

# Le rôle du nucléaire dans la transition électrique

Par Valérie FAUDON

Société française d'énergie nucléaire

La France s'appuie aujourd'hui sur un socle nucléaire pour garantir sa sécurité d'approvisionnement en électricité bas-carbone, au prix le plus bas d'Europe de l'Ouest. Elle s'est engagée à diversifier son mix électrique dans les années qui viennent, au fur et à mesure de la montée en performances techniques et économiques des énergies renouvelables, des moyens de stockage de l'électricité et des réseaux intelligents. À l'horizon 2050, elle aura toujours besoin d'un socle nucléaire, elle doit donc préparer dès maintenant le programme industriel devant lui permettre de renouveler une partie de son parc. À l'échelle mondiale, le nucléaire sera une solution indispensable pour atteindre les objectifs de décarbonation du système électrique. À l'échelle européenne, le parc nucléaire français contribue déjà à décarboner nos voisins : grâce à notre solde exportateur net, mais aussi parce que ce parc permet, du fait de sa flexibilité, aux énergies renouvelables variables de se développer. La France est également le pays d'Europe qui reste le plus apte à construire des réacteurs nucléaires, à l'heure où l'essentiel des nouvelles constructions est concentré en Asie. C'est seulement grâce à la France qu'il sera encore possible, si une prise de conscience le permet, de relancer au cours des toutes prochaines décennies des programmes européens en matière d'énergie nucléaire.

L'expression « transition électrique » recouvre aujourd'hui deux concepts très différents, selon que l'on en parle à l'échelle mondiale ou à l'échelle française.

À l'échelle mondiale, le secteur électrique est responsable aujourd'hui d'environ 40 % des émissions de gaz à effet de serre et est, de fait, au cœur des enjeux climatiques. Les centrales à charbon et à gaz représentent toujours 63 %<sup>(1)</sup> de la production totale d'électricité dans le monde. Quand on parle de transition électrique, il s'agit donc de répondre d'ici à 2050 à un double enjeu : décarboner entièrement le secteur, tout en répondant à un doublement de la demande sur la même période ; pour rappel, en 2018, un milliard d'êtres humains n'ont toujours pas accès à l'électricité.

À l'échelle de la France, le concept de transition électrique se traduit différemment : l'Hexagone est un des très rares pays du monde à avoir, grâce à son parc nucléaire et à sa production renouvelable (hydroélectrique, principalement), déjà décarboné à plus de 90 % son mix électrique. Il peut d'ores et déjà s'appuyer également sur cette électricité décarbonée pour décarboner, via l'électrification des usages, les autres secteurs encore très consommateurs de pétrole et de gaz, en l'occurrence les transports et l'habitat. Alors que le nucléaire représentait 71,6 % de la production<sup>(2)</sup>

(48,5 % de la capacité installée) en 2017, la question de la transition électrique est donc plutôt celle de la diversification du mix électrique dans les années à venir, au fur et à mesure des progrès techniques et économiques attendus, entre autres, dans les énergies renouvelables, le stockage ou les réseaux électriques intelligents.

La trajectoire de cette transition électrique doit satisfaire de nombreux impératifs : il s'agit de maintenir les performances actuelles du secteur électrique, voire de les améliorer, que ce soit en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre, la sécurité d'approvisionnement, le prix de l'électricité et aussi, bien sûr, le développement de filières industrielles créatrices d'emplois qualifiés. D'un côté, on peut dire que la barre est haute : la France est aujourd'hui reconnue<sup>(3)</sup> comme le numéro un mondial pour la qualité, la disponibilité et l'accès à son électricité. La filière nucléaire française est, quant à elle, la troisième filière industrielle au plan national, derrière l'aéronautique et l'automobile, avec ses 2 500 entreprises<sup>(4)</sup>, ses 220 000 emplois non délocalisables et un taux de qualification deux

(1) AIE 2018.

(2) RTE.

(3) KPMG (2016), *Choiseul Energy Index*.

(4) CSFN.

fois supérieur à la moyenne de l'industrie. De l'autre, on peut dire que les risques sont importants à la fois sur le plan climatique et sur le plan économique : le choix d'une mauvaise trajectoire pourrait entraîner la nécessité de construire rapidement des centrales à gaz et accroître ainsi fortement nos importations de gaz fossile, lequel est fortement émetteur de gaz à effet de serre.

Quel sera le rôle du nucléaire dans le mix électrique de demain ? Dans cet article, nous nous intéressons plus spécifiquement à deux dimensions : d'abord, la question du coût, et plus précisément celle de la compétitivité du nucléaire, et, ensuite, une efficacité énergétique du nucléaire essentielle en matière de décarbonation, avec un focus particulier sur la flexibilité du parc nucléaire français.

## Le nucléaire est-il toujours compétitif ?

### Le parc nucléaire actuel s'avère être le moyen de production le plus compétitif au titre des années à venir

L'électricité est un bien de première nécessité. Le nucléaire permet aux Français de bénéficier des prix de l'électricité les plus bas d'Europe de l'Ouest. En comparaison, un ménage allemand payait fin 2017 son courant plus de 60 % plus cher qu'un ménage français.

Cette performance est obtenue en grande partie grâce au parc nucléaire existant. Avec un coût cash de production à 33 €/MWh<sup>(5)</sup> (qui comprend les investissements nécessaires à la poursuite d'une exploitation au-delà de quarante ans), le parc nucléaire français actuel est, pour les années à venir, le moyen le plus compétitif pour produire de l'électricité. Déjà amorti, il restera naturellement moins coûteux que n'importe quel autre nouveau moyen de production, et ce quel qu'il soit.

Ainsi, les différents scénarios étudiés par la SFEN<sup>(6)</sup> (modèle PRIMES) montrent que plus la diversification du mix électrique est lissée dans le temps, et moins le coût de la transition sera important en termes d'investissement dans de nouvelles installations de production ou dans l'adaptation des réseaux de transport et de distribution d'électricité. Ainsi, dans le scénario prévoyant une part du nucléaire égale à 50 % du mix électrique en 2045, au lieu de 2030, le prix de l'électricité serait inférieur de 10 %, cela étant directement lié au coût de production très compétitif du parc nucléaire existant.

### On aura besoin de renouveler une partie du parc en faisant appel à des moyens nucléaires de nouvelle génération

À plus long terme, entre 2030 et 2050, la France devra renouveler une partie de son parc nucléaire en faisant appel à de nouveaux moyens de production bas-carbone. Le futur mettra en jeu des énergies renouvelables à bas coût, mais variables. La structure du mix dépendra de leurs caractéristiques en matière de variabilité, de celles de la demande d'électricité et des capacités de gestion (stockage, effacement).

Tous les grands scénarios de décarbonation à l'échelle mondiale, que ce soit ceux élaborés par l'AIE<sup>(7)</sup> ou le GIEC<sup>(8)</sup>,

prévoient une part des moyens bas-carbone pilotables de l'ordre de 40 à 50 %, à l'horizon 2050. Le nucléaire est, avec l'hydroélectricité, l'un de ces grands moyens. Ainsi les scénarios de décarbonation de l'Union européenne<sup>(9)</sup> suggèrent-ils une forte croissance de la part des énergies renouvelables dans le mix électrique français à l'horizon 2050, mais tout en constatant la persistance d'un besoin d'au moins 40 GW de nucléaire en France et de 70 GW dans le reste de l'Union européenne.

### En matière de compétitivité, le nucléaire ne peut être comparé qu'à des alternatives apportant les mêmes services

Les difficultés rencontrées ces dernières années par les premiers chantiers de réacteurs de 3<sup>ème</sup> génération ont suscité des interrogations sur l'économie des nouvelles constructions d'installations nucléaires à moyen et long terme. Au regard de la baisse des coûts des moyens de production renouvelables, du solaire plus particulièrement, le nouveau nucléaire sera-t-il vraiment compétitif à l'horizon 2030-2050 ?

La question de la compétitivité de chacun des moyens de production ne peut plus être posée de manière isolée. D'abord, elle sera de plus en plus impactée par l'évolution du prix du CO<sub>2</sub>. Mais surtout on ne pourra plus parler d'un coût « sortie d'usine ». On devra en effet de plus en plus tenir compte des interdépendances au sein du système électrique : pourcentage de sources non pilotables, limites des moyens de stockage et des autres sources de flexibilité. La compétitivité s'appréciera aussi différemment en fonction de l'évolution de la structure du marché de l'électricité.

Le nucléaire fonctionne 24h/24, 7j/7, et ce quelles que soient les conditions météorologiques. Il est même capable d'apporter, comme on le verra pour la France, une grande flexibilité. En matière de services rendus au système, le nucléaire ne peut être en effet comparé qu'à des moyens de production eux aussi pilotables comme les unités à charbon, au gaz, ou encore, à l'hydroélectricité. Si l'on considère que l'hydroélectricité ne pourra pas se développer beaucoup plus en Europe, et que les technologies de capture et séquestration de carbone (CCS) n'ont pas encore atteint la maturité technologique et économique, le nouveau nucléaire est dès lors le seul moyen à la fois bas-carbone et pilotable qui soit disponible et déployable en Europe.

### On peut réduire le coût du nucléaire de nouvelle génération

Si les premiers chantiers EPR ont enregistré des retards et des dépassements des budgets initiaux, le plus gros des difficultés est en voie d'être surmonté : l'EPR de Taishan

(5) SFEN (2017), « Coût de production du parc nucléaire français », septembre.

(6) SFEN (2018), « Le nucléaire français dans le système énergétique européen ».

(7) AIE ETP (2017), scénarios 2DS et B2DS.

(8) Special Report 1,5C summary for policy makers.

(9) EUCO 30 P. Capros E3 Modelling, septembre 2017.

en Chine a démarré le 6 juin dernier. Ces chantiers ont permis de revitaliser une chaîne industrielle française qui avait perdu en compétence suite à sa mise en sommeil de quinze ans ayant suivi l'achèvement de la construction des derniers réacteurs, dans les années 1990. Le pays est de nouveau en capacité de construire, et doit garder aujourd'hui la maîtrise d'éléments stratégiques nécessaires au renouvellement de son parc.

Il s'agit désormais pour le gouvernement d'apprécier au mieux quel programme industriel la France doit mettre en œuvre pour renouveler, aux meilleures conditions économiques, une partie de son parc sur la période 2030-2050 et garantir un coût de production compétitif par rapport aux moyens de production pilotables, c'est-à-dire principalement aux centrales à gaz fossiles. EDF a déclaré viser un objectif de 60 à 70 € par MWh<sup>(10)</sup>.

Bénéficiant de l'expérience de la construction du parc actuel, de nombreuses pistes existent pour diminuer le coût de l'investissement initial – principale composante du coût de production futur –, qui inclut à la fois le coût de construction et une part importante des coûts financiers. La construction de réacteurs par paire sur un même site génère déjà des économies de 15 % grâce aux gains réalisés sur les études et à une meilleure gestion des équipes. Le bénéfice des effets de série est atteint dès la construction de trois paires, soit six unités. Un bon cadencement des chantiers, grâce à une visibilité programmatique, permettrait aux acteurs de l'ensemble de la filière de calibrer leurs investissements dans leurs outils industriels, ainsi que leurs recrutements et leurs investissements en compétences. Les études montrent aussi la forte sensibilité du coût de l'investissement initial aux conditions de financement des projets. Une étude de la Cour des Comptes britannique<sup>(11)</sup> suggère une meilleure répartition des rôles entre les pouvoirs publics et les acteurs industriels. Les dernières annonces britanniques concernant le montage financier du prochain projet de construction d'une centrale nucléaire au pays de Galles, sur le site de Wylfa<sup>(12)</sup>, vont dans ce sens.

### Peut-on se passer, à l'échelle mondiale, du nucléaire pour décarboner le système électrique ?

La France s'est fixé une ambition à la fois nationale et internationale dans la lutte contre le changement climatique. Trois ans après la COP21 et l'Accord mondial sur l'objectif de limiter le réchauffement à 1,5 °C en 2100, le dernier rapport du GIEC alerte sur le fait que cette limite pourrait être atteinte entre 2030 et 2040 : un constat, nous sommes en train de perdre la bataille climatique. La France, à travers le plan Climat, s'était également fixé un objectif de décarbonation à horizon 2050, mais ses émissions ont encore augmenté de 4 % en 2017.

#### **Le nucléaire est un moyen efficace et reconnu de décarbonation**

Le GIEC<sup>(13)</sup> établit la médiane des émissions du nucléaire au niveau mondial à 12 g/kWh, soit au même niveau que l'éolien. En France, les émissions se situent dans la four-

chette basse (jusqu'à 4-5 g/kWh, selon certaines études), en raison du faible contenu carbone de l'électricité utilisée pour l'étape de l'enrichissement de l'uranium.

La production d'énergie nucléaire fournie par trente pays différents était en légère augmentation en 2017 représentant 10,3 %<sup>(14)</sup> de la production mondiale d'électricité. Depuis 1970, elle a permis d'éviter plus de 60 Gt de CO<sub>2</sub> dans le monde, soit l'équivalent de cinq années d'émissions de CO<sub>2</sub> du secteur électrique. Ceci en fait la deuxième énergie bas-carbone contributrice, derrière l'hydroélectricité.

À l'exception de la Norvège, les pays européens qui ont rapidement réduit leurs émissions dans le secteur électrique (la Suède, la Suisse et la France), combinent énergie nucléaire et hydroélectricité. Grâce à l'énergie nucléaire, la France est le pays le plus décarboné<sup>(15)</sup> (en émissions par habitant) des sept plus grands pays industrialisés (G7). Enfin, l'analyse du programme nucléaire suédois mis en œuvre à partir de 1972<sup>(16)</sup> démontre la capacité du nucléaire à décarboner rapidement le système électrique : les émissions par habitant y ont baissé de 75 % en moins de vingt ans.

Le nucléaire est aujourd'hui disponible industriellement dans tous les grands pays émetteurs de gaz à effet de serre de la planète : la Chine, les États-Unis, l'Inde, l'Europe, le Japon... Il représente une véritable alternative bas-carbone au charbon (production massive, 24h/24), qui est l'énergie la plus émettrice de gaz à effet de serre et la plus polluante, celle-ci représente aujourd'hui encore 40 % de la production d'électricité mondiale.

### **Précipiter la fermeture de capacités pilotables bas-carbone, comme le nucléaire, pourrait aller à l'encontre des objectifs climatiques**

Dans son « Bilan prévisionnel 2017 », RTE a montré que réduire la part du nucléaire à 50 % en 2025 nécessiterait la fermeture forcée de 23 à 27 réacteurs, ce qui se traduirait par un besoin accru d'infrastructures de production pilotables fossiles : le maintien des centrales au charbon existantes au-delà de 2025 et la construction d'une vingtaine de nouvelles centrales au gaz. Au total, ce scénario entraînerait une augmentation des émissions variant de 38 à 55 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an, soit l'équivalent de deux tiers des émissions de CO<sub>2</sub> du parc automobile français<sup>(17)</sup>. Ce scénario rappelle les exemples récents américains (Californie, Vermont, New Jersey<sup>(18)</sup>), où l'on a vu qu'avec des fermetures prématurées de centrales

(10) Soit le niveau nécessaire pour être dans la fourchette basse des coûts des centrales à cycle combiné gaz avec un prix du carbone de l'ordre de 20 à 30 €/tCO<sub>2</sub>.

(11) Hinkley Point C (2017), National audit office, juin.

(12) <https://www.bbc.com/news/uk-wales-44161097>

(13) 5<sup>ème</sup> rapport d'évaluation, 2015.

(14) AIEA.

(15) Banque mondiale.

(16) ScienceMag (2016), China-U.S. cooperation to advance nuclear power.

(17) MEDDE (2016), « Les émissions de gaz à effet de serre (GES) des voitures particulières (VP) s'élèvent à 69,5 millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> en 2014 - Chiffres clés de l'environnement ».

(18) SFÉN, « Urgence climatique : peut-on se passer du nucléaire ? ».

nucléaires, c'étaient des centrales à gaz de schiste, fortement émettrices de gaz à effet de serre, mais pilotables, qui s'étaient pour l'essentiel substituées à l'énergie nucléaire bas-carbone.

Si l'échéance fixée à 2025 de 50 % d'énergies renouvelables dans le mix énergétique a été repoussée en France, trois incertitudes importantes demeurent sur la sécurité d'approvisionnement pour notre pays dans les années qui viennent. La première incertitude concerne la stratégie de nos voisins, avec lesquels la France est de plus en plus interconnectée. La seconde est le rythme de déploiement des énergies solaires et éoliennes, ainsi que du stockage. Enfin, on ne peut exclure, malgré les progrès réalisés en termes d'efficacité énergétique, une légère augmentation de la consommation d'électricité. L'électricité bas-carbone est en effet un atout reconnu, et ce dans tous les scénarios de décarbonation : elle offre d'ores et déjà des solutions pour de nombreux usages quotidiens, dans lesquels la consommation d'énergies fossiles est encore forte, comme celui des transports ou de l'habitat. Les nombreuses qualités de ces solutions sont susceptibles d'accélérer leur adoption par les Français.

### Le nucléaire français contribue fortement à la décarbonation du système électrique européen, en particulier par sa flexibilité

La production nucléaire s'insère dans le système électrique européen et participe à chaque instant à son fonctionnement. Son fonctionnement « en base » constitue un apport majeur en électricité bas-carbone, non seulement en France, mais également dans l'ensemble de l'Europe. Le solde exportateur net français a été ces dernières années de l'ordre de 10 % de la production, avec des pointes d'exportation à 74,2 TWh en 2017. Parce que son électricité présente une teneur en carbone très faible (76 g/CO<sub>2</sub>/MWh) par rapport à la moyenne européenne (350 g/CO<sub>2</sub>/MWh), la France contribue à décarboner le mix électrique de ses voisins européens. De ce point de vue, la France apporte une contribution analogue à celle de la Suède, qui a été en 2015 – année record de production de son parc composé d'hydraulique, de nucléaire et d'éolien – capable d'exporter jusqu'à près de la moitié<sup>(19)</sup> de sa production électrique bas-carbone à destination de ses voisins, dont des pays très « charbonnés », comme la Pologne, l'Allemagne et la Lituanie.

Mais le nucléaire français permet également, par sa flexibilité (possibilité de mobiliser plus ou moins 80 % de puissance en trente minutes), de contribuer à la gestion de la variabilité de l'offre d'électricité européenne, qui croît

avec l'augmentation de la part du parc de renouvelables. Il se révèle ainsi essentiel pour permettre la montée en puissance des énergies renouvelables non seulement en France, mais aussi dans les autres pays, et évite pour une bonne part le recours à des unités à gaz ou à charbon par des pays qui développent des parcs EnR.

Une récente étude réalisée conjointement par l'IDDRI et l'Agora-Energiewende<sup>(20)</sup> montre, au-delà de l'analyse des exportations nettes, qu'une baisse des capacités nucléaires françaises conduirait à une « hausse des émissions de CO<sub>2</sub> dans les pays voisins de la France, notamment l'Allemagne, et par effet domino dans l'ensemble des pays du système interconnecté ».

La flexibilité du nucléaire, qui permet de faire du suivi de charge en alternative au stockage, est aujourd'hui identifiée comme une fonctionnalité majeure pour le développement de nouveaux réacteurs nucléaires, en particulier les SMR (*Small Medium Reactors*).

## Conclusion

Trois ans après la COP21, les émissions de gaz à effet de serre, au lieu de diminuer, n'ont cessé d'augmenter dans le monde, y compris en France. Notre pays, qui a déjà décarboné son électricité, doit investir pour réduire sa consommation d'énergie fossile et piloter de manière prudente son mix électrique, pour ne pas être contraint de développer à court et moyen terme des centrales à gaz fossile. Il doit d'ores et déjà préparer le programme industriel qui lui permettra d'assurer la pérennité de son socle nucléaire à l'horizon 2050, avec le renouvellement d'une partie de son parc. Alors que la Chine représente un tiers des constructions mondiales, et que le barycentre se déplace vers l'Asie, la France est le dernier pays européen apte à concevoir et à construire des réacteurs nucléaires, si toutefois elle entretient ses compétences par le lancement d'un programme national. C'est donc seulement grâce à la France qu'il sera encore possible, si l'Europe prend conscience de l'importance stratégique de la technologie nucléaire pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, de relancer au cours des prochaines décennies des programmes européens en matière d'énergie nucléaire.

(19) <https://news.vattenfall.com/en/article/large-electricity-production-and-record-exports-sweden>

(20) « L'Energiewende et la transition énergétique à l'horizon 2030 », mars 2018.