie française pour atteindre la neutralité carbone est fixée par la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC), réévaluée tous les cinq ans. La dernière version de ce document, publiée en 2020, détermine le cadrage de référence des «Futurs énergétiques 2050» de RTE. Ceux-ci examinent un grand nombre de variantes, qui respectent toutes le cadre de neutralité carbone en 2050.

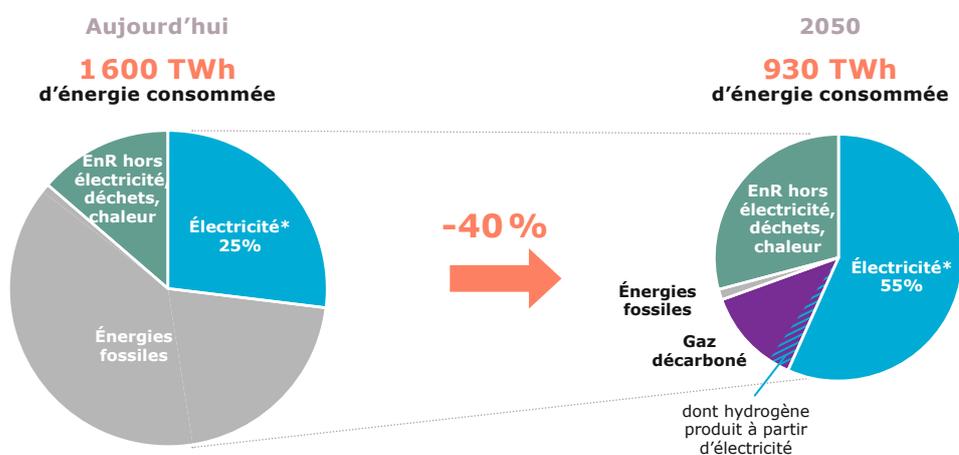
L'étude permet ainsi de tester l'application des principes de la SNBC, d'en mesurer les conséquences, et également de préparer la révision de la stratégie française pour l'énergie et le climat qui aura lieu en 2023 dans le cadre d'une loi de programme.

Côté *demande*, la SNBC repose en premier lieu sur l'efficacité énergétique : elle prévoit que la consommation d'énergie finale de la France diminue de 40% en trente ans. Il s'agit d'une ambition très forte, dans le haut de la fourchette des stratégies des pays limitrophes, qui conduirait la France à retrouver son niveau de consommation d'énergie de la fin des années 1960.

Côté *offre*, la SNBC est articulée sur deux piliers : l'électricité décarbonée et la biomasse produite sur le territoire. Elle exclut donc les imports massifs de gaz verts, de biomasse non durable ou de combustibles décarbonés, à la différence de ce qui est envisagé dans certains pays européens. La France a donc fait le choix, en 2020, d'un système neutre en carbone et souverain. Les implications en sont très larges.

D'une part, la SNBC implique une mobilisation très poussée de la biomasse, énergie destinée à croître le plus dans la stratégie française. D'autre part, la SNBC prévoit une croissance de la consommation d'électricité, mais dans des proportions généralement inférieures à ce que prévoient les voisins de la France comme l'Allemagne, le Royaume-Uni ou l'Italie. Ces éléments de comparaison doivent être pris en compte dans les «Futurs énergétiques 2050», alors que les scénarios de neutralité carbone les plus récents convergent pour rehausser l'ambition d'électrification par rapport aux visions d'il y a seulement quelques années. Dans les «Futurs énergétiques 2050», le cadrage de la SNBC est conservé et légèrement rehaussé pour la consommation d'électricité.

Figure 2 Consommation d'énergie finale en France et dans la SNBC



* Consommation finale d'électricité (hors pertes, hors consommation issue du secteur de l'énergie et hors consommation pour la production d'hydrogène)
Consommation finale d'électricité dans la trajectoire de référence de RTE = 645 TWh

1.4 Un impensé du débat français : la fermeture prévisible du parc de seconde génération au cours des prochaines décennies

Pour alimenter une consommation de 645 TWh d'électricité en 2050, la France dispose d'un atout : sa production d'électricité décarbonée avoisine déjà 500 TWh. Dès lors, la « marche » à franchir est beaucoup moins haute que dans d'autres pays (l'Allemagne produit aujourd'hui environ 300 TWh d'électricité bas-carbone, le Royaume-Uni près de 200 TWh, l'Italie près de 100 TWh, alors que tous ces pays européens envisagent des consommations d'électricité de l'ordre de 600-800 TWh dans trente ans).

S'en tenir à cette vision statique ne suffit pourtant pas à saisir l'ampleur du défi en France : l'âge moyen du parc nucléaire est de 36 années et les réacteurs construits à la fin des années 1970 et au début des années 1980 atteignent progressivement l'échéance de 40 ans qui avait été retenue comme hypothèse de durée de fonctionnement lors de leur conception. Si la durée d'exploitation de ces centrales est en train d'être prolongée dans le cadre des prescriptions édictées par l'Autorité de sûreté nucléaire et sous le contrôle de cette dernière, il est généralement admis que les réacteurs ne pourront probablement pas fonctionner plus de 60 ans, sauf exception et démarche de sûreté spécifique.

Définir une stratégie industrielle intégrant la fermeture prévisible du parc électronucléaire historique, qui contribue aujourd'hui largement à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la compétitivité de l'électricité produite en France, apparaît donc indispensable. Les arrêts définitifs seront très rapprochés (effet falaise), en raison de la rapidité exceptionnelle avec laquelle la France a bâti son parc dans les années 1980.

Cette perspective de fermeture constitue parfois un impensé du débat énergétique français au niveau médiatique, où beaucoup de discussions prennent pour fondement la possibilité de pérenniser sur le long terme l'équilibre actuel du parc électrique. Une prospective énergétique sérieuse ne peut faire l'impasse sur cette donnée structurante, qui doit

être intégrée à la stratégie française sur l'énergie et le climat.

Deux échéances clés peuvent, sur cette base, être distinguées.

À court/moyen terme (2030-2035), le choix de fermer des réacteurs nucléaires relève de choix politiques. À cette échéance, seules deux options existent pour accroître le potentiel de production d'électricité décarbonée : maintenir en fonctionnement les réacteurs nucléaires (les délais sont en toute hypothèse trop rapprochés pour en construire de nouveaux) et développer les énergies renouvelables. La pondération entre ces solutions a été définie par la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) de 2020, et sera amenée à être réajustée lors de sa prochaine révision en 2023.

Ce réajustement devra prendre en compte la nouvelle donne énergétique issue de ces dernières années : des objectifs climatiques plus contraignants pour 2030, un paysage de sécurité d'approvisionnement plus fragile avec la tension sur les approvisionnements en hydrocarbures, la montée des prix de l'énergie, et la réduction des marges sur le système électrique européen.

À long terme (2050-2060), la fermeture des réacteurs nucléaires de deuxième génération est une contrainte industrielle : en plus de soutenir l'augmentation prévue de la consommation d'électricité, l'appareil de production français devra profondément se renouveler pour remplacer une production annuelle de l'ordre de 380-400 TWh.

C'est dans cette perspective qu'il convient de replacer les choix énergétiques que doit faire la France dans les prochaines années : répondre au double enjeu d'une nécessaire augmentation de la capacité de production d'électricité décarbonée et d'une fermeture programmée de la majorité des installations qui assurent aujourd'hui ce besoin. Ces choix apparaissent d'une ampleur similaire à ceux réalisés lors des chocs pétroliers dans les années 1970.

1.5 Les options sur la table : un système électrique « renouvelable + nucléaire » ou « 100% renouvelable » à terme

Pour aborder ce défi, les options envisageables ne sont pas les mêmes qu'au lendemain du choc pétrolier. Puisque les énergies fossiles ne sont plus une option, que la solution du captage et stockage du carbone (CCS) n'est pas privilégiée pour des raisons de maturité technologique, d'acceptabilité et de disponibilité technique, et que la France ne souhaite pas faire reposer l'atteinte de la neutralité carbone sur des imports massifs de combustibles verts, le débat sur la production d'électricité décarbonée porte largement sur la répartition entre énergies renouvelables et nouveaux réacteurs nucléaires.

Entre ces deux énergies, les termes de la comparaison économique ont évolué. Alors que le nucléaire historique s'est révélé très compétitif et le demeure aujourd'hui, les réacteurs de troisième génération ont vu leur coût s'accroître tandis que celui des énergies renouvelables a diminué. Pour autant, les caractéristiques mêmes de l'éolien et du solaire ne permettent pas de conclure en comparant leurs seuls coûts de production : la variabilité de la production doit être compensée par des moyens de flexibilité, leur intégration au système nécessite de renforcer les réseaux. La discussion doit donc comparer le coût complet des différentes options (« coût système ») et non le coût individuel de chaque technologie.

La nature du débat de société a également changé. Si le nucléaire suscite toujours une opposition sous l'angle du risque d'accident et des enjeux éthiques associés aux déchets radioactifs, les énergies renouvelables soulèvent également des controverses mêlant considérations sociétales et

environnementales : incidence de l'hydraulique sur la biodiversité, bilan carbone du photovoltaïque, emprise paysagère de l'éolien et conséquences de leur variabilité (« que se passe-t-il une nuit sans vent ? »). Les enjeux d'appropriation et de gouvernance jouent également un rôle : intérêt pour l'autoproduction et pour la participation citoyenne aux projets, profondeur du clivage sur le sujet de la sobriété et sur l'évolution des modes de vie, accroissement du rôle des collectivités locales dans la politique énergétique : la France de 2021 n'est plus celle des années 1970.

Les termes du débat technique sont, enfin, évolutifs. Du côté des renouvelables, les systèmes à forte part en énergies renouvelables constituent un objet de recherche dans de nombreux pays dans le monde, et RTE a publié en janvier 2021, conjointement avec l'Agence internationale de l'énergie, un rapport listant les prérequis techniques pour atteindre un système fondé sur une proportion importante de renouvelables, ouvrant donc la voie à la possibilité de systèmes 100% renouvelables à terme. Ces scénarios s'accompagnent de paris importants, et notamment la maîtrise parfaite de l'intégration de l'« hydrogène ». Du côté du nucléaire, les options apparaissent également plus ouvertes : à côté des grands réacteurs de type EPR2 se multiplient les projets de petits réacteurs modulaires (SMR) et de nouvelles technologies. La concertation sur les « Futurs énergétiques 2050 » a mis en lumière que la France n'était dans tous les cas pas en capacité, à la date actuelle, de construire des réacteurs nucléaires au même rythme que durant les années 1980.

1.6 Le système électrique de demain sera nécessairement différent de celui d'aujourd'hui

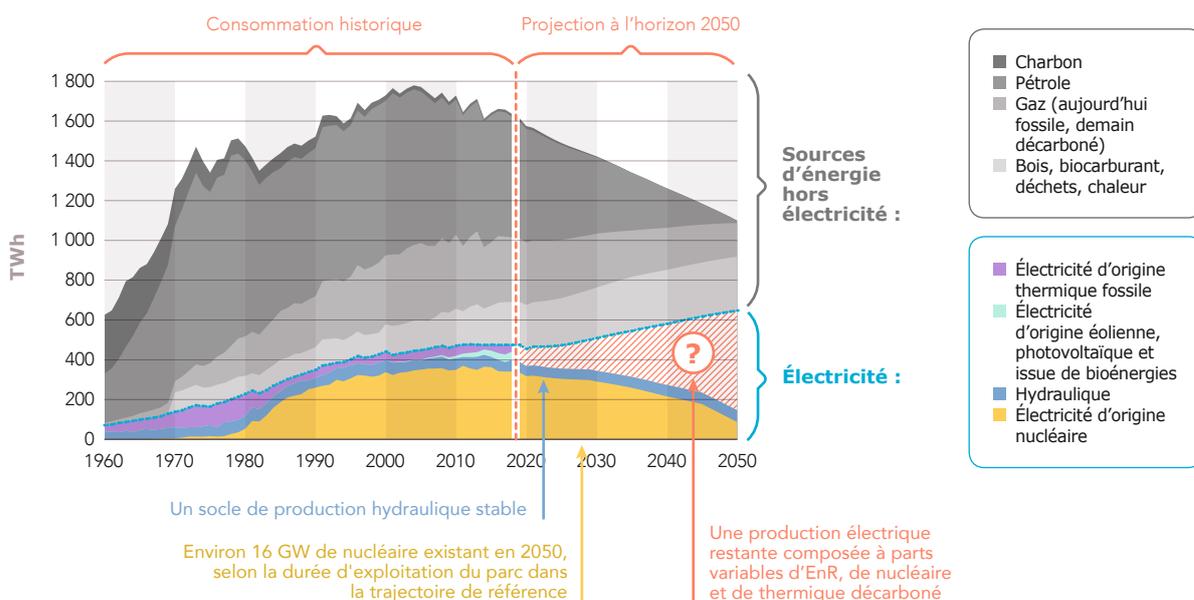
Pour débattre de ces choix, RTE a proposé d'emblée un choix méthodologique clair, articulé autour de la distinction entre deux familles de scénarios, qui représentent des tendances de la société française d'aujourd'hui, selon que les nouveaux investissements dans le parc de production se portent exclusivement sur les énergies renouvelables (scénarios «M») ou sur un mix plus diversifié technologiquement, c'est-à-dire une combinaison d'énergies renouvelables et de nouveaux réacteurs nucléaires (scénarios «N»).

Cette représentation met l'accent sur l'importance de la décision de relance ou non d'un parc électronucléaire, qui engagera le pays sur le temps long et résultera d'un choix politique ayant des implications techniques, économiques et sociétales très larges. La méthode a été largement confortée par

la concertation. Elle conduit à décrire deux types de systèmes électriques différents de celui d'aujourd'hui, nécessitant tous les deux des investissements massifs. Cependant, **il ne doit pas s'agir de l'unique clé de lecture des scénarios, une distinction trop forte entre scénarios M et N masquerait en effet de grandes proximités techniques** (forte part des énergies renouvelables variables, importance des besoins en flexibilité) **et économiques** (prépondérance des investissements sur les coûts de fonctionnement) entre les scénarios.

Tous les cas de figure impliquent en effet de se projeter sur un système électrique fondamentalement différent. Qu'il soit 100 % renouvelable ou composé durablement de renouvelables et de réacteurs nucléaires fonctionnant de concert, ce

Figure 3 Évolution de la consommation totale d'électricité et de la consommation d'énergie finale pour les autres énergies en France



Le système ne répondra pas aux principes de fonctionnement que nous connaissons depuis 30 ans et ne peut être pensé à la marge du système actuel.

Décrire ces mondes possibles en se fondant sur une étude technique approfondie, un chiffrage économique, une analyse environnementale et une prise en compte des aspects sociétaux : tel est l'objet des «Futurs énergétiques 2050».