



A PROPOS

Energie et Développement est un cabinet de conseil et de formation spécialisé dans l'accompagnement des transitions énergétiques et climatiques. Engagés et indépendants, nous promovons une approche des questions énergétiques pragmatique et pluridisciplinaire. Nous nous efforçons donc d'explorer chaque situation sans parti-pris ni a priori, en nous appuyant seulement sur l'analyse des données techniques, économiques et politiques à notre disposition.

C'est ce que nous avons essayé de faire au travers de ce cahier d'acteur. Constatant que l'avenir du nucléaire français est une question fortement clivante, avec des positions largement divergentes dont aucune ne nous semble entièrement convaincante, nous proposons ici une voie nouvelle qui, nous l'espérons, pourra être la base du consensus indispensable à une politique énergétique ambitieuse.

CAHIER D'ACTEUR

Une proposition de consensus pour le mix électrique français

UNE SITUATION EXCEPTIONNELLE QUI APPELLE DES MESURES EXCEPTIONNELLES

La mise en œuvre de l'objectif de 50% de nucléaire dans le mix électrique français, fixé par la loi de transition énergétique pour la croissance verte, a occupé une place importante dans les discussions autour de la prochaine programmation pluriannuelle de l'énergie. Le débat s'est cristallisé autour de deux grandes alternatives : fixer un échéancier de fermeture de réacteurs ou conserver le parc actuel en abandonnant de fait l'objectif de 50%. Bien qu'opposées, ces options répondent à des préoccupations légitimes : la première permettrait de diversifier le mix électrique français, facilitant ainsi la gestion de la fin de vie du parc nucléaire actuel, la seconde préserverait la part commandable du mix de façon à éviter un retour des énergies fossiles.

Une troisième voie n'a pas été explorée : celle qui consisterait à diversifier rapidement notre mix électrique sans réduire le parc nucléaire. Dans ce cas, le rééquilibrage se ferait par la réduction du facteur de charge de réacteurs modulant leur production pour faciliter l'intégration sur le réseau des autres énergies décarbonées. Ce mode de fonctionnement pourrait permettre d'atteindre l'objectif de 50% sans dépendre de paris technologiques ou d'échanges aux frontières pour équilibrer le réseau français.

L'exploitation systématique de la flexibilité de notre parc nucléaire pour intégrer une part de renouvelables variables en forte croissance apparaît comme une solution équilibrée pour permettre la diversification de notre mix bas-carbone à l'échelle de la prochaine décennie. S'il est vrai que cette solution n'a pas encore été testée à grande échelle, il l'est tout autant que la France possède un mix électrique unique au monde. Ayant emprunté un chemin qui nous est propre, nous sommes obligés de continuer à inventer notre propre voie - et de concevoir notre politique énergétique sans avoir la possibilité de nous appuyer sur l'expérience de qui que ce soit

DEUX CAMPS, DES INQUIETUDES LEGITIMES

La question nucléaire française

La question nucléaire française est avant tout celle de la gestion de la fin de vie du parc de deuxième génération. Ces installations, qui fournissent selon les années 71 à 77% de notre électricité, ont été mises en service très rapidement et risquent donc d'arriver en fin de vie presque toute en même temps : **d'ici à 2025, 34 de nos 58 réacteurs, soit plus de la moitié de la puissance installée, auront dépassé l'âge de 40 ans. Leur capacité à continuer à fonctionner après cet anniversaire n'est pas assurée**, elle dépend notamment de très lourds investissements et d'un avis de l'Autorité de Sûreté Nucléaire qui sera rendu en 2020.

En réalité cependant nous sommes incapables de nous passer de ces réacteurs ou de les remplacer sur une période de temps aussi courte, et cela quelle que soit la filière retenue. Il n'est pas non plus évident que le démantèlement de ces installations ait été correctement provisionné¹. Nous sommes donc probablement déjà face à un fait accompli : le parc nucléaire français devra être prolongé d'au moins 10 ans faute d'alternative. Mais il ne s'agira que d'un répit : sans une action résolue, le problème se posera à nouveau rapidement dans les mêmes termes. **L'objectif de 50% de nucléaire dans le mix électrique français apparaît avant tout comme un objectif de diversification du mix électrique français** limitant le risque que ce scénario se répète. Sa mise en œuvre est d'importance capitale pour l'avenir de notre pays et constitue un enjeu majeur de la prochaine programmation pluriannuelle de l'énergie.

La voie qui semble privilégiée pour y parvenir consiste à diminuer la taille du parc nucléaire français en établissant un échéancier de fermeture de réacteurs. Cette perspective suscite une résistance importante. Ses adversaires s'inquiètent des conséquences économiques et sociales de la fermeture des installations nucléaires. Ils craignent aussi la baisse de la part commandable dans le mix électrique français : en développant des énergies renouvelables variables aux

dépens du nucléaire, ne s'oblige-t-on pas à recourir à des mesures de rationnement ou aux énergies fossiles lorsque les conditions météorologiques ne sont pas favorables ? Enfin, la capacité de l'Etat à imposer un échéancier de fermeture de réacteur semble incertaine - comme l'a montré le feuilleton de la fermeture de Fessenheim.

L'obstacle de l'équilibrage du réseau

Il existe un point sur lequel les partisans et les opposants de la fermeture de réacteurs se retrouvent : leurs projections ne parviennent à équilibrer le réseau qu'au prix d'hypothèses douteuses.

L'électricité ne se stockant pas, la demande et l'offre doivent être égales à chaque instant. Si la consommation est supérieure à la production, la fréquence baisse ce qui peut entraîner rapidement la mise en sécurité de groupes de production et l'effondrement du réseau. Et contrairement à la plupart des autres produits, il ne vaut pas mieux avoir trop que pas assez : dans ce cas, la fréquence va augmenter ce qui conduira là aussi à de graves dysfonctionnements.

Dans un contexte de progression régulière des énergies renouvelables variables, comme le solaire photovoltaïque et l'éolien, assurer l'équilibre du réseau devient problématique. Les partisans de l'énergie nucléaire, qui souhaitent conserver intact le parc de production malgré ces nouvelles installations, se trouvent face à un surplus d'électricité dans les périodes de forte production renouvelables et/ou de faible demande. Les opposants, qui appellent à fermer des réacteurs, doivent gérer un problème de sous-production dans les périodes défavorables aux renouvelables et/ou de forte demande.

Pour surmonter ce problème, **partisans et opposants à la fermeture de réacteurs font des hypothèses trop optimistes sur la flexibilité de la demande d'électricité et surtout sur les capacités d'importation ou d'exportation**. Les deux scénarios établis par RTE et retenus dans le cadre de ce débat, Volt et Ampère, tablent respectivement sur des exportations d'électricité de 152 et 109TWh par an en 2030, soit un niveau inédit sur la planète : en 2017, le plus grand

exportateur mondial d'électricité était le Canada avec 63TWh net. Les scénarios alternatifs ne sont pas plus crédibles, une étude récente² envisage, par exemple, de parvenir à 50% de nucléaire en 2030 avec encore 81TWh d'exportation annuelles dont un solde nettement déficitaire en hiver.

Ces propositions reviennent à faire reposer sur les autres pays européens l'équilibrage du réseau français.

Nos voisins devraient, selon les cas, absorber notre surplus mais rester capables de satisfaire leurs propres besoins en période de tension, ou bien être en mesure de nous fournir l'électricité dont nous aurons besoin pour passer nos propres périodes difficiles donc maintenir à notre profit des capacités onéreuses. Cette externalisation des coûts et, dans certains cas, des émissions est peut-être réalisable techniquement mais elle pose de graves problèmes économiques, politiques et environnementaux. En l'absence d'un mécanisme permettant de financer les capacités que nos voisins maintiennent à notre profit, il est difficile d'imaginer qu'elle soit durable.

UNE PROPOSITION ALTERNATIVE

Utiliser la flexibilité de la production nucléaire

Si les deux camps se trouvent face à la même impasse, c'est parce qu'ils partagent une hypothèse centrale : la production nucléaire française, quelle que soit son niveau, ne serait pas en mesure d'assurer elle-même l'équilibre de notre réseau.

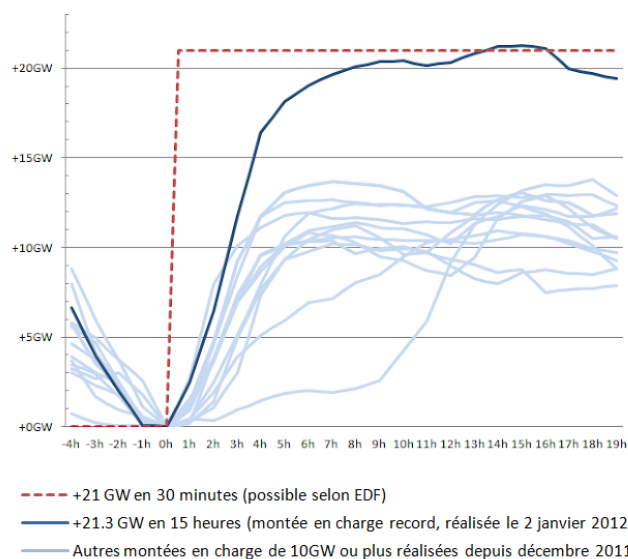
Cette hypothèse fait écho au fonctionnement historique des réacteurs nucléaires. Comme les grandes centrales à charbon, ils produisent "en base", c'est-à-dire à puissance presque constante, la production ne baissant pratiquement que pour tomber à zéro lors des opérations de maintenance ou des arrêts inopinés. Dans ce schéma, les besoins de flexibilité sont satisfaits par des centrales spécifiquement destinées à cette usage, en général des turbines à gaz ou hydroélectriques.

Il est important de noter que ce fonctionnement trouve son origine dans un raisonnement économique : l'électricité issue des centrales nucléaires est réputée

avoir un coût marginal très faible parce que le combustible est peu onéreux, une fois les centrales construites il semblait donc logique de les utiliser le plus souvent et le plus longtemps possible. Ce raisonnement est aujourd'hui remis en cause : dans certaines conditions, un fonctionnement en suivi de charge pourrait améliorer la rentabilité des réacteurs tout en réduisant le prix de l'électricité³.

Quoiqu'il en soit, l'utilisation traditionnelle du nucléaire en base ne signifie pas qu'un réacteur ne peut fonctionner que dans ce mode. En France, la dimension du parc nucléaire impose depuis l'origine son utilisation en suivi de charge. L'étude de son fonctionnement actuel montre que les réacteurs français sont capables d'adapter leur production jusqu'à 5GW en une heure et au moins d'une dizaine de gigawatts en 3 à 6 heures.

Montée en puissance du parc nucléaire français



Le parc nucléaire français dispose donc déjà d'une flexibilité conséquente. EDF affirme qu'il est possible d'élargir ce mode de fonctionnement de façon à faire varier la production jusqu'à 21GW⁴. **L'utilisation systématique de cette flexibilité pourrait permettre l'intégration de 20% d'éolien et 10% de solaire⁵, soit 3 et 6 fois plus qu'en 2017. Ajouté à des parts d'hydroélectricité, de gaz et de bioénergies stables, respectivement autour de 10%, 8% et 2%, il serait donc possible d'atteindre l'objectif de 50% de nucléaire inscrit dans la LTECV en fermant les dernières centrales à charbon et sans dépendre des échanges transfrontaliers ou de paris technologiques risqués**

pour l'équilibrage du réseau.

Concessions réciproques

En d'autres termes, **l'objectif de 50% pourrait être atteint non pas par une réduction du parc nucléaire à facteur de charge constant mais par une baisse du facteur de charge à puissance installée constante.** Le levier principal est donc le développement des renouvelables : environ 45GW de nouvelles installations solaires et autant d'éolien sont nécessaires pour réduire la part du nucléaire à 50%.

Ce fonctionnement impose une concession à la fois de la part des opposants et des partisans de l'atome. Pour les premiers, il faut renoncer à fermer des réacteurs : diminuer la taille du parc, ce serait réduire d'autant la flexibilité du mix électrique français et donc notre capacité à intégrer une production renouvelable variable. Pour les seconds, il faut accepter que le facteur de charge du parc nucléaire français a vocation à se dégrader : les réacteurs devront s'effacer pour laisser produire les renouvelables, et verront donc leur taux d'utilisation baisser au fur et à mesure que celles-ci se développeront, peut-être jusqu'au point où l'exploitant souhaitera retirer des réacteurs trop peu utilisés.

RECOMMANDATIONS

La **programmation pluriannuelle de l'énergie devrait donc exclure la fermeture de réacteurs nucléaires, sauf à l'initiative de l'exploitant ou de l'Autorité de Sureté Nucléaire.** De la même façon, la construction éventuelle de nouveaux réacteurs, dans la limite fixée à l'article L311-5-5 du code de l'énergie, devrait être laissée à l'appréciation de l'exploitant.

En contrepartie, EDF mettra en place **un prélèvement sur la production de ses réacteurs nucléaires de deuxième génération, qui feront à cette fin l'objet d'une comptabilité séparée.** Ce prélèvement, dont le montant minimal pourrait être fixé à 5€/MWh,

alimentera un fonds destiné à gérer la fin de vie du parc nucléaire actuel, y compris le démantèlement des installations et la reconversion des salariés et des territoires. Il permettra par ailleurs d'augmenter le coût variable du parc nucléaire de deuxième génération rendant ainsi moins attractif son fonctionnement en base.

En conclusion, nous proposons d'atteindre l'objectif de 50% non pas par la fermeture de réacteurs mais par une baisse du facteur de charge à parc nucléaire constant. Pour cela nous recommandons l'utilisation d'un outil financier désincitant l'utilisation en base du nucléaire historique couplé à un développement rapide des énergies renouvelables. Nous pensons qu'il s'agit d'une proposition équilibrée permettant de tirer parti du parc nucléaire actuel pour faciliter l'intégration d'énergies variables et accélérer le rééquilibrage du mix électrique français tout en limitant les risques liés à la fin de vie de ce parc pour l'exploitant et pour la société française dans son ensemble.

¹ Entretien avec Barbara Romagnan, rapporteure de la mission d'information parlementaire sur la faisabilité technique et financière du démantèlement des installations nucléaires de base. Disponible en ligne : energie-developpement.blogspot.com/2017/04/barbara-romagnan-demantelement-nucleaire.html

² Energy Union Choices (2018), *Plus propre, plus intelligent, moins cher : saisir les opportunités dans un système électrique européen en transition*

³ Roberto Ponciroli et al. (2017), *Profitability evaluation of load-following nuclear units with physics-induced operational constraints*

⁴ Entretien avec Stéphane Feutry, Délégué d'état major à la Direction Production Nucléaire d'EDF. Disponible en ligne : energie-developpement.blogspot.com/2018/02/flexibilite-parc-nucleaire-EDF.html

⁵ Camille Cany (2017), *Interactions entre énergie nucléaire et énergies renouvelables variables dans la transition énergétique en France : adaptations du parc électrique vers plus de flexibilité*