

Consultation publique sur le Bilan prévisionnel à l'horizon 2050

Contribution de l'Association négaWatt

L'Association négaWatt a pris connaissance avec beaucoup d'intérêt du document de consultation publique sur le cadrage et les hypothèses du Bilan prévisionnel à l'horizon 2050. Ce document constitue une excellente photographie de l'état d'avancement de l'ambitieux travail de prospective dans lequel s'est engagé RTE, et des questions qui se posent pour sa poursuite. Si la multiplication des sujets, des groupes de travail et des réunions, cohérente avec l'objectif de concertation que s'est fixé RTE pour l'élaboration de cette prospective, ne nous permet pas de suivre de manière aussi rapprochée que nous le souhaiterions l'ensemble des échanges, nous restons attentifs à leur progression.

L'Association salue une fois de plus, à l'occasion de cette consultation, l'ambition élevée que se fixe RTE du point de vue des objectifs de ce Bilan prévisionnel, la rigueur méthodologique avec laquelle RTE cherche à développer cet exercice, et l'attention que porte RTE à la collecte et à la bonne prise en compte des préoccupations exprimées par l'ensemble des parties prenantes. C'est dans cet esprit constructif, et dans la perspective d'une consolidation méthodologique des options, des critères et des hypothèses reflétant au mieux les enjeux des choix à venir tels que nous les analysons, que l'Association négaWatt formule les réponses qui suivent.

Question 1 – cadrage général de l'étude des « futurs énergétiques 2050 » du Bilan prévisionnel

L'Association négaWatt porte depuis longtemps une démarche d'analyse prospective systémique des enjeux associés à l'énergie dans une perspective d'urgence de long terme, au sens de la nécessité d'inscrire dès aujourd'hui les évolutions des modes de production et de consommation dans une trajectoire maîtrisée de transformation pour en réduire les impacts et les risques. À ce titre, nous avons régulièrement appelé à ce que les exercices conduits par RTE dans le cadre du Bilan prévisionnel évoluent dans le sens d'une meilleure prise en compte de l'ensemble des enjeux environnementaux, économiques et sociaux attachés au système électrique, d'une meilleure intégration des projections sur le système électrique dans une vision cohérente de l'évolution de l'ensemble du système énergétique, et d'une plus grande visibilité sur les implications des projections considérées dans le temps long. Nous avons souligné au fil des ans l'évolution positive des exercices qui se sont succédés vis-à-vis de ces enjeux méthodologiques que nous considérons comme majeurs pour en renforcer la cohérence et la pertinence.

Le cadrage général proposé par RTE pour l'étude de scénarios à 2050 marque une étape majeure dans cette évolution, que nous saluons. Nous en soutenons pleinement l'ambition méthodologique élevée, à la hauteur des enjeux liés aux évolutions possibles de notre système électrique, et des décisions que cet exercice doit contribuer à éclairer. Nous soulignons néanmoins, en préambule, l'attention particulière que cette ambition impose de porter aux choix méthodologiques, à toutes les étapes et dans tous les détails : il ne s'agit évidemment pas d'éviter des raccourcis, inévitables compte tenu de l'ampleur et de la complexité du sujet, mais de veiller à les repérer pour bien en délimiter les implications, et se garder ainsi dans toute la mesure du possible d'éventuels biais d'interprétation.

- Êtes-vous d'accord avec le cadrage global de l'étude ? Partagez-vous les grandes questions auxquelles les scénarios et analyses doivent apporter des éléments de réponse ?

L'Association négaWatt ne peut que souscrire à l'idée que l'objectif de neutralité carbone, que nous étendons plus largement à celui du retour à une soutenabilité forte du système énergétique, impose de développer une certaine capacité de planification inscrite dans le temps long. Nous soutenons également l'idée que les interactions entre le système électrique et le reste du système énergétique, et leur nécessaire et possible évolution à l'horizon d'atteinte de tels objectifs ambitieux, impose de penser la planification du système électrique dans le cadre d'une trajectoire cohérente de l'ensemble du système énergétique, et même plus largement de l'ensemble du système de production et des modes de consommation de l'économie française.

Partant de ce constat, nous partageons les principes d'extension de l'horizon et d'élargissement du périmètre des trajectoires retenus par RTE pour cet exercice de « bilan prévisionnel », ainsi que la nature résolument prospective de la construction de ces trajectoires.

Horizon de temps

Concernant l'horizon de temps, 2050 nous semble constituer le jalon le plus pertinent. D'une part, c'est l'échéance qui est aujourd'hui fixée pour atteindre la transformation globale de l'économie française visant à la neutralité carbone. Si la profondeur des actions à mettre en œuvre incite parfois à considérer cet horizon comme celui d'une atteinte « au plus tôt » de l'objectif, l'urgence climatique et l'accumulation progressive du retard (et des émissions trop élevées associées) incite au contraire à envisager une accélération du rythme de transformation : c'est à cette aune que les trajectoires devront être évaluées.

D'autre part, si le système électrique est aujourd'hui largement décarboné, cette situation ne peut être considérée comme acquise à l'horizon fixé pour la décarbonation plus large de l'ensemble du système énergétique, elle-même inscrite dans la recherche globale d'une neutralité en carbone. Au contraire, le maintien à l'horizon 2050 d'une production électrique décarbonée impose de se projeter dans la reconstruction complète d'un système de production respectant cette exigence, tout en présentant un dimensionnement et des caractéristiques cohérents par rapport à l'évolution de l'ensemble du secteur de l'énergie vers cette neutralité.

Le système électrique français fait en effet face, tant du point de vue de ses infrastructures de production que de la structure de son réseau de transport, à la perspective d'une fin de cycle industriel, associée à la pyramide des âges du parc nucléaire. Même si l'échéance de cette fin de cycle peut être plus ou moins repoussée en fonction du programme de prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs, il n'en reste pas moins que ces réacteurs, mis en service pour l'essentiel entre la fin des années 1970 et le milieu des années 1980, vont devoir un jour être massivement fermés, et remplacés par un nouveau système de production, dont le choix obéit nécessairement à des déterminants différents. Il est donc important, pour éclairer ce choix, de se projeter sur une période suffisamment longue pour décrire l'ensemble de ce changement de cycle et l'intégralité du nouveau système qui en découle, ce qui peut avoir lieu avant ou après 2050 selon les options de prolongation pour les réacteurs les plus récents : de ce point de vue, il peut être utile de poursuivre la description des trajectoires jusqu'en 2060 comme RTE le propose, sans pour autant reporter à 2060 l'ensemble des éléments de comparaison entre les différentes trajectoires.

Questionnements

Concernant les principaux éléments de questionnement posés par RTE, l'Association négaWatt salue la volonté de RTE de répondre à la palette très large de questions qui lui sont adressées autour de quatre enjeux, dont il semble important de préciser les contours.

- *La vision à long terme* : le premier enjeu est comme le pose RTE de définir « *la place des différentes filières dans le mix électrique à long terme* ». Il s'agit bien sûr ici d'explorer les différentes possibilités de recours aux moyens de production électrique décarbonés, et leur articulation. Il convient ici de noter que la notion même de « *socle de moyens nucléaires* » correspond, dans l'hypothèse où le système verrait cohabiter nucléaire et énergies renouvelables, à une certaine forme d'articulation entre les deux qui peut être interrogée, puisqu'on pourrait à l'inverse qualifier dans une telle perspective le nucléaire de moyen d'appoint : en d'autres termes, la manière dont le fonctionnement et l'appel aux différents moyens de production peuvent être assujettis les uns aux autres dans ce type de projection n'est pas neutre et devra être interrogé, en lien avec une vision plus large de l'évolution de la structure même du système électrique, par rapport au paradigme actuel de la production pilotable centralisée.

Plus largement, il sera essentiel de corréliser fortement la question de l'évolution possible du mix électrique à celle du dimensionnement global du système électrique, telle qu'elle résulte d'options plus larges sur l'évolution du système énergétique dans son ensemble, qui déterminent les besoins en énergie et en puissance de la fourniture d'électricité. En d'autres termes, les choix en matière de transfert d'usage, d'équilibre entre vecteurs énergétiques, de niveau d'action sur la consommation d'électricité – en particulier sur les usages susceptibles d'impacter les besoins en puissance, au premier rang desquels le chauffage électrique – modifient le cahier des charges auquel doit répondre, à différents horizons de temps, le système électrique, et ne sont donc pas neutres vis-à-vis de la capacité de différentes évolutions du mix électrique à y répondre. Cette interaction, centrale pour l'éclairage des choix à venir, doit être pleinement explicitée.

- *Le chemin critique* : RTE identifie à juste titre un enjeu consistant à éclairer « *les jalons-clés dans la transformation du système* ». Il est en effet essentiel de décrire de manière précise le chemin concret qui relie la situation actuelle du système électrique à chacune des visions à long terme explorées, pour caractériser le rythme des décisions nécessaires et mettre en évidence le « *risque de regret* » ou la « *valeur d'option* » associés au phasage des choix. Il convient cependant de prendre acte de la dissymétrie initiale du système vis-

à-vis de l'équilibre recherché dans l'exploration des évolutions possibles du mix électrique : la part très importante du nucléaire crée un effet très fort de dépendance au chemin qui devra être lucidement analysé, de même que devront être explicités les risques d'effet de verrouillage, dont la stratégie de prolongation massive de la durée de fonctionnement des réacteurs fournit d'ores et déjà une claire illustration.

De plus, RTE souligne avec justesse l'importance de traiter les enjeux industriels de structuration et de dimensionnement des différentes filières, existantes ou à développer, en lien avec cette analyse du chemin critique. Il semble en effet essentiel, pour s'assurer du réalisme de mise en œuvre des différentes options et en mesurer l'ensemble des implications, de prendre en compte le rythme d'évolution des différentes capacités industrielles nécessaires au déploiement ou à la maintenance des équipements nécessaires au fonctionnement du système électrique au fil du temps. Il conviendra en particulier de prendre en compte, pour la filière nucléaire, le constat que la fin de cycle industriel précédemment évoquée pour le parc de réacteurs peut en grande partie s'étendre aux moyens industriels qui viennent en support, et que la poursuite de l'option nucléaire peut sur différents points être conditionnée par le déploiement de nouvelles usines au même titre que peuvent l'être les nouvelles filières renouvelables.

- *La robustesse et la résilience* : le troisième enjeu que pointe RTE est celui du « *fonctionnement du système électrique à long terme* », que l'on comprend comme celui des garanties à apporter sur la réponse du système électrique aux besoins tout au long de la trajectoire. Un premier volet concerne ici la sécurité d'approvisionnement, sans doute entendue non seulement au sens de l'équilibre entre offre et demande mais aussi de la stabilité en tension et fréquence, et son évolution en fonction non seulement du mix électrique mais des différents usages. Sur ce point, il sera important d'éclairer le débat sur une possible évolution de la définition et du dimensionnement de la sécurité, en lien avec certaines évolutions profondes de la structure même du système électrique, en précisant par exemple, au-delà de l'application du critère de sécurité actuel à différents mix, l'évolution en amplitude et en fréquence du paysage de défaillance associé.

Le second volet explicitement mentionné par RTE concerne ici, très justement, l'analyse des conséquences possibles du dérèglement climatique sur les conditions de fonctionnement du système électrique, et sur les situations de stress à prendre en compte. Le développement d'une modélisation de l'évolution des conditions climatiques à l'horizon 2050 constitue de ce point de vue une avancée méthodologique majeure pour le bilan prévisionnel, dont les résultats sont très attendus. Il convient cependant, comme la crise épidémique profonde que nous traversons le rappelle, de veiller à ne pas réduire au seul dérèglement climatique la réflexion sur l'évolution des conditions extrêmes, ou de crise, auxquelles le système électrique comme l'ensemble de la société risquent d'être confrontés dans les décennies à venir. Même si les réflexions ne semblent pas aujourd'hui suffisamment avancées dans ce domaine pour être pleinement intégrées à la démarche de modélisation, elles appellent fortement à analyser la robustesse et la résilience des trajectoires sur une base beaucoup plus large que le seul prisme climatique, au moins sur le plan qualitatif.

- *La balance des impacts* : RTE regroupe pour finir les questionnements portant sur « *le coût et les implications sociétales et environnementales associés aux différentes options possibles* ». L'Association négaWatt partage évidemment la préoccupation pour une évaluation systémique de l'ensemble des impacts, positifs ou négatifs, des différentes trajectoires analysées dans les champs environnemental, économique, social et sociétal. Elle attire néanmoins l'attention de RTE sur plusieurs points de vigilance en regard de cette légitime ambition, et particulièrement sur trois écueils à surmonter pour ne pas enfermer l'analyse, par son inévitable incomplétude, dans une lecture biaisée :
 - la nécessité d'inscrire toute réflexion sur les impacts dans une approche globale, intégrée des enjeux du développement durable. Comme l'a montré le GIEC dans son rapport spécial d'octobre 2018 sur les trajectoires 1,5°C, « *l'action contre le changement climatique est l'un des Objectifs de développement durable (ODD) des Nations-Unies et est connectée au développement durable de façon plus large. Les actions pour réduire le risque climatique peuvent interagir avec les autres objectifs en matière de développement durable de façon positive (synergies) et négative (trade-offs)* » (traduction de l'anglais par négaWatt). Les 17 ODD forment, selon les Nations-Unies, « *un cadre programmatique (...) intégré et indivisible* ». Cela implique notamment, tout en reconnaissant que l'approche quantitative soutenue par la modélisation ne peut s'appliquer qu'à une partie de ces enjeux, de veiller à les intégrer au moins dans une analyse qualitative, c'est-à-dire de chercher à qualifier les trajectoires, chaque fois que cela est pertinent, vis-à-vis de chacun des ODD, sous leur forme brute ou autour d'enjeux et d'indicateurs équivalents ;
 - la nécessité d'inscrire toute évaluation des impacts, de quelque nature que ce soit, des trajectoires électriques dans une analyse cohérente de l'évolution des mêmes impacts portée par l'ensemble de la

trajectoire de neutralité carbone dans lesquelles elles s'inscrivent. La différenciation des trajectoires électriques reposent sur des déterminants qui, pour une large part, ne sont pas spécifiques au système électrique et ont donc toutes les raisons d'influencer également les modes et les options de transformation de tous les autres secteurs, si bien que les trajectoires électriques étudiées s'inscrivent implicitement dans des trajectoires énergétiques, et même économiques et sociétales potentiellement très différentes. Selon les impacts considérés et selon les trajectoires, les effets positifs ou négatifs de la trajectoire électrique peuvent être amplifiés, neutralisés ou au contraire inversés lorsqu'on les mesure à l'échelle plus globale de l'ensemble du système énergétique, ce qui en modifie évidemment la lecture. Là encore, tout en reconnaissant que la quantification des impacts évalués pour les trajectoires électriques à cette échelle plus large sort du périmètre de la modélisation, cette dimension doit être abordée, et les indications qui peuvent à minima être données dans ce domaine doivent apporter la nécessaire mise en perspective des résultats ;

- enfin, la nécessité de considérer chacun des sujets traités au titre des coûts et des impacts non seulement dans un périmètre domestique, mais dans une logique d'empreinte au-delà des frontières. Comme RTE l'a bien identifié sous différents angles tels que celui des services à la sécurité d'approvisionnement via l'interconnexion et les échanges d'électricité, de la contribution de la trajectoire française à la décarbonation du système électrique européen, de l'enjeu associé à la relocalisation de l'industrie ou du bilan matériaux en analyse cycle de vie, les choix français sont pour partie interdépendants d'évolutions dans des pays frontaliers ou plus lointains, et les impacts associés aux choix français se mesurent en partie, positivement ou négativement, dans les pays concernés. Ce constat, plus ou moins explicité sur certains aspects de la modélisation et de l'évaluation, vaut en réalité pour l'ensemble des impacts à considérer. Sur ce point comme sur les deux précédents, il ne s'agit pas de prétendre à une quantification ou même à une simple analyse qualitative exhaustive sur l'ensemble des sujets, mais d'attirer l'attention sur le fait qu'une analyse en empreinte qui ne porterait que sur une sélection limitée d'indicateurs risquerait d'apporter une vision biaisée si elle n'est pas mise en perspective par une analyse plus globale.

Déterminants des scénarios

L'Association négaWatt considère globalement que la démarche déployée par RTE pour construire les scénarios du Bilan prévisionnel à 2050, s'appuyant sur les acquis et de nouveaux enrichissements de son modèle de simulation pour calculer des trajectoires électriques, est une démarche pertinente pour apporter des réponses utiles à ces différents questionnements. Elle attire fortement l'attention sur les enjeux associés à la cohérence des trajectoires ainsi calculées, dans la mesure où celle-ci repose sur des déterminants que le modèle ne capte, malgré sa richesse, que partiellement.

L'Association négaWatt soutient pleinement le choix méthodologique structurant qui consiste à ne plus considérer désormais que des scénarios cohérents avec l'objectif de la neutralité carbone à l'horizon 2050, tel que défini par la loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat, et précise que cet objectif, du point de vue des émissions cumulées, doit être atteint le plus rapidement possible. Elle souligne cependant que cet objectif ne suffit pas en soi à calibrer la trajectoire électrique.

Du côté de la production, il conduit légitimement à limiter le champ des alternatives à la proportion respective entre moyens de production décarbonés, nucléaire d'une part et énergies renouvelables électriques d'autre part. Du côté de la demande d'électricité, il s'inscrit en revanche dans un équilibre plus large entre les trois leviers disponibles pour décarboner l'énergie (sans oublier, par ailleurs, la nécessité de réduire également les autres émissions de gaz à effet de serre liées à l'agriculture ou aux procédés industriels, en cohérence avec l'évolution sur l'énergie). Pour réduire et éliminer à terme le recours aux énergies fossiles, on peut compter à la fois sur la diminution des besoins par des actions de maîtrise de la consommation d'énergie (sobriété et efficacité), substituer le vecteur électrique à l'emploi de la combustion par les transferts d'usage, mais aussi substituer des combustibles ou carburants issus de la biomasse aux combustibles ou carburants fossiles. Il convient, tout en mesurant les impacts et les limites associés à chacun de ces trois leviers, de constater que le moindre recours à l'une ou l'autre d'entre elles conduit mécaniquement à reporter davantage d'efforts, et potentiellement de contraintes, sur les autres.

De ce point de vue, si la trajectoire dessinée par la Stratégie nationale bas carbone (SNBC) pour atteindre la neutralité carbone apparaît comme une référence naturelle comme point de départ de l'analyse, il faut souligner le caractère singulier des choix sur lesquels elle repose. En effet, celle-ci repose sur une très forte priorité à l'électrification des usages, qui passe non seulement par un important niveau de transfert d'usages mais repose implicitement aussi dans un relâchement de l'effort de maîtrise de consommation de l'électricité par rapport à l'effort appliqué sur le reste de l'énergie ; elle s'exerce aussi aux dépens d'une mobilisation potentiellement

plus importante de la biomasse. Ce choix est par nature cohérent avec la volonté gouvernementale de maintenir un socle nucléaire et de développer les renouvelables dans une logique d'addition plutôt que de substitution, comme l'avait illustré précédemment le choix du gouvernement de ne fonder la trajectoire de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) que sur les scénarios Ampère et Volt, c'est-à-dire les plus nucléaires du Bilan prévisionnel 2017 de RTE.

Cette priorité à l'électrification fournit dans la première partie de la trajectoire – jusqu'à l'horizon 2030-2035 – le cadre nécessaire à la coexistence d'une prolongation de fonctionnement du parc nucléaire aussi massive que possible avec une croissance des énergies renouvelables. Le niveau élevé de consommation d'électricité auquel elle conduit devient au contraire une contrainte dans la deuxième partie de la trajectoire, où l'essentiel du parc nucléaire existant doit être remplacé par de nouveaux moyens de production. Cette contrainte, qui se traduit par des difficultés, des coûts et des impacts supplémentaires évitables, est potentiellement d'autant plus forte que ce remplacement s'accompagne d'une transformation plus profonde, autour d'une orientation vers le 100 % renouvelables plutôt que la reconduction partielle d'un parc de réacteurs.

Plus fondamentalement, le fait d'insérer une trajectoire orientée vers le 100 % renouvelables dans le même cadrage, en termes de déterminants de la demande, qu'une trajectoire dimensionnée pour additionner maintien du nucléaire et développement des renouvelables est une forme de contresens. Un tel cadrage fait artificiellement porter sur toute trajectoire 100 % renouvelables une contrainte beaucoup plus forte, par rapport à celle à laquelle elle doit s'ajuster dans une stratégie globale cohérente avec cette option, où la combinaison des différents leviers est plus équilibrée. L'Association négaWatt souligne, en particulier, à quel point la cohérence des choix dans ce domaine ne saurait obéir au seul critère de décarbonation, et doit au contraire, sans rien céder sur l'objectif de neutralité carbone, reposer sur une approche systémique d'optimisation vis-à-vis de l'ensemble des enjeux du développement durable.

Il est donc essentiel, pour assurer la pertinence de l'exercice, de reconnaître la distorsion introduite par le choix de retenir la trajectoire SNBC en référence pour calibrer les différentes trajectoires de production. Il ne s'agit pas seulement, comme le propose RTE, de réaliser des variantes pour « *tester la robustesse des scénarios à des évolutions différentes du contexte macro-économique et énergétique et ainsi tenir compte des incertitudes pesant sur ces évolutions* », mais de considérer que les évolutions du mix trouvent leur cohérence dans des contextes différents, qui sont en quelque sorte exogènes à la trajectoire de production électrique mais endogènes à une stratégie globale de transition écologique dans laquelle l'exercice proposé cherche justement à les restituer...

Tout en reconnaissant pleinement l'intérêt pour les besoins de comparaison des résultats d'une forme d'homogénéité du cadrage (en se souvenant à l'inverse des difficultés d'interprétation qu'avait soulevées la comparaison au même plan de scénarios construits à partir d'hypothèses de cadrage différentes dans l'exercice du Bilan prévisionnel 2017), l'Association négaWatt appelle donc RTE à la plus grande vigilance sur l'analyse des distorsions induites par cette volonté, et sur la nécessité de restituer pleinement ces effets dans les résultats, en s'appuyant sur des analyses de sensibilité : dans cette optique, les « variantes » ne viseraient pas à traiter les incertitudes, ce qu'elles peuvent faire par ailleurs, mais à replacer les différentes options sur le mix électrique dans les contextes où elles sont les plus susceptibles de trouver leur cohérence, et donc leur optimisation vis-à-vis des différents impacts positifs et négatifs mesurés.

Le modèle de simulation développé par RTE permet, grâce à la variété des contextes qu'il peut représenter du point de vue de l'offre, de la demande et de sa flexibilité, des interfaces entre l'électricité et les autres vecteurs ou encore du marché européen, de simuler ces différentes variantes et d'analyser leur robustesse, y compris vis-à-vis des effets du changement climatique ou d'autres aléas nouveaux à considérer. Mais ce modèle ne propose pas une optimisation de la trajectoire électrique du point de vue des différents impacts retenus pour l'analyse, et encore moins une optimisation de cette trajectoire du point de vue de ces mêmes impacts au niveau de l'ensemble de la trajectoire énergétique. C'est pourquoi il est crucial, tout au long de l'exercice, d'identifier et de qualifier l'écart potentiellement introduit par les différentes hypothèses de cadrage entre la trajectoire simulée et celle qui correspondrait, par rapport à un certain nombre de déterminants, à son optimisation.

Question 2 – cadrage démographique et macro-économique

Le cadrage démographique et le cadrage macro-économique sont évidemment, tant du point de vue de l'évolution des besoins que des conditions de mise en œuvre des transformations, des éléments structurants pour la suite de l'analyse. Ils doivent ici s'envisager sous deux angles : il s'agit d'une part de déterminer des

projections de référence sur ces deux plans à l'horizon 2050 (voire 2060, puisque cet horizon est considéré), et d'autre part de discuter les éventuelles variantes à prendre en compte pour chacune de ces projections, notamment sous l'angle de la cohérence des différentes trajectoires telle qu'évoqué ci-dessus.

- Partagez-vous le cadrage démographique et macro-économique proposé pour l'élaboration des scénarios du Bilan prévisionnel ? Si non, quelles hypothèses alternatives proposez-vous ?

L'Association négaWatt partage la proposition avancée par RTE de retenir un tronc commun d'hypothèses démographiques et macro-économiques pour les scénarios étudiés, tout en appelant à une analyse fine sur l'articulation entre ce cadrage macro-économique et la cohérence des trajectoires, pouvant justifier l'introduction de variantes. Elle reconnaît également l'intérêt, pour renforcer les possibilités d'intercomparaison entre les exercices, de rechercher une homogénéité avec le cadrage retenu pour la SNBC, mais elle doute de la pertinence de ces hypothèses, qu'elle appelle à reconsidérer.

Cadrage démographique

Pour l'Association négaWatt, le cadrage démographique reste pour l'essentiel, du point de vue de la croissance démographique générale, une donnée exogène des scénarios, non seulement sous l'angle des seules trajectoires électriques mais également des stratégies de transition écologique. Cela conduit naturellement à retenir, comme le propose RTE, une seule valeur d'évolution de la population pour l'ensemble des scénarios, et à choisir pour cela la trajectoire centrale de l'INSEE. Il faut cependant noter que l'hypothèse centrale proposée par l'INSEE en 2017, conduisant à une population totale de 71 millions d'habitants en France métropolitaine continentale en 2050 contre 65 millions en 2020, mérite peut-être d'être infléchie au vu des chiffres récents des recensements, qui indiquent une diminution du taux de croissance de la population. Ceci correspondrait plutôt au scénario INSEE fécondité basse, espérance de vie centrale et immigration centrale, qui conduit à un chiffre un peu inférieur à 70 millions d'habitants en France métropolitaine en 2050.

Si le solde de la natalité, de la mortalité et de l'immigration est ici considérée comme une donnée exogène, ce n'est pas nécessairement le cas de l'évolution sociologique de la population à l'intérieur de cette trajectoire de croissance. C'est en particulier le cas de l'hypothèse de « décohabitation », pour laquelle RTE semble retenir une valeur unique, calée sur la SNBC, de diminution de 0,3 % en moyenne par an. Les travaux de l'Association négaWatt ont mis en évidence l'importance de l'évolution du nombre moyen de personnes par foyer du point de vue des surfaces globales de bâtiments, du nombre de nouveaux logements à construire et donc des impacts associés sur les consommations d'énergie ou de matériaux ; cette analyse a montré l'intérêt, sans intervenir dans l'évolution sociologique des familles, de politiques publiques encourageant les solutions de colocation ou de sous-location, et permis de progresser dans l'identification de telles politiques et de leur impact possible. Ainsi, l'évolution du taux de cohabitation ne peut être considérée comme naturellement corrélée à la croissance démographique. Si cette dernière peut être considérée comme exogène et donc établie au même niveau pour toutes les trajectoires électriques, il n'en va pas nécessairement de même pour la décohabitation, qui peut au contraire évoluer de façon différenciée en cohérence avec les stratégies de transition dans lesquelles s'inscrivent ces différentes trajectoires électriques. Ce point doit être pleinement analysé dans l'élaboration et la comparaison des scénarios.

De la même manière, une réflexion doit être menée sur l'évolution relative, par rapport à la croissance de la population, du taux d'occupation de l'habitat, des espaces de travail, des espaces de service et des déplacements entre ces espaces. Il s'agit particulièrement ici d'interroger l'évolution du temps de travail et la part de télétravail, d'autant plus à la lumière de l'évolution contrainte des pratiques dans le cadre de la crise associée à la Covid-19 et du retour d'expérience qui en sera tiré, sur la répartition des besoins et donc des consommations associées entre secteur résidentiel et secteur tertiaire.

L'Association négaWatt rappelle également que d'autres phénomènes démographiques susceptibles d'intervenir à l'intérieur de la trajectoire de croissance nationale doivent également être considérés, au regard de leur impact éventuel sur les besoins. Il s'agit d'abord de l'évolution de la pyramide des âges de la population française, marquée par une perspective de vieillissement progressif de la population. Ce phénomène est porteur de transformations économiques difficiles à analyser, mais aussi de manière plus directe d'une évolution de la composition de la consommation, notamment entre secteurs tertiaires – comme un transfert de l'enseignement vers la santé –, dont les effets doivent être pris en compte pour construire les hypothèses d'évolution de la demande. L'autre facteur important à considérer concerne l'évolution possible de la répartition géographique de la population, sous l'effet éventuel du solde migratoire dans les différentes zones frontalières, mais surtout

des migrations interrégionales : les déséquilibres observés actuellement entre la trajectoire démographique des régions pourraient notamment être fortement modifiés par les effets du dérèglement climatique, et d'autant plus dans l'hypothèse où celui-ci serait important. Si cette évolution est difficile à projeter et à modéliser, sa possibilité doit néanmoins être envisagée pour tenir compte de ses effets, notamment sur le déplacement sur le territoire des besoins d'équipements, de bâtiments, d'infrastructures et les surcroûts de consommation que cela peut engendrer : cette question doit être discutée dans le cadre de l'analyse plus globale de la sensibilité des trajectoires aux impacts du changement climatique.

Cadrage macro-économique

Dès lors que la nature du modèle utilisé pour la construction et l'évaluation des scénarios impose l'introduction d'une trajectoire de croissance mesurée par le PIB, l'hypothèse proposée par RTE est une hypothèse normative comme une autre. Cette projection reste enfermée dans le postulat économique dominant selon lequel la progression de cet indicateur est la condition d'une bonne santé économique, alors même que ce postulat a conduit jusqu'ici à une trajectoire économique qui nous éloigne de l'objectif de neutralité carbone. Au nom de ce postulat, l'hypothèse ne peut être que celle d'une croissance aussi soutenue qu'il semble possible de l'envisager : la projection retenue, issue de la Commission européenne, reflète cet optimisme considéré comme nécessaire, en supposant une remontée progressive de la croissance pour atteindre un taux moyen de 1,7 % entre 2030 et 2035 que la SNBC propose de prolonger jusqu'en 2050. Rien n'est dit ici, au passage, de cette évolution après 2050 alors même que les trajectoires sont prolongées jusqu'en 2060. Même corrigée sur les premières années pour être ramenée à 1,3 %, cette projection construite en 2016, donc bien avant la crise sanitaire, semble très optimiste et devrait être revue à l'aune des leçons apprises.

Toutefois, davantage que l'hypothèse en elle-même, c'est la manière dont celle-ci semble intervenir dans la construction des scénarios qui peut faire problème en termes de cadrage. RTE indique en effet que par le jeu de cette hypothèse, « *les différents scénarios de référence qui seront considérés dans le Bilan prévisionnel seront compatibles avec une croissance forte du PIB* », tout en soulignant que celle-ci constitue « *un cadre de référence plutôt contraint pour le mix énergétique et pour le mix électrique en France* ». Cela semble indiquer que la croissance du PIB intervient ici comme une contrainte exogène auxquelles toutes les trajectoires doivent pouvoir s'adapter, sans interroger le contenu de ce PIB et la cohérence de trajectoires reposant sur des stratégies plus ou moins volontaristes de transformation de ce contenu...

Comme l'Association négaWatt l'a déjà souligné notamment dans le cadre de la concertation sur les scénarios du Bilan prévisionnel 2017, il est étrange de considérer le taux de croissance comme une donnée exogène dès lors que l'on cherche à modéliser des trajectoires de transition vers la neutralité carbone, c'est-à-dire de transformation profonde des modes de production et de consommation. Si ce parti-pris méthodologique avait un sens à l'époque où l'outil de simulation utilisé par RTE était essentiellement destiné à développer une projection sur la sécurité du système électrique dans une certaine trajectoire économique, qui lui était extérieure, il introduit au contraire aujourd'hui un biais dont l'impact peut être important mais, par sa profondeur même, semble difficile à caractériser.

Fondamentalement, le produit intérieur brut (PIB) est une donnée qui agrège des contenus productifs aux impacts environnementaux et sociaux très différents ; ces contenus sont de plus mesurés à travers une valorisation monétaire qui, dans la plupart des cas, ne reflète pas l'ensemble de ces impacts. L'atteinte de la neutralité carbone passe inévitablement, à l'échelle de l'ensemble de l'économie, par une interrogation profonde du contenu du PIB et de la mesure de la productivité : le « découplage » entre croissance et consommation d'énergie dont il est souvent question renvoie plutôt à un devoir de séparation, au sein du PIB, entre les activités dont la valorisation monétaire positive ne reflète pas les externalités négatives, qu'il faut réduire, et celles dont les externalités sont globalement positives, qui doivent croître.

Cette question épineuse dépasse évidemment très largement le cadre du Bilan prévisionnel, mais celui-ci ne peut faire l'impasse sur une réflexion quant à ses implications. Du point de vue de l'exercice prospectif mené par RTE, et compte tenu de la nature du modèle de simulation utilisé, cela se traduit essentiellement par une interrogation sur la nature du lien qu'établit le modèle entre PIB et consommation d'énergie et donc d'électricité. Celle-ci ne saurait reposer sur de simples règles d'élasticité qui seraient appliquées de façon homogène dans toutes les trajectoires sans introduire une distorsion majeure dans leur cohérence respective. Dans une trajectoire de continuité économique, le niveau d'action en termes d'efficacité et de transfert d'usages vers l'électricité peut s'inscrire dans une forme de continuité avec les relations entre ces facteurs observées dans le passé. Mais dans des trajectoires reposant sur une stratégie de transformation visant la neutralité carbone, les efforts volontaristes qui doivent être envisagés en matière de sobriété sur les usages, d'accélération de

transferts d'usages, ou d'adaptation rapide des infrastructures représentent une rupture avec ces règles d'élasticité que les scénarios doivent pouvoir refléter. Il en va de même pour le degré d'industrialisation, dont RTE propose de considérer différentes évolutions à travers des variantes.

En d'autres termes, la question du niveau d'action sur les leviers de transformation des modes de production et de consommation qui sous-tendent la trajectoire électrique est à la fois dépendante du PIB, au sens où la capacité d'action est conditionnée par le niveau de dynamisme de l'économie, mais décorrélée de ce PIB, au sens où le niveau de cette action est fonction, à PIB identique, d'une volonté politique, et impactante pour le PIB, au sens où elle est susceptible de modifier, pour un dynamisme équivalent, la productivité telle qu'il la mesure. Surtout, les différents leviers d'action sur lesquels peuvent s'appuyer les trajectoires globales de neutralité carbone dans lesquels s'inscrivent les scénarios électriques obéissent probablement sur ces points à des logiques différentes ; cette analyse devrait donc être menée spécifiquement pour chaque type de trajectoire.

Aussi, le choix d'une hypothèse de croissance du PIB commune à la construction de toutes les trajectoires est nécessairement réducteur, même si des variantes peuvent être étudiées ensuite, et ne peut s'accompagner que d'une analyse poussée de la manière dont le contenu de ce PIB s'interprète dans les stratégies distinctes d'atteinte de la neutralité carbone sous-jacentes aux différentes trajectoires électriques. C'est peut-être moins l'hypothèse de PIB retenue qui est importante, puisqu'il est de toutes façons difficile de lui donner du sens à moyen-long terme, que l'explicitation et l'analyse du lien entre cette hypothèse de PIB et l'évolution de la consommation d'énergie et donc d'électricité dans chacune des trajectoires.

• Selon vous, quelles variantes sur le cadrage macro-économique devraient être étudiées en priorité et sur quelles hypothèses celles-ci devraient-elles être fondées ?

Les différentes variantes que RTE pourrait analyser découlent pour l'essentiel des remarques précédentes, qu'il s'agisse des projections démographiques ou macro-économiques. Elles peuvent être complétées par certaines analyses de sensibilité plus spécifiques.

Du point de vue démographique, la projection de croissance de la population doit être ajustée en fonction des évolutions récentes mais peut rester la même pour toutes les trajectoires. Il serait cependant utile, au titre de l'évaluation globale de la robustesse des trajectoires à des sollicitations plus fortes, d'envisager une projection plus élevée correspondant à un accroissement significatif du solde migratoire, tel qu'il pourrait résulter d'un afflux important de réfugiés climatiques : une telle hypothèse, potentiellement cohérente avec la projection d'effets marqués du dérèglement climatique que RTE souhaite tester sur le système électrique, conduirait non seulement à une population plus importante, mais à une variation plus importante du taux de croissance de la population sur des périodes ciblées, dont l'impact est plus difficilement modélisable dans l'outil de simulation utilisé par RTE mais dont l'influence devrait néanmoins être envisagée.

Plus fondamentalement, ce sont les hypothèses relatives à l'évolution de la répartition de la population que l'Association négaWatt invite RTE à travailler par le biais de variantes, pour celles qui peuvent être le produit soit de politiques et d'orientations sociétales liées à l'objectif de transition écologique, soit d'effets des crises et des impacts profonds que cette transition vise à réduire. C'est le cas notamment de l'évolution du taux de cohabitation dans les logements, de la prise en compte d'une évolution plus ou moins forte de l'organisation du travail autour du télétravail, et des migrations interrégionales sous l'effet de l'évolution différenciée du climat sur le territoire national.

Du point de vue économique, la première variante à considérer est celle d'une hypothèse globalement moins optimiste de croissance du PIB. Mais il est peut-être intéressant aussi, dans la perspective de tests de la robustesse des trajectoires à différents aléas, de ne pas se limiter à une projection de moindre croissance qui resterait relativement régulière. L'expérience de la crise épidémique actuelle nous indique que des ralentissements brutaux de l'économie peuvent intervenir en dehors des cycles de l'économie elle-même, avec des impacts durables. Ce point mérite d'autant plus d'attention que cette crise, bien qu'elle soit majeure, n'est pas nécessairement extrême en regard des aléas auxquels l'évolution de l'économie et les dégradations environnementales semblent désormais nous exposer.

L'introduction d'une telle hypothèse en variante appelle peut-être moins à une analyse de son impact sur l'ensemble de la trajectoire à travers la relation modélisée entre PIB et déterminants de la trajectoire électrique qu'à une réflexion sur la résilience économique à ce type de crise des différentes stratégies de transformation sous-jacentes aux trajectoires électriques. C'est plus globalement autour de cette relation entre hypothèse sur le PIB et contenu des transformations que l'Association négaWatt invite RTE à réfléchir à des variantes : il s'agit

en particulier de veiller à ne pas enfermer dans la poursuite d'une production de biens et d'une fourniture de services indifférenciés des trajectoires qui reposent au contraire sur une démarche de sobriété cherchant à faire évoluer de façon différenciée la production de biens et de services en relation avec leur utilité.

Question 3 – analyses sur les perspectives de relocalisation de l'industrie

La question de l'évolution du volume de production de l'industrie mérite, comme le propose RTE, d'être sortie d'un traitement interne à la trajectoire de croissance économique pour faire l'objet d'une analyse spécifique. Cette analyse sur le volume, autour d'une hypothèse de relocalisation, ne doit cependant pas être pour autant dissociée de la nécessaire réflexion sur les autres déterminants de l'évolution du secteur industriel et de sa consommation.

- Confirmez-vous l'intérêt de disposer d'une analyse de scénarios de relocalisation de l'industrie en France ? Partagez-vous le cadrage des deux variantes de relocalisation proposées par RTE ?

L'Association négaWatt a engagé de longue date une réflexion sur l'intérêt d'une relocalisation de l'industrie, qui était déjà intégrée de façon explicite comme un levier d'action dans son scénario en 2012. Pendant longtemps, les logiques économiques sous-jacentes à la construction de la majorité des scénarios ont considéré, au même titre que le PIB, l'impératif de compétitivité et ses implications pour le degré d'industrialisation dans le contexte de la mondialisation comme des contraintes essentiellement exogènes aux trajectoires énergétique. La crise épidémique, en apportant brutalement une autre grille de lecture liée à la dépendance stratégique dans laquelle nous entraîne le mouvement de désindustrialisation, a légitimement remis à l'agenda la question de l'opportunité et de la faisabilité d'une politique de relocalisation. Cette réflexion rejoint la préoccupation plus ancienne, mais jusqu'ici moins visible, pour cette question sous l'angle du climat, autour d'un objectif de décarbonation véritable de la consommation française mesuré non pas sur le seul périmètre des émissions domestiques de gaz à effet de serre, mais à travers l'empreinte en France et à l'étranger de cette consommation.

L'intérêt d'une analyse de scénarios de relocalisation est donc triple :

- en premier lieu, ces scénarios doivent permettre, en lien avec l'objectif central de neutralité carbone assigné aux différentes trajectoires envisagées, d'interroger l'impact des trajectoires sur l'empreinte carbone de la France. S'il ne peut s'agir ici, dans le cadre du périmètre de modélisation couvert par l'exercice, de parvenir à une quantification de cet impact, le positionnement des hypothèses de relocalisation doit au moins pouvoir informer qualitativement cette question : cet éclairage nous semble extrêmement utile pour venir compléter la lecture fournie de façon beaucoup plus précise par RTE sur l'impact de la trajectoire électrique française sur la décarbonation du système électrique européen, y compris en termes d'émissions évitées sur la production thermique dans les pays voisins ;
- ensuite, les scénarios de relocalisation peuvent s'inscrire utilement dans la réflexion plus globale que souhaite mener RTE sur les enjeux de robustesse et de résilience de l'économie à différents aléas. Ils permettent notamment, là encore plutôt sous un angle en partie quantitatif mais au moins qualitatif, d'explorer l'impact de cette relocalisation sur la dépendance à différentes importations ;
- enfin, les scénarios de relocalisation sont évidemment générateurs de création d'emplois dans les secteurs concernés, ce qui doit également être pris en compte, évalué en tenant compte d'effets croisés avec d'autres secteurs, et valorisé dans le cadre des résultats comparés des trajectoires et variantes étudiées.

Les deux variantes proposées par RTE sont utiles. Du point de vue de l'Association négaWatt, c'est même leur combinaison qui fait sens.

La première obéit de façon supposément plus réaliste à une logique essentiellement économique, en concentrant l'effort de relocalisation là où il est potentiellement le plus pertinent du point de vue de la compétitivité : elle consiste essentiellement en une sorte de rééquilibrage du mouvement de délocalisation observé ces dernières décennies.

Un écueil important doit être évité dans l'élaboration de cette variante. L'analyse de la compétitivité associée à une relocalisation, particulièrement si celle-ci concerne des activités industrielles significativement consommatrices d'énergie, doit s'inscrire dans une analyse de l'évolution à venir des coûts relatifs de l'énergie en France et à l'étranger, susceptible de s'écarter sensiblement d'une analyse fondée sur la poursuite des tendances passées. En particulier, le nouveau cycle industriel dans lequel doit s'engager entre aujourd'hui et

2050 le système électrique français va entraîner un besoin massif d'investissements tranchant avec l'attentisme qui a pu au contraire largement prévaloir au creux du précédent cycle, après l'investissement initial dans le déploiement du parc nucléaire – et qui prévaut encore, d'une certaine manière, avec la stratégie de moindre réinvestissement que constitue la prolongation de fonctionnement du parc, qui ne fait que différer cet investissement plus massif (et accroît donc au final le besoin d'investissement vu sur l'ensemble de la période). Cette perspective est susceptible d'entraîner un effet de ciseau entre l'évolution des coûts en France et celle projetée dans d'autres pays où les efforts d'investissement auront au contraire été réalisés plus tôt.

La seconde variante obéit beaucoup plus clairement à ce que la vision économique dominante qualifiera de volontarisme, mais qui est une approche plus réaliste vis-à-vis de l'urgence climatique, avec une priorité à la relocalisation des secteurs industriels les plus émetteurs. Sur ce point, il semble que RTE considère essentiellement dans cette approche les émissions associées à la production d'énergie nécessaire aux processus d'extraction et de fabrication, ce qui vise principalement les processus consommateurs d'électricité dans les pays où l'électricité reste souvent beaucoup plus carbonée qu'en France. Plusieurs éléments sont à prendre en compte pour bien étayer un tel raisonnement :

- d'abord, il convient de rappeler que dans une perspective où la réduction de l'empreinte associée aux consommations de biens en France serait la priorité, le premier levier d'action reste celui d'une sobriété appliquée aux différentes importations considérées. En d'autres termes, pour simplifier, c'est aux seules importations jugées suffisamment utiles à l'issue d'une analyse des services rendus qu'une politique de relocalisation devrait s'appliquer ;
- ensuite, les productions d'électricité des pays concernés peuvent, à l'horizon des scénarios du Bilan prévisionnel, évoluer vers un niveau de décarbonation important, susceptible de relativiser l'intérêt des relocalisations vues à ce seul prisme ;
- la cohérence des relocalisations sous cet angle doit être interrogée en regard de son impact sur l'ensemble des cycles de production, en France comme à l'étranger, y compris pour des étapes des chaînes de fabrication qui ne reposent pas sur l'électricité et ne sont donc pas nécessairement plus carbonées dans d'autres pays, en tenant compte également des possibilités d'électrification de certaines étapes ;
- l'analyse des émissions liées aux étapes industrielles doit évidemment s'accompagner d'une analyse sur les émissions de gaz à effet de serre liées aux transports associés, avec l'idée de les réduire. Il n'y a pas de relation linéaire entre les mouvements de relocalisation de l'industrie et les distances cumulées parcourues par les produits de l'extraction à la fourniture – certains mouvements pouvant être inverses –, si bien que la réflexion relative à la relocalisation doit s'accompagner d'une analyse sur les approvisionnements et les procédés favorisant la mise en place de circuits courts. Il faut également noter que, comme pour la production d'électricité, l'évolution possible en termes de décarbonation des transports selon les hypothèses sur le niveau d'action à l'échelle mondiale doit également être prise en compte pour mettre les résultats en perspective ;
- enfin, la réduction de l'empreinte carbone de l'industrie ne saurait être, dans le cadre d'une politique industrielle guidée par la soutenabilité et cohérente de ce point de vue, le seul indicateur pris en compte pour déterminer les orientations. La relocalisation devrait donc également s'inscrire dans une démarche de réduction globale de l'empreinte des productions industrielles nécessaires à l'économie française, en tenant par exemple compte également des besoins en matériaux et des extractions associées ou des prélèvements d'eau en fonction des contextes locaux de pression sur les ressources ou sur la biodiversité. De telles considérations ne peuvent évidemment pas entrer dans la modélisation, mais elles sont importantes et doivent être prises en compte dans l'analyse des choix.

Une partie de ces commentaires peut également s'appliquer à la première variante proposée. On notera aussi, pour ces deux variantes, que l'analyse des conditions de relocalisation, de ses priorités et de son impact est largement dépendante des hypothèses posées sur l'évolution du contexte international.

Au-delà de ces considérations spécifiques sur le développement des variantes, il nous semble important d'insister sur la nécessité de veiller à la cohérence de l'exercice pour ne pas faire du levier de relocalisation un facteur aggravant de la distorsion induite par la trajectoire de référence SNBC, discutée précédemment. RTE note à juste titre que « *il existe ainsi un équilibre à trouver entre politique de réduction des émissions nationales et politique de réduction de l'empreinte carbone* » : plus largement, toute politique de relocalisation doit s'inscrire dans une stratégie cohérente, où l'action sur d'autres leviers permet de réduire la contrainte induite sur le système énergétique, et plus particulièrement électrique (dans la mesure où c'est sur lui que reposent à

la fois la recherche de compétitivité de la première variante et de décarbonation de la seconde) par ces consommations supplémentaires.

En ce sens, la vision d'une relocalisation qui ne viendrait s'inscrire que comme une variante d'une trajectoire de référence qui elle-même maximalise déjà la pression exercée sur le système électrique, par rapport aux différents leviers d'action disponibles, ne fait pas sens. Au contraire, cette orientation ne nous paraît avoir de sens que dans des trajectoires où d'autres efforts sont mis en œuvre pour permettre au système électrique de l'absorber sans surcoûts, impacts non maîtrisés ou dysfonctionnements. Les travaux de l'Association négaWatt montrent que les potentiels de réduction de la consommation de l'industrie apportés par des actions de sobriété, de recyclage et d'économie circulaire, de substitution entre vecteurs et d'efficacité des procédés permettent d'envisager une trajectoire beaucoup mieux maîtrisée de la consommation de l'industrie, y compris pour l'électricité, que ne le propose la SNBC. A minima, il paraît nécessaire pour traduire cette préoccupation du point de vue des trajectoires d'ajouter une variante de réduction de consommation des produits finis « électro intensifs ».

Enfin, la perspective de relocalisation de la production peut en premier lieu concerner, autour d'une préoccupation partagée pour la souveraineté énergétique, les filières les plus directement mobilisées pour la mise en œuvre de la transition énergétique. Cela s'applique notamment à la fabrication des moyens de production d'électricité décarbonée. Un projet comme celui de la giga-usine de modules photovoltaïques envisagée à Hambach, en Moselle, semble susceptible de fournir à lui seul l'équivalent de la puissance annuelle installée prévue en France pour cette filière dans la PPE. La réalisation éventuelle de projets de ce type peut venir très rapidement modifier la trajectoire (démarrage envisagé dès 2022 et production nominale atteinte dès 2025), et doit évidemment être prise en compte à la fois du côté de la consommation d'électricité induite, mais aussi de la réduction associée du bilan carbone du photovoltaïque.

- [Souhaitez-vous partager avec RTE des données ou analyses permettant d'affiner la construction des trajectoires \(ex. : études chiffrées sur les secteurs d'activités ou sur l'impact énergétique et climatique de certaines activités délocalisées, etc.\) ?](#)

L'Association négaWatt poursuit actuellement, dans l'optique de son prochain scénario pour la France et du projet de scénario européen qu'elle coordonne, ses travaux sur l'intégration des différents leviers d'action sur l'industrie, dont la relocalisation, dans une recherche de réduction aussi poussée que possible de son empreinte en émissions de gaz à effet de serre et en extraction de matériaux primaires. Nous pouvons partager avec RTE les résultats d'études, même préliminaires, sur la relocalisation de certains secteurs pour lesquels la relocalisation conduirait à une diminution de l'empreinte carbone (exemple : semi-conducteurs, textile, etc.).

Question 4 – trajectoires d'évolution de la consommation d'électricité

La maîtrise des consommations est évidemment, pour toutes les raisons évoquées précédemment, au cœur de la démarche d'analyse prospective recommandée par l'Association négaWatt pour l'atteinte d'objectifs ambitieux de soutenabilité. Cette exigence s'applique à l'ensemble de l'énergie, et ne saurait de notre point de vue être relâchée pour l'électricité au motif que celle-ci est davantage et pourrait rester plus facilement décarbonée que d'autres vecteurs : si nous partageons ce constat qui plaide pour des transferts d'usage vers l'électricité, nous considérons aussi que les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas le seul indicateur à considérer et que la maîtrise des coûts globaux, des besoins en infrastructures, des besoins en matériaux par exemple implique de maîtriser la consommation de cette forme d'énergie également. C'est aussi dans cette perspective que nous appelons, comme évoqué plus haut, à une recherche d'équilibre et d'optimisation des contraintes reportées sur les différents leviers de décarbonation qu'à une priorité excessive à l'électrification.

Il s'agit donc non seulement pour nous, dans l'exercice du Bilan prévisionnel 2050, d'explorer de façon systématique et documentée les potentiels de mise en œuvre de la sobriété et de l'efficacité dans les différents secteurs de consommation de l'électricité, mais également de se garder de visions excessivement haussières, lorsque celles-ci ne relèvent pas de tendances mais de la mise en œuvre volontaire de politiques que nous considérons, par le niveau de contraintes qu'elles induisent sur l'électricité et les impacts cachés qu'elles entraînent tout en n'exploitant pas des potentiels plus faciles sur d'autres leviers, contraires aux objectifs de soutenabilité globale dans lesquels les scénarios doivent s'inscrire.

• Partagez-vous le cadrage présenté pour les projections d'évolution de la consommation ?

Globalement, l'Association négaWatt partage la vision, effectivement portée à notre connaissance, comme le souligne RTE, par « *tous les scénarios visant la neutralité carbone (à l'échelle mondiale, européenne ou nationale)* », d'une progression significative de la part de l'électricité dans les usages de l'énergie. Nous ne partageons toutefois pas la vision portée par certains scénarios d'une électrification de la très grande majorité des usages de l'énergie, et restons très réservés sur la vision portée par la SNBC, selon laquelle cette part pourrait passer de 25 % en 2020 à 50 % en 2050. En particulier, cette part ne doit résulter ni d'un effort excessivement différencié en matière de consommation d'énergie entre vecteurs pour le même usage (cas du bâtiment ou de l'industrie dans la SNBC), ni d'une mobilisation trop confiante de ce vecteur (cas des transports). Toute projection de la consommation finale d'électricité plus élevée que la trajectoire SNBC irait encore plus loin dans ce que nous considérons être un déséquilibre injustifié entre l'effort nécessaire de réduction sur les autres énergies et le relâchement de l'effort sur le vecteur électrique.

Bâtiment

Dans le bâtiment, RTE conclut que « *finalement, la consommation électrique dans les secteurs résidentiels et tertiaires ressort en légère baisse* ». Cette « *légère baisse* » paraît assez conservatrice. Si on reprend en effet :

- les hypothèses INSEE les plus récentes sur un taux de fécondité de plus en plus bas (conduisant à une quasi-stabilisation de la population à 2050),
- un tassement, voire une décline, des surfaces résidentielles et tertiaires (lutte contre l'artificialisation des sols et l'habitat pavillonnaire, préférence à l'habitat collectif, gel des zones commerciales péri-urbaines, numérisation de nombreux services, etc.),
- une rénovation haute performance de la quasi-totalité du parc (entraînant des besoins en chauffage très réduits) – objectif fixé dans l'article 5 de la loi de transition énergétique de 2015 – et une poursuite vigoureuse des réglementations d'efficacité énergétique des appareils (susceptibles de réduire les consommations unitaires de la plupart des appareils de 25 à 50 % d'ici 2050),

on pourrait s'attendre à ce que même avec une électrification accrue, les baisses de consommations dans les secteurs résidentiels et tertiaires soient au final plus que « *légères* ».

Plus précisément, dans le bâtiment, on peut noter les écarts suivants entre la SNBC et le scénario négaWatt.

• Résidentiel

Pour le chauffage, la SNBC projette une augmentation du nombre de rénovation jusqu'à 1 million de logements par an. Nous pensons que cette valeur n'est pas atteignable s'il s'agit de rénovations complètes et performantes (RCP). Dans le scénario négaWatt, nous envisageons une montée en régime progressive jusqu'à un niveau déjà extrêmement ambitieux de 780 000 logements par an, correspondant à la réalisation du programme de rénovation sur tout le parc atteignable à l'horizon 2050, avec des rénovations complètes et performantes permettant une réduction de 60 % des besoins de chauffage en moyenne sur les logements rénovés.

Le niveau que nous envisageons pour l'électrification du parc est sensiblement similaire à celui de la SNBC, mais la part des pompes à chaleur (PAC) est nettement plus importante. Ainsi, les proportions de logements chauffés avec des PAC et par effet Joule atteignent 48 % et 12 % en 2050 dans le scénario négaWatt contre 25 % et 30 % dans la SNBC : au vu des piètres performances des radiateurs à effet Joule comparativement aux PAC, il nous semble indispensable de les éradiquer presque totalement. Combinées à une moindre croissance des surfaces du résidentiel liée aux mesures de sobriété appliquées (rééquilibrage entre maisons individuelles et logement collectif dans le neuf, politique de lutte contre la décohobitation précitée...), la consommation de chauffage dans le résidentiel atteint ainsi seulement 24 TWh dans le scénario négaWatt au lieu des 35 TWh indiquées dans la SNBC. Il faut bien sûr souligner que cet effet se traduit aussi par une réduction significative du gradient thermique et de la pression exercée par le chauffage sur la pointe électrique en période hivernale.

Pour l'eau chaude sanitaire (ECS), les hypothèses de baisse des besoins en eau chaude sont similaires dans les deux exercices. Comme pour le chauffage, nos hypothèses de développement des chauffe-eau thermodynamiques sont plus ambitieuses, avec des proportions de logements équipés de chauffe-eau thermodynamiques et Joule qui atteignent 62 % et 13 % en 2050 dans le scénario négaWatt contre 40 % et

18 % dans la SNBC. Par ailleurs, le taux d'équipement en chauffe-eau solaires est lui aussi nettement plus élevé, avec environ 40 % des logements équipés contre 4 % dans la SNBC. Ainsi la consommation pour l'ECS du scénario négaWatt atteint seulement 7 TWh au lieu des 14 TWh indiquées dans la SNBC.

Pour la climatisation, le taux de pénétration est plus faible dans le scénario négaWatt (20 % des logements en 2050 contre 30 % dans la SNBC), et le gain sur les besoins plus élevé. Les stratégies de limitation sont plus développées, avec non seulement un gain dû à l'isolation, mais aussi la mise en place de protections solaires efficaces et leur bonne utilisation, ainsi qu'une meilleure maîtrise des apports internes par l'usage d'équipements électriques efficaces (éclairage, produits blancs ou bruns) et une utilisation plus sobre. La consommation pour la climatisation est de ce fait moitié moindre dans le scénario négaWatt que dans la SNBC.

- **Tertiaire**

De manière générale, l'électrification que nous envisageons pour le tertiaire est bien moindre que dans la SNBC, car nous pensons qu'une place importante peut être conservée pour les réseaux de chaleur, ainsi que pour la biomasse et le gaz réseau renouvelable.

Concernant le chauffage, la SNBC projette une augmentation des rénovations jusqu'à 3 % des surfaces par an, hypothèse que nous partageons. Le niveau que nous envisageons pour l'électrification du parc est par contre sensiblement inférieur à celui de la SNBC. Ainsi, les proportions de surfaces tertiaires chauffées avec des PAC et par effet Joule atteignent 33 % et 2 % en 2050 dans le scénario négaWatt contre 54 % et 8 % dans la SNBC. Combinée à une moindre croissance des surfaces du tertiaire liée aux mesures de sobriété également applicables dans ce domaine, la consommation de chauffage du scénario négaWatt atteint ainsi seulement 5 TWh au lieu des 13,5 TWh indiqués dans la SNBC.

Pour l'eau chaude sanitaire, les mêmes parts modales que pour le chauffage sont envisagées, soit une pénétration bien plus faible que celle envisagée dans la SNBC. On arrive ainsi à une consommation pour l'ECS du scénario négaWatt de seulement 1 TWh au lieu des 4 TWh indiquées dans la SNBC.

Enfin pour la climatisation, comme dans le résidentiel, nos hypothèses conduisent seulement à une hausse d'un tiers des surfaces climatisées, contre un doublement dans la SNBC. Cette augmentation limitée est due à la fois à une sobriété marquée concernant la construction de nouvelles surfaces, et une réduction des apports internes par une bonne maîtrise de l'efficacité des équipements consommateurs d'électricité et de leur usage. On arrive ainsi à une consommation pour la climatisation dans le scénario négaWatt de 10 TWh au lieu des 18 TWh indiqués dans la SNBC.

Transports

Dans le secteur des transports, l'analyse de RTE reprend du point de vue de la sobriété les évolutions très limitées qu'on trouve dans la SNBC concernant l'évolution globale de la mobilité et les parts modales. Cette vision conservatrice ne nous paraît pas retranscrire correctement le changement de paradigme profond qui est en train de se produire à la fois dans les mentalités, dans les pratiques, dans les aménagements et dans les solutions nouvelles de mobilité qui sont développées actuellement et qui seront développées à l'avenir. Il paraît nécessaire de se projeter au-delà essentiellement d'un remplacement du parc de véhicules particuliers essence par des véhicules particuliers électriques.

- Selon vous, quelles sont les tendances et orientations de la SNBC les plus structurantes à prendre en compte pour les projections de consommation d'électricité ?

Dans la continuité de l'analyse des différences entre la trajectoire SNBC, sur laquelle s'appuie le travail de RTE, et les orientations retenues par l'Association négaWatt pour l'élaboration de ses scénarios, les deux points sur lesquels une attention particulière doit être portée sont la rénovation du parc bâti existant d'une part, et l'électrification des véhicules d'autre part. La première, en particulier, est structurante selon son niveau d'application aux bâtiments chauffés à l'électricité, non seulement pour la consommation mais surtout pour son impact sur les besoins d'électricité hivernaux, qui dimensionnent à la fois la pointe électrique et, particulièrement dans les trajectoires intégrant des renouvelables variables, les besoins de stockage inter-saisonnier.

La seconde pèse également de manière forte sur les niveaux de consommation, selon que l'électrification est davantage réservée aux trajets courts, qui forment l'essentiel de la mobilité et constituent les derniers kilomètres des chaînes logistiques, ou davantage étendue aux trajets longs ainsi qu'au fret de marchandises par

camions. Selon ce niveau de déploiement et les modes d'organisation plus ou moins partagés associés (entre reproduction pour l'essentiel du modèle « propriétaire » actuel ou bascule vers une logique « servicielle »), elle structure aussi plus largement, à travers les besoins qu'elle génère du point de vue du réseau au niveau de la recharge mais aussi des services qu'elle peut apporter du point de vue du stockage courte durée et diffus.

• Selon vous, quelles sont les variantes à étudier dans le cadre du Bilan prévisionnel ?

Compte tenu de nos commentaires précédents, il nous paraît important de prévoir une variante avec plus de sobriété qui (à l'image du scénario négaWatt) comprendrait des niveaux de sobriété raisonnables et précisément ciblés, par exemple des usages numériques mieux maîtrisés, un changement de paradigme plus profond dans la mobilité, une plus grande circularité de l'économie entraînant une plus grande sobriété dans les besoins industriels, etc. Il est toutefois fondamental selon nous de ne pas faire de cette variante un « repoussoir » en exagérant les niveaux de sobriété au point de les rendre irréalistes.

Il pourrait aussi être intéressant de prévoir une variante « de rupture » : par exemple, que se passerait-il si le pays était marqué par un emballement climatique entraînant de très fortes catastrophes naturelles et une contrainte très forte sur l'approvisionnement, nécessitant de relocaliser en urgence les réseaux électriques et d'assurer une autonomie énergétique locale ?

• Avez-vous des données à communiquer à RTE pour préciser les trajectoires de consommation (scénario de référence et variantes) ?

Le scénario négaWatt atteint des niveaux de consommation électrique beaucoup plus maîtrisés : environ 470 TWh en 2050 contre 630 TWh pour RTE. Nous pouvons bien entendu préciser par la suite quelles sont les évolutions attendues pour atteindre ce résultat, et comment celui-ci se répartir en fonction des différents usages. On trouve déjà un certain nombre d'éléments dans le rapport qui détaille des hypothèses et résultats du scénario négaWatt 2017-2050 : <https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2017-2050-hypotheses-et-resultats>

En complément, l'ADEME est en train de préparer 4 scénarios de neutralité climatique, dont certains basés sur une action en matière de sobriété et d'efficacité s'approcheront assez de la philosophie du scénario négaWatt. A priori, les trajectoires de consommation seront déterminées aussi finement que dans les scénarios RTE (avec des modèles de stocks pour les appareils, etc.). Ces scénarios seront potentiellement très électriques, mais des variantes peuvent être intégrées, par exemple à 470 TWh (scénario négaWatt) et 550 TWh (à mi-chemin entre SNBC et négaWatt).

Question 5 – cadrage global des 8 scénarios d'étude.

Sous la réserve exprimée précédemment sur la corrélation entre trajectoire de consommation et choix sur le mix de production électrique, qui nous conduit à ne pas considérer que l'évolution de ce mix constitue à elle seule le principal élément de distinction des scénarios, l'Association négaWatt partage très largement l'approche consistant à distinguer les trajectoires de production selon un critère principal de maintien de l'option nucléaire ou non par rapport aux énergies renouvelables. Il est néanmoins nécessaire de bien expliciter les dynamiques sous-jacentes à chacun des scénarios pour s'assurer de leur cohérence dans toutes les dimensions qui différencient un scénario avec ou sans nucléaire du point de vue systémique.

• Êtes-vous d'accord avec le cadrage et les six scénarios d'étude principaux proposés ?

Il nous semble pertinent de considérer le nucléaire comme l'élément différenciant des scénarios du point de vue de la production, au croisement de deux constats. En premier lieu, les énergies renouvelables et le nucléaire constituent de manière évidente les seules filières de production d'électricité pleinement éligibles dans le cadre de scénarios de décarbonation complète du système électrique au service d'un objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050. Il nous semble en particulier pertinent, dans le cadre de l'étude, d'écarter le maintien d'une production thermique fossile avec l'introduction de capture et séquestration du carbone.

Dès lors que seuls le nucléaire et les renouvelables sont retenus, il est de la même manière évident que la perspective de poursuite du nucléaire est le principal élément différenciant entre les trajectoires. Même si l'hypothèse d'un « 100 % nucléaire » a pu être évoquée par certains acteurs lors de réunions de travail, personne n' imagine aujourd'hui sérieusement une trajectoire électrique ne reposant que sur le nucléaire, et même une trajectoire électrique sans développement des énergies renouvelables. C'est donc bien entre un mix

entièrement basé sur les renouvelables et un mix combinant nucléaire et renouvelables que se situe l'alternative à étudier.

Choix structurant

Il est d'autant plus pertinent de la poser dans ces termes que ce qui est en jeu, même si la part du nucléaire est le principal élément à faire varier dans la composition de ce mix, n'est pas un ajustement entre les parts respectives des deux options mais au contraire un choix structurant entre deux évolutions du système électrique. Par le passé, le caractère dominant du nucléaire a souvent pu conduire à considérer le développement des renouvelables comme une variable d'ajustement de la trajectoire nucléaire, empêchant la reconnaissance de la possibilité d'une trajectoire 100 % renouvelables et de la nécessité de l'explorer. Aujourd'hui que cette possibilité est reconnue, ce qui marque un véritable progrès, il ne s'agit pas davantage de réduire le nucléaire à une variable d'ajustement du développement des renouvelables, c'est-à-dire un complément plus ou moins mobilisé en fonction de l'écart résiduel entre la production renouvelable et la demande d'électricité.

Ainsi, le cadre proposé par RTE pour distinguer les trajectoires de production répond bien à la nécessité de considérer le choix du maintien ou non du nucléaire comme un élément structurant. L'Association négaWatt souligne ici à quel point ce caractère structurant doit être entendu dans une perspective systémique, à deux niveaux au moins.

Le premier concerne le système électrique lui-même : la combinaison du nucléaire, surtout dans la forme encore plus centralisée que constituent les réacteurs EPR, et des renouvelables forme un système électrique très différent, sur bien des plans, d'un système fondé sur les seules énergies renouvelables. Il serait cependant faux de considérer le premier comme une continuité, par rapport à la rupture que constituerait le second. Il nous semble au contraire important sur ce point de bien considérer que chacun de ces deux systèmes constitue une nouveauté par rapport au système électrique tel qu'il a été construit au fil des décennies, dont l'architecture technique et le modèle économique ont été conçus pour l'essentiel autour des moyens de production pilotables et flexibles que forment les centrales thermiques, et qui repose de manière cruciale sur leur présence, même dans le cas singulier de la France, pour son bon fonctionnement. En d'autres termes, s'il est légitime et nécessaire d'explorer comme le fait RTE la faisabilité sous les différents critères associés à la sécurité du réseau, au-delà de l'équilibre offre-demande, d'un système fonctionnant très largement voire intégralement avec une production renouvelable, il est tout autant nécessaire et légitime d'interroger au même niveau le fonctionnement d'un système combinant nucléaire et renouvelables : l'Association négaWatt appelle à ce que cette dimension, qui concerne par exemple la possibilité d'un fonctionnement massif en suivi de charge des réacteurs, ou la réaction d'un système ne possédant plus de réserves thermiques à l'arrêt intempestif d'un ou plusieurs réacteurs de la taille des EPR, soit clairement abordée.

Le second concerne ce qu'on pourrait appeler le système nucléaire : les installations nucléaires de production d'électricité, en lien avec les matières qu'elles utilisent et les risques spécifiques qu'elles présentent, s'appuient sur un système industriel et institutionnel beaucoup plus singulier que les filières renouvelables. En d'autres termes, le maintien de l'option nucléaire dans la production d'électricité n'est pas seulement un choix technique sur les outils de production ; il engage la poursuite d'activités de fourniture, de transport, de traitement du combustible nucléaire ou d'évacuation des déchets radioactifs, donc le renouvellement des usines, l'extension des capacités d'entreposage et le développement de nouveaux projets de stockage, et la nécessité de maintenir les conditions industrielles et institutionnelles de bon fonctionnement de tout ce système non seulement d'ici à 2050 mais bien au-delà, puisque de nouveaux réacteurs EPR mis en service d'ici là fonctionneraient encore jusqu'à la fin du siècle et que l'évacuation de leurs déchets les plus actifs s'étalerait pratiquement, si l'on transpose le calendrier projeté pour le parc actuel, sur tout le siècle suivant. Il ne s'agit pas ici d'intégrer pleinement l'ensemble de ces éléments dans la modélisation, mais d'en reconnaître la nature et de caractère extrêmement structurant, et de veiller à expliciter pleinement les conditions nécessaires, du point de vue du système nucléaire, du maintien de cette option au niveau considéré dans les scénarios, et d'en éclairer les différentes implications.

Pour finir sur ce point, c'est justement parce que le choix de maintenir ou non l'option nucléaire dans le mix électrique a un caractère structurant, du point de vue systémique, à long terme qu'il est nécessaire d'éclairer pleinement les différentes dimensions de ce choix. Cela est d'autant plus nécessaire que la perspective de fin du cycle industriel initié par la construction massive de réacteurs dans les années soixante-dix impose de se projeter dans un nouveau cycle, et d'engager au plus vite les évolutions choisies, en tenant compte du temps nécessaire à la mise en œuvre de nouvelles décisions. Il ne serait pas acceptable que la décision à l'étude concernant le

lancement ou non d'un nouveau programme de construction de réacteurs, avec tous les effets de verrouillage qu'impliquerait un tel lancement, soit tranchée sans que tous ces aspects ne soient préalablement éclairés. Le cadrage proposé par RTE est de nature à apporter sur ce plan une contribution essentielle pour le débat public, tout en sachant que son périmètre, même élargi comme le propose RTE, ne suffira pas à couvrir, dans toute leur complexité, l'ensemble des dimensions attachées à cette question.

Différenciation

La distinction entre ces deux options ne suffit évidemment pas à décrire de manière suffisamment fine pour les besoins de l'exercice l'ensemble des trajectoires envisageables. RTE propose à juste titre de décliner l'une et l'autre en deux familles, respectivement dites « EnR sans nouveau nucléaire » (famille M) et « EnR + nouveau nucléaire » (famille N), donnant chacune lieu à plusieurs scénarios d'étude, tout en veillant à ce que leur nombre reste limité. Cela implique à la fois de définir ce qui constitue le tronc commun aux différents scénarios, traité dans les questions suivantes, et ce qui les différencie au sein de chaque famille. De ce point de vue, la logique proposée par RTE est globalement claire, même si elle appelle de nombreux commentaires.

• Famille « EnR sans nouveau nucléaire »

L'Association négaWatt partage globalement l'analyse de RTE sur le fait que les principales filières sur lesquelles a vocation, vu d'aujourd'hui, à se fonder le développement de la production d'électricité renouvelable sont le photovoltaïque d'une part, l'éolien terrestre et en mer (offshore) d'autre part. En effet, le potentiel de développement supplémentaire de l'hydroélectricité est limité pour des raisons techniques et environnementales, le recours à la biomasse, bien qu'utile au maintien de capacités d'ajustement, est contraint par d'autres priorités d'usage, et le potentiel d'émergence et de déploiement à grande échelle de nouvelles filières est trop incertain pour l'intégrer à l'exercice, même s'il ne doit pas être négligé par ailleurs.

La différenciation entre scénarios d'étude au sein de cette famille s'opère dès lors naturellement sur différentes visions de l'équilibre entre photovoltaïque, éolien terrestre et éolien en mer, qui lui-même dépend de choix guidés par les caractéristiques différentes, du point de vue de leur coût, de leur mode de déploiement et de leur acceptabilité, de ces trois filières. RTE introduit à raison l'idée que des « *inducteurs du développement des énergies renouvelables (recherche du moindre coût, développement de solutions locales...) [...] ont eux-mêmes un impact sur le type et la taille des installations qui se développent* ». Les renouvelables ont en effet ceci de très différent du nucléaire qu'elles peuvent se développer selon des dynamiques très diverses, depuis les grands projets très industrialisés portés par de grands groupes jusqu'au déploiement diffus à l'échelle des ménages, et selon des formes de portage économique et de gouvernance allant du plus conventionnel au plus participatif.

Cette diversité constitue un atout. Aussi, il convient de ne pas tomber dans une vision réductrice qui enfermerait les différentes filières concernées dans des schémas privilégiés de développement, qui pourrait conduire à les opposer. D'une part, la taille critique différente des projets favorise bien sûr l'inscription de chaque filière dans un mode de développement plus diffus et participatif ou plus concentré, mais une gradation est toujours possible et cette correspondance n'est pas univoque. D'autre part, c'est précisément la complémentarité de ces modèles, et la possibilité de les développer selon un équilibre cohérent, qui fait la force des énergies renouvelables.

À cette réserve près, la logique proposée par RTE est intéressante, dans le sens où elle essaie de rattacher trois visions contrastées de l'équilibre entre les trois filières à des évolutions sociétales du rapport aux énergies renouvelables. Une dynamique plus diffuse et locale d'appropriation des renouvelables est sans doute cohérente avec un développement plus décentralisé et davantage porté sur le photovoltaïque (M1), tandis qu'une priorité à l'éolien offshore peut refléter un mode de développement restant plus concentré, allant de pair avec une moindre acceptabilité à terre (M3). La logique sous-jacente à la vision centrale (M2), qui revient par défaut à donner une forme de priorité à l'éolien terrestre en ne poussant ni le photovoltaïque ni l'éolien offshore comme dans les deux précédentes, est moins évidente. L'argument de « *moindre coût pour la collectivité* » n'est pas totalement convaincant, dans la mesure à la fois où cet indicateur n'est pas évident (à quelle échelle de collectivité, de temps, sur quel périmètre de coûts...), où l'adéquation de cet équilibre au moindre coût n'est pas triviale, et où les mécanismes de régulation permettant de mettre cette dynamique de moindre coût en œuvre ne semblent pas en place. Pour autant, le mix équilibré que recherche cette trajectoire reste intéressant à étudier.

Cette remarque appelle essentiellement à deux éléments de prudence dans l'analyse et l'interprétation des trajectoires M1, M2 et M3 déclinant ces scénarios d'étude. Le premier porte sur la nécessité de qualifier et

d'expliciter finement les conditions spécifiques à la mise en œuvre de chacune de ces trajectoires, dans leur dimension industrielle, économique ou sociétale, pour s'assurer en particulier de la cohérence des évaluations quantitatives et qualitatives qui en seront proposées dans ces domaines. Le second porte sur la nécessité de bien considérer que si chacune de ces trajectoires reflète l'exploration poussée d'une certaine dynamique, elles ne constituent pas ensemble une vision enveloppe du potentiel de développement des renouvelables, qui peut combiner plusieurs des dynamiques envisagées.

- *Famille « EnR + nouveau nucléaire »*

La logique de différenciation de trajectoires au sein de la famille avec nouveau nucléaire est par contraste beaucoup plus pauvre, au point d'interroger la pertinence même d'un équilibre dans le nombre de scénarios d'études retenus pour explorer chacune des deux familles. La présentation symétrique, en regard de M1, M2 et M3, de trois scénarios d'étude N1, N2 et N3 ne reflète pas la dissymétrie entre la richesse des possibles dans la première famille par rapport à la pauvreté des options dans la seconde, et cet aspect devra constituer un point d'attention dans la restitution de l'exercice.

En effet, l'option avec nucléaire se matérialise non seulement dans une seule filière, mais même dans une seule technologie, et concrètement dans un seul modèle. Le réacteur EPR, dans sa nouvelle version à la conception de laquelle travaille actuellement EDF, semble en effet la seule possibilité à considérer. En particulier, le déploiement dans des délais réalistes et compatibles avec le cadrage de l'étude de réacteurs d'un autre type que les réacteurs à pressurisée classiques est à exclure : après l'abandon du développement d'un nouveau prototype de réacteur surgénérateur refroidi au sodium (Astrid), et compte tenu de l'état très préliminaire de développement de la conception du « small modular reactor » (SMR) dénommé Nuward par un consortium mené par EDF, aucun modèle français n'est suffisamment mature pour inscrire une éventuelle trajectoire de relance prochaine du nucléaire dans une diversification, voire une bifurcation technologique. Le retour à des réacteurs éprouvés semble quant à lui exclu au vu de l'évolution des exigences de sûreté. Enfin, le recours pour une telle relance à des réacteurs disponibles auprès de constructeurs étrangers, bien que parfaitement envisageable en théorie, n'est réellement envisagé par aucun acteur : la filière nucléaire française ne semble revendiquer la nécessité du nucléaire dans un mix électrique décarboné qu'à la condition que ce nucléaire soit français...

Il résulte de cette analyse que le seul élément de différenciation de trajectoires au sein de cette famille avec nouveau nucléaire est bien, comme le propose RTE, le nombre et le rythme de construction de nouveaux réacteurs EPR. Il convient ici de souligner à quel point le retour d'expérience sur les constructions de réacteurs en France, avec une trajectoire constante d'augmentation des délais et des coûts avant même la catastrophe industrielle que constitue l'EPR de Flamanville, et sur les constructions de réacteurs EPR dans le monde (et particulièrement en Europe) incite à la prudence vis-à-vis des hypothèses sur le nombre et le rythme de nouveaux réacteurs. De plus, la justification de ces hypothèses doit reposer sur une évaluation sérieuse des capacités industrielles nécessaires aux constructions, notamment dans le domaine de la fabrication des gros composants, y compris au niveau de leur forgeage : ces capacités semblant aujourd'hui insuffisantes ne seraient-ce que pour soutenir un rythme correspondant au scénario N1, la question de leur renforcement dans les délais voulus, tenant compte de leur éventuelle mobilisation simultanée pour la maintenance nécessaire à la prolongation de fonctionnement de réacteurs existants, devra être explicitée dans l'analyse des trajectoires et des incertitudes associées.

Cette importante réserve mise à part, les options retenues par RTE pour simuler la fourchette des programmes de nouvelles constructions à considérer semble logique. Tout d'abord, dans la mesure où l'objectif est de simuler un programme mis en œuvre dans la durée, la logique de construction par paires peut apparaître pertinente. Ensuite, concernant la fourchette basse (N1), le rythme moyen d'une paire tous les cinq ans semble un minimum en dessous duquel il est difficile de rester dans une logique de programme ; de même, l'horizon 2035 pour une première mise en service est un objectif très ambitieux, s'agissant d'un modèle de réacteur dont la conception détaillée reste à l'étude et dont certaines options de sûreté restent même en discussion (notamment le domaine d'application de la démarche d'exclusion de rupture, sur lequel l'ASN prévoit de se prononcer en juin), compte tenu des délais nécessaires aux procédures d'autorisation puis à la construction. Enfin, concernant une valeur haute (N3), moyennant les remarques précédentes sur son réalisme inversement proportionnel au renforcement des ambitions, la logique consistant à maintenir le niveau de 50 % de la production une fois ce jalon atteint établit une fourchette supérieure pertinente (en se souvenant que ce critère a été introduit non seulement par rapport à une volonté de réduire une trop forte dépendance au nucléaire, mais aussi par rapport à l'intérêt économique de rapprocher le parc nucléaire d'une

production en base). Il reste difficile, entre ces deux bornes, d'établir une logique claire pour élaborer une trajectoire intermédiaire (N2), hormis celle d'envisager sans autre motivation qu'un développement plus rapide une augmentation du rythme selon des hypothèses arbitraires, comme le propose RTE.

Cette trajectoire N2, renforcée par rapport à N1, soulève un important problème de cohérence sur lequel RTE attire à juste titre l'attention, en se demandant si le volume de production des énergies renouvelables dans N2 doit être « *adapté afin de couvrir le même niveau de production totale d'électricité en France* », ou s'il doit être inchangé par rapport à N1, « *quitte à obtenir un potentiel d'électricité décarbonée plus important, permettant ainsi une plus forte décarbonation des usages en France ou à l'étranger* ». Cette question n'est pas seulement technique, et la manière de la poser ici ne reflète pas la réalité des logiques susceptibles de s'appliquer : en d'autres termes, ce n'est pas en fonction d'un objectif de plus ou moins grande décarbonation à l'étranger, comme si le reste du marché européen s'ajustait mécaniquement à ce choix français, que le niveau de développement des renouvelables sera arbitré dans un tel contexte. La réalité est au contraire qu'un développement plus soutenu du nucléaire français, décidé et mis en œuvre selon un programme à long terme de construction de nouveaux réacteurs, ne peut que conduire à un moindre développement dans une proportion correspondante des énergies renouvelables, par rapport à la place que leur accorde la trajectoire N1. C'est ainsi très clairement la première des deux options proposées par RTE qui doit être retenue. L'exercice, pour éclairer les choix publics, doit assumer que la conséquence d'une relance du nucléaire est un moindre développement des énergies renouvelables.

Enfin, la nature beaucoup plus fermée des trajectoires N, du point de vue des options permettant de les différencier, par rapport aux trajectoires M impose de prendre en compte d'autres éléments de variation, dont au moins deux peuvent être pointés :

- la nature du développement des énergies renouvelables : RTE propose de considérer pour chacun des scénarios N, outre leur niveau de développement global discuté ci-dessus, « *une répartition similaire entre les filières d'énergies renouvelables, correspondant à une forme de continuité par rapport à la répartition entre éolien et photovoltaïque proposée par la PPE, avec toutefois une accélération possible sur l'éolien en mer* ». Si l'on comprend bien la préoccupation de ne pas multiplier les options et les trajectoires évaluées, et si la proposition ainsi formulée constitue bien l'hypothèse la plus naturelle, elle n'en reste pas moins réductrice par nature.

L'élaboration des scénarios de la famille M souligne au contraire à quel point les énergies renouvelables peuvent faire l'objet d'évolutions différentes dans leur répartition, portées par des dynamiques différentes. Or ces dynamiques, et ces répartitions, ne sont pas neutres vis-à-vis du déploiement d'un nouveau parc nucléaire : il existe à ce niveau, sur le plan technique comme sur le plan économique, des interactions entre le déploiement des renouvelables et la réalisation du programme nucléaire qui ne sont pas de même nature selon qu'on se situe dans une logique de type M1, M2 ou M3. La dynamique des renouvelables et celle du nucléaire ne présentent pas, en fonction de cette logique sous-jacente, le même degré de compatibilité, et cette question ne doit pas être négligée ;

- l'incertitude sur la réalisation du programme : tous les scénarios envisagés relèvent d'hypothèses de déploiement qui sont évidemment, par nature, sujettes à des aléas qu'il convient de prendre en compte. S'agissant d'un modèle technologique singulier développé par un seul constructeur, et d'un déploiement envisagé dès l'origine comme un programme global de construction, portant sur un petit nombre de réalisations individuellement massives et porté par un unique opérateur, l'aléa qui pèse sur les hypothèses de déploiement de l'EPR dans les scénarios de la famille N n'est pas du tout de même nature que celui qui pèse sur le déploiement beaucoup plus diversifié et diffus des énergies renouvelables dans les scénarios de la famille M. Cet aléa concerne évidemment pour partie un risque technique, lié aux conditions de maîtrise des constructions et de leur mise en œuvre avec la qualité nécessaire dans les délais projetés : une analyse de sensibilité de type « stress test » doit permettre d'envisager l'impact de délais et de surcoûts importants, voire le non démarrage de certains réacteurs mis en construction.

Un autre phénomène doit cependant être considéré : le propre des programmes de construction envisagés dans la famille N est de déployer sur plusieurs décennies une décision prise dans un certain contexte au début de la période. En pratique, rien ne garantit qu'un programme de construction de réacteurs EPR étalé sur la période et décidé aujourd'hui soit mené à son terme, dans la mesure où les progrès continus des différents éléments d'un système électrique 100 % renouvelables, s'ils se poursuivent, risquent de plus en plus au fil de la période de remettre en cause les décisions d'engagement de nouvelles constructions de réacteurs. En d'autres termes, des scénarios où s'engage puis s'interrompt un programme de réacteurs EPR nous

apparaissent tout aussi plausibles que des scénarios où ce programme, une fois décidé, va à son terme. Une telle perspective est évidemment très impactante sur la trajectoire électrique correspondante, du point de vue de nombreux enjeux et indicateurs pris en compte pour l'analyse des scénarios, et les conséquences d'une telle situation doivent être pleinement envisagées.

Ces deux points méritent, sans sortir du cadrage proposé pour ne pas multiplier les scénarios à comparer, de faire l'objet d'analyses spécifiques et approfondies, complémentaires des scénarios retenus pour éclairer pleinement les options auxquelles conduit la famille N de scénarios.

- Partagez-vous la définition des hypothèses communes aux six scénarios d'étude (M1, M2, M3, N1, N2, N3) et notamment la trajectoire de déclassement nucléaire retenue ?

Comme indiqué précédemment, il ne nous semble pas cohérent de considérer l'évolution du mix de production électrique comme un phénomène décorrélé de l'évolution de la consommation : nous soutenons au contraire que la profondeur de transformation envisageable pour l'ensemble des moyens de production est directement conditionnée, du point de vue d'une trajectoire technico-économique maîtrisée, par le degré d'action sur le volume global de production à fournir, c'est-à-dire sur la demande. Nous appelons donc RTE à introduire, même si cela rend méthodologiquement les choses plus difficiles du point de vue de la multiplication des scénarios ou de leur comparaison, des hypothèses d'évolution de la consommation différenciées en cohérence avec les visions sous-jacentes aux différentes projections sur les modes de production.

Hormis ce point essentiel, le tronc commun aux six scénarios principaux d'étude tels que proposés par RTE réside dans le traitement du parc nucléaire existant, qui recouvre en fait deux questions.

EPR de Flamanville

La première concerne le réacteur EPR en construction à Flamanville, avec son éventuel démarrage et sa date. Il ne s'agit pas ici seulement de prendre en compte les incertitudes qui continuent à peser sur la finalisation de la construction de l'EPR selon une qualité conforme à son référentiel de sûreté. Celle-ci reste suspendue à l'issue de dossiers tels que la reprise des soudures inter-enceintes du circuit vapeur principal, la modification de piquages sur le circuit primaire principal, ou encore la qualification des soupapes de sûreté face au risque de corrosion, mais aussi à l'achèvement avec succès de l'ensemble des tests prévus avant un éventuel démarrage : au vu de l'ensemble de ces incertitudes, le non démarrage de l'EPR de Flamanville pour des raisons de sûreté reste une hypothèse possible, qu'il faut donc maintenir à minima pour l'examiner au titre des analyses de sensibilité.

Mais la question du démarrage ou non de l'EPR de Flamanville doit aussi s'envisager sous l'angle des soixante années nominales de fonctionnement que ce démarrage engage, qui ne se projettent pas du tout de la même manière dans la famille de scénarios M et dans la famille N. Dans la seconde, le lancement d'un nouveau programme de réacteurs impose de considérer les moyens à mettre en œuvre pour alimenter ces nouveaux réacteurs en combustible, maintenir leurs équipements, gérer leurs déchets et contrôler l'ensemble de ces activités : s'agissant d'un type de réacteur proche, la réponse à cette question, même si elle n'est pas triviale, peut englober les nouveaux EPR et celui de Flamanville. Dans la première famille, l'EPR de Flamanville constitue au contraire un réacteur isolé une fois l'ensemble du parc actuellement en service arrêté, soit potentiellement pour plusieurs dizaines d'années (les réacteurs les plus récents, du palier N4, atteindront l'échéance de fin de leur 4^{ème} réexamen périodique de sûreté en 2043 et celle de leur 5^{ème} en 2053, quand Flamanville-3 pourrait fonctionner, pour un démarrage en 2023, jusqu'en 2083). Les conditions industrielles et institutionnelles de maintien de ce réacteur isolé ne sont pas anodines, dans leur dimension économique notamment. Elles peuvent conduire à interroger la pertinence même du démarrage de l'EPR dans une telle perspective, et elles imposent en tous cas d'intégrer pleinement cet effet pour réviser les coûts de production de ce réacteur à la lumière d'une telle projection.

On peut ajouter, d'un point de vue méthodologique, que l'introduction d'une hypothèse de non démarrage de l'EPR de Flamanville aurait le mérite de permettre de traiter un scénario de mix véritablement 100 % renouvelable, ce dont les scénarios de la famille M, dès lors que l'hypothèse est faite que ce réacteur est démarré, s'approchent mais qu'ils n'atteignent pas.

Trajectoire de fermeture des réacteurs

La deuxième hypothèse attachée au parc nucléaire existant, et de loin la plus structurante pour la trajectoire électrique, concerne le rythme de fermeture des 56 réacteurs actuellement en service. La proposition de RTE

est de retenir pour les six scénarios principaux, sans différencier entre la famille M et la famille N, « *une même trajectoire de déclassement du nucléaire [qui] suit les orientations de la PPE jusqu'à 2035 (...) puis suppose un panachage entre des fermetures de réacteurs existants à 50 ans de durée de vie ou à 60 ans (...) afin de lisser les fermetures et d'éviter "l'effet falaise"* ».

- *Durée de fonctionnement*

Cette proposition pose un certain nombre de problèmes. Le premier concerne l'hypothèse même de durée de vie retenue. RTE avance comme justification d'une durée de vie de 60 ans qu'elle est « *l'hypothèse, communément admise, d'âge limite à laquelle les réacteurs pourraient être prolongés* ». Cette hypothèse n'a rien de communément admis. Elle ne repose sur aucun retour d'expérience, l'âge le plus élevé atteint à ce jour par des réacteurs – six à date – étant de 52 années depuis leur couplage au réseau ; le retour d'expérience est plus limité encore pour des réacteurs du type et de la taille des réacteurs français. Elle soulève, dans le contexte réglementaire français, d'importantes questions sur la tenue des équipements non remplaçables comme sur la maîtrise du vieillissement sur les équipements beaucoup plus diffus. Le maintien de marges nécessaires pour les cuves, par exemple, par rapport à la consommation progressive de ces marges sous l'effet notamment de la fragilisation sous irradiation, n'est aujourd'hui caractérisé pour le parc EDF que jusqu'à l'échéance du 5^{ème} réexamen périodique pour les réacteurs 900 MWe.

La PPE considère par ailleurs que l'arrêt à la 5^{ème} visite décennale est « *un scénario cohérent au plan industriel* », compte tenu des arrêts longs et investissements obligatoires qu'elle affirme nécessaires à cette étape, et rappelle que cette ligne est cohérente avec le fait qu'EDF « *amortit comptablement les réacteurs de 900 MW sur une durée de 50 ans* ». La durée d'amortissement des réacteurs des paliers suivants, 1300 et 1450 MW, reste a priori à ce jour de 40 ans.

Il est dans ces conditions très contestable, non seulement de retenir une hypothèse fondée sur la possibilité de prolongation d'une partie du parc à 60 ans comme hypothèse centrale, mais même d'en faire la seule hypothèse considérée dans l'exercice. Cette critique, formulée par l'Association négaWatt et d'autres parties prenantes à des étapes précédentes de la concertation, a conduit RTE à proposer le scénario M0, discuté plus bas. Cette proposition répond à la nécessité d'introduire une trajectoire de déclassement plus rapide sans être complètement satisfaisante : il aurait été préférable de retenir une hypothèse centrale de déclassement sans prolongation au-delà de 50 ans (au sens de l'échéance de la 5^{ème} visite décennale) pour en analyser les implications, et d'envisager la possibilité de prolongations supplémentaires comme une variante.

Un autre point important concernant les durées de fonctionnement porte sur la proposition que semble formuler RTE de réduire le choix sur la date d'arrêt de chacun des réacteurs à deux dates, correspondant aux échéances de leur 5^{ème} et de leur 6^{ème} visite décennale. Ce choix est cohérent avec la situation réglementaire, qui ne pose que ces échéances comme jalon de possibles décisions de poursuite ou de fermeture. Toutefois, le retour d'expérience international montre que les fermetures, motivées par des enjeux de sûreté ou de coût (parfois en lien avec la sûreté), ne coïncident pas nécessairement d'un point de vue industriel avec les échéances réglementaires. Surtout, les analyses détaillées que l'Association négaWatt a mené sur ce point indiquent que la chronique de ces deux échéances ne permet pas, même en panachant les décisions réacteur par réacteur, de produire une trajectoire suffisamment lissée de fermeture des réacteurs : pour construire une pente plus oblique que la « falaise » des 50 ans ou des 60 ans (ou, de la même manière, celles des 40 et des 50 ans), il semble nécessaire d'introduire, pour une partie importante des réacteurs, des dates qui s'éloignent du pas de temps décennal de l'échéance de leur 4^{ème}, 5^{ème} ou 6^{ème} réexamen périodique.

Ainsi, toute trajectoire construite à partir de décisions de fermetures calées sur ces seules échéances, que ce soit dans la famille M ou dans la famille N, risque d'introduire des effets de saut non lissés qui dégradent la cohérence, et donc la performance de telle ou telle trajectoire sans offrir un bon reflet de la réalité des mécanismes de décision qui risquent de s'imposer. Il est souhaitable que RTE construise au contraire une ou plusieurs trajectoires de déclassement de référence en intégrant des décalages (prolongation par rapport au réexamen précédent ou anticipation par rapport au suivant) de manière à lisser le plus possible les courbes. Une telle approche pourra, de plus, utilement alimenter la réflexion à construire sur l'évolution du cadre réglementaire et des mécanismes de gouvernance relatifs à cette question.

- *Rythme de déclassement*

Outre ces commentaires sur les hypothèses à prendre en matière de durée de fonctionnement, la proposition d'une trajectoire de déclassement dite de référence et commune à toutes les trajectoires pose un autre genre de problème. Comme évoqué précédemment concernant la consommation, le rythme de déclassement du

parc nucléaire ne saurait être considéré comme une évolution indépendante des autres composantes de la trajectoire nucléaire, même si ce rythme de déclassement peut être encadré par une forme de programmation, comme il l'est jusqu'à 2035 par la PPE. De plus, comme évoqué précédemment concernant le programme de construction de nouveaux EPR, la réalisation conformément aux termes initiaux d'une telle programmation est soumise à des inflexions à mesure que des conditions favorables ou défavorables aux fermetures se réalisent : comme le souligne la PPE, la trajectoire très prudente qu'elle retient sur le rythme de fermetures par exemple est susceptible d'être accélérée.

La trajectoire de référence proposée par RTE est par exemple clairement plus lente que ne permettrait de l'imaginer un développement accéléré des énergies renouvelables. Ce constat, que l'Association négaWatt fonde sur sa propre analyse des possibilités d'évolution du système électrique, est partagé en creux par RTE lorsqu'il est question pour élaborer le scénario M0 de « *devoir accélérer le développement des EnR et le déclassement des réacteurs d'ici 2035, selon un rythme plus rapide que celui défini dans la PPE* ». Formulé autrement, la trajectoire de déclassement considérée comme « référence » par RTE peut en réalité, en maintenant une capacité nucléaire plus importante que nécessaire dans cette perspective, retarder les dynamiques représentées pour le développement des énergies renouvelables par rapport au potentiel. C'est d'ailleurs ainsi que RTE ne propose plus, en dehors de la variante M0, d'explorer la possibilité du 100 % renouvelable à l'horizon 2050 mais plutôt 2060.

La trajectoire dite de référence cherche à transposer une projection dessinée jusqu'à 2035 par la PPE, qui elle-même est censée – même si en réalité elle l'a précédée, avec tous les problèmes démocratiques que cela pose par ailleurs – refléter l'évolution de la loi, et le report de 2025 à 2035 de l'échéance fixée pour ramener la part du nucléaire dans la production électrique à 50 %. L'Association négaWatt a en son temps expliqué en quoi ce report n'était pas étayé, reposant en particulier sur une lecture particulièrement tronquée des résultats des scénarios à 2035 du Bilan prévisionnel 2017 de RTE. Il ne faut pas aujourd'hui que ce report de dix ans de la trajectoire de fermeture du parc nucléaire, fixé a priori au lieu de s'appuyer sur l'information que pourrait lui apporter le nouvel exercice, vienne en biaiser l'interprétation : il sera essentiel pour cela de ne pas laisser s'installer l'idée que le 100 % renouvelables ne pourrait être atteint qu'en 2060 si cette idée est fausse. Et pour cela, de pouvoir identifier comment les résultats atteints à 2060 dans les trajectoires de la famille M pourraient être obtenus plus tôt, en lien avec une possible accélération du rythme de déclassement nucléaire. Nous insistons sur le fait que ceci devrait selon nous être traité sous la forme d'une analyse de sensibilité des trajectoires M1, M2 et M3, et pas seulement par l'introduction de la trajectoire M0.

Plus généralement, il est difficile de considérer que la même trajectoire de déclassement s'applique dans tous les scénarios des deux familles. Dans la réalité des décisions qui seront prises au cours des années et décennies qui viennent, le rythme des fermetures de réacteurs pourra être dicté par une orientation générale, mais il sera aussi, voire surtout ajusté en fonction des évolutions fines du système. Comme le souligne la PPE s'agissant des fermetures conditionnelles qu'elle envisage en 2025-2026 d'une part, et 2027-2028 d'autre part, les fermetures pourront être accélérées si le solde exportateur n'offre pas de débouchés suffisants à l'électricité ou que les prix de marché ne rémunèrent pas suffisamment une capacité excédentaire, et au contraire retardées si elles ne s'avéraient pas possibles dans le respect des critères de sécurité d'approvisionnement. Ces incertitudes s'appliquent également au-delà de l'horizon de la PPE, où elles sont susceptibles de s'amplifier comme de s'atténuer selon les circonstances : un coût mal maîtrisé des prolongations de réacteurs peut par exemple à terme, comme l'a déjà pointé l'Association négaWatt, conduire selon les évolutions des prix de marché européens à une perte rapide et massive de rentabilité des réacteurs prolongés, poussant à une forte accélération du rythme des arrêts.

Si la trajectoire de fermeture des réacteurs est la même dans toutes les trajectoires, cela revient à éliminer dans la modélisation la part d'adaptation du rythme de cette trajectoire à chaque situation, qui devrait être un facteur endogène d'ajustement du système électrique dans chaque scénario, pour en faire un facteur strictement exogène : cela ne serait ni conforme aux processus que la modélisation cherche à approcher, ni équitable du point de vue de la comparaison des scénarios (le biais introduit pouvant être plus ou moins positif ou négatif selon les situations).

- **Aléa nucléaire**

Enfin, indépendamment de la variabilité de la trajectoire de fermeture en fonction de l'évolution du reste du système électrique (du point de vue des marges vis-à-vis de la sécurité et du point de vue des prix), il faut tenir compte des enjeux relatifs à la maîtrise des risques nucléaires. Les prolongations au-delà de la 4^{ème} visite décennale ne restent autorisées que sur le plan des orientations génériques des réexamens de sûreté pour les

réacteurs 900 MWe, suite à la décision récente de l'ASN dans ce sens : leur poursuite de fonctionnement au-delà de cette échéance reste, à l'exception de quelques-uns qui ont déjà subi ce réexamen, soumise pour chacun des réacteurs de ce palier à la conformation de leur réexamen (mise en conformité et travaux de renforcement) à ces exigences génériques ; pour les paliers 1300 MWe et 1450 MWe, le processus reste pour l'essentiel à instruire au niveau des orientations génériques. Personne ne peut donc considérer pour acquise la prolongation jusqu'à l'échéance suivante de l'ensemble des réacteurs concernés. Cela est a fortiori encore plus vrai pour la prolongation éventuelle de fonctionnement de réacteurs au-delà de leur 5^{ème} visite décennale. À tout moment du processus, les difficultés éventuelles d'EDF à fournir ou à maintenir les conditions nécessaires à ces prolongations, ou l'apparition de problèmes de sûreté nouveaux ayant un caractère plus ou moins générique peuvent conduire à des fermetures anticipées et plus nombreuses par rapport à la trajectoire dite de référence. Cet aléa mérite d'être caractérisé et analysé, sous l'angle d'un « stress test » de chaque trajectoire ou peut-être aussi d'une analyse de sensibilité visant la capacité de chaque trajectoire à être accélérée pour absorber cet aléa.

L'arrêt plus rapide que prévu dans la trajectoire qualifiée par RTE de référence pourrait également venir de difficultés associées à la gestion des flux de matières nucléaires et de déchets associés au fonctionnement des réacteurs. En particulier, l'aléa peut porter sur la piscine centralisée d'entreposage du combustible usé, dont la réalisation prévue à l'horizon 2030 pour répondre à la perspective de saturation des piscines existantes (piscines de désactivation de chaque réacteur et piscines d'entreposage à l'usine de La Hague) accuse déjà, à l'étape de conception, du retard. Ce retard pourrait en effet conduire, par saturation des capacités d'évacuation du combustible usé des réacteurs, à devoir arrêter au moins temporairement certains d'entre eux. D'autres aléas, relatifs par exemple au remplacement en cours et au lignage des évaporateurs de produits de fission à La Hague ou aux problèmes de qualité à l'usine Mélox de fabrication de combustible MOX, peuvent interférer dans le même sens.

Pour finir, la question des usines du « cycle » du combustible, des capacités d'entreposage et de stockage des matières nucléaires dites « valorisables », sous différentes formes et des déchets doit également être envisagée. La trajectoire de ces installations « support » du fonctionnement des réacteurs, qu'il s'agisse du déclassement des usines ou capacités d'entreposage existantes ou de la mise en service de nouvelles, doit être cohérente avec la trajectoire retenue pour les réacteurs eux-mêmes. Comme évoqué précédemment à propos de l'EPR de Flamanville, ce point concerne plus particulièrement les scénarios de la famille M, où l'absence de nouveau parc de réacteurs nucléaires conduit à s'interroger sur la pérennité de ces fonctions support.

La décision de prolongation de fonctionnement des réacteurs n'entraîne pas mécaniquement la prolongation de fonctionnement des usines et installations correspondantes. La PPE considère par exemple qu'à « l'horizon des années 2040, (...) une grande partie des installations et des ateliers de l'usine de la Hague arrivera en fin de vie ». Cette assertion, déjà très optimiste par rapport à la date de construction et de mise en service d'une large part de ces équipements, de la fin des années soixante-dix au début des années quatre-vingt-dix, conduit à ne pas pouvoir faire l'hypothèse que cette capacité de retraitement reste disponible jusqu'à la fin de l'exploitation de réacteurs dont certains seraient prolongés significativement au-delà de 2050. De même, le fonctionnement prolongé d'un petit nombre de réacteurs, par exemple le palier N4, sensiblement plus récent que le reste du parc, pose la question du maintien en service de capacités correspondantes, beaucoup plus faibles que la capacité nominale des usines actuelles, pendant la durée nécessaire.

Il n'appartient évidemment pas à RTE d'analyser en détail ces questions, et moins encore d'élaborer des hypothèses contrastées relatives à cette problématique pour l'intégrer dans ses scénarios, mais il lui revient aussi de ne pas occulter cet enjeu. Il convient ainsi de prendre acte que les conditions de réalisation de la trajectoire considérée par RTE comme référence en matière de déclassement des réacteurs ne sont pas réunies à ce jour du côté des installations support, et d'en tirer les conséquences : il s'agit soit d'adapter la trajectoire de déclassement pour ramener les perspectives de prolongation des réacteurs à un horizon de temps explicitement compatible avec les perspectives de maintien des conditions de soutien de leur fonctionnement, soit d'explicitier les conditions nouvelles à remplir du côté des installations du « cycle » pour permettre la trajectoire de déclassement des réacteurs retenue comme référence.

• Selon vous, quel doit être le dimensionnement des scénarios en matière de production d'électricité en France ?

Comme il a déjà été évoqué à plusieurs reprises dans les réponses précédentes, l'Association négaWatt considère que le dimensionnement de la production d'électricité n'est pas la simple résultante de choix sur la mise en service ou le déclassement de moyens de production, qui viendrait ensuite déterminer le volume global

d'électricité écoulee sur le marché domestique et à l'exportation, mais le produit d'une interaction permanente avec les évolutions sur ce volet demande, qui peuvent et doivent tout autant, dans une large mesure, être pilotées. La prise en compte de cette interaction est d'autant plus importante que le degré de contrainte sur le volume de production qui résulte des évolutions considérées sur la consommation intérieure et sur le solde exportateur est dimensionnant pour la capacité de nouveaux moyens de production à venir en substitution plutôt qu'en addition de moyens de production existants.

Nous avons déjà largement exposé les raisons pour lesquelles il nous semble donc nécessaire dès lors d'inscrire les scénarios de la famille M et de la famille N dans des projections d'évolution de la consommation intérieure cohérentes avec leurs intentions, plutôt que de chercher à comparer les différentes évolutions du mix électrique sur une base de consommation normalisée. La maîtrise de la consommation peut à la fois être davantage recherchée dans une volonté de substituer à terme les énergies renouvelables au nucléaire, et renforcer à mesure qu'elle se réalise une telle volonté ; à l'inverse, la hausse moins contrôlée de la consommation incite au maintien du nucléaire, même si les énergies renouvelables se développent, et peut donc être privilégiée dans ce but (comme on l'observe assez largement dans un certain nombre de politiques et mesures actuellement en place).

Au-delà de la consommation intérieure, ce commentaire doit bien sûr s'étendre à la question des exportations. Il semble naturel de considérer le solde exportateur comme une variable d'ajustement de l'écart entre une projection sur la consommation intérieure et la production domestique d'électricité. Dans la modélisation conduite par RTE, cela semble assez largement fonctionner, dans la mesure où l'excédent de production réalisé en France trouve pour l'essentiel, vu son coût marginal nul ou faible, un débouché sur le marché européen – tant que celui-ci remplit en tous cas suffisamment un certain nombre de conditions du point de vue de la demande et du maintien de moyens de production thermiques.

Ce mécanisme de modélisation conduit à l'idée que le développement d'une capacité de production décarbonée largement excédentaire en France peut en faire le « château d'eau » de l'Europe et à valoriser ce résultat, en le présentant comme une contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre de l'ensemble du système électrique européen. Ce raisonnement avait notamment conduit RTE, dans le Bilan prévisionnel 2017, à comparer des scénarios reposant dans une large mesure sur l'addition des renouvelables au nucléaire et des scénarios s'inscrivant davantage dans la substitution grâce au « bouclage » des premiers par une hypothèse de très forte augmentation du solde exportateur à l'horizon 2035.

L'Association négaWatt, comme elle l'a expliqué à l'époque, voit derrière ce raisonnement un biais méthodologique lié en partie au principe de modélisation. Le modèle employé par RTE est un modèle de simulation, qui représente la projection d'un certain nombre d'hypothèses et vérifie que le fonctionnement du système électrique qui en résulte est cohérent avec l'état du marché et conforme aux critères techniques du point de vue de la sécurité. Ce n'est pas un modèle d'optimisation, qui chercherait à adapter le système en fonction d'un certain nombre d'hypothèse pour minimiser une fonction d'utilité, comme celle de son coût global ou de ses émissions de gaz à effet de serre par exemple.

Le risque est de masquer, lorsque l'on introduit des hypothèses très volontaristes, le fait qu'elles soient potentiellement contraires à une optimisation vis-à-vis de l'un ou l'autre de ces critères. Par exemple, le fait qu'une augmentation forte de la production décarbonée en France puisse, dans la modélisation retenue, s'écouler sur les marchés européens ne signifie pas que le surcoût nécessaire à l'atteinte de cette augmentation – par addition des dépenses nécessaires au maintien du parc nucléaire existant, voire à la construction de nouveaux réacteurs, des dépenses nécessaires au déploiement des énergies renouvelables, et des dépenses nécessaires à l'augmentation des capacités d'interconnexion et de transit sur le réseau de transport nécessaires pour soutenir ces échanges – soit justifié : le modèle ne dit en effet rien du niveau de rentabilité de ces dépenses, et moins encore de cette rentabilité comparée à celle d'une trajectoire moins exportatrice. De même, le modèle ne dit rien de la manière dont les hypothèses volontaristes retenues pour la France, et le solde exportateur auquel elles peuvent conduire, constituent ou non une distorsion des conditions dans lesquelles les pays voisins peuvent eux-mêmes développer une trajectoire de décarbonation de leur système électrique ; il ne dit rien non plus du résultat auquel cela pourrait aboutir, du point de vue des coûts et des émissions, et de la comparaison des options. En résumé, le modèle produit un résultat sur la manière dont le système européen est techniquement et économiquement susceptible d'absorber des hypothèses volontaristes et politiques d'évolution du système électrique en France, mais il ne dit rien sur le positionnement de ces hypothèses par rapport à une optimisation des choix, au niveau français comme au niveau européen, vis-à-vis de critères de coût global comme de réduction globale des émissions de gaz à effet de serre.

Dans une démarche de modélisation fondée sur la simulation, c'est la comparaison de tirs correspondant à différentes hypothèses qui permet d'approcher cette question. C'est pourquoi il est à nos yeux essentiels, pour bien éclairer cet enjeu dans les scénarios du Bilan prévisionnel 2050, de ne pas rester dans une approche où le solde exportateur sert de variable d'ajustement dans les scénarios en fonction d'un niveau de production résultant uniquement d'hypothèses politiques sur l'évolution de chacune des filières de production.

- Confirmez-vous l'intérêt, exprimé lors de la concertation, d'étudier les deux scénarios alternatifs (« M0 » et « N0 ») proposés ci-dessus ?

Non traité.

Question 6 – scénario M1 : répartition diffuse d'EnR sur le territoire

Non traité.

- Quelle configuration précise souhaitez-vous étudier à travers le scénario M1 ?

Non traité.

- Êtes-vous d'accord avec les différents éléments de scénarisation présentés ?

Non traité.

- Selon vous, quelles sont les conditions ou les leviers (innovations techniques et technologiques, évolution des besoins en matières premières pour la construction des panneaux, cadre réglementaire, évolutions sociétales, etc.) pour atteindre de tels volumes de capacités photovoltaïques ?

Non traité.

- Selon vous, comment le développement du portage des projets par les acteurs locaux doit-il se traduire dans les scénarios ?

Non traité.

- Quelles sont, selon vous, les possibilités en matière de flexibilité pour accompagner le développement des énergies renouvelables, et en particulier du photovoltaïque, dans un tel scénario ?

Non traité.

Question 7 – scénario M2 : bouquet économique d'EnR

Non traité.

- La configuration envisagée pour le scénario M2 vous paraît-elle pertinente ?

Non traité.

- Disposez-vous d'études ou d'éléments détaillés sur la répartition économiquement optimale des énergies renouvelables (répartition entre technologies et localisation géographique) ?

Non traité.

- Quelles vous semblent-êtré les « limites acceptables » de la logique d'optimisation économique, vis-à-vis de la société, de l'environnement et d'autres activités économiques afférentes ? Quelles données pourraient venir étayer l'analyse de ces conditions aux limites ?

Non traité.

- Selon vous, quelles sont les conditions pour atteindre les capacités installées envisagées dans ce scénario et pour en maîtriser le bilan économique, sociétal ou environnemental ?

Non traité.

Question 8 – scénario M3 : énergies marines renforcées

Non traité.

- La configuration proposée dans ce scénario de développement massif des énergies renouvelables marines vous paraît-elle appropriée ? Si non, quels ajustements proposez-vous, en particulier sur la trajectoire de développement de l'éolien en mer ?

Non traité.

- Selon vous, quelles sont les conditions requises (sur les plans technologique, réglementaire, économique, environnemental ou encore sociétal) pour atteindre les capacités envisagées dans ce scénario ?

Non traité.

- Avez-vous des contributions spécifiques à apporter sur les perspectives de développement de la filière éolienne en mer, et d'autres filières d'énergies marines renouvelables ? En particulier sur les possibilités de répartition géographique tenant compte du partage des usages de la mer ?

Non traité.

Question 9 – scénario M0 : 100% EnR en 2050

Non traité.

- La configuration proposée dans ce scénario vous paraît-elle appropriée ? Si non, quels ajustements proposez-vous ? Quel rythme maximal d'installation des énergies renouvelables vous semble-t-il pertinent de prendre en compte dans ce scénario ?

Non traité.

- Selon vous, quelles sont les conditions requises (sur les plans technologique, réglementaire, économique, environnemental ou encore sociétal) pour atteindre les capacités envisagées dans ce scénario ?

Non traité.

- Selon vous, quelles sont les contraintes économiques et industrielles associées à la trajectoire de déclasserement du nucléaire dans ce scénario ?

Non traité.

Question 10 – scénario N1 : EnR et nouveau nucléaire 1

Non traité.

- L'analyse de la configuration proposée dans ce scénario vous paraît-elle pertinente, en particulier s'agissant du rythme de développement du nouveau nucléaire (1 paire de réacteurs tous les 5 ans) et du développement envisagé pour les énergies renouvelables ?

Non traité.

- Selon vous, quelles sont les conditions requises (sur les plans technologique, réglementaire, économique, environnemental ou encore sociétal) pour atteindre les capacités envisagées dans ce scénario ?

Non traité.

- Selon vous, quels doivent être les choix en matière de flexibilité, de modulation du nucléaire et de couplages entre les vecteurs dans ce scénario ?

Non traité.

- Quelles hypothèses considérez-vous opportun de considérer en matière de répartition géographique des nouveaux réacteurs ?

Non traité.

- Le développement soutenu des EnR tel que présenté dans ce scénario vous semble-t-il conciliable avec celui du nouveau nucléaire, et sous quelles conditions ?

Non traité.

Question 11 – scénario N2 : EnR et nouveau nucléaire 2

Non traité.

- L'analyse de la configuration proposée dans ce scénario vous paraît-elle pertinente, en particulier s'agissant du rythme de développement du nouveau nucléaire (1 paire de réacteurs tous les 2 ans) et du développement envisagé pour les énergies renouvelables ?

Non traité.

- Selon vous, quelles sont les conditions requises (sur les plans technologique, réglementaire, économique, environnemental ou encore sociétal) pour atteindre les capacités envisagées dans ce scénario et le rythme de développement associé ?

Non traité.

- Selon vous, quels doivent être les choix en matière de flexibilité, de modulation du nucléaire et de couplages entre les vecteurs dans ce scénario ?

Non traité.

- Quelles hypothèses considérez-vous opportun de considérer en matière de répartition géographique des nouveaux réacteurs ?

Non traité.

Question 12 – scénario N3 : 50% de nucléaire

Non traité.

- La configuration proposée dans le cadre de ce scénario N3 vous semble-t-elle pertinente ?

Non traité.

- Selon vous, quelles sont les conditions (technologiques, économiques, sociétales, industrielles...) nécessaires pour qu'un tel scénario puisse être possible ? Quelles sont les implications du scénario en matière de capacité industrielle de la filière nucléaire à s'organiser pour répondre au rythme rapide de développement de nouveaux réacteurs ?

Non traité.

- Quelles hypothèses considérez-vous opportun de considérer en matière de répartition géographique des nouveaux réacteurs ?

Non traité.

- Selon vous, quelles sont les conditions permettant de moduler fortement l'effort de développement des énergies renouvelables sur les différentes périodes considérées ?

Non traité.

Question 13 – scénario N0 : 50% de nucléaire avec déclasséement progressif

Non traité.

- La configuration proposée dans le cadre de ce scénario N0 vous semble-t-elle pertinente ?

Non traité.

- Selon vous, quelles sont les conditions (technologiques, économiques, sociétales, industrielles...) de réussite d'un tel scénario ? Quels sont les points d'attention principaux ?

Non traité.

- Quelles hypothèses considérez-vous opportun de considérer en matière de répartition géographique des nouveaux réacteurs ?

Non traité.

Question 14 – répartition géographique des moyens de production

Non traité.

- Partagez-vous les principes retenus pour alimenter les trajectoires de localisation des moyens de production nucléaires et renouvelables ?

Non traité.

- Avez-vous d'autres pistes de réflexion complémentaires ou d'autres hypothèses à proposer pour définir la répartition des principaux moyens de production ?

Non traité.

Question 15 – analyse des effets du climat sur le système

Non traité.

- Partagez-vous l'approche et les hypothèses proposées par RTE pour intégrer les effets du changement climatique et tester la résilience du système électrique aux événements extrêmes ?

Non traité.

- Partagez-vous l'approche et les hypothèses proposées par RTE pour modéliser les différentes productions ?

Non traité.

- Avez-vous des données permettant de consolider les modèles de conversion climat/énergie, pour les projections de long terme sur la disponibilité des différentes productions (éolien, photovoltaïque, hydraulique, nucléaire, thermique...) ?

Non traité.

Question 16 – flexibilité

Non traité.

- Partagez-vous l'approche et les hypothèses proposées par RTE pour évaluer les besoins de flexibilités ?

Non traité.

- Avez-vous des remarques sur les hypothèses technico-économiques (potentiel de flexibilité, contraintes de stock et d'activation, acceptabilité, coûts...) associées aux gisements de flexibilité de la demande ?

Non traité.

Question 17 – hydrogène et interactions entre l'électricité et les autres vecteurs

Non traité.

- Partagez-vous le cadrage de l'analyse des interactions entre l'électricité et les autres vecteurs ?

Non traité.

- Selon vous, quelles sont les trajectoires de développement de l'hydrogène et des combustibles de synthèse qui doivent être étudiées dans le cadre du Bilan prévisionnel ?

Non traité.

- Avez-vous des hypothèses spécifiques à partager sur l'évolution des couplages entre l'électricité et les autres vecteurs à long terme (notamment l'hydrogène) et sur les infrastructures correspondantes (réseau, stockage, localisation des électrolyseurs...) ?

Non traité.

Question 18 – hypothèses sur le mix européen

Non traité.

- Partagez-vous les principes proposés par RTE pour la définition des scénarios européens ?

Non traité.

- Avez-vous des remarques sur la construction du scénario européen de référence utilisé dans les simulations du Bilan prévisionnel ?

Non traité.

- Avez-vous des données, hypothèses ou références à partager pour construire les scénarios de mix européens du Bilan prévisionnel ?

Non traité.

Question 19 - cadrage des analyses techniques

Non traité.

- Partagez-vous les principes proposés pour l'analyse technique et notamment le cadrage en quatre blocs thématiques (adéquation, réserves opérationnelles, stabilité, réseau) ?

Non traité.

- Avez-vous des remarques ou contributions à partager permettant d'enrichir l'analyse technique des scénarios ?

Non traité.

Question 20 – cadrage de l'analyse sociétale

Non traité.

- Partagez-vous les principes proposés pour l'analyse sociétale des scénarios d'étude à l'horizon 2050 ?

Non traité.

- Partagez-vous les principaux axes d'étude proposés pour l'analyse sociétale (acceptabilité des infrastructures énergétiques, sobriété, flexibilité) ?

Non traité.

- Avez-vous des éléments ou des références à partager pour enrichir ces analyses ?

Non traité.

Question 21 – cadrage de l'analyse environnementale

Non traité.

- La grille d'analyse proposée par RTE, visant à présenter pour chaque scénario une analyse environnementale quantitative sur quatre dimensions (émissions de gaz à effet de serre et empreinte carbone, consommation de ressources minérales, emprise territoriale et changement d'affectation des terres, déchets nucléaires) vous semble-t-elle adaptée aux enjeux de caractérisation environnementale des scénarios ?

Non traité.

- Disposez-vous de données ou éléments à partager pour affiner la modélisation et la quantification des analyses selon la méthodologie présentée au sein du groupe de travail, en particulier sur les plans de la biodiversité, des ressources naturelles, et de la santé humaine ?

Non traité.

Question 22 – cadrage et hypothèses pour l'analyse économique

Non traité.

- Partagez-vous les enjeux présentés et les principes proposés par RTE pour l'analyse économique des scénarios d'étude à l'horizon 2050 ?

Non traité.

- Êtes-vous d'accord avec les hypothèses de coûts proposées et sinon, avez-vous d'autres références à proposer ?

Non traité.

- Avez-vous des propositions à formuler sur le taux d'actualisation à retenir pour l'analyse ?

Non traité.