

FUTURS ENERGETIQUES 2050

REPONSE DU *SHIFT PROJECT* A LA CONSULTATION PUBLIQUE RTE

Un cadre général qui marque un jalon dans la prospective en transition énergétique

Le *Shift Project* approuve la plupart des éléments du cadrage méthodologique proposé pour l'étude des « futurs énergétiques 2050 » de RTE. Le cadrage proposé satisfait en grande majorité au guide méthodologique *Exploring Futures to Plan Energy Transition* que le *Shift* a proposé en novembre 2019.

Ce cadrage nous semble être un jalon méthodologique important dans la prospective énergétique française et internationale. Le *Shift* espère que les questionnements et méthodes développés pour ces travaux pourront inspirer les prospectivistes de la transition en France et ailleurs dans le monde. La publication conjointe avec l'AIE est à ce titre de très bonne augure.

Le *Shift* souhaite essentiellement, par cette contribution, apporter des idées de variantes supplémentaires ou quelques compléments d'investigation qui nous semble pouvoir intéresser l'ensemble des parties autour du débat sur la transition énergétique : l'étude de l'évolution de l'emploi et des filières industrielles, l'étude de variantes ne reposant pas sur une hypothèse de croissance *a priori*, l'analyse des regrets face à une possible contrainte pétrolière, ou encore l'étude des vulnérabilités particulières à chaque scénario proposé.

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 ?

Une axe de description manquant : l'emploi et les métiers dans la transition électrique

Selon nous, un seul axe de description, mais d'importance, manque à la liste des sujets explorés : les considérations sur l'emploi.

Les questions d'emploi, via les informations qu'elles apportent sur les dynamiques de développement de filières, pourraient utilement verser au volet économique de l'exercice. Un travail d'estimation du devenir de l'emploi permettrait de faire émerger certaines conditions nécessaires au bon déroulé du scénario : bonne mise en place de la filière industrielle de production/ logistique/ installation de telle ou telle technologie du mix électrique, mise en place de filières de formation des futurs salariés de ces filières. Ces points seront particulièrement importants pour les scénarios qui requièrent des déploiements massifs et rapides d'une ou plusieurs technologies.

Des éléments sur l'emploi pourraient également alimenter la description sociétale de l'exercice. En effet, si les modes de consommation et les questions d'acceptabilité sont au cœur des questions sociétales, les modes de production (quelles technologies sont produites et comment) et les enjeux sur l'emploi, les métiers, la formation qu'ils impliquent en font aussi pleinement partie. Les modes de production peuvent être amenés à évoluer en fonction des choix de mix électriques : nombre d'emplois, localisation des emplois, qualifications des emplois, formation requise. Des éléments pourraient être apportés à une question telle que « A quoi pourrait ressembler mon emploi dans l'industrie du système électrique demain, et pendant la transition ? ». Cet aspect peut également être un déterminant fort de l'acceptabilité sociétale (emploi créé sur le territoire).

Un tel travail d'évaluation et d'explicitation requerra des hypothèses sur la localisation des activités au sein des branches industrielles concernées par chaque scénario, sur le territoire ou non (les industries de production des technologies du mix seront-elles localisées en France ? les industries de logistique et d'installation du mix, elles, devront l'être).

Par exemple, pour le scénario M2, 180 GW de PV requerraient, selon les facteurs d'emploi émis par Greenpeace (Energy Revolution 2015), 13 pers.ans/MW d'installation et 7 pers.an/MW de production des panneaux : soit environ $20 \text{ pers.an/MW} \times 185000 \text{ MW} = 3,7 \text{ Mpers.an}$, étalés sur une vingtaine d'années, soit 185 000 ETP sur 20 ans si on suppose les activités localisées en France. Ces ordres de grandeur illustrent l'importance qu'il y a d'encadrer la montée en cadence d'une filière de cette ampleur, pour qu'elle puisse assurer la mise en place d'un PV de qualité, au bons endroits et dans le temps voulu.

TABLE 7.1 | SUMMARY OF EMPLOYMENT FACTORS USED IN GLOBAL ANALYSIS 2015

	CONSTRUCTION/INSTALLATION JOB YEARS/MW	MANUFACTURING JOB YEARS/MW	OPERATIONS & MAINTENANCE JOBS/MW	FUEL – PRIMARY ENERGY DEMAND
COAL	11.2	5.4	0.14	REGIONAL
GAS	1.3	0.93	0.14	REGIONAL
NUCLEAR	11.8	1.3	0.6	0.001 JOBS / GWh FINAL ENERGY DEMAND
BIOMASS	14.0	2.9	1.5	29.9 JOBS / PJ
HYDRO-LARGE	7.4	3.5	0.2	
HYDRO-SMALL	15.8	10.9	4.9	
WIND ONSHORE	3.2	4.7	0.3	
WIND OFFSHORE	8.0	15.6	0.2	
PV	13.0	6.7	0.7	
GEOTHERMAL	11.2	5.4	0.4	
SOLAR THERMAL	1.3	0.93	0.6	
OCEAN	10.2	10.2	0.6	
GEOTHERMAL - HEAT	6.9 JOBS/MW (CONSTRUCTION & MANUFACTURING)			
SOLAR - HEAT	8.4 JOBS/MW (CONSTRUCTION & MANUFACTURING)			
NUCLEAR DECOMMISSIONING	0.95 JOBS PER MW DECOMMISSIONED			
COMBINED HEAT AND POWER	CHP TECHNOLOGIES USE THE FACTOR FOR THE TECHNOLOGY, I.E. COAL, GAS, BIOMASS, GEOTHERMAL, ETC, INCREASED BY A FACTOR OF 1.5 FOR O&M ONLY.			

note For details of sources and derivation of factors see Rutovitz et al, 2015.²

Axer certaines analyses de sensibilité sur les vulnérabilités clés (ou pressenties comme telles) de chaque scénario

Des analyses de sensibilité (variantes) axées « robustesse » pourraient être menées, notamment en lien avec les technologies qui se déploient le plus rapidement dans les différents scénarios. Il s'agirait de tester des variantes de « déploiement dégradé » de la technologie clé du scénario en question, supposant que l'industrialisation très rapide de cette technologie mène à des imprévus, par exemple au niveau de la qualité des installations (rendements énergétiques moins bons que prévus), de leur durée de vie, ou du rythme d'installation (pente de déploiement un peu plus faible que prévue), en fonction des risques identifiés comme étant les plus probables, ou les plus critiques, selon les technologies.

Un tel travail permettrait d'identifier les vulnérabilités clés de chaque scénario. Cela permettrait en premier lieu d'évaluer les risques liés à la non-atteinte de la trajectoire prévue. Cela permettrait de plus aux parties intéressées (ou à RTE) de proposer des actions préventives, comme par exemple des « marges de dimensionnement » pour chaque scénario (« il faut viser telle trajectoire de développement pour ne pas être vulnérable aux imprévus »), dont on pourra évaluer le surcoût, ou des modalités d'accompagnement du développement des filières, sur leurs points les plus vulnérables.

Par exemple, le scénario N3 étant celui qui déploie le moins de capacité de production d'ici 2035, une de ses vulnérabilités serait une prise de retard dans le rythme de déploiement du nucléaire : la robustesse du scénario à un moindre rythme du déploiement du nucléaire pourrait être étudiée, et pourrait répondre à la question : quel risque de « recarbone » le mix en cas d'écart à la trajectoire prévue ? Alternativement : quelle stratégie peut-on proposer pour éviter ce risque, et à quel coût ?

Une telle analyse est d'ailleurs proposée à juste titre pour le scénario M0. Le Shift propose simplement de les systématiser en fonction de chaque scénario.

L'impact d'une « migration de la demande » due au dérèglement climatique pourrait-il être déterminant pour la planification du système électrique ?

Les impacts du dérèglement climatique sont pris en compte mieux que jamais dans un tel exercice prospectif. Le *Shift* se demande si l'analyse pourrait être poussée encore un cran plus loin en testant la robustesse des scénarios à des patterns de répartition géographique de la demande différents, pour simuler des mouvements de migration de la population impulsés par le dérèglement climatique, par exemple du Sud et de l'Est vers le Nord et l'Ouest.

Cette analyse permettrait d'apporter des réponses aux questions suivantes : la répartition géographique de la demande pourrait-elle modifier significativement les réseaux électriques des différents scénarios ? Certains scénarios sont-ils plus robustes aux incertitudes de localisation de la demande ? Les scénarios qui y sont le plus sensibles peuvent-ils être adaptés pour être rendus moins sensibles, et à quel surcoût ?

Ce faisant, le débat pourrait éventuellement être tranché (« la localisation de la demande ne joue que marginalement et n'est pas un enjeu pour le système électrique d'ici 2050 »), ou alors mieux éclairé.

Les fourchettes de coût pourraient distinguer les incertitudes « non contrôlables par les pouvoirs publics Français » de celles qui le sont, afin de mieux éclairer l'action publique

Telles que présentées dans le document de cadrage, les sources d'incertitude sur les coûts sont séparées en deux groupes : d'un côté l'incertitude sur le coût du capital, et de l'autre les incertitudes sur les coûts des technologies, sur la flexibilité des usages, et sur l'appareil productif français. Peut-être serait-il intéressant de séparer l'incertitude en 2 parties selon le niveau d'influence qu'a la puissance publique sur ces incertitudes :

- Les coûts des technologies sont largement indépendants de l'action publique
- Au contraire, la flexibilité des usages, l'évolution de l'appareil productif français, et le coût du capital dépendent en partie de l'action publique

Le fait de séparer ces sources d'incertitude permettrait d'informer la puissance publique des actions qu'elle peut utilement entreprendre pour réduire les coûts des différents scénarios.

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 ?

Etablir une variante qui ne repose pas sur une hypothèse de croissance *a priori*

Selon *The Shift Project*, une stratégie de transition sobre serait un choix politique intéressant, qu'il serait souhaitable d'étudier pour mieux en éclairer les conséquences techniques, sociétales comme environnementales. Une stratégie de transition sobre pourrait découler sur une décroissance du PIB ou sur sa stagnation, ou sur sa croissance à certaines périodes et pas à d'autre, mais ne reposerait en aucun cas sur une hypothèse de croissance *a priori*.

Pour illustrer l'intérêt de cette stratégie par rapport à d'autres, nous exposons 3 narratifs qui pourraient mener à une baisse du PIB à moyen, long, ou très long terme. La stratégie de transition sobre constitue le 3ème narratif. Les deux premiers narratifs permettent d'exposer les risques que cette stratégie permet de réduire, voire d'éviter.

Narratif 1

Contrainte d'approvisionnement en pétrole au niveau mondial dans un monde qui n'aurait pas encore (assez) avancé dans sa transition basse énergie/matière au moment où la contrainte s'applique. La contrainte s'entend ici au niveau mondial car le marché des hydrocarbures est largement mondialisé. Ce narratif met en jeu une difficulté générale à extraire les matériaux, à opérer leur première transformation (industrie lourde) et à les transporter (fret), ces activités étant encore très dépendantes au pétrole. Il induit une difficulté générale à produire des biens et services ; il induit également une difficulté à utiliser les biens consommateurs de pétrole. Ce narratif se traduirait sur les prix, notamment perçus en France :

- CAPEX : inflation généralisée du CAPEX de toutes les technologies (qu'elles produisent de l'énergie ou qu'elles la consomment), proportionnellement à leur contenu matériel, l'extraction des matériaux, leur première transformation et leur transport étant encore très dépendants au pétrole au niveau mondial. Selon ce narratif, la transition énergétique de la France serait freinée, et orientée, par cette tension sur les prix, vers des technologies à moindre contenu matériel (petites voitures peu puissantes et vélo, filières énergétiques sobres en matériaux, baisse de la construction neuve dans le bâtiment...).
- OPEX : inflation généralisée des OPEX des technologies de consommation d'énergie, proportionnellement à l'énergie requise pour extraire le carburant qui les alimente. Par exemple, la mobilité, si elle est encore carbonée, deviendrait beaucoup plus chère. Il en irait de même pour le chauffage au fioul.

En termes économiques, ce narratif correspond à un choc d'offre différencié selon le contenu en « pétrole gris » des biens et services produits.

Narratif 2

Impacts trop forts du dérèglement climatique. Ce narratif imagine que l'impact du dérèglement est tel qu'on n'arrive plus à s'organiser pour le contrer, et donc que l'activité baisse irrémédiablement, même si l'énergie est disponible pour être consommée. Le dérèglement « gagne la course », bat notre capacité, en tant que société, à mobiliser suffisamment rapidement l'énergie dont on dispose pour se protéger. Autrement dit, la

société ne parvient pas à diriger l'énergie de la bonne manière (timing, modalités...) pour contrer les événements climatiques. *In fine*, la consommation d'énergie baisse au gré des événements climatiques : par des ruptures d'approvisionnement énergétique (dégâts sur les réseaux énergétiques, dont ruptures du réseau ou de la production électrique, perte d'alimentation dans les stations-service etc.), ou par des contraintes sur les activités humaines qui consomment de l'énergie (par exemple via des routes coupées, usines, grandes surfaces, aéroports, inondés ou rendus non fonctionnels, menant à des incapacités des travailleurs à aller travailler et de consommateurs à consommer, lenteurs à réhabiliter ces activités, etc.).

En termes économiques, ce narratif correspond à une crise de l'offre et de la demande en même temps, similaire à celle du COVID. Cependant, à la différence de la crise du COVID, les crises d'offre et de demande seront différentes d'un territoire à l'autre, et n'arriveront pas dans tous les territoires en même temps. L'orientation des prix dépendra précisément des activités qui sont impactées, il est difficile d'établir un narratif à leur sujet.

Narratif 3

Stratégie de transition sobre, plus ou moins poussée selon les secteurs, pilotée par la sobriété et l'efficacité organisationnelle, en plus de l'efficacité énergétique, et qui pourrait résulter en une décroissance, stagnation, ou croissance, voire à l'enchaînement de différentes phases, de l'économie française. Dans ce narratif, la demande en énergie baisse (via diverses mesures politiques, telles des taxes, des interdictions, des obligations). Par exemple, des reports modaux induits par des contraintes à l'usage de la voiture (réduction des vitesses, zones sans voiture, manque de stationnement...) vers des modes plus légers ou en commun, des taxes inversement proportionnelles à la durée de vie des objets menant à réduire leur renouvellement par des pratiques commerciales et de conception différentes (et donc à une inflation des prix sur ces objets), etc.

Ce narratif se traduit en termes économiques essentiellement par un choc de la demande piloté politiquement, associée à une baisse du PIB. Ce narratif se traduirait par une baisse de la demande en énergie, différenciée selon les secteurs.

Cette baisse de la demande permettrait un redimensionnement à la baisse de l'infrastructure de production énergétique à prix des technologies relativement constants (voire en baisse, car la demande en énergie et matière baisse légèrement, la contrainte d'approvisionnement des ressources n'étant pas (encore) d'actualité).

Intérêt de la stratégie de transition sobre

Selon nous, la stratégie de transition sobre permet de mieux absorber le choc d'une contrainte d'approvisionnement sur le pétrole, et favorise l'évitement d'un dérèglement climatique fort. A ce titre, elle est un choix politique valable, qu'il serait souhaitable d'étudier pour mieux en éclairer les conséquences, sociétales comme environnementales, même si elle est potentiellement associée à une décroissance du PIB à certains moments de la transition.

Parmi nos 3 narratifs, le narratif de contrainte sur l'approvisionnement en pétrole et celui de stratégie de transition sobre ne se différencient potentiellement que par le timing : la contrainte sur le pétrole arrive-t-elle avant que la société française ait menée une stratégie de transition sobre, ou non. En d'autres termes, la décroissance est-elle sévère et subie, ou alors contrôlée, partielle et choisie ?

En effet, si une stratégie de transition sobre a déjà porté ses fruits lorsque la contrainte apparaît, les infrastructures et équipements de consommation énergétique sont déjà prêts pour assurer les usages avec une faible quantité de pétrole et de matière (procédés industriels électrifiés, efficacité énergétique des procédés, véhicules de transport légers, peu consommateurs et de longue durée de vie, équipements de longue durée de vie, système électrique optimisé pour consommer peu de pétrole, y compris du « pétrole gris » embarqué dans les nouvelles unités, etc...). De plus, les grands choix de société quant aux usages qu'on veut privilégier face à la contrainte énergétique ont déjà été discutés et mis en œuvre.

A contrario, si la contrainte apparaît alors que la transition sobre n'a pas encore été opérée, ou qu'une transition bas carbone (localement) mais fortement consommatrice en matériaux (donc carbonée dans les pays qui extraient, transforment et transportent la matière première) a eu lieu, elle impactera fortement l'économie, alors encore perfusée de flux de matière à fort « pétrole gris ». Cette transformation « forte en matériaux » serait fondamentalement une substitution locale des énergies carbonées par des flux de matière plus importants, comme par exemple le déploiement de grosses voitures électriques, de véhicules lourds à hydrogène assis sur une filière power-to-H₂, voire des véhicules lourds assis sur différentes filières énergétiques développées en parallèle qui démultiplient les infrastructures et les types de matériel roulant, l'accélération de la construction neuve dans le logement, un urbanisme de l'étalement urbain continué etc...

Ainsi, la stratégie de transition sobre permet de mieux absorber le choc d'une contrainte d'approvisionnement sur le pétrole que sa non-implémentation ou qu'une stratégie moins sobre.

D'autre part, cette stratégie permet que la France soit compatible avec l'objectif d'éviter un dérèglement climatique fort, de par la baisse de sa consommation d'énergie carbonée, en approche territoire et empreinte (elle favorise l'évitement du 2^{ème} narratif).

C'est pourquoi, selon le *Shift*, elle est un choix politique valable, qu'il serait souhaitable d'étudier pour mieux en éclairer les conséquences, sociétales comme environnementales, même si elle est potentiellement associée à une décroissance du PIB à certains moments de la transition (ou non).

D'autre part, l'une des conclusions du projet « Explorer l'avenir pour planifier la transition » du *Shift* est que **la place publique manque de scénarios qui ne se basent pas sur des hypothèses de croissance**. Il est donc sain pour l'éclairage des futurs possibles que certains s'attèlent à explorer de tels avènements.

Hypothèses qui pourraient correspondre à cette stratégie

Pour les scénarios du travail « Futurs énergétiques 2050 », le scénario de transition sobre se traduirait par une baisse des activités, et donc de la consommation d'énergie et d'électricité en particulier, en comparaison à la SNBC, sur les postes suivants :

- Baisse ou stabilisation de certaines activités industrielles (automobile, aéronautique, numérique, biens de consommation), grâce à une augmentation des durées de vie de certains équipements (numérique, biens de consommation) ou à une baisse des usages (aérien, automobile). Une hausse dans certains secteurs viendrait contrebalancer mais pas compenser cette baisse : vélos, véhicules légers électrifiés, industrie de la réparation et du recyclage, industrie de la rénovation thermique du bâtiment.
- Stabilisation, voire baisse de la mobilité (aérien, télétravail, visio conférences...), avec une efficacité organisationnelle et technique (vélos à assistance électrique, petites voitures électriques aérodynamiques...) permettant de réduire la consommation d'électricité du secteur par rapport à la SNBC.
- Stabilisation, voire baisse du transport de marchandises (relocalisation plus forte de la production et de la transformation alimentaire pour être proches des lieux de consommation, réduction du transport de certains produits dont le transport est déjà assuré par ailleurs de façon très efficace (eau), efficacité organisationnelle et technique (reports modaux vers le fer et le fleuves, ou vers la cyclologistique électrique pour l'urbain). Cela permet de réduire la consommation d'électricité du secteur par rapport à la SNBC.
- Réduction de la construction neuve, densification du logement, menant à une baisse de la consommation dans le secteur du bâtiment et à une baisse de consommation légère de l'électricité spécifique dans le bâtiment, par rapport à la SNBC.

Ces hypothèses remettent en cause une hypothèse de croissance « type SNBC », car elles mènent à une production de valeur ajoutée (VA) moindre, à différents moments de la transition en fonction des inerties inhérentes à ces différentes transformations. Un petit bilan qualitatif est proposé dans le tableau suivant :

Leviers de transition (delta par rapport à la SNBC)	Effets sur le système énergétique par rapport à la SNBC	Effets sur la valeur ajoutée par rapport à la SNBC	Effets sur la production d'innovation et de technologies
Augmentation des durées de vie de certains équipements (numérique, bien de consommation)	Baisse de la consommation d'énergie dans l'industrie de ces équipements et dans le fret associé	Baisse de la VA dans l'industrie des équipements concernés, et dans le fret associé	Innovation dans l'éco-conception : modularité, durée de vie, réparabilité... Pénétration moins rapide d'éventuelles améliorations des équipements concernés.
Sobriété dans la mobilité très longue distance (avion), et moindre croissance des besoins dans la mobilité globale	Baisse des besoins en carburant liquide, et donc en électricité pour les e-fuels ; Baisse des activités dans l'industrie aéronautique	Baisse de la VA dans le secteur aérien	Accompagné d'une incitation forte à décarboner totalement le fonctionnement de l'avion
Efficacité technico-organisationnelle plus poussée dans la mobilité	Baisse de la consommation d'énergie dans la mobilité et l'industrie associée, et en particulier de l'électricité	Baisse de la VA dans l'automobile, augmentation de la VA dans les petits véhicules légers (mais qui ne compense pas la baisse dans l'automobile)	Innovation dans les petits véhicules électriques légers
Efficacité technico organisationnelle pour le fret (production « locale », réduction de l'eau en bouteilles)	Baisse de la consommation d'énergie dans le fret, et en particulier de l'électricité	Baisse (légère) de la VA dans le fret	Aucun
Réduction de la construction neuve dans le logement	Baisse de la consommation dans le secteur du bâtiment (industrie), et dans l'industrie des matériaux de construction	Baisse de la VA dans ces secteurs	Aucun
Conséquence : Baisse de la demande dans le secteur de l'énergie	Baisse de la conso dans l'industrie des travaux publics pour les infras énergétiques	Baisse de la VA dans le secteur de l'énergie	Aucun

La colonne sur l'innovation et la technologie pointe le fait que des mesures qui mènent à réduire la valeur ajoutée dans certains secteurs (et donc, des mesures qui réduisent le PIB toutes choses égales par ailleurs) ne sont pas forcément associées à une réduction de l'innovation et de la pénétration de technologies bas carbone dans les parcs, comme cela est souvent avancé dans les débats à ce sujet. La « sobriété » et l'innovation sont dans l'absolu des choix politiques qui pourraient être indépendants : on peut tout à fait imaginer, pour un secteur donné, réduire la VA dans la production et l'exploitation tout en l'augmentant dans l'innovation. Par exemple, augmenter l'innovation pour concevoir de petites voitures électriques aérodynamiques, tout en réduisant le nombre de voitures produites chaque année et leur usage.

La dernière ligne souligne l'effet qu'auraient les leviers sur l'infrastructure énergétique. La demande étant plus faible, elle pourrait être dimensionnée à la baisse par rapport à un scénario de type SNBC. En particulier, chaque scénario de l'étude Futurs énergétiques 2050 pourrait donner lieu à un scénario de moindre demande, qui mènerait à un système électrique moins dimensionné, système donc qui générerait donc lui-même moins de VA.

Dans l'exercice Futurs énergétiques 2050, de telles hypothèses pourraient alimenter de manière cohérente une des analyses de sensibilité sur la sobriété énergétique (Question 4).

Ces hypothèses pourraient de plus être associées à des choix de taux d'actualisation proches de zéro ou nuls. Les taux d'actualisation « publics », positifs, sont aujourd'hui assis sur des hypothèses de croissance et construits sur l'idée que « demain, la société sera plus riche ». Ils favorisent relativement parlant les technologies de faible durée de vie. Au contraire, des taux d'actualisation nuls ou négatifs permettraient de favoriser les technologies qui durent longtemps, ce qui serait en ligne avec un narratif qui prend en compte le risque d'avoir plus de mal à transformer le monde demain.

Une analyse des regrets qui pourrait inclure un risque de contrainte sur l'approvisionnement pétrolier

L'analyse des regrets suppose de soumettre des stratégies, qu'on cherche à comparer, à diverses perturbations, pour voir lesquelles donnent les meilleurs résultats sur l'ensemble des perturbations.

Il a pour l'instant été prévu dans le cadre des Futurs énergétiques 2050 de tester des situations de contrainte sur différentes technologies, certaines technologies pouvant se voir exclues des options possibles à un moment donné du scénario pour voir comment le mix pourrait se réorganiser, et ce faisant s'il aurait besoin de se recarbone.

En complément de ces analyses, il pourrait être envisageable de tester une situation de contrainte technologique non pas de type « telle technologie est une option ouverte/fermée » mais en fixant une trajectoire de surcoût à chaque technologie, proportionnel à son contenu en énergie grise, simulant ainsi une contrainte sur l'approvisionnement pétrolier mondial.

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 ?

L'importance d'évaluer la transformation du réseau de distribution pour le scénario M1

Le scénario M1 diffère des autres dans le sens qu'il modifie plus sensiblement la structure et les modalités de fonctionnement du réseau de distribution que les autres. Il est donc important qu'une analyse incluant cette section du réseau soit menée pour apporter des éléments d'appréciation de l'impact d'un tel scénario sans en oublier un pan qui pourrait s'avérer significatif. Ces éléments doivent :

- Soit permettre de conclure que la structure et les modalités de fonctionnement (gestion de la tension, détection de fautes...) du réseau de distribution ne devront pas significativement être adaptées par rapport aux autres scénarios.
- Soit apporter des éléments de qualification et quantification permettant d'apprécier l'écart d'impact entre le scénario M1 et les autres (coût, description qualitative générale de la transformation du réseau...) sur ce poste.

L'importance d'évaluer les dynamiques à l'œuvre et les limitations qu'elles pourraient rencontrer pour les scénarios M0 et N3

Le scénario M0 est intéressant pour explorer une montée en capacité très rapide des ENR.

Il soulèvera ainsi particulièrement des questions sur la vitesse de mise en place des filières industrielles associées : emplois, formation, tissu industriel capable de délivrer des matériels et services de qualité au bon endroit en temps voulu.

Il posera également des questions sur les flux de matières annuels mobilisés pour la construction du système électrique, en faisant apparaître un « pic » de consommation de matière plus marqué que dans les autres scénarios. Il sera intéressant de mettre ce pic en regard de la demande mondiale de ces matériaux, qui pourrait elle aussi être dans une phase de pic.

Un tel scénario pourra donner lieu à des analyses complémentaires à plus long-terme sur le « cycle de renouvellement » du parc ENR, analyses d'autant plus pertinentes si sa construction a été concentrée sur 2 décennies, et si les différentes ENR ont à peu près la même durée de vie. Ce cycle sera nécessairement moins lissé, et fera apparaître des pics plus marqués, que pour les scénarios qui étalent la mise en place du parc ENR sur une durée plus longue. On pourra ainsi faire apparaître des éventuels « effet falaise » à plus long terme, et les mettre en regard de la continuité dans le temps du tissu industriel associé.

Le scénario N3 est intéressant aux mêmes titres : planification de la filière industrielle requise pour la production des réacteurs nucléaires dans de bonnes conditions, et consommation de matière pour sa production et son renouvellement à long terme (futurs effets falaise ?).

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 ?

Variantes mettant en jeu différentes préséances de production

La question de la préséance de production d'énergie par telle ou telle technologie va se poser pour les scénarios mêlant nucléaire et ENR. Veut-on prioriser la rentabilité des installations ENR, ou celle des installations nucléaires, l'une et l'autre étant concurrente en termes de productible ? Ou bien favoriser un fonctionnement d'ensemble du système au moindre coût (ce qui serait le cas si les rémunérations de chaque acteur étaient assises sur un ensemble de marchés parfaits reflétant parfaitement les différents services qu'apportent les technologies au système dans son ensemble) ? La réponse à ces questions définira certainement une partie des moyens de flexibilité qui devront être mis en place pour assurer le bon fonctionnement du système.

D'un point de vue scénaristique, le *Shift* suggère d'avoir un scénario central qui suppose une minimisation du coût de fonctionnement du système, et qui permettra de tirer des enseignements sur la forme que doivent prendre les rémunérations pour chaque technologie afin d'inciter à ce fonctionnement.

Puis une variante priorisant le productible ENR, et une autre priorisant le productible nucléaire pourraient être proposées. Ces variantes feront apparaître, en comparaison au scénario central, le manque à gagner, pour la société, à prioriser l'une ou l'autre des technologies.

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 ?

Organiser les variantes sur le système électrique européen autour du rôle que pourrait y jouer le système électrique français ?

Le scénario central d'évolution des mix dans les pays européens proposé dans le rapport semble en effet être « conservatif » et tester le cas « le plus difficile » pour la France. Pour deux raisons : il est optimiste sur le déploiement effectif et dans les temps des ENR, de manière massive, dans l'ensemble des pays d'Europe en même temps (et la demande en installation d'ENR devrait également être forte au niveau mondial dans la même période). Il suppose également qu'aucun pays ne reviendra sur sa stratégie, ce qui, si c'était le cas, reviendrait sur des mix moins contraignants du point de vue des flexibilités (remise en place d'unités pilotables).

Cela étant dit, le scénario de mix européen, comme il part de l'hypothèse d'une intégration continuée du système électrique européen, pourrait raisonner à standards et règles de marché harmonisés entre les pays. Ainsi, on peut imaginer que certes les pays s'orientent massivement vers les ENR, mais tout en respectant des standards de développement du réseau et du mix qui assureraient un bon niveau d'apport de flexibilité pour le système électrique européen. **Le narratif directeur du scénario central pourrait donc partir de tels standards, et supposer que chaque pays « assure sa flexibilité »** (balance des imports/exports de flexibilité équilibrée sur l'année pour chaque pays). Ce scénario central correspondrait donc à un scénario dans lequel la France ne joue pas de rôle d'importateur ni d'exportateur net de flexibilité pour le système électrique Européen.

Autour de ce scénario, on pourrait imaginer des variantes où la France serait exportatrice nette de flexibilité, ou au contraire importatrice nette. C'est dans ces variantes que le volume de demande en flexibilité par les autres pays jouerait un rôle clé pour le système électrique français.

Selon le *Shift*, cette manière de poser le débat permettrait de mettre l'accent sur une question clé du développement long-terme du système électrique français : quel rôle veut-on qu'il joue au sein du système électrique européen ? Cela permettrait de ne pas cacher d'hypothèses d'apport de service électrique monodirectionnel systématique qui n'apparaîtrait pas clairement au néophyte, et d'étudier séparément le choix d'être exportateur, ou importateur de ces services. Il en va de même pour l'énergie : il paraît sain d'aborder le débat en montrant ce que serait un mix décarboné qui ne serait structurellement ni importateur ni exportateur d'énergie, puis d'étudier dans un second temps les stratégies de se positionner comme importateur ou exportateur.

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 ?

L'importance de fournir des proxys sur la « difficulté à produire » les différents éléments du système électrique sous contrainte pétrole

Pour le *Shift*, l'un des enjeux principaux des décennies à venir est le niveau d'impréparation à une contrainte sur l'approvisionnement en pétrole, énergie dense et facilement transportable par excellence. Selon cette ligne, il est crucial de planifier l'évolution de nos grandes infrastructures en tenant compte de la possibilité d'apparition de cette contrainte. Par conséquent, il est crucial de pouvoir évaluer les designs possibles de ces infrastructures, comme l'infrastructure électrique, selon une métrique mesurant la difficulté à les produire et à les mettre en place en cas de contrainte sur l'approvisionnement pétrolier.

Plusieurs métriques peuvent être proposées dans ce but : le besoin en « énergie liquide grise » permet de mesurer à quel point l'infrastructure dépend d'une énergie dense et facilement transportable, et donc à quel point son déploiement pourrait être freiné en cas de contrainte sur l'approvisionnement pétrolier. Le besoin en « énergie grise » permet de mesurer la quantité de transformation qu'il a fallu pour produire l'infrastructure. Dans une optique de sobriété globale, c'est-à-dire au-delà de la contrainte uniquement sur le pétrole, c'est certainement le proxy le plus intéressant. A défaut de données sur « l'énergie liquide grise », il nous semble que le débit (en unité de masse par an) de matière mobilisée pour le déploiement de l'infrastructure en constitue un bon proxy, au moins pour faire apparaître les ordres de grandeur.

Evaluer « l'énergie grise » contenue dans le mix

L'énergie consommée aujourd'hui dans le monde étant à 80% d'origine fossile, l'impact sur les ressources en carburants fossiles est un bon proxy pour mesurer l'énergie grise des infrastructures électriques proposées. Il nous semble que cet indicateur informerait utilement le débat sur le futur du mix électrique en tant qu'indicateur « d'embonpoint » du système électrique proposé : sa production et son installation sont-elles gourmandes en énergie ? Cet indicateur est compris dans la méthode ACV que RTE propose déjà d'appliquer.

Evaluer une « consommation » globale de matière

Dans la description des scénarios, il semble que l'accent soit mis sur la dimension « criticité » de la consommation de matériaux.

Or, il nous semble également important de suivre l'évolution des débits de matières pondéreuses en tonnage, qu'elles soient critiques ou non, pour apporter des éléments d'information sur les importations annuelles de matière, sur le degré de substitution des énergies fossiles par des matières premières au cours de la transition, sur le niveau « d'indépendance énergétique » de la France.

Enfin, comme mentionné en introduction, cette évolution des tonnages fournira un proxy intéressant sur l'énergie grise nécessaire à la transition du système énergétique. Pour le *Shift*, le tonnage annuel de matière, nécessaire à l'établissement et au maintien d'un mix donné, est un critère important car il constitue un bon

proxy de l'énergie (notamment fossile) qu'il a fallu dans l'industrie extractive et l'industrie lourde pour produire cette quantité de matière, et dans le fret pour la transporter.

The Shift Project est un think tank qui œuvre en faveur d'une économie post-carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, notre mission est d'éclairer et influencer le débat sur la transition énergétique en Europe. Nos membres sont de grandes entreprises qui veulent faire de la transition énergétique leur priorité.

Contact : Nicolas Raillard, chef de projets au *Shift* | nicolas.raillard@theshiftproject.org