

Retours sur les *Futurs énergétiques 2050*

Par Thomas VEYRENC¹

Directeur exécutif en charge de la stratégie, de la prospective et de l'évaluation chez Réseau de transport d'électricité (RTE)

En octobre 2021, puis en février 2022, RTE a publié les résultats de la grande étude « Futurs énergétiques 2050 » engagée deux ans plus tôt pour déterminer les chemins possibles vers la neutralité carbone et réfléchir au système électrique de demain. Les différents scénarios proposés ont depuis largement alimenté le débat énergétique ; ils ont été repris par de nombreux acteurs et forces politiques et ont alimenté la stratégie de décarbonation de la France présentée en février 2022 à Belfort par le Président de la République. Un an après la parution des principaux résultats de cette étude, nous revenons dans le présent article sur les conditions d'élaboration de celle-ci et sur certains de ses principaux enseignements à la lumière de la crise énergétique qui s'est depuis amplifiée en Europe.

La neutralité carbone : une transformation complète dont l'ampleur ne doit pas être sous-estimée

Atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050, tel est aujourd'hui l'objectif climatique de la France et des principaux pays européens. Cette cible, cohérente avec l'Accord de Paris et l'ambition de maintenir l'augmentation des températures à l'échelle mondiale en-dessous de + 2°C (et si possible de + 1,5°C) par rapport à l'ère préindustrielle, apparaît consensuelle dans le débat public. Elle implique pourtant un basculement total dans la façon dont l'énergie est produite et consommée, et donc une transformation de notre société dans son ensemble.

Aujourd'hui, l'énergie consommée en France est pour plus de 60 % de d'origine fossile (pétrole, gaz naturel, charbon). Pour atteindre les objectifs climatiques précités, ces consommations doivent être réduites à zéro ou presque à l'horizon 2050, soit dans moins de trois décennies. La transformation qui en résulte est gigantesque : il s'agit de transformer l'ensemble de notre appareil productif et de nos modes de consommation, ce qui implique un bouleversement majeur dans les secteurs des transports, de l'industrie et du bâtiment pour pouvoir nous passer complètement des énergies fossiles qui y sont dominantes.

La perspective d'une transformation aussi radicale est pourtant récente : ce n'est qu'en 2019, que le concept de neutralité carbone est apparu dans la loi, et ce n'est qu'un an plus tard (en 2020), qu'il a été traduit

dans la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) de la France. Il est cependant rapidement apparu qu'une large partie du public ainsi que de nombreux décideurs n'avaient pas réellement pris conscience de l'ampleur de la transformation à accomplir pour y parvenir. Lors de leur publication, les *Futurs énergétiques 2050* ont ainsi conduit à confronter un large public à la problématique de la neutralité carbone et aux implications de celles-ci. Ils ont notamment illustré de manière concrète les modifications à apporter au système de production et de consommation d'énergie sur les plans technique et économique. Ils ont également permis de les chiffrer, d'en estimer les conséquences environnementales au sens large ainsi que de restituer et de mesurer leurs impacts sur nos modes de vie.

Une concertation d'une ampleur inédite qui a permis de faire émerger de nouvelles thématiques et perspectives dans le débat

La réalisation des *Futurs énergétiques 2050* s'est appuyée sur une démarche inédite en matière de concertation : les scénarios ont été élaborés au grand jour au sein de neuf groupes de travail thématiques et dans le cadre d'une instance plénière de concertation. Cette méthode transparente visait à ce que chaque partie intéressée puisse s'exprimer et être entendue, avec l'objectif que les scénarios retenus puissent représenter et documenter les aspirations de l'ensemble de la société.

¹ L'auteur tient à exprimer sa reconnaissance à Coline Assaiante pour ses commentaires et la discussion de qualité que nous avons eue sur les différents thèmes présentés dans cet article.

Des trajectoires croissantes de la consommation d'électricité

Depuis plus de dix ans, la consommation d'électricité est stable, voire en très légère diminution. Cette tendance bien ancrée résulte d'un effet de compensation entre deux phénomènes : d'une part, le développement des usages électriques et, d'autre part, l'amélioration de l'efficacité énergétique des appareils. Au milieu des années 2010, au vu des politiques publiques alors engagées, les projections à moyen terme de la consommation d'électricité tendaient à prolonger cette tendance au cours de la décennie à venir.

Il n'en allait pas de même dans un exercice prospectif centré sur la neutralité carbone. Prolongeant les caractéristiques de la seconde SNBC publiée en 2020, les *Futurs énergétiques 2050* ont présenté trois scénarios de consommation et plusieurs variantes reposant néanmoins sur un point commun : une augmentation nécessaire de la consommation électrique d'ici à 2050.

Cette conclusion n'est guère surprenante au regard de l'état de l'art et des principaux scénarios de transition énergétique élaborés en Europe et dans le monde. Elle découle notamment de la nécessité d'une électrification forte et rapide du secteur des transports, mais également de celui de l'industrie et de la production d'hydrogène.

Les *Futurs énergétiques 2050* ont été l'occasion de s'interroger sur les grands déterminants de la demande en la matière. Un effort accentué sur l'efficacité énergétique est nécessaire dans tous les scénarios, qui doit se traduire à travers l'électrification et la poursuite des progrès dans les usages électriques actuels. La sobriété est testée dans un scénario spécifique : elle permettrait de réduire les consommations de 100 TWh par rapport à 2050. Un effort massif de réindustrialisation permettrait, quant à lui, d'améliorer l'empreinte carbone des différents scénarios examinés, mais conduirait à augmenter la consommation domestique d'électricité ; il en résulterait une consommation supplémentaire d'une centaine de TWh.

Ainsi, la perspective relative à la consommation d'électricité apparaît résolument orientée à la hausse d'ici à 2050 (+ 35 % par rapport à aujourd'hui dans le scénario central, + 50 % dans le scénario « Réindustrialisation profonde » et + 15 % dans le scénario « Sobriété »).

Un impensé du débat français : la fermeture des réacteurs de seconde génération

Pour alimenter une consommation croissante, la France dispose d'un atout : une production d'électricité décarbonée qui avoisine déjà les 500 TWh par an. À cette aune, la « marche » à franchir pour atteindre la neutralité carbone apparaît moins élevée que dans d'autres pays.

Cette vision statique est pourtant trompeuse : le parc nucléaire français a été mis en service sur une échelle de temps très resserrée, essentiellement entre la fin des années 1970 et le début des années 1990. Se projeter à long terme, c'est donc se forcer à envisager sa

fermeture, en intégrant « l'effet falaise » qui résulte du caractère très concentré de sa mise en service.

Une durée maximale de fonctionnement de 60 ans est aujourd'hui considérée comme l'hypothèse de référence pour le parc existant. Ce cadrage est essentiel pour expliquer les scénarios envisagés : il conduit à considérer qu'à l'horizon 2050, les réacteurs actuels seront pour l'essentiel fermés. Seul un scénario envisage donc la prolongation de quelques réacteurs au-delà de 60 ans : sa faisabilité n'est pas acquise à ce stade, et son intérêt est précisément d'identifier le rétro-planning très exigeant qu'il implique.

Ce « principe de réalité » industriel ne doit pas être confondu avec la politique de diversification du mix électrique mise en œuvre par la France au cours des dernières années, qui a conduit à programmer la fermeture de quatorze réacteurs nucléaires d'ici à 2035. Cette trajectoire, qui figure aujourd'hui dans la PPE française (dans l'attente de sa révision prochaine), a constitué le scénario de référence pour envisager l'évolution du parc existant. Mais cela n'a pas empêché RTE d'investiguer des trajectoires s'en écartant, à la hausse ou à la baisse, dans son exercice prospectif. Ces différentes trajectoires à moyen terme ne doivent pas néanmoins faire oublier qu'il n'existe aucune perspective énergétique sérieuse faisant l'impasse sur la nécessité de fermer à terme les réacteurs actuels pour des raisons d'âge.

Un débat initialement très polarisé autour d'une opposition entre les EnR et le nucléaire, qui est à relativiser aujourd'hui

L'une des principales questions identifiées portait sur l'opportunité de relancer la construction de réacteurs nucléaires en France. Pour y répondre, RTE a proposé d'emblée un choix méthodologique clair, consistant à distinguer deux familles de scénarios selon que les nouveaux investissements dans le parc de production se porteraient uniquement sur les énergies renouvelables (scénarios M) ou sur une combinaison entre énergies renouvelables et nouveaux réacteurs nucléaires (scénarios N). Cette méthode a conduit à décrire deux types de systèmes électriques, dont les caractéristiques et profils de risque ont été analysés.

Le caractère extrêmement clivant et passionnel du débat sur le nucléaire et les EnR, dans un contexte de pré-campagne présidentielle durant laquelle cette thématique a été abordée de manière tranchée, a naturellement été vérifié au cours de la concertation. Cela a été particulièrement le cas pour les contributions citoyennes recueillies durant la consultation publique, qui ont majoritairement consisté en des demandes d'ajouts de scénarios très binaires (d'un côté, un moratoire sur le développement de l'éolien et, de l'autre, une sortie immédiate ou très rapide du nucléaire).

Pourtant, au cours de l'avancée des travaux au sein des différents groupes de travail, davantage de convergences étaient apparues, notamment chez les acteurs industriels. En effet, les options pour atteindre la neutralité carbone partagent beaucoup de similitudes

techniques (l'augmentation indispensable du socle se composant d'énergies renouvelables, l'importance de la maîtrise de la consommation) et économiques (des structures de coûts proches caractérisées par des investissements importants et des coûts de fonctionnement plus faibles). L'étude invite ainsi à envisager une autre grille de lecture des options possibles : sur le plan technico-économique, la distinction entre énergies renouvelables et nucléaire n'est pas cardinale.

Un élargissement des possibles pour les trajectoires de relance du nucléaire

Le débat sur le nouveau nucléaire a beaucoup évolué au cours des trois dernières années. Si le gouvernement français défend aujourd'hui le principe de la construction de nouveaux réacteurs et si une partie du débat s'est déplacé sur l'ampleur de la relance possible de ce secteur, il n'en allait pas de même en 2019 lorsque le travail sur les *Futurs énergétiques 2050* a débuté. *A posteriori*, il apparaît donc bien que la structuration des différentes trajectoires envisagées, dont l'ambition a été rehaussée par rapport aux premières propositions faites par la filière, a eu lieu durant la concertation.

Les *Futurs énergétiques 2050* proposent en effet plusieurs scénarios prévoyant un renouvellement du nucléaire allant au-delà de celui prévu par le programme « Nouveau Nucléaire France » (NNF). Celui-ci, défendu par EDF, consiste en la construction de trois paires d'EPR2 à partir de 2035 (soit une capacité d'environ 10 GW à l'horizon 2050). Si ce plan initial n'était pas complété ultérieurement par la construction d'autres réacteurs, la part de renouvelables nécessaire pour atteindre la neutralité carbone serait alors de 80 %, ce qui impliquerait de relever une grande partie des défis identifiés dans les scénarios à très haute part en énergies renouvelables étudiés par RTE.

L'opportunité d'examiner d'autres trajectoires s'est donc rapidement imposée comme un thème de la discussion. Parmi les scénarios initialement proposés par RTE, une des options consistait à atteindre entre 35 et 40 GW de nouveau nucléaire à l'horizon 2050. Cette proposition n'a pas été reprise par les acteurs de la filière au regard des contraintes industrielles identifiées aujourd'hui comme devant être surmontées pour atteindre un tel rythme. À l'issue de la consultation publique, la trajectoire la plus ambitieuse concernant la relance du nucléaire a ainsi prévu la construction de quatorze réacteurs d'ici à 2050, impliquant une forte accélération durant la décennie 2040.

Dans le scénario N03, celui où le nucléaire est le plus présent, la proposition d'une telle accélération est complétée par une perspective de développement de petits réacteurs modulaires (SMR). L'intérêt croissant pour cette solution – qui n'était quasiment jamais mentionnée en 2019 – représente l'une des autres évolutions les plus marquantes constatées au cours des deux années qu'a duré la concertation sur les *Futurs énergétiques 2050*.

La sobriété s'impose comme la thématique la plus clivante du débat portant sur les chemins possibles vers la neutralité carbone

Peu de termes ont connu une popularisation aussi rapide au cours de l'année 2022 que celui de « sobriété ». Aujourd'hui présentée comme un axe essentiel de la stratégie de gestion de la crise énergétique, la notion de sobriété a largement fait débat durant toute la concertation : elle a davantage renvoyé à un changement structurel des modes de vie qu'à des actions d'urgence ou de court terme.

Or, aucun accord ni aucune évidence ne sont ressortis des diverses contributions. Pour certains groupes, la sobriété est une évidence, la clé de voûte de la réflexion sur laquelle repose la transition énergétique dans ses multiples dimensions ; pour d'autres, il s'agit d'un repoussoir synonyme de décroissance et la promesse d'une rupture par rapport aux modes de vie actuels.

Plus largement, même si des slogans de façade portant sur l'intérêt à moins consommer semblent faire l'unanimité, les implications de ce thème sont très larges ; c'est là une des raisons pour lesquelles le terme de « sobriété » n'a rien de consensuel. Ce sont en effet les caractéristiques de nos modes de vie actuels, de nos processus de production et, plus globalement, de l'organisation de nos sociétés ainsi que de leur évolution qui sont ici en jeu.

RTE a ainsi procédé à des choix visant à permettre une confrontation des points de vue sur les orientations qui peuvent être, dès aujourd'hui, envisagées. Un scénario dédié à la sobriété a été modélisé, et les différents leviers à actionner ont été quantifiés. Parmi eux, les plus emblématiques consistent à diminuer la taille du parc de véhicules individuels, à réduire les surfaces habitées *via* une cohabitation repensée, à ne plus construire de nouvelles surfaces de bureaux en privilégiant une densification de l'occupation des surfaces existantes que permet la généralisation du télétravail, ou encore à réduire la production industrielle de biens devenus superflus dans une « société sobre ». Autant de leviers qui sont loin d'aller de soi aussi bien au niveau individuel que collectif.

Dans le contexte actuel de crise, l'éclairage apporté par les scénarios 2050 fournit un socle sur la base duquel peut se construire un marché de l'électricité européen repensé

Depuis la publication des premiers résultats de l'étude en octobre, puis de nouveaux en février 2022, la crise énergétique s'est intensifiée. Une crise au niveau de l'Europe résultant de sa dépendance aux énergies fossiles, une crise française liée à la sous-production nucléaire (le parc nucléaire produira en 2022 moins de 280 TWh, contre plus de 380 TWh avant la crise sanitaire de 2020), une sécheresse historique réduisant la

production hydraulique : autant d'événements qui se sont combinés pour aboutir à une situation très dégradée, marquée par une envolée sans précédent des prix de marché et par des craintes sur la sécurité d'approvisionnement. Un nouveau contexte qui demande à réinterpréter les résultats des *Futurs énergétiques 2050*.

La détérioration de l'environnement géopolitique et économique doit être intégrée aux scénarios

La première leçon de cette relecture qui s'impose est l'évidence et l'urgence à engager le programme de travail « Mondialisation contrariée » tel que proposé en conclusion de l'étude.

En effet, à l'instar d'un grand nombre d'autres scénarios énergétiques existants, le cadrage macroéconomique retenu pour les *Futurs énergétiques 2050* est fondé sur un contexte mondial relativement favorable. Ce cadrage intègre, par exemple, une hypothèse de croissance continue de l'économie au cours des décennies à venir. En revanche, les tensions probables sur les approvisionnements en matières et composants nécessaires au développement de nouvelles infrastructures énergétiques (bien identifiées et quantifiées dans l'étude) n'étaient pas abordées sur le plan macroéconomique.

Dès la publication des résultats complets de l'étude en février 2022 – soit avant la survenue du conflit armé en Ukraine –, RTE avait projeté de lancer un nouveau cycle d'études intitulé « Mondialisation contrariée » afin d'interroger la robustesse des scénarios dans le cadre d'un contexte global plus difficile. Cette proposition, qui était déjà d'actualité au regard des tensions pesant sur l'approvisionnement en matériaux critiques et de l'augmentation des prix de l'énergie qui préexistaient à l'invasion de l'Ukraine par la Russie, l'est encore davantage aujourd'hui. Les prochains scénarios, qui seront élaborés par RTE (au printemps 2023), porteront sur l'échéance 2030-2035 et intégreront cette analyse macroéconomique dégradée.

Les grands enseignements tirés des *Futurs énergétiques 2050* se trouvent renforcés par le contexte actuel, mais la crise énergétique fait apparaître des besoins importants en termes d'accélération

Sur le plan structurel, la crise énergétique tend à renforcer l'intérêt d'un changement d'un modèle énergétique aujourd'hui trop largement fondé sur les énergies fossiles importées. C'est en effet le statut du gaz fossile comme « énergie de transition » et sa disponibilité abondante et bon marché qui sont directement mis à mal au moins pour les prochaines années, le gaz russe ayant été utilisé comme une arme géopolitique dans un conflit majeur. S'en passer rapidement ajoute des contraintes à l'équation à résoudre au cours des prochaines années, implique une montée en cadence plus soutenue de l'électrification et des investissements qu'elle nécessite. Dans ces circonstances, l'atteinte des objectifs 2030 apparaît plus que jamais conditionnée au développement massif des énergies renouvelables, à

la prolongation de la durée de vie de tous les réacteurs existants dans une logique de maximisation de la production bas-carbone et à un effort résolu en matière d'efficacité énergétique et de sobriété.

Telles étaient déjà les premières conclusions de l'étude en octobre 2021. Sur le plan de la composition du mix énergétique, le développement rapide des énergies renouvelables, lequel est indispensable pour atteindre la neutralité carbone dans l'ensemble des scénarios de transition, est devenu un impératif à court terme pour assurer la sécurité d'approvisionnement. Parce qu'ils peuvent être déployés (relativement) rapidement, l'éolien et le solaire sont les seules technologies en capacité de réduire notre dépendance aux combustibles fossiles, de pallier la baisse de la production nucléaire et de limiter les coûts de production de l'électricité dans les années à venir. La prolongation de la durée de vie des réacteurs nucléaires obéit également à la fois à une logique de sécurité d'approvisionnement (les marges du système actuel ayant été toutes intégralement consommées), de réduction des émissions de CO₂ et de compétitivité du mix électrique français.

Sur le plan de la consommation, la crise a conduit le gouvernement à mettre en œuvre un plan « Sobriété » visant à une réduction de 10 % de la consommation énergétique du pays en deux ans. Si les mesures permettent de faire baisser la consommation à court terme, elles ne sont pas d'un effet suffisant pour atteindre les objectifs du scénario « Sobriété » de RTE, lequel repose davantage sur des inflexions structurelles des modes de vie qui sont toutes orientées dans le même sens.

Sur le plan économique, la réduction de la dépendance aux énergies fossiles, au-delà de toute considération géopolitique et de souveraineté, constitue bien une réponse structurelle à une crise énergétique qui trouve sa source dans la forte augmentation des prix du gaz et du pétrole. Ainsi, avec un prix élevé des énergies fossiles, la bascule vers un système électrique bas-carbone apparaît plus rentable, même en intégrant les coûts des investissements associés aux différents scénarios. Pour autant, la situation actuelle peut également jouer le rôle d'un frein, le poids des dépenses énergétiques contraintes étant croissant dans les budgets des entreprises et des ménages, ce qui diminue d'autant leurs capacités d'investissement (dans l'efficacité énergétique ou l'électrification). La possibilité d'un « lock-in » au profit des solutions fossiles, et ce d'autant plus que ces dernières sont subventionnées pour faire face aux difficultés de court terme, constitue donc un point méritant de lui accorder une attention majeure dans la perspective de l'atteinte des objectifs aux échéances 2030 et 2050.

L'architecture du marché de l'électricité européen doit être repensée en tenant compte des perspectives d'évolution du système électrique français

Les différents scénarios d'évolution du mix électrique reposent sur des investissements importants. Mais ils conduisent en retour à créer un système dont le coût

de fonctionnement est faible et qui ne dépend plus du prix des énergies fossiles (telle est déjà la caractéristique du système électrique français qui repose largement sur le nucléaire et les énergies renouvelables). Or, les prix de l'électricité, pour leur part, varient en fonction des conditions de fonctionnement du marché de l'électricité européen, notamment au travers des interconnexions.

L'architecture du marché européen, basée sur le fonctionnement du marché journalier, conduit en effet à faire largement dépendre le prix de l'électricité de celui du gaz. Au cours des derniers mois, l'augmentation du prix du gaz et la chute de la disponibilité du parc nucléaire français ont ainsi propulsé les prix français de l'électricité à des niveaux inégalés jusque-là.

Si cette architecture permet d'optimiser, avec une grande efficacité, le fonctionnement à court terme du marché, elle induit pour la France un découplage entre les prix de l'électricité et les coûts de production réels du système électrique français. Cela soulève une difficulté sur le plan de la logique de décarbonation : en effet, comment convaincre les acteurs d'électrifier leurs *process* si les prix qu'ils paient dépendent de celui du gaz et du CO₂ ?

Compléter les marchés de court terme par des mécanismes permettant de sécuriser les revenus et les prix sur le long terme, en amont (les renouvelables, le nouveau nucléaire) et en aval (usages stratégiques de l'électricité), pourrait donc faire office de priorité pour assurer le pilotage des trajectoires climatiques, tout en réussissant à respecter un agenda de réindustrialisation devenu désormais consensuel.

Conclusion

Le travail réalisé par RTE dans le cadre des *Futurs énergétiques 2050*, qui était un préalable aux nouvelles orientations de la stratégie énergétique française présentée à Belfort, portait sur les fondamentaux techniques, économiques et environnementaux du système électrique de notre pays. Ses conclusions apparaissent renforcées par la crise énergétique actuelle, qui doit conduire à une accélération des transformations en dépit de la difficulté que représente un changement rapide de notre modèle énergétique. L'étude a notamment montré que l'objectif fixé pour 2030 (soit une réduction de 55 % des émissions nettes par rapport à 1990) était particulièrement ambitieux. Or, la France n'est aujourd'hui sur aucune des trajectoires permettant de l'atteindre. Parmi l'ensemble des prolongements envisagés par cette étude, la réforme des marchés dans le but de déconnecter le prix de l'électricité de celui du gaz semble érigée au rang des priorités à concrétiser dans l'optique de l'atteinte de la neutralité carbone.

Bibliographie

RTE (2021), *Futurs énergétiques 2050 – Rapport complet « Futurs énergétiques 2050 : les scénarios de mix de production à l'horizon 2050 »*, <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques#Lesdocuments>

RTE (2021), *Futurs énergétiques 2050 – Bilan de la phase I (consultation publique)*, https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-09/BP50_Bilan%20de%20la%20consultation%20publique.pdf

RTE (2022), *Perspectives pour le système électrique pour l'automne et l'hiver 2022-2023*, <https://assets.rte-france.com/prod/public/2022-09/Analyse%20passage%20hiver%202022-2023.pdf>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021), *Net Zero by 2050, Analysis – IEA*, <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

RTE (2021), *Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande à l'horizon 2030*, <https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-04/Bilan%20previsionnel%202021.pdf>

CLUB DE ROME (1972), *The limits to growth*.

ENTSO-E (2021), *TYNDP 2022 U27, Scenario Report – Introduction and Executive Summary*, <https://2022.entsoe.eu/tyndp-scenarios.eu>