



Quand décider d'un renouvellement du parc nucléaire français ?



NOTE SFEN - AVRIL 2019

La société française d'énergie nucléaire (SFEN) est le carrefour français des connaissances sur l'énergie nucléaire.

Créée en 1973, la SFEN est un lieu d'échanges pour les spécialistes de l'énergie nucléaire français et étrangers et pour toutes celles et ceux qui s'intéressent à l'énergie nucléaire et à ses applications. La SFEN rassemble 3 600 professionnels de l'industrie, l'enseignement et la recherche.



Calendriers de politique énergétique et de politique industrielle

(inclut les résultats d'une enquête BCG - septembre/octobre 2018 -
sur les compétences de la filière nucléaire française)

Consultation sur le projet de Programmation
pluriannuelle de l'énergie (PPE)

Editorial

Les exercices de prévision par définition difficiles le sont tout particulièrement lorsqu'il s'agit de bâtir des scénarios énergétiques sur plusieurs décennies. Pour autant, l'idée de la nécessaire contribution de l'énergie nucléaire s'impose. Elle est actée par les organisations internationales (OCDE-AIE, UE, GIEC) car elle a démontré qu'elle permettait de décarboner l'énergie et de lutter contre le réchauffement climatique. Elle constitue, par sa fiabilité, une réponse solide pour faire face aux incertitudes.

Sa filière nucléaire fait de la France un pays exemplaire en matière d'électricité bas carbone et de savoir-faire industriel. Grâce à l'énergie nucléaire, la France est le pays le moins émetteur de CO₂ des pays industrialisés du G7. Elle favorise l'indépendance énergétique, car elle diminue notre dépendance aux énergies fossiles importées (pétrole, gaz), – l'uranium étant abondant et bien réparti –, et garantit la sécurité d'approvisionnement électrique, car elle fonctionne à la demande, 24h/24 et 7j/7. Elle permet à la France d'avoir l'un des prix de l'électricité les plus bas d'Europe, contribuant au pouvoir d'achat des Français et à la compétitivité des entreprises.

La filière nucléaire est également structurante pour l'économie française : ses 2 600 entreprises (80 % de PME et de microentreprises) réparties dans toutes les régions, représentent 220 000 emplois, très qualifiés et non délocalisables. Mais son importance va au-delà : par sa technicité, elle développe des compétences industrielles utiles qui bénéficient aux autres secteurs industriels, et est un pilier pour l'industrie française dans son ensemble. Par ses embauches, ses investissements en formation (dont son engagement dans l'apprentissage), son exigence technique, la filière nucléaire essaime et contribue à l'effort de qualification national dans de nombreux métiers qui sont communs à plusieurs filières industrielles : mécanique, procédés, informatique industrielle, chimie-environnement, essais, électricité, robinetterie-chaudronnerie, matériaux et structure, génie civil. Elle constitue donc, par son importance industrielle globale, un levier de compétitivité et d'industrialisation des territoires.

Pour préserver ces atouts nationaux, des choix doivent être faits : la capacité de la filière à construire de nouveaux moyens de production nucléaire représente pour la France un enjeu stratégique. Car construire des réacteurs mobilise des capacités et des savoir-faire qui s'inscrivent dans le temps long. Avec l'EPR de Flamanville, la filière nucléaire française retrouve une capacité à construire des réacteurs. Sans continuité, cette capacité resterait fragile.

La question n'est plus de savoir s'il faudra de nouveaux réacteurs pour atteindre nos objectifs climatiques et garantir notre sécurité énergétique : ce débat-là est tranché. Ce qui importe désormais est de savoir comment optimiser, pour notre économie, la mobilisation de la filière nucléaire, face à des compétiteurs étrangers de plus en plus aguerris : il faut nous renforcer industriellement pour que la filière pèse de toute son utilité sur l'économie nationale.

Ce qu'indique l'enquête menée par le BCG pour la SFEN, c'est que les industriels de la filière nucléaire ont besoin d'avoir une visibilité pour se préparer et investir, et qu'il est indispensable de prendre au plus tard en 2021 une décision sur un programme de construction et son calendrier, pour qu'ils soient prêts à relever les défis sans perte de compétences ni de recul d'activités. Ne pas décider à cet horizon reviendrait à assumer la décision de perdre la solution nucléaire pour produire de l'électricité à la fois bas carbone et disponible à la demande à long terme.

À l'heure où le débat sur la dévitalisation des territoires se cristallise sur les difficultés de l'industrie française, et où plusieurs régions ont déjà exprimé publiquement leur volonté de participer au renouvellement du parc nucléaire en accueillant de nouveaux réacteurs, la filière nucléaire est prête à relever le défi : elle attend la décision qui lui permettra de mobiliser son tissu d'entreprises et de contribuer à l'activité industrielle de notre pays.

Valérie Faudon
Déléguée générale de la SFEN

Introduction

Cette nouvelle note de la SFEN, qui précise les conditions d'un programme national de nouvelles constructions nucléaires pour 2030, s'inscrit dans un double contexte :

Le gouvernement a publié le 25 janvier 2019 un projet de Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) qui établit ses priorités en matière d'énergie dans les 10 années à venir, lequel sera soumis à un certain nombre de consultations formelles ainsi qu'à celles du public.

Le projet de PPE détermine une trajectoire de diversification pour atteindre une part de nucléaire à 50 % du mix électrique en 2035.

À long terme (horizon 2050), le projet rappelle que la priorité est l'atteinte de la neutralité carbone, qui suppose que le mix électrique national soit totalement décarboné.

En ce qui concerne les options technologiques de production d'électricité, le projet précise qu'il n'est pas possible à l'horizon 2035 « *de déterminer avec certitude les technologies les plus compétitives pour assurer notre mix électrique entre le nucléaire et les énergies renouvelables associées à du stockage et d'autres solutions de flexibilité* ».

Il précise que « *plusieurs scénarios seront expertisés, allant d'un scénario 100 % renouvelables à un scénario où le nucléaire reste durablement une source de production d'électricité intégrée dans le mix électrique pour des raisons de pilotage de la production et de compétitivité* », et qu'en raison de cette incertitude « *il est nécessaire de préserver une capacité de construction de nouveaux réacteurs nucléaires appuyés sur une technologie et des capacités industrielles nationales* ». Le projet de PPE met en place un programme de travail destiné à instruire, d'ici mi-2021, l'option de construire de nouveaux réacteurs nucléaires. Le projet précise que « *le Gouvernement conduira avec la filière d'ici 2021 un programme de travail permettant d'instruire, entre autres, l'option de construire de nouveaux réacteurs nucléaires* » et que, sur la base de ces éléments et de l'évolution du contexte énergétique, « *le Gouvernement se prononcera sur l'opportunité de lancer un programme de renouvellement des installations nucléaires* ».

Parallèlement, le ministre de la Transition écologique et solidaire, le ministre de l'Économie et des Finances et le président du Comité stratégique de la filière nucléaire (CSFN), ont signé le 28 janvier 2019 le premier « Contrat stratégique de la filière nucléaire ».

Ce contrat va permettre de décliner de façon concrète les orientations définies par la PPE en matière d'énergie nucléaire et de garantir à la filière la visibilité dont elle a besoin pour préserver le savoir-faire national et maintenir les compétences dans la filière.

En particulier, son premier axe « Emploi, compétences et formations » a pour objet de « *garantir les compétences et l'expertise nécessaires pour une filière nucléaire attractive, sûre et compétitive* ». Il précise que le maintien et le renouvellement des compétences de la filière « *constituent en effet une condition essentielle de sa pérennité, de sa capacité à exploiter l'outil industriel dans de bonnes conditions (notamment de sûreté), de sa capacité d'innovation et de développement futur* ».

Remarques préliminaires

Sur la nécessité d'un socle nucléaire en 2050

Même si des progrès techniques et économiques sont attendus à l'horizon 2030-2050, on ne connaît aujourd'hui ni la faisabilité, ni la robustesse, ni le coût, ni les limites exactes d'un système combinant exclusivement, et dans de très grandes quantités, des énergies renouvelables intermittentes, du stockage, du biogaz, et/ou des énergies fossiles avec captage, stockage du carbone (CCS).

À ce jour, les grandes institutions internationales (OCDE-AIE, UE, GIEC) estiment que toutes les technologies bas carbone, renouvelables, nucléaire et CCS, devront être mises en œuvre pour parvenir à une décarbonation en profondeur du secteur électrique à l'horizon 2050. On voit difficilement pourquoi il en serait autrement en France, qui est une référence mondiale pour l'utilisation et la maîtrise industrielle de cette technologie.

L'incertitude n'est donc pas de savoir si la France aura besoin d'un socle de production nucléaire en 2050, mais plutôt quelle sera la taille exacte de ce socle.

L'incertitude sur la part optimale du nucléaire à l'horizon 2050 est naturelle : le mix optimal sera fonction de facteurs complexes qui resteront difficiles à prévoir : la demande d'électricité, les performances techniques et économiques des différentes technologies, et les stratégies de nos voisins. Pour garantir sa sécurité d'approvisionnement en électricité bas carbone, la France doit mettre en place une stratégie solide, qui lui permette de résister à différents aléas.

Sur la question de la compétitivité des différents moyens de production à l'horizon 2030-2050

La question de la compétitivité de chaque moyen de production sera de plus en plus impactée par le prix du CO₂, et ne peut plus être posée de manière isolée : on devra tenir compte des interdépendances au sein du système électrique (% de sources non-pilotables, limites des moyens de stockage et des autres sources de flexibilité), et de la structure du marché de l'électricité.

Le nouveau nucléaire, un moyen bas carbone pilotable 24h/24, 7j/7 et de grande flexibilité (variation de 5 % de la puissance nominale possible/min), ne peut en effet être comparé sur la question des services qu'il rend au système qu'à d'autres moyens pilotables comme l'hydroélectricité, ou à des moyens fossiles (charbon, gaz) équipés de systèmes de capture et séquestration de carbone.

L'introduction des énergies renouvelables variables (éolien, solaire photovoltaïque) nécessite en effet de disposer de capacités de back-up et d'ajustement supplémentaires afin de garantir la qualité de l'électricité et l'équilibre offre-demande¹. Elle implique également un renforcement des réseaux électriques. Ces effets conduisent à des coûts supplémentaires pour le système électrique à intégrer lorsque l'on compare les coûts de production des différentes technologies. Une récente étude de l'OCDE montre ainsi que ces « coûts de système » augmentent de 7 €/MWh à près de 45 €/MWh lorsque la part des renouvelables variables augmente de 10 à 75 % du mix électrique².

Sur le choix de l'EPR comme modèle de réacteur pour le renouvellement du parc (voir RGN septembre/octobre 2018)

L'EPR est un réacteur de troisième génération conçu dès l'origine, entre autres, pour le renouvellement du parc nucléaire français : il s'inscrit dans la continuité des réacteurs existants et offre les meilleurs standards en termes de sûreté, ainsi que des performances économiques et environnementales améliorées en exploitation. Sa puissance permet de répondre, sur un nombre limité de sites, aux besoins en électricité d'un pays industriel de 67 millions d'habitants aujourd'hui, et plus demain. De manière pratique, ses caractéristiques sont adaptées aux sites nucléaires et à l'infrastructure de transmission de l'électricité existants.

Les premiers chantiers EPR ont fait face à des retards et à des dépassements des budgets initiaux. La SFEN a montré que cela a été le cas pour tous les chantiers de construction de premiers réacteurs de troisième génération dans le monde. Cette situation est fréquente dans la réalisation de grands projets d'infrastructures complexes (ex : le tunnel sous la Manche), et inhérente aux « têtes de série ». Cependant les pays qui sont restés dans une dynamique de construction continue de réacteurs, soit parce qu'ils ont étalé dans le temps leur programme d'équipement nucléaire (Chine, Corée), soit parce qu'ils ont commencé à renouveler une partie de leur parc (Russie), ont connu moins de retard que les pays qui avaient arrêté de construire, comme la France ou les États-Unis, et qui avaient donc perdu en compétences.

Pour l'EPR, une des difficultés est aujourd'hui en voie d'être surmontée : l'EPR de Taishan en Chine a fait son démarrage commercial en décembre 2018. Les chantiers EPR ont permis de revitaliser une chaîne industrielle française qui

¹ – La flexibilité de la demande contribue également à cet équilibre en fonction des incitations tarifaires

² – <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2019/7299-system-costs.pdf>

avait perdu en compétences depuis 15 ans sans nouvelle construction. La filière française s'est réorganisée et elle est aujourd'hui de nouveau en capacité de construire des nouveaux réacteurs nucléaires de troisième génération en France, en Europe et dans le reste du monde.

On peut donc dire que la France dispose aujourd'hui de l'option nucléaire, mais que par nature, maintenir cette option ouverte passe à moyen terme par le lancement de nouveaux chantiers sur le territoire national.

Sur la question du coût du nouveau nucléaire à l'horizon 2030-2050 et la nécessité du montage d'un programme industriel

La SFEN estime que l'objectif de 60 à 70 €/MWh annoncé par EDF pour le coût de production du nouveau nucléaire peut être atteint dans le cadre d'un programme industriel.

Dans sa note sur « Les coûts du nouveau nucléaire français », publiée en mars 2018, la SFEN montre qu'il existe plusieurs pistes pour réduire les coûts du nouveau nucléaire :

- **Les effets de série** : la SFEN a mis en évidence, sur la base du retour d'expérience du programme français, documenté par la Cour des comptes, que pour réduire les coûts de construction, il fallait construire les réacteurs par paire sur un même site, et s'engager sur la construction d'une série d'au moins trois paires.
- **L'innovation** : de nombreuses actions sont en cours pour mobiliser des gisements d'économie. Tout d'abord la conception d'un EPR simplifié (EPR2) permet, tout en gardant les mêmes exigences en matière de sûreté, de le rendre plus facile et économique à construire. Mais aussi, des initiatives permettant d'augmenter la performance de l'ingénierie, comme la signature d'un contrat important entre EDF, Dassault Systèmes et Capgemini en juin 2018, destiné à introduire dans l'industrie nucléaire les méthodes de « systems engineering » utilisées aujourd'hui avec succès dans l'aéronautique.
- **Le financement** : dans le cas du projet Hinkley Point C au Royaume-Uni, la Cour des comptes britannique a montré le potentiel de gain très important sur le coût du capital réalisable, via une meilleure répartition des risques entre les différentes parties prenantes. Par exemple, la rémunération du capital (après impôt) nécessaire passe de 9 % (valeur proche du taux retenu par EDF pour le projet) à 6 % quand le projet est assimilable à un investissement public au Royaume-Uni, ce qui entraîne une baisse d'un tiers du coût du kilowattheure pour le consommateur.

Si le nucléaire a de la valeur pour la collectivité, notamment comme infrastructure stratégique et moyen de production d'électricité bas carbone contribuant à notre sécurité énergétique, alors c'est au gouvernement de mettre en place ce qu'il faut pour que, vu de l'investisseur (qui peut être l'exploitant), les projets nucléaires soient attractifs. Parmi les principaux outils, l'État peut utiliser les

subventions, la réglementation, mais aussi le transfert de risques. En effet plus les risques sont élevés, plus la rémunération du capital demandée par l'investisseur augmente et pèse sur le coût total de l'investissement. Au titre de la neutralité technologique, l'Etat pourrait mettre en place des mesures pour que le taux de retour sur investissement retenu par EDF ou les autres investisseurs devienne le même pour le nucléaire et pour les énergies renouvelables (EnR). Il est aujourd'hui supérieur de deux à trois points. Rappelons aussi que le coût de financement pèse d'autant plus sur le coût complet du kWh que la durée de construction s'allonge (immobilisation du capital).

Sur ces bases, la SFEN considère que des gains de l'ordre de 30 % sont possibles sur les coûts de construction et jusqu'à 50 % sur les coûts financiers, par rapport aux premiers chantiers EPR.

Si les pouvoirs publics posent légitimement la question du coût du nouveau nucléaire, on voit que toutes les cartes ne sont pas dans les mains de la filière nucléaire, et que les pouvoirs publics eux-mêmes sont un acteur clef. Une réflexion reste à mener, et c'est l'objet de l'instruction engagée d'ici mi-2021, quant à l'étude du montage industriel et financier d'un programme en lien avec les pouvoirs publics afin de bénéficier pleinement de tous ces facteurs de réduction des coûts du nouveau nucléaire. Il s'agit de mettre en œuvre une approche programmatique visant à donner à l'ensemble de la chaîne industrielle, des grands acteurs aux PME, la visibilité et le cadencement nécessaires pour investir dans les chaînes de fabrication et les compétences, et pour bénéficier des effets de série dès les premières réalisations. Il s'agit aussi d'optimiser la répartition des rôles entre les pouvoirs publics commanditaires et les acteurs industriels qui seraient chargés de la réalisation.

Sur la nécessité d'un débat public associé à la construction de nouveaux moyens nucléaires

L'instruction d'une décision sur un futur programme de constructions nucléaires s'accompagne nécessairement d'un processus participatif.

Le débat public sur la question de la construction de nouvelles centrales nucléaires a déjà commencé, lors du débat public sur la PPE organisé sous l'égide de la CNDP au printemps 2018, à la demande du ministère de la Transition écologique et solidaire. Dans le compte rendu du débat, la Commission précise que près de 50 000 personnes ont contribué sur le site internet dédié et que l'énergie nucléaire a été la deuxième thématique la plus abordée au cours des échanges. Le processus de publication du décret de la PPE inclut quant à lui une phase de concertation en ligne sur le site du ministère de la Transition écologique et solidaire.

Dans la suite du processus, la concertation autour du nucléaire a vocation à se poursuivre, selon la législation en vigueur. Ainsi la loi indique que la CNDP est

saisie au niveau national de tous les projets d'aménagement ou d'équipement de grande importance physique et financière, et c'est le cas bien sûr des nouvelles infrastructures de production nucléaire.

Au-delà du débat et des enjeux nationaux, il importera de prendre en compte les candidatures des territoires. Il faut noter par exemple que les deux régions Hauts-de-France³ en juin 2018, et Normandie⁴ en mars 2019, par l'intermédiaire de leurs présidents, ont déjà présenté leur candidature pour accueillir des chantiers EPR.

3 – Nord Littoral, 29 juin 2018

4 – France 3, 1^{er} mars 2019

Objet de la note

La présente note a pour objet d'éclairer les risques liés au calendrier de décision du programme industriel de nouvelles constructions nucléaires et les enjeux associés, à la fois d'un point de vue de politique énergétique et de politique industrielle.

Pour cela, la SFEN s'est appuyée sur les compétences de sa section 8 « Économie et stratégie énergétique » et sur une étude réalisée par le Boston Consulting Group (BCG), qui a développé ces dernières années une connaissance des enjeux de compétences et de politique industrielle sur les grands chantiers nucléaires.

La note examine tour à tour le calendrier sous ses deux aspects indissociables :

- Le calendrier de politique énergétique : s'appuyant sur les scénarios du modèle PRIMES de la Commission européenne, la section Economie et stratégie énergétique de la SFEN a approfondi la question des dates prévisionnelles de mise en service des constructions neuves et des rétroplannings associés aux chantiers.
- Le calendrier de politique industrielle : pour ce faire, la SFEN a demandé au BCG de réaliser une étude auprès d'industriels de la filière impliqués dans les chantiers de constructions neuves, avec deux phases :
 - Une série d'entretiens réalisés entre août et octobre 2018 auprès de dirigeants de 16 entreprises de la filière nucléaire française. Combinées, ces 16 entreprises représentent plus de 5 milliards d'euros de chiffre d'affaires et plus de 30 000 emplois (dans la part de leur activité dédiée au nucléaire spécifiquement).
 - Un sondage quantitatif auprès d'un panel plus large d'acteurs de la filière nucléaire française, réalisé entre le 21 septembre et le 5 novembre 2018. Au total, le sondage a permis de recueillir les réponses de 109 dirigeants, représentant 79 entreprises de la filière nucléaire française et plus de 90 000 emplois dans le nucléaire.

Résumé pour décideurs

La présente note détaille les éléments suivants :

1. Le calendrier de politique énergétique

- Les scénarios de décarbonation européens (scénarios EUCO30 du modèle PRIMES) montrent une montée en puissance des énergies renouvelables en France à l'horizon 2050 et confirment en même temps un socle nucléaire de l'ordre de 35-40 GW. Pour garantir ce socle, la France devra être prête à construire de manière étalée et cadencée entre 3 et 4 paires par décence, entre 2030 et 2050. Les mêmes scénarios montrent qu'il est possible

de conjuguer à la fois la réduction de la part du nucléaire, la croissance des énergies renouvelables et le renouvellement du parc nucléaire à l'horizon 2030-2035. Cette période 2030-2035 est par ailleurs, dans la trajectoire de décarbonation, une période pivot où le rythme nécessaire d'électrification des usages n'est plus compensé par les gains en efficacité énergétique.

- Si, dans les années qui viennent, la sécurité d'approvisionnement française sera assurée par la prolongation à 50 ou 60 ans des tranches existantes, à l'horizon 2040, la France peut être confrontée à un important effet falaise, lié au calendrier historique extrêmement rapide de construction des tranches dans les années 1980. La période 2030-2035, déjà susceptible d'être une période pivot en matière de consommation électrique, est aussi une période pivot en matière de capacité disponible. Le projet de PPE, qui présente une trajectoire de réduction de la part du nucléaire à 50 % du mix électrique, prévoit en effet la mise à l'arrêt définitif à partir de 2027, et potentiellement dès 2025, de 12 réacteurs de 900 MW avant 2035. Post 2035, d'autres anticipations d'arrêts seront rendues nécessaires par l'effet falaise. Il faut prévoir cette dynamique du parc en préparant la mise en service de nouveaux moyens de production nucléaires dès le début de la décennie 2030.
- Enfin, la France doit anticiper les étapes réglementaires et les temps nécessaires pour la construction des premiers nouveaux moyens nucléaires : il pourrait falloir jusqu'à une quinzaine d'années, entre le moment où la décision sera prise et la mise en service du premier réacteur. De nouvelles dispositions réglementaires en 2016 concernant l'aménagement du site ont allongé ainsi, par exemple, de 4 à 5 ans la durée entre la décision et le premier béton. On voit que, pour la mise en service d'un premier réacteur en 2035, la décision devrait être prise au plus tard en 2021.

2. Le calendrier de politique industrielle

- Pour rappel, les nouvelles constructions nécessitent que des compétences spécifiques soient disponibles selon un calendrier spécifique. La filière nucléaire demande ainsi des exigences très strictes, notamment en assurance qualité et en pureté des matériaux : la totalité de la chaîne industrielle, systèmes, services et composants, doit être qualifiée au niveau « qualité nucléaire ». Les différents corps de métiers interviennent sur un chantier de nouveaux réacteurs en fonction des phases d'avancement. La bonne gestion et le développement des compétences nécessitent que, dans le cadre d'un programme, les chantiers soient organisés selon un cadencement spécifique. Si la disponibilité des compétences devient un facteur structurant pour le calendrier industriel, a contrario l'organisation du calendrier industriel est clef pour garantir la disponibilité des compétences :
- Grâce à Flamanville, la filière a reconstitué des compétences, mais elles restent fragiles. Alors que le chantier se termine, l'étude réalisée pour la SFEN par le BCG montre que la filière met en place des stratégies de court terme : néanmoins 40 % des personnes interrogées relatent qu'elles sont en dessous ou en limite du seuil d'activité souhaitable. D'ici 3 ans, sans nouvelle

visibilité, la filière sera de nouveau en situation de perdre ses compétences sur les constructions neuves : au-delà des pures compétences techniques, les personnes interrogées soulignent l'enjeu de maintenir dans la durée la culture de sûreté.

- L'absence de visibilité au-delà de 5 ans fait peser de grosses menaces sur la filière nucléaire française, à la fois au niveau de ses compétences et de ses perspectives à l'exportation. La filière souffre déjà, au même titre que tous les autres secteurs industriels en France, du manque de personnels formés dans les métiers techniques. Sans projet d'avenir, la filière ne sera pas en situation, face aux autres secteurs, d'attirer les talents dont elle aura besoin. Sans projet domestique, elle risque enfin de perdre sa crédibilité sur les marchés internationaux.

Conclusion

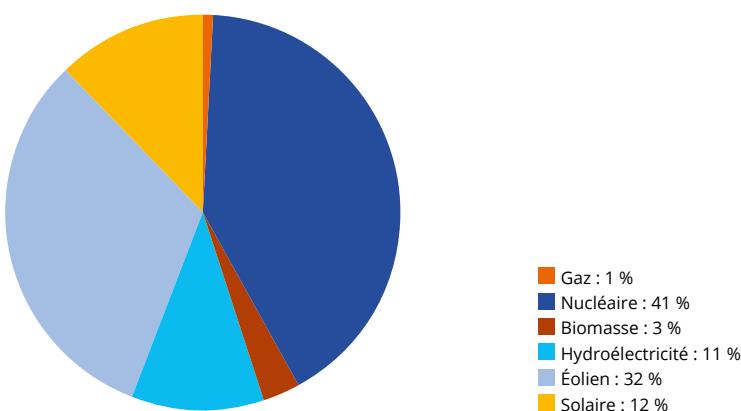
Pour atteindre ses objectifs de décarbonation en 2050, la France aura besoin d'un socle nucléaire. Elle devra sans tarder lancer un programme de construction de nouveaux réacteurs nucléaires, pour renouveler une partie de son parc existant. La note fait apparaître que :

- Une décision d'engagement est nécessaire au plus tard courant 2021 afin de satisfaire à la fois aux exigences du calendrier énergétique, en termes de sécurité d'approvisionnement, de calendrier industriel, mais aussi de compétences du tissu industriel nucléaire français.
- Un tel engagement doit être suffisamment ferme pour permettre aux industriels d'investir et d'engager les ressources nécessaires, en particulier en matière de recrutements et de formations, et d'être en capacité de construire aux échéances requises, et avec le niveau de performance attendu.
- L'engagement doit porter sur la construction de trois paires de réacteurs à minima, avec un cadencement optimisé, afin de bénéficier pleinement des effets de série attendus en termes de compétitivité et garantir au pays un approvisionnement bas carbone, bon marché, dans la durée.

1. Le calendrier de politique énergétique

Le parc nucléaire garantit aujourd’hui à la France un socle d’approvisionnement en électricité à la fois bas carbone et bon marché. Disponible à la demande, 24h/24 et 7j/7, il est un atout indispensable pour garantir l’équilibre offre-demande du système électrique français, et, via nos exportations, du système électrique européen. Grâce à la complémentarité de l’énergie nucléaire et des renouvelables, la production électrique française est déjà décarbonée à plus de 90 %. La France est le moins émetteur des grands pays industriels du G7 en émissions de CO₂ par habitant. Le nucléaire permet aux Français de bénéficier d'un des prix de l'électricité les plus bas d'Europe : un ménage allemand paie son électricité près de 70 % plus chère qu'un ménage français.

Figure 1: Mix électrique français en 2050. Scénario avec réduction de la part du nucléaire à 50 % en 2045. Total = 700 TWh. (Source : E3 Modelling (PRIMES), SFEN)



À l'horizon 2030, la France devra commencer à renouveler son parc nucléaire par de nouveaux moyens de production, dont des nouvelles constructions nucléaires. Le programme de nouvelles constructions doit s'inscrire dans un calendrier de politique énergétique clair.

1.1 La France aura besoin d'un socle nucléaire bas carbone en 2050

1.1.1 Les scénarios européens prévoient un socle nucléaire de l'ordre de 35-40 GW en France à l'horizon 2050

Au plan mondial, les grandes institutions internationales (OCDE-AIE, UE, GIEC) estiment que l'ensemble des technologies bas carbone, renouvelables, nucléaire et CCS, devront être mises en œuvre pour parvenir à une décarbonation du secteur énergétique à l'horizon 2050. Dit autrement, il sera impossible de remplir les objectifs climatiques et garantir la sécurité d'approvisionnement avec un système uniquement basé sur des renouvelables variables, du biogaz ou des fossiles (charbon, gaz) avec CCS. Dans ces conditions, le dernier rapport du GIEC, qui décrit quatre trajectoires de 1,5 °C dans son « Résumé à l'intention des décideurs », présente une production nucléaire de deux à six fois plus importante d'ici 2050. Cette croissance s'explique par la nécessité de décarboner le secteur électrique caractérisé dans le même temps par une demande en forte croissance (+ 60 % en 2040 selon l'AIE¹⁰) et des reports d'usages qui compensent les gains d'efficacité énergétique. Au niveau européen, les derniers scénarios¹¹ de référence de la Commission européenne publiés en décembre 2018 confirment que la combinaison du nucléaire et des renouvelables sera le socle d'un mix énergétique décarboné en 2050. À cet horizon, le nucléaire représente alors environ 18 % du mix électrique européen.

Si on regarde plus précisément les scénarios de décarbonation (modèles PRIMES EUCO 30), on constate, à l'horizon 2050, pour la France, une montée en puissance importante des énergies renouvelables dans le mix électrique, avec un socle nucléaire de l'ordre de 35-40 GW¹².

La taille exacte de ce socle nucléaire sera la résultante de nombreux paramètres qui restent difficiles à prévoir : évolution de la demande, prix des énergies décarbonées et des leviers de flexibilité, mais aussi faisabilité technique et sociale. Il est important de noter que l'ensemble des hypothèses de la Commission européenne ont été retenues dans ce modèle, notamment en termes de coûts et de performance des différents moyens de production ; mais aussi d'évolution de la consommation électrique.

10 – AIE (2018). World Energy Outlook

11 – <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/energy-modelling>

12 – Note SFEN : le nucléaire français dans le système énergétique européen, mai 2018

Scénarios à forte composante d'énergies renouvelables (EnR) dans le mix électrique

Depuis 5 ans au moins, de nombreuses études présentent des scénarios prospectifs avec des taux d'EnR (éolien et solaire majoritairement) qui, dans certains cas, avoisinent les 100 %. Ces études reposent essentiellement sur trois transformations profondes : le besoin de décarbonation de l'électricité dans le monde, la baisse tendancielle majeure des coûts de production des EnR et l'émergence puis la montée en puissance de moyens nouveaux pour apporter de la flexibilité aux systèmes, face à une production de plus en plus variable.

Ainsi, les plus optimistes de ces scénarios annoncent qu'il serait possible et surtout pertinent d'atteindre des systèmes 100 % d'EnR dans les grands systèmes électriques à un horizon situé vers 2050 et parfois même plus tôt.

Une étude de l'alliance de recherche ANCRE⁵ a analysé l'ensemble de cette production (plus de 8 000 articles portant sur ces questions d'évolution des systèmes électriques) et a conclu à une très grande diversité des questions posées, des méthodes, des champs d'analyse et des résultats. Il a été de fait impossible d'en tirer des indications robustes quant aux avancées et aux potentiels, qui s'expriment dans des environnements très divers (tant en ce qui concerne les mix électriques, les anticipations, etc., que l'origine et la nature des équipes d'économistes produisant les études). In fine, l'ANCRE a interrogé un panel d'économistes qui ont conseillé une forte prudence en la matière, tant les analyses manquent encore de bases communes et de consensus en la matière.

En France, les études de ce type les plus connues sont celles d'Artelys pour l'ADEME et celles de négaWatt⁶. EDF a aussi publié une étude, qui examine un taux de pénétration d'EnR de 60 % à l'horizon 2030 en Europe⁷.

Par exemple, l'étude de l'ADEME⁸ repose sur 7 trajectoires contrastées se différenciant principalement sur les hypothèses de coût, de demande, de choix politique sur le maintien ou le développement des technologies (nucléaire ou EnR). Pour chacune, elle optimise le coût complet du système électrique en respectant la contrainte d'équilibre offre-demande au pas horaire. Les interconnexions sont prises en compte, les mix européens sont des données

5 - « Intégration des énergies renouvelables (EnR) variables sur les réseaux électriques : méthodologies, scénarios et conséquences industrielles ». Voir la Revue de l'Energie N° 637 / Mars-Avril 2018

6 - « Scénario négaWatt 2017-2050 » <https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2017-2050>. Ces analyses sont moins fouillées que celles d'Artelys, mais présentent l'originalité d'hypothèses fortes sur les niveaux de consommation. Le nucléaire disparaît de la production électrique en France dès 2035.

7 - “Technical and Economic Analysis of the European Electric System with 60% RES” Alain Burtin, Vera Silva, 17 June, 2015. <https://www.edf.fr/sites/default/files/Lot%203/CHERCHEURS/Portrait%20de%20chercheurs/summarystudies.pdf> Ces scénarios incorporent jusqu'à 27 % d'éolien et de PV dans le Mix européen en 2030

8 - « Trajectoires d'évolution du mix électrique 2020-2060 – synthèse de l'étude » 2018. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/evolution-mix-electrique-horizon-2020-2060-010655.pdf>

exogènes. De nombreuses critiques ont été émises lors de la publication de ce rapport : hypothèses de coût des technologies, stabilité des réseaux, absence de modélisation des comptes des électriciens (pour vérifier leur équilibre économique), manque de clarté des hypothèses sur les calculs de coût du parc (prise en compte de l'âge moyen du parc en fin de jeu, etc.), hypothèse sur le « secours » apporté par les interconnexions au système France, etc. Quoi qu'il en soit, deux conclusions peuvent en être tirées : d'une part l'intérêt de prolonger le parc actuel et, d'autre part, le faible surcoût du maintien d'un socle nucléaire (soit 3 %) dans les hypothèses présentées.

Il apparaît aujourd'hui impossible de conclure sur l'intérêt économique de rechercher à construire un mix 100 % EnR en France à l'horizon de la moitié du siècle. D'une part, la performance d'un tel mix au regard des émissions de gaz à effet de serre (GES) n'est pas avérée et rien n'indique qu'elle serait meilleure que celle d'un parc mix nucléaire et EnR⁹. D'autre part, les incertitudes restent majeures sur de nombreux paramètres, comme les performances des EnR et des moyens de flexibilité (stockage et autres), comme aussi les designs de marchés ou le niveau de la demande (ainsi, la stabilisation que fournit l'hydraulique étant bornée, des scénarios de croissance de la demande génèrent des besoins plus forts en puissance piloteable telle que le nucléaire). Les incertitudes portent aussi sur les modélisations elles-mêmes et leurs diverses impasses sur certaines contraintes (la distribution de l'électricité est généralement absente des modèles utilisés, alors que la production d'EnR répartie est un pan essentiel du sujet). Enfin, les effets et contraintes dynamiques de la constitution des parcs ne peuvent être ignorés. Si rien ne dit qu'il serait impossible de construire un parc « *ex nihilo* » performant en 2050 ne comportant que des EnR, il est très probable que le chemin pour y parvenir en dynamique serait en pratique impossible à tracer, tant les durées d'exploitation des moyens de production sont longues et tant la levée des hypothèses supra est un phénomène graduel qui nécessite des décisions现实istes et prudentes à chaque période (la PPE ne dit d'ailleurs pas autre chose).

Les technologies nucléaires, partant du nucléaire actuel, relayé bientôt par des EPR2 performants à coût maîtrisé, sont à même de diriger la France vers une situation robuste et dynamique, au sein de laquelle un socle nucléaire (fixé vers 50 % à l'horizon 2035, plus ou moins important au-delà) permettra de gérer les risques et les opportunités de façon assurantielle, avec la certitude de contribuer fortement à remplir les grands objectifs de la transition.

⁹ – L'ADEME par exemple mène depuis plusieurs années des études sur un bilan dynamique des scénarios en Analyse de Cycle de vie. Elle n'a rien publié jusqu'à maintenant.

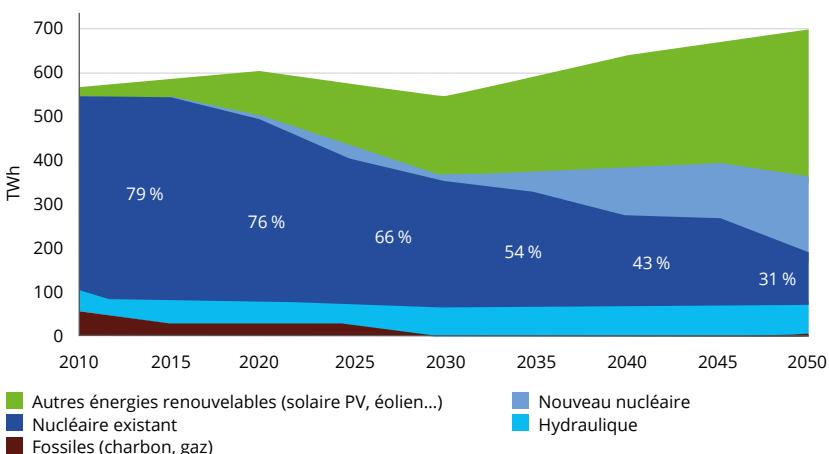
Par ailleurs, au côté des 40 GW de nucléaire français, le modèle inclut aussi 70 GW de capacité nucléaire dans les autres pays européens. Ainsi, pour atteindre les objectifs de décarbonation, il est nécessaire de lancer de nouvelles constructions nucléaires dans 12 pays de l'Union européenne. La capacité industrielle de la France, seul pays de l'Union européenne qui dispose aujourd'hui d'une chaîne industrielle complète capable de construire de nouveaux réacteurs, garantit non seulement la souveraineté française, mais aussi la souveraineté européenne en matière de maîtrise de cette technologie.

1.1.2 Les mêmes scénarios prévoient un démarrage des premiers réacteurs sur la période 2030-2035, en anticipation d'une hausse de la consommation

Le projet de PPE indique qu'il n'y a « *pas de nécessité de nouvelles constructions avant 2035* ». Pourtant on voit que les scénarios de décarbonation PRIMES EUCO 2030 indiquent une mise en ligne des toutes premières constructions sur la période 2030-2035. Pour rappel, ces simulations prennent en compte trois dimensions importantes : la dimension de long terme, la dimension européenne, et la dimension énergétique dans son ensemble. Elles montrent qu'à l'horizon 2030-2035, il est possible de conjuguer à la fois réduction de la part du nucléaire, croissance des énergies renouvelables et renouvellement du parc nucléaire. Maintenir un socle nucléaire de 35 à 40 GW conduirait ainsi, selon les scénarios PRIMES, à la construction de 3 à 4 paires d'EPR par décennie entre 2030 et 2050.

Figure 2 : Scénario de renouvellement du parc nucléaire français avec atteinte de l'objectif des 50 % en 2035.

(Source : E3 Modelling (PRIMES), SFEN)



La période 2030-2035 apparaît comme une période pivot, en raison des prévisions des scénarios sur la demande d'électricité, liés à la nécessité d'accélérer l'électrification des usages pour atteindre les objectifs de long terme de décarbonation à 2050. Jusqu'en 2030, les scénarios présentent une demande relativement stable : sur cette période, les progrès conséquents dans le domaine de l'efficacité énergétique compensent ceux, en termes d'électrification des usages. À partir de 2030 en revanche, l'exigence devient telle que la demande d'électricité commence à augmenter de manière significative.

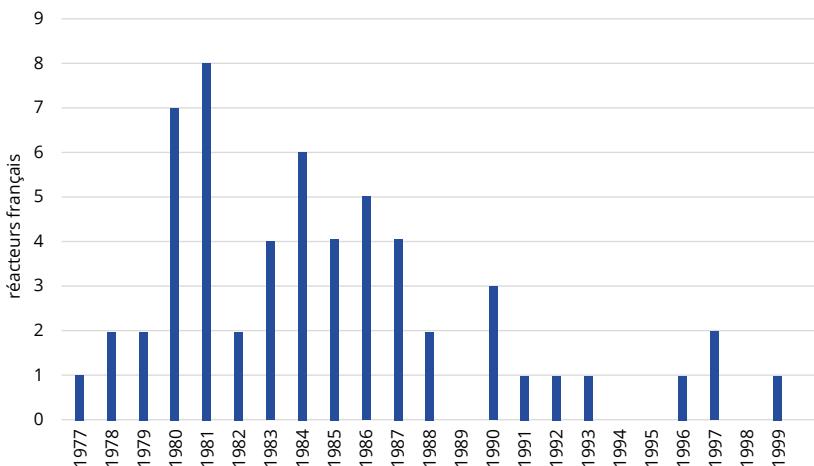
On voit qu'un retard sur la mise en service de nouvelles constructions, qui n'anticiperait pas suffisamment cette perspective concernant la demande, est susceptible d'entraîner une tension sur le mix électrique. Ceci d'autant plus que la France sera amenée à lisser la fermeture de son parc existant sur la période, pour anticiper un effet falaise à l'horizon 2040.

1.2 La France doit disposer dès maintenant d'une stratégie solide pour être en mesure de gérer l'important effet falaise à venir

1.2.1 Dans les années qui viennent, la sécurité d'approvisionnement française sera assurée par une prolongation à 50 ou 60 ans des tranches existantes

Le parc nucléaire existant est encore relativement jeune en France avec un âge moyen de 33 ans. Les premiers réacteurs ont été mis en fonctionnement à la fin des années 1970 et atteignent donc désormais 40 ans.

Figure 3 : Distribution des mises en service du parc nucléaire existant en 2019.
(Source : SFEN)



L'objectif du programme Grand Carénage est de prolonger les réacteurs (hors Fessenheim) significativement au-delà de 40 ans ; 50 ans a minima, et 60 ans pour la majeure partie des tranches.

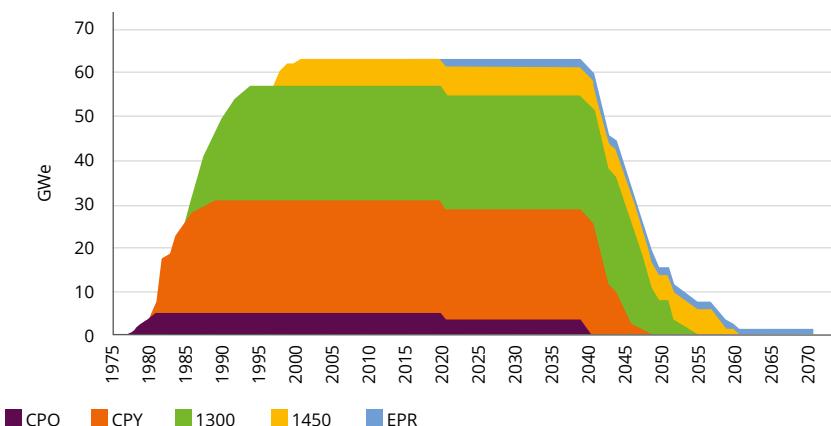
Cette prolongation est soumise à l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) qui délivre son autorisation réacteur par réacteur, à l'issue des visites décennales qui intègrent la révision de leur référentiel de sûreté, notamment liées aux mesures post-Fukushima. EDF a exprimé publiquement qu'elle était confiante, sur la base de ses échanges techniques en cours avec l'ASN, dans l'avis que cette dernière rendra concernant la poursuite de l'exploitation au-delà de 40 ans de son parc. Le programme Grand Carénage est estimé actuellement à 45 Mds d'euros d'investissement entre 2014 et 2025, sur un périmètre plus large que l'extension de la durée de fonctionnement et incluant notamment la maintenance courante.

1.2.2 À l'horizon 2040, la France peut être confrontée à un important effet falaise

La prolongation théorique de la durée de fonctionnement à 60 ans pour l'ensemble des réacteurs existants pose la question d'un effet falaise, lié au calendrier historique extrêmement rapide de construction des tranches dans les années 1980.

Figure 4 : Évolution du parc nucléaire français avec une hypothèse de durée de fonctionnement à 60 ans.

(Source : SFEN)



Cet effet falaise s'illustre bien au travers d'un scénario enveloppe où, – mis à part Fessenheim arrêté avant sa quatrième visite décennale –, l'ensemble du parc nucléaire existant serait prolongé à 60 ans :

- En 2050, plus des 3/4 du parc nucléaire existant (51 GWe) aurait atteint 60 ans et, - à l'exception de Flamanville -, les réacteurs restants seraient arrêtés d'ici 2062,
- La dynamique de baisse du nucléaire serait particulièrement brutale dès 2039 avec l'arrêt en moyenne de 4 GWe/an jusqu'en 2050.

Dans le même temps, il ne sera pas possible d'accélérer un programme Nouveau nucléaire à partir de 2040, à un rythme de 3 à 4 paires par décennie, si l'on n'a pas déjà établi, sur la décennie précédente 2030-2040, une capacité industrielle à construire en série, de manière performante et sécurisée, au rythme d'une paire en moins de 5 ans.

Il est donc nécessaire d'anticiper cette dynamique du parc nucléaire à l'horizon de la PPE autant que possible en préparant son renouvellement dès le début de la décennie 2030 avec de nouveaux moyens de production, nucléaire et renouvelables (associés à des moyens de stockage à grande échelle).

Compte tenu de ce calendrier énergétique, une question centrale pour la stratégie énergétique nationale est de définir la date à laquelle il est pertinent, voire nécessaire, de commander de nouveaux réacteurs afin de garantir la sécurité d'approvisionnement bas carbone de la France.

1.2.3 La période 2030-2035 est une période pivot en termes de capacité nucléaire disponible

Dans les années qui viennent, l'approvisionnement électrique sera soumis à des aléas aujourd'hui difficiles à prévoir, comme une possible hausse de la consommation d'électricité, la stratégie de nos voisins européens (sortie du charbon en Allemagne, incertitude sur le parc nucléaire en Belgique, en Suisse ou en Espagne), ou le rythme de déploiement des nouvelles énergies renouvelables, des CCS et des capacités de flexibilité du réseau. La prolongation du parc nucléaire français, socle de l'approvisionnement français, est en mesure de protéger la France contre ces aléas.

La période 2030-2035 apparaît comme une période pivot à double titre. On a pu voir précédemment que, selon les scénarios PRIMES, la période 2030-2035 est une période pivot en termes de possible hausse de la consommation d'électricité. Elle est aussi pivot pour une autre raison : la fermeture par EDF d'un certain nombre de réacteurs qui auront atteint la durée d'exploitation de 50 ans (5^e visite décennale) dès la fin des années 2020. Ainsi, dans son cahier d'acteurs publié dans le cadre du débat public sur la PPE, EDF a présenté sa vision économique et industrielle : elle a indiqué qu'il ne lui semblait pas réaliste d'emmener l'ensemble du parc nucléaire à l'échéance de 60 ans. Au-delà de la

nécessaire autorisation de l'ASN pour chacun des réacteurs, le groupe a avancé « la difficulté à gérer la perte rapide de dizaines de GW de capacités, concentrée sur quelques années », qui résulterait de l'effet falaise. EDF a précisé vouloir anticiper des arrêts avant l'échéance de 60 ans, et « nécessairement à l'échéance d'une visite décennale », car c'est le moment où les investissements importants sont engagés pour répondre aux nouvelles exigences de sûreté de l'ASN. Elle a déclaré ainsi envisager certains des arrêts dès le début des échéances des 5^e visites décennales à partir de 2029.

Le projet de PPE, qui présente une trajectoire de réduction de la part du nucléaire dans le mix électrique à l'horizon 2035, prévoit (sous un certain nombre de conditions) un calendrier de mise à l'arrêt définitif, à partir de 2027 et potentiellement dès 2025, de 12 réacteurs de 900 MW avant 2035 (hors Fessenheim) ; soit une baisse sur la période de la capacité nucléaire de 11 GW (17 % de la capacité nucléaire disponible). Post-2035, d'autres anticipations d'arrêts seront rendus nécessaires par l'effet falaise.

Compte tenu à la fois des possibles pressions sur la demande à partir de 2030, et de la mise à l'arrêt de réacteurs sur la période 2027-2035, et des anticipations d'arrêts rendus nécessaires par l'effet falaise après 2035, il convient, pour se protéger des aléas et sécuriser l'approvisionnement de la France en électricité bas carbone disponible à la demande, de préparer la mise en service des nouvelles constructions le plus tôt possible au début des années 2030.

Il faut noter que, a contrario, il n'y a pas de risque pour la France à disposer d'un excédent électrique sur cette période ou de faire face à une chute des prix de gros de l'électricité qui menacerait la compétitivité du parc nucléaire existant. Compte tenu du coût de production variable très bas du parc nucléaire, comme il est rappelé dans le projet de PPE, le parc nucléaire se positionne favorablement dans l'ordre d'appel des moyens de production d'électricité sur le marché français et européen, juste après les énergies renouvelables fatales (dont le coût variable est quasiment nul), mais avant les moyens de production carbonés (lignite, charbon, gaz, fioul). C'est l'une des raisons, comme il est encore précisé, pour laquelle le mix électrique français, bien que ne présentant pas de surcapacités importantes contrairement à certains de nos voisins européens, est structurellement exportateur.

1.3 La France doit anticiper les étapes réglementaires et les temps nécessaires pour les travaux et la mise en service des premiers nouveaux moyens nucléaires

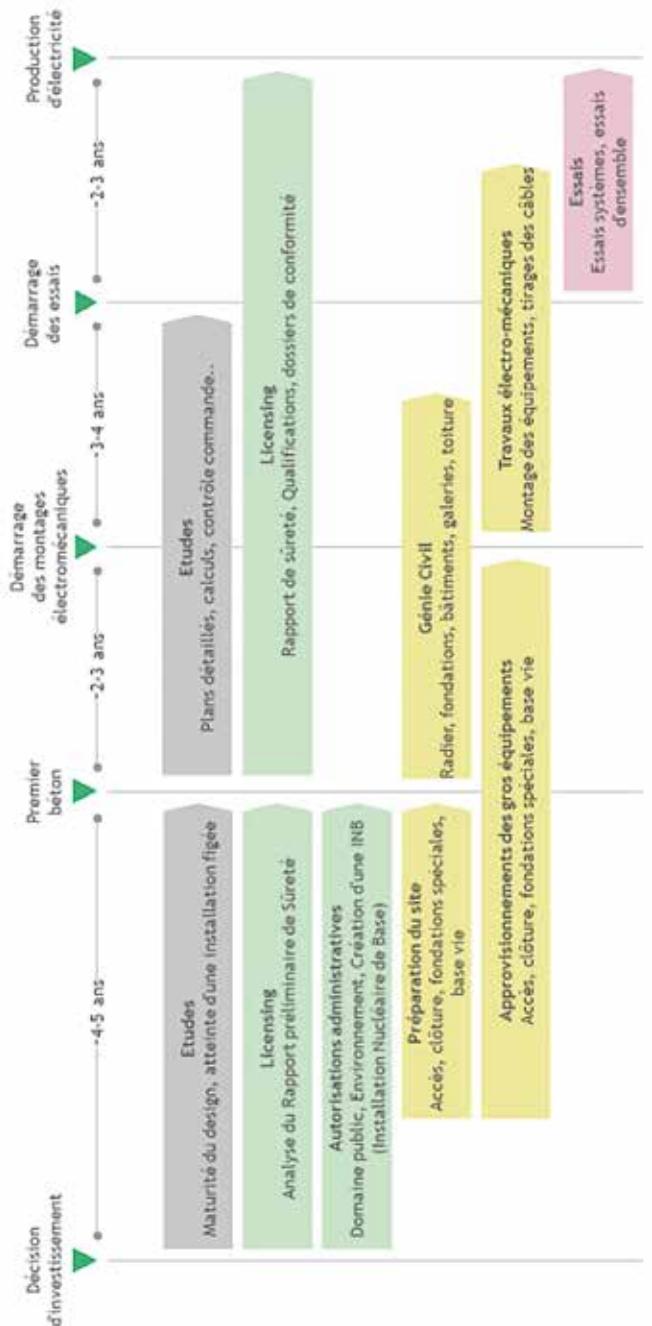
La période, entre la décision d'engagement d'un projet nucléaire prise sur la base d'un cadre contractuel établi et le début effectif des travaux de construction d'une centrale nucléaire, communément associée au coulage du premier béton du radier de l'îlot nucléaire, est cruciale pour la réussite du projet. Cette phase peut prendre 4 à 5 ans.

Tout d'abord, l'exploitant désigné a besoin de quelques mois pour constituer son dossier de demande réglementaire d'autorisation de création d'une Installation nucléaire de base (INB) et de permis de construire.

Puis cette phase de préparation passe par 4 axes d'activités en parallèle : l'atteinte de maturité du design, l'analyse du rapport préliminaire de sûreté, la préparation du site choisi et enfin les autres autorisations administratives.

- La maturité du design. Le retour d'expérience des récents projets nucléaires montre qu'une maturité forte du design est indispensable à la réussite ultérieure de sa construction. Pour cela, les équipements, qui seront *in fine* installés, ont besoin d'être connus avec précision. Les informations des fournisseurs sur les caractéristiques techniques exactes de leurs produits, en termes de dimensions et de performances, sont en effet indissociables de l'atteinte d'une installation figée. Cette prise en compte anticipée des retours des fournisseurs d'équipements dans le design, en particulier afin d'élaborer les plans d'exécution du génie civil, implique d'avoir signé les principaux contrats environ 4 ans avant le premier béton.
- L'analyse du rapport préliminaire de sûreté par l'ASN. Conformément à la loi, cette période est prévue sur une durée allant de 3 à 5 ans.
- La préparation du site. Cette activité comprend à la fois les aménagements nécessaires à l'ouverture d'un chantier (clôtures, accès), les travaux préparatoires, à savoir les terrassements, les ouvrages enterrés, et les éventuels travaux spéciaux (fondations spéciales, plateforme de chantier, etc.). Depuis les décrets de 2016, ces travaux, qui pouvaient être anticipés dans le passé, doivent être intégrés au périmètre du projet et ne peuvent plus être démarrés avant l'avis de l'autorité environnementale indépendante sur l'étude d'impact du projet, déposé dans le cadre de la demande d'autorisation de création, et sont soumis à l'obtention d'un permis de construire (soit *a minima* un an après le dépôt de demande d'autorisation de création et le retour de l'enquête publique). Cette séquence de travaux préparatoires est devenue, depuis les décrets de 2016, la plus critique en termes de planning, entre la décision d'engagement et le premier béton. Elle dure *a minima* 4 ans pour les sites présentant les conditions les plus favorables en termes de travaux préparatoires.
- Les autres autorisations administratives. Un projet de construction nucléaire, qu'il soit en bord de mer ou de rivière, sur un site déjà existant, devra faire

Figure 5 : Les étapes de la construction des nouveaux réacteurs (source : BCG)



l'objet de nombreuses demandes d'autorisations administratives, notamment sur l'occupation du domaine public, fluvial ou maritime, la préservation de l'environnement, et de demandes de modifications des INB existantes (périmètre, autorisations de rejets). Ces procédures représentent une durée significative sur le planning de préparation.

Le cumul de l'ensemble de ces activités tend à montrer aujourd'hui qu'il est raisonnable de prévoir 4 à 5 ans entre la décision d'engagement d'une demande d'autorisation de création et la réalisation d'un premier béton.

Au-delà du premier béton, il est prudent, dans l'état actuel des connaissances, de prévoir des marges pour aléas, sur la première construction de la nouvelle série à venir, comme indiqué dans le planning ci-contre. À noter qu'il ne s'agit pas d'un planning de série, ni de l'ambition que la filière doit se donner : le coût de l'investissement est très sensible à la durée de construction, et l'un des premiers objectifs du programme industriel EPR2 est de réduire, grâce aux effets de série, la durée de construction, en alignement avec les meilleures performances internationales (évaluées aujourd'hui à 72 mois).

Il pourrait donc falloir jusqu'à une quinzaine d'années entre le moment où la décision de construire sera prise, et la mise en service du premier réacteur. On voit que, pour garantir la mise en ligne d'un premier réacteur en 2035, la France est déjà en retard.

2. Le calendrier de politique industrielle

La France aura besoin d'un socle d'énergie nucléaire à l'horizon 2050, et d'engager un programme industriel de constructions de nouveaux moyens de production nucléaire sur la période 2030-2050. Pour y parvenir, elle devra mobiliser l'ensemble de sa filière industrielle, en particulier les industriels et prestataires engagés dans la construction de nouveaux réacteurs, pour s'assurer qu'elle disposera, à temps, des compétences nécessaires.

La France dispose toujours aujourd'hui d'une chaîne de valeur industrielle complète, qui lui permet, avec sa propre technologie et ses propres entreprises (de l'ETI à la PME), de construire des nouveaux moyens de production nucléaire. Le nucléaire est d'ailleurs le dernier secteur énergétique où c'est le cas.

Pour rappel, le nucléaire est aujourd'hui la troisième filière industrielle française, forte de 2 600 entreprises et 220 000 collaborateurs. Ses salariés sont pour deux tiers des cadres et des ETAM, soit une proportion deux fois plus élevée que dans la moyenne nationale.

Pour que la filière puisse maintenir ses compétences et disposer des ressources mobilisables à temps, elle aura besoin d'une visibilité suffisante pour se doter de moyens pérennes qui permettent de produire dans les délais, en conformité avec les contraintes qualité, et avec des coûts maîtrisés.

Afin d'évaluer les contraintes liées au calendrier industriel de mobilisation de la filière, la SFEN a demandé au BCG une étude sur sa situation et ses besoins. Elle a proposé de donner la parole aux représentants de la filière à travers deux approches :

- une série d'entretiens auprès des directions de 15 entreprises représentatives de l'ensemble des spécialités de la filière et de son empreinte économique sur le territoire,
- un questionnaire quantitatif distribué plus largement auprès des professionnels de la filière à travers des réseaux comme celui du pôle de compétitivité Nuclear Valley et du GIIN.

2.1 Pour rappel, les nouvelles constructions nécessitent que des compétences spécifiques soient disponibles selon un calendrier établi

2.1.1 La filière nucléaire, sur les grands chantiers de nouvelles constructions nucléaires, requiert des compétences spécifiques

Aucun projet de réacteur nucléaire n'avait été lancé ni démarré en Europe depuis deux décennies. Or la filière nucléaire se caractérise par des exigences très strictes en gestion de grands projets, études de sûreté, assurance qualité, en pureté des matériaux, en comportement des équipements sous irradiation, en tenue à long terme, etc. Il a donc fallu reconstituer l'ensemble de la chaîne industrielle pour construire les EPR d'Olkiluoto OL3 et de Flamanville FLA3.

Dans le cadre de ces deux projets, EDF et Framatome ont qualifié plus de 600 fournisseurs d'équipements et services et obtenu des progrès sensibles sur la qualité et le calendrier des fournitures. La totalité de la chaîne industrielle, systèmes, services et composants, doit être qualifiée au niveau « qualité nucléaire » ; les standards de qualité sont définis et contrôlés par les organismes notifiés. On distingue en particulier les composants et les services « importants pour la sûreté », pour lesquels les exigences sont maximales. Ensuite on se réfère aux normes ISO 9001. La qualification d'un fournisseur peut prendre jusqu'à deux ans, avec d'abord un appel à manifestation d'intérêt, qui va donner lieu à une présélection après visite des entreprises candidates, et ensuite un test de préqualification du composant ou du procédé sur un cahier des charges bien défini. Pour bien des prestataires, il a fallu investir en compétences, par recrutement ou par programme interne de formation, sur des domaines spécifiques au nucléaire.

Si les têtes de série EPR ont permis de requalifier la supply chain nucléaire, l'absence de décision sur le Nouveau nucléaire à l'horizon 2021 viendrait mettre en risque cette qualification.

2.1.2 Les différents corps de métiers interviennent sur un chantier de nouveaux réacteurs en fonction des phases d'avancement

En amont de la décision d'investissement, les équipes Etudes préparent la construction de l'avant-projet et interviennent sur le site pour réaliser les études et les mesures nécessaires. Puis, pendant les cinq premières années, ces équipes poursuivent leur travail pour réaliser l'analyse réglementaire, la modélisation en maquette, les calculs et les plans. L'équipe du génie civil se joint à elles pour le terrassement, la construction des prises d'eau, des galeries d'acheminement et des bâtiments. Ensuite, au cours des cinq dernières années, les équipes de montage électromécanique mènent à bien les travaux de ventilation, de tuyauterie et d'électricité. Les équipes de finition se chargent des travaux d'isolation thermique, de peinture et du calfeutrement. Les équipes de réalisation d'essai interviennent en fin de chantier. De manière transverse, des fabricants d'équipements et des équipes de préfabrication sont sur place

(pour la tuyauterie par exemple) pendant toute la durée du chantier. Il en est de même pour les organismes en vue d'assurer la conformité des activités réalisées avec les exigences réglementaires et les codes applicables. Enfin, les équipes de facilitation de chantier sont également présentes de façon continue.

2.1.3 La bonne gestion et le développement des compétences nécessitent que, dans le cadre d'un programme, les chantiers soient organisés selon un cadencement spécifique

On a vu, dans l'étude du programme français réalisé par la Cour des comptes, que d'importants gains sur le coût de construction pouvaient être obtenus par les effets de série : réalisation de 2 tranches sur un même site (gain de coût de 15 %) et réalisation d'une série d'au moins 3 paires.

Dans la perspective de construire plusieurs tranches d'affilée, la capacité en ressources des grands corps de métiers sera une variable clef. Le bon cadencement des chantiers, à partir du premier réacteur, doit permettre aux industriels de s'assurer, entre autres, de la bonne disponibilité des personnes compétentes dans la phase du chantier où leurs compétences sont requises.

Dans le cadre d'un programme nucléaire, les personnes compétentes peuvent ainsi être affectées d'un projet à un autre, en fonction des besoins des chantiers. Ces affectations participent, au même titre que le cadencement, à l'effet de série car les personnes gagnent en expériences, en compétences et en efficacité au fur et à mesure des chantiers.

Le graphe suivant montre comment un cadencement de nouvelles constructions avec un rythme d'une paire de tranches (sur un même site) tous les 5 ans permettrait d'optimiser la gestion et le développement des compétences. L'hypothèse retenue est qu'un nouveau chantier (construction de 2 tranches) démarrait tous les 5 ans, une fois que les ressources d'études et de génie civil du précédent chantier pourront être mises à disposition. Les équipes de montage électromécanique et de finition suivraient également des cycles de 5 ans d'un chantier à un autre.

Figure 6 : La prise en compte des contraintes industrielles : taux de charge et solidité de la filière (source : BCG)



Ce cadencement est une hypothèse de travail pour le rythme de démarrage du programme, sachant qu'il convient aussi d'étudier comment accélérer le rythme, afin de pouvoir satisfaire les exigences du calendrier énergétique, présenté dans la partie 1 de la note. On voit en effet qu'il faudrait, afin à la fois de garantir la disponibilité du socle nucléaire nécessaire à l'horizon 2050 et faire face à l'effet falaise à partir de 2040, être en mesure d'accélérer et doubler la cadence sur 2040-2050, soit plutôt un rythme de 2 paires tous les 4 à 5 ans. Pour cela il sera essentiel que la filière nucléaire ait été en mesure sur la période 2030-2040 d'avoir établi sa capacité à construire en série, avec un schéma industriel, une organisation et des processus robustes, lesquels nécessiteront de lui donner une visibilité dès aujourd'hui sur la construction d'une première série de 3 paires.

2.1.4 Si la disponibilité des compétences devient un facteur structurant pour le calendrier industriel, a contrario l'organisation du calendrier industriel est clef pour garantir la disponibilité des compétences

S'il semble réaliste que le calendrier puisse s'accélérer au fur et à mesure des chantiers, ce qui est d'ailleurs caractéristique de l'effet de série, on constate que la capacité maximale de construction de nouvelles centrales nucléaires sera limitée par la disponibilité des ressources.

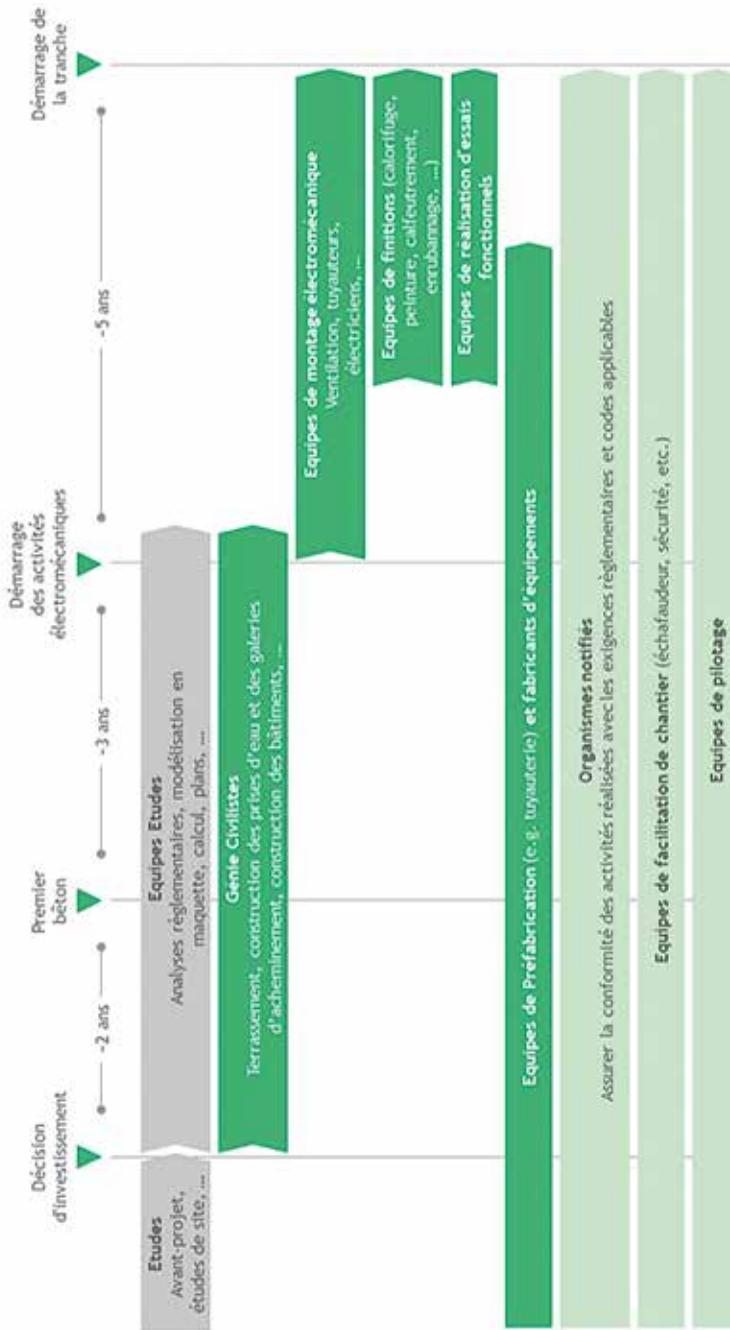
Les compétences spécifiques aux grands chantiers de nouvelles constructions nucléaires sont aussi prisées par d'autres industries. C'est le cas en particulier des compétences au niveau de la gestion des grands projets, de l'ingénierie, ou de la sûreté. Autrement dit, si des formations spécifiques sont nécessaires pour entrer dans les activités nucléaires, les personnes peuvent facilement trouver du travail, – en cas de « trou de charge » ou de manque de visibilité sur les projets à venir –, dans d'autres industries, et manquer à l'appel au moment du redémarrage des projets.

2.2 Grâce à l'EPR Flamanville, la filière a reconstitué des compétences mais elles restent fragiles

Il convient de rappeler, en amont des résultats de l'étude, que les problématiques générales des entreprises interrogées sont nécessairement très variées en fonction de leur profil d'activités :

- selon qu'elles sont exposées plutôt à des activités de services au parc nucléaire actuel (comme ONET, NUVIA ou Rolls Royce Civil Nuclear), ou pour l'essentiel à des projets du Nouveau nucléaire (comme Alstom Power Systems, Bureau Veritas, Schneider ou TechnicAtome), ou à l'ensemble des métiers du cycle (comme Assystem Technologies, REEL, VELAN, ENDEL, BOCCARD, NEXANS),
- selon, qu'elles interviennent largement sur d'autres industries (comme TechnicAtome, Prezioso, BOCCARD, NEXANS, SCHNEIDER), ou sont relativement spécialisées dans le nucléaire civil (comme ONET, NUVIA, VELAN, ENDEL, REEL, Alstom Power Systems),

Figure 7 : Intervention des corps de métiers en fonction des phases d'avancement du chantier (source : BCG)



- selon qu'elles interviennent sur des activités d'ingénierie jusque très en amont de projets (comme Assystem Technologies ou Bureau Veritas), ou sur des activités de réalisations (comme VELAN, BOCCARD, ENDEL),
- selon qu'elles ont réussi à s'exporter sur des chantiers nucléaires à l'international (comme Alstom Power Systems, VELAN, Schneider, Bureau Véritas), ou pas.

2.2.1 Alors que le chantier de l'EPR Flamanville se termine, la filière met en place des stratégies de court terme

La majorité des responsables d'entreprises, en bons gestionnaires, affirment maîtriser leur carnet de commandes pour les trois prochaines années, mais les situations semblent assez disparates. La filière montre des signes effectifs de fragilité : d'un côté 59 % des répondants déclarent avoir des activités nucléaires « stables ou en croissance », de l'autre, près de 40 % des personnes interrogées relatent qu'elles sont en dessous ou en limite du seuil d'activité souhaitable.

Figure 8 : Au rythme actuel et connu de vos activités nucléaires, quel est le statut de vos activités ? (Source : BCG)

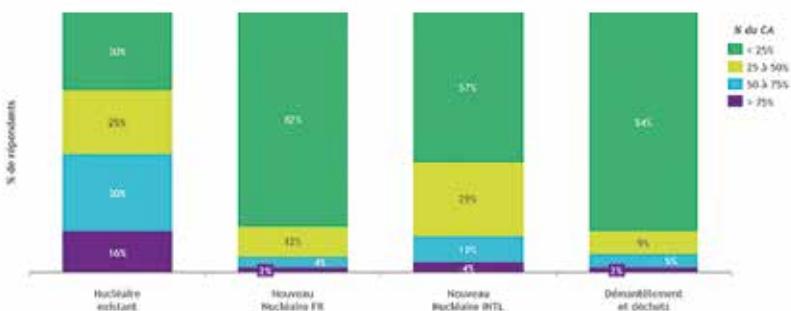


Les résultats témoignent du caractère très disparate des portefeuilles d'activités des entreprises de la filière, lesquelles ne sont pas affectées de la même façon par la fin du chantier de l'EPR Flamanville.

Ainsi beaucoup d'entreprises sont en grande partie engagées dans des activités de services au parc nucléaire existant, par nature sur des pas de temps plus long et offrant une assez bonne visibilité sur les années à venir, voire à moyen terme. « *Le parc aura toujours besoin de notre expertise et le parc est là pour durer* », reconnaît un dirigeant de la filière. Le Grand Carénage en particulier permet à plusieurs entreprises d'intervenir sur de véritables programmes à moyen terme en raison du niveau élevé de standardisation du parc nucléaire.

Ainsi 45 % des répondants déclarent réaliser sur le parc plus de la moitié de leur activité les 5 prochaines années. En revanche, ils sont 83 % des personnes interrogées à prévoir moins de 25 % d'activités pour le Nouveau nucléaire en France dans leur plan de charge à 5 ans.

Figure 9 : De quoi sera composée votre activité nucléaire sur les 5 ans à venir ? (Source : BCG)



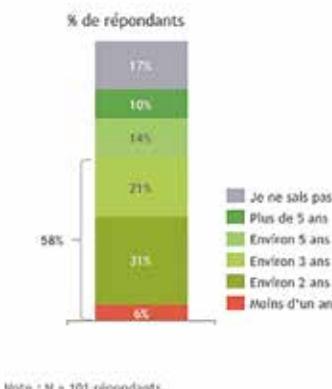
Certaines entreprises peuvent reporter en partie et à court terme leurs compétences développées sur le chantier de l'EPR Flamanville vers d'autres chantiers de la filière en France ou à l'étranger. C'est le cas du réacteur de recherche Jules Horowitz (RJH), le projet de réacteur à fusion ITER ou le projet de construction de deux EPR à Hinkley Point C (HPC). « *Aujourd'hui, j'ai trop de travail par rapport à ce que je peux réaliser. Et ça ne va pas changer à court terme avec la montée en puissance d'ITER* », estime un intervenant. « *Nous pouvons maintenir nos compétences cols blancs sur HPC et ITER, nos compétences cols bleus seront cependant perdues* », concède une personne interrogée. Une autre reconnaît que « *le projet HPC permet de maintenir l'activité de nos usines pendant les 2 prochaines années* ». Aussi, malgré l'absence d'une décision d'investissement finale, le lancement d'études pour le projet de Jaïpur en Inde peut également servir à sauvegarder des compétences limitées aux domaines de l'ingénierie.

Enfin certaines entreprises, qui ont réussi à développer leurs activités à l'exportation, bénéficient en partie des projets russes (Rosatom) en Finlande, en Hongrie et en Turquie. « *Les façons de travailler, les référentiels, les automatismes sont relativement proches entre la France et le reste de l'Europe et les compétences de la filière française sont encore reconnues par Rosatom* », explique une dirigeante de la filière. D'autres, plus rares, interviennent sur d'autres lieux géographiques, comme la Corée ou la Chine. Cependant, ce relais de croissance est jugé extrêmement fragile par l'ensemble des entreprises concernées, d'abord parce que le calendrier de l'ensemble des projets de Rosatom est très incertain, et il est en train de glisser : « *nous avons eu beaucoup de succès commerciaux auprès de Rosatom récemment, mais ces succès représentent surtout des coûts et peu de recettes à ce stade* » ; ensuite, parce que les opportunités en Chine se réduisent pour la filière française, alors que cette dernière dispose désormais de ses propres compétences : « *les appels d'offres sont désormais en chinois et les autorités locales nous refusent le fameux HAF 601 pour des raisons purement politiques* ».

2.2.2 D'ici 3 ans, sans nouvelle visibilité, la filière sera de nouveau en situation de perdre ses compétences sur les constructions neuves

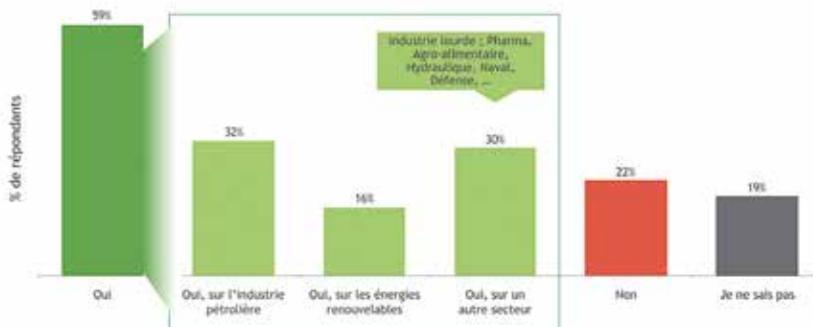
58 % des responsables interrogés déclarent que, sans décision sur le renouvellement du parc nucléaire dans les 3 ans, ils commenceront à réduire leurs effectifs.

Figure 10 : Existe-t-il un point de pivot de réduction des effectifs en nucléaire sans décision de renouvellement ? (Source : BCG)



Ils rappellent par ailleurs qu'il n'existe pas de relais évident d'activités pour « préserver » les emplois et l'outil industriel. Seules 56 % des entreprises interrogées s'estiment capables de redéployer, de manière temporaire ou définitive, leurs effectifs sur une autre activité. En grande majorité, cette dernière concerne l'industrie pétrolière et le naval de défense. « *Nous cherchons à nous diversifier dans le pétrole offshore, avec une relative fongibilité sur nos ressources nucléaires* », explique un dirigeant. Il faut noter à ce sujet que les énergies renouvelables n'apparaissent pas comme un relais crédible de maintien des compétences et de poursuite de l'activité économique : seuls 16 % des répondants envisagent de redéployer leurs ressources nucléaires dans ce secteur.

Figure 11: En cas de déficit d'activités nucléaires, vous est-il possible de redéployer vos ressources nucléaires internes sur d'autres secteurs ? (Source : BCG)



Au niveau des constructions neuves, les répondants jugent que les projets en cours (HPC, RJH, ITER, Hanhikivi, Akkuyu et a fortiori FLA3), ne s'inscrivent pas suffisamment dans le long terme pour leur donner la visibilité dont ils ont besoin et gérer leurs compétences. Les autres projets potentiels à l'export (Sizewell B, Jaitapur, Paks ainsi que le projet d'usine de recyclage en Chine) sont jugés, quant à eux, trop incertains. « *Nous ne comptons pas sur Jaitapur dans notre scénario bas* », précise par exemple un dirigeant. « *Jaitapur ne fait tout simplement pas partie de notre plan de charge* », ajoute un autre, et « *Sizewell est toujours aussi hypothétique à moyen terme* ».

C'est naturellement en s'appuyant sur un programme domestique que la filière peut préparer ses projets internationaux. Cependant, à l'heure actuelle, les projets internationaux – celui de Taïshan (Chine) et celui d'Hinkley Point C (Royaume-Uni) – servent de référence à la filière française et de réservoir de compétences pour un nouveau programme français.

Au-delà du risque de perte des pures compétences techniques, tous mettent en garde contre le risque de perte de la culture de sûreté. « *Il faut des années pour construire une culture sûreté au sein de votre collectif, mais si vous ne la maintenez pas avec de l'activité pérenne et sur laquelle vos effectifs peuvent se projeter, vous pouvez la perdre très rapidement* », explique un dirigeant. « *D'ailleurs, dans les années 1990 de nombreuses entreprises ont quitté la filière faute d'activités, et ne sont jamais revenues parce que l'investissement à réaliser est trop grand* », rappelle un autre. Un troisième met en garde : « *la décision de ne pas faire ou la non-décision de faire risque de créer un effet psychologique dévastateur, voire une débandade industrielle* ».

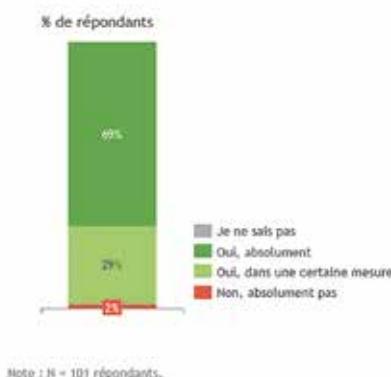
Plusieurs précisent d'ailleurs que l'activité sur le parc ne suffit pas non plus à maintenir les compétences requises par les chantiers du Nouveau nucléaire : « *l'activité en base installée est extrêmement encadrée par EDF, avec des chantiers normés par les règles d'exploitation des centrales et les arrêts de tranches. Sur un*

chantier Nouveau nucléaire, les problématiques terrain sont très différentes ». « Les connaissances et méthodologies utilisées sur une construction neuve sont assez différentes sur la réalisation de modifications en Base installée, et peu comparables aux travaux de maintenance courante ».

Enfin, le démantèlement des installations nucléaires existantes n'est pas perçu comme un potentiel substitut, même partiel, à un programme industriel de type renouvellement du parc pour maintenir les compétences de la filière : « *les volumes d'activité, les expertises requises, etc., ne sont absolument pas comparables. Et puis on ne motive pas une équipe, on n'attire pas des talents avec du démantèlement !* », met en garde un industriel.

Aussi le lancement d'un programme de renouvellement est jugé nécessaire par la totalité des entreprises interrogées, et « *absolument indispensable à la pérennité de leur activité économique* » par 69 % des sondés, sachant que les impacts d'une telle décision mettront plusieurs années pour diffuser dans le tissu industriel, selon le calendrier industriel.

Figure 12 : Le lancement d'un programme de renouvellement du nucléaire en France vous paraît-il nécessaire à la pérennité de votre activité nucléaire ? (Source : BCG)



Au-delà des compétences sur les constructions neuves, c'est la pérennité de l'ensemble de la filière qui est en jeu. Beaucoup d'industriels rappellent qu'il n'y a pas que les centrales nucléaires qui génèrent de l'activité, mais aussi les installations du cycle, en amont et en aval, qui elles aussi sans un certain volume, ne pourront pas garantir leurs investissements. « *Le calendrier de fermeture des tranches pèsera sur l'ensemble du cycle, et donc sur les programmes d'investissements d'Orano en sus d'EDF* », rappelle un dirigeant.

De manière plus indirecte les entretiens confirment la nécessité de donner de la visibilité comme une nécessité absolue pour maintenir les compétences spécifiques à l'industrie nucléaire et pour permettre aux industriels de la supply chain de réaliser les investissements nécessaires pour conserver les compétences et être en capacité de répondre à des prochaines commandes de plusieurs EPR par décennie. « *Peu investissent dans ce marché* », souligne le dirigeant d'un fournisseur de la filière.

2.3 L'absence de visibilité au-delà de 5 ans représente une menace pour la filière nucléaire française

2.3.1 La filière souffre déjà, au même titre que tous les autres secteurs industriels, du manque de personnels formés dans les métiers techniques

« *Fabriquer en France je veux bien, mais avec qui ?* », questionne à titre d'illustration un industriel, en pointant la pénurie générale actuellement en France sur les métiers techniques, tous secteurs industriels confondus. Les acteurs de la filière sont par conséquent parfois contraints de recruter leurs ressources hors de France, même pour des niveaux élevés de qualification : « *je suis obligé de chercher au Portugal où il y a une vraie culture de grands projets, ou en Lituanie, pour des métiers pourtant sans formation préalable* », explique un intervenant. « *Aujourd'hui le chantier de Flamanville crée de l'emploi en Slovaquie, au Portugal et en Roumanie* », commente un autre.

Et pourtant tous rappellent que les métiers techniques peuvent offrir des carrières intéressantes. « *Nous avons un problème en France. On ne valorise pas assez les formations et les parcours de carrières en filière technologique* », rappelle fataliste un dirigeant, « *on parle de réindustrialisation, mais cela doit commencer par la formation des talents de demain sur l'ensemble des métiers de l'industrie* », explique une autre.

Il faut noter qu'aujourd'hui de gros efforts sont faits dans les territoires, en partie portés par la filière nucléaire, en coopération avec d'autres secteurs, afin de former les jeunes aux métiers techniques.

L'enjeu est différent sur le personnel d'encadrement, car s'il semble que la France forme des ingénieurs et Bac+2/3 de qualité, mais il est de plus en plus difficile de les orienter vers la filière nucléaire.

La question des soudeurs, critique aujourd'hui pour l'industrie en général, et le nucléaire en particulier : le cas du Cotentin

La soudure est un métier complexe et fondamental dans l'industrie, cadrée par des normes, des codes, des spécifications constituant un référentiel précis et rigoureux. Elle nécessite de nombreux savoir-faire techniques comme la connaissance des matériaux à assembler ou les procédés de soudage. Ces éléments sont à prendre en compte dès la conception de l'équipement pour aboutir à une soudure conforme.

Les exigences de mise en œuvre et les critères d'acceptation des soudures se trouvent renforcés dès lors qu'ils sont réalisés dans des filières de pointe dotées de fortes cultures de sûreté telles que l'aérospatiale, le naval (coques de sous-marins par exemple), les appareils à pression et/ou véhiculant des fluides dangereux, etc., et bien entendu dans la filière nucléaire qu'il s'agisse du cycle du combustible ou de la production d'électricité.

Dans ces environnements rigoureux, la formation et le maintien des compétences nécessitent une attention toute particulière et constituent aujourd'hui une problématique importante pour les entreprises de la métallurgie en général et de la filière nucléaire, en particulier, tant sur les plans quantitatif que qualitatif.

La métallurgie subit actuellement une véritable crise en matière d'effectifs

Dans la métallurgie aujourd'hui, les effectifs formés sont très nettement insuffisants, et ce secteur est en situation de crise. Dans le Cotentin par exemple, 1 000 postes sont actuellement vacants, des machines sont arrêtées faute d'opérateurs et les entreprises refusent des contrats.

À l'origine de cette désaffection, on trouve cinq facteurs essentiels :

- la dévalorisation des métiers manuels de la métallurgie, souvent choisis par les jeunes par défaut ;
- un mode d'acquisition des compétences insuffisant : l'apprentissage manque de pratique et est, en France, totalement dévalorisé ;
- la désindustrialisation de la France ces dernières années, et l'absence de grands chantiers en continu dans le nucléaire. La transmission intergénérationnelle du savoir-faire s'est éteinte et a touché tous les niveaux de l'organisation ;
- des formations inadaptées, dans des délais trop courts, sans réelle spécialisation ou en inadéquation avec les besoins des entreprises ;
- une sélection à l'entrée des formations sous-estimée comme l'absence d'évaluation sur la motivation des stagiaires, du savoir-être, etc., car le soudeur doit être capable aujourd'hui de travailler en équipe, expliquer, échanger avec des inspecteurs d'organismes de contrôle ou un client, etc.

Au-delà des « formations initiales », il convient également de travailler sur l'accélération de la montée en compétences des soudeurs déjà en poste. Des années de pratique sont nécessaires pour réaliser une soudure « sensible », en termes de sécurité ou de sûreté. Cette carence en personnel qualifié n'est pas seulement française mais aussi européenne. On a vu récemment sur le chantier de l'EPR, malgré un sourcing européen, qu'il a été difficile de monter en effectif alors qu'il y avait déjà six langues parlées sur ce chantier.

Le fonctionnement de la formation

Forte de ces constats, une formation appelée « Action soudage Cotentin » a été mise au point début 2018, et dont les premiers résultats sont encourageants. Cette action réunit une dizaine d'entreprises, la région et plus particulièrement ses services en charge de la formation, les organismes de formation eux-mêmes et la CCI Ouest Normandie qui assure la coordination et l'animation du programme. L'entreprise est au cœur du dispositif, élaboré grâce à l'implication de chefs d'atelier et de chantier, et sur la base d'une approche pragmatique : « *que doit être capable de faire un soudeur quand il arrive chez nous ?* ».

Une présentation de la formation est effectuée à un groupe d'environ 80 personnes retenues par Pôle Emploi, débouchant sur la sélection d'un groupe de 40 candidats qui passent ensuite trois entretiens avec les entreprises partenaires parties prenantes de la formation. Une dizaine seulement est retenue pour un cursus de 6 mois. La formation débute par deux modules sur le développement durable et la maîtrise des outils numériques puis se poursuit par l'assimilation des différents procédés et méthodes de soudage, où les apprentis doivent choisir une spécialité. Chaque mois correspond à une étape où les milieux de la formation et de l'entreprise sont étroitement liés. 90 % des apprentis se voient proposer un CDI ; les 10 % restants se dirigent vers des sociétés extérieures au programme.

Des perspectives de développement importantes

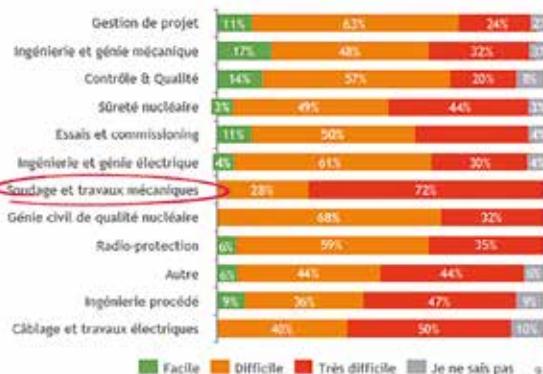
De l'aveu de toutes les parties prenantes, cette formation est un succès, et des projets de développement sont en cours au sein de la région Normandie, à la fois pour reconduire cette formation pour d'autres soudeurs, mais aussi pour exporter cette méthodologie vers d'autres métiers en tension, notamment tuyautiers et chaudronniers.

Cela étant, il est essentiel que de nouveaux grands chantiers démarrent à très court terme afin de ne plus connaître les problèmes relatifs au soudage, comme cela a été le cas sur deux derniers grands chantiers, Georges Besse II et l'EPR Flamanville. Le taux de réparation approchant les 10-15 % était courant, alors que durant la construction de l'usine d'Orano La Hague, il restait inférieur à 5 %.

2.3.2 Sans projet d'avenir, la filière n'est pas en situation d'attirer les talents dont elle aura besoin

Plusieurs dirigeants font tous le même constat des grandes difficultés de recrutement. Ils s'accordent à dire que, malgré les spécificités du secteur en matière de compétences et donc de besoins de formations, ces difficultés de recrutement sont pour partie liées, comme on l'a vu, à des facteurs structurels partagés avec les autres filières industrielles nationales. S'ajoutent cependant les questions sur l'avenir de la filière nucléaire, liées au manque de visibilité. « *Les jeunes ont du mal à s'imaginer faire une carrière dans le nucléaire car c'est une industrie qui est perçue sans avenir* ». « *On n'attire pas les jeunes talents avec une filière en démantèlement* ». « *Nous avons de plus en plus de turn-over car les jeunes voient leur avenir bouché* ».

Figure 13 : Dans ces domaines, vous est-il difficile d'attirer des candidats qualifiés ? (Source : BCG)



Même si, sauf exceptions (essais et mise en service, ainsi que soudage et travaux mécaniques en particulier), les départs à la retraite expliquent moins de la moitié des besoins de recrutement actuels, la filière éprouve aujourd'hui de vraies difficultés à recruter des jeunes de moins de 25 ans, ce qui pose un risque de fragiliser plus largement la filière dans un horizon de 10-15 ans. Et pourtant, estime un dirigeant d'une entreprise de la filière : « *en province, les grands chantiers de type EPR sont de formidables opportunités d'insertion et de formation* ».

Face à ce constat, la filière a la conviction que, pour redonner de l'attractivité à la filière nucléaire, auprès des plus jeunes notamment, le lancement et la visibilité sur de nouveaux projets de construction sont des facteurs déterminants. En plus de générer de l'emploi dans les régions, un programme de renouvellement bien pensé doit permettre de créer les conditions d'attractivité qui manquent aujourd'hui : continuité de plusieurs chantiers,

et optimisation de l'implantation des prochains projets par rapport au tissu industriel et aux bassins d'emploi établis.

Le sujet d'attractivité de la filière est une constante forte de l'ensemble des entretiens réalisés et est très fortement lié au niveau des commandes.

Figure 14 : Votre société a-t-elle besoin de recruter des personnels spécialisés pour répondre à son activité nucléaire connue des années à venir ? (Source : BCG)



Un tiers des entreprises déclare devoir faire face à des besoins de recrutement conséquents. L'ensemble des métiers sont concernés, avec toutefois une surreprésentation des métiers autour de la gestion de projet et de la sûreté nucléaire. Ces prévisions de recrutement s'expliquent non seulement par la croissance de l'activité, mais aussi dans certains domaines par un vieillissement accru des populations, notamment sur les métiers de type cols bleus, comme le soudage et les travaux mécaniques, ou le câblage et travaux électriques.

Figure 15 : Dans quel domaine de compétences nucléaires jugez-vous que votre société a/aura besoin de recruter ? (% de réponses positives) (Source : BCG)



2.3.3 Sans projet domestique, la filière risque de perdre sa crédibilité sur les marchés internationaux

Toutes les personnes rencontrées mettent en garde que si la France ne montre pas sa confiance dans sa propre filière et n'engage pas de programme domestique, la crédibilité de sa filière à l'étranger en pâtira. « *Sans programme domestique, nous ne serons bientôt plus crédibles à l'étranger* », nous dit un dirigeant. « *Si Rosatom nous fait confiance c'est parce que nous utilisons nous-mêmes nos technologies pour nos projets. Sans projet domestique, nous n'aurons aucun avantage compétitif* ».

Aujourd'hui, la filière exporte ; d'abord bien sûr, lorsqu'elle parvient à vendre ses propres machines, et les projets Jaïtapur et Taishan 3&4 pourraient représenter de véritables opportunités pour l'ensemble des acteurs de la filière ; ensuite parce qu'elle parvient à exporter ses savoirs-faire sur d'autres designs, en particulier sur les projets VVER en Europe. De l'ingénierie au contrôle commande, Rosatom s'appuie sur la filière française pour son développement à l'étranger. C'est beaucoup moins le cas pour les filières chinoise ou coréenne, marchés beaucoup plus difficiles d'accès, mais certaines entreprises de la filière (ingénierie, sûreté nucléaire, vannes) y restent malgré tout reconnues.

Vue de la filière, les facteurs clefs du succès pour un nouveau programme industriel de constructions neuves

Dans le cadre des interviews réalisées par le BCG, de nombreux répondants reviennent sur le chantier de Flamanville et les enseignements à en tirer pour les prochains projets de constructions neuves.

La mise en place d'une politique industrielle collaborative

Tirer tous les enseignements de Flamanville sur les questions de gouvernance et d'organisation

La très large majorité des personnes interrogées ne remettent pas fondamentalement en question les choix technologiques effectués au travers de l'EPR : « *nous avons le design que nous avons choisi, celui dont on peut garantir l'absence d'impact sur les populations en cas d'accident, et nous sommes les seuls à le faire* ». « *Il s'agit de l'évolution naturelle d'un design éprouvé, il n'y a pas de changement fondamental par rapport aux tranches du parc qui ont démontré leur fiabilité* ». D'ailleurs, pour tous, le couplage de Taishan 1 en juin 2018 démontre que le design est viable.

Les difficultés sont plutôt renvoyées à des mauvais choix de gouvernance et d'organisation : « *le problème c'est qu'on a construit 7 versions de l'EPR à Flamanville (FLA3)* », résume un dirigeant. « *On a constaté un certain gaspillage, la moitié des 10 Mds€ de FLA3 n'a servi à rien, à commencer par les heures d'attente !* », nous confie un autre.

Plusieurs intervenants suggèrent la réalisation d'un véritable retour d'expérience commun sur les dysfonctionnements en matière d'organisation, de gouvernance et de modes de fonctionnement entre l'ensemble des parties prenantes. « *FLA3 est surtout le résultat d'un défaut de management. On est parti trop tôt avec un design non terminé, avec des contrats non ficelés et une mauvaise organisation industrielle* », juge un intervenant. Des exercices comparables existent mais au sein de certaines entreprises de la filière, alors que c'est de transversalité dont la filière a besoin.

Le chantier de FLA3 a en effet subi des vagues régulières de modifications, plus ou moins importantes mais imposant de défaire ce qui avait été installé pour le modifier et le réinstaller, mais aussi de travailler selon des séquences non industrielles, par exemple de revoir entièrement le dimensionnement d'un support ou de doublonner des vannes, ou concernant les tuyauteries déjà montées voire calorifugées, les charpentes métalliques posées. Non seulement il s'agit de refaire en double une partie du travail, mais aussi le refaire coûte beaucoup plus cher que la première fois et peut occasionner aussi de la casse sur des systèmes environnants pourtant eux-mêmes non forcément impactés par la modification. Ce sont ces effets d'entraînement qui expliquent en premier lieu l'explosion des coûts de FLA3.

Une des premières leçons à tirer est donc d'imposer collectivement la discipline de ne pas lancer d'opérations irréversibles de fabrication ou de montage avant d'avoir

démontré la maturité du design, mais aussi de ne pas remettre en cause un design en cours de route pour des gains marginaux de performance, voire de sûreté. La démarche EPR2 (le plateau commun EDF-Framatome visant à proposer un design optimisé de l'EPR) est d'ailleurs complètement dans cette logique en trouvant un équilibre entre une prolongation des choix de l'EPR pour stabiliser le design et bénéficier de l'effet d'expérience, tout en intégrant le retour d'expérience et en autorisant des changements lorsqu'ils sont porteurs de gains significatifs pour la compétitivité de la tranche, sans remettre en cause les exigences de sûreté. Le « systems engineering » est censé également y contribuer en permettant et en documentant une démarche systématique de vérification de la prise en compte, au juste coût, des exigences au fur et à mesure de l'avancement du design.

Identifier les gains possibles sur le design via le projet EPR2

Tous reconnaissent également que, au-delà de la nécessité de geler le design avant de lancer la construction, les coûts de l'EPR peuvent aussi être optimisés, à travers plusieurs leviers classiques dits de « value engineering ».

Presque tous indiquent que ce travail est d'ailleurs en cours, via le projet EPR2, et s'appuie en partie sur les perspectives et les retours des industriels ayant participé au chantier de FLA3 à travers plusieurs partenariats.

- Standardiser – « *Par exemple, l'instrumentation de la salle des machines n'est plus spécifiée pièce par pièce, mais via un catalogue de solutions proches des standards de marché* » ;
- Supprimer certaines redondances – « *Certaines redondances coûtent cher et apportent peu en sûreté ou performance – nous avons les discussions actuellement sur certains systèmes de compression d'air* » ;
- Améliorer le layout – « *Les structures de génie civil peuvent être considérablement simplifiées ; L'EPR2 annonce déjà 8,5 % de gain. Il faut aller plus loin en acceptant de nous remettre plus profondément en cause et de s'inspirer des concurrents* ». « *Nous avons 7 fois plus de platines scellées sur HPC que sur FLA3 car on cherche à les dessiner, support par support. Pourquoi ne pas proposer la même solution que celle de Rosatom avec des bandes ?* » ;
- Challenger les exigences incohérentes – « *Certaines hypothèses de facteurs de charge ou de tension d'arrachement sont totalement disproportionnées par rapport à la réalité des équipements et des transitoires de fonctionnement, même en cas d'accident* ». « *Sur FLA3 et HPC, on s'est imposé d'utiliser des câbles qualifiés partout, même hors zone contrôlée ou à risque. L'EPR2 est en train de requestionner cela et cela va dans le bon sens* » ;
- Accélérer la digitalisation de nos processus et de notre approche d'ingénierie – « *C'est par le digital que l'on cassera les silos entre les disciplines d'ingénierie, et que l'on instrumentera la coopération entre l'ensemble de la supply chain, à commencer par l'optimisation de notre layout* ».

Aujourd'hui le référentiel du design de l'EPR2 est arrêté et les études détaillées sont en cours pour arriver au « basic design », le dernier niveau de détail avant

d'arriver au plan de montage transmis aux fournisseurs. Sur le volet numérique, un contrat a été signé en juin 2018 par EDF avec Dassault Systems et Capgemini pour mettre en place une démarche de systems engineering, sur le même modèle que dans l'aéronautique.

Engager la supply chain dès le départ

Plusieurs dirigeants suggèrent de prendre exemple sur d'autres filières comme celle de l'aéronautique dont les chefs de file impliquent beaucoup l'ensemble de leur supply chain, dès la conception et en phase de réalisation, dans une démarche d'amélioration continue. « *Au contraire, la filière française est aujourd'hui sur le technique et le contractuel, mais même ces deux éléments réunis ne définissent pas une approche industrielle* ». « *Il faut un projet de filière global pour atteindre la performance, car aujourd'hui les enjeux de performance se situent vraiment aux interfaces entre les acteurs. Les filières aéronautique et automobile ont réussi à le faire* ». Un autre illustre ce même point en regrettant certaines incohérences entre la manière dont les exigences sont spécifiées et la stratégie d'exécution : « *EDF doit aussi être cohérent sur sa politique de segmentation ; s'il choisit de faire des gros lots, alors il faut plutôt avoir une approche de spécifications fonctionnelles pour laisser à ces industriels des marges de manœuvre pour optimiser les coûts* ».

Adapter les contrats (conditions d'achat)

« *Il faut sortir du règne de la moins-disance* ». Ainsi s'exprime le directeur de la stratégie d'une ETI de la filière. Tous soulèvent le même point, commanditaires comme prestataires, sous-traitants de niveau 2 comme équipementiers. Les relations contractuelles actuelles entre grands commanditaires et industriels de la filière n'encouragent pas assez à la construction d'un avenir commun ni à la coopération et à la transparence qui sont pourtant deux valeurs cardinales pour assurer le succès d'un chantier, aussi hors norme que représente la construction d'une centrale nucléaire.

L'ensemble des personnes interrogées lors de l'enquête regrette ainsi que les modes contractuels actuels ne créent pas assez les conditions d'une telle collaboration. Des contrats passés au forfait sur des périmètres techniques non stabilisés, des relations de sous-traitance multiples, une sélection des fournisseurs au coup par coup et souvent sur un critère de moins-disance (après sélection de soumissionnaires qualifiés sur des critères techniques cependant) qui font certes baisser le prix d'entrée mais qui, force est de constater, n'optimisent guère le coût à terminaison. « *Il y a une incohérence entre le discours de l'entreprise étendue et le pouvoir très large donné aux acheteurs ; il y a eu une inflexion cependant* », note par exemple un industriel. « *On pourrait viser des contrats qui rémunèrent explicitement la performance* », suggère un autre.

Engager un choc de simplification de la chaîne de contrôle de la sûreté

Un consensus au sein de la filière nucléaire sur le principe d'un haut niveau d'exigence en matière de sûreté :

« *Soyons fiers de notre niveau d'exigence* », déclare ainsi une des personnes interrogées.

Au-delà de l'exigence vis-à-vis du pays et du public, la réputation de la France en matière de sûreté est aussi un différentiateur pour gagner des parts de marché à l'international : « *Rosatom a une approche très pragmatique et lorsqu'il voit une solution éprouvée par EDF et approuvée par l'ASN, il nous demande la même* ».

L'ASN est en effet souvent citée comme une des références internationales en matière d'exigence. L'expertise de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et des organismes de contrôle de la filière est souvent sollicitée. Enfin, EDF, par la taille de son parc, dispose d'un retour d'expérience considérable issu des nombreuses années cumulées d'exploitation de ses réacteurs.

Cependant, la plupart des entreprises s'inquiètent que la démarche de sûreté se soit « bureaucratisée »

Si personne ne remet en cause le niveau d'exigence du référentiel de sûreté, de nombreux fabricants, fournisseurs et sous-traitants témoignent en revanche, par exemple en matière d'équipements sous pression nucléaire (ESPN), des difficultés qu'ils ont, ces dernières années, à fournir des éléments de preuve suffisants à l'ASN et aux organismes notifiés pour que ces derniers jugent les équipements conformes au référentiel de sûreté. Ils estiment qu'à côté des problèmes techniques ou industriels, ces difficultés participent significativement au retard et au surcoût du chantier de l'EPR de Flamanville : « *Je peux vous donner une liste interminable de questions abracadabantesques et kafkaïenne auxquelles nous devons répondre, comme réaliser un calcul aux éléments finis sur des cales en bois pour être autorisés à réaliser une épreuve hydraulique* ». « *Nous risquons de perdre le sens industriel de ce que nous faisons* ». « *Nous sommes contraints de produire des tonnes de papier qui ne servent à rien ; pire, c'est déresponsabilisant pour les acteurs, et ce n'est pas bon pour la culture de sûreté nucléaire que nous cherchons à défendre* ». « *La moitié du prix d'une vanne c'est du papier, et c'est de pire en pire* ».

Le nouveau référentiel ESPN a présenté des difficultés d'interprétation et s'est finalement révélé inadapté aux réalités industrielles. Des méthodes de démonstration théoriques justifient la conformité à la règle mais au prix d'opérations physiques (multiples découpes et réparations, consommation de situations, etc.), dont la contribution au renforcement du niveau réel de sûreté de l'installation est jugée douteuse. Enfin des changements de gouvernance significatifs induisent une plus grande complexité et peuvent nuire à la nécessaire coopération entre les acteurs.

Simplifier les processus, dont le contrôle, est un enjeu non seulement industriel mais aussi de sûreté

La complexité des processus, le volume de justifications, l'inflation de la documentation peuvent faire perdre le sens des exigences. Il s'agit donc de rééquilibrer les démarches, en privilégiant le discernement des enjeux de sûreté, la recherche des priorités, l'accompagnement des équipes sur le terrain, les fondamentaux des métiers et la qualité technique (réalisation, exploitation, maintenance). Il s'agit aussi de porter une plus grande attention aux facteurs organisationnels et humains dans toutes les démarches de changement des processus, outils ou organisations, ainsi que dans la gestion des modifications des installations. Ceci vaut pour les aspects internes aux entreprises comme pour le contrôle externe.

Pour ce qui est du contrôle, aucun des acteurs interrogés ne suggère qu'on peut transiger sur les objectifs de sûreté au regard des contraintes de coûts ou de délais. Tout le monde s'accorde à dire qu'ils peuvent aller de pair, comme c'est le cas pour ces deux intervenants : « *si deux options permettent d'atteindre le niveau de sûreté requis, choisir l'option la moins chère ne nuit pas par définition à la sûreté. Au contraire, car souvent, simplicité rime aussi avec robustesse* ».

La complexité des approches pour justifier la conformité au référentiel entraîne non seulement des coûts et des délais significatifs, mais s'accompagne de plus d'un manque de compréhension et d'adhésion de la part de beaucoup. Elle est jugée remettre parfois en cause la culture de sûreté lorsque la technique ou les réalités du terrain paraissent lointaines et lorsque cela semble se diluer le sens des exigences et des pratiques.

Le lancement du programme de renouvellement du parc doit s'accompagner d'une remise à plat des procédures, avec un double objectif de sûreté et de simplicité

« *La compétitivité du nucléaire français est totalement dépendante et corrélée à notre capacité à revenir à une approche scientifique et rigoureuse de la sûreté nucléaire, a contrario des dérives dogmatiques et réglementaires actuelles* », selon un intervenant.

Si l'on observe des signes favorables, par exemple en matière de traitement des écarts ou d'ESPN¹³, tous appellent aujourd'hui à un « choc de simplification ». Le chemin parcouru et le rétablissement de relations plus confiantes entre industriels et Autorité de sûreté autorisent à considérer une nouvelle étape, qui viserait la simplification.

13 – Les parties se sont comprises, les exigences ont été clarifiées, les codes industriels ont été revus pour intégrer exigences et modes de preuves de l'ESPN, le dialogue technique semble avoir retrouvé une place centrale. Mais les processus demeurent complexes, maîtrisés par un petit nombre d'experts.

Celle-ci revêt une dimension industrielle comme une dimension réglementaire. La dimension industrielle doit s'assurer de toujours atteindre la qualité voulue « du premier coup », grâce à une filière aux savoir-faire, compétences et perspectives renforcés. En ce qui concerne le contrôle externe, établir les bases de ce « choc de simplification » pourrait être le fruit d'un groupe de travail constitué de l'ensemble des parties prenantes : les ministères concernés, l'ASN, l'IRSN, les exploitants, les tierces parties, et les représentants des entreprises du secteur. Son objet serait d'assurer que tous, dont la chaîne de contrôle, se concentrent en priorité sur les principaux enjeux de sûreté, et de simplifier les procédures lorsqu'elles sont trop administratives, trop complexes ou sources d'un volume d'efforts non proportionné aux enjeux.

Cette démarche pourrait s'appuyer sur la généralisation des outils numériques pour sortir du « tout papier » (aujourd'hui, un dossier de générateur de vapeur comprend plusieurs dizaines de milliers de pages), favoriser la transmission et la traçabilité des informations, améliorer les interfaces, faciliter les analyses de sûreté et accélérer les procédures.

Stabiliser le référentiel sera essentiel à la réalisation de nouveaux paliers

Dans le cadre du renouvellement du parc, les entreprises devront réviser leurs procédures, les stabiliser, former leurs équipes. « *Comment démontrer qu'une tranche au moment de son démarrage est à la pointe de la technologie sur tous les domaines ?* », questionne un industriel. « *L'enjeu est enfin de figer les exigences, de créer une jurisprudence et de geler un corpus réglementaire à l'échelle d'un palier : on ne peut pas changer les règles en cours de construction* », propose un autre.

Stabiliser le référentiel, et aussi les interfaces entre tous les acteurs, sera essentiel pour bénéficier pleinement de l'effet de série, condition de la performance de la réalisation du futur palier de réacteurs.

Rejoignez-nous

sfen.org



**103, rue Réaumur
75002 Paris**

Suivez chaque semaine l'actualité de la filière en vous abonnant à notre newsletter « RGN l'Hebdo » sur sfen.org

La présente étude s'inscrit dans le projet de Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) en France. Elle a pour objet d'éclairer les enjeux associés au calendrier de décision du programme industriel de nouvelles constructions nucléaires, à la fois d'un point de vue de politique énergétique et de politique industrielle.

Cette note s'appuie à la fois sur les compétences de la section 8 « Economie et stratégie énergétique » de la SFEN et sur une étude réalisée par le Boston Consulting Group (BCG): ce dernier a effectué, pour le compte de l'association, des entretiens à l'automne 2018 auprès de 16 dirigeants d'entreprises, ainsi qu'un sondage quantitatif auprès d'un panel très large d'acteurs de la filière nucléaire.



© Société Française d'Énergie Nucléaire – 2019