

Contribution du CEA à la « Consultation publique sur le cadrage et les hypothèses du Bilan prévisionnel à l'horizon 2050 »

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

Etes-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 ?

Le CEA partage l'analyse de RTE sur les défis à relever pour le système électrique français à l'horizon 2050. Dans les trente prochaines années le système électrique français devra se transformer pour contribuer à ce que la France atteigne la neutralité à l'horizon 2050 et dans le même temps il devra renouveler son parc de production historique.

Dans ce cadre deux voies sont considérées : (i) remplacer certains réacteurs en fin de vie par de nouveaux tout en développant la production à base d'énergies renouvelables (EnR), avec l'objectif d'un mix bas carbone combinant nucléaire et EnR ou (ii) substituer intégralement ces réacteurs par des EnR pour parvenir à terme à un système électrique alimenté uniquement par des sources d'énergie renouvelables. L'objet du Bilan prévisionnel en préparation étant d'éclairer ce débat en le documentant, le choix de faire plusieurs scénarios contrastés est pertinent.

Au-delà de la diversité des mix électriques envisageables, les scénarios doivent permettre d'analyser la capacité des différents choix possibles à assurer l'équilibre offre-demande et la sécurité d'approvisionnement à tout moment en prenant en compte les évolutions climatiques, les nouveaux usages de l'électricité et le couplage croissant entre les différents systèmes énergétiques (électricité, chaleur et gaz hydrogène), notamment au niveau de la boucle énergétique locale. Ils doivent aussi permettre d'illustrer les différentes implications économiques, sociétales et environnementales induites par les options analysées. A ces égards le cadrage proposé nous semble utile.

L'attention portée aux dynamiques industrielles possibles est également nécessaire. Le Bilan prévisionnel doit définir « la temporalité des décisions qui permettront d'atteindre un système énergétique décarboné en 2050 » et renseigner les besoins de « structuration de nouvelles filières technologiques en France et le dimensionnement de ces filières à long terme (filière nucléaire, mais également éolien, photovoltaïque, stockage d'hydrogène...) ».

Ces travaux pourraient être utilement complétés par une définition des implications en terme de recherche et développement à prioriser en fonction des différentes options envisageables. Le rapport conjoint entre RTE et l'Agence Internationale de l'Energie, publié le 27 janvier 2021 le fait dans le cas d'un système électrique avec une forte proportion d'énergies renouvelables. De même une roadmap de recherche pourrait être déclinée pour répondre aux différents enjeux de recherche liés en particulier au nouveau nucléaire, à laquelle le CEA pourrait apporter ses compétences.

Question 2 – cadrage démographique et macro-économique

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

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

La prise en compte d'un jeu d'hypothèses concernant la démographie, la croissance économique et l'évolution de la demande d'électricité cohérent avec celles de la SNBC paraît une approche pertinente. Elle permet en particulier de bien positionner les enjeux du système électrique avec ceux des autres secteurs énergétiques dans la perspective d'aboutir à la neutralité carbone au milieu du siècle.

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

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 ?

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.) ?

Le CEA souscrit pleinement à l'intérêt de la démarche proposée par RTE, avec la prise en compte de scénarios de relocalisation de l'industrie en France. Combinée à l'objectif de neutralité Carbone de la France, la relocalisation de sites industriels sur le territoire français amplifierait la réduction de l'empreinte carbone de la France tout en permettant des créations d'emplois et de valeur sur le territoire français. En outre, cela permettrait de renforcer la souveraineté du territoire national (il sera revenu plus longuement sur ce point en Q22).

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

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

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 ?

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

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

Le choix de RTE de retenir comme référence les hypothèses de la SNBC pour la trajectoire d'évolution de la demande d'électricité est cohérent avec le cadrage général choisi.

Toutefois, dans les faits, l'évolution de la consommation d'électricité sera fortement dépendante d'une part des efforts d'efficacité et de sobriété, et d'autre part du développement de nouveaux usages de l'électricité. Cette dépendance doit inciter à étudier des variantes portant sur ces deux dynamiques. Ceci est d'autant plus important que dans ces deux domaines des hypothèses fortes ont été faites dans le cadre de la SNBC.

Ainsi, compte tenu de l'état actuel du parc immobilier, de son efficacité énergétique, de son taux de renouvellement qui reste faible (~1% par an), du coût des rénovations et de leur impact limité (voire de l'incapacité technique d'atteindre le niveau requis pour 2050), la diminution attendue de la consommation du bâtiment, qui constitue un enjeu majeur pour le pays et pour sa contribution à l'amélioration du bilan global, apparaît très ambitieuse et nécessite d'aller de manière significative au-delà des tendances observées actuellement. RTE devrait analyser en sensibilité l'impact d'un scénario médian où le parc immobilier resterait plus consommateur que la cible fixée à horizon 2050 (par exemple atteinte de la moitié de la cible en termes d'efficacité énergétique) et où la consommation accrue d'énergie en résultant devrait être produite par un accroissement du parc de production d'électricité décarbonée.

De même, la SNBC envisage une mobilisation très élevée de la biomasse dans le mix énergétique. Elle rend même compte d'un léger écart entre le potentiel de biomasse exploitable identifié sur le territoire (de l'ordre de 430 TWh) et les besoins énergétiques couverts dans la trajectoire par l'utilisation de la biomasse (460 TWh). Au-delà du fait que le potentiel de ressource biomasse soit une donnée incertaine dont le niveau d'incertitude n'est pas encore établi, sa mobilisation se heurte à de nombreux obstacles. Le morcellement foncier de la forêt (4 millions de propriétaires) qui représente plus de 75% des ressources additionnelles évaluées, la concurrence des usages (des sols, mais aussi matières vs. énergie) qui s'observe quelle que soit l'origine de la biomasse (agricole, forestière, déchets) sont autant de freins à l'utilisation de la biomasse pour la production d'énergie et constituent autant de défis bien connus à relever.

De plus, de nouveaux usages de la biomasse tels que les procédés BECCS¹ au service des objectifs de neutralité carbone (par compensation via émissions négative) pourraient se développer en parallèle d'une augmentation de l'emploi de la biomasse dans des activités traditionnelles auparavant alimentées par des ressources fossiles. Ces évolutions et difficultés à mobiliser un potentiel qu'il conviendrait de mieux évaluer augurent de tensions supplémentaires sur la ressource biomasse qui ne sont pas encore intégrées dans la SNBC.

Si le niveau de mobilisation envisagé de la biomasse ne pouvait pas être atteint, il faudra faire appel à d'autres énergies, ce qui impliquerait probablement un usage plus important du vecteur électricité.

Enfin le développement volontariste de la production d'hydrogène décarbonée en France devrait également contribuer à un accroissement conséquent de la demande d'électricité. Sur ce point, il semble que les hypothèses retenues dans le cadre de la SNBC sont conservatrices en vue des ambitions développées depuis dans le plan hydrogène France (il sera revenu plus longuement sur ce point en Q17).

Ces différents éléments justifient d'intégrer dans le Bilan prévisionnel une variante supposant un niveau de consommation électrique supérieur à celui retenu dans le cas de référence.

¹BECCS (Bio Energy Carbon Capture & Storage). Ces procédés consistent à exploiter l'énergie contenue dans la biomasse (ex : chauffage) et à séquestrer par stockage géologique le CO2 résultant de sa combustion/transformation par procédés CCS, permettant ainsi des émissions négatives.

Question 5 – cadrage global des 8 scénarios d'étude

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

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 ?

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

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

Le cadrage des 8 scénarios proposés à l'étude assure une diversité de cas d'étude et un bon éventail de futurs envisageables, sous réserve toutefois, pour certains de ces scénarios, de la levée d'un certain nombre de verrous techniques qu'il conviendra lors de la présentation des résultats de bien faire apparaître.

Nous notons par ailleurs pour l'ensemble des scénarios une croissance des EnR très rapide dès le début de période, avec un niveau de capacités installées en 2025 commun aux 8 scénarios qui paraît particulièrement ambitieux au vu du rythme actuel des développements. Si ce niveau n'était pas atteint en 2025, le recalage de la trajectoire ENR demanderait une accélération encore plus forte pour tous les scénarios.

S'il convient d'identifier les freins au développement des EnR et de proposer des solutions pour les lever, il semble important d'appréhender également comment un déclassement plus progressif du parc nucléaire actuel ou le développement accéléré de nouveaux réacteurs pourraient pallier de possibles retards dans le développement effectif des EnR en France. A ce titre, il semblerait intéressant que RTE introduise une variante intégrant un développement moins rapide des EnR sur les prochaines années (par exemple jusqu'à 2030), afin de voir émerger parmi les scénarios les solutions les plus sécurisantes et les plus pertinentes économiquement si un tel retard devait se matérialiser.

Par ailleurs, comme cela a déjà été mentionné en question 4, il apparaît nécessaire d'étudier, au moins en analyse de sensibilité, une situation où l'objectif de sobriété et efficacité énergétique fixé à l'horizon de 2050 ne serait pas atteint, en particulier pour identifier les mesures de mitigation du risque de non atteinte.

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

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

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

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 ?

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

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 ?

Question 7 – scénario M2 : bouquet économique d'EnR

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

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

Quelles vous semblent-être 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 ?

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 ?

Les déploiements envisagés du photovoltaïque dans les scénarios M1 et M2 sont techniquement crédibles, et ne saturent pas le potentiel du territoire français. Il pourrait même être possible d'envisager un développement encore plus important de la filière photovoltaïque, sous réserve du maintien d'une acceptation sociétale forte, d'évolutions technologiques permettant de nouveaux gains de compétitivité et d'une organisation de l'industrie permettant d'accélérer le rythme des déploiements. Ce déploiement également pourrait être renforcé au travers d'incitations réglementaires (réglementation énergétiques, thermiques, PLUI) favorisant l'installation systématique d'une puissance photovoltaïque minimale dans le cadre des constructions neuves et des opérations de réhabilitation.

Question 8 – scénario M3 : énergies marines renforcées

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 ?

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 ?

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 ?

Le CEA note que le développement des éoliennes marines envisagé dans le scénario M3 est ambitieux. Le développement des éoliennes en mer est en retard en France par rapport à d'autres pays alors que la France dispose de gisements importants avec ses nombreuses façades maritimes. Le développement industriel de cette filière est bien lancé et fait l'objet d'un politique volontariste de soutien. A ce stade, il est toutefois encore difficile d'appréhender comment la dynamique d'installation de parcs éoliens offshore, au-delà des investissements importants requis, pourra se réaliser au regard des questions d'acceptation et d'intégration dans les territoires, notamment en lien avec l'économie maritime (pêche, tourisme), les écosystèmes et les paysages marins.

Question 9 – scénario M0 : 100% EnR en 2050

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 ?

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 ?

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

Le CEA souligne que le scénario M0 implique de pouvoir lever un certain nombre de verrous technologiques, tel que mis en avant par l'étude RTE-AIE publiée le 27 janvier 2021.

Question 10 – scénario N1 : EnR et nouveau nucléaire 1

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 ?

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 ?

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

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

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 ?

Question 11 – scénario N2 : EnR et nouveau nucléaire 2

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 ?

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 ?

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

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

Question 12 – scénario N3 : 50% de nucléaire

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

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 ?

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

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

Les trois scénarios N1, N2, N3 se distinguent entre eux par un développement différencié du nouveau nucléaire, en volume et en rythme. Ils aboutissent à des parts de ce mode de production dans le mix de production d'électricité à l'horizon 2050 qui vont de 20 à 50 % et induisent, par conséquent, des modes de fonctionnement différenciés des centrales nucléaires.

Le CEA tient à souligner que le rythme et le nombre de constructions va influencer sur les coûts d'investissement du nucléaire. Par ailleurs, les modes de fonctionnement retenus vont jouer sur le facteur de charge et les coûts d'opération des centrales. Dans ces conditions, il ne semble pas pertinent d'appliquer les mêmes coûts du nucléaire projetés à ces trois scénarios.

Pour le scénario N1 où la part du nucléaire dans la capacité installée est faible, ce mode de production sera fortement sollicité pour assurer la flexibilité du système et verra donc sa production modulée pour assurer l'équilibre offre-demande. Il convient alors de s'assurer de la capacité technique des centrales à assumer ce rôle et évaluer le coût du service rendu au système électrique.

Par ailleurs, il est noté que le scénario N3 implique un rythme soutenu de développement de la filière nucléaire, supposé réalisé au travers d'installations de réacteurs de type EPR.

Une alternative pourrait être de considérer un développement conjoint de réacteurs EPR avec des réacteurs modulaires de petite taille (« SMR » pour *small modular reactors*). Alors que les réacteurs EPR seraient installés par paire, probablement sur des sites de centrales existantes, les réacteurs SMR pourraient quant à eux être positionnés en d'autres points du territoire, permettant de répondre localement à la demande d'électricité mais aussi d'autres vecteurs énergétiques (chaleur, hydrogène), en lien avec les boucles énergétiques locales (écosystèmes industriels, grands territoires urbains ...). L'implantation de ces réacteurs SMR pourrait aussi contribuer à fournir des solutions locales de flexibilité pouvant contribuer à limiter le besoin de développer de nouvelles infrastructures. Ce mode de fonctionnement pourrait être étudié dans le cadre d'une variante.

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

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

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

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

Comme cela a été souligné plus haut (question 5), le rythme de progression des installations EnR envisagé pour tous les scénarios paraît particulièrement ambitieux pour les années qui viennent au vu du rythme actuel de déploiement. Un déclasserement plus progressif des installations nucléaires actuelles pourrait alors être une option pertinente face à une inflexion qui serait encore plus marquée pour atteindre les objectifs de développement des ENR sur la période 2030 – 2050. En l'état actuel des connaissances scientifiques et techniques, il n'est pas possible de se prononcer sur une éventuelle prolongation de l'utilisation des centrales nucléaires françaises au-delà de 60 ans. Toutefois, les connaissances en ce domaine peuvent progresser, et un certain nombre de pays dans le monde commencent à envisager de faire fonctionner leurs centrales pour des durées plus longues.

A ce titre, il nous semblerait intéressant que RTE puisse tester une sensibilité prenant en compte une durée de vie rallongée au-delà de 60 ans pour le nucléaire existant. Sans préjuger de la possibilité technique d'aller au-delà de cette limite, ni de l'autorisation nécessaire de cette prolongation de la part de l'ASN, une telle sensibilité permettrait de tester la pertinence économique d'une telle approche et de voir si elle serait effectivement en mesure d'amortir des éventuels retards sur le rythme de déploiement des EnR.

Question 14 – répartition géographique des moyens de production

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

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

Le CEA n'a pas de commentaires à formuler sur la répartition géographique des moyens de production.

Il est simplement rappelé que la prise en compte de SMR pour la production nucléaire pourrait apporter des solutions locales pouvant être en support réseau.

Question 15 – analyse des effets du climat sur le système

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 ?

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

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...) ?

Le changement climatique aura une influence sur l'équilibre offre-demande d'électricité à l'horizon 2050. Aussi est-il indispensable que le Bilan prévisionnel traite ce sujet.

Plusieurs éléments liés à la production d'électricité seront affectés que ce soit par la hausse moyenne des températures, par son influence sur la disponibilité des ressources hydriques ou par la multiplication des événements extrêmes :

- Le fonctionnement des unités **nucléaires** refroidies par des cours d'eau sera affecté par la baisse des débits et/ou l'augmentation de la température de l'eau.
- Le fonctionnement des unités **hydrauliques** sera impacté par la baisse de la ressource en eau. Si on peut anticiper une baisse de la production hydraulique au fil de l'eau qu'il faudra compenser il faudrait aussi analyser l'éventuel impact de la raréfaction de l'eau disponible sur le fonctionnement des **STEP** comme moyen de stockage de l'électricité
- Le rendement des **cellules photovoltaïques** baisse avec l'augmentation de la température entraînant une diminution de la productivité des installations (en particulier pour celles intégrées aux toitures).
- Le risque de **phénomènes météorologiques extrêmes** (très forts vents) peut impacter très fortement la production éolienne.
- Les zones de vent vont être modifiées.

L'élévation de température influencera également la demande d'électricité en provoquant notamment une diminution du besoin de chauffage hivernal et une augmentation de l'utilisation de climatisation en été et aussi ponctuellement à d'autres périodes de l'année. Ce point mériterait également d'être investigué.

La production de quatre ensembles de simulations climatiques, contenant chacun 200 chroniques annuelles au pas de temps horaire, ensuite utilisées pour les simulations du système électrique est pertinente. La prise en compte de deux niveaux différents de réchauffement est une bonne façon d'appréhender les influences possibles du changement climatique sur le système électrique.

Le CEA considère que la méthode retenue qui consiste à calibrer des relations statistiques entre l'observation historique des variables climatiques et des niveaux de production des énergies renouvelables et des groupes thermiques est pertinente.

Question 16 – flexibilité

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

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 ?

Le CEA n'a pas de commentaires sur l'approche proposée et les hypothèses techniques sur les flexibilités.

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

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

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 ?

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...) ?

Les deux trajectoires proposées de développement de l'hydrogène sont très différenciées. Si le scénario de référence peut apparaître comme conservateur au vu des annonces du plan hydrogène pour la France, la variante « hydrogène + » apparaît quant à elle particulièrement ambitieuse et dépend fortement du développement effectif de l'hydrogène pour la mobilité lourde et le transport aérien (carburants de synthèse). Le CEA suggère aussi de considérer un niveau médian pour la trajectoire de production d'hydrogène à partir d'électricité, en tant que variante voire comme hypothèse de référence.

Les documents de RTE rappellent combien la compétitivité de l'hydrogène décarboné vis-à-vis d'un hydrogène issu du vapo-réformage est dépendante du mode de production, du coût de l'électricité et de l'éventuel internalisation du coût du carbone. Cela souligne bien que l'analyse des différentes solutions doit se faire en coûts complets et que les liens inter-vecteurs doivent être regardés avec attention (tant d'un point de vue économique qu'environnemental).

Par ailleurs, le développement de nouveaux usages de l'hydrogène, notamment pour la variante « hydrogène + », implique la levée de nombreux verrous technologiques et scientifiques, sur lesquels le CEA est en mesure d'apporter une expertise avec des éléments techniques et industriels.

Par ailleurs, nous notons dans le cas du scénario « hydrogène + » que le complément de demande d'hydrogène devrait être couvert (totalement ou partiellement) par l'électrolyse. Aussi, selon les scénarios étudiés, cette capacité additionnelle conduira à une augmentation des capacités d'énergies renouvelables et/ou de nucléaire. Dans ce dernier cas, l'unique solution envisagée par RTE est l'accélération du rythme de construction de nouveaux EPR. Une alternative à cette option fait l'objet actuellement d'étude au sein du CEA. Il s'agit du couplage d'un réacteur nucléaire de type « SMR » avec un électrolyseur haute température permettant la production massive d'hydrogène. Cette solution pourrait également apporter un complément de puissance électrique au niveau local et fournir des services au réseau. Il nous semblerait pertinent que RTE considère ce mode de production dans le cadre de ces analyses.

Question 18 – hypothèses sur le mix européen

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

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

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

Les principes retenus par RTE sont pertinents, notamment en retenant des scénarios visant la neutralité carbone pour les différents pays européens. Comme le souligne RTE, les stratégies de décarbonation et les mix énergétiques diffèrent de manière significative et il convient de chercher à représenter le mieux possible les évolutions éventuelles de ces politiques. Indépendamment, leur implémentation effective pourrait s'écarter des trajectoires envisagées, induisant des contraintes supplémentaires sur le système français au vu de l'interconnexion des réseaux. Le CEA suggère la mise en place d'un **stress test** suivant des modalités à définir, **pour s'assurer de la résilience des 8 scénarios** à une situation où le système français devrait assumer **un rôle plus important qu'envisagé au bénéfice de la plaque européenne**.

Question 19 - cadrage des analyses techniques

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

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

Les quatre blocs thématiques (adéquation offre-demande, réserves opérationnelles, stabilité, réseau) identifiés par RTE pour définir la faisabilité technique d'un système énergétique avec une très forte pénétration des EnR sont pertinents. Ils sont conformes aux conclusions l'étude RTE/AIE² publiée le 27/01/2021.

Le rapport RTE-IEA identifie un certain nombre d'avancées technologiques à lever pour permettre un système électrique avec une très large part de renouvelables. Certaines relèvent de la recherche, d'autres de travaux de développement permettant de valider ou non la possibilité de passer d'un stade expérimental à un stade industriel et de grande ampleur. Il conviendrait maintenant pour affiner l'analyse technique de savoir si ces verrous peuvent ou non être levés à l'horizon 2035 et à quelles conditions.

Il est à noter que le CEA travaille d'ores et déjà sur certaines des questions identifiées dans le rapport RTE-AIE, qui nécessitent encore des travaux de R&D pour proposer des solutions industrielles fiables à un horizon 2035.

Question 20 – cadrage de l'analyse sociétale

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

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

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

² « Conditions and Requirements for the Technical Feasibility of a Power System with a High Share of Renewables in France Towards 2050 »

Le CEA souscrit pleinement au besoin d'accorder une attention particulière dans le cadre du Bilan prévisionnel aux « implicites sociétaux » des différents scénarios pour pouvoir, justement, expliciter les conditions « sociétales » de réussite des différentes options.

L'intention de focaliser le travail sur les problématiques d'acceptabilité des infrastructures électriques et d'implication des consommateurs dans les mesures de sobriété et d'efficacité énergétique semble pertinente.

Il est aussi à noter que l'acceptation sociétale inclut naturellement la question du prix du kWh. Ce point est bien couvert par RTE avec les analyses économiques.

Le CEA peut appuyer les travaux de RTE en particulier en terme d'acceptabilité par les ménages des comportements et outils disponibles pour gérer la flexibilité de la demande et la sobriété, en s'appuyant notamment sur des expérimentations en cours.

Question 21 – cadrage de l'analyse environnementale

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 ?

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 ?

Le choix de RTE d'utiliser des analyses de cycle de vie pour traiter les différents axes de travail est pertinent. Elles s'appliqueront à l'ensemble des modes de production et permettront de traiter quantitativement les quatre dimensions proposées (émissions de gaz à effet de serre, analyse de consommation des ressources, changement d'affectation des terres et volumes de déchets nucléaires).

Ces analyses devraient également être faites pour les moyens de production à partir des énergies renouvelables (photovoltaïque et éoliennes) afin de quantifier les besoins en démantèlement et recyclage, favoriser la recherche dans ces domaines et le développement d'une filière industrielle.

Il est en effet important de développer la recyclabilité des EnR installées et d'assurer une traçabilité sur l'ensemble de la chaîne de la valeur, en promouvant une boucle courte à terme, particulièrement pour les ressources critiques identifiées dès à présent (terres rares, indium, cobalt, ...) et à l'avenir (cuivre, lithium, nickel, argent, étain, zinc, ...).

Question 22 – cadrage et hypothèses pour l'analyse économique

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

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

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

Le CEA est en accord avec la démarche et les principes proposés par RTE pour l'analyse économique des scénarios à l'horizon 2050.

Le choix d'analyser les « coûts systèmes » complets des différents scénarios est cohérent avec l'objectif du Bilan prévisionnel d'éclairer les débats sur les différentes options possibles pour atteindre la neutralité carbone du système électrique français. Cette démarche est en effet nécessaire. Elle est préférable à une simple comparaison des LCOE qui ne permet pas de prendre en compte l'ensemble des dimensions techniques et économiques du système électrique (infrastructures de réseau, capacités d'équilibrage, systèmes de backup nécessaires...). Le périmètre retenu pour cette analyse nous semble exhaustif et le choix de mener l'analyse du point de vue de la collectivité pertinent.

Le souhait de retenir à la fois « les dépenses futures du système électrique par période » et les « coûts complets annualisés du système électrique » est nécessaire pour prendre en compte le fait que les capacités installées en 2050 auront des durées de vie différentes qui dépasseront l'horizon d'étude et nécessiteront donc être des besoins de renouvellement différents.

Le choix du taux d'actualisation retenu aura probablement un effet de premier ordre dans l'inter-comparaison économique entre les différents scénarios, aussi est-il important de faire une étude de sensibilité des résultats à différentes hypothèses envisageables de taux d'actualisation. Plusieurs approches sont possibles : approche de type taux unique qui prend le point de vue de la collectivité ou des taux différenciés selon une approche investisseur (dépendant notamment de la technologie, du cadre réglementaire et du modèle d'affaire).

En raison de la complexité de cette détermination et du fait qu'elle pourrait être sujette à débats, nous suggérons que RTE adopte une approche taux unique avec plusieurs niveaux de taux d'actualisation. RTE pourrait mener en parallèle une analyse de sensibilité en adoptant le point de vue des acteurs de marché. Cela nécessiterait alors de retenir un « coût moyen du capital » reflétant les attentes des investisseurs (qui peuvent varier s'il s'agit d'acteurs publics ou privés) ainsi que le niveau de risque inhérent aux technologies et le cadre réglementaire appliqué.

Enfin, le CEA estime que le cadre d'analyse proposé pourrait être utilement complété par une analyse des scénarios au regard de critères explicitant les dimensions de politique industrielle et de souveraineté technologique associées à chacune des options envisagées. Cette dimension nous semble importante et cohérente avec un effort volontariste de réindustrialisation ou de relocalisation sur le territoire national d'activité industrielle, et le souhait de limiter l'empreinte carbone de la France. A titre d'exemple, RTE pourrait chercher à estimer pour chacun des scénarios l'impact sur l'emploi en France ainsi que la valeur créée sur le territoire national en regard des importations nécessaires.