

~~CONFIDENTIEL DEFENSE~~

~~SPECIAL FRANCE~~

Paris, le 2 juillet 2018

**DÉCLASSIFIÉ**

Par décision n° : 227/23/SG  
du : 28/03/2023

Monsieur le Ministre d'État,  
Monsieur le Ministre,

Par votre lettre que nous avons reçue le 21 mars (cf. pages 58 à 60), vous nous chargez d'une mission portant sur « le maintien des capacités de la filière nucléaire en vue de potentielles nouvelles constructions de réacteurs ».

Nous avons examiné les emplois et les compétences indispensables à la filière électronucléaire pour qu'elle soit à même de réussir aux plans technique comme économique des constructions nouvelles. L'échelle temporelle propre à cette filière est extrêmement longue, aussi nous avons fait porter l'examen des capacités industrielles requises et des conditions de remobilisation éventuelle de ces capacités sur une période couvrant la durée de vie du parc actuel, soit jusqu'à l'horizon 2060. Nos travaux se sont appuyés, outre les documents et scénarios qui nous ont été remis, sur l'étude de la situation du parc en exploitation, avec son grand carénage et l'extension de la durée de fonctionnement, avec l'arrêt progressif des réacteurs actuels, et la construction potentielle de nouveaux réacteurs, et ce, selon plusieurs scénarios. Nous en avons examiné les conséquences sur la pérennité et les performances des activités des industriels de différents niveaux, maître d'ouvrage délégué, maître d'œuvre, sous-maîtres d'œuvre, coopérants de rangs divers.

Nos travaux ont pris en compte la directive gouvernementale prévoyant une baisse à 50 % de la part du nucléaire dans la production d'électricité à un horizon qui reste à déterminer ; nous avons vérifié, dans les différentes hypothèses, les conditions de bouclage du cycle du combustible. Conformément à notre lettre de mission, nous avons été amenés à distinguer deux cas, qui tous deux comprennent l'arrêt progressif des réacteurs de 2<sup>ème</sup> génération avant l'âge de 60 ans :

- le cas de la **continuité** prévoit la construction de nouveaux réacteurs sans grande interruption après Hinkley Point C 1 et 2 ; ces réacteurs de 3<sup>ème</sup> génération sont de type EPR2 et bénéficient de tout le retour d'expérience sur les réacteurs EPR en construction en France et dans le monde ;

Monsieur Nicolas HULOT  
Ministre d'Etat, Ministre de la transition écologique et solidaire  
Hôtel de Roquelaure  
246 boulevard Saint-Germain  
75007 Paris

Monsieur Bruno LE MAIRE  
Ministre de l'économie et des finances  
139 rue de Bercy  
75572 Paris Cedex 12

~~CONFIDENTIEL DEFENSE~~

~~SPECIAL FRANCE~~

- dans le cas de l'arrêt long, il y a discontinuité dans les constructions, la reprise des constructions nécessitant une remobilisation des capacités industrielles, avec un contexte réglementaire de sûreté nucléaire qui aura pu évoluer.

Cette mission a été conduite par un groupe de travail très restreint, composé, outre les signataires de la présente lettre, de Claude JAOUEN, ancien dirigeant d'AREVA et de messieurs Richard FINCK et Benjamin LEROY, du secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale.

Nos travaux nous ont conduits à entendre plus de 70 personnes, dont la liste figure pages 61 à 64.

Vous trouverez ci-après notre rapport, avec ses principales conclusions et recommandations.

### **La France est identifiée comme une nation nucléaire.**

Le nucléaire, civil comme militaire, est un domaine essentiel des capacités stratégiques, technologiques et industrielles de notre pays. Cela positionne la France à un rang exceptionnel au niveau mondial, notamment au plan diplomatique, avec le statut de membre permanent du conseil de sécurité de l'Organisation des Nations-Unies. Et depuis plus de 40 ans, la France bénéficie d'une énergie indépendante, abondante, décarbonée et bon marché. L'industrie du secteur nucléaire représente 2 600 entreprises pour la plupart exportatrices, soit 220 000 emplois, le plus souvent de haute ou très haute qualification. Le domaine nucléaire de défense et le domaine nucléaire civil utilisent un socle commun très important de capacités industrielles, de capacités de recherche scientifique et technologique, et de filières de formation.

**Les incertitudes qui peuvent être rencontrées sur le long terme conduisent à recommander une politique permettant au gouvernement de conserver en toutes circonstances le pilotage de la politique énergétique et donc de la politique en matière d'énergie électronucléaire.**

L'horizon auquel il est nécessaire de développer les raisonnements est lointain, 2060, car il est nécessaire de couvrir au moins la durée de vie du parc actuel. Les incertitudes, les aléas, qui peuvent être rencontrés, quel que soit le domaine, sont immenses, et les études des cas « continuité » comme « arrêt long » montrent qu'il y en a beaucoup.

Il est essentiel que la politique énergétique, la politique nucléaire, ainsi que la politique industrielle de la France soient très robustes et très résilientes dans la durée. Elles doivent en permanence rester très manœuvrantes, très flexibles, pour s'adapter à toutes les contraintes rencontrées, comme au rythme d'apparition et d'intégration des innovations dans le dispositif. L'État doit garantir la sécurité d'approvisionnement, la pilotabilité, la performance et la stabilité du réseau électrique, la sûreté des installations nucléaires, la performance et la pérennité des emplois et compétences indispensables à la filière nucléaire pour réussir les nouvelles constructions et maintenir le parc. L'État doit rester maître en toutes circonstances du pilotage de la trajectoire énergétique et industrielle, et en résumé, l'État doit adopter une politique de maîtrise des risques sur le long terme.

**Le point clé, quel que soit le cas considéré, est la disponibilité des ressources humaines nécessaires pour anticiper, préparer et réaliser en toutes circonstances la politique nucléaire.**

Le facteur essentiel, pour être capable de manœuvrer est la disponibilité, au moment voulu, des ressources humaines nécessaires, dans les filières de formation, dans les bureaux d'étude, dans les usines, dans les centres de recherche, dans les centres de production, et ce dans les différents métiers, avec une population disposant des compétences, des qualifications et de l'expérience indispensables.

Or le constat est que la situation actuelle n'est pas favorable à la filière nucléaire. Son image est globalement dégradée, et elle subit dès à présent une baisse d'attractivité chez les ingénieurs, les chercheurs, les techniciens, les étudiants, en raison de l'absence de perspectives d'avenir. Nous avons noté que :

- la moitié des industriels de la filière éprouvent des difficultés de recrutement, à tous les niveaux, car les candidats potentiels à des emplois dans le nucléaire sont réticents à s'engager dans un secteur dont ils ne perçoivent pas l'avenir ;
- les départs vers d'autres secteurs industriels sont observés, à tous les niveaux. La volatilité très supérieure des jeunes générations contribue au phénomène ;
- le nombre moyen de candidatures par poste chez EDF est en forte baisse : de 150 à 65 en 3 ans (2014-2017) dans l'ingénierie du nouveau nucléaire (DIPNN), de 120 à 50 en 3 ans (2014-2017) et même seulement 22 début 2018 dans la production nucléaire (DPN) ;
- les filières de formation subissent une désaffection importante ; c'est ainsi que le nombre d'inscrits en génie atomique a baissé de 100 à 60, dont 20 pour la Marine Nationale. La participation à certains masters est d'ailleurs en dessous du seuil de viabilité de ces masters ;
- l'on observe corrélativement une baisse de qualification des candidats ;
- les enquêtes de climat interne d'une manière générale sont rarement positives.

Tout cela intervient dans un contexte où la demande en ingénieurs est particulièrement forte et persistante dans maints secteurs économiques de meilleure réputation, dynamiques, ouverts sur l'international, parfois nettement plus rémunérateurs, et donc très attractifs.

Cette tendance, si elle se poursuit, rendra illusoire le « maintien des capacités industrielles de la filière nucléaire en vue de potentielles nouvelles constructions de réacteurs ». La population d'ingénieurs, chercheurs, techniciens, étudiants constate que le secteur nucléaire ne prévoit aujourd'hui aucune commande de construction neuve au-delà de Hinkley Point C 1 et 2, avec l'absence de projet nouveau dans les centres d'ingénierie, et donc une forte baisse des plans de charge à très court terme, dès 2019 (passage sous le minimum critique dès 2022-2023), et dès 2020 dans les usines et sur les chantiers (passage au-dessous du minimum critique dès 2022-2023). L'absence de visibilité dans le domaine de la politique nucléaire, de la politique industrielle du secteur, provoque des interrogations dans cette population.

Nous avons imaginé, au démarrage de notre mission, qu'elle aurait pour l'essentiel à analyser les emplois et compétences au regard des plans de charges probables ou possibles. Mais il nous apparaît que le risque premier est d'ordre humain, avec une question fondamentale de confiance dans l'avenir. Les décisions que prendra le gouvernement, ou l'absence de décision, ou les prises de position des autorités de notre pays seront déterminantes pour les choix de construction de vie professionnelle que feront, individuellement, les ingénieurs, chercheurs, techniciens, étudiants, et ce, encore une fois, dans un contexte défavorable à la filière nucléaire par rapport aux autres secteurs industriels. A cet égard, les prochains rendez-vous que sont, en 2019, la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), et en 2021 le contenu des programmes pour

l'élection présidentielle à suivre, sont critiques. Cela sera déterminant pour la décision individuelle de chacun des acteurs.

### Quelles conséquences dans le cas de la continuité ?

Comme cela a été évoqué ci-dessus, l'absence de plan de charge à court terme aura des effets très négatifs. Pour renverser cette tendance, il est nécessaire de prévoir une suite d'annonces et de décisions d'ordre politique, à placer dans le cadre de la PPE 2019 et avant la fin du quinquennat, permettant à la population d'ingénieurs, chercheurs, techniciens, étudiants de constater qu'il y a un avenir dans le nucléaire, avec l'évidence que pour cette population, l'avenir s'identifie à des constructions neuves.

Alors, dans le cas de la continuité des constructions neuves, et sous réserve que le *management* des entreprises fasse bien le nécessaire en matière de plan de charge à court terme (anticiper sans attendre l'arrivée formelle des commandes de constructions neuves), cette population considérera que la filière nucléaire présente un avenir, avec des enjeux motivants.

Une réduction de format de la filière nucléaire est évidemment inévitable. Les conditions pour que cette évolution à la baisse puisse être réussie, avec le maintien des compétences de conception, de construction, de production, d'exploitation et de maintenance, sont détaillées dans le rapport (partie 2.2). Elles suscitent des recommandations qui portent sur :

- le calendrier et le rythme d'arrêt des réacteurs actuels ;
- le calendrier et le rythme des constructions neuves ;
- sur le maintien du plan de charge des équipes par anticipation de la part de certains industriels en attendant l'arrivée des commandes de construction neuve ;
- le moxage des réacteurs de 1 300 MW et des premiers EPR2 ;
- la structuration, la gouvernance et l'alignement stratégique de la filière nucléaire ;
- les progrès qu'elle doit continuer à faire (notamment sur les performances des ingénieries et sur les organisations industrielles et contractuelles) ;
- la politique industrielle et le maintien des compétences ;
- la coopération en matière de R&D et d'innovation ;
- la surveillance des fournisseurs critiques et le maintien de leurs capacités et compétences ;
- et enfin sur la gouvernance de sa politique nucléaire par l'État.

### Les conséquences de l'arrêt long

Comme cela a été évoqué plus haut, l'absence d'affirmation à court terme par les autorités de notre pays de perspectives d'avenir conduira à une désaffection massive pour le secteur nucléaire.

Cette situation est étudiée dans le cas de l'arrêt long (cf. partie 2.3 du rapport). La dispersion des ingénieurs, chercheurs et techniciens, et les meilleurs partiront les premiers, l'orientation des jeunes hors du secteur nucléaire, le passage des travaux de construction neuve au-dessous du minimum critique dans les bureaux d'études, dans les usines et sur les chantiers, feront perdre aux principaux acteurs nucléaires leurs compétences et leurs capacités industrielles par

départs et par manque de pratique, en matière de conception, de fabrications neuves et de grands chantiers nucléaires, provoquant l'arrêt de ces activités.

L'expérience de Flamanville 3 a montré que l'exploitation du parc, la maintenance, et les travaux de grand carénage n'entretiennent pas les compétences de constructions neuves.

Des acteurs de plus petite taille disparaîtront ou sortiront du nucléaire, et on peut douter de leur volonté de s'y réinvestir ultérieurement. D'autres pourront maintenir leurs compétences par leurs autres activités, dans le domaine du génie civil par exemple. Certains maintiendront leurs activités basées à l'étranger, mais escompter la relocalisation en France ultérieurement serait un pari risqué.

Enfin, les difficultés de recrutement et de renouvellement des compétences, la baisse du niveau, ne seront pas sans incidence sur la maîtrise des risques liés la sûreté des installations en exploitation.

### Les exportations

Au-delà de la question de savoir si les exportations seront possibles si la France n'affiche pas la volonté de poursuivre des constructions neuves de réacteurs pour ses propres besoins, il est illusoire de prétendre maîtriser des calendriers aboutissant à des négociations favorables (Jaitapur, Sizewell C...).

De plus, l'export n'apporte de la charge en France qu'à quelques entreprises de la filière, et encore, cela dépend des accords avec les autres partenaires de la maîtrise d'œuvre sur la répartition des fournitures, et avec le client sur la localisation des études et fabrications. A titre d'illustration, pour que l'export puisse aider à remonter le plan de charge des usines de *FRAMATOME* vers le minimum critique, celui qui est indispensable pour maintenir les compétences et l'outil industriel, il serait nécessaire que les contrats d'une part arrivent en 2020 pour Jaitapur et en 2024 pour Sizewell C, et d'autre part qu'ils comportent un retour industriel important vers la France. Il s'agit là d'hypothèses très fragiles.

La démobilisation des équipes est provoquée essentiellement par l'absence d'avenir du nucléaire en France. Elle persistera, même avec la perspective d'une certaine activité à l'exportation, car la fragilité de cette perspective et la modestie de son impact sont évidentes. Donc même avec une certaine activité à l'export, la nécessité d'une remobilisation le moment venu demeurerait.

### La remobilisation après un arrêt long peut-elle être réussie ?

Un premier constat : l'arrêt des constructions neuves entre Civaux 2 et Flamanville 3 aura occasionné à ce chantier un retard de l'ordre de 6 ans et un surcoût de l'ordre de 6 Md€, et ceci dans un contexte où l'on ne doutait pas de l'avenir du nucléaire, où les filières de formation étaient remplies, et où l'on pouvait raisonnablement parier sur la transmission de l'expérience, car des anciens qui avaient construit le parc étaient encore présents. Ces conditions favorables ne seront plus réunies dans le cas de « l'arrêt long ».

L'exemple de la remobilisation lancée par *AREVA* pour le contrat Olkiluoto 3, remobilisation qui a échoué, est à cet égard illustratif ; dans l'ingénierie et les usines, les anciens étaient partis, de même chez les fournisseurs, qui avaient basculés sur d'autres activités, non nucléaires. Autre exemple, après un arrêt long, le Royaume-Uni n'a pas réussi à faire seul la remobilisation pour son programme civil.

Pour remobiliser, il faudrait recréer toutes les industries qui auront perdu leurs compétences et leurs capacités industrielles dans le domaine de la conception et de la construction nucléaire neuve, remonter les ingénieries et la chaîne d'approvisionnement, dans tous les métiers et avec les exigences spécifiques au nucléaire, et commencer par recréer toutes les filières de formation depuis la sortie de l'école. Dans l'ingénierie nucléaire, il faut 10 ans pour former un chef de projet, et 15 ans pour former un spécialiste de la sûreté nucléaire ; dans l'industrie nucléaire, il faut 5 ans pour former un soudeur qualifié.

Certains industriels, qui auraient perdu leurs compétences en nucléaire neuf et fermé leurs capacités en France, ne réinvestiraient pas en France, ne reviendraient pas dans le nucléaire ou le feraient à partir de leurs capacités basées à l'étranger (par exemple certains tuyauteurs, dans le cas de l'« arrêt long », fermeraient leurs ateliers de préfabrication en France. Or c'est dans ces ateliers qu'ils peuvent former les nouveaux embauchés et monter leurs compétences au niveau nucléaire).

Ainsi, la remobilisation prendrait des années, et serait très coûteuse, à supposer qu'on parvienne à la réaliser.

Par ailleurs, il existe une limite à la remobilisation, qui est la capacité d'embauche, d'intégration et de formation. *FRAMATOME* estime qu'elle est au maximum de 10 % des effectifs par an, à condition que le marché de l'emploi des ingénieurs et l'attractivité du nucléaire le permettent. En cas d'« arrêt long », *EDVANCE*, l'ingénierie commune d'*EDF* et de *FRAMATOME* pour l'Îlot nucléaire, passerait dès 2022-2023 au-dessous du minimum critique sur ses 11 métiers, et estime qu'elle ne pourrait réussir la remobilisation que sur 4 de ses métiers (tels que ingénierie génie civil ou installation générale). *ASSYSTEM*, société spécialisée dans l'assistance à l'ingénierie, estime qu'en l'absence de décision, les compétences disparaîtraient en 12 à 18 mois, et qu'il faut 5 ans pour recréer une filière compétente, et ce à condition d'avoir gardé des anciens très expérimentés pour encadrer et former les nouveaux embauchés.

En plus, il faudrait concevoir et développer un nouveau modèle de réacteur, car pendant « l'arrêt long » sans construction (5 à 10 ans), le référentiel de sûreté et la réglementation auront évolué, avec une complexité et des exigences croissantes. Or les concepteurs auront été pour beaucoup les premiers à partir face à l'absence de constructions neuves. Concevoir un nouveau réacteur, après un arrêt long où les compétences et l'expérience auront disparu, avec une filière nucléaire débutante - à supposer qu'on arrive à la remonter - représenterait un risque considérable pour les délais et les coûts de la tête de série, et donc pour la crédibilité et la suite du nouveau nucléaire.

Au total, pour les entreprises qui auront perdu leurs compétences et leurs capacités industrielles nucléaires en France, la remobilisation serait très longue, très difficile, très coûteuse et très aléatoire. Le risque d'échec d'une remobilisation dans le contexte de « l'arrêt long » serait très élevé et signerait la fin définitive du nucléaire français civil et donc militaire.

## NOTRE ANALYSE

Le « maintien des capacités industrielles de la filière nucléaire en vue de potentielles nouvelles constructions de réacteurs » est un objectif atteignable, sous réserve que les dispositions permettant d'éviter une désaffectation massive des personnels soient prises. *A contrario*, en l'absence de telles dispositions, le risque de ne pas pouvoir tenir cet objectif serait très élevé, et pourrait aboutir à la fin définitive du nucléaire français civil et donc militaire.

Le point clé est l'annonce au plus tard en 2021 de la décision de lancement d'une série de 3 paires de réacteurs de 3<sup>ème</sup> génération EPR2, incluant le nom du premier site : en effet, cette annonce déclenchera une « réaction positive » ; elle « inverse la tendance » actuelle, et moyennant les recommandations figurant dans notre rapport, elle garantit le « maintien des capacités industrielles de la filière nucléaire en vue de potentielles nouvelles constructions de réacteurs ». Mais 2021 étant tardif, il est indispensable d'annoncer en 2019, à la suite de la PPE, le maintien d'un socle nucléaire de précaution pour garantir quoi qu'il arrive la sécurité d'approvisionnement, et la pilotabilité et la stabilité du réseau électrique.

*Pourquoi au plus tard en 2021 ?*

En premier lieu, parce que Flamanville 3 devrait avoir démarré (en tenant compte des actuels problèmes de soudure, d'après les informations disponibles), ainsi que les 3 autres EPR : Taishan 1 depuis 2018 (divergence le 6 juin 2018, après des essais qui se sont passés normalement), Taishan 2 et Olkiluoto 3 depuis 2019, ce qui donne un retour d'expérience sur l'EPR significatif, et aussi parce que l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) se sera prononcée (2020-2021) sur le programme de grand carénage et l'extension de durée de fonctionnement des réacteurs actuels. L'ensemble des conditions initiales permettant d'avoir une visibilité raisonnable sur les projets à suivre aura été réuni.

En deuxième lieu, parce qu'en 2021 les ingénieries d'EDF et de FRAMATOME, et les usines de Saint Marcel et de Jeumont de FRAMATOME notamment, seront dans une forte décroissance de charge, très visible : si la décision est prise en 2021, EDF et FRAMATOME pourront immédiatement remonter la charge en anticipant les travaux à venir, et pourront ainsi redonner confiance ; c'est une de nos recommandations.

Enfin et surtout, comme nous l'avons explicité plus haut, parce qu'il s'agit d'une date au plus tard pour les options de vie professionnelle que prendra la population d'ingénieurs, chercheurs, techniciens, étudiants concernés, qui déjà aujourd'hui doute, s'interroge et est en attente de la prise de position du gouvernement sur sa politique nucléaire. L'absence d'une telle décision (lancement d'une série de 3 paires) avant la fin du quinquennat aurait des conséquences graves sur notre capacité à relancer un jour des constructions neuves.

*Pourquoi 3 paires ?*

Parce que c'est le minimum pour bénéficier de l'effet de série, lequel est indispensable pour réduire fortement les coûts (60-65 €/MWh) et maintenir la compétitivité.

## NOS PRINCIPALES RECOMMANDATIONS

Les principales recommandations que vous trouverez dans notre rapport ci-joint, sont les suivantes :

- 1) **Annoncer au plus tard en 2021 la décision de lancer une série de 3 paires de réacteurs de 3<sup>ème</sup> génération EPR2, avec l'annonce du premier site.**

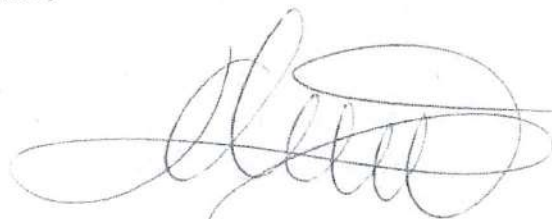
2021 étant tardif, annoncer en 2019 à la suite de la PPE le maintien d'un socle nucléaire permettant de garantir face aux nombreuses incertitudes la sécurité d'approvisionnement, la pilotabilité et la stabilité du réseau électrique.

- 2) **Renforcer le rôle de l'Etat et redonner au politique le pilotage de la politique nucléaire de la France, en nommant auprès du Premier ministre un secrétaire d'Etat chargé de préparer et de mettre en œuvre la politique nucléaire de la France, avec une dimension sectorielle globale (stratégie, coopération et exportation, politique industrielle de la filière, recherche-technologie-développement et constructions...).**
- 3) **Mettre en place une programmation nucléaire du type de celle étudiée dans le cas de la continuité, car elle présente la robustesse et la flexibilité nécessaires.**
- 4) **Structurer la filière scientifique, technologique et industrielle nucléaire, de façon à aligner les différents acteurs industriels et étatiques sur les objectifs de la politique définie par le gouvernement.**
- 5) **Améliorer la performance des ingénieries nucléaires, leurs méthodes et leurs organisations, et responsabiliser pleinement EDVANCE<sup>1</sup> sur l'îlot nucléaire ; mettre en œuvre de manière vigoureuse le programme de dérisquage d'EPR2 ; pratiquer une politique d'achat permettant réellement de pérenniser les compétences et fournisseurs critiques et de capitaliser les expériences durement acquises.**

Restant à votre disposition, nous vous prions de recevoir, Monsieur le Ministre d'État, Monsieur le Ministre, l'assurance de notre haute considération,



Laurent COLLET-BILLON



Yannick D'ESCATHA

<sup>1</sup> Filiale d'EDF et FRAMATOME.



~~CONFIDENTIEL DEFENSE~~

~~SPECIAL FRANCE~~

# Le maintien des capacités industrielles de la filière nucléaire en vue de potentielles nouvelles constructions de réacteurs

Rapport de MM. Laurent COLLET-BILLON et YANNICK D'ESCATHA

Rapport n° 11056/SGDSN/AIST/PST/CD-SF du 2 juillet 2018

**DÉCLASSIFIÉ**

Par décision n° :

du :

**CONFIDENTIEL DEFENSE**

Usage strictement national

Ce document ne doit être communiqué  
qu'aux personnes qualifiées pour le connaître

JUIN 2018

~~CONFIDENTIEL DEFENSE~~

~~SPECIAL FRANCE~~

Ont participé à cette mission et à la rédaction du présent rapport, messieurs :

- Claude JAOUEN, ancien directeur du business group réacteurs et services du groupe AREVA ;
- Richard FINCK, sous-directeur non-prolifération, sciences et technologies au SGDSN ;
- le capitaine de frégate Benjamin Leroy, chargé de mission au SGDSN.

Table des matières

1 Les incertitudes sur l’avenir de la filière et sa baisse d’attractivité fragilisent les compétences réacquises ..... 7

    1.1 Des compétences fragilisées par l’arrêt prolongé des constructions neuves ..... 7

    1.2 Une attractivité en régression ..... 10

    1.3 Une absence de décision serait interprétée comme une « sortie du nucléaire » et accélérerait massivement le processus de désaffectation des ressources humaines, déjà entamé aujourd’hui ..... 12

    1.4 Une annonce politique d’un nouveau nucléaire au sein de la transition énergétique déclencherait une réaction positive sur les ressources humaines et la filière industrielle..... 13

2 Le schéma industriel pour le nouveau nucléaire en réponse aux besoins de la transition énergétique : « continuité » versus « arrêt long » ..... 14

    2.1 Les hypothèses de décroissance du parc en service ..... 14

    2.2 Le cas de la continuité ..... 15

    2.3 Le cas de l’arrêt long..... 17

3 Maintien des compétences et des capacités industrielles pour la construction neuve..... 20

    3.1 Les compétences de la filière : le résultat de 70 ans d’efforts industriels, économiques, scientifiques et politiques..... 20

    3.2 L’analyse conduite par la mission ..... 23

    3.3 Ingénierie d’ensemble de l’îlot nucléaire - EDVANCE, filiale d’EDF et de FRAMATOME (cf. notamment l’annexe 1) ..... 28

    3.4 La chaudière nucléaire (ingénierie, usines Jeumont, Chalon et le Creusot, cf. notamment les annexes 2 et 3) ..... 30

    3.5 Génie civil (cf. notamment l’annexe 4)..... 34

    3.6 Tuyauterie-montage ..... 35

    3.7 Robinetterie : le cas des fournitures du groupe VELAN..... 38

    3.8 L’îlot conventionnel (cf. notamment l’annexe 5) ..... 39

4 Maintien des compétences et des capacités industrielles pour le cycle du combustible..... 42

    4.1 L’amont du cycle ..... 42

    4.2 L’aval du cycle - le traitement-recyclage ..... 43

5 Un réengagement de l'Etat dans la politique nucléaire et une meilleure structuration de la filière 54

5.1 Renforcer le rôle de l'Etat et redonner au politique le pilotage de la politique nucléaire de la France ..... 54

5.2 Aligner les acteurs industriels structurant la filière..... 57

Lettre de mission 58

Personnalités auditionnés 61

Destinataires 65

**Liste des annexes**

Annexe 1 : EDVANCE : mission capacités industrielles de la filière nucléaire, analyse scénarii EPR2.

Annexe 2 : FRAMATOME : compétences filière métiers d'ingénierie.

Annexe 3 : FRAMATOME : mission compétences de la filière nucléaire, fabrications.

Annexe 4 : BOUYGUES : génie civil.

Annexe 5 : ALSTOM : groupe turbo-alternateur.

## Introduction

Les interrogations portent sur la pérennité et la performance des activités, des compétences et des emplois indispensables à la filière nucléaire, notamment pour être en mesure de réussir les éventuelles futures constructions, en fonction des scénarios d'évolution du parc nucléaire français. Il convient d'évaluer les impacts d'éventuelles périodes d'inactivité à l'échelle de la filière, et les conditions dans lesquelles les capacités industrielles requises pour la construction de réacteurs pourraient être remobilisées après une période d'inactivité prolongée.

Le maintien de la capacité à concevoir, réaliser et entretenir les équipements électronucléaires a jusqu'à présent été assuré par une filière industrielle autonome. La pérennité de cette filière, assise sur un socle de compétences étendues et un outil industriel important, renvoie à trois problématiques :

- une problématique technique et économique, liée au plan de charge de l'industrie, conséquence des décisions de mises à l'arrêt des réacteurs en service ou de constructions neuves potentielles en France et, dans une moindre mesure, des prises de commande à l'export ;
- une problématique de remobilisation après une période d'inactivité prolongée éventuelle et qui porte sur la capacité d'adapter les compétences en volume et en qualité à une augmentation de la charge, dans un environnement contraint, particulièrement en matière de ressources humaines et de compétences, de référentiel de sûreté et de ressources financières ;
- une problématique plus politique, liée à la perception des évolutions par l'opinion publique et les acteurs économiques. L'absence d'orientations relatives à la poursuite d'un programme électronucléaire malgré une ambition de « décarbonation » de notre mix énergétique a des conséquences sur l'attractivité de la filière (compétences), les choix des industriels intervenant dans la *supply chain* et le comportement des clients internationaux. La France est-elle en train d'amorcer une sortie programmée du nucléaire ou redimensionne-t-elle son outil ?

La réflexion porte donc sur une très longue durée, couvrant toute la durée de vie du parc actuel, c'est-à-dire jusqu'à un horizon voisin de 2060 (il n'est pas possible en la matière de se limiter à 2035).

Face aux grandes incertitudes du long terme, il convient de rester manœuvrant, flexible et capable de s'adapter quoi qu'il arrive. Pour piloter la trajectoire énergétique et industrielle de la France, il faut avant tout disposer des ressources humaines nécessaires.

De l'ensemble des entretiens, le facteur humain ressort comme le risque majeur en ce qui concerne l'objet même de la mission. Les mécanismes de désaffection de la filière sont décrits dans la première partie. La deuxième partie présente les schémas industriels envisageables en cas de continuité de la construction neuve et en cas d'arrêt prolongé. Les troisième et quatrième parties évaluent le niveau de maintien des compétences pour chacun des deux cas, sur tous les segments industriels de la construction neuve et du cycle du combustible. Enfin, la cinquième et dernière partie appelle à une poursuite de la structuration de la filière industrielle et à un renforcement du rôle de l'Etat dans la politique nucléaire.

Les principales recommandations que vous trouverez dans notre rapport ci-joint, sont les suivantes :

1. **Annoncer au plus tard en 2021 la décision de lancer une série de 3 paires de réacteurs de 3<sup>ème</sup> génération EPR2, avec l'annonce du premier site.**

2021 étant tardif, **annoncer en 2019 à la suite de la PPE le maintien d'un socle nucléaire** permettant de garantir face aux nombreuses incertitudes la sécurité d'approvisionnement, la pilotabilité et la stabilité du réseau électrique.

2. **Renforcer le rôle de l'Etat et redonner au politique le pilotage de la politique nucléaire de la France**, en nommant auprès du Premier ministre un secrétaire d'Etat chargé de préparer et de mettre en œuvre la politique nucléaire de la France, avec une dimension sectorielle globale (stratégie, coopération et exportation, politique industrielle de la filière, recherche-technologie-développement et constructions...).
3. **Mettre en place une programmation nucléaire du type de celle étudiée dans le cas de la continuité**, car elle présente la robustesse et la flexibilité nécessaires.
4. **Structurer la filière scientifique, technologique et industrielle nucléaire**, de façon à aligner les différents acteurs industriels et étatiques sur les objectifs de la politique définie par le gouvernement.
5. **Améliorer la performance des ingénieries nucléaires, leurs méthodes et leurs organisations**, et responsabiliser pleinement EDVANCE<sup>1</sup> sur l'îlot nucléaire ; mettre en œuvre de manière vigoureuse le programme de dérisquage d'EPR2 ; pratiquer une politique d'achat permettant réellement de pérenniser les compétences et fournisseurs critiques et de capitaliser les expériences durement acquises.

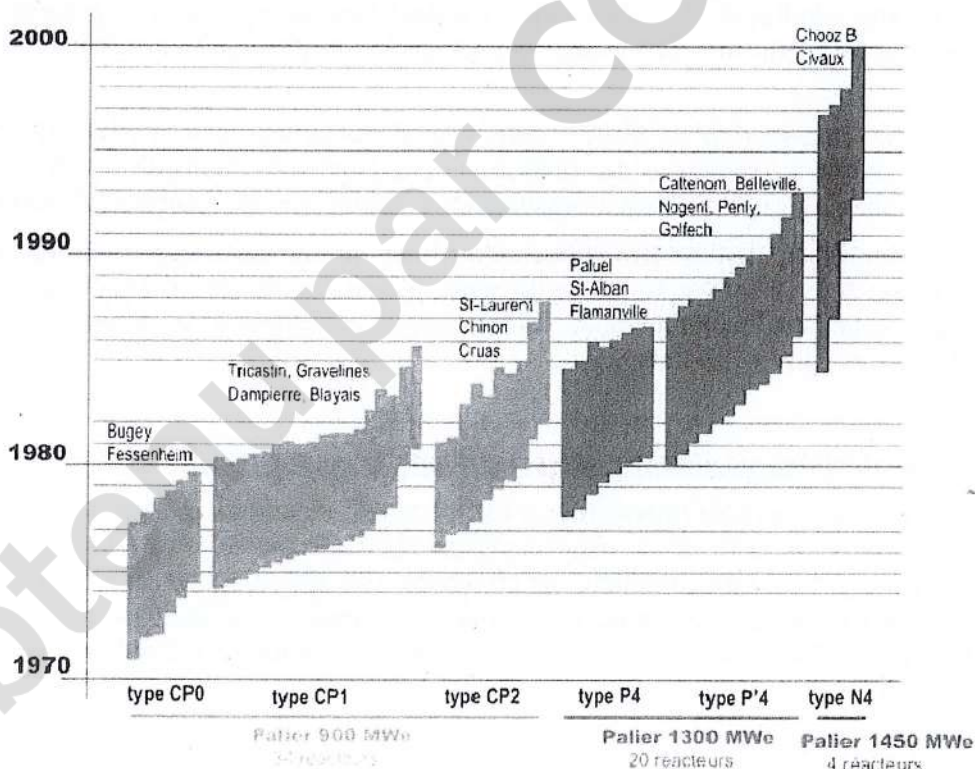
<sup>1</sup> Filiale d'EDF et FRAMATOME.

# 1 Les incertitudes sur l'avenir de la filière et sa baisse d'attractivité fragilisent les compétences réacquises

## 1.1 Des compétences fragilisées par l'arrêt prolongé des constructions neuves

### 1.1.1 L'arrêt des constructions neuves après les N4 et les difficultés de la relance

La décision de lancer un programme électronucléaire massif a été prise par les autorités politiques en 1973, en réaction au premier choc pétrolier. Les objectifs assignés en termes de coûts, de délais et de performances ont été atteints grâce à la passation de contrats pluriannuels portant sur des paliers standardisés et de puissance croissante. L'effet de série a joué à plein et permis d'obtenir des coûts très compétitifs, un haut niveau de qualité et de sûreté grâce au cumul rapide d'une expérience industrielle unique. Elles ont aussi structuré une filière industrielle puissante et reconnue à l'international.



Le graphique ci-dessus illustre la durée des travaux pour chacun des réacteurs et la très forte intensité des travaux conduits. Au pic d'activité, ce sont jusqu'à sept réacteurs qui ont été raccordés au réseau la même année.

Les travaux de construction du réacteur français en service le plus récent (Civaux-2) ont débuté en 1991. Ce réacteur a été raccordé au réseau en décembre 1999, soit huit ans avant le lancement des travaux de construction de l'EPR à Flamanville (Flamanville 3 ou FLA3, début en décembre 2007). Cette inactivité sur le territoire national a été partiellement compensée par la construction des réacteurs Olkiluoto 3 (OL3) en Finlande (début de la construction en 2005) et Taishan 1 et 2 en Chine (2009 et 2010), pays dans lequel 21 réacteurs sont actuellement en cours de réalisation.

Si l'on considère que le réacteur FLA3 marque la relance des constructions neuves en France après une période de gel qu'explique l'intensité de l'effort de construction précédent, la filière a connu une interruption de près de dix ans. La reprise s'est faite dans des conditions particulièrement difficiles, avec de lourdes conséquences financières (6 ans de retard et près de 6 milliards d'euros de surcoûts), que peuvent expliquer :

- l'interruption des travaux de construction neuve en France et la perte de compétences qui s'en est suivie ;
- la nouveauté du modèle et de certaines règles de sûreté ;
- des études insuffisamment avancées au moment du début de la construction de l'EPR.

Pour des raisons similaires, la relance des constructions neuves de 3<sup>ème</sup> génération par WESTINGHOUSE (réacteur AP1000) a aussi connu son lot de difficultés aux Etats-Unis et en Chine.

Le début de la construction de FLA3, seulement 2 ans après celui d'OL3, n'a pas pu bénéficier du retour d'expérience des difficultés rencontrées en Finlande par AREVA, qui aurait été utile malgré les différences d'organisations industrielles et d'autorités de sûreté.

De manière empirique, il n'est pas inexact d'affirmer qu'une interruption de construction prolongée (entre 5 et 10 ans) et la reprise de constructions sur la base d'un nouveau modèle (par exemple exigé par l'évolution de la réglementation) conduirait à des surcoûts voisins de 6 milliards d'euros dans le cas français.

### **1.1.2 La base installée ne garantit pas le maintien des compétences**

Même avec une base installée importante, la maintenance -y compris les grands travaux- des réacteurs en service ne suffit pas à maintenir les compétences nécessaires à la réalisation de nouveaux réacteurs dans des conditions satisfaisantes. Car les compétences nécessaires à la construction neuve diffèrent de celles utiles à la maintenance, tant pour la conception que pour la fabrication. La maîtrise d'un grand chantier est un métier en soi, qui ne se maintient que par la pratique.



Par exemple, pour les tuyauteurs :

	Maintenance	Construction neuve
Technicité	Réglementaire : de faible à forte pour certains projets de modification. Métier : faible, parfois plus complexes.	Réglementaire : de faible à forte pour certains projets de modification. Métier : faible, parfois plus complexes.
Taille de projet	100 personnes en pointe sur un même projet au maximum. Durée maximale : 3 ans pour une commande d'exécution. Montant maximum de 10 M€ pour une commande d'exécution.	Jusqu'à mille de personnes en pointe. Durée : 10 ans. Projets de plusieurs centaines de millions.

Tableau 1 : exemple d'analyse faite par les tuyauteurs

La maintenance et la construction neuve sont très différentes du point de vue de la taille des projets et de la technicité qui est mise en œuvre. C'est la raison pour laquelle le transfert de compétences de la construction neuve vers la maintenance s'est révélé bien plus aisé que l'inverse.

Les compétences spécifiques à la construction neuve sont les suivantes, toujours pour les tuyauteurs :

Technicité	Tuyauteurs - accostages complexes Soudeurs – soudages complexes (traversée des enceintes, TIG...) Levageurs, thermiciens, usineurs Contrôles non destructifs
Taille de projet	Chef de projet construction projet de plusieurs dizaines de millions d'euros Chef de lot montage Conducteurs de travaux, chefs de chantier, chefs d'équipes et de très grosses équipes Ordonnancement Contrôle des coûts Direction technique et qualité

### **1.1.3 Une remontée du niveau de compétence récente à conforter**

FLA3 est la tête de série d'un nouveau modèle de réacteur, réalisé par une industrie qui n'avait pas réalisé de construction neuve après un **arrêt long**. Les difficultés de construction de l'EPR mettent en évidence l'affaiblissement des compétences et savoir-faire industriels qui en était résulté. Le haut niveau d'exécution des tranches actuellement en service n'a pu être atteint que grâce à l'effet de série (meilleur apprentissage et dégressivité des coûts et des délais) après des difficultés rencontrées au démarrage. Mais il s'agit d'un programme complexe, qui fait intervenir une multitude d'entreprises françaises et étrangères en raison de la pression opérée sur les coûts et de l'indisponibilité de certaines compétences en France.

Aujourd'hui, près de 4 500 personnes s'affairent à l'achèvement des travaux de FLA3 pour un raccordement du réacteur au réseau prévu en 2019. Plusieurs milliers d'ingénieurs et de techniciens ont pu réacquérir les compétences, mais une partie d'entre eux seulement est impliquée sur les travaux de construction d'Hinkley Point C (HPC).

Malgré les difficultés rencontrées, la remontée des compétences est bien réelle. Si ces dernières ne s'exercent pas sur de nouvelles constructions, elles disparaîtront à nouveau.

### **1.1.4 L'export ne permet pas d'assurer le maintien des compétences**

Six EPR sont actuellement en cours de réalisation dans le monde. Le premier des deux réacteurs chinois (Taishan) a divergé le 6 juin dernier et OL3 devrait suivre en 2019. Le retour d'expérience des EPR en cours de construction est utile à la conception de l'EPR 2 (objectif de coût de construction en série fixé à 5 G€).

L'export n'apporte de la charge en France qu'à quelques entreprises de la filière, et encore cela dépend-il des accords avec les autres partenaires de la maîtrise d'œuvre sur la répartition des fournitures et avec le client sur la localisation des études et fabrications.

A titre d'illustration, pour que l'export puisse aider à remonter le plan de charge des usines de FRAMATOME vers le minimum critique (celui qui est indispensable pour maintenir les compétences et l'outil industriel), il faudrait que les contrats arrivent en 2020 pour Jaitapur et en 2024 pour Sizewell C (SZC) au Royaume-Uni, et que le retour industriel en France soit important. Ces hypothèses sont très fragiles. Le cas de l'export est détaillé par la suite.

## **1.2 Une attractivité en régression**

### **1.2.1 Une absence de prise de position gouvernementale sur l'avenir de la filière**

Dans le contexte actuel, où il a été décidé de réduire la part du nucléaire et d'arrêter des réacteurs, contexte marqué par ailleurs par l'absence de commandes de constructions neuves après HPC (1 et 2), le secteur connaît pour la construction neuve une importante baisse de charge à partir de 2019 dans les ingénieries et à partir de 2020 dans les activités de fabrication et de sous-traitance.

Dès lors, les salariés du secteur doutent de la possibilité d'un avenir professionnel intéressant dans la filière, alors que les profils recherchés pour la construction neuve sont de manière générale plus qualifiés que ceux nécessaires aux activités de maintenance.

L'image de la filière est dégradée tant en externe qu'en interne, ce qui a conduit à une régression de son attractivité, pour le recrutement comme pour la capacité à conserver les personnes.

Les ingénieurs, techniciens, chercheurs et étudiants doutent et s'interrogent sur la politique énergétique, la politique nucléaire et industrielle de l'Etat. Ils restent, pour leurs choix de carrière, dans l'attente d'une position claire du gouvernement sur ces politiques. Le risque majeur est humain. Comment ces acteurs vont-ils réagir aux choix du gouvernement dans le cadre des deux prochains rendez-vous que sont la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) et la campagne présidentielle ?

### **1.2.2 Une dégradation de la perception au sein même des entreprises de la filière**

Des départs sont observés vers d'autres secteurs industriels, en particulier chez les jeunes qui sont bien formés et moins fidèles à leur employeur qu'auparavant.

Les enquêtes internes font apparaître une baisse de la confiance des salariés dans l'avenir de la filière nucléaire. A titre d'exemple, chez EDF, la confiance en l'avenir du nucléaire dans les entités les plus liées au nucléaire neuf a chuté de 67 % à 38 % entre 2014 et 2017. Ces anticipations négatives pourraient conduire à une évaporation des compétences chez les populations d'ingénieurs et de techniciens les plus mobiles (jeunes ingénieurs et techniciens disposant de quelques années d'expérience professionnelle).

La dispersion des ingénieurs, chercheurs et techniciens (et les meilleurs seront les premiers à partir), l'orientation des jeunes hors du secteur nucléaire, le passage des travaux de construction neuve au-dessous du minimum critique dans les bureaux d'études, dans les usines et sur les chantiers, feraient perdre aux principaux acteurs nucléaires leurs compétences et leurs capacités industrielles (par départs et par manque de pratique), en matière de conception, de fabrications neuves et de grands chantiers nucléaires, provoquant l'arrêt de ces activités.

### **1.2.3 Des difficultés de recrutement à tous niveaux**

Le marché de l'embauche des ingénieurs et techniciens est par ailleurs actuellement tendu, sous l'effet d'une insuffisance du nombre de personnes formées dans ces catégories par le système éducatif et d'un redémarrage de l'activité économique.

La dégradation de l'image du secteur nucléaire et l'absence d'orientations claires ont des conséquences directes sur les embauches.

Ainsi, EDF fait état d'une diminution très marquée du nombre moyen de CV reçus par offre d'emploi à la direction production nucléaire (120 CV reçus en 2015 contre 22 en 2018) et à la direction de l'ingénierie des projets du nouveau nucléaire (150 contre 65), sans porter d'appréciation sur l'évolution de la qualité des profils reçus.

Les difficultés de recrutement sont encore plus sensibles chez les sous-traitants et fournisseurs. Plus de la moitié d'entre eux rencontrent des difficultés à recruter et cela à tous niveaux : soudeurs, tuyauteurs, calorifugeurs, techniciens et ingénieurs.

#### **1.2.4 Et une désaffectation pour les filières de formation nucléaire**

Dans les filières de formation nucléaire et à tous niveaux (ingénieurs et techniciens), le nombre de candidats baisse tous les ans. A titre d'exemple, le nombre de candidats à l'école du génie atomique a décliné de 100 à 60 personnes (20 militaires et 40 civils) en quelques années.

Dans certains masters, le nombre d'élèves inscrits est tombé en dessous du seuil minimum et certaines formations sont arrêtées. Une autre conséquence de la désaffectation est la baisse de qualification des candidats.

#### **1.3 Une absence de décision serait interprétée comme une « sortie du nucléaire » et accélérerait massivement le processus de désaffectation des ressources humaines, déjà entamé aujourd'hui**

En 2015, l'Etat a procédé à une recapitalisation massive des groupes EDF et AREVA et lancé une vaste réorganisation industrielle pour maintenir l'outil industriel à un niveau compétitif, marquant ainsi sa volonté de préserver la filière. Aujourd'hui, les ingénieurs et techniciens perçoivent la forte réduction du plan de charge à très court terme.

Ils jugeront les perspectives sur le fondement des décisions portées par la PPE en 2019 et au plus tard en 2021 (fin du quinquennat). S'ils estiment qu'il n'y a pas de perspectives suffisamment claires, volontaristes et crédibles pour le nucléaire en France, et donc qu'il n'y a pas d'avenir dans ce secteur, ils s'en détourneront et s'orienteront vers d'autres secteurs économiques plus attirants, où ils trouveront des opportunités sans grande difficulté. Les compétences actuellement localisées dans le secteur nucléaire migreront ainsi vers d'autres secteurs. Il est d'ailleurs illusoire de penser qu'elles puissent faire le chemin inverse de façon organisée ou même prévisible.

Comme indiqué plus haut, la maintenance et le grand carénage de la base installée ne permettra pas d'entretenir les compétences nécessaires à la construction neuve. L'expérience de FLA3 a montré que l'exploitation du parc, la maintenance, et les travaux de grand carénage n'entretiennent pas les compétences de constructions neuves. Cette situation est étudiée plus loin dans le cas de l'arrêt long. Les départs, les difficultés de recrutement et de renouvellement des compétences pèseront par ailleurs sur la sûreté des installations en exploitation.

Enfin, on peut ajouter que l'absence de constructions neuves en France n'encouragerait pas les clients étrangers à faire appel à la filière française et les perspectives d'export envisagées à cette échéance (Jaitapur...) en seraient dès lors significativement affaiblies.

Finalement, la tendance observée actuellement sera aggravée.

#### **1.4 Une annonce politique d'un nouveau nucléaire au sein de la transition énergétique déclenchera une réaction positive sur les ressources humaines et la filière industrielle**

C'est la situation où, en entendant la position du gouvernement et en voyant les décisions prises avec la PPE en 2019 et au plus tard en 2021 (fin du quinquennat), les acteurs jugent qu'il y a un avenir pour le nucléaire, avec l'annonce de constructions neuves. Dans ce cas, la tendance n'est plus aggravée ; elle est inversée.

Cette annonce doit intervenir au plus tard en 2021, parce qu'à cette date :

- les ingénieries d'EDF et de FRAMATOME, et les usines de Saint-Marcel et de Jeumont de FRAMATOME seront dans une forte décroissance de charge, très visible. Si la décision est prise à cette date, EDF et FRAMATOME pourront immédiatement remonter la charge en anticipant les travaux à venir, et pourront ainsi redonner confiance à leurs salariés ;
- FLA3 devrait avoir démarré (en tenant compte des actuels problèmes de soudure, d'après les informations disponibles à ce jour), ainsi que deux autres EPR : Taishan 2 (Taishan 1 a démarré le 6 juin 2018) et OL3 en 2019. Cette situation est étudiée dans le cas de la **continuité** (cf. chapitre 2.2). Ce cas met en évidence un certain nombre de conditions pour que la filière nucléaire puisse réussir les évolutions à la baisse qu'elle doit faire, tout en maintenant ses compétences d'exploitation, de maintenance, de production, de construction neuve, de R&D et d'innovation, et en augmentant ses performances et sa compétitivité ;
- enfin, parce qu'au-delà de cette date de 2021 la population d'ingénieurs, chercheurs, techniciens, étudiants concernés par le nucléaire, qui doute et s'interroge sur la politique nucléaire de l'Etat et la volonté du gouvernement, considérera qu'il n'y aura pas de construction neuve à un horizon compatible avec leurs choix professionnels. Une partie de cette population s'orientera vers d'autres secteurs d'activité.

**RECOMMANDATION : Annoncer au plus tard en 2021 la décision de lancer une série de 3 paires de réacteurs de 3ème génération EPR2, avec l'annonce du premier site.**

**2021 étant tardif, annoncer en 2019 à la suite de la PPE le maintien d'un socle nucléaire permettant de garantir face aux nombreuses incertitudes la sécurité d'approvisionnement, la pilotabilité et la stabilité du réseau électrique.**

## 2 Le schéma industriel pour le nouveau nucléaire en réponse aux besoins de la transition énergétique : « continuité » versus « arrêt long »

En ce qui concerne les éventuelles futures constructions, et conformément à la lettre de mission, deux enveloppes de scénarios ont été étudiées :

- construction de réacteurs EPR sans grande interruption après HPC : c'est le cas de la **continuité** ;
- arrêt de 5 à 10 ans, suivi d'une remobilisation des capacités industrielles avant de relancer des constructions neuves : c'est le cas de l'**arrêt long**.

En premier lieu, cette partie détaille les hypothèses considérées pour la décroissance du parc électronucléaire en service. Puis les cas de **continuité** et d'**arrêt long** sont successivement présentés.

Dans les deux cas, la mission considère que, compte tenu de leur manque de maturité, les SMR ne constituent pas une solution compatible des délais envisagés. Les travaux relatifs au SMR français [REDACTED] ont été présentés à la mission qui a considéré qu'elle ne pouvait tabler sur cette technologie dans aucun des deux cas compte tenu de son absence de maturité (le lancement des travaux de R&D est en effet trop récent en France). Pour autant, la mission encourage le consortium composé d'EDF, TECHNICATOME, NAVAL GROUP et le CEA à poursuivre ses travaux en vue d'un avant-projet sommaire, compte tenu de la grande qualité du concept et des études présentés.

### 2.1 Les hypothèses de décroissance du parc en service

Compte tenu du rythme maximal réaliste d'insertion des énergies renouvelables sur le réseau d'électricité, RTE considère qu'il n'est pas possible de débiter un programme d'arrêt des réacteurs 900 MWe avant 2025-2026.

Les réacteurs du parc actuel ont été construits à une cadence très élevée : 54 réacteurs ont ainsi été mis en service en 16 ans (les 4 N4 ont été mis en service entre 2000 et 2002). Il ne serait pas possible de les arrêter tous au même âge en raison du montant des investissements à consentir mais aussi d'un effondrement de la capacité sur le réseau. Il faut donc étaler leur retrait du service.

Par ailleurs, il ne paraît pas raisonnable d'envisager une durée de fonctionnement des réacteurs au-delà de 60 ans (visite décennale ou VD6), sachant que les derniers réacteurs de 1 300 MWe auront 60 ans (VD6) en 2054 et les N4 vers 2060.

De très lourds investissements auront été faits par EDF dans le programme de Grand Carénage pour étendre la durée de fonctionnement des réacteurs au-delà de la VD4 (40 ans). La première VD5 (50 ans) intervenant en 2029, il est ici considéré que l'arrêt du parc se fait progressivement entre 2029 et 2060, à la cadence moyenne de 2 réacteurs par an, entre les VD5 et VD6.

## 2.2 Le cas de la continuité

Divers scénarios complets et cohérents allant au-delà de 2060 ont été étudiés. Il en ressort que pour que l'on soit capable de faire face à tous les aléas qui pourraient advenir sur une aussi longue période, il faut que les évolutions soient progressives, sans trop brusques et trop fortes variations, avec des rythmes « moyens », c'est-à-dire des rythmes que l'on peut augmenter ou diminuer sans trop de difficultés en cas de besoin, parce que le tissu industriel est placé en situation de pouvoir répondre à la demande.

Le cas de la **continuité** présenté ci-dessous est un exemple de pilotage à la fois très robuste et résilient, qui minimise les risques et apporte les garanties demandées sur le « maintien des capacités industrielles de la filière nucléaire en vue de potentielles nouvelles constructions de réacteurs » :

### *Présentation :*

- la consommation est stagnante à 480 TWh par an ;
- la production croît jusqu'à 600 TWh et reste autour de cette valeur avec de l'export en plus ou en moins (636 dans le scénario Ampère et 614 dans le scénario Volt) ;
- on arrête 2 à 3 tranches nucléaires par an de 2029 à 2040, c'est-à-dire à des âges entre 50 et 53 ans ;
- on met en service 4.5 GW/an en moyenne d'énergies renouvelables hors hydraulique d'ici 2035 (5.5 GW/an en moyenne pour Ampère et 3.7 pour Volt) ; il y a 125 GW d'énergies renouvelables installés en 2035 (148 pour Ampère et 116 pour Volt) ;
- en 2030, il y a 34 % d'énergies renouvelables ;
- on atteint 40 % d'énergies renouvelables en 2034 (2029 pour Ampère et 2036 pour Volt) ;
- le premier EPR 2 est mis en service en 2033, et les 3 premières paires sont mises en service au rythme d'un réacteur tous les deux ans (une paire tous les quatre ans), soit jusqu'en 2043 ;
- en 2040, 33 réacteurs ont été arrêtés (y compris Fessenheim 1 et 2), et avec 4 EPR 2 mis en service, la part du nucléaire est de 50 % (en 2031 pour Ampère et en 2042 pour Volt) ; il y a 49 % d'énergies renouvelables (150 GW) et 1 % de gaz ;
- à partir de 2041, on arrête 1 à 2 tranches nucléaires par an et on construit un EPR 2 par an : en 2055, tous les réacteurs de 900 et 1 300 MW sont arrêtés, entre 55 et 61 ans, 17 EPR 2 sont sur le réseau en plus de FLA3, et la proportion du nucléaire est de 49 %. Cette proportion se maintient si on remplace les quatre N4 en fin de vie (par exemple, de 2058 à 2061, à 58 ans) par 4 EPR 2 (au total 21, plus FLA3) ;
- la période de construction des nouveaux réacteurs s'achève avant ou en même temps que l'arrêt du dernier réacteur du parc actuel.

*Commentaires :*

Des difficultés de passage de la pointe peuvent survenir dès 2040. Ainsi que le préconise RTE, il est nécessaire de renforcer les leviers de maîtrise de la pointe (différentes actions permettant de garantir une diminution de la puissance de pointe).

En effet et toujours selon RTE, la « pointe à une chance sur 10 » évolue comme la consommation et reste inférieure à 100 GWe dans ses scénarios de consommation jusqu'en 2035 (pendant l'hiver 2012, la pointe atteint 102 GWe). Des appels de puissance supérieurs à 100 GWe pourraient encore être observés dans les chroniques les plus froides, entraînant la mobilisation de moyens exceptionnels comme les délestages.

Au-delà de 2035, le taux de pénétration des ENR non pilotables continuant à augmenter, la préoccupation sur le passage de la pointe augmentera, et justifie une programmation prudente et très manœuvrante, avec des réserves pilotables suffisantes.

Comme recommandé au §1.4 ci-dessus, la décision de lancer la construction de nouveaux réacteurs devrait intervenir au plus tard en 2021. Elle porterait sur une première série de 3 paires d'EPR 2, qui constitue un minimum pour bénéficier à plein d'un effet de série, indispensable à la compétitivité du nucléaire, à raison d'une tranche tous les 2 ans. Ce rythme constitue un minimum pour assurer la pleine maîtrise des compétences et de l'outil industriel.

Pour une prise de décision du lancement de 3 paires en 2021, accompagnée du choix au moins du premier site, le démarrage des procédures d'autorisation pour la première paire (débat public et analyse d'impact environnemental, durées 15 à 18 mois) interviendrait en 2022, le dépôt du dossier d'autorisation de création et du permis de construire serait en 2024, l'autorisation de construction interviendrait en 2025, ainsi que le premier béton de la première tranche. Ceci exige qu'il existe un programme très complet de dérisquage pour le premier EPR 2 (aux plans industriels, études et *licensing*) et que ce programme soit conduit de manière très volontariste.

Si la décision est prise au plus tard en 2021, l'appareil industriel est capable de gérer la transition, l'activité et les compétences entre la fin d'HPC et ces nouvelles constructions. Encore faudra-t-il qu'il anticipe l'arrivée des commandes et réalise certains travaux.

A condition d'être commandé et construit en série, au rythme d'au moins un tous les deux ans, l'EPR 2 coûterait environ 5 G€ en coût *overnight*, soit 62 €/MWh (avec un WACC de 8 %). Ce coût objectif serait compétitif, le prix du marché de gros de l'électricité ressortant en 2030 à 65 et 80 €/MWh dans les scénarios Ampère et Volt (RTE, direction générale de l'énergie et du climat).

Pour parvenir à un tel coût, il faut améliorer (cf. 5.2) :

- les organisations industrielles, en les simplifiant et en intégrant l'ensemble des fournisseurs dès le départ ;
- les méthodes des ingénieries, en les simplifiant, en les rassemblant au sein d'une même plateforme digitale, et en intégrant les équipes sur des plateaux projet ;
- les processus contractuels, en les simplifiant, les accélérant et les débureaucratisant, tout en alignant les intérêts des partenaires dans le cadre d'une politique industrielle à long terme.



En ce qui concerne La Hague et MELOX, les chroniques d'arrêt et de construction considérées ici préservent le traitement recyclage jusqu'au grand *revamping* de La Hague (qui réduira la capacité de l'usine au niveau de la nouvelle production nucléaire), mais ceci à **condition de « moxer » environ 6 réacteurs de 1 300 MW ainsi que les premiers EPR 2 mis en service.**

Ce schéma est très manœuvrant et permet de s'adapter à toutes les évolutions ou imprévus :

- consommation croissante ou décroissante ;
- déploiement plus ou moins rapide des ENR ;
- déploiement plus ou moins rapide des solutions de stockage ;
- évolutions de la stabilité du système électrique et des interconnexions, maîtrise des risques sur le passage de la pointe.

Il suffit d'arrêter les centrales actuelles plus ou moins rapidement, et/ou de construire (dès l'instant où l'industrie nucléaire tourne en pleine maîtrise de ses compétences et de son outil industriel), les EPR 2 plus vite ou moins vite, et en nombre plus élevé ou moins élevé.

Ce scénario permet de garantir le maintien des compétences et des capacités industrielles de la filière nucléaire civile. Les scénarii de ce type sont très robustes et résilients. Ils permettent d'assurer la sécurité, l'indépendance et la compétitivité de l'approvisionnement en électricité de la France, quels que soient les situations et imprévus susceptibles d'être rencontrés dans l'avenir, même à très long terme.

**RECOMMANDATION : Mettre en place une programmation nucléaire du type de celle étudiée dans le cas de la continuité, car elle est présente la robustesse et la flexibilité nécessaires.**

### **2.3 Le cas de l'arrêt long**

Un **arrêt long** peut être décidé ou implicite en l'absence d'annonce sur le lancement d'un nouveau nucléaire. Une absence d'annonce conduira à des anticipations négatives pour la filière nucléaire : les ingénieurs et techniciens s'en détourneront pour rejoindre des secteurs qu'ils jugent davantage porteurs, ainsi que la partie précédente du présent rapport l'illustre.

Pour l'analyse du cas de l'arrêt long, la mission a retenu le calendrier suivant :

- phase d'arrêt de 5 ou 6 ans, après la mise en service de Flamanville 3 ;
- en 2027, décision politique de reprendre la construction de nouvelles centrales. Il a été supposé que cette décision permettait l'enclenchement d'une première phase de remobilisation comprenant :
  - o d'une part, la reconstitution progressive des équipes d'ingénierie d'EDF et de FRAMATOME, avec rappels des anciens de FLA3 (à supposer qu'il en soit resté suffisamment), reconversion au nucléaire neuf des ingénieurs de maintenance et recrutement d'ingénieurs débutants ;

- d'autre part, l'adaptation du modèle EPR 2 aux évolutions réglementaires intervenues dans l'intervalle et au changement de contexte, tout en faisant l'hypothèse que les principaux choix d'EPR 2 ne seraient pas remis en cause ;
- en 2030, décision d'investissement :
  - après approbation par l'ASN du modèle ainsi « toiletté » puis débat public ;
  - et lancement d'une seconde phase de remobilisation dans toutes les entreprises concernées de la filière (rappel des anciens, recrutement, formation...)
- en 2033, premier béton, après achèvement des études de "detailed design" ;
- et démarrage en 2043 de la première centrale, soit une durée de construction de 10 ans (à comparer à une durée de 8 ans dans le cas continuité) ce qui, après une phase d'**arrêt long**, reste très ambitieux au regard des 12 ans de construction de FLA3.

Alors que la durée du projet Flamanville 3 aura été d'environ 17 ans entre la décision politique et le démarrage, retenir une durée du même ordre (16 ans) pour le cas d'un **arrêt long** est optimiste dans la mesure où les compétences de la filière nucléaire seraient nettement plus affaiblies en 2027 dans cette hypothèse qu'elles ne l'étaient en 2002.

En cas d'**arrêt long**, les entreprises perdraient l'essentiel de leurs compétences et de leur outil industriel. A supposer qu'elle soit possible, une remobilisation serait particulièrement coûteuse et difficile, dans la mesure où il faudrait reconstituer l'essentiel des capacités industrielles et des savoir-faire. Dans le cas de FLA3, l'**arrêt long** aura engendré de l'ordre de 6 ans de retard et de l'ordre de 6 G€ de surcoûts, dans un contexte plus favorable qu'aujourd'hui.

Il est probable que les filières de formation initiale et continue devraient être relancées, induisant un retard incompressible initial de 3 à 5 ans. De plus, les ingénieurs et les techniciens se qualifient essentiellement avec l'expérience. Il faut compter 10 ans pour disposer de chefs de projets performants et 15 ans pour les experts de la sûreté nucléaire.

On ne peut être sûr que les industriels ayant dû fermer des capacités industrielles localisées en France décideraient de réinvestir dans le nucléaire. De ce fait, la construction de centrales s'appuierait grandement sur des fournisseurs étrangers ou au mieux sur les filiales des fournisseurs français localisées à l'étranger.

Au-delà d'un certain temps, il faudrait concevoir et développer un nouveau modèle de réacteur, car pendant l'**arrêt long** sans construction (5 à 10 ans), le référentiel de sûreté et la réglementation auront continué à évoluer, avec une complexité et des exigences croissantes alors même que les concepteurs auront été pour beaucoup les premiers à partir face à l'absence de constructions neuves. La remobilisation avec des équipes débutantes pour la construction d'un réacteur de conception nouvelle serait particulièrement risquée. Ainsi, la remobilisation prendrait des années, et coûterait très cher, à supposer qu'on parvienne à la réaliser. Celle lancée par AREVA lors de la prise du contrat OL3 en 2003 a échoué. A cette date, dans l'ingénierie et les usines du groupe, les salariés les plus anciens et expérimentés étaient partis, de même que chez les fournisseurs, qui par ailleurs avaient changé d'activité. En effet, une limite à la remobilisation est la capacité d'embauche, d'intégration et de

formation. FRAMATOME estime qu'elle est au maximum de 10 % des effectifs par an, et à **condition que le marché de l'emploi des ingénieurs et l'attractivité du nucléaire le permettent.**

En cas d'**arrêt long**, EDVANCE (l'ingénierie commune d'EDF et de FRAMATOME pour l'îlot nucléaire) passerait dès 2022-2023 au-dessous du minimum critique sur ses 11 métiers, et estime qu'elle ne pourrait réussir la remobilisation que sur 4 de ses métiers (tels que génie civil ou installation générale). ASSYSTEM estime qu'en l'absence de décision, les compétences s'évaporeront en 12 à 18 mois, et qu'il lui faudrait 5 ans pour recréer une filière compétente, et ceci à condition d'avoir gardé des anciens très expérimentés pour encadrer et former les nouveaux embauchés.

A cet horizon, le besoin de sources d'énergie pilotable sera maintenu. Avec une perte de compétences, de ressources humaines et de moyens industriels, il est probable que des solutions plus concurrentielles s'imposeront : achat de centrales nucléaires à l'étranger, éventuellement assorti de transferts de technologie, pour maintenir un haut niveau de dé-carbonation, ou inflexion de la politique énergétique vers des énergies comme le gaz. En tous les cas, cela constituerait une perte de notre sûreté d'approvisionnement et de souveraineté.

### **3 Maintien des compétences et des capacités industrielles pour la construction neuve**

#### **3.1 Les compétences de la filière : le résultat de 70 ans d'efforts industriels, économiques, scientifiques et politiques**

##### **3.1.1 Les origines de la filière : un transfert de technologie et un conversion d'actifs industriels lourds**

Le tissu industriel nucléaire français résulte d'un effort national unique et continu entrepris dès la fin de la seconde guerre mondiale avec la création par le Général de GAULLE du CEA, en 1945. Dans un premier temps, le CEA évalue diverses filières jugées accessibles pour un pays de taille moyenne, c'est-à-dire ne recourant pas à l'enrichissement de l'uranium. Les réacteurs Zoé, EL2, G1, G2 et G3 divergent respectivement en 1948, 1953, 1956, 1958 et 1959. Le CEA privilégie le graphite plutôt que l'eau lourde pour la modération de ses réacteurs, avec un refroidissement à gaz. Ainsi, avec les réacteurs G1 à G3, la France développe une filière nationale appelée « graphite-gaz » et analogue à la filière britannique « Magnox » tout en envisageant le développement d'une filière de réacteurs à neutrons rapides (Rapsodie en 1962 puis Phénix en 1966).

L'enrichissement de l'uranium à des fins civiles nécessite la mise en œuvre de moyens de séparation isotopique inaccessibles en période de reconstruction. Acheter de l'uranium enrichi aux Etats-Unis marquerait un abandon de souveraineté. EDF construit donc de premiers réacteurs graphite-gaz à Chinon (3 réacteurs) puis Saint-Laurent (2 réacteurs) et Bugey, à partir de 1956. Ces premiers travaux dans le domaine de l'énergie nucléaire donnent le départ de la structuration de la filière et permettent la mise au point de diverses innovations, dans les aciers spéciaux, les caissons en béton précontraint et les moyens de chargement/déchargement du réacteur en marche.

A la fin des années 50, si la France n'a pas encore officiellement choisi une technologie de référence, la filière graphite-gaz paraît s'imposer. Aux Etats-Unis, la société WESTINGHOUSE a mis au point un réacteur à uranium légèrement enrichi et modéré à l'eau ordinaire sous pression, sous l'impulsion de la marine et de l'amiral RICKOVER. La société SCHNEIDER acquiert la licence pour la France, parce que se dessine un appel d'offres franco-belge pour une centrale à eau ordinaire. La société franco-américaine de constructions atomiques (FRAMATOME) est créée en décembre 1958 par SCHNEIDER, EMPAIN, MERLIN-GERIN et WESTINGHOUSE et reçoit en mai 1959 son premier appel d'offres de la part de SENA, société regroupant des compagnies d'électricité belges et EDF, qui saisit cette occasion de tester la technologie américaine à Chooz, à la frontière franco-belge. Elle le remporte en septembre 1961. Aux côtés d'industriels belges (COCKERILL, MMN...) et de WESTINGHOUSE, la société des forges et ateliers du Creusot (SFAC) est retenue pour la fabrication des cuves. Après de nombreuses difficultés, la centrale est raccordée au réseau en 1967.

En 1966, le rapport HOROWITZ-CABANIUS (deux dirigeants du CEA et d'EDF) recommande d'acquiescer à une meilleure connaissance de la filière à eau ordinaire, sans prôner pour autant un abandon de la filière graphite-gaz. Tout en décidant la construction à Fessenheim de deux réacteurs graphite-gaz, le gouvernement autorise EDF à prendre une participation dans une nouvelle centrale à eau ordinaire franco-belge, à Tihange, première centrale de grande puissance (870 MWe contre 242 à Chooz). Le contrat est notifié en 1969 à FRAMATOME et la réalisation ne fait plus appel qu'à des sociétés françaises et belges.

Une commission (la commission Péon pour production d'électricité d'origine nucléaire) a été instituée en 1964 par le gouvernement pour élaborer un rapport sur les choix des techniques nucléaires et les orientations et la taille du programme électronucléaire français. Elle regroupe des représentants des ministères concernés (recherche, industrie, finances) et des représentants des divers secteurs énergétiques, le directeur général d'EDF et l'administrateur général du CEA ainsi que les présidents-directeurs généraux des sociétés industrielles concernées. Dans un premier rapport émis en 1965, la commission fait apparaître la croissance rapide de la consommation d'électricité, marquée par un taux de dépendance énergétique de 65 %. Mais le pétrole est alors peu coûteux et la rentabilité de l'énergie nucléaire sujette à caution. Dans un second rapport transmis en 1969, la commission recommande le développement de l'énergie nucléaire avec la réalisation avant 1975 de quatre à cinq réacteurs à eau ordinaire de 700 à 900 MWe, en raison de la pénurie de charbon et de pétrole sur le territoire national.

En effet, le succès de l'usine d'enrichissement militaire de Pierrelatte vient porter un coup fatal à la filière graphite-gaz, dont la rentabilité est de plus en plus contestée. Le choix fait en 1966 pour Fessenheim est remis en cause et abandonné. Deux filières demeurent alors en compétition, celle de FRAMATOME et celle dite à eau bouillante, licenciée par GENERAL ELECTRIC à la CGE (compagnie générale d'électricité, futur ALSTOM). FRAMATOME propose un prix de série pour Fessenheim 1 et remporte l'appel d'offres en 1970, puis Bugey 2 et 3 en 1971. Après avoir remporté auprès d'EDF une commande pour deux réacteurs en 1974, la CGE abandonnera en 1975 pour cause de dépassement de coût et se repliera sur la fabrication des turbines et alternateurs des centrales nucléaires françaises.

Les moyens industriels doivent alors être significativement renforcés. CREUSOT-LOIRE (ex-SFAC) construit en 1971 un atelier lourd pour la fabrication des cuves de réacteurs. La fabrication des équipements nucléaires jouxte celles de locomotives et de moteurs diesel. L'atelier lourd apporte des moyens modernes et offre une spécialisation nécessaire au changement d'échelle de la production. CREUSOT-LOIRE met en chantier un atelier hyperlourd, doté des moyens d'assemblage et de levage permettant la réalisation de six générateurs de vapeur par an. Ces deux ateliers sont apportés à FRAMATOME en 1972 par le biais d'une augmentation de capital. JEUMONT-SCHNEIDER, chargée des pompes primaires, construit un atelier spécial équipé de deux boucles d'essais, qui sera repris en 1993 par FRAMATOME.

La création en 1972 de la société EURODIF, sous l'impulsion du CEA et avec des associés belges, espagnols et italiens, chargée de la réalisation de l'usine du Tricastin à partir de la technologie de diffusion gazeuse développée pour les besoins militaires coïncide ou presque avec le choc pétrolier.

### **3.1.2 Le défi industriel de la construction d'un parc en 15 ans**

En octobre 1973, la guerre du Kippour permet à l'OPEP d'opérer une refonte radicale du marché et le prix du pétrole est multiplié par quatre. La France dépend alors de l'extérieur pour 76 % de son approvisionnement en énergie. L'électricité fournie par les 6 centrales nucléaires représente alors moins de 2 % de l'énergie consommée dans le pays. En l'absence de solution alternative capable de produire l'électricité nécessaire à un grand pays industriel, le gouvernement demande à EDF de lancer un vaste programme de construction de centrales nucléaires quelques semaines seulement après la décision de l'OPEP. L'objectif est alors d'atteindre un taux d'indépendance énergétique de 50 % en 1990, c'est-à-dire une part d'électricité d'origine nucléaire de 75 %.

Forte d'une bonne expérience de standardisation des centrales thermiques par paliers de puissance, EDF considère que seules des centrales nucléaires construites en série peuvent relever le défi de l'approvisionnement énergétiques à coûts compétitifs. La construction des centrales est lancée dans le cadre d'une série de contrats pluriannuels. Une avalanche de commandes s'abat sur FRAMATOME :

- Après CP0 (6 tranches), un premier contrat pluriannuel (CP1) de 18 tranches de 900 MWe en 1974 ;
- un deuxième contrat (CP2) de 10 tranches de 900 MWe en 1976 ;
- un troisième contrat de (P4) de 8 tranches de 1 300 MWe en 1976, avec une extension de 12 tranches (P'4) ;
- avant la mise au point du modèle N4 (palier 1450) dans les années 1990 et la réalisation de deux tranches à Chooz et de deux autres à Civaux, raccordées au réseau en 2002 pour les plus tardives.

A peine achevés, les ateliers construits au Creusot et à Chalon-sur-Saône se révèlent insuffisants pour faire face à l'accroissement des commandes. FRAMATOME décide alors la construction (en 18 mois seulement) d'une usine de fabrication de composants nucléaires lourds sur le site de Saint-Marcel à Chalon-sur-Saône, qui garantit un accès au port de Fos-sur-Mer.

### **3.1.3 La stratégie définie devant la fin prévue des commandes massives**

A partir de 1983, les prises de commandes se raréfient, même si la réalisation du parc électronucléaire n'est pas encore achevée. La tendance est alors au développement de réacteurs plus puissants (et donc moins nombreux) pour couvrir une consommation dont la progression ralentit. La situation de l'économie ne facilite plus l'engagement de grands investissements. Le nucléaire représente 50 % de la production d'électricité française. La réduction du programme se confirme en 1985. Une lettre du Premier ministre au Président d'EDF fixe à une unité par an les commandes à venir. L'OPEP se désunit, de nouveaux gisements d'hydrocarbures sont découverts et le contre-choc pétrolier de 1986 entraîne à la baisse les prix du baril.

FRAMATOME s'est alors lancée dans une politique de diversification pour garder ses équipes en état de marche jusqu'à ce que les activités non nucléaires finissent par représenter un tiers du chiffre d'affaires en 1993. Le développement dans la connectique se révèle *in fine* un fiasco complet.

FRAMATOME doit par ailleurs faire face aux difficultés de ses fournisseurs critiques. En 1984, Creusot-Loire, important fournisseur de composants pour chaudière nucléaires, dépose son bilan. FRAMATOME reprendra finalement les divisions énergie et chaudronnerie-soudage. Des réallocations d'activités sont réalisées entre les différents sites du Creusot et de Chalon. Une grande partie de la chaudronnerie européenne a déjà disparu.

FRAMATOME se lance dans le développement d'un nouveau réacteur. En raison de l'importance des coûts à supporter, il se rapproche du constructeur SIEMENS/KWU, confronté aux mêmes enjeux. Au mois d'avril 1989, les deux partenaires signent un accord de coopération et créent une filiale à parts égales pour le développement de leur Produit Commun, plus tard dénommé EPR. Le développement sera réalisé par les deux chaudiéristes en coopération avec EDF et les électriciens allemands, d'une part, et les autorités de sûreté française et allemande, d'autre part.

### 3.2 L'analyse conduite par la mission

Une centrale nucléaire est constituée, notamment pour le lotissement de sa construction :

- d'un îlot nucléaire comprenant lui-même :
  - o la chaudière nucléaire ;
  - o le génie civil (ce lot est en général élargi à toute la centrale) ;
  - o un certain nombre de lots constituant le "*Balance of Nuclear Island*" ou BNI : tuyauteries et leur montage, robinetterie, ventilation, installation électrique... ;
- d'un îlot conventionnel comprenant :
  - o le groupe turbo-alternateur lui-même ;
  - o un certain nombre d'autres lots constituant le "*Balance of Conventional Island*" ou BCI, matériels mécaniques, tuyauteries et leur montage... ;
  - o le "*Balance of Plant*" ou BOP : station de pompage...

Pour la construction d'une centrale en France, EDF est le maître d'ouvrage, l'exploitant nucléaire (au sens de la sûreté nucléaire) et le maître d'œuvre de l'ensemble de la centrale. Au sein d'EDF, ces responsabilités relèvent de la direction Ingénierie et Projets Nouveau Nucléaire (DIPNN) qui dispose pour ce faire :

- de deux directions de projets : FLA3 et EPR 2 ;
- d'une direction des méthodes ;
- d'une direction technique et d'un centre d'expertise et d'inspection, l'une et l'autre en appui à la fois au parc en exploitation et au nouveau nucléaire.

Pour l'ingénierie d'ensemble de l'îlot nucléaire, et dans le cadre de la restructuration de la filière, EDF et FRAMATOME ont mis en commun leurs compétences dans une filiale commune en charge de l'intégration des différents lots de fournitures (fonction d'architecte-ensemblier), la société EDVANCE (80 % EDF – 20 % FRAMATOME – cf. infra).

S'agissant de l'îlot conventionnel (y compris le "*balance of plant*"), l'ingénierie d'ensemble est assurée par une unité de la DIPNN, le CNEPE (Centre National d'Équipement de Production d'Électricité), en charge à la fois du nouveau nucléaire et du parc en exploitation.

Les cinq lots suivants ont été analysés dans le détail. Ce sont les plus importants en technicité et en volume et ils représentent environ 75 % du coût total d'une centrale :

- ingénierie d'ensemble de l'îlot nucléaire (environ 10 % du coût total) ;
- chaudière nucléaire (environ 20 %) ;
- génie civil (environ 25 %) ;
- tuyauteries et montage (environ 10 %) ;
- groupe turbo-alternateur (environ 10 %).

En outre, sans examiner l'ensemble du lot « robinetterie nucléaire », un des fournisseurs-clés, le groupe VELAN a fait l'objet d'une étude détaillée.

Pour chacun de ces lots, les entreprises concernées ont établi le plan de charge correspondant à la construction d'une série de centrales EPR 2, dans chacun des deux cas, **continuité** et **arrêt long**, décrits plus haut, et l'ont analysé au regard de leurs critères de maintien des compétences. Ces plans de charge ont pris en compte en outre la charge, ferme ou prévisible, correspondant :

- à l'achèvement des projets FLA3, OL3 et Taishan ;
- au projet HPC ;
- à la maintenance et au grand carénage du parc nucléaire ;
- aux contrats signés à l'export : cf. la situation de VELAN (3.7) et de GEAST (3.8).

Ces conséquences sont résumées dans le tableau ci-après, pour les principaux métiers qui concourent donc au développement et à la construction des centrales nucléaires.

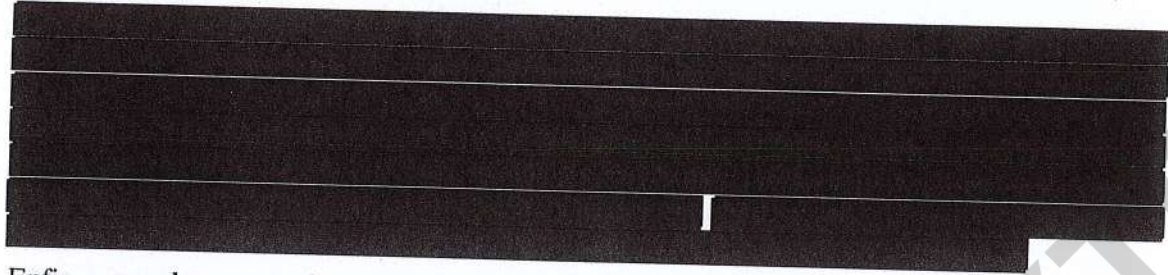
Concernant les projets potentiels à l'export, ils apporteraient un complément de charge appréciable mais, en aucun cas, ne permettraient à eux seuls de maintenir les compétences.

A ce jour, les seuls prospects à échéance raisonnable sont les projets britanniques de Sizewell C (SZC) et indien de Jaitapur. Tous les autres projets parfois évoqués (Pologne, Arabie Saoudite, République tchèque...) sont très hypothétiques quant à leur engagement avant 2030 ou à leur attribution à la filière française. S'agissant de la Chine, rappelons qu'au terme de 30 ans d'efforts, elle est désormais autonome ou presque, aussi bien en matière de conception que de réalisation de centrales nucléaires.

Par ailleurs, en termes de charge pour l'industrie française, la charge de travail du projet HPC est localisée au Royaume-Uni à plus de 63 %. SZC nécessitera un volume limité d'ingénierie et un volume encore plus limité d'ingénierie française car, pour EDF ce devrait être, dans une large mesure, une réplique d'HPC. Concernant les travaux, les industriels britanniques qui se sont alliés à des partenaires français pour HPC auront acquis leur autonomie. Seuls pourraient rester accessibles à la filière française certains équipements comme les composants



du circuit primaire ou le groupe turbo-alternateur. Somme toute, la part qui reviendra à la filière française pourrait ne pas dépasser 20-25 %.



Enfin, rappelons que les projets à l'export reposent avant tout sur l'engagement de constructions en France. C'est l'engagement du projet EPR, au plan politique dès 2002, puis la construction de FLA3 qui ont convaincu :

- la Finlande de choisir EPR en 2003 pour son projet nucléaire ;
- la Chine de décider en 2007 de construire 2 tranches EPR à Taishan ;
- le Royaume-Uni de choisir un partenariat avec la France en 2008 pour redémarrer la construction de centrales nucléaires, après 30 ans d'interruption ;
- l'Inde de signer en 2010 les premiers accords de coopération relatifs au projet Jaitapur.

**Si, à l'issue de la mise en service de FLA3, la France ne s'engage pas dans un programme de construction de nouvelles centrales EPR, la filière française perdra beaucoup de son attractivité pour les pays qui souhaiteront construire de nouvelles centrales.**

	Continuité	Arrêt long
Ingénierie d'ensemble de l'îlot nucléaire (EDVANCE)	La décision de 2021 garantit la pérennité d'EDVANCE. Ses équipes mènent à leur terme les études de "detailed design" d'EPR 2, assurant la capitalisation du retour d'expérience des quatre premiers EPR.	Non seulement les difficultés rencontrées au tournant des années 2000 entre le palier N4 et les EPR se reproduisent mais elles seraient amplifiées par le départ dès 2021-2022 d'un certain nombre d'ingénieurs qui, ne voyant aucun signal favorable, quitteraient la filière nucléaire.
Chaudière, ingénierie (FRAMATOME)	Les métiers d'études et d'expertise voient la pérennité des compétences garantie sans grandes difficultés.	Sans forcément connaître des départs massifs d'ingénieurs, ces métiers verraient rapidement une érosion des compétences spécifiques au nouveau nucléaire réacquises sur les premiers EPR.
Chaudière, composants (FRAMATOME)	Moyennant une décision d'anticipation des fabrications dès 2021 sans attendre les commandes, le maintien de leur capacité est garanti.	La survie des usines de Jeumont, Saint-Marcel et du Creusot est en jeu, avec un risque élevé que, faute de signal favorable, nombre d'ingénieurs et d'opérateurs quittent le secteur à partir de 2021 avec la décrue des fabrications destinées à HPC puis en raison d'un plan de charge très inférieur au niveau minimal requis.
Génie civil	Le cas de continuité permet de façon optimale : <ul style="list-style-type: none"> <li>- dans une première phase (d'ici 2025), d'injecter le retour d'expérience des premiers EPR dans les études de conception détaillée du modèle EPR 2 ;</li> <li>- puis, en phase de réalisation, de pérenniser dans les techniques de mise en œuvre, le savoir-faire douloureusement réacquis - ou acquis - à FLA3 et OL3 et de le diffuser dans l'ensemble de la profession.</li> </ul>	Dans le cas d'un arrêt long, la charge des activités de génie civil nucléaire resterait presque 10 ans à un niveau très bas. A la différence d'autres secteurs, il n'y aurait pas de fuites de compétences : les ingénieurs, chefs de chantier et compagnons seraient redéployés dans l'entreprise. Certains devraient rester disponibles lors de la reprise vers 2033 mais après une interruption aussi longue, une phase de réapprentissage serait inévitable, avec son lot de pertes de qualité et de productivité.

Tuyauterie Montage	Le maintien des compétences réacquises à FLA3 repose dans un premier temps sur HPC (préfabrication et montage des tuyauteries entre 2019 ET 2024). Cependant, la stratégie du groupe EDF qui a conduit à ne pas les retenir ou bien à leur confier des travaux en nombre et qualité limités interroge.	Après un ralentissement pendant 5 ans (2019-2024), ces activités connaîtraient une interruption totale de 9 ans (2024-2033) les ingénieurs, soudeurs et autres opérateurs seraient redéployés dans d'autres secteurs de ces entreprises. Au premier béton de la série vers 2033, après une interruption aussi longue qu'entre le palier N1 et EPR, il faudrait à nouveau repartir d'une feuille blanche comme en 2008 pour FLA3 avec des conséquences encore plus négatives pour la qualité et les délais. Il faudrait alors réinvestir dans des ateliers de fabrication.
Ilot conventionnel (General Electric ALSTOM Turbines)	Avec les hypothèses plutôt favorables faites à l'export par GEAST, la continuité permet d'assurer le maintien des capacités de l'ingénierie et de l'usine. Ainsi, une série EPR 2 apporterait une visibilité à long terme, qui permettrait de mieux lisser le plan de charge.	L'activité nucléaire de GEAST connaîtrait, même avec les commandes à l'export, une charge très en dessous du niveau critique pendant une période de près de 10 ans (2021-2030 pour l'ingénierie de machines tournantes, 2024-2032 pour l'usine de Belfort) certainement fatale à sa survie.
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

**3.3 Ingénierie d'ensemble de l'îlot nucléaire - EDVANCE, filiale d'EDF et de FRAMATOME (cf. notamment l'annexe 1)**

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]

**En conclusion :**

- dans le cas de la continuité, la décision de 2021 garantirait la pérennité d'EDVANCE. Ses équipes mèneraient à leur terme les études de "detailed design" d'EPR 2, assurant la capitalisation du retour d'expérience des 4 premiers EPR.
- dans le cas d'un arrêt long, non seulement les difficultés rencontrées au tournant des années 2000 entre le palier N4 et les EPR se reproduiraient mais elles seraient amplifiées par le départ dès 2021-2022 d'un certain nombre d'ingénieurs qui, ne voyant aucun signal favorable, quitteraient la filière nucléaire.

**3.4 La chaudière nucléaire (ingénierie, usines Jeumont, Chalon et le Creusot, cf. notamment les annexes 2 et 3)**

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

**3.4.1 L'ingénierie (cf. notamment l'annexe 2)**

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

**3.4.2 La fabrication des composants (cf. notamment l'annexe 3)**

FRAMATOME réalise elle-même les composants de la chaudière nucléaire dans trois usines (Saint-Marcel, Le Creusot et Jeumont). Pour chacune d'elles, elle a analysé l'évolution du plan de charge dans les deux cas étudiés (cf. annexe 3).

**3.4.2.1 L'usine de Saint-Marcel (Saône-et-Loire)**

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]

- [REDACTED]

[REDACTED]

3.4.2.2 *La forge du Creusot (Saône-et-Loire)*

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



[REDACTED]

3.4.2.3 L'usine de Jeumont (Nord)

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

**Au bilan, les trois usines sont dans des situations relativement proches :**

- dans le cas d'une décision de construction en 2021 et moyennant une décision d'anticipation des fabrications dès ce moment sans attendre les commandes, le maintien de leur capacité est garanti ;
- dans le cas d'un arrêt long, faute d'un signal favorable en 2021, il y a un risque élevé que nombre d'ingénieurs et d'opérateurs quittent le secteur à partir de ce moment avec la décrue des fabrications destinées à HPC puis en raison d'un plan de charge très inférieur au niveau minimal requis : c'est la survie des usines qui serait en jeu.

Avec des hypothèses favorables mais fragiles, l'export (Jaitapur et SZC) pourrait contribuer à amortir le phénomène pour quelques années. L'export n'apportera cependant pas de visibilité à long terme. La démobilisation des équipes est provoquée essentiellement par l'absence d'avenir du nucléaire en France. Elle persistera, même avec la perspective d'une certaine activité à l'exportation, car la fragilité de cette perspective et la modestie de son impact sont évidents. Donc, même avec une certaine activité à l'export, la nécessité d'une remobilisation le moment venu demeurerait.

**3.5 Génie civil (cf. notamment l'annexe 4)**

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

**Le cas de continuité (cf. figure 4) permettrait de façon optimale :**

- dans une première phase (d'ici 2025), d'injecter le retour d'expérience des premiers EPR dans les études de conception détaillée du modèle EPR 2 ;

- puis, en phase de réalisation, de pérenniser dans les techniques de mise en œuvre, le savoir-faire douloureusement réacquis - ou acquis - à FLA3 et OL3 et de le diffuser dans l'ensemble de la profession.

Dans le cas d'un arrêt long (cf. figure 5), la charge des activités de génie civil nucléaire resterait presque 10 ans à un niveau très bas. A la différence d'autres secteurs, il n'y aurait pas de fuites des compétences : les ingénieurs, chefs de chantier et compagnons seraient redéployés dans l'entreprise. Certains devraient rester disponibles lors de la reprise vers 2033 mais après une interruption aussi longue, une phase de réapprentissage serait inévitable, avec son lot de pertes de qualité et de productivité.

### 3.6 Tuyauterie-montage

L'approvisionnement des tuyauteries, leur préfabrication et leur montage est traditionnellement découpé en 4 lots principaux :

- pour l'îlot nucléaire :
  - o un lot « chaudière nucléaire », le plus complexe techniquement ;
  - o un lot « BNI » (*balance of nuclear island*) ;
- pour l'îlot conventionnel :
  - o un lot « salle des machines » ;
  - o un lot « BOP » (*balance of plant*).

La mission a analysé la situation des 2 lots de l'îlot nucléaire et a auditionné leurs titulaires sur FLA3.

#### 3.6.1 Les compétences requises

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

**3.6.2 Les entreprises de montage et leurs compétences**

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Au total, même dans le cas de la continuité, le maintien des compétences réacquises à FLA3 repose dans un premier temps sur HPC (préfabrication et montage des tuyauteries entre 2019 et 2024). Cependant, la stratégie du groupe EDF qui a conduit à ne pas les retenir ou bien à leur confier des travaux en nombre et qualité limités interroge.

Dans le cas d'un arrêt long, après un ralentissement pendant 5 ans (2019-2024), ces activités connaîtraient une interruption totale de 9 ans (2024-2033) ; les ingénieurs, soudeurs et autres opérateurs seraient redéployés dans d'autres secteurs de ces entreprises. Au premier béton de la série de nouvelles centrales, vers 2033, après une interruption aussi longue qu'entre le palier N4 et EPR, il faudrait à nouveau repartir d'une feuille blanche comme en 2008 pour FLA3 avec des conséquences encore plus négatives pour la qualité et les délais. Il faudrait alors réinvestir dans des ateliers de fabrication, en les dotant des ressources et compétences requises pour permettre leur bon fonctionnement.

**3.7 Robinetterie : le cas des fournitures du groupe VELAN**

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]

- [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]

**3.8 L'îlot conventionnel (cf. notamment l'annexe 5)**

[REDACTED]

- [REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]



[REDACTED]

Ainsi, avec les hypothèses plutôt favorables faites à l'export par GEAST, seule la continuité permettrait d'assurer le maintien des capacités de l'ingénierie et de l'usine. En outre, alors que les commandes à l'export sont par nature aléatoires, une série EPR 2 apporterait une visibilité à long terme, qui permettrait de mieux lisser le plan de charge.

*A contrario*, dans le cas d'un arrêt long, l'activité nucléaire de GEAST connaîtrait, même avec les commandes à l'export, une charge très en dessous du niveau critique pendant une période de près de 10 ans (2021-2030 pour l'ingénierie de machines tournantes, 2024-2032 pour l'usine de Belfort) certainement fatale à sa survie.

## **4 Maintien des compétences et des capacités industrielles pour le cycle du combustible**

### **4.1 L'amont du cycle**

Les activités de l'amont du cycle du combustible relèvent d'ORANO pour ce qui concerne les mines, la conversion et l'enrichissement et de FRAMATOME pour la conception et la fabrication des assemblages combustibles (hors MOX pour ce qui concerne la fabrication).

#### **4.1.1 Activités d'ORANO**

Au plan industriel, dans la décennie 2000-2010, dans un contexte de développement marqué du nucléaire, AREVA avait fortement investi pour maintenir et renouveler ses installations. ORANO dispose ainsi aujourd'hui d'un outil industriel moderne, performant et compétitif, notamment :

- pour la conversion, avec l'usine COMURHEX 2, sur le site de Pierrelatte (Drôme) mise en service en 2018 ;
- pour l'enrichissement, avec l'usine GEORGES-BESSE 2 sur ce même site, mise en service en 2010 et qui a atteint sa pleine capacité en 2016.

Au plan économique et financier, ces activités sont très capitalistiques et à coûts fixes prépondérants. Or, depuis le début de la décennie actuelle, l'accident de Fukushima et le prix relativement bas des énergies fossiles (charbon et gaz) ont entraîné une stagnation de la production nucléaire mondiale (quasi totalement arrêtée en 2012, la production nucléaire japonaise ne redémarre que lentement) ainsi qu'un ralentissement des programmes de construction. Sur ces marchés sur-capacitaires, les prix sont tous très déprimés (uranium, conversion et enrichissement) et sensibles à tous les signaux.

Dans ce contexte, avec un parc français qui représente 15 % du parc nucléaire mondial, la politique nucléaire de la France est suivie de près par les marchés. Sur la base d'exemples récents à l'étranger, ORANO estime qu'au-delà des effets « volume », des scénarios de report de la décision de construire de nouvelles centrales comme de décroissance brutale de la part du nucléaire en France seraient perçus très négativement par les marchés et auraient des effets significatifs et durables sur les prix.

**A cet égard, c'est la politique nucléaire d'ensemble de la France qui comptera, tout autant la construction de nouvelles centrales que la trajectoire de fermeture du parc actuel :**

- dans le cas de la continuité, les doutes sur la politique nucléaire de la France seraient levés ;
- le cas de l'arrêt long serait compris comme une sortie lente du nucléaire et aurait très probablement un impact négatif sur les prix de marché.

#### **4.1.2 Activités de FRAMATOME**

Framatome conçoit et fabrique des assemblages combustibles (hors MOX pour la fabrication) pour les réacteurs à eau légère (REP et REB). Avec une production mondiale de l'ordre de 1 800 tonnes d'uranium par an pour une capacité installée d'environ 2 200 tonnes d'uranium par an, elle fournit environ :

- 30 % du marché mondial (hors fourniture pour les centrales russes) ;
- en France, 70 % du combustible acheté par EDF ;
- et 45 % du marché européen, hors France.

FRAMATOME exploite trois usines de fabrication des assemblages combustibles :

- deux en Europe, situées à Romans-sur-Isère (Drôme) et à Lingen (Allemagne) ;
- une aux Etats-Unis (Richland), qui fournit le marché américain, sur lequel FRAMATOME est en position de "challenger".

Par ailleurs, avec 5 usines en France et une joint-venture en Chine, elle maîtrise la fabrication des gaines et composants en alliage de zirconium constituant la structure des assemblages, avec une position de leader mondial, et près de 50 % de parts de marché.

Au plan industriel, les outils correspondant à l'ensemble de cette activité ont, pour la plupart, été régulièrement entretenus ou récemment rénovés. C'est en particulier le cas de l'usine de fabrication d'assemblages de Romans-sur-Isère, dans laquelle FRAMATOME a lourdement investi ces dernières années.

Au plan économique et financier, comme dans le reste de l'amont du cycle, les surcapacités pèsent sur les prix, en particulier en Europe, en raison de l'arrêt des centrales nucléaires allemandes. FRAMATOME a déjà dû fermer son usine de fabrication d'assemblages de Dessel en Belgique pour optimiser son implantation européenne.

La diminution des commandes d'EDF liée à la réduction du parc en service risque de peser sur la trajectoire financière et la compétitivité de FRAMATOME.

#### **4.2 L'aval du cycle - le traitement-recyclage**

La France a fait le choix du cycle fermé (traitement-recyclage) qui consiste à traiter le combustible usé à l'uranium naturel de façon à séparer :

- d'une part, les déchets, notamment les produits de la fission nucléaire qui sont vitrifiés pour être stockés (déchets dits « HAVL » pour haute activité-vie longue) ;
- et, d'autre part, les matières valorisables, plutonium et uranium, qui sont recyclées comme combustible, respectivement MOX (mixed oxyde) et URE (uranium de retraitement ré-enrichi).

Concernant le plutonium, ce processus industriel est à « flux tendu ».

Le combustible - à l'uranium naturel enrichi - usé est tout d'abord entreposé dans les piscines des centrales nucléaires puis dans celles de l'usine ORANO de La Hague pour refroidissement pendant une dizaine d'années, avant d'être traité et de produire du plutonium. L'usine Melox d'ORANO à Marcoule (Gard) conditionne ensuite ce plutonium sous la forme d'une poudre

mixte d'oxyde de plutonium et d'oxyde d'uranium appauvri, qui constitue la matière du combustible MOX. Les caractéristiques isotopiques du plutonium se dégradant avec le temps, le plutonium ne peut être stocké au-delà de quelques années. Le délai entre traitement et rechargement du combustible MOX en réacteur est ainsi de l'ordre de 5 ans. Le délai total du cycle de traitement-recyclage s'élève donc à plus de 15 ans.

Au total, le niveau du traitement-recyclage est donc piloté, en amont, par le niveau de la production nucléaire et, en aval, par le nombre de centrales utilisant du combustible MOX.

Le niveau actuel de production nucléaire (400 Mds de KWh/an pour une puissance de 63 GWe) conduit à traiter chaque année environ 1 100 tonnes de combustible usé à l'uranium naturel et à produire environ 120 tonnes de combustible MOX. Selon les caractéristiques actuelles de la gestion du combustible MOX, l'équilibre du recyclage nécessite qu'environ 30 % de la puissance installée soit « moxée » ; le combustible MOX alimente ainsi 22 tranches de 900 MWe (24 tranches sont autorisées à l'être).

#### **4.2.1 Les installations et leur adaptation**

L'usine de La Hague (Manche) est constituée de trois ensembles :

- deux lignes de production (UP2 800 et UP 3) composées chacune de plusieurs ateliers et d'une capacité unitaire de 800 tonnes par an ;
- un ensemble de fonctions communes (installations de réception, piscines d'entreposage, traitement des effluents...).

Les installations ont été mises en service, pour l'essentiel, dans les années 1990. Le niveau actuel de production de l'usine (EDF et clients étrangers) est de l'ordre de 1 100 à 1 200 tonnes par an. Ses coûts sont fixes à 90 %.

ORANO prévoit le fonctionnement de l'usine jusqu'à l'horizon 2040 dans son état actuel. Cette date, par ailleurs cohérente avec la visibilité commerciale donnée à ORANO par ses contrats avec EDF, est celle retenue pour l'amortissement comptable des installations et pour les provisions de fin de cycle.

A cet horizon, ORANO prévoit des opérations de « *revamping* » pour pérenniser l'usine. Destinées à être menées sur une échelle de temps de plusieurs années, voire supérieure à une décennie, ces opérations sont de trois ordres :

- maintenance lourde (remplacements d'équipements, comme prévu à la conception des installations) ;
- remplacement ponctuel de fonctions « procédés » dans les bâtiments existants (hors schémas de remplacement prévus à la conception) ;
- reconstruction éventuelle de certains bâtiments.

La réutilisation de bâtiments existants et la fermeture et le démantèlement des autres installations constituent la stratégie privilégiée pour pérenniser l'activité de traitement. Compte tenu de la réduction de la production nucléaire en France à cet horizon, ces opérations de jouvence auront également pour objectif d'adapter le niveau d'activité de l'usine.

Pour une part du nucléaire ramenée de 75 % à 50 % de la production, soit à environ 260 Mds de KWh pour une puissance de l'ordre de 40 GWe, le volume de combustible usé à traiter serait ramené à environ 750 tonnes par an et celui du combustible MOX à fabriquer à environ 80 tonnes par an, ce qui correspondrait au « moxage » de 7 ou 8 tranches EPR.

Compte tenu des incertitudes actuelles, ORANO retient une variation de +/- 20 % autour du niveau de 750 tonnes par an et a analysé trois hypothèses de charge pour l'adaptation du site de La Hague : 900, 750 et 600 tonnes par an.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Au total, il est à retenir que :

- un « *revamping* » des installations de l'usine de La Hague sera nécessaire à l'horizon 2040 ; il s'agira d'opérations importantes menées sur plusieurs années, voire une décennie ;
- à ce « *revamping* » sera associée une adaptation du niveau nominal de fonctionnement de l'usine, qui sera à fixer en cohérence avec le niveau de production nucléaire retenu ;
- la charge de 600 tonnes par an constitue un minimum industriel pour le fonctionnement de l'usine, notamment en matière de maintien des compétences.

Ce niveau minimal de 600 tonnes par an correspond à un parc nucléaire de l'ordre de 35 GWe (environ 20 tranches EPR dont 6 « moxées »).

#### **4.2.2 Les piscines d'entreposage du combustible usé**

Les capacités d'entreposage du combustible usé sont constituées :

- d'une part, des piscines de chacune des tranches du parc nucléaire ;
- d'autre part, des piscines de l'usine de La Hague.

La quantité totale de combustible usé entreposé (uranium naturel + MOX + URE) est aujourd'hui de l'ordre de 14 000 tonnes et la capacité totale des piscines d'environ 16 000 tonnes.

La quantité de combustible usé déchargé est de l'ordre de 1 200 tonnes par an :

- environ 120 tonnes par an de combustible MOX ;
- environ 100 tonnes par an de combustible à l'uranium de retraitement (URE) ; EDF a interrompu ce recyclage pendant quelques années mais prévoit de le reprendre vers 2023 ;
- un peu moins de 1 100 tonnes par an de combustible à l'uranium naturel.

Les combustibles usés MOX et URE ne sont pas retraités aujourd'hui et sont entreposés dans la perspective du développement des réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération. La quantité de combustible usé à entreposer s'accroît donc d'environ 200 tonnes chaque année (120 tonnes par an d'ici la reprise du recyclage de l'uranium de retraitement), conduisant à une saturation des piscines d'entreposage actuelles à l'horizon 2030.

Pour y faire face, EDF a décidé de créer une « piscine centralisée d'entreposage » d'une capacité de 2 fois 5 000 tonnes, avec pour objectif de la mettre en service vers 2030. Cette piscine sera notamment dédiée à l'entreposage des combustibles MOX et URE, destinés à un retraitement différé. EDF a engagé les études de cette installation (options techniques de sûreté, site d'implantation...) et prévoit de déposer la demande d'autorisation de création avant 2020.

#### **4.2.3 Le maintien de la cohérence entre le parc nucléaire et les installations du recyclage**

Le fonctionnement à flux tendu du traitement-recyclage impose trois grandes contraintes liant l'évolution du parc nucléaire et celle des installations du traitement-recyclage :

- les limites sur le stock de combustible usé en attente de traitement (capacité des piscines, d'une part et retraitabilité du combustible, d'autre part) imposent que la trajectoire de réduction du niveau annuel de traitement épouse sensiblement, mais avec un décalage d'une dizaine d'années, la trajectoire de réduction de la production nucléaire. Des variations autour de cette trajectoire idéale sont possibles, mais dans la limite des capacités des piscines d'entreposage (recyclage à la baisse) et de la retraitabilité du combustible (recyclage à la hausse) ;

- [REDACTED]

- le niveau du traitement ne doit pas descendre, au-delà d'une courte durée transitoire, en dessous du seuil minimal de 600 tonnes par an.

Les trajectoires d'arrêt des centrales du parc actuel, de construction des EPR du parc futur assurant 50% de la production, et de « moxage » des tranches des différents paliers doivent concilier ces trois contraintes.

A cette fin, il convient de programmer le « moxage » d'un nombre suffisant de centrales tout au long de la transition entre aujourd'hui et l'horizon auquel le parc nucléaire sera composé exclusivement de centrales EPR, soit la transition entre les 22 tranches 900 MWe « moxées » actuelles et les nouvelles tranches EPR « moxées » du parc nucléaire futur.

Dans cette transition, les centrales de 900 MWe, plus anciennes et plus âgées que celles de 1 300 MWe, seront, en toute hypothèse, et en moyenne, arrêtées avant les centrales de 1 300 MWe et avant qu'un nombre suffisant de centrales EPR ne soient en service. Il est donc nécessaire de programmer dès maintenant le « moxage » d'un certain nombre de tranches de 1 300 MWe. Puis, à l'horizon auquel les centrales 1 300 MWe ainsi « moxées » seront à leur tour arrêtées, il faudra disposer d'un nombre adéquat de centrales EPR « moxables » ; elles le seront par conception, mais pas dès le démarrage.

Au premier ordre, le transfert du « moxage » est ainsi à programmer en deux phases successives :

- du palier 900 MWe vers le palier 1 300 MWe ;
- du palier 1 300 MWe vers le palier EPR.

Au plan quantitatif, les principaux déterminants à prendre en compte dans la gestion de cette transition sont la trajectoire de fermeture des centrales du parc actuel, la trajectoire de construction des EPR et les paramètres retenus pour l'adaptation des installations du recyclage. Face à la multiplicité des combinaisons possibles, la mission a cherché à identifier les paramètres mettant en risque la continuité du recyclage tout au long de cette transition et à caractériser les limites à poser et leviers à activer pour donner aux trajectoires la flexibilité et la robustesse nécessaires quand on se projette aussi loin dans le temps. A simple titre d'illustration de ces limites et leviers, elle a fait réaliser des simulations pour chacun des deux cas décrits au chapitre 2 : **continuité** et **arrêt long**.

Ces deux cas ont en commun la même trajectoire d'arrêt des centrales du parc actuel. Les 52 tranches de 900 et 1 300 MWe (hors FSH) sont arrêtées entre 50 et 60 ans, sur 26 ans, de 2029 à 2055, soit un rythme moyen de 2 tranches par an. Les tranches N4 sont arrêtées vers 2060.

Ces deux cas se distinguent par leur trajectoire de construction des EPR :

- dans le cas de la **continuité**, les EPR sont mis en service à partir de 2033 (décision en 2021, premier béton en 2025) au rythme d'un réacteur tous les deux ans pendant 10 ans (soit 3 paires en 10 ans) puis d'environ un réacteur par an. La construction est lissée sur 30 ans et se fait sur la même période que les arrêts ;
- dans le cas d'un **arrêt long**, les EPR sont mis en service à partir de 2043, à un rythme progressivement accéléré : un réacteur tous les deux ans jusqu'en 2047 puis un réacteur par an pendant 5 ans jusqu'en 2052, puis deux réacteurs par an jusque vers

2060, soit une construction décalée par rapport à la fermeture des centrales actuelles et concentrée sur à peine plus de 15 ans, à une cadence très ambitieuse, à la limite du réalisme industriel, d'autant qu'on sortira d'une phase d'arrêt prolongé.

#### 4.2.4 L'arrêt des tranches 900 MWe et le « moxage » des tranches 1 300 MWe

Sans « moxage » d'un certain nombre de tranches 1 300 MWe, l'arrêt des tranches 900 MWe « moxées » mettrait sérieusement en risque le recyclage. A titre d'illustration (cf. figure 1), dans les deux cas étudiés, le traitement serait contraint de baisser dès 2025, de 1 100 à 800 tonnes par an vers 2030 et à 600 tonnes par an vers 2035.

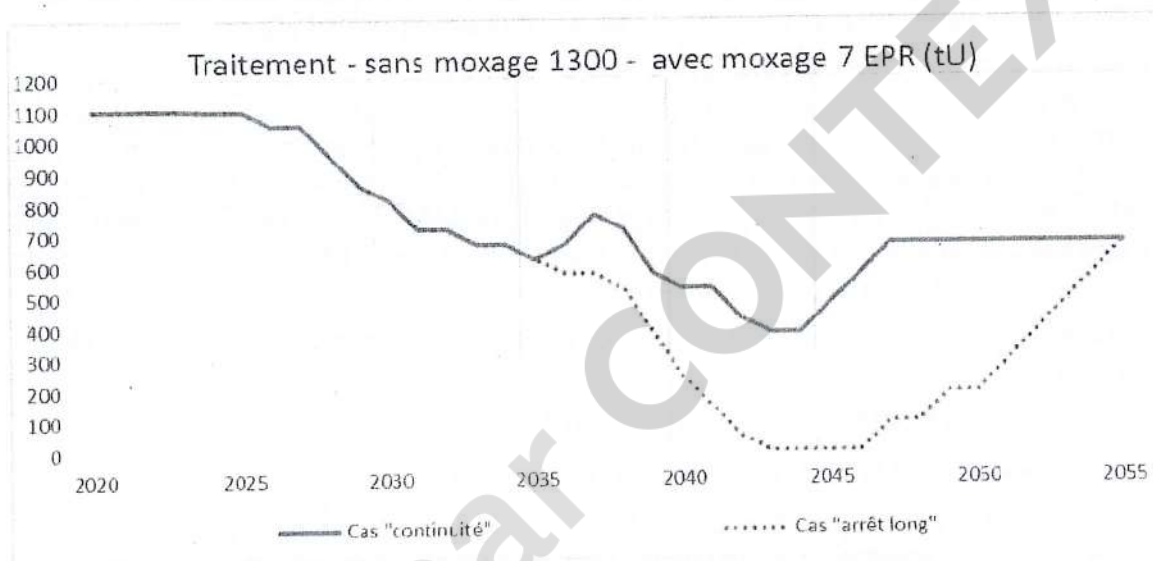


Figure 1 - Niveau du recyclage sans « moxage » de tranches 1 300 MWe

Dans le cas d'un **arrêt long**, le traitement serait abandonné dès 2035 et dans le cas d'une **continuité**, malgré le « moxage » des tranches EPR, le niveau du traitement serait inférieur au seuil minimal de 600 tonnes par an pendant 8 ans (2039-2047).

En revanche, l'ouverture du « moxage » au palier 1 300 MWe, et sous réserve que le nombre de tranches 900 MWe « moxées » fermées avant 2030 reste limité (car le « moxage » du palier 1 300 MWe n'est généralisable qu'à partir de 2032, cf. ci-dessous), permet, en toute hypothèse, de maintenir le recyclage dans la décennie 2030-2040 à un niveau compatible avec la production nucléaire de la décennie 2020-2030. A titre d'illustration (cf. figure 2), dans le cas d'un **arrêt long** comme dans le cas d'une **continuité**, le flux de traitement serait maintenu, en moyenne, à 1 000 tonnes par an jusqu'à l'horizon 2040, stabilisant ainsi, en toute hypothèse, le stock de combustible utilisé en attente de traitement.



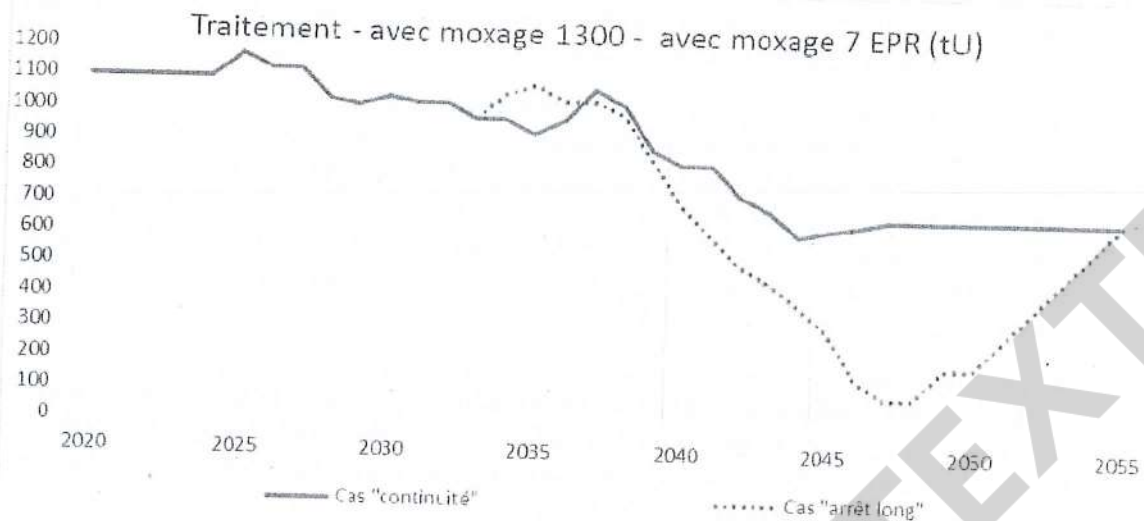


Figure 2 - Niveau du recyclage avec « moxage » de tranches 1 300 MWe

Durant cette période de fermeture des tranches 900 MWe, le facteur principal qui permet le maintien du recyclage au niveau adéquat réside principalement dans le nombre de tranches 1 300 « moxées », dans la mesure où les tranches EPR ne sont « moxables » que 6 ans après leur mise en service (cf. ci-dessous), soit peu de temps avant l'horizon 2040 dans le cas d'une « continuité » et peu de temps avant l'horizon 2050 dans le cas d'un **arrêt long**.

Par ailleurs, on ne peut fermer d'ici 2030 qu'un nombre limité de tranches 900 MWe « moxées » compte tenu du fait que :

- d'une part, comme indiqué ci-dessus, les capacités des piscines d'entreposage sont relativement limitées d'ici 2030 ;
- et, d'autre part, le « moxage » du palier 1 300 MWe n'est pas possible avant l'horizon 2030.

#### 4.2.4.1 Faisabilité du « moxage » des tranches de 1 300 MWe

Face au besoin de transférer le combustible MOX sur de nouvelles centrales, EDF a examiné la possibilité de « moxer » des tranches 1 300 MWe et des tranches N4.

Concernant le palier N4, EDF a évalué que son « moxage » conduirait à une consommation trop importante des marges de fonctionnement et de sûreté. De plus, si à l'issue d'études détaillées, le « moxage » s'était avéré possible, cela aurait été au prix de modifications lourdes, notamment du remplacement du couvercle de la cuve du réacteur. Enfin, la puissance totale de ce palier (6 GWe pour les quatre centrales) n'aurait pas été suffisante pour permettre, de façon sûre, de ne pas devoir « moxer » des tranches 1 300 MWe.

Concernant le palier 1 300 MWe, l'analyse préliminaire réalisée par EDF a couvert les différents aspects règlementaires, techniques et de sûreté, industriels, économiques et de calendrier :

- au plan règlementaire, les décrets d'autorisation de création des tranches 1 300 MWe ne prévoient pas le chargement de combustible MOX ; il faudra donc instruire une révision des décrets concernés, comme cela a été effectué par le passé pour 8 tranches

900 MWe (sur les 24 tranches 900 MWe actuellement autorisées, 16 l'avaient été dès leur décret d'autorisation de création initial) ;

- au plan de la sûreté, l'introduction de combustible MOX s'accompagne d'une baisse de l'efficacité des absorbants neutroniques, ce qui entraîne des modifications des installations : *a minima* l'ajout de grappes de contrôle (dans la limite des emplacements disponibles sur le couvercle de cuve des réacteurs) et l'adaptation des systèmes de protection et de sauvegarde du réacteur ; au stade actuel des études, EDF retient un taux de « moxage » (part du MOX dans le combustible total) de 30 %, analogue au taux retenu pour les tranches 900 MWe ;
- au plan technique, à l'issue du bilan détaillé des marges de sûreté attendu courant 2019, il restera à définir le produit MOX lui-même (i.e. l'assemblage combustible) et les modalités précises de gestion des tranches 1 300 MWe « moxées », notamment en termes de manœuvrabilité ; il s'agit en particulier de maintenir pour ces tranches des campagnes (durée entre deux arrêts) de 18 mois.

Au bilan, et à ce stade préliminaire des études, EDF considère que, même si l'introduction de combustible MOX sur le palier 1 300 MWe se traduira inévitablement par une consommation de marges de sûreté, l'analyse conclut à ce jour à l'absence de facteur rédhibitoire vis-à-vis de la démonstration de sûreté. Le « moxage » de tranches 1 300 MWe est donc faisable.

#### 4.2.4.2 Nombre de tranches 1 300 MWe à moxer

Concernant le nombre de tranches 1 300 MWe à « moxer », EDF retient aujourd'hui le « moxage » de 6 tranches. Il est difficile et prématuré de conclure de façon définitive aujourd'hui sur ce point.

Pour ce qui concerne la possibilité de maintenir, si nécessaire, le traitement à un niveau proche du niveau actuel de 1 100 tonnes par an jusqu'à l'horizon 2040, ce nombre dépendra, au premier ordre, de la trajectoire d'arrêt des tranches 900 MWe « moxées ». A cet égard, pour une trajectoire d'arrêt du type de celle retenue dans les deux cas étudiés (en moyenne 2 tranches par an à partir de 2029), 6 tranches devraient suffire.

Pour ce qui concerne la continuité du recyclage après 2040, horizon du *revamping* de La Hague, ce nombre dépendra avant tout du calendrier de mise en service des tranches EPR, les tranches 1 300 MWe ne jouant qu'un rôle complémentaire.

A ce stade, on peut dire que le nombre de 6 tranches 1 300 MWe devrait couvrir un grand nombre de scénarios, sans que l'on puisse écarter la nécessité de devoir « moxer » 7, voire 8 tranches. Pour autant, ce nombre n'est pas à fixer maintenant. Dès lors que les actions génériques permettant le « moxage » du palier 1 300 MWe auront été engagées, il sera possible de déterminer le juste besoin le moment venu, lorsque les incertitudes auront été réduites.

Concernant :

- la fabrication des assemblages combustibles, la chaîne de fabrication des assemblages combustibles de l'usine Melox d'ORANO devra être adaptée ;
- il sera également nécessaire d'adapter les emballages de transport du combustible neuf et du combustible usé ;

- le calendrier préliminaire établi par EDF est le suivant :
  - o 2018-2019 : bilan des marges de sûreté ;
  - o 2019-2021 : intégration des résultats de ce bilan dans la constitution du référentiel de sûreté dit RP 4 (réexamen de sûreté à 40 ans des tranches 1 300 MWe) ;
  - o 2022-2023 : analyse de ce référentiel par l'ASN (1,5 ans) ;
  - o 2024-2026 : constitution du dossier de sûreté MOX 1300 (2 à 3 ans) ;
  - o 2027-2028 : analyse par l'ASN ;
  - o 2028 : autorisation pour une tranche « tête de série » ;
  - o 2032 : autorisation de généralisation à tout le palier.

En parallèle, le processus de qualification comprendra :

- la conception des assemblages combustibles ;
- l'adaptation de l'usine Melox ;
- le chargement de précurseurs en réacteur pour irradiation puis les examens post-irradiation ;
- l'agrément des emballages de transport, qui peut s'avérer critique.

La durée totale de ce processus, de l'ordre de 10 ans, est cohérente avec le retour d'expérience de la mise en œuvre de nouvelles gestions du combustible ; il serait utile de chercher à accélérer ce calendrier, mais cela ne permettra pas de gagner beaucoup de temps par rapport à l'objectif affiché par EDF.

Concernant les coûts, EDF les évalue à :

- environ 230 M€ pour les coûts fixes globaux :
  - o 100 M€ pour les études de sûreté ;
  - o 60 M€ pour l'adaptation de l'usine Melox ;
  - o 70 M€ pour les emballages de transport ;
- et environ 30 M€ par tranche pour le coût des modifications,

soit, avec une marge de sécurité de 30 % compte tenu du caractère très préliminaire des études, un coût total de l'ordre de 500 M€ pour 6 tranches « moxées ».

#### **4.2.5 Le « moxage » des tranches EPR et l'arrêt des tranches 1 300 MWe « moxées »**

Le modèle EPR a été conçu dès l'origine pour pouvoir utiliser du combustible MOX. Le décret d'autorisation de création de FLA3 autorise d'ailleurs cette option, qu'EDF n'a pas étudiée plus avant en l'absence de nécessité industrielle pour une centrale isolée.

Le modèle EPR 2 est lui aussi conçu pour utiliser du combustible MOX. Le schéma d'utilisation actuellement retenu consiste à introduire le combustible MOX à hauteur de 30 % pour des cycles de 16 à 18 mois. L'introduction du MOX dès le premier cycle semble exclue ou à tout le moins particulièrement délicate du fait de la fabrication, pour le combustible MOX comme pour le combustible à l'uranium enrichi, d'assemblages combustibles particuliers. Une introduction au cycle 2 ou, dans une moindre mesure, au cycle 3 continuerait

à consommer des marges de fonctionnement et de sûreté. Le « moxage » n'est donc prévu qu'après atteinte d'un cycle dit « à l'équilibre », c'est-à-dire du 4<sup>ème</sup> ou du 5<sup>ème</sup> cycle (soit 5 à 6 ans au moins après le démarrage).

A l'horizon de l'arrêt des tranches de 1 300 MWe, et au-delà de courtes durées transitoires, la pérennité du traitement-recyclage nécessite son maintien à un niveau supérieur à 600 tonnes par an, soit 65 tonnes par an de combustible MOX, ce qui implique :

- d'une part, en aval du recyclage, de garantir la permanence de tranches « moxées » à hauteur d'un niveau minimal d'environ 10 GWe, c'est-à-dire de garantir qu'au moins 6 tranches EPR « moxables » prendront le relais en temps utile ;
- et d'autre part, en amont du recyclage, de garantir une trajectoire de puissance nucléaire ne descendant pas en dessous de 35 GWe.

Dans la pratique, ces deux contraintes aboutissent à des conclusions très proches quant au calendrier et au rythme de constructions nécessaires à la continuité du recyclage. Au premier ordre, elles imposent que :

- 6 ans avant l'arrêt de la dernière tranche 1 300 MWe, au moins 6 tranches EPR aient déjà été mises en service ;
- à l'horizon de l'arrêt des dernières tranches 1 300 MWe, environ 27 GWe de centrales EPR soient en service (de l'ordre de 15 tranches EPR).

Sauf à prolonger au-delà de 60 ans la durée de fonctionnement des tranches de 1 300 MWe, et compte tenu du rythme forcément limité de construction des premières tranches EPR (une paire tous les 4 ans), ce calendrier implique que la mise en service des premières tranches EPR commence nettement avant 2040.

La figure 2 présente l'évolution du niveau de traitement vis-à-vis de ces contraintes, dans le cas d'une « continuité » et dans le cas d'un « arrêt long ». Dans ces deux cas, la fermeture des tranches 1 300 MWe « moxées » a lieu entre 2050 et 2055 (60 ans). C'est donc au plus tard dans cette période que doit se faire le transfert du combustible MOX vers les centrales EPR : les 6 premières tranches EPR doivent donc avoir été mises en service avant 2048.

Dans le cas d'une **continuité**, la pérennité du recyclage serait assurée, grâce à la mise en service de 6 EPR entre 2033 et 2043, « moxables » entre 2039 et 2049, largement avant l'arrêt des dernières tranches 1 300 MWe. Le niveau de traitement ne descendrait jamais en dessous de 600 tonnes par an.

Dans le cas d'un **arrêt long**, la mise en service tardive des EPR (2043 pour la première tranche) conduirait, malgré le « moxage » de tranches 1 300 MWe, à un arrêt du traitement-recyclage à l'horizon post-2040.

Dans le cas d'un « arrêt long », il faudrait, pour assurer la continuité du recyclage, que les centrales EPR soient construites, dès la première, au rythme de 1,5 centrales par an (une centrale tous les 8 mois) pendant 10 ans. Après une période d'interruption des constructions de plus de 10 ans, un tel rythme est parfaitement irréaliste.

**Au total, concernant les capacités de traitement-recyclage, on peut donc retenir que leur maintien dépend de deux facteurs :**

- le « moxage » d'un certain nombre de tranches 1 300 MWe. Sa faisabilité a été confirmée par EDF, qui, avec ORANO, a engagé les études et modifications qui

permettront le « moxage » d'une tranche « tête de série » en 2028 et sa généralisation à partir de 2032. Dans un grand nombre de situations, le « moxage » de 6 tranches devrait suffire. Son coût a été évalué par EDF à environ 500 M€ ;

- la mise en service des premiers EPR nettement avant 2040. Sauf à miser dès aujourd'hui sur une prolongation au-delà de 60 ans des tranches 1 300 MWe, le report à 2040 de la mise en service des EPR mettrait très sérieusement en risque les capacités industrielles de traitement-recyclage, de façon incompatible avec la poursuite d'activité de La Hague.

#### 4.2.6 Les projets à l'export

[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Le cas de l'arrêt long, conduisant à l'abandon du cycle fermé à terme, ne pourrait donc que dissuader les partenaires de miser sur la technologie française de traitement-recyclage.

## **5 Un réengagement de l'Etat dans la politique nucléaire et une meilleure structuration de la filière**

### **5.1 Renforcer le rôle de l'Etat et redonner au politique le pilotage de la politique nucléaire de la France**

Le lancement d'un nouveau programme nucléaire appelle un renforcement du rôle de l'Etat. D'expérience, une organisation sectorielle efficace nécessite la désignation d'un responsable gouvernemental, par exemple un secrétaire d'Etat auprès du Premier ministre, disposant d'un service dédié et responsable de la politique nucléaire au sein du gouvernement. Il serait responsable de la préparation des dossiers du Conseil de Politique Nucléaire et en assurerait le secrétariat.

Dans ce cadre, il serait notamment responsable :

- de l'alignement sur la politique nucléaire du gouvernement de tous les acteurs, au sein de l'Etat et au sein de la filière industrielle ;
- de la coordination de tous ces acteurs ;
- du contrôle de l'exécution des constructions neuves, en s'appuyant sur une équipe chargée d'objectiver les coûts et les délais pour une meilleure maîtrise de ceux-ci ;
- de la supervision des acteurs industriels dont l'Etat est actionnaire ;
- de la conduite des réflexions stratégiques avec les grands maîtres d'œuvre sur l'avenir de la filière nucléaire française, notamment en matière de gouvernance et d'organisation industrielle de la filière, de préparation de l'avenir, de recherche et développement, de maintien des compétences, de formation, de politique achats, de digitalisation ;
- de la politique industrielle et commerciale à l'exportation, en veillant à toutes les dimensions (géostratégiques, politique internationale, non-prolifération...) ;
- de la mise en œuvre de la politique industrielle nucléaire, ainsi que de la surveillance des industriels critiques, en veillant à disposer des moyens d'intervention nécessaires et à leur mise en œuvre le cas échéant pour maintenir les compétences et les outils industriels clés pour les besoins civils et de défense de la France.

La décroissance à venir du nucléaire civil en France requiert de renforcer les mesures de suivi, d'accompagnement et de protection des fournisseurs critiques :

- en unifiant la surveillance de la chaîne d'approvisionnement entre les divers maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre de la filière industrielle ;
- en effectuant une analyse commune de la sensibilité de ces fournisseurs critiques à une décroissance plus ou moins forte des besoins issus du domaine nucléaire civil ;
- en partageant l'analyse des risques et des enjeux ;

- en recherchant des synergies entre les moyens d'action des divers maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre, tels que contrats de pérennisation, politique d'achat dédiée, intervention en capital ou ingénierie financière ;
- en renforçant les moyens d'interventions étatiques, ainsi que leur réactivité et leur rapidité, pour préserver les entreprises les plus critiques, et notamment les capacités de réponse aux investissements étrangers en France (IEF).

[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

Les problématiques associées à ces différents fournisseurs peuvent être différentes : situation de monopole ou quasi-monopole sur une technologie ou un matériel, fragilité de l'entreprise, enjeux techniques forts sur un spectre large de compétences. La plupart d'entre eux sont très sensibles au lancement d'un nouveau programme nucléaire en France, tant pour le maintien de leur présence dans ce domaine que pour leur équilibre économique.

Le tableau suivant distingue les principales instances politiques des instances techniques et administratives et précise, pour chacune d'elles, l'année de leur création :

<b>Instances politiques</b>	Conseil de politique nucléaire	PR (décret 2008-378)	
	Comité export nucléaire (CEN)	PM (pas de décret) – décision CPN du 28 septembre 2012	Export
	Comité à l'énergie atomique	PM – décrets 1970-878 et 1972-1158 (défense)- décret 2016-311 (civil)	R&D et programme/projet CEA
<b>Instances techniques et administratives</b>	Secrétariat interministériel du nucléaire à l'international (SINI)	MTEs – suite CPN du 12 février 2010 – Lettres de mission PM en 2013 puis en 2017.	Export
	Comité stratégique de filière nucléaire (CSFN)	MINEFI/MTEs – CPN du 21 février 2011	Industrie
	Commission interministérielle des biens à double usage (CIBDU)	MEAE – décret 2010-294	Contrôle export
	Conseil d'administration du CEA	Ministères de tutelle (défense, énergie, recherche et industrie) 1983	R&D et programme/projet CEA



**RECOMMANDATION :** Renforcer le rôle de l'État et redonner au politique le pilotage de la politique nucléaire de la France, en nommant auprès du Premier ministre un secrétaire d'État chargé de préparer et de mettre en œuvre la politique nucléaire de la France, avec une dimension sectorielle globale (stratégie, coopération et exportation, politique industrielle de la filière, recherche-technologie-développement et constructions...).

## **5.2 Aligner les acteurs industriels structurant la filière**

La concurrence internationale est vive et de nouveaux acteurs émergent. La filière nucléaire devrait être fortement incitée à renforcer son organisation et sa gouvernance, et à se structurer sur les plans scientifique, technologique et industriel, sur le modèle du GIFAS pour l'aéronautique.

Il s'agit de commencer par l'alignement d'EDF, FRAMATOME, ORANO et le CEA dans une coopération industrielle et technologique, une complémentarité des rôles, et une solidarité renforcées. Leur alignement et leur coordination devraient se faire sur la politique nucléaire de la France, et dans le cadre d'une gouvernance étatique renforcée (cf. § 5.1 ci-dessus).

Il est indispensable d'améliorer les performances de la filière :

- améliorer les performances des ingénieries, en simplifiant les organisations, en rassemblant les acteurs au sein d'une même plateforme digitale (mêmes méthodes, outils, maquettes, planning, spécifications et standards etc...), et en intégrant les équipes sur des plateaux projet ;
- améliorer l'organisation industrielle et contractuelle au sein de la chaîne d'approvisionnement, en intégrant les fournisseurs dans le projet dès le début, en alignant les intérêts des participants, en nouant de véritables relations partenariales incitant à la performance, et en favorisant la réalisation des projets selon des logiques toujours plus intégrées, efficaces, transparentes et solidaires ;
- pratiquer une politique industrielle et une politique des achats qui veillent au maintien des compétences durement réacquises sur FLA3, et qui permettent de bénéficier pleinement de l'effet de série dans la durée ;
- renforcer la coopération en matière de recherche, de technologie et de développement ; en particulier, intégrer davantage les programmes de R&D et les équipes de recherche en approfondissant le rôle de l'Institut entre EDF, FRAMATOME, ORANO et le CEA.

**RECOMMANDATION :** Structurer la filière scientifique, technologique et industrielle nucléaire, de façon à aligner les différents acteurs industriels et étatiques sur les objectifs de la politique définie par le gouvernement.

**RECOMMANDATION :** Améliorer la performance des ingénieries nucléaires, leurs méthodes et leurs organisations, et responsabiliser pleinement EDVANCE sur l'îlot nucléaire ; mettre en œuvre de manière vigoureuse le programme de dérisquage d'EPR 2 ; pratiquer une politique d'achat permettant réellement de pérenniser les compétences et fournisseurs critiques et de capitaliser les expériences durement acquises.



Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

LE MINISTRE D'ÉTAT,  
MINISTRE DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

LE MINISTRE DE L'ÉCONOMIE  
ET DES FINANCES

**Le Ministre d'État, Ministre de la  
Transition Écologique et Solidaire**

**Le Ministre de l'Économie et des  
Finances**

à

Monsieur Laurent Collet-Billon

Monsieur Yannick d'Escatha

**Objet : Mission concernant le maintien des capacités industrielles de la filière nucléaire en vue de potentielles nouvelles constructions de réacteurs**

Messieurs,

Le Conseil des Ministres du 7 novembre 2017 a rappelé l'attachement du Gouvernement à la diversification du mix électrique, qui se traduit par une forte croissance des énergies renouvelables devant permettre, sans ajout de capacités thermiques supplémentaires, une baisse à 50 % de la part du nucléaire dans la production d'électricité à un horizon qui reste à déterminer.

Le Président de la République a en conséquence demandé au Gouvernement d'établir une nouvelle trajectoire ambitieuse d'évolution de notre mix électrique qui permette d'atteindre les objectifs fixés par la loi de transition énergétique. **A ce titre, le Conseil des Ministres a précisé que la définition d'une trajectoire réaliste d'évolution du mix électrique « intégrera le développement et le renforcement des filières industrielles, ainsi que les enjeux de transformation des métiers et des compétences ».**

La filière nucléaire constitue la troisième filière industrielle française après l'aéronautique et l'automobile. Elle concentre près de 2 600 entreprises, pour la plupart exportatrices, et emploie près de 220 000 salariés.

L'industrie nucléaire fait appel à des compétences industrielles très diverses : ingénierie des réacteurs électronucléaires et des activités du cycle du combustible, fabrication de

---

composants et montages électromécaniques pour les réacteurs, gestion de grands chantiers de génie civil, etc. Certaines compétences, de haute valeur ajoutée, sont spécifiques à l'industrie nucléaire et maîtrisées par un nombre réduit d'acteurs.

**La question de la pérennité et de la performance des activités, des compétences et des emplois indispensables à la filière nucléaire, notamment pour être en mesure de réussir les éventuelles futures constructions, doit être prise en compte dans les scénarios d'évolution du parc nucléaire français.**

La Direction générale des entreprises a déjà réalisé une première étude sur les capacités industrielles et technologiques de la filière, qui conditionnent sa capacité à construire de façon indépendante des réacteurs nucléaires.

Il apparaît nécessaire de la consolider afin d'analyser et de quantifier :

- les capacités industrielles et les compétences critiques pour le parc en exploitation et d'éventuelles nouvelles constructions ;
- les conditions permettant de renforcer la performance industrielle de la filière nucléaire ;
- les contraintes pesant sur ces capacités et ces compétences en fonction des éventuelles décisions qui seront prises dans les prochaines années ;
- les possibilités d'entretenir ces capacités et ces compétences à l'aide de contrats à l'export, de la maintenance du parc en exploitation ou d'éventuelles autres activités à préciser ;
- l'existence de compétences comparables dans d'autres secteurs (satisfaisant aux exigences propres à l'industrie nucléaire, notamment en termes d'exigences de sûreté), leurs dynamiques de développement et les passerelles existantes ou à construire entre secteurs.

En complément de cette analyse, il convient d'évaluer plus généralement les impacts d'éventuelles périodes d'inactivité à l'échelle de la filière et les conditions dans lesquelles les capacités industrielles requises pour la construction de réacteurs pourraient être remobilisées après une période d'inactivité prolongée.

Dans ce cadre, il apparaît nécessaire d'analyser et de quantifier :

- l'évolution prévisionnelle du niveau d'activité des différents segments de la filière en fonction du rythme d'achèvement des projets en cours (Flamanville 3, Hinkley Point C, ...);
- les conséquences sur les compétences et l'outil industriel des entreprises de la filière pour leurs activités civiles, sans oublier leurs activités liées à la défense, d'une décroissance du niveau d'activité, voire d'une période d'inactivité prolongée, notamment en termes de pertes de savoir-faire, de départ des salariés concernés, de compétitivité et de productivité ;
- le coût de remobilisation ou de reconstitution, le cas échéant, des compétences et de l'outil industriel qui seraient requises pour la construction de nouveaux réacteurs ; cette évaluation portera notamment sur le différentiel de coûts, de délais et de performance qui résulterait d'éventuels *stop and go*.

---

Nous souhaitons vous confier la mission de répondre à ces interrogations. Vos conclusions, que vous rendrez sous 3 mois, devront notamment inclure une description et une cartographie des capacités industrielles et des compétences essentielles pour le parc en exploitation et d'éventuelles nouvelles constructions. Pour chacune d'entre elles, une analyse de risque devra être conduite afin de détailler les contraintes existantes. Des propositions pourront être faites pour maintenir la compétence et l'outil industriel selon différents scénarios d'évolution de parc. Vos conclusions incluront également une analyse des conséquences sur la filière d'une décroissance de l'activité relative à la construction de réacteurs, ainsi qu'une évaluation du coût et des délais de remobilisation et de reconstitution des compétences et de l'outil industriel.

Monsieur Collet-Billon examinera plus particulièrement les activités civiles et Monsieur d'Escatha les activités liées à la défense.

Vous pourrez vous appuyer sur les services du Ministère de la Transition Ecologique et du Ministère de l'Économie et des Finances, en particulier la Direction Générale de l'Énergie et du Climat et la Direction Générale des Entreprises.

Sachant pouvoir compter sur votre mobilisation et votre volonté d'apporter votre aide au Gouvernement dans son évaluation de ces enjeux critiques pour la filière nucléaire, nous vous prions de bien vouloir agréer, messieurs, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

*Nicolas Hulot*

Nicolas HULOT

*Bruno Le Maire*

Bruno LE MAIRE

## Personnalités auditionnées

### Sociétés

#### ELECTRICITE DE FRANCE

Monsieur Jean-Bernard LEVY, président-directeur général.

Monsieur Cédric LEWANDOWSKI, directeur exécutif groupe en charge de la direction innovation, stratégie et programmation.

Monsieur Dominique MINIERE, directeur exécutif groupe en charge de la direction du parc nucléaire et thermique.

Monsieur Xavier URSAT, directeur exécutif groupe en charge de la direction ingénierie et projets nouveau nucléaire.

Monsieur Anne-François de SAINT-SALVY, directeur politique industrielle nucléaire.

Monsieur Laurent THIEFFRY, directeur du projet Flamanville 3.

Monsieur Loïc WAS, pilote d'activités techniques.

Monsieur Bernard SALHA, directeur R&D.

Madame Valérie DEROUET-MAZOYER, coordinateur comité stratégique filière nucléaire et enjeux de sécurité nucléaire à l'international

#### EDVANCE

Monsieur Thierry SCHALL, président d'EDVANCE.

Monsieur Dominique LANCHET, directeur général d'EDVANCE.

#### FRAMATOME

Monsieur Bernard FONTANA, président.

Monsieur Alexis MARINCIC, directeur technique.

Monsieur Jean-Bernard VILLE, *senior executive vice president*.

Monsieur David EMOND, *senior executive vice president*.

#### ORANO

Monsieur Philippe VARIN, président.

Monsieur Philippe KNOCHE, directeur général.

Monsieur Loïc PALOMAR, chargé de mission.

#### Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

Monsieur Daniel VERWAERDE, administrateur général.

Monsieur Yves BRÉCHET, haut-commissaire à l'énergie atomique

Monsieur Philippe CORREA, directeur de l'institut national des sciences et techniques nucléaires.

TECHNICATOME

Monsieur Loïc ROCARD, président-directeur général de la stratégie.

Monsieur Bernard GAUDUCHEAU, chef du service d'études physiques et de sûreté

Monsieur Benoît DESFORGES, *small modular reactors*, directeur de la stratégie.

Monsieur Michel BRUN, *small modular reactors*, architecte ouvrage

RESEAU DE TRANSPORT D'ELECTRICITE

Monsieur François BROTTE, président du directoire.

Monsieur Olivier GRABETTE, directeur général adjoint, prospective, expertise et solutions.

Monsieur Thomas VEYRENC, directeur marchés et régulations.

Monsieur Jean-Paul ROUBIN, directeur de l'exploitation.

VELAN et SEGAULT

Monsieur Frédéric SEGAULT, président de VELAN et président-directeur général de SEGAULT.

ASSYSTEM

Monsieur Christian JEANNEAU, vice-président senior en charge des activités nucléaires dans le monde.

GENERAL ELECTRIC POWER

Monsieur Frédéric WISCART, *general manager*.

Monsieur Hugh BAILEY, *government affairs director*.

BOUYGUES

Monsieur Philippe AMEQUIN, directeur général de BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS.

PONTICELLI FRERES

Monsieur Patrick LACQUEMENT, président.

FIVES NORDON

Monsieur Alain GUY, directeur général.

MESSIER & MARIS ASSOCIES

Monsieur François ROUSSELY, associé.

BOCCARD

Monsieur Bruno BOCCARD, président-directeur général.

Monsieur Jean-Pierre LERAISTRE, *business development manager*.

ENDEL ENGIE

Monsieur Emeric BURIN des ROZIERS, directeur général.

**Administrations de l'Etat**

Présidence de la République

Monsieur Antoine PELLION, conseiller énergie, environnement, transport.

Premier ministre

Monsieur Thibaud NORMAND, conseiller technique énergie.

Ministère de la transition écologique et solidaire

Madame Michèle PAPPALARDO, directrice du cabinet.

Monsieur Xavier PLOQUIN, conseiller énergie, industrie et innovation.

Monsieur Laurent MICHEL, directeur général de l'énergie et du climat.

Madame Virginie SCHWARTZ, DGEC, directrice de l'énergie.

Monsieur Aurélien LOUIS, DGEC/DE, sous-directeur de l'industrie nucléaire.

Monsieur Rémy MENSIRE, DGEC/DE/SDIN.

Ministère de l'Europe et des affaires étrangères

Ambassadeur de France Maurice GOURDAULT-MONTAGNE, secrétaire général.

Monsieur Yves KALUZNY, direction générale de la mondialisation, de la culture, de l'enseignement et du développement international, direction des entreprises, de l'économie internationale et de la promotion du tourisme, mission du soutien aux secteurs stratégiques, pôle énergies.

Ministère de l'économie et des finances

Madame Delphine GENY-STEPHANN, secrétaire d'Etat auprès du ministre de l'économie et des finances.

Monsieur Aloïs KIRCHNER, conseiller industrie.

Monsieur Martin VIAL, agence des participations de l'Etat, commissaire aux participations de l'Etat et directeur général.

Monsieur Bruno VINCENT, APE, directeur de participations Energie.

Monsieur Pascal FAURE, directeur général des entreprises.

Monsieur Julien TOGNOLA, DGE, chef du service de l'industrie.

Autorité de sûreté nucléaire

Monsieur Pierre-Franck CHEVET, président.

Monsieur Olivier GUPTA, directeur général.

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

Monsieur Jean-Christophe NIEL, directeur général.

Monsieur Thierry CHARLES, directeur général adjoint chargé de la sûreté nucléaire.

Commission de régulation de l'énergie

Monsieur le Préfet François CARENCO, président.

Monsieur Brice BOHUON, directeur général des services.

Monsieur Christophe LEININGER, directeur adjoint du développement des marchés.

Syndicats

CONFEDERATION FRANÇAISE DEMOCRATIQUE DU TRAVAIL

Madame Marylise LEON, secrétaire nationale.

Monsieur Dominique BOUSQUENAUD, secrétaire générale Fédération Chimie Energie.

Monsieur Sébastien LAMBERT, secrétaire général adjoint de l'UNION FEDERALE DES SYNDICATS DU NUCLEAIRE.

Monsieur Augustin BOUGUIGNAT, secrétaire confédéral.

CONFEDERATION FRANÇAISE DE L'ENCADREMENT – CONFEDERATION GENERALE DES CADRES

Monsieur Alexandre GRILLAT, secrétaire national développement durable, logement, RSE.

Monsieur Pascal JACQUELIN.

CONFEDERATION GENERALE DU TRAVAIL

Madame Marie-Claire CAILLETAUD, secrétaire fédérale.

Monsieur Bernard DEVERT.

Madame Virginie NEUMAYER, secrétaire du site Tricastin.

FORCE OUVRIERE

Monsieur Jacky CHORIN, membre du conseil d'administration d'EDF.

Monsieur Cédric NOYER, délégué syndical central chez ORANO.



**Destinataires**

Ministère de la transition écologique et solidaire

Monsieur Nicolas HULOT, Ministre d'Etat, Ministre de la transition écologique et solidaire.

Ministère de l'économie et des finances

Monsieur Bruno LE MAIRE, Ministre de l'économie et des finances.

**Copies**

Présidence de la République

Monsieur Alexis KOHLER, secrétaire général.

Monsieur Alexis ZAJDENWEBER, conseiller économie, finances, industrie.

Monsieur Antoine PELLION, conseiller énergie, environnement, transports.

Premier ministre

Monsieur Benoît RIBADEAU-DUMAS, directeur du cabinet.

Monsieur Thibaud NORMAND, conseiller technique énergie.

Ministère de la transition écologique et solidaire

Madame Michèle PAPPALARDO, directrice du cabinet.

Ministère de l'économie et des finances

Monsieur Emmanuel MOULIN, directeur du cabinet.

Obtenu par CONTEXTE

Obtenu par CONTEXTE

Obtenu par CONTEXTE