



Le nucléaire français dans le système énergétique européen

Synthèse & recommandations

Introduction

Des nouveaux scénarios européens apportent une vue complémentaire au Bilan prévisionnel RTE 2017.

Ils permettent d'éclairer les décisions à venir relatives à la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE).

La nécessité d'étudier trois dimensions complémentaires : l'Europe, les temps longs, et le système énergétique dans son ensemble

L'élaboration de la nouvelle programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) sur l'évolution de l'offre et la demande énergétique à dix ans, en lien avec les nombreux objectifs de la Loi de transition énergétique et la croissance verte (LTECV), intervient dans un double contexte.

D'une part, le gouvernement a affirmé, à l'occasion du plan Climat de 2017, la « priorité de l'enjeu climatique », en visant désormais la neutralité des émissions de gaz à effet de serre françaises à l'horizon 2050. D'autre part, les premiers indicateurs de suivi de la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)¹ montrent, qu'au lieu de diminuer, les émissions de gaz à effet de serre augmentent².

Décarbonée à plus de 90 % grâce au nucléaire et aux renouvelables, la production d'électricité française permet à l'Hexagone d'être le pays le moins émetteurs des membres du G7³. Dans les années à venir, le mix électrique est amené à se diversifier, à mesure de la montée en performance économique et technique des énergies renouvelables.

La LTECV avait fixé comme objectif la réduction à 50 % de la part du nucléaire à l'horizon 2025. Cet objectif s'est révélé contradictoire avec la priorité accordée à la lutte contre le réchauffement climatique. Ainsi, dans son Bilan prévisionnel 2017, RTE a montré que pour tenir cet objectif, la fermeture de 23 à 27 réacteurs nucléaires serait nécessaire ainsi que le maintien des centrales au charbon actuelles au-delà de 2025 et la construction d'une vingtaine de nouvelles centrales au gaz. Au total ce scénario aurait représenté une augmentation des émissions de 38 à 55 millions de tonnes de CO₂ par an.

Le gouvernement, s'il a renoncé à la date de 2025, a confirmé l'objectif de réduction la part du nucléaire. La question du rythme de diversification du mix électrique est donc posée pour la prochaine PPE. Le Bilan prévisionnel RTE est l'outil de référence de cette réflexion. Il étudie de manière approfondie l'évolution de la production et de la consommation d'électricité, ainsi que les solutions qui permettent d'en assurer l'équilibre. À ce titre, RTE a publié cinq scénarios de réduction de la part du nucléaire à différents horizons, et les conditions pour y parvenir.

La SFEN propose d'apporter un éclairage complémentaire aux scénarios RTE, en cohérence avec les ambitions nationales et internationales de la France en matière de lutte contre le changement climatique (et non pas sur l'objectif de réduction de la part du nucléaire). Ce travail vise à identifier les trajectoires de long terme les plus efficaces d'un point de vue économique pour atteindre les objectifs de décarbonation des systèmes énergétiques français et européens.

Au travers de cette note, la SFEN propose de mettre en avant trois dimensions complémentaires aux scénarios RTE.

1. La dimension européenne : alors que la loi LTECV se focalisait exclusivement sur la question du mix électrique français, le Bilan prévisionnel 2017 précise déjà qu'il n'est aujourd'hui « *plus possible de considérer que le mix de production électrique est un sujet exclusivement national* ». Les scénarios RTE modélisent les flux d'électricité aux frontières, lesquels dépendent d'arbitrages effectués heure par heure compte tenu des capacités d'interconnexion. Cependant, si les scénarios prennent en compte les évolutions prévisionnelles des systèmes électriques des pays voisins, ils ne permettent pas de comprendre le rôle du nucléaire français pour décarboner la production d'électricité des autres Etats-membres. En exportant une électricité bas carbone, flexible et piloteable, vers ses voisins, la France soutient le développement des énergies renouvelables intermittentes en Europe.

2. La dimension de long-terme : le Bilan prévisionnel 2017 explore plusieurs scénarios sur l'horizon de temps 2018-2035, au-delà de celui de la PPE (2019-2023 et 2024-2028). Cependant, il est nécessaire de prendre également en compte les dynamiques de plus long terme : les feuilles

1 – La Stratégie Nationale Bas-Carbone donne les orientations stratégiques fixe des objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre à l'échelle de la France.

2 – En 2016, les émissions de CO₂ françaises ont dépassé de plus de 3% la cible fixée fin 2015, sur la base des chiffres de 2013.

3 – Banque Mondiale.

de route de décarbonation françaises (SNBC) et européennes sont aujourd’hui fixées à l’horizon 2050, et l’Accord de Paris fixe un objectif à 2100. Les décisions relatives au nucléaire se placent dans ces temps longs : la question de l’intérêt climatique et économique de la prolongation du parc nucléaire existant, puis de son renouvellement à partir de 2030, posée dans les notes précédentes de la SFEN, s’insère dans la nécessité d’un socle nucléaire à l’horizon 2050.

3. Le système énergétique dans son ensemble : le Bilan prévisionnel 2017 se focalise sur l’équilibre offre-demande d’électricité en France. Les questions de l’électrification des usages et du potentiel de décarbonation des autres vecteurs énergétiques sont abordées de manière exogène, via la prévision de la demande électrique. Les scénarios RTE ne permettent donc pas de comprendre la contribution croissante du système électrique aux réductions de gaz à effet de serre au niveau de l’ensemble du système énergétique.

Le choix du modèle de simulation européen PRIMES

En tant que société savante, la SFEN ne dispose pas d'outil permettant de réaliser des scénarios énergétiques. Pour cette raison, elle a choisi de s'adosser à un modèle de simulation éprouvé, suffisamment sophistiqué pour comprendre le rôle du nucléaire français dans les trois dimensions évoquées (Europe, temps longs et système énergétique), et reconnu au niveau européen parmi les différentes parties prenantes.

Le cadre de travail retenu est celui des scénarios développés par le cabinet E3-Modelling (adossé à l'Université d'Athènes) pour la Commission européenne dans le cadre du projet « Une énergie propre pour tous les Européens » (« Paquet d'Hiver ») de 2016 via le modèle PRIMES.

Au-delà des scénarios publiés en 2016 pour la Commission européenne, **la SFEN a demandé à E3-Modelling des premières variantes complémentaires, dans les conditions-cadres de l'exercice, permettant d'étudier différentes évolutions possibles de la part du nucléaire dans le mix électrique en France.**

Le modèle PRIMES est un modèle de système énergétique, qui simule la consommation et le système d'approvisionnement en énergie de l'Union européenne :

- Les principales variables d'entrées sont des hypothèses de demande, des caractéristiques technologiques sur l'offre⁴ et le système énergétique, et les objectifs de décarbonation ;
- Le modèle en déduit des trajectoires cohérentes des prix du carbone dans l'UE, lesquels jouent un rôle central d'ajustement ;
- Les principales variables de sortie sont les investissements des acteurs, les parcs et les mix énergétiques, les émissions de gaz à effet de serre, ainsi que les prix du marché de l'électricité.

Le modèle est très complet :

- Il inclut les 28 Etats membres de l'UE ;
- Il couvre les temps longs, avec un horizon temporel à 2050 (package énergie-climat), et même une vision à 2070 (récemment disponible) ;
- Il décrit heure par heure l'équilibre électrique sur les marchés (ce qui permet d'intégrer les effets liés à la variabilité de certaines énergies renouvelables) et tient compte des interconnexions et des flux entre les pays ;

⁴ – Rendements, capacités unitaires, flexibilités, coûts d'investissement et de production.

- Il permet de mesurer l'impact du vecteur électrique pour décarboner à long terme les secteurs du transport et de la chaleur, et donc l'impact du nucléaire français sur l'ensemble du système énergétique.

Le modèle permet de mesurer une grande diversité d'impacts et d'enrichir la grille d'évaluation :

- Impacts techniques au sein du système électrique (compte tenu du design des marchés);
- Impacts économiques en matière de coûts des systèmes électriques (investissement et exploitation), du prix de l'électricité⁵, ou encore des échanges aux frontières;
- Impacts environnementaux en matière d'émissions de gaz à effet de serre.

Il faut noter que les impacts en termes d'augmentation des émissions de CO₂ restent limités par la construction-même du modèle. Dans PRIMES (à la différence des scénarios de RTE ou de l'ANCRE), le prix du carbone sur le marché EU-ETS joue un rôle prépondérant pour atteindre les objectifs de décarbonation : son augmentation induit des substitutions dans l'ensemble des secteurs pour rester sur le sentier européen de décarbonation, et la contrainte est alors reflétée par l'augmentation des coûts pour les différents acteurs, dont *in fine* le consommateur.

⁵ – Le calcul du prix des marchés de gros est effectué par le modèle pour chaque heure de l'année, pour chaque agent, en vérifiant que les comptes des électriciens sont à l'équilibre.

Les scénarios étudiés

Le cadre de référence : les scénarios EUCO du Paquet « Une énergie propre pour tous les Européens »

Les scénarios EUCO ont été développés en 2016 pour la Commission européenne en utilisant le modèle PRIMES. Ils satisfont les objectifs ci-dessous :

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre de 40 % en 2030 (par rapport à 1990), et de 80 % en 2050, date à laquelle le système énergétique européen devient profondément décarboné ;
- Part des énergies renouvelables d'au moins 27 % dans l'énergie finale consommée en 2030 ;
- Efforts d'efficacité énergétique portant sur une réduction de 30 % de l'énergie finale consommée en 2030.

Après l'Accord de Paris (COP 21), des scénarios allant jusqu'à 2070 ont été élaborés. Ces derniers explorent des trajectoires de décarbonation profonde à très long terme.

Les hypothèses concernant les coûts de production des énergies ont été élaborées par un groupe d'économistes piloté par la Commission européenne⁶. Il faut noter que :

- Le modèle intègre, en particulier sur les technologies de production électrique, une dynamique de réduction des coûts de production très favorable aux énergies renouvelables via des effets d'apprentissage, sans intégrer de perspective de réduction des coûts de construction du nouveau nucléaire.
- La position de la SFEN est, comme elle l'a publiée récemment⁷, que le coût de construction des centrales nucléaires peut être réduit⁸ de 30 % par des effets de série économique et des effets d'apprentissage technique.

Les variantes de simulations effectuées pour la SFEN

La SFEN a cherché à étudier les implications des différentes hypothèses sur l'extension de la durée d'exploitation des centrales nucléaires françaises et leur possible renouvellement à long terme (2050). Pour cela, elle a demandé à E3-Modelling de simuler **huit variantes additionnelles du scénario EUCO, en formulant des hypothèses spécifiques de réduction de la part du nucléaire dans le mix électrique français.**

⁶ – Les hypothèses figurent dans le rapport « EU Reference Scenario 2016 – Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050 ».

⁷ – Les coûts de production du nouveau nucléaire français - SFEN, mars 2018.

⁸ – Auxquels s'additionne une réduction potentielle de 50 % des coûts de financements.

Les hypothèses de contexte de l'exercice EUCO restent identiques, en particulier les objectifs 2030 de l'UE sont supposés atteints. Le report de l'objectif de baisse du nucléaire dans le mix électrique à 50 % en 2025 est considéré comme acté, conformément à l'annonce du gouvernement.

Les quatre premiers scénarios (FNS_50_2030, FNS_50_2035, FNS_50_2040, FNS_50_2045) **diffèrent par la date à laquelle la production nucléaire⁹ baisse à 50 %** (respectivement, 2030, 2035, 2040 et 2045).

Deux autres scénarios permettent d'éclairer le champ des possibles à l'horizon 2050 :

- Un scénario extrême (FNS_CONST_NU) qui suppose une capacité nucléaire stable, contrôlée de manière exogène¹⁰
- Un scénario (FNS_HIGH_ELEC) supposant une augmentation de la demande d'électricité linéaire jusqu'à +10 % en 2030 (soit de l'ordre de 1 % par an).

Enfin, **deux scénarios exploratoires de décarbonation profonde à l'horizon 2070**, préparés par E3-Modelling sont publiés à l'occasion de cette étude :

- Le premier (FNS_2070) est une extrapolation à 2070 du scénario 2050 : le taux d'électrification augmente pour réduire encore les émissions de gaz à effet de serre
- Le second (FNS_SF_2070) table sur une pénétration plus importante des carburants de synthèse produits à partir d'électricité, pour approcher la neutralité carbone.

⁹ – Le ratio de production nucléaire a été défini dans une acceptation souple : la production nucléaire est nette des exportations.

¹⁰ – La fonction d'investissement est alors « débranchée » et les niveaux sont ajustés manuellement pour compenser les arrêts.

Tableau 1 Récapitulatif des différents scénarios (version simplifiée).

Nom du scénario	Horizon de projection	50 % atteints en	Description
FNS_50_2045	2050	2045	La part de la production nucléaire dans l'approvisionnement en électricité domestique est de à 50 % en 2045
FNS_50_2040	2050	2040	La part de la production nucléaire dans l'approvisionnement en électricité domestique est de 50 % en 2040
FNS_50_2035	2050	2035	La part de la production nucléaire dans l'approvisionnement en électricité domestique est de 50 % en 2035
FNS_50_2030	2050	2030	La part de la production nucléaire dans l'approvisionnement en électricité domestique est de 50 % en 2030
FNS_CONST_NU	2050	N/A	Une capacité nucléaire constante d'environ 63 GW est maintenue tout au long de la période de projection
FNS_HIGH_ELE	2050	N/A	La demande électrique augmente linéairement jusqu'à +10 % en 2030 par rapport au scénario principal du Paquet d'Hiver
FNS_2070	2070	N/A	Extension de la logique de EU2050 jusqu'en 2070, avec un taux une électrification plus élevée
FNS_SF_2070	2070	N/A	Idem FNS_2070, avec une pénétration plus importante des carburants de synthèse produits à partir de l'électricité

Enseignements tirés par la SFEN sur les scénarios : synthèse

«Les scénarios ne doivent pas être considérés comme des prédictions, mais comme des analyses des impacts et des compromis entre différents choix technologiques et objectifs politiques, fournissant ainsi une approche quantitative pour soutenir la prise de décision dans le secteur de l'énergie». **Agence internationale de l'énergie**

1. Les scénarios étudiés montrent tous à la fois une forte croissance des renouvelables électriques et la nécessité d'un socle nucléaire à l'horizon 2050 et au-delà

- 1.1 Dans tous les scénarios, les énergies renouvelables augmentent très fortement. Dans le scénario FNS_50_2045, leur capacité installée atteint 150 GWe en 2050 et près de 60 % du mix électrique français
- 1.2 Le nucléaire français, pilotable et flexible, permet d'accompagner l'essor des énergies renouvelables électriques en France
- 1.3 La nécessité d'un socle nucléaire en France, estimé selon les scénarios à l'horizon 2050 à une puissance installée de l'ordre de 35-40 GW, correspondant à un ratio de production d'au moins 35-40 %
- 1.4. Au-delà de la France, les scénarios montrent aussi la nécessité d'un socle nucléaire de plus de 70 GW répartis dans douze autres pays d'Europe

2. Le scénario FNS_50_2045 (atteinte de l'objectif de 50 % en 2045), comparé au scénario FNS_50_2030 (atteinte en 2030) montre :

- 2.1. Un prix inférieur de l'électricité de 10 %, lié au coût de production très compétitif du parc nucléaire existant
- 2.2. Une économie de 20 milliards d'Euros en besoin en investissements : les travaux de rénovation du programme Grand carénage sont plus économiques que la construction de nouvelles capacités de production quelles qu'elles soient
- 2.3. Un doublement des exportations électriques françaises, bénéfique tant pour décarboner le mix de nos voisins que pour la balance commerciale
- 2.4. Un gain supplémentaire de 18 milliards d'Euros d'ici 2050 en intégrant les progrès de compétitivité possibles du nouveau nucléaire (estimation SFEN d'une baisse de 30 % des coûts de construction¹¹)

3. Les scénarios montrent le rôle important de l'électricité pour décarboner le système énergétique, avec un fort regain de la demande d'électricité sur le moyen et long terme

- 3.1. Tous les scénarios montrent une augmentation de la part de l'électricité dans le mix énergétique (au-delà de 40 % en 2030), alors même que la consommation énergétique finale diminue fortement
- 3.2. Le scénario FNS_HIGH_ELEC montre qu'un recours plus élevé au vecteur électrique permettrait d'économiser 90 milliards d'Euros dans la décarbonation du système énergétique
- 3.3. Avec une très légère croissance de la demande (1 % par an¹²), le besoin de nucléaire dépasserait même la taille du parc actuel après 2030, ce qui commande une attitude prudente dans le rythme de réduction du parc
- 3.4. Au-delà de 2050 (FNS_2070 et FNS_2070_SF), l'exigence de décarbonation profonde tire la demande électrique à la hausse, avec un potentiel « effet rebond » pour le nucléaire en France et en Europe et une croissance de la production nucléaire de l'ordre de 200 TWh entre 2050 et 2070

Les recommandations de la SFEN

- **Piloter la décroissance du nucléaire en fonction des dynamiques des autres énergies décarbonées, et non *a priori*.** La PPE est conçue pour permettre, par pas de 5 ans, la prise en compte graduelle des incertitudes qui sont nombreuses, à la fois sur la demande, les stratégies de nos voisins européens, et les progrès techniques et économiques attendus. Conserver de la puissance nucléaire disponible est moins coûteuse, plus cohérente avec la démarche adaptative de la PPE, et permettra à la France de piloter plus efficacement sa décarbonation, face à ces incertitudes.
- **Mener une réflexion publique sur la mise en place d'un programme industriel permettant de diminuer significativement les coûts du nucléaire de troisième génération.** Le besoin de socle nucléaire en 2050, et le potentiel rebond de cette énergie en France et en Europe à long terme pour atteindre des objectifs de décarbonation profonde, rendent impérative cette réflexion. Les progrès de compétitivité à réaliser lors du renouvellement du parc français bénéficieront au reste de l'Europe, où 70GW de nouvelles capacités nucléaires sont à construire d'ici 2050.

11 – Les coûts de production du nouveau nucléaire français - SFEN, mars 2018.

12 – À partir de 2020.