Bilan prévisionnel long terme « Futurs énergétiques 2050 »

Consultation publique sur le cadrage et les hypothèses des scénarios

Janvier 2021

Synthèse

RTE a engagé mi-2019 l'élaboration des futurs scénarios 2050 du Bilan prévisionnel (« futurs énergétiques 2050 »). Ce processus est public : il implique une très large concertation auprès des parties intéressées aux différents stades de construction des scénarios, jusqu'à la publication de leur analyse complète à l'automne 2021.

La première phase de cette concertation s'achève le 27 janvier 2021 avec :

- la publication du rapport conjoint entre RTE et l'Agence internationale de l'énergie, intitulé « *conditions et prérequis en matière de faisabilité technique pour un système électrique avec une forte proportion d'énergies renouvelables à l'horizon 2050* ». Le rapport définit les conditions techniques à remplir et liste des priorités pour la suite du programme d'étude ;
- l'ouverture de la consultation publique sur les futurs scénarios, qui comprend une première description des huit scénarios et de leurs principales variantes, la description de la grille d'analyse qui leur sera appliquée et les hypothèses principales qui seront utilisées dans l'étude.

Le document de consultation publique établit une synthèse des éléments présentés et discutés au sein de neufs groupe de travail thématiques. Ceux-ci ont rassemblés, depuis plus d'un an, **plus d'une centaine d'organismes et institutions** (organisations syndicales, organisations patronales, syndicats professionnels, producteurs/fournisseurs d'énergie, gestionnaires de réseau, autorités de régulation, administrations, organisations non gouvernementales, universitaires) au cours de **trente réunions**.

La première phase de concertation conduit à identifier **huit scénarios d'étude**, qui se déploient sur la **période 2020-2060**. Ils permettent tous, par définition, d'atteindre la neutralité carbone en 2050 en suivant le cadrage général de la Stratégie nationale bas carbone (SNBC) adoptée par le Gouvernement. Les scénarios couvrent un large éventail de configurations : la part du nucléaire dans la production d'électricité en France évolue entre 0 et 50%, et celle des énergies renouvelables entre 50 et 100%.

L'analyse technico-économique du système repose sur une modélisation poussée du système électrique sous diverses contraintes techniques, économiques et environnementales :

- le modèle décrit l'ensemble du **système électrique européen** et croise de très nombreuses variables météorologiques (températures, ensoleillement, ventométrie, hydrologie) ;
- il prend en compte de manière détaillée les interactions entre le système électrique avec les **autres vecteurs énergétiques** (hydrogène, méthane, réseaux de chaleur) : *power-to-gas*, *power-to-gas-to-power*, *power-to-heat*… ;
- il intègre l'évolution projetée du climat selon différents **scénarios de réchauffement climatique** fondés sur les travaux du GIEC.

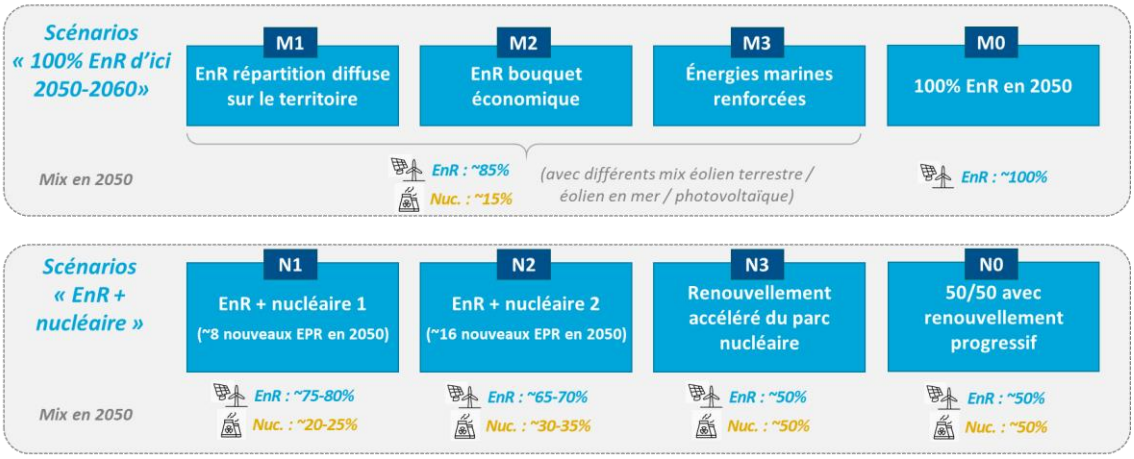
Si la pondération du nucléaire et des énergies renouvelables pour atteindre la neutralité carbone constitue un axe important de ces « futurs énergétiques », ceux-ci ne peuvent être résumés à cette seule problématique. Plusieurs demandes prioritaires sont ressorties des ateliers de la première phase de concertation et ont été intégrées au programme de travail :

- un travail spécifique sur les scénarios intégrant **une part plus importante d'hydrogène (variante « hydrogène + »)** ;

- une analyse approfondie des **possibilités de réindustrialisation et de relocalisation** d'activités (**variantes « industrie + »**) induites par chaque scénario, permettant de réduire l'empreinte carbone en s'appuyant sur un mix d'électricité bas-carbone ;
- une étude de **l'influence de l'efficacité énergétique et de la sobriété** sur la consommation d'électricité et les conditions de réalisation des scénarios.

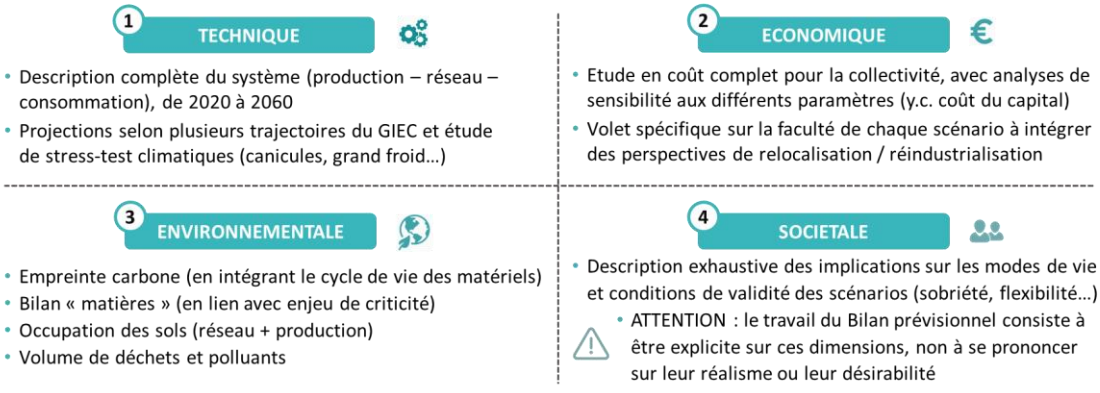
Enfin, la consultation publique décrit la grille d'analyse discutée lors des ateliers et désormais fermement établie autour de quatre dimensions principales (technique, économique, environnementale et sociétale).

Huit scénarios d'étude principaux



De nombreuses variantes et analyses de sensibilité, dont

Une grille d'analyse des scénarios selon quatre dimensions principales



Le point de départ : quel système électrique pour atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050 ?

Conformément aux engagements pris dans le cadre de l'accord de Paris sur le climat, la France vise l'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050.

Cet objectif implique une transformation conséquente de la production et de l'utilisation d'énergie, qui représente aujourd'hui plus de 70% des émissions de gaz à effet de serre du pays. Etant donné les constantes de temps longues en matière de développement et de durée de vie des infrastructures énergétiques, il apparaît nécessaire de planifier dès maintenant leurs évolutions sur les prochaines décennies, pour que la France soit au rendez-vous des objectifs climat-énergie qu'elle s'est fixée.

Les enjeux pour le système électrique en particulier sont importants. En France, l'essentiel de la production d'électricité est dès aujourd'hui issue de sources bas-carbone (nucléaire, énergies renouvelables). Néanmoins, le système électrique doit faire face à un double défi au cours des prochaines décennies :

- d'une part, une transformation de la production et des usages en vue d'atteindre la neutralité carbone (décarbonation totale du mix, efficacité énergétique et intégration des nouveaux usages) ;
- d'autre part, un besoin de renouvellement du parc de production historique, pour compenser le déclassement des réacteurs nucléaires de deuxième génération – mis en service dans les années 1980 et 1990 – qui interviendra progressivement au cours des trente à quarante prochaines années sous toute hypothèse.

Dans ce contexte, une des questions principales du débat porte sur la nécessité ou l'intérêt de relancer un programme électronucléaire au cours des prochaines années pour répondre aux défis de transformation du système électrique évoqués ci-dessus.

Pour maintenir au minimum les émissions générées par le secteur de l'électricité, deux options sont en effet sur la table : remplacer certains réacteurs en fin de vie par de nouveaux tout en développant la production à base d'énergies renouvelables (EnR), ou substituer intégralement ces réacteurs par des EnR pour parvenir à terme à un système électrique alimenté uniquement par des sources d'énergie renouvelables.

Dans le cadre de ses missions légales et à la demande du Gouvernement, RTE élabore et analyse plusieurs scénarios de mix électrique à l'horizon 2050-2060, en vue d'apporter un éclairage au débat public et aux décisions publiques sur l'évolution du système énergétique. Cette étude fera l'objet d'une publication à l'automne 2021 dans le cadre du prochain Bilan prévisionnel de long terme.

Calendrier des travaux et organisation de la concertation

La première phase des travaux, engagée depuis mi-2019, a été consacrée au cadrage des travaux et à la caractérisation des scénarios. Elle s'achève le 27 janvier 2021 avec d'une part la publication du rapport conjoint entre RTE et l'Agence internationale de l'énergie, portant sur les « *conditions et prérequis en matière de faisabilité technique pour un système électrique avec une forte proportion d'énergies renouvelables à l'horizon 2050* » et d'autre part l'ouverture de la consultation publique sur les futurs scénarios, qui comprend une première description des huit scénarios et de leurs principales variantes, la description de la grille d'analyse qui leur sera appliquée et les hypothèses principales qui seront utilisées dans l'étude.

La phase II des travaux sur les scénarios à l'horizon 2050-2060 s'ouvre à présent. Cette seconde phase sera consacrée au partage de premiers résultats sur l'analyse des scénarios et à la finalisation de l'étude. Elle s'achèvera avec la publication de l'étude des « Futurs énergétiques 2050 » dans le prochain Bilan prévisionnel de long terme à l'automne 2021.

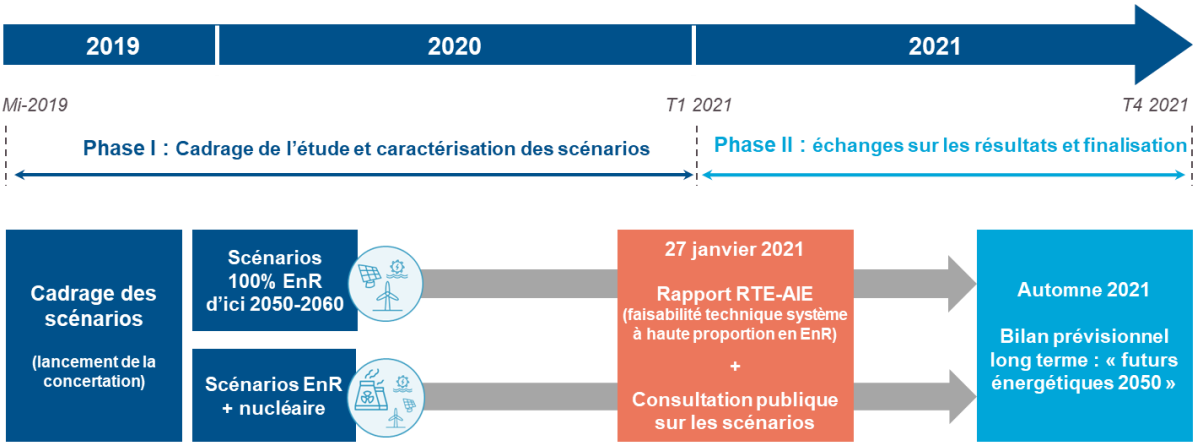


Figure 1. Calendrier des travaux prospectifs de RTE sur l'évolution du système électrique à long terme

Les travaux de construction et d'analyse des scénarios du Bilan prévisionnel sont réalisés en concertation avec l'ensemble des parties prenantes intéressées, dans le cadre d'un dispositif d'échanges renforcé. La concertation s'organise autour des réunions plénières de la Commission perspectives système et réseau (CPSR) ainsi que de neuf groupes de travail thématiques, mis en place depuis mi-2019 et visant à couvrir l'ensemble des thématiques associées à l'étude de scénarios prospectifs de mix énergétique. Au cours des deux dernières années, une trentaine de réunions de concertation ont ainsi permis de partager et de discuter le cadrage des travaux du Bilan prévisionnel à l'horizon 2050 avec l'ensemble des parties prenantes et des experts du secteur.

La consultation publique, qui fait l'objet du présent document, vise à compléter et enrichir les échanges initiés lors des premiers groupes de travail. Elle prend la forme d'un appel à contributions couvrant l'ensemble du cadrage et des hypothèses des scénarios du prochain Bilan prévisionnel de long terme et sur lesquels les parties prenantes sont invitées à s'exprimer.

Huit scénarios principaux pour décrire les grandes options de transition à l'horizon 2050-2060

L'approche proposée par RTE pour le prochain Bilan prévisionnel de long terme consiste à élaborer et étudier en détails plusieurs trajectoires contrastées (scénarios) pour l'évolution du système électrique sur les trente à quarante prochaines années. L'analyse ne vise pas à calculer un « mix optimal » dont la composition serait fortement dépendante des hypothèses prises sur l'évolution des fondamentaux technico-économiques (coûts des technologies, caractéristiques des moyens de flexibilité, etc.) mais bien de **décrire plusieurs options possibles de transition**.

En outre, l'objectif de ce travail prospectif ne se borne pas à décrire les mix cibles à long terme : il vise également à **caractériser le chemin nécessaire pour atteindre les différentes cibles possibles**. L'enjeu du Bilan prévisionnel sera notamment d'identifier les jalons clés en matière de décision et d'investissement pour assurer la transformation du système électrique. Les trajectoires seront décrites non seulement à l'horizon 2050, échéance fixée par le Gouvernement pour l'atteinte de la neutralité

carbone, mais également 2060, échéance à laquelle la totalité des réacteurs nucléaires existants auront été déclassés sous toute hypothèse.

Les scénarios étudiés dans le cadre du Bilan prévisionnel s'inscriront en cohérence avec l'objectif de neutralité carbone défini dans la loi. Le cadrage des différents scénarios est par ailleurs construit autour des orientations de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) dont la version finale a été publiée en avril 2020.

Le cadrage macro-économique des scénarios du Bilan prévisionnel est notamment repris de la SNBC. Il prévoit en particulier une croissance démographique portant la population à 71 millions d'habitants en 2050, ainsi qu'une croissance soutenue de l'activité économique avec une croissance du PIB comprise entre +1,3% et +1,7% par an sur la période d'étude, en supposant une relance progressive à l'issue de la crise sanitaire du COVID-19.

La demande d'énergie projetée dans les scénarios de référence s'appuie également sur les orientations de la SNBC. Celle-ci prévoit :

- une **forte réduction de la consommation totale d'énergie** (tous vecteurs confondus) au cours des prochaines décennies, *via* une accélération des actions d'efficacité énergétique mais également des efforts spécifiques de sobriété.
- au sein de la consommation d'énergie, une **croissance modérée de la consommation d'électricité** à l'horizon 2050, les effets baissiers liés à l'efficacité énergétique et à la sobriété étant contrebalancés par un développement des usages électriques en vue de décarboner certains secteurs (dans le bâtiment, les transports, l'industrie).

La trajectoire de référence utilisée dans le cadre du Bilan prévisionnel projette ainsi une consommation d'électricité en hausse à compter de 2030, atteignant de l'ordre de 630 TWh en 2050 contre environ 470 TWh aujourd'hui. Ces volumes intègrent l'utilisation d'électricité pour la production de gaz de synthèse comme l'hydrogène, amenée à se développer largement dans le futur pour décarboner certains secteurs et apporter de la flexibilité au système électrique.

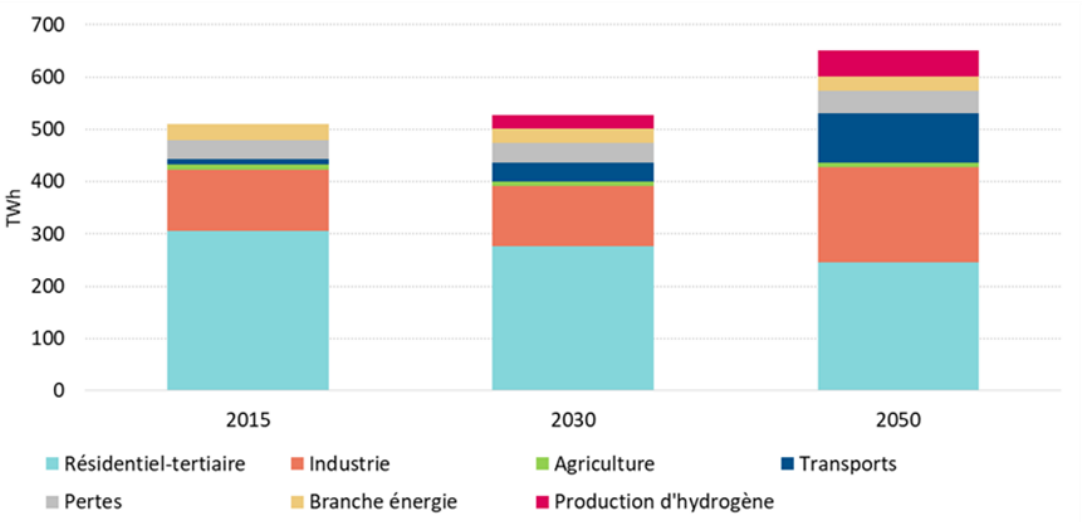


Figure 2. Consommation brute d'électricité dans le scénario AMS de la SNBC (remarque : le périmètre de la SNBC, qui inclut notamment les DOM et la consommation des auxiliaires de production, est légèrement différent de celui du Bilan prévisionnel)

S'agissant de l'évolution du parc de production électrique, les scénarios considérés sont établis à partir des objectifs de la PPE publiée en avril 2020 qui fixe la feuille de route pour l'ensemble du secteur énergétique sur les dix à quinze prochaines années. Celle-ci retient en particulier une accélération du développement des énergies renouvelables (éolien terrestre et en mer, photovoltaïque) et un déclassement de douze réacteurs (en plus de ceux de Fessenheim) dans les quinze prochaines années, en vue d'atteindre l'objectif de 50% de nucléaire à l'horizon 2035.

Au-delà de 2035, les documents de planification du système énergétique (PPE et SNBC) ne prescrivent pas d'évolutions précises pour les différentes filières de production. Plusieurs options sont ainsi possibles sur la place respective des énergies renouvelables et du nucléaire, et font l'objet des différents scénarios élaborés dans le cadre du prochain Bilan prévisionnel de long terme.

A l'issue des premiers échanges en groupes de travail, huit scénarios principaux d'évolution du mix électrique ont émergé (aux six scénarios d'étude initiaux ont été ajoutés deux scénarios permettant respectivement d'étudier une configuration avec 100% d'énergies renouvelables en 2050 et un mix reposant à 50% sur le nucléaire en 2050 avec un déclassement plus étalé des réacteurs existants). Ces huit scénarios sont répartis en deux familles de quatre scénarios, qui se distinguent par le choix de relancer ou non un programme de nouveaux réacteurs nucléaires :

- **Quatre scénarios sans nouveau nucléaire, aussi appelés « 100% EnR »** (scénarios M0, M1, M2 et M3). En l'absence de relance d'un programme nucléaire et du fait de l'objectif de décarbonation totale du mix électrique à terme, ces scénarios tendent tous vers un mix reposant à 100% sur des énergies renouvelables, qui est atteint soit en 2050 (scénario M0) soit en 2060 (scénarios M1, M2 et M3). Ils se distinguent essentiellement par la part des différentes filières renouvelables, ainsi que par les inducteurs du développement des énergies renouvelables (recherche du moindre coût, développement de solutions locales…) qui ont eux-mêmes un impact sur le type et la taille des installations qui se développent :
    - le scénario M1 décrit un mix de production électrique réparti de manière diffuse au maximum sur le territoire, ménageant une **part majoritaire à l'énergie solaire** ;
    - le scénario M2 vise à identifier le mix de production renouvelable le plus économe pour la collectivité : il passe en particulier par un **développement important de l'éolien terrestre en exploitant les meilleurs gisements**, le développement de grands parcs photovoltaïques au sol et le développement de parcs d'éolien en mer dans les zones les plus favorables ;
    - le scénario M3 prévoit un **développement des énergies marines poussé à ses limites**, dans le souci de limiter l'emprise des installations renouvelables à terre ;
    - le scénario M0 reprend les principes du scénario M2 tout en prévoyant une **sortie du nucléaire dès 2050** : les rythmes d'installation nécessaires des EnR en sont accélérés.
- **Quatre scénarios avec nouveau nucléaire, aussi appelés « EnR + nucléaire »** (scénarios N0, N1, N2 et N3). Ces scénarios comprennent tous des mises en service de nouveaux réacteurs nucléaires (EPR2) à partir de l'horizon 2035 au plus tard et se distinguent essentiellement par le rythme de développement des nouveaux réacteurs.
    - le scénario N1 prévoit la mise en service d'environ une paire tous les cinq ans à partir de 2035, il conduit à une **part du nucléaire de l'ordre de 20-25% en 2050**, contre 75-80% pour les renouvelables ;

- le scénario N2 prévoit une accélération du programme et nécessite la mise en service d'environ une paire tous les deux ans en moyenne sur la période 2035-2060 : il conduit **le nucléaire à représenter de l'ordre du tiers de la production d'électricité française** en 2050, contre deux tiers pour les renouvelables ;
- le scénario N3 est fondé sur le maintien d'une **cible de 50% de nucléaire** dans le mix électrique au-delà de 2035 : la trajectoire d'installation des réacteurs de troisième génération est très rapide à compter de 2035 et doit faire plus que compenser les fermetures des réacteurs construits dans les années 1980 et 1990 ;
- le scénario N0 atteint la même part du nucléaire en 2050, mais prévoit un **remplacement plus progressif des réacteurs de seconde génération** par des réacteurs de troisième génération de type EPR 2.

Dans le cadre de cette consultation publique, les acteurs sont invités à s'exprimer sur le cadrage des différents scénarios proposés et à confirmer l'intérêt de les intégrer à l'étude, notamment pour les deux scénarios (M0 et N0) ajoutés au cours de la concertation.

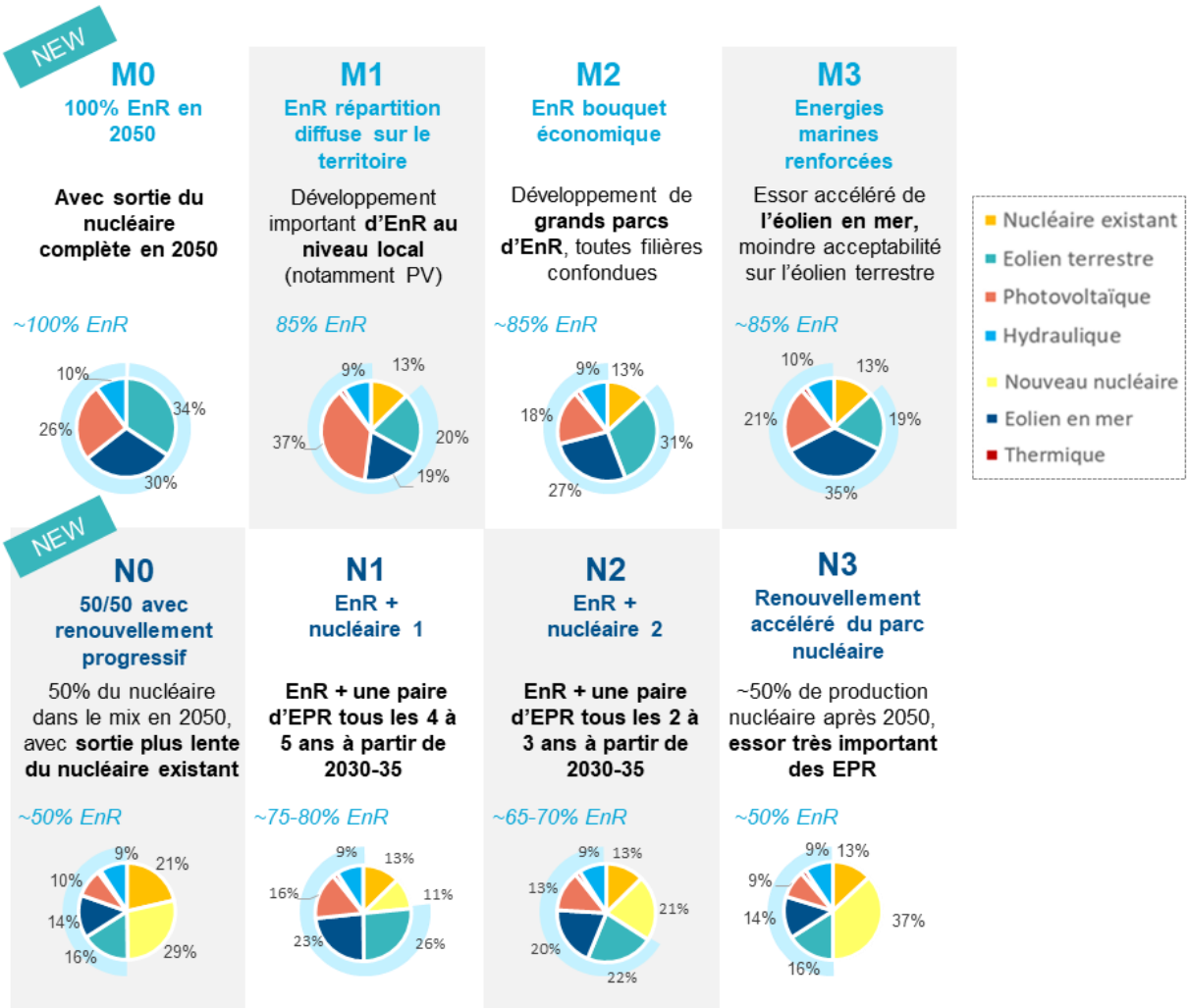


Figure 3. Synthèse des huit scénarios d'étude du Bilan prévisionnel de long-terme (estimations de répartition du mix électrique avant simulations de l'équilibre offre-demande)

De nombreuses variantes et analyses de sensibilité pour tester la robustesse des choix publics sur le mix électrique à différents paramètres

Afin d'évaluer la robustesse des différents scénarios considérés et leur sensibilité à différentes hypothèses reflétant les incertitudes existantes sur l'évolution des technologies, des coûts ou des comportements, **un grand nombre de variantes est intégré à l'analyse**.

Celles-ci couvrent l'ensemble des grandes composantes du système. Elles reprennent en particulier les principales demandes exprimées par les participants aux ateliers de travail lors de la première phase de la concertation, notamment (liste non exhaustive) :

- une étude de l'influence de l'efficacité énergétique et de la sobriété sur la consommation d'électricité ;
- des variantes avec un développement plus important de l'hydrogène et des combustibles de synthèse pour décarboner certains secteurs spécifiques (variante « hydrogène + ») ;
- une analyse approfondie de scénarios de réindustrialisation ou de relocalisation de l'industrie en France, et de leurs impacts sur la consommation énergétique et l'empreinte carbone de la France ;
- des analyses de sensibilité sur le niveau de flexibilité des usages électriques (par exemple sur la recharge des véhicules électriques), en fonction notamment de l'appétence des particuliers ou entreprises pour une gestion flexible de leur consommation ;
- une analyse de diverses trajectoires d'évolution des mix énergétiques dans les pays voisins, afin d'identifier dans quelles mesures l'évaluation des scénarios dépend des politiques énergie-climat des autres pays européens ;
- une étude des impacts du changement climatique sur l'équilibre du système selon plusieurs trajectoires de réchauffement.

Les réponses à la consultation publique conduiront à compléter et préciser la liste des variantes étudiées dans la suite des travaux sur les scénarios à l'horizon 2050-2060.

Une description complète des scénarios énergétiques selon quatre axes d'analyse principaux

L'analyse prospective des scénarios de transition énergétique implique des enjeux de nature multiples. Le travail engagé en concertation a fait émerger une grille d'analyse fondée sur quatre axes principaux, sur lesquels des résultats quantitatifs seront publiés :

- **Le volet technique** consiste à décrire le fonctionnement du système électrique dans les différents scénarios. Il comprendra :
  - une analyse de l'équilibre du système et des **besoins de flexibilité** dans un contexte de développement massif des énergies renouvelables variables ;
  - une description des **besoins de développement du réseau** associés à chaque mix (sous forme de faits stylisés et non d'une liste précise de projets) ;
  - une étude du fonctionnement du système **dans le cadre de stress-tests climatiques** (canicules, grand froid, anticyclones ou périodes de faible vent en France et en Europe…) ;

- un approfondissement des analyses en étudiant le fonctionnement du système selon plusieurs **hypothèses de réchauffement climatique fondées sur les trajectoires du GIEC** (notamment RCP 4.5 et RCP 8.5).

- **Le volet économique** ressort de la première phase de concertation comme une attente importante, étant donné les différentes appréciations sur la compétitivité relative des différents mix de production. Il consiste à **chiffrer le coût des différents scénarios** étudiés :

  - Le chiffrage s'appuiera sur une analyse des **coûts complets** des scénarios à l'échelle de la collectivité (production – réseau – stockage – flexibilité), qui constitue la méthode pertinente pour éclairer les décisions publiques en matière d'énergie. Il ne se basera pas sur une analyse en LCOE (*Levelized Cost Of Electricity*) qui comporte un certain nombre de biais (facteur de charge exogène, non-prise en compte des différences de services apportés par les différentes technologies…) et ne permet pas de se prononcer sur les coûts complets associés à certaines décisions.

  - Les résultats seront présentés sous forme de fourchettes afin de **rendre compte des incertitudes** actuelles sur (1) l'évolution à long terme du coût des différents modes de production et d'acheminement d'électricité, d'organisation de la flexibilité des usages et de modification de l'appareil productif français et (2) le coût du risque porté par les investisseurs, qui peut varier selon les modes de régulation mis en place.

  - Les projections de coûts proposées pour l'analyse économique sont présentées de manière détaillée dans le cadre de cette consultation publique afin que les parties prenantes puissent s'exprimer sur les valeurs à retenir.

  - L'analyse visera enfin à déterminer **l'économie générale de scénarios de réindustrialisation/relocalisation industrielle** permettant de réduire l'empreinte carbone de la France en s'appuyant et développant un mix de production électrique décarboné compétitif en France.

- Le **volet environnemental** vise à apporter des éléments quantifiés sur les différents scénarios étudiés. Pour apporter un éclairage sur les principaux enjeux remontés dans le cadre de la concertation (changement climatique, protection de la biodiversité, épuisement des ressources naturelles, santé humaine…), ce volet est articulé autour de quatre dimensions spécifiques :

  - un bilan **des émissions territoriales de gaz à effet de serre et de l'empreinte carbone des scénarios**, dans la lignée des récents travaux de RTE ;

  - une quantification de la **consommation de ressources minérales** associée à chaque scénario ;

  - une analyse de **l'emprise sur le territoire (occupation des sols et du domaine maritime)** des configurations étudiées ;

  - un bilan des **volumes de déchets** (notamment déchets nucléaires) dans les différents scénarios.

- Le **volet sociétal** a pour objectif de clarifier les implications des différents scénarios sur les modes de vie, afin que leur « périmètre de validité » soit bien compris :

  - les conditions évaluées dans ce volet portent sur l'acceptabilité des infrastructures, le degré de diffusion des moyens de flexibilité de la consommation et le niveau de sobriété impliqué par les trajectoires de consommation ;

- le travail prévu consiste à expliciter les implications sur ces dimensions mais ne cherchera pas à se prononcer sur leur réalisme ou sur leur désirabilité.

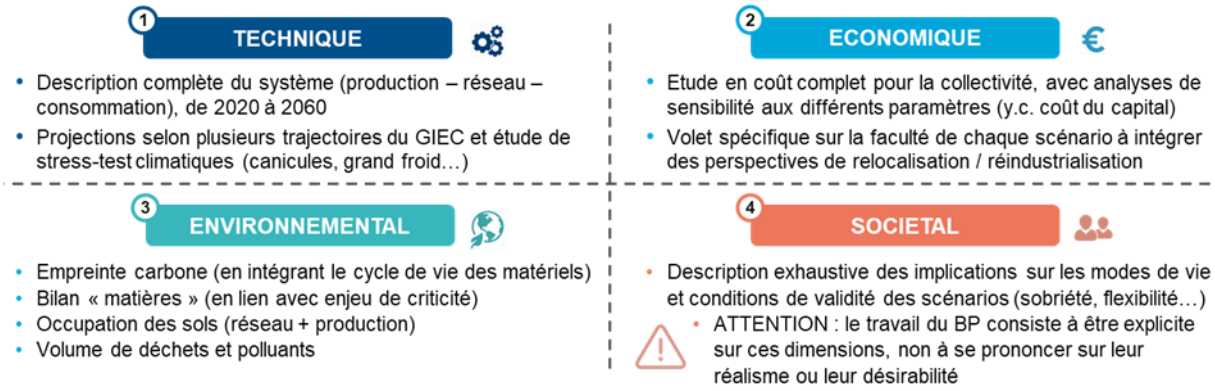


Figure 4. Récapitulatif des quatre principaux axes d'analyse des scénarios du Bilan prévisionnel

Dans le cadre de la présente consultation publique, les parties intéressées sont invitées à s'exprimer sur le cadrage des quatre axes de travail et à partager les hypothèses et références susceptibles d'alimenter les travaux d'analyse sur les plans technique, économique, environnemental et sociétal.