

Les leviers industriels de la compétitivité du nucléaire

Par Xavier URSAT

Directeur exécutif d'EDF en charge de la direction Ingénierie et projets Nouveau nucléaire

Le parc nucléaire français arrivera à une période pivot vers 2030-2035. Héritage d'une politique de long terme, qui voulait assurer l'indépendance énergétique du pays, il constitue un atout économique, social et environnemental. Les temps de l'industrie sont longs et il convient, dès à présent, d'instruire les conditions de son renouvellement.

Pour la construction du premier EPR de Flamanville, la filière a dû faire face à des difficultés. Le projet a joué son rôle de relais industriel. Les enseignements à en tirer sont d'ores et déjà intégrés à la réflexion relative à un programme de nouveaux réacteurs.

Leur construction nécessiterait une large mobilisation des acteurs industriels et de la société dans son ensemble. La filière nucléaire française a un grand défi à relever pour être au rendez-vous. Elle doit poursuivre son effort pour consolider sa maîtrise industrielle et sa performance économique dans un monde en transition.

Introduction

La lutte contre le réchauffement climatique est au cœur de toutes les préoccupations.

Face à l'urgence qui s'annonce, une conviction s'impose, des experts du GIEC aux pouvoirs publics, en passant par des voix toujours plus nombreuses et variées : le recours à l'électricité d'origine nucléaire fait partie de tous les scénarios visant à apporter une réponse aux enjeux climatiques des prochaines décennies. Le parc nucléaire français, grâce auquel notre pays a conquis son indépendance énergétique et a garanti sa sécurité d'approvisionnement, ne fait pas exception. Il constitue un patrimoine qu'il convient de préserver à cet horizon. Cela passera par la mise en œuvre de nouvelles capacités de production nucléaire pour succéder à celles qui avaient été mises en service dans les années 1980. Pour l'heure, aucune décision n'a été arrêtée en ce sens. Depuis un an, les pouvoirs publics ont intégré les industriels aux travaux de constitution d'un dossier visant précisément à instruire cette décision.

Objet de débats souvent passionnels, le nucléaire reste pourtant une source d'énergie d'avenir.

Comment imaginer, dans l'état actuel des connaissances et des technologies, que la France puisse atteindre l'objectif d'une économie sans carbone en 2050 en se privant de l'énergie nucléaire ? Comment imaginer que l'on pourrait relever le défi d'une transition solidaire en faisant l'impasse sur un panel de métiers aussi divers et techniques, aussi ancrés dans les régions que ceux de la

filière nucléaire ? Bref, comment imaginer que l'on pourrait concilier enjeux climatiques et enjeux socio-industriels en négligeant un tel atout pour le pays ? Dans cette perspective, la construction de nouveaux réacteurs doit être envisagée avec sérénité.

Nous devons bien sûr tenir compte des retours d'expérience de la construction des premiers EPR et en tirer tous les enseignements. Les nouveaux projets doivent aussi répondre aux interrogations des populations. Ils doivent s'ouvrir à leur environnement pour accompagner les mutations industrielles et sociales.

EDF inscrit toute son action dans ce sens.

Énergies nucléaires et renouvelables sont parfaitement complémentaires pour garantir la décarbonation complète du système électrique. Le prolongement de la durée de vie de nos centrales, les projets de nouveaux EPR, le développement des énergies renouvelables, de la mobilité électrique, et l'émergence de nouvelles capacités de stockage de l'électricité constituent autant d'axes de notre stratégie fondée sur un mix électrique très bas carbone. La nécessaire ambition d'atteindre la neutralité carbone rend indispensable de s'employer à chacun d'entre eux sans réserve.

Un objectif de neutralité carbone

L'ambition de la lutte contre le changement climatique et l'atteinte d'une neutralité carbone en 2050, fixées par les pouvoirs publics, tant en France qu'au niveau européen, passent, entre autres, par une élimination des émissions

de gaz à effet de serre résultant de la production d'électricité.

C'est déjà largement le cas dans notre pays – le système électrique français étant à 90 % bas carbone – grâce à notre parc de centrales nucléaires (73 %) et aux énergies renouvelables (17 %), en particulier l'hydroélectricité. Cette situation place la France au premier rang des pays industrialisés les moins émetteurs.

La raison ? Les centrales nucléaires n'émettent aucun gaz à effet de serre. Une réalité qui n'est malheureusement pas toujours bien connue, comme en attestent encore certains sondages récents.

Surtout, le nucléaire est performant sur l'ensemble du cycle de vie (ACV) d'une centrale.

Selon des données du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), il génère en moyenne 12 grammes d'équivalent CO₂ par kilowattheure produit : à comparer au charbon (820 grammes), au gaz (490 grammes), au solaire photovoltaïque (45 grammes), mais aussi à l'hydroélectricité (24 grammes) et à l'éolien terrestre (11 grammes).

Fort de ce constat, le GIEC estime que l'urgence climatique nécessitera de faire appel à toutes les technologies bas carbone disponibles, y compris le nucléaire. Les scénarios de décarbonation établis dans son rapport sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5°C supposent que le nucléaire ait une part croissante dans le mix énergétique.

De par sa manœuvrabilité et ses capacités de réserve de puissance, l'énergie nucléaire est adaptée pour accompagner le développement des énergies renouvelables alternatives. Elle garantit l'équilibrage entre production et consommation et la fréquence de 50 Hz qui caractérise la qualité de l'électricité en tout point du réseau. La flexibilité du parc nucléaire constitue un précieux atout pour gérer l'intermittence de la production renouvelable. Nos réacteurs sont capables, par exemple, d'ajuster jusqu'à 80 %, à la hausse comme à la baisse, leur puissance en 30 minutes, et ce deux fois par jour. Cela représente environ 1 300 MW pour un EPR.

Un héritage industriel

La production d'énergie nucléaire, pilotable et décarbonée, constitue un atout pour notre pays. C'est l'héritage d'une politique de long terme, qui voulait assurer l'indépendance énergétique du pays.

Petit rappel. C'est à la suite du premier grand choc pétrolier de 1973 qu'un vaste programme est lancé. Il porte, dans un premier temps, sur la construction de 13 réacteurs en deux ans. Il se poursuivra sur le même rythme pendant des années, puis de manière plus lissée jusqu'en 1999 avec la mise en service du dernier réacteur en France, le second de la centrale de Civaux. Après une interruption, il ne reprendra ensuite qu'avec la construction de l'EPR de Flamanville.

Entre 1974 et 1999, soit en l'espace de 25 ans, EDF a construit et mis en service 58 réacteurs, dont l'âge moyen est aujourd'hui de 33 ans.

Cette réussite technique, de par son ampleur, reste unique au monde à ce jour. Elle tient à plusieurs particularités, dont l'effort de standardisation d'un parc basé uniquement sur des réacteurs de même technologie, le réacteur à eau sous pression (REP), ainsi que la création d'une filière industrielle contrôlant tous les maillons de la chaîne.

Ce parc nucléaire a permis à notre pays d'atteindre un niveau d'indépendance énergétique exceptionnel dans l'Union européenne. Il a garanti la diversification de nos sources d'approvisionnement et a permis à tous les ménages et industriels installés en France de bénéficier d'un prix de l'électricité stable et parmi les plus bas d'Europe.

Il a aussi, avant l'heure, avant que l'urgence climatique ne s'impose dans les débats, permis une réduction très rapide de nos émissions de CO₂.

Rien de tout cela n'aurait eu lieu sans une ferme volonté politique de mettre en œuvre une stratégie industrielle et énergétique ambitieuse à long terme.

Un renouvellement nécessaire

Le parc nucléaire arrivera à une période pivot vers 2030-2035. Il faut d'ores et déjà s'occuper de son renouvellement, car les temps de l'industrie sont longs.

Deux phénomènes se cumulent et bousculent le calendrier.

Les premiers réacteurs mis en service à la fin des années 1970, atteignent leurs 40 ans de fonctionnement. EDF a proposé de poursuivre leur exploitation jusqu'à 50 ans, et même pour la majeure partie d'entre eux jusqu'à 60 ans.

Cette proposition est soumise à l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) qui délivre ses autorisations réacteur par réacteur à l'issue de visites dites « décennales ». 80 % du parc existant aura ainsi atteint 60 ans d'activité avant 2050, âge à partir duquel il serait présomptueux aujourd'hui d'envisager une poursuite de leur production.

La France pourrait donc être confrontée à une réduction rapide de ses capacités pilotables et décarbonées de production électrique, de l'ordre de dizaines de GW, en quelques années seulement.

La trajectoire fixée par la Programmation pluriannuelle de l'énergie avec l'arrêt définitif de quatorze réacteurs de 900 MW avant 2035 (dont les deux réacteurs de Fessenheim dès 2020) a vocation à atténuer cet « effet falaise » en lissant les mises à l'arrêt, à condition de se préoccuper sans tarder du développement des moyens à même d'assurer leur remplacement.

C'est à l'aune de ce contexte et du nécessaire maintien d'un socle nucléaire pilotable que la question du renouvellement du parc nucléaire et donc du lancement d'un programme de construction de nouveaux réacteurs se pose dès à présent.

Le choix politique exprimé par la France de garder ouverte l'option de disposer d'un nucléaire performant dans le mix énergétique, à l'horizon 2050, tient compte de l'état actuel des technologies. Aucune solution alternative n'est disponible ou en voie d'émerger pour renoncer

à cette option ou pour la laisser perdre et donc s'en priver. Cela bien évidemment ne présage pas des innovations à attendre des programmes de recherche et développement. Mais jusque-là, notre devoir est de préserver pour les générations futures toutes les options dont nous disposons.

Or, garder la possibilité de disposer d'un socle suffisant de nucléaire ne peut pas rester au rang de principe. Cela suppose d'engager concrètement, et sans tarder, la construction d'une première série de réacteurs. La durée de leur réalisation, depuis l'engagement des démarches nécessaires à l'obtention des autorisations réglementaires jusqu'à la construction proprement dite des réacteurs, en passant par les études détaillées de conception, la fabrication des équipements dans les usines, la préparation du chantier..., est telle qu'avec une décision d'engagement prise en 2021 ou 2022, les premières mises en service n'interviendraient qu'à l'horizon 2035.

Ainsi, la construction d'une série de trois paires d'EPR – l'hypothèse que le gouvernement a demandé à EDF d'étudier – aurait un double objectif. D'une part, la capacité correspondante d'environ 10 GW, qui entrerait en service progressivement, entre le milieu des années 2030 et la première moitié des années 2040, apporterait la garantie de disposer d'une production pilotable et décarbonée dans le mix électrique à long terme. D'autre part, la visibilité donnée en termes de plan de charge, pendant une vingtaine d'années, permettrait de mobiliser l'ensemble des acteurs industriels sur un objectif visant à retrouver un niveau de performance satisfaisant. Ainsi, la France se donnerait les moyens de garder véritablement mobilisables tous les leviers pour décider dans quinze ans de la suite à donner à l'évolution de son mix énergétique, avec un nucléaire performant, des énergies renouvelables (éolien, solaire) et des moyens de stockage d'électricité (batteries, hydrogène ou autres formes de *Power-to-gas*), voire l'émergence d'éventuelles solutions nouvelles, selon leur performance économique et leur potentiel de déploiement.

A contrario, ne rien engager conduirait rapidement à la perte de notre capacité à construire des réacteurs nucléaires. Cela ferait courir à la France le risque de devoir subir l'évolution de son mix électrique au-delà de 2035. Cela reviendrait à faire le pari de tout miser sur l'émergence de solutions technologiques nouvelles dont personne ne peut aujourd'hui garantir la faisabilité, et encore moins le calendrier de mise en œuvre. Si de tels progrès n'étaient finalement pas au rendez-vous, cela conduirait à un contexte où l'évaluation, sur le plan de la sûreté, des conditions de prolongation du fonctionnement de chaque réacteur actuel au-delà de soixante ans pourrait être contrainte par l'urgente nécessité de garantir la sécurité immédiate d'approvisionnement. La seule alternative serait alors de faire construire, dans l'urgence, des capacités de production technologiquement simples, telles que des centrales à gaz, au prix d'un renoncement aux objectifs de décarbonation et d'indépendance énergétique.

Une indispensable mobilisation de la filière et de la société

Le renouvellement du parc nucléaire français, s'il est décidé, nécessite une large mobilisation des acteurs industriels et de la société dans son ensemble. Compte-tenu des difficultés rencontrées lors de la construction du premier EPR à Flamanville, les doutes sont naturellement légitimes quant à la capacité de la filière de mener à bien un tel programme. Il ne s'agit pas de les éluder, mais le temps presse. Le projet de Flamanville a été l'occasion de ranimer des compétences qui avaient largement été perdues en raison de l'absence de chantier au cours de la décennie précédente. Ces compétences qui ont pu être reconstituées ne doivent pas à nouveau se disperser faute de chantiers.

Première étape pour retrouver la confiance nécessaire, lever les doutes sur l'EPR. Ce réacteur de troisième génération n'est pas un caprice « d'ingénieurs », il fonctionne. En attestent les deux EPR que nous avons construits à Taishan en Chine avec nos partenaires locaux et qui ont été respectivement mis en service en 2018 et 2019.

L'EPR s'inscrit dans la continuité des réacteurs existants avec pour atout d'offrir, à niveau de sûreté identique, une performance économique et environnementale accrue.

Le nouveau modèle de réacteur EPR2, qu'EDF développe, s'appuie largement sur une réplique de l'EPR dont la conception est désormais validée. Il intègre le retour d'expérience issu de Flamanville, ainsi que des projets EPR de Taishan (Chine), Olkiluoto (Finlande) et Hinkley Point (Grande-Bretagne). Il adopte évidemment un niveau de sûreté aussi exigeant que celui de l'EPR. Il présente également les caractéristiques propres aux réacteurs de technologie française, avec la possibilité de recycler le combustible et celle de procéder à des variations de puissance infra-journalières au bénéfice de la gestion du réseau électrique. Son optimisation passe essentiellement par la simplification et la standardisation afin d'en faciliter la construction. Il est aussi l'occasion pour EDF de mettre en œuvre les méthodes les plus performantes issues des autres secteurs de l'industrie en matière de conduite de grands projets d'infrastructure complexe et d'ingénierie système, et basées sur des outils numériques qui permettent de systématiser la gestion des nombreuses interfaces et de garantir la cohérence et la traçabilité du *design*.

Les leçons tirées de Flamanville

Les retards accumulés et les dépassements de coûts successifs pour la construction de l'EPR de Flamanville ont fait couler beaucoup d'encre. La construction à proprement parler de l'EPR y est quasiment terminée. Les essais à chaud se sont déroulés lors du 4^{ème} trimestre 2019. Leur rôle était de valider le fonctionnement des circuits dans leurs conditions nominales de température et de pression. Ils étaient le préalable au chargement de la cuve en uranium, c'est-à-dire à la mise en service opérationnelle

du réacteur. D'ici là, il reste aussi à reprendre une trentaine de soudures sur le circuit secondaire, dont certaines sont situées dans des endroits difficiles d'accès.

D'ores et déjà, le bilan de ce projet est clair. Les enseignements à tirer des difficultés rencontrées, de la manière dont elles ont été surmontées et aussi de ce qui a bien fonctionné l'ont été ; ils sont riches d'informations permettant de déterminer les conditions dans lesquelles il conviendrait d'aborder un programme de nouveaux réacteurs. À cet égard, le projet de Flamanville aura d'ailleurs pleinement joué le rôle qui lui avait été assigné de démonstrateur EPR et de relais industriel dans la perspective d'un renouvellement du parc nucléaire, sans doute plus péniblement qu'envisagé à l'origine. Deux causes principales des difficultés rencontrées ressortent. D'une part, la perte de compétences et d'expérience opérationnelle chez l'ensemble des acteurs. D'autre part, l'insuffisance de la préparation avant de se lancer dans la construction, cumulée à un objectif initial excessivement optimiste en matière de coût et de délai. D'autant que la construction d'un réacteur unique aura privé le projet de la souplesse qui s'attache à l'habituelle réalisation par paire de réacteurs. Le défaut d'appréciation de l'enjeu attaché à la seconde de ces causes n'est d'ailleurs sans doute pas sans lien avec la première.

La perte de compétences s'explique en grande partie par la longue période sans chantier domestique qui a précédé le lancement du projet. Elle s'est traduite, par exemple, par des erreurs de réalisation qui ne relèvent pas toutes des exigences spécifiques au secteur nucléaire – par exemple, dans le génie civil, le soudage des tuyaux, la fabrication des équipements –, par un ajustement successif de la surveillance, par un besoin de mise à niveau en matière de pilotage de projet d'infrastructure complexe et par la difficile réappropriation de la néanmoins fondamentale capacité pragmatique à discerner les anomalies à traiter avec la plus grande célérité au milieu d'une avalanche de signaux qui finissent par s'avérer mineurs.

La participation des acteurs de la filière française, à tous ses niveaux, à des projets internationaux, en particulier en Chine, aura constitué un relais d'acquisition et de partage d'expérience partiel sans lequel la perte de compétences et la disparition de capacités industrielles domestiques auraient sans doute été plus proches de l'irrévocable. Une telle participation aura été rendue possible pendant cette période par la convergence entre le prestige retiré de la construction du parc français, le fait de disposer du plus grand parc standardisé au monde, l'attractivité de l'expertise ainsi acquise par les acteurs de la filière française et les demandes d'accompagnement formulées par des partenaires internationaux exprimant un fort besoin de développement.

Au-delà du développement d'un modèle de réacteur plus exigeant avec l'EPR, le projet Flamanville a surtout permis d'engager la reconstitution des capacités nécessaires à sa concrétisation et de renouveler les méthodes de cette mise en œuvre dans un contexte socio-industriel qui avait significativement évolué en quinze ans. Cette reconsti-

tution reste néanmoins partielle, notamment parce que l'absence de visibilité au-delà de la construction d'un seul réacteur a manifestement limité la capacité des entreprises de la filière à investir.

Le projet Flamanville aura enfin été l'occasion de mettre au point les modalités d'application d'un nouveau référentiel d'exigences réglementaires nées dans les années 2000 en réponse aux attentes sociétales en matière de sûreté, de transparence et de formalisation juridique.

L'enjeu aujourd'hui est de pouvoir capitaliser sur les connaissances acquises, de stabiliser ce référentiel et de poursuivre l'effort engagé de reconstitution des capacités industrielles nécessaires à la construction de réacteurs nucléaires dans le contexte français. Le réacteur EPR de Flamanville ouvre ainsi la voie de la construction de nouveaux réacteurs dans le contexte spécifique de ce XXI^e siècle aussi bien sur le plan sociétal – exigence de plus de sécurité et de transparence – qu'environnemental – pas d'émission de CO₂.

Le besoin d'une construction en série

Plus globalement, les problèmes rencontrés à Flamanville illustrent les difficultés de l'industrie nationale. Pénurie de personnes formées dans les métiers techniques, érosion du sens pratique, exigence accrue de formalisation réglementaire, retrait de la commandite de politiques de long terme porteuses de vision et génératrices de la mobilisation industrielle nécessaire à la performance.

C'est dans ce contexte que la filière nucléaire doit relever un grand défi : définir puis mettre en œuvre les conditions de la maîtrise industrielle et de la performance nécessaires à la construction de nouveaux réacteurs nucléaires en France. La première de ces conditions est de disposer d'une visibilité claire, notamment d'un calendrier d'exécution d'un programme de construction de nouveaux réacteurs dans la continuité de l'effort initié avec l'EPR de Flamanville.

L'activité à Flamanville relève désormais bien davantage de la prise en main par l'exploitant que du chantier de construction. Elle n'y est plus de nature à entretenir les compétences propres à un projet de construction de réacteur. Celles-ci présentent donc d'ores et déjà le risque de se disperser de nouveau.

La filière nucléaire compte aujourd'hui environ 220 000 salariés répartis dans 2 600 entreprises sur tout le territoire. Pour qu'elle ne subisse pas de nouveau des pertes de compétences, et puisse mobiliser des ressources à temps, il est important qu'elle dispose d'une forte visibilité sur son plan d'activité. D'autant qu'elle fait appel à des compétences spécifiques et à des fournisseurs d'équipements et de services certifiés, pour certains au niveau le plus exigeant, celui de « qualité nucléaire ».

C'est pour cette raison que l'instruction de nouveaux projets porte sur une série de trois paires de réacteurs, selon un cadencement entre chaque paire de quatre ans. La réalisation d'un tel programme s'étalerait sur une vingtaine d'années.

La construction par paire est le premier facteur de l'effet d'apprentissage attendu. Elle permet de dimensionner le projet en conséquence et d'allouer les ressources sur l'un ou l'autre des réacteurs en fonction des phases de chantier et des aléas. Le second réacteur sert ainsi de réserve de ressources, en cas de difficulté sur le premier, qu'il s'agisse d'un besoin en force de travail ou en équipements. Il bénéficie ensuite d'une accélération permise par un fort effet de transfert d'expérience sur place.

Au-delà, l'expérience montre que l'effet série est largement obtenu à partir de trois projets successifs. Cette organisation apparaît exemplaire pour optimiser l'utilisation des ressources dans une période où il s'agit de commencer la construction de nouvelles capacités de production nucléaire à un rythme modéré et d'achever la reconstitution des capacités nécessaires pour mener à bien le projet, au meilleur niveau de performance. Il sera toujours temps par la suite, si la trajectoire énergétique de la France devait en confirmer la nécessité, d'accélérer ce rythme en le portant à un réacteur par an.

Les chantiers sont en effet organisés selon un cadencement spécifique. Les ouvriers, techniciens et ingénieurs pourront passer dans ce schéma de l'un à l'autre des chantiers, acquérant à chaque fois de l'expertise et gagnant de fait en efficacité.

Les atouts de la standardisation sont nombreux : économies sur les coûts de construction, baisse des délais de mise en œuvre, amélioration de la sécurité quotidienne, fiabilisation des gestes, réduction des aléas et meilleure appréciation de leur importance...

De nombreux industriels constatent, d'autre part, qu'il est plus facile de recruter de jeunes talents sur la promesse d'un programme de constructions neuves que sur des projets de maintenance et de démantèlement. Un programme bien pensé de renouvellement du parc nucléaire doit permettre de créer les conditions d'attractivité attendues et d'engager les formations qualifiantes nécessaires.

A contrario, si Flamanville a permis de requalifier l'ensemble de la chaîne nucléaire, une absence de projets pourrait mettre un terme à cette poursuite sur la voie de la reconstitution des compétences. Un risque qu'il ne faut pas négliger.

La filière s'est réorganisée pour tendre à une plus grande efficacité. L'ensemble des industriels, des grands

donneurs d'ordre aux microentreprises en passant par les ETI, les PME, ainsi que les associations historiques de la filière se sont réunis sous une même bannière, le GIFEN (Groupement des industriels français de l'énergie nucléaire). Ce syndicat professionnel a pour objectif de promouvoir le développement économique de ses adhérents. Il permet de fédérer les efforts qu'il reste à poursuivre à partir de l'expérience acquise lors de la réalisation des premiers EPR, en termes de développement des compétences, de coordination de la mise en œuvre des méthodes et des outils, de mise au point des modalités d'interaction avec les autorités de régulation, d'éclairage de la décision politique, d'optimisation des retombées socio-économiques dans les territoires, afin d'être en mesure, le plus rapidement possible, d'apporter à la collectivité la capacité de construire ses réacteurs nucléaires au meilleur niveau de performance.

Conclusion

Les difficultés rencontrées dans le chantier de l'EPR de Flamanville traduisent finalement un mouvement de fond bien plus global qui a vu nos économies se projeter dans une vision post-industrielle et nombre de leurs fleurons s'affaiblir.

Elles illustrent la nécessité de renouer avec les fondamentaux industriels et de reconstituer des compétences à tous les niveaux. Fort de ces enseignements, le mouvement engagé dans la filière nucléaire est une étape dans sa remise en ordre de marche. Il permettra bientôt de mener à nouveau à bien, en offrant le meilleur niveau de performance, les projets d'infrastructures nécessaires pour continuer à fournir une énergie décarbonée au bénéfice à la fois des ménages et de la compétitivité des entreprises.

Au-delà de ce retour aux fondamentaux, l'émergence de l'industrie 4.0 offre l'opportunité d'une transition vers une industrie plus innovante, plus efficace, capable de gérer des objets plus complexes, et créatrice, dans les territoires, d'emplois non délocalisables. Plus attractive, elle a vocation à mobiliser l'ensemble des professionnels, du soudeur à l'ingénieur, pour insuffler un rebond industriel, et répondre ainsi, en même temps, aux enjeux climatiques et aux enjeux socio-économiques.