

# Rapport de l'Inspecteur Général pour la Sûreté Nucléaire et la Radioprotection

# 2023





# AVANT-PROPOS



L'industrie nucléaire repose sur le principe de la responsabilité première de l'exploitant en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection. La politique sûreté du Groupe EDF en fait légitimement une priorité absolue.

Ce rapport, destiné au président d'EDF, présente mon appréciation de l'état de la sûreté et de la radioprotection dans le Groupe en 2023.

Dans l'esprit de progrès et de transparence de ma lettre de mission, il s'attache à mettre l'accent sur les signaux faibles et précurseurs qui pourraient pénaliser la sûreté et doit susciter la réflexion. Il suggère des pistes d'amélioration pour l'ensemble de l'entreprise, ses filiales ainsi que les prestataires. Les recommandations sont validées et suivies en conseil de sûreté nucléaire (CSN).

La situation financière du Groupe, la réforme du marché de gros européen, la disponibilité du parc nucléaire d'EDF soumis à un programme industriel dense avec le traitement de la corrosion sous contrainte et les visites décennales ont cette année encore, placé le système sous tension. Et si nous ne pouvons que nous réjouir, en France comme au Royaume-Uni, que le nucléaire retrouve grâce aux yeux de la majorité de nos concitoyens et que son avenir s'éclaire, il nous faut collectivement être conscients que cela nous oblige plus encore à l'exemplarité et à la rigueur.

La conception, les matériels et les procédures sont des éléments déterminants mais c'est surtout par l'organisation et plus encore par le fonctionnement de l'ensemble humain que se crée, ou non, la performance en sûreté nucléaire et en production d'énergie électrique. La réorganisation du Groupe doit assurer une maîtrise de la sûreté à la conception, propre à fiabiliser et faciliter l'exploitation plutôt qu'à la contraindre.

Ce rapport est le fruit d'un travail collectif avec Bertrand de L'Épinois, Jean-Baptiste Dutto, Paul Wolfenden et Bertrand Vauchy. Dans ma volonté de « faire Groupe », Framatome ne fait plus l'objet d'un traitement différencié dans un chapitre spécifique et mon programme d'inspection de sites et d'échanges techniques est maintenu, notamment avec son inspecteur général.

La qualité et la pertinence de nos propos reposent sur la richesse des échanges avec le personnel rencontré, en France et au Royaume-Uni. Les entretiens avec les responsables du dialogue social, des commissions locales d'information, du corps médical et des instances indépendantes de sûreté ont aussi été d'un grand apport.

Exceptionnellement, nous dédions respectueusement ce rapport à Jean Bergougnot, François Roussely et Marcel Boiteux, décédés cette année, qui auront marqué l'histoire de la « Maison ». Marcel Boiteux aura donné ses lettres de noblesse au Groupe, en étant à la fois l'architecte majeur de notre indépendance énergétique, grâce au choix du REP pour le parc électronucléaire français, et un visionnaire de l'alliance entre compétitivité et sobriété : « *de plus en plus d'usages de l'électricité, de moins en moins d'électricité par usage* ».

Ce document est mis à la disposition du public, en français et en anglais, sur les sites [www.ignsr.com](http://www.ignsr.com) et [www.edf.fr](http://www.edf.fr).



**L'inspecteur général pour la sûreté nucléaire  
et la radioprotection du Groupe EDF**

**Amiral (2S) Jean Casabianca  
Paris, le 23 janvier 2024**



# Sommaire

1	Rétrospective et perspectives	6
2	Aux sources de la sûreté : exigence et leadership	14
3	Sécurité et radioprotection : ce sont les comportements qui comptent	22
4	Du pragmatisme au service de l'EPR2	28
5	Grand Carénage, un programme très chargé	34
6	Les réacteurs s'adaptent au changement climatique	42
7	Combustible et réactivité : le cœur de la sûreté	48
8	Compétences, sommes-nous assez exigeants ?	54
9	Mutations du système électrique : anticiper et ne pas subir	60
	Annexes	68



Gravelines, plus grande centrale nucléaire d'Europe de l'ouest

**Un nouvel élan à l'international et un regain d'intérêt pour les énergies pilotables et décarbonées marquent la fin de « l'hiver du nucléaire ». Sans la contribution de l'atome, il sera difficile de se passer des énergies fossiles et de limiter le réchauffement climatique.**

**Dans une Europe dynamisée par une nouvelle Alliance, mais freinée par l'*Energiewende*, la France et le Royaume-Uni ambitionnent de développer un mix énergétique équilibré et porté par le Groupe EDF.**

**Les réformes visent à améliorer la performance de nos systèmes de production nucléaire, elles doivent préserver la sûreté. La simplification attendue par tous impose à chacun exigence et rigueur dans ses comportements.**

# Rétrospective et perspectives

01

## LE NUCLÉAIRE, ÉNERGIE DU FUTUR : UNE HISTOIRE TÊTUE

L'actualité nucléaire est riche tant sur la scène internationale qu'euro-péenne et domestique. Elle confirme le retour en grâce d'une énergie décarbonée dans les politiques énergétiques des pays industrialisés et en développement.

Cette répétition de l'Histoire, ce revirement dans un contexte nouveau de lutte contre le réchauffement climatique, n'est pas sans rappeler le discours *Atoms for Peace* du président Eisenhower aux Nations Unies, voilà 70 ans. Promouvant une désescalade de l'armement nucléaire dans un monde bipolaire, il proposait la création d'une agence internationale pour l'énergie atomique (l'AIEA verra le jour quatre ans plus tard), destinée à développer le nucléaire civil à des fins pacifiques.

Confrontés au dérèglement climatique (*cf. chapitre 6*), à la crise énergétique, au besoin d'énergie indispensable au développement, les pays devront miser sur un mix pilotable et décarboné. Dans ce cadre, le nucléaire, associé à une part d'énergies renouvelables, est une solution, voire la solution concluent les grands organismes tels l'Agence internationale de l'énergie (AIE), l'AIEA, le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Selon le rapport de l'AIE *A new dawn for nuclear*, « l'énergie nucléaire joue un rôle important dans une voie mondiale sûre vers le zéro carbone ; elle doublera en 2050 dans le Net Zero Emission ». Et lors de la COP28, 22 pays représentant plus de 40% du PIB mondial ont signé l'engagement de tripler la production d'énergie nucléaire en 2050 et d'assurer l'accès à l'énergie pour tous. La Chine, l'Inde et la Russie ne comptent pas parmi les signataires. La déclaration finale de la COP28 cite pour la première fois l'énergie nucléaire et invite à une « transition hors des énergies fossiles, d'une manière juste, ordonnée et équitable de façon à atteindre la neutralité carbone vers 2050, comme préconisé par la science », malgré la pression mise par les 13 pays membres de l'OPEP craignant « de mettre en danger la prospérité et l'avenir de leurs peuples ».

La Chine, plus soucieuse de développement que de décarbonation, déploie son plan nucléaire à un rythme toujours très soutenu : 57 GWe sont désormais fournis par 54 unités en service et 26 unités en construction devraient en rajouter 29 GWe. En passe de devenir le 1<sup>er</sup> exploitant nucléaire mondial, elle profite de ses vastes étendues désertes, que n'ont pas les pays contraints par les surfaces arables, les espaces urbanisés ou les espaces naturels, pour développer projets solaires, éoliens et hydroélectriques. Pharaoniques, certains sont générateurs de tensions frontalières avec le rival indien.

## Préserver la sûreté nucléaire des tensions diplomatiques et des rivalités économiques

Au sortir de la 2<sup>nd</sup>e Guerre mondiale, le nucléaire est considéré comme l'énergie du futur. L'AIEA assume six missions dont celle d'établir des normes de sûreté nucléaire. Après l'accident de Tchernobyl en 1986, les exploitants nucléaires du monde entier reconnaissent qu'ils doivent travailler ensemble afin d'améliorer la sûreté et fondent l'association mondiale des exploitants nucléaires (WANO, *World Association of Nuclear Operators*).

Qui aurait pu imaginer, trente ans après la chute du mur de Berlin, qu'un conflit aux frontières de l'Europe pourrait, en plus du spectre de l'arme nucléaire, mettre en cause la sûreté nucléaire comme instrument de rivalité ? Ainsi, en 2022, la centrale de Zaporijia a été l'objet du premier chantage à la sûreté nucléaire, avec des bombardements pouvant porter atteinte au confinement et aux sources électriques indépendantes. En 2023, c'est au tour de sa source froide d'être menacée après la destruction du barrage de Kakhovka sur le Dniepr. En cas de perte totale de débit du fleuve, l'évacuation de la faible puissance résiduelle des six réacteurs à l'arrêt depuis plusieurs mois restait assurée par des bassins de secours et d'ultime secours. Les inspecteurs de l'AIEA ont pu s'assurer de manière indépendante « qu'il n'y avait pas de risque immédiat pour la sûreté nucléaire ». Quels qu'en soient les auteurs, cette agression doit conduire la communauté internationale à réfléchir sur les principes d'intangibilité de la sûreté nucléaire en cas de conflit, fondés sur « les sept piliers » jugés indispensables par l'AIEA.

Il est donc fondamental de s'assurer que les accords internationaux et les partenariats construits pendant la guerre froide en matière de sûreté survivront aux évolutions politiques, diplomatiques et aux règles américaines du contrôle d'exportation. Nouveau compétiteur majeur, la Chine promeut le nucléaire pour ses investissements à l'international sur ses nouvelles routes de la soie avec des projets de construction notamment en Arabie saoudite, voire en Turquie. Après la réouverture du pays en début d'année, elle revêt l'habit de leader et anime de nombreux forums sous l'égide de l'AIEA : SMR (*Small Modular Reactor*), retraitement des combustibles usés, etc.

Tous les exploitants doivent donc conserver entre eux des relations étroites et des échanges confiants. En marginaliser ou en ostraciser certains est un risque pour la sûreté nucléaire, donc pour l'ensemble de la communauté internationale. Si l'énergie nucléaire a désormais la

faveur d'un grand nombre de pays, ceux-ci doivent bâtir une doctrine donnant la priorité absolue à la sûreté dans le respect des normes internationales et sous le contrôle d'organismes indépendants. Le modèle français peut servir légitimement de référence, sauf à le complexifier à l'excès alors que d'autres grands exploitants ont engagé des démarches de simplification de leurs référentiels.



Visite terrain en salle des machines à Penly

### Euratom, des réalisations en deçà des ambitions

Pour poursuivre cette rétrospective du nucléaire, les pays européens des Trente Glorieuses étaient préoccupés par leur approvisionnement en énergie. Dans les années 50, la Communauté européenne (Allemagne, Belgique, France, Italie, Luxembourg et Pays-Bas) lance deux projets, la CECA pour le charbon et l'acier puis la CEEA (ou Euratom). Elle pressent que « l'énergie nucléaire constitue la ressource essentielle qui assurera le développement et le renouvellement des productions et permettra le progrès des œuvres de paix ».

Nous avons manifestement la mémoire courte, ou sélective. Malgré la crise de Suez en 1956 et surtout après deux chocs pétroliers (guerre du Kippour de 1973, révolution islamique de 1979 en Iran), les idéologies sont plus puissantes que les faits. Le débat phobique autour de la sortie du nucléaire conduit à substituer à l'hégémonie de l'or noir, soit l'exploitation des deux autres combustibles fossiles, charbon

et gaz naturel (à eux trois, ils fournissent environ 80 % de l'énergie mondiale), soit le mirage des ENR (énergies nouvelles renouvelables) qui ne peuvent pas satisfaire à elles seules, en l'absence de solution de stockage, des besoins énergétiques croissants.

Les ambitions du traité Euratom, toujours en vigueur, auront été vaincues par les réticences de certains États fondateurs, la faiblesse des moyens mis en œuvre et des blocages institutionnels. L'adversaire majeur du nucléaire en Europe reste une Allemagne visionnaire qui a préféré, pour des raisons idéologiques et économiques, une totale dépendance au gaz russe bon marché et qui est désormais contrainte à l'exploitation du lignite comme palliatif de l'inconstance éolienne et de la fugacité solaire... malgré des investissements colossaux. Les Allemands se trouvent confrontés à un triple constat : un scénario économique des plus sombres, un statut d'importateur net d'électricité (un tiers provient du nucléaire, en grande partie français) et une place de plus gros émetteur de CO<sub>2</sub> de l'Union européenne (en hausse de 8 % en 2022).

### Une nouvelle Alliance, relance d'Euratom

La France n'a pas davantage de pétrole ou de gaz qu'en 1974, mais elle continue d'avoir des idées ! Ainsi a-t-elle pris l'initiative de l'Alliance du nucléaire. Celle-ci a rassemblé à Paris, en mai 2023, quatorze pays partisans de l'énergie nucléaire (Belgique, Bulgarie, Croatie, Estonie, Finlande, France, Hongrie, Pays-Bas, Pologne, Roumanie, Slovaquie, Slovaquie, Suède et Tchéquie) avec l'Italie comme observateur et le Royaume-Uni en invité. Ce front uni promeut une véritable relance du nucléaire en Europe. L'Alliance appelle au respect du principe de neutralité technologique et à l'intégration de l'atome dans les mécanismes de financement des énergies décarbonées alors que plusieurs pays, dont l'Allemagne, l'Autriche et le Luxembourg, cherchent à l'en exclure.

Si la sûreté nucléaire n'a pas de prix, elle a un coût. Une mise en commun, au niveau européen, permet des économies d'échelle dans ce secteur qui nécessite de gros investissements. L'Alliance estime que, d'ici à 2050, l'énergie nucléaire pourrait fournir jusqu'à 150 GWe, à condition de poursuivre l'exploitation des installations existantes, de construire 30 à 45 nouveaux grands réacteurs et de développer des petits réacteurs modulaires (SMR). Le déploiement de ces derniers a obtenu le soutien de la Commission européenne. La filière prévoit 300 000 emplois directs et indirects, dont 200 000 qualifiés, et 450 000 recrutements.

Notre voisin belge a changé de politique et prolonge de dix ans l'exploitation de deux de ses réacteurs dont l'arrêt était prévu en 2025. Des constructions sont en cours, ou en projet, dans neuf États membres, en Finlande (mise en service industriel, depuis avril 2023, d'Olkiluoto 3), en France (prolongation du parc et programme de six

à quatorze EPR2), Tchéquie et Slovénie (offres françaises EPR 1 200), Pologne (six réacteurs ou plus), Pays-Bas (deux unités), Slovaquie, Hongrie, Bulgarie, Lituanie et Roumanie. La Suède a abandonné l'objectif du 100 % renouvelables pour le 100 % bas carbone. Au Royaume-Uni, le *Great British Nuclear* est un programme nucléaire ambitieux avec 24 GWe d'ici à 2050. Le gouvernement britannique a décidé, fin 2022, de devenir actionnaire à 50 % du projet EPR de Sizewell C, étape importante vers la décision finale d'investissement (cf. chapitre 4).

Le PDG d'EDF, M. Luc Rémont a proposé de miser sur cette communauté de l'EPR (*European pressurized reactor*) lui conférant toute sa légitimité étymologique : « *désormais seul vendeur et constructeur de technologie nucléaire de 3<sup>e</sup> génération en Europe, ... le partenariat européen stratégique et industriel de long terme que nous proposons constituera un précédent pour notre continent et pourra devenir le pivot d'une industrie nucléaire européenne davantage résiliente et indépendante* ». Mais la concurrence avec les États-Unis, et leurs affidés, sera rude...

## REFAIRE DE LA FILIÈRE NUCLÉAIRE LA GRANDE FORCE FRANÇAISE

### Les suites du discours de Belfort

Après l'impulsion revigorante du discours du président de la République à Belfort en février 2022, la stratégie française pour l'énergie et le climat de novembre 2023 confirme et précise les grands choix énergétiques de la France. L'année 2023 restera, à bien des égards l'année de constitution d'une boîte à outils qui devra montrer son efficacité dans la durée.

Pour citer Edgar Morin, « *le désordre est normal dans les systèmes complexes, mais il détient la source d'un nouvel ordre* ». Après des années de stagnation, la France est confrontée à un triple défi : la prolongation du parc existant, la construction de nouveaux EPR et le développement de petits réacteurs. Et il ne faut pas négliger le moyen-long terme qui nécessite ressources financières et humaines, expertise et volonté, au profit des réacteurs de 4<sup>e</sup> génération, de ceux dédiés à la recherche, de la fusion nucléaire et de la R&D nécessaire à l'amélioration continue, gage de sûreté.



Intervention sur la turbine à Cattenom

La Délégation interministérielle au nouveau nucléaire (DINN) monte en puissance son action pour la coordination des procédures d'autorisation administrative et de consultation du public est appréciée.

La loi du 22 juin 2023 relative à l'accélération des procédures concerne la construction de réacteurs EPR2. Le texte actualise la planification énergétique en supprimant la réduction à 50 % du nucléaire dans le mix électrique, à l'horizon 2035, et le plafonnement de la capacité nucléaire à 63,2 GWe ; la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) 2024-2030 devra être révisée en conséquence. Les procédures sont simplifiées et des ajouts sur la sûreté et la sécurité complètent le texte.

### Des organisations plus agiles, des moyens mieux dimensionnés, des scénarios réalistes

La Commission d'enquête parlementaire visant à établir les raisons de la perte de souveraineté et d'indépendance énergétique de la France a rendu, fin mars 2023, un rapport d'une grande richesse. Ce document montre comment moins de trente ans auront suffi à saborder une politique de temps long et un pan de souveraineté. Trente propositions sont formulées, dont celle qui, tout en reconnaissant le sérieux et l'exigence de l'expertise française, préconise « *d'assurer une montée en puissance des effectifs salariés de la sûreté nucléaire et d'en optimiser l'organisation administrative [...] afin d'assumer la charge nouvelle liée à la relance du nucléaire* » et « *d'optimiser les processus et le libre pilotage des moyens* ».



Rapport d'enquête  
n°1028



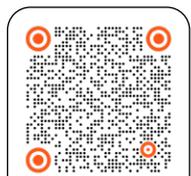
Visite terrain à Saint-Alban

Le rapport de juillet de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPESCT) sur les conséquences d'une éventuelle réorganisation de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) recommande de renforcer et de « *regrouper les moyens humains et financiers actuellement alloués au contrôle, à l'expertise et à la recherche en sûreté nucléaire et en radioprotection, afin que ceux-ci relèvent à l'avenir d'une structure unique et indépendante* ». Un projet de loi, soumis à concertation, reprend ces propositions entérinées sur le principe par le président de la République en Conseil de politique nucléaire (CPN). La séquence expertise, recommandation, décision continuerait d'être parfaitement respectée et resterait aussi lisible pour les observateurs avertis comme pour le grand public. Le collège décisionnaire fonctionne déjà, au sein de l'ASN, de manière autonome par rapport aux services d'instruction et d'expertise.

En avril, le Groupement des industriels français de l'énergie nucléaire (GIFEN) a présenté le programme Match, outil de pilotage de l'adéquation entre capacités et besoins. La relance du nucléaire est à la fois un défi quantitatif et qualitatif en matière de compétences. Vingt segments d'activités industrielles (ingénierie, génie civil, chaudronnerie, soudage, etc.), environ quatre-vingts métiers et 220 000 emplois sont concernés. Le besoin est d'environ 100 000 recrutements sur dix ans.

France et Royaume-Uni sont confrontés aux mêmes défis : redonner ses lettres de noblesse à une filière trop longtemps mise au ban des formations scientifiques et techniques et promouvoir la mixité des carrières et des métiers du nucléaire. La compétition sera rude avec les autres secteurs concernés par la politique gouvernementale de réindustrialisation et la filière devra démontrer son attractivité et sa capacité à fidéliser les hommes et les femmes qui la rejoindront.

Enfin dans son bilan prévisionnel 2023-2035 actualisé en septembre, RTE éclaire les défis de la bascule vers une société décarbonée et étudie trois scénarios possibles. Le premier vise à l'atteinte des objectifs de décarbonation entre 2030 et 2035 grâce à une électrification renforcée et table sur une consommation en notable augmentation (entre 580 et 640 TWh/an en 2035 au lieu de 460 TWh en 2022, soit +33 % en moyenne). Quatre leviers sont identifiés dont « *aucun ne peut être abandonné* » : deux par des économies générées par la sobriété ou l'efficacité énergétique ; deux autres par une plus grande production, en améliorant la disponibilité du nucléaire et en accélérant les énergies renouvelables. Le système aura besoin de « flexibilités » en développant de façon prioritaire la modulation de la demande et les batteries (cf. chapitre 9).



Bilans  
prévisionnels

## Exploitant, autorité de contrôle : à chacun ses responsabilités

L'occasion m'est offerte de rappeler ce qui peut paraître un truisme aux lecteurs avertis du rapport de l'IGSNR : la responsabilité première de la sûreté nucléaire incombe à l'exploitant. Il doit rester force de proposition, valoriser ainsi sa R&D et son ingénierie, de très haut niveau, bien dimensionnées et dotées. L'ingénierie de conception gagnerait cependant à se rapprocher très en amont des besoins et des réalités de l'exploitation afin de la simplifier et de la rendre plus sûre. C'est un des attendus de la réorganisation actuelle du Groupe EDF.

L'indépendance de l'autorité de contrôle s'affirme dans le cadre d'échanges qui permettent l'exercice des responsabilités de chacun. La transparence de l'instruction des dossiers et des éléments de la décision est fondamentale, à la condition que la séquence confrontation des avis techniques puis information publique soit bien ordonnée. Le débat d'experts doit conserver la sérénité, la rationalité et la liberté qu'une communication trop précoce pourrait contraindre, voire figer.

Il ne s'agit pas d'opposer sûreté nucléaire et sécurité d'alimentation électrique. Une juste répartition des rôles entre acteurs de la sûreté est fondamentale à tous les échelons de chacune de nos organisations. Je vois un double risque dans la relation aujourd'hui entretenue par les sites et l'ingénierie avec les services de l'ASN et de l'IRSN : soit l'exploitant bride sa réflexion sur la sûreté et attend les injonctions du contrôleur, soit il tombe dans l'excès inverse et en oublie de préserver le « caractère exploitable » des installations. En se préoccupant davantage d'une vision administrative de la sûreté, il risque de perdre le sens des réalités de terrain. Cette débauche d'énergie et de moyens peut, à ressources humaines et financières finies, faire négliger une part de l'entretien patrimonial.

Le système gagnera en confiance réciproque et la transparence des décisions en sera renforcée lorsque l'expression de besoin argumentée de l'exploitant sera confrontée à l'expertise technique de l'autorité de contrôle, étayée par la balance entre gains de sûreté technologique et prise en compte des facteurs humains et organisationnels (*cf. chapitre 5*).

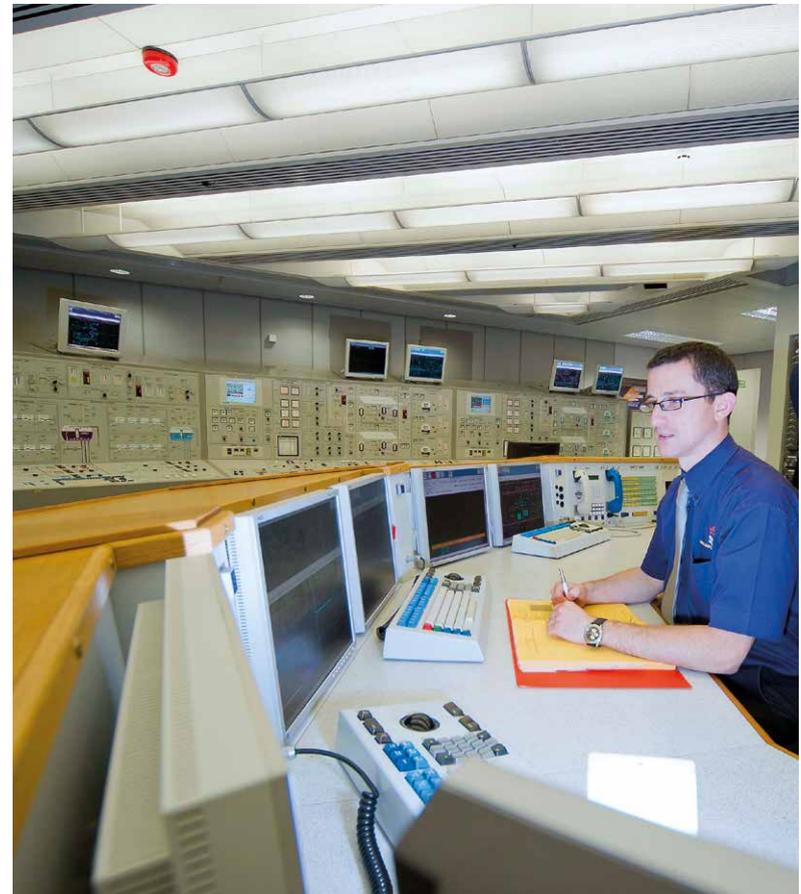
Le système de contrôle et d'expertise entre aujourd'hui dans une ère nouvelle. Il devra plus que jamais favoriser le dialogue technique entre autorité et exploitant afin de raisonnablement concilier sûreté nucléaire et nouveaux enjeux industriels en toute transparence.

## Rendre les systèmes complexes, simples à exploiter

Afin d'améliorer la sûreté, l'ingénierie a développé des systèmes qui font légitimement appel à des technologies de plus en plus sophistiquées et complexes. L'exemple de l'industrie aéronautique devrait inspirer l'industrie nucléaire. La sophistication du cœur électronique d'un avion de combat à commandes électriques, aérodynamiquement instable

par nature, facilite le pilotage avec une maniabilité et une sûreté améliorées. Cette complexité de conception libère le pilote qui peut davantage se consacrer au système d'armes. Sûreté et performance ont bénéficié de simplifications grâce à la maîtrise industrielle des systèmes complexes.

Par conception, nos réacteurs sont « neutroniquement » stables mais je crains que les innovations et modifications pour améliorer leur sûreté tendent à complexifier leur exploitation. Les programmes de visites décennales sont de plus en plus chargés et les modifications ne peuvent plus être effectuées dans un arrêt de durée raisonnable ni être assimilées par les opérateurs. Cela conduit à des travaux lourds alors que le réacteur est en production, et à leur allotissement sur plusieurs cycles qui place les installations dans un état de chantier permanent, facteur d'instabilité et source d'épuisement pour les équipes.



Salle de commande de Sizewell B

Je ne suis pas certain que la sûreté d'exploitation y gagne. Le pire serait de véhiculer l'image d'une sûreté qui ne reposerait plus que sur l'assurance apportée par la complexité des modifications et les investissements consentis. La citation extraite de l'ouvrage Haute Tension de Marcel Boiteux me semble bien résumer ce risque « *mieux vaut un système imparfait qui mobilise ses inventeurs qu'un système parfait, venu d'en haut, qui ne requiert plus que de l'obéissance* ». Une banalisation des risques est de nature à démobiliser les opérateurs de terrain s'ils voient leur rôle dévalorisé. Leadership et exemplarité, adhésion et implication individuelles, responsabilité collective, intelligence de situation sont d'indispensables facteurs qui doivent venir compléter la sûreté et la fiabilité du design (cf. chapitre 2). L'autorité de contrôle jouant, au besoin, le rôle d'aiguillon.

Le traitement de dossiers de plus en plus nombreux avec les nouveaux projets légitimera l'attribution de moyens supplémentaires au profit de l'autorité de contrôle. Mais seules les nouvelles exigences relevant du « juste nécessaire » doivent être imposées à des exploitants déjà sous la vague d'interrogations foisonnantes.

Notre Groupe doit veiller à mieux standardiser les équipements et maîtriser le suivi de configuration des installations. L'enjeu est d'obtenir une chaîne logistique performante et une homogénéisation des organisations entre réacteurs d'un même palier, voire d'un même site. A l'instar de la politique du nouveau nucléaire britannique, les gains d'une réplique des réacteurs, au moins de six premières unités EPR2, en seront la première expression.

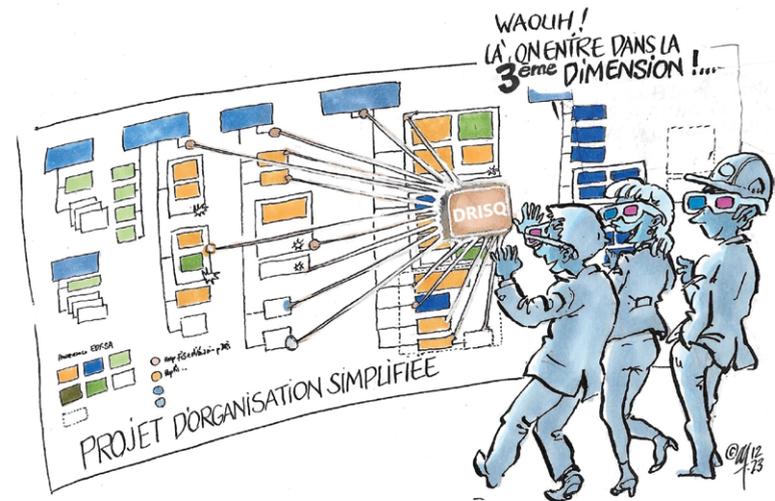
Enfin les questions de régulation du prix de l'électricité, où comme disait Marcel Boiteux « *les horloges sont faites pour dire l'heure, les tarifs pour dire les coûts* », sont capitales pour l'avenir de notre Groupe. Rendre sa marge à EDF permet, tout en garantissant les moyens d'une sûreté exemplaire, de préserver l'existant, d'investir dans le futur proche et renouveler le parc. Le dispositif retenu doit être vertueux et suffisamment responsabilisant pour que le Groupe, soumis à l'obligation de performance, puisse réaliser son programme industriel d'ampleur.

## LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE, UNE CULTURE D'ENTREPRISE GAGE DE PERFORMANCE

Le Groupe s'est engagé dans une réorganisation et dans un programme d'excellence opérationnelle avec l'ambition de relever sa trajectoire financière, notamment en augmentant sa production. Quatre chantiers impliquent l'ensemble des métiers : temps métal, numérique, compétences, performance opérationnelle.

Toutes les entités du Groupe, quand bien même leurs activités ne relèvent pas du domaine nucléaire, n'auraient qu'à gagner à s'imprégner de la culture de sûreté. Après s'être assuré que

conception, matériels et procédures sont à la hauteur des risques et des exigences, il est prouvé par l'expérience que c'est surtout au travers du fonctionnement de l'ensemble humain que se crée, ou non, la performance. Il revient toujours à l'opérateur, à l'ingénieur, de produire en ayant conscience des risques et en les maîtrisant. La culture de sûreté fixe un niveau d'exigence et une responsabilité d'exploitant fondée sur des compétences. Enfin, si elle repose sur des règles établies et sur des structures définies, elle ne prend corps que si elle est portée par la motivation et l'implication de l'ensemble des acteurs. La fierté de servir n'est pas le dernier des moteurs de la performance.



Une organisation clarifiée pour plus de performance © Nicolas Waeckel

### La culture de sûreté : première ligne de défense

« *Ce n'est pas parce que les choses sont difficiles que nous n'osons pas ! C'est parce que nous n'osons pas qu'elles sont difficiles.* » (Sénèque). En mettant le métier au-dessus des processus, en se formant et s'entraînant afin de « faire bien du premier coup », en bénéficiant d'outils numériques, sans en être esclave, la confiance se crée, l'envie de progresser naît et la performance suit.

Cela nécessite une implication du management, l'acceptation de son autorité exigeante et bienveillante (dans cet ordre...), la compétence de chacun, fruit d'une formation rigoureuse et d'une expérience accumulée, et une valeur de responsabilité individuelle et collective.

La culture de sûreté est un état d'esprit qui procure une force morale, valorise l'initiative et la prise de décision au-delà du simple respect des

prescriptions. C'est notre meilleure ligne de défense en profondeur. Elle oblige chacun à mobiliser son intelligence, à faire preuve de rigueur dans la préparation et la mise en œuvre de ses actions, à manifester de l'humilité en sachant s'interroger ou se remettre en cause. Elle conduit à partager les bonnes pratiques et à transmettre les savoir-faire par le compagnonnage ou l'apprentissage.

Si nos organisations sont complexes c'est que nous préférons construire des cloisons plutôt que des passerelles. Notre entreprise doit simplifier ses procédures et ses systèmes hiérarchiques et partager l'information dans une logique d'accès à « tout sauf » et non à « rien sauf » : le gain de temps et d'efficacité est indéniable pour tout le monde.

Pour améliorer la sûreté, l'ingénierie doit faire en sorte que ce qui est complexe à concevoir ne soit pas compliqué à exploiter. L'adaptation de nos systèmes à l'opérateur doit bénéficier de ses immenses capacités d'innovation.

### Se comparer afin de s'améliorer

Le partage d'expérience, la mobilité entre ingénierie de conception et exploitation, les échanges avec l'autorité de contrôle ou avec l'industrie sont, par une meilleure connaissance mutuelle, des remèdes efficaces à la complexification naturelle.

Ainsi la revue internationale menée sur la CSC en octobre 2022 et le récent séminaire international sur l'exploitation post 60 ans, qui a réuni plus de 250 personnes dont 70 experts étrangers, sont des bonnes applications du principe selon lequel « on n'a jamais raison tout seul ».

Les échanges *in situ* entre concepteur, exploitant et contrôleur sont riches d'enseignements et lèvent les préjugés. Une visite technique comme une observation des comportements sur le terrain restent des façons complémentaires et indispensables d'apprécier la pertinence d'une modification ou le niveau de sûreté d'une organisation, bien au-delà d'une étude sur plan ou de l'analyse d'une batterie d'indicateurs (*cf. chapitre 3*).

Ces constats sont largement partagés par tous les exploitants nucléaires. J'encourage Britanniques et Français à continuer à se rapprocher et à valoriser leurs interactions avec des pairs, notamment via WANO. Échanges sur le leadership entre la DPN et *Nuclear Operations*, généralisation des *joint peer reviews* entre l'Inspection

nucléaire d'EDF et WANO, exploitation des recommandations de la *corporate peer review* sont autant d'occasions de profiter d'autres expériences et de se découvrir à travers un autre prisme, avec humilité et réalisme.

### Exigence et rigueur, le tandem performant

Il est préférable de fixer deux ou trois priorités pour susciter l'engagement et l'adhésion. Les plans doivent être moins nombreux, plus centrés sur le leadership et l'amélioration des comportements et leur efficacité mesurée sur des intervalles de temps courts. Des actions priorisées et des gains rapides, définitifs, valent mieux qu'embrasser large sur le temps long.

Tout en étant conscient que le risque zéro n'existe pas, la maîtrise du risque reste une exigence qui requiert l'expertise scientifique et technique des professionnels de la filière. Chacun doit bénéficier d'une formation initiale de qualité, d'un entraînement régulier et exigeant, de briefings sans concession mais bienveillants (*cf. chapitre 8*).

Le leadership s'appuie sur le tandem puissant de l'exigence et de la rigueur. Par une stimulation constante des intelligences, l'exigence assure le niveau de compétence, tandis que la rigueur garantit la précision et la discipline dans l'accomplissement des tâches, avec ou sans procédures.

Fiabiliser les équipements, en faciliter la maintenance, perfectionner l'interface homme machine et la documentation d'exploitation, soulagent la charge et libèrent du temps. La réflexion et la préparation, gages de sérénité dans l'action, s'en trouvent favorisées pour toujours améliorer la sûreté.

La reconquête de la performance du parc est un travail quotidien, qui se fait en équipe, avec nos partenaires. La condition principale reste la juste répartition des rôles de chacun des acteurs, conscients de leurs responsabilités, forts de leurs compétences et fiers de leur performance.

Il nous faut rêver ensemble aux succès futurs face aux nombreux défis que l'entreprise devra relever. Les résultats de cette année sont de nature à nous rendre optimistes d'un côté et de l'autre de ce petit bras de mer qui relie la France au Royaume-Uni.



Centrale de Chooz B : 2 réacteurs de 1 450 MWe

**Des progrès en sûreté et en disponibilité récompensent de bonnes orientations et un travail de fond.**

**La complexification continue et un basculement est nécessaire, d'un excès de processus vers davantage d'exigence et d'esprit de performance.**

**Connaissance et maîtrise des risques, responsabilité et leadership doivent être les moteurs de ce changement.**

# Aux sources de la sûreté : exigence et leadership

02

Outre une situation difficile qui résulterait d'une dégradation de l'installation (cf. [chapitres 5 et 9](#)), l'incendie, les aléas naturels (cf. [chapitre 6](#)) et une incompréhension entre l'homme et la machine (cf. Three Mile Island) figurent parmi les principaux risques de sûreté.

## UNE ANNÉE DE TRANSITION VERS UNE PLUS GRANDE PERFORMANCE

### Le travail paie

Même s'il faut rester humble et si cet indicateur est loin de tout dire de la sûreté, on peut se réjouir du très bon résultat, en France, en matière d'arrêts automatiques de réacteurs (AAR) : avec 15 AAR, 2023 marque comme 2022 le second résultat historique du parc (14 en 2020), les 3 meilleurs résultats ayant été observés ces 4 dernières années.

Le retour progressif à la disponibilité, après les crises du COVID et de la corrosion sous contrainte (CSC), est également une bonne nouvelle, à la fois en matière de production et de sûreté.

Au Royaume-Uni, 2023 apparaît comme une année de consolidation avec des indicateurs convenables et, pour la seconde année consécutive, une production non affectée par des avaries. Le succès du déchargement du premier réacteur de Hunterston B est à signaler.

Il faut saluer aussi, dans les deux pays, l'esprit d'ouverture, entre les deux parcs, vers l'association mondiale des opérateurs nucléaires WANO et à l'international.

### CSC : passage en mode industriel

Le traitement de la CSC des réacteurs à eau sous pression (REP), objet désormais d'un programme industriel pluriannuel, mobilise des ressources considérables en contrôle, réparation et soudage. Le choix du remplacement préventif de lignes d'injection de sécurité du palier P'4 de 1 300 MWe porte ses fruits : plannings et chantiers sont mieux assurés que dans une stratégie de réparation « selon état ». La dosimétrie est maîtrisée. Au Royaume-Uni, aucun défaut de CSC n'a été identifié sur le REP Sizewell B, contrôlé en 2023.

Par nature complexe et multifactorielle, la CSC demande de la prudence. La découverte, début 2023, de fissures profondes sur certaines soudures qui n'étaient pas jugées les plus à risque mais qui avaient à la construction été réparées, en témoigne. Le travail d'expert pour approfondir les mécanismes et quantifier les paramètres se

poursuit. Et il faut se hâter d'instrumenter certaines lignes avec des thermocouples, ce qui est fait à Sizewell B et prévu en France.

Cette affaire a été pilotée avec un esprit de responsabilité et une mobilisation remarquables. Mais l'organisation ramifiée est source de complexité. En particulier, les experts doivent avoir toute leur part dans l'élaboration des avis et stratégies et ne pas être de simples sous-traitants chargés de répondre à des questions, en fonction des calendriers, parfois trop engageants, de prise de position vis-à-vis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). Les experts de Framatome auraient pu être davantage associés à ces études, dans un esprit de pleine intégration au Groupe.

Un retour d'expérience à froid sera utile le moment venu. Cette affaire rappelle notamment l'intérêt de procéder à des contrôles « large bande », favorables à la découverte de défauts non anticipés (cf. [chapitre 5](#)), et de considérer des techniques de réparation éprouvées dans d'autres pays (par exemple *overlay*, colliers de compression...).

### Développer l'esprit de propriétaire

Durant mes visites, je constate un état satisfaisant des installations, en amélioration sensible.

L'état des stations de pompage inspectées progresse dans les deux parcs. Le plan d'action, notamment contre la corrosion, porte des fruits. L'effort doit continuer car l'état souhaitable n'est pas encore atteint et le combat doit être permanent en bord de mer.

L'attention aux sources électriques internes est d'autant plus nécessaire que les réseaux peuvent à l'avenir se révéler plus fragiles (cf. [chapitre 9](#)). Chez *Nuclear Operations*, la situation du REP de Sizewell B, que j'ai visité et qui dispose de quatre diesels, est bonne. Toutefois, dans certains sites AGR (*Advanced Gas-cooled Reactor*, réacteur graphite gaz), l'indicateur de disponibilité des turbines à gaz (SPP5 WANO) n'était pas satisfaisant ; les premiers effets bénéfiques de la *task force* se font sentir. En France, l'exploitation des diesels ne répond toujours pas aux règles de l'art (cf. [rapport 2021](#)), faute de lui accorder la priorité qu'elle mérite.

La difficulté à intervenir demeure, qu'il s'agisse de délivrance des régimes, de règles générales d'exploitation (RGE), de planification, de pièces de rechange, de documentation, de capacité des métiers. Rassembler l'ensemble des conditions demande une énergie

considérable, altérant l'efficacité et le temps métal. Ce dernier est d'ailleurs l'un des chantiers prioritaires du président du Groupe.

Les sites ont du mal à gérer leur patrimoine technique (dette patrimoniale) et leur pot de DT (liste des demandes de travaux). En France, si celui-ci se réduit depuis plusieurs années, il reste trop élevé. Au Royaume-Uni, s'il paraît diminuer, les progrès sont lents, faute d'employer les méthodes les plus efficaces, et l'obsolescence demeure problématique. Dans les deux parcs, il reste des matériels quasi orphelins qui, bien que non classés, contribuent à la sûreté. Les contraintes budgétaires n'y sont pas étrangères. Il s'y ajoute, en France, l'ampleur des 4<sup>es</sup> visites décennales (VD4) (cf. chapitre 5).

Les deux parcs peinent à maîtriser le calendrier des arrêts pour maintenance. A la Division de la production nucléaire (DPN), le programme START 2025 porte ses premiers fruits. Chez *Nuclear Operations*, la démarche *Cornerstones* doit encore manifester son efficacité.

Bien qu'elle reste hétérogène (cf. rapport 2022), l'internalisation de certaines tâches de maintenance apporte de réels bénéfices à la DPN : les sites peuvent mieux intervenir sur événement fortuit et piloter techniquement les prestataires.



La FARN du Bugey en exercice à la centrale de Saint-Alban

Des directions techniques et ingénieries de CNPE français montent en puissance. Les bilans de fonction sont solidement réalisés, avec les métiers, même s'ils restent parfois « faits pour Paris ». L'objectif est maintenant de mieux les utiliser dans une optique patrimoniale. La programmation pluriannuelle a été malmenée ces dernières années et les sites s'y réinvestissent. Une inquiétude demeure à propos des préparateurs, accaparés par le système d'information du nucléaire (SDIN) et dont le rôle de référent technique s'érode.

L'essentiel est de passer d'un esprit de conformité (aux programmes nationaux, instructions, exigences) à un esprit de propriétaire que je ne ressens pas assez lors de mes visites.

### Derrière les indicateurs, la réalité des activités et des situations

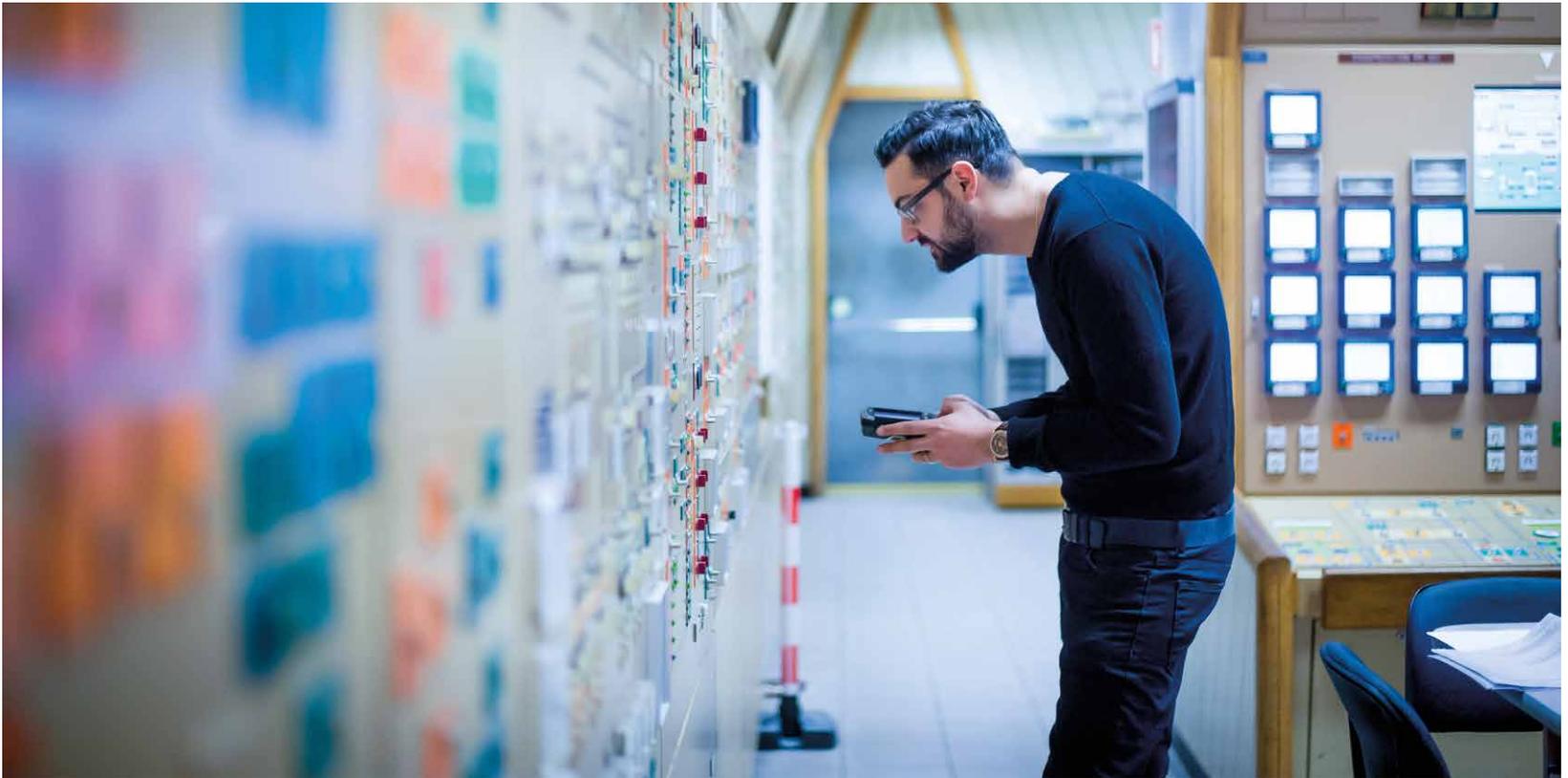
Même si les indicateurs sont corrects, les erreurs engageant les facteurs organisationnels et humains (FOH) demandent de mieux se concentrer sur le sens, les compétences et les comportements. Des incidents illustrent en effet que rigueur et maîtrise ne sont pas toujours au niveau requis, comme :

- l'injection dans le cœur de 1 100 l au lieu de 30 l d'eau borée (cf. chapitre 7) et, dans un autre réacteur, une dilution de 2 500 l au lieu de 100 l prévus ;
- l'envoi d'eau froide d'un AGR à l'arrêt vers le réacteur en puissance, entraînant un accroissement incontrôlé de la réactivité du cœur ;
- par confusion de tranche, la fermeture des quatre vannes d'admission vapeur d'un réacteur en puissance, provoquant son arrêt automatique ;
- un manque de rigueur dans l'application de la procédure APE après un arrêt automatique, engendrant pendant 17 heures une fuite de soupape reliée au circuit primaire ;
- la condamnation administrative, en position fermée, de l'actionneur d'une porte biologique d'un bâtiment réacteur alors qu'elle était toujours ouverte.

Revenir aux événements passés nourrit aussi la mémoire collective et la culture de sûreté : je salue la publication par la DPN d'un recueil qui leur est consacré. Remarquable sur le fond et la forme, j'invite chacun à le consulter régulièrement.

Trop de sites restent en difficulté dans les deux parcs (cf. rapport 2021). La connaissance des réalités, le dispositif d'évaluation et la détection de ces sites se sont beaucoup améliorés. L'appui des services centraux manque encore d'efficacité, même si des initiatives sont bénéfiques comme leur retour sur le terrain, les revues de pairs intersites, l'aide ciblée et les missions de WANO.





*Surveillance en salle de commande à Cattenom*

### Homogénéiser la conduite en France

Rigueur et compétence doivent être la marque de tout professionnel du nucléaire et plus encore des équipes de conduite. En France, malgré 40 ans d'exploitation d'un parc standardisé, la conduite est hétérogène. L'homogénéisation des pratiques est d'autant plus nécessaire que j'observe ici et là de bonnes choses. Au Royaume-Uni, les pratiques en salles de commande sont homogènes, en ligne avec les standards internationaux.

En France, l'équilibre entre ce qui relève du management et ce qui relève du dialogue social ne me paraît pas en place : le management doit être en mesure de cadrer les règles, les plannings et les pratiques. Il m'a semblé anormal, lors de grèves, d'arrêter la montée à 0,5 % de puissance après la divergence : cette décision ne peut pas relever des seuls opérateurs. Un retour d'expérience à froid me paraît nécessaire.

Le pilotage du métier de la conduite (animations métier), fonction indispensable dont on voit les premiers bénéfices, se met en place à la DPN. Revenant aux bases, traitant de sujets techniques et organisationnels, cette démarche fixe les pratiques. Concrète et très encourageante, elle requiert impérativement l'alignement managérial et la participation de tous les sites. De plus, elle reste indissociable du travail sur les compétences en conduite (cf. chapitre 8).

Le travail de terrain engagé depuis 2020 avec WANO, sur les fondamentaux et sur le rôle du pilote de tranche, fait progresser. L'objectif est maintenant d'internaliser ce mentorat à l'Unité de professionnalisation pour la performance industrielle, UFPI.

Chez *Nuclear Operations*, les démarches sur les fondamentaux, dont *line of sight to the core*, se poursuivent. Là aussi, le besoin se fait ressentir de se centrer davantage sur les comportements.

## L'incendie, risque n°1

Risque principal dans les installations industrielles du Groupe, l'incendie doit être traité comme tel par toutes les directions de sites et par tous. L'engagement collectif et managérial ne me semble pas assez homogène.

J'ai vu de très bons exemples, en particulier lorsque les sapeurs-pompiers volontaires sont nombreux, que les relations avec le SDIS sont étroites, que la conduite se prépare activement à intervenir, que les systèmes sont testés en eau et que les exercices sont nombreux, réalistes et pilotés. Le centre local d'intervention de Paluel, équipé et armé par son personnel, est une organisation originale qui a attiré positivement mon attention. Mais je continue aussi à rencontrer des services de prévention des risques ou des chargés incendie qui se sentent un peu seuls.

En matière de prévention, je vois rarement des portes coupe-feu ouvertes mais je sais que la situation peut fluctuer selon les périodes. La maîtrise des charges calorifiques reste un problème général. Surtout, je réitère mon appel à la vigilance et à la présence de terrain lors des travaux préparatoires aux VD4 (4<sup>es</sup> visites décennales) réalisés tranche en marche, qui présentent des risques significatifs : travaux dans des locaux sensibles, charges calorifiques, ouvertures de sectorisation, inhibition de détecteurs, etc.

J'observerai avec attention la mise en place des Gardes opérationnelles (antennes de sapeurs-pompiers professionnels dans les CNPE les plus éloignés d'une caserne), en étant conscient des questions de recrutement et d'intégration sur site qu'elle pose.

Au Royaume-Uni, le design des plus anciens réacteurs AGR présente des faiblesses de sectorisation. Des moyens alternatifs ont été ajoutés sans totalement les compenser. Il est donc essentiel que les systèmes de détection et d'extinction soient parfaitement entretenus, ce qui n'est pas toujours le cas.

## EXIGENCE ET LEADERSHIP

### La culture de performance

Un des défis, en production comme en sûreté, est de retrouver le sens de la performance. S'il y a des exemples (Davis Besse) où la priorité à la production a gravement affecté la sûreté, le contraire n'est pas non plus gage de sûreté. La maîtrise des activités, de la machine et des risques sert à la fois la production et la sûreté.

L'orientation de la DPN de renforcer la filière métiers plutôt que de porter l'accent sur les processus est très positive. Il faut maintenant viser à des effets plus rapides.

Si elle compte des experts remarquables et déploie une activité considérable, l'ingénierie est toujours surchargée, dans une spirale qui met en cause sa prise de recul et sa capacité de questionnement. La volonté de viser le juste nécessaire est heureuse (*cf. chapitre 5*).

Dans certaines ingénieries, les immersions en CNPE ont été réduites pour raisons budgétaires. Les visites de terrain devraient être systématiques et ne le sont pas. Il en résulte régulièrement des systèmes ou modifications trop théoriques, déclinant des exigences sans s'ancrer dans les réalités de l'exploitation et le sens de l'ingénieur. J'ai vu des protections grand vent absurdes et j'ai encore entendu l'idée d'installer des groupes froids sur le toit de bâtiments balayés par les embruns...

Gagner en efficacité suppose de résoudre certaines questions plus près du terrain, de laisser aux managers une marge d'appréciation, de prendre les décisions au bon niveau. L'accent de la DPN et de *Nuclear Operations* sur la présence de terrain est essentiel. Celle-ci doit être entendue comme une modalité normale de management des équipes et des activités, et non comme un mode de *reporting* supplémentaire. J'apprécie à ce titre la suppression du formalisme des visites managériales de terrain (VMT) au profit d'échanges sur les observations suivis d'actions concrètes.

### Penser la simplification

Les états-majors de la DPN, de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et dans une mesure croissante de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) s'accordent sur le principe de simplification, mais sa déclinaison est lente et la « machine à complexifier » semble toujours en marche.

De trop nombreuses non-qualités ont engendré une forme de réassurance par l'ajout continu d'exigences, de signatures, d'analyses de risque, de lignes dans les procédures, de matériels et de critères dans les RGE (règles générales d'exploitation). Il faut montrer que le travail sur le geste est suffisant et efficace, là où la « procéduralisation » des activités ne favorise souvent que l'illusion du contrôle. Le terrain l'exprime : « *on fait tout pour que l'on se trompe* » ou « *on n'exploite plus, on rassure* ».

J'approuve l'orientation de la DPN de revoir l'application de la directive (DI 100) organisant la déclaration des événements significatifs de sûreté (ESS) en ligne avec ma recommandation de 2022. Elle compte mieux sélectionner les événements devant faire l'objet de comptes rendus (CRESS) et les concentrer sur l'essentiel, y compris les questions de compétence et de comportement. J'apprécie aussi de voir l'UNIE (Unité d'ingénierie d'exploitation) consacrer moins de temps à prescrire et davantage à appuyer les sites.

La nécessaire simplification impose d'être plus rigoureux.

## Réformer les RGE françaises

Les RGE françaises ont, au fil des années, considérablement crû en volume et en complexité. La DPN a initié en 2023 une réflexion pour les refondre, dans un esprit plus proche de celui prévalant à l'international. Je salue cette démarche, gage d'une exploitation plus simple et plus sûre. Le partage avec *Nuclear Operations* pourrait être bénéfique.

Sans attendre, je recommande, en lien avec l'ASN, de simplifier résolument les RGE actuelles et déjà d'arrêter de complexifier. Faut-il vraiment 16 000 critères sûreté d'essais périodiques, dont 160 par diesel, à Flamanville 3 ? La maîtrise des agressions ne me paraît pas non plus imposer d'inclure les RASA dans les RGE (*cf. chapitre 6*).

Les spécifications techniques d'exploitation (STE, chapitre 3 des RGE) doivent être concises, édicter l'essentiel et ne pas chercher à tout traiter. Ce n'est pas parce que quelque chose a une incidence sur la sûreté ou figure dans le rapport de sûreté qu'elle doit être dans les STE ou les RGE, ni parce qu'un matériel peut être utile à la sûreté qu'il doit être classé EIPS (équipement important pour la sûreté). Il y a bien des choses à connaître, faire et vérifier dans une centrale nucléaire qui n'ont pas vocation à être intégrées aux RGE, sauf à rendre celles-ci inexploitable et à faire perdre de vue les critères et paramètres essentiels qu'elles doivent souligner.

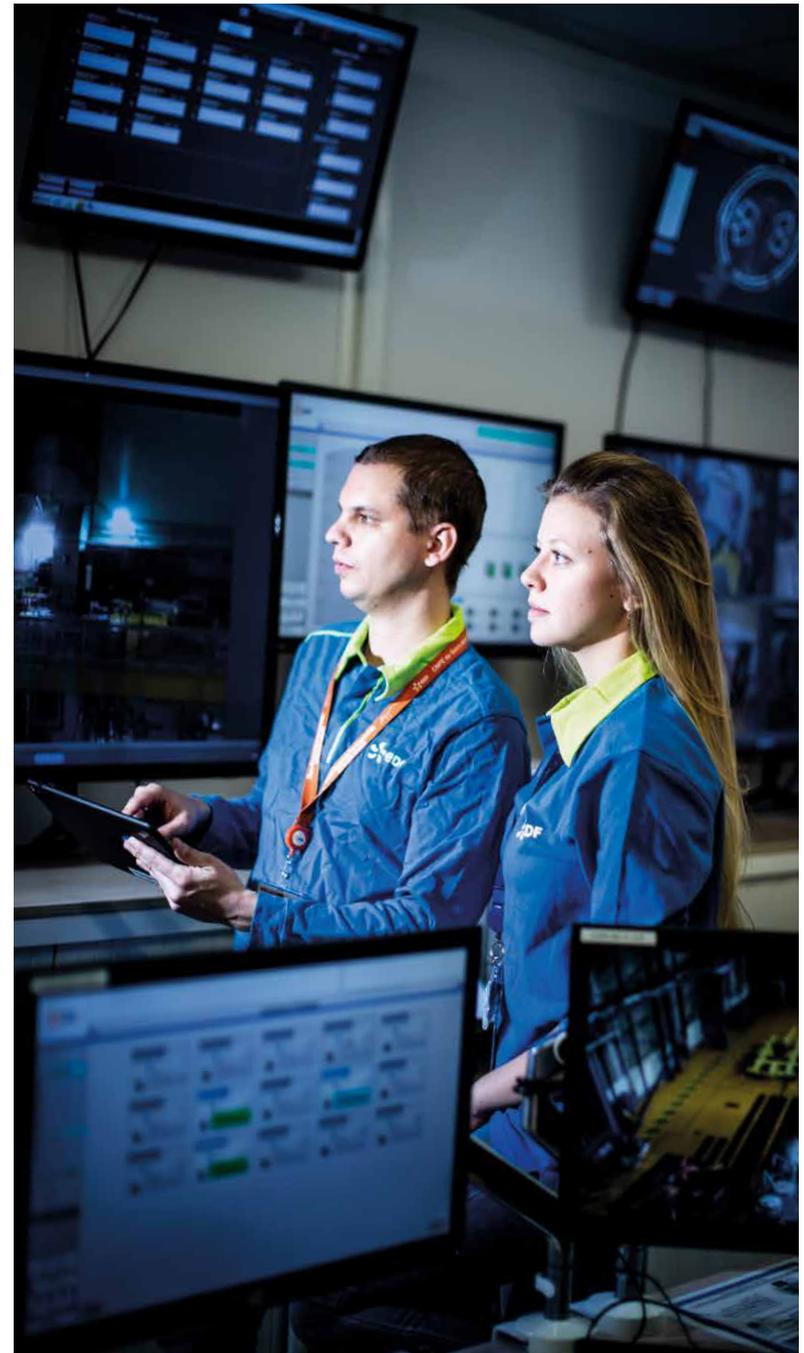
Il me semblerait également opportun de se réinterroger sur les règles de cumul d'indisponibilités de groupe 2. Conçues pour s'assurer que l'état général de sûreté ne dérive pas, elles empêchent souvent d'intervenir pour entretenir ou réparer des matériels, à l'encontre de l'objectif initial.

En 2023 encore plusieurs dizaines de replis de réacteurs (42) vers l'état d'arrêt ont eu lieu sur critère RGE. S'il y a des replis nécessaires et indiscutables, tous ne le sont pas : il s'agit parfois de cumuls sans incidence sur la sûreté ou de dépassements mineurs de critères. Le repli n'est pas une activité anodine et, si le doute doit bénéficier à la sûreté, le repli ne lui bénéficie pas automatiquement.

Les RGE ne diront jamais tout de la disponibilité des matériels. Si quelques critères ne souffrent pas de discussion (ceux à inscrire dans les RGE), le jugement d'ingénieur, le discernement et la responsabilité restent indispensables : il faut leur redonner leur place.

### La démonstration de sûreté : un outil, pas l'alpha et l'oméga

Si la sûreté est pleine de démonstrations, l'essentiel doit être la sûreté plutôt que la démonstration.



Transition numérique à Saint-Alban

Les dangers d'une survalorisation de l'expression démonstration de sûreté sont multiples :

- à force de répéter démonstration de sûreté, on risque d'oublier la sûreté réelle ;
- le terme évoque des études et risque de développer le sentiment que l'on travaille pour des dossiers ;
- démonstration renvoie à mathématique ; cela conduit à un emploi trop systématique de calculs 3D (au détriment des avis d'expert, des règles de l'art, des éléments de confiance suffisants) et à un alignement sur les cas les moins probables ;
- derrière ce terme unique à ambition exhaustive, on risque d'oublier l'origine et le sens des différents concepts de la sûreté et l'histoire de ses doctrines : accidents de dimensionnement, hors-dimensionnement, place relative des systèmes supports, etc., sans parler des facteurs organisationnels et humains (FOH), domaine crucial qui se prête mal à la démonstration ;
- démonstration de sûreté semble signifier que l'on peut tout prévoir, tout mettre sous contrôle *a priori* et tout écrire, dans une logique de modes de preuve.

L'accident de Three Mile Island a manifesté que l'on ne peut pas prévoir tous les événements, d'où le passage de procédures de conduite événementielles à l'approche par états (APE). On voit aujourd'hui s'ajouter trop de scénarios dans l'APE, au risque d'en perdre le sens originel et de la rendre plus complexe et moins efficace dans les scénarios plus probables.

### L'imprévu : la gestion de crise

Système complexe, une centrale nucléaire engendrera de l'imprévu. Tout ne sera pas inscrit dans les procédures : il faut convenir du point où elles s'arrêtent et où commence la gestion de crise. Se préparer à faire face à l'imprévu passe par la formation, la compréhension des phénomènes physiques, l'imagination de scénarios, les exercices de crise, l'intime connaissance et la pratique, sur le terrain, des matériels et des manœuvres.

Je note qu'en France la conduite n'est pas bien intégrée à la gestion des exercices de crise. Or les agents de terrain auront à exécuter des manœuvres ou à interconnecter des systèmes avec ceux de la FARN (Force d'action rapide du nucléaire), il faut s'y entraîner. Je renouvelle mon appel à ce que chacun s'exerce régulièrement aux manœuvres dont il aurait la responsabilité. Et cela d'autant plus qu'avec les VD4, les installations évoluent en permanence.

Créée après Fukushima Daiichi pour pouvoir faire face à l'imprévu, à des situations extrêmes, la FARN entretient bien ses matériels, développe ses compétences, s'entraîne. Les exercices avec les CNPE sont peu fréquents et d'ampleur : il serait judicieux de les compléter par des entraînements à petite échelle, associant des agents de la

FARN et du site. Le rapprochement de la FARN et de l'Organisation nationale de crise, positif, devrait être mis à profit dans ce sens.

Au Royaume-Uni, les équipements de crise gagneraient parfois à être mieux entretenus.

### Plus d'exigence : une question de leadership

En France, l'inflation des processus, les excès du management par les modes de preuve ainsi qu'une forme de cogestion soucieuse d'éviter toute vague sociale ont, dans la durée, mis à mal le leadership. Avoir conscience des risques, en connaître les parades, développer les compétences, travailler le geste, insuffler rigueur et esprit de responsabilité, vouloir la performance relèvent du *leadership*.

WANO s'en fait l'écho en le plaçant au centre des stratégies d'amélioration de la performance. La DPN et *Nuclear Operations* suivent cette voie. Le pilotage plus technique des métiers (animation métier) comme le remplacement du Guide de management de la sûreté de la DPN par un Guide du leadership nucléaire en sont des marques. Les messages de la direction de la DPN, qui sous-tendent le programme START 2025, sont clairs et sains et je soutiens pleinement ce mouvement.

Il ne s'agit pas tant d'opposer sûreté réglée et sûreté gérée que de revenir à la source : maîtriser les risques et produire. La maîtrise des risques impose des règles, des procédures et de la traçabilité ; celles-ci en sont un outil et ne suffisent pas.

La sûreté suppose aujourd'hui moins d'exigences et plus d'exigence. Basculer vers moins de documentation, de processus et de *reporting* et davantage de rigueur, de responsabilisation (*accountability*), de compétence, de concentration sur le geste, les hommes et la machine demande de la capacité d'entraînement et du courage. En un mot, du *leadership*.

## LE CONTRÔLE DE L'EXERCICE DE LA RESPONSABILITÉ D'EXPLOITANT

### FIS des CNPE : élargir leur champ de vision

Les FIS (filiales indépendantes de sûreté) sont écoutées par le management et les métiers avec qui les relations sont naturelles.

Au Royaume-Uni, les avis de l'INA (*Independent Nuclear Assurance*) sont larges et l'ensemble INA, NSG (*Nuclear Safety Group*) et TSSM (*Technical Safety and Security Manager*) couvre un périmètre complet. En revanche, le champ des FIS françaises demeure trop étroit et change peu (*cf. rapport 2022*). De plus, les ingénieurs sûreté (IS) poussent régulièrement à une interprétation trop littérale des RGE, y cherchant plus qu'elles ne peuvent dire, au risque d'en perdre le sens premier ; les IS aussi doivent assumer une part de jugement.

Un effort de GPEC (gestion prévisionnelle des emplois et des compétences) reste indispensable dans les deux parcs, y compris de promotion des parcours ultérieurs.

### FIS des services centraux : ne pas se faire absorber par les processus

Il me semble que les *combined peer-reviews*, agrégeant les inspections de l'Inspection nucléaire d'EDF (IN) et les revues de pairs de WANO, gagneraient à être optimisées, tout en maintenant absolument le volume d'observations de terrain. Les revues de suivi devraient s'efforcer à davantage de diagnostic de performance, afin de ne pas laisser un site quatre ans sans appréciation. L'IN pourrait compléter les revues de pairs par des inspections thématiques.

Au Royaume-Uni, l'INA exprime des vues indépendantes et gagne en *challenge*. J'ai apprécié l'énergie avec laquelle elle veille à ce que les agressions climatiques et la cybersécurité soient traitées avec la vigueur requise.

### FIS de l'ingénierie : challenger les choix

Les FIS de l'ingénierie, tout en restant trop orientées sur le contrôle des processus et des écarts, participent de plus en plus à des instances où leur avis est demandé, ce qui est une évolution favorable.

Elles développent progressivement leur champ d'action, par exemple le *challenge* des modifications à la DIPDE (Division de l'ingénierie du parc et de l'environnement) ou les « sujets boussoles » à la DIPNN (Direction de l'ingénierie et des nouveaux projets nucléaires), mais parfois insuffisamment. J'attends qu'elles *challengent* les choix techniques quand c'est nécessaire et qu'elles donnent leur avis sur le pilotage de la sûreté, la culture de sûreté, les compétences, l'exigence.

Chez Framatome, les FIS sont déployées dans toutes les unités. J'ai rencontré la FIS de l'usine de Romans-sur-Isère, au rôle très comparable à celui de ses homologues de CNPE ; son action est solide. J'ai apprécié l'intérêt manifesté par la FIS de la Direction technique et ingénierie (DTI) pour les compétences ainsi que sa pratique d'entretiens libres.

### Manifester ses convictions d'exploitant auprès des Autorités de sûreté

Au Royaume-Uni comme en France, les relations entre états-majors sont saines et le dialogue de bonne qualité. Les relations des sites avec leur régulateur sont solides. En France, s'il y a une bonne convergence de vues entre directions nationales, la transposition dans la pratique et la régulation des priorités restent souvent à construire. Au Royaume-Uni, les relations entre l'ONR (*Office for Nuclear Regulation*) et *EDF Energy* sont mures : la répartition des rôles et la responsabilité première de l'exploitant sont claires.

Les séminaires de dialogue technique entre ingénieurs sont de bonnes pratiques, en vigueur dans le projet EPR2 ou en matière de combustible par exemple. Ils me semblent à généraliser afin d'éviter les échanges essentiellement par questionnaires et les instructions « en chambre ». Il me semble en retour indispensable d'encourager l'accès des experts au terrain afin de favoriser l'appréciation des situations réelles.

L'exploitant (DPN, ingénieries, projets) doit développer une stratégie de sûreté, manifester davantage de convictions et les étayer. Il faut oser penser et s'exprimer ! Le *leadership* en sûreté doit être, avant tout, celui de l'exploitant et l'ASN l'écouterait d'autant plus qu'il s'exprime en responsable. Le dossier d'orientation des VD5 900 (*cf. chapitre 5*) me paraît un exemple de stratégie bien pensée, à généraliser.

## RECOMMANDATIONS

Face à la complexification des RGE et tout en menant le projet de les refondre à long terme, je recommande au directeur de la DPNT de simplifier au fur et à mesure les RGE actuelles et au directeur de la DIPNN de veiller dès à présent à développer les RGE de l'EPR2 dans le même esprit, en lien avec l'ASN.



**Les indicateurs permettent d'évaluer les tendances, la performance résulte des bons comportements sur le terrain.**

**La présence du management sur le terrain doit encourager les bons comportements et créer une culture de responsabilité collective.**

**Le recrutement massif et une expérience hétérogène mettent à l'épreuve les pratiques de sécurité industrielle et radiologique.**

*Activités de meulage à la centrale de Paluel*

# Sécurité et radioprotection : ce sont les comportements qui comptent

03

Sommaire

01

02

03

04

05

06

07

08

09

Annexes

Abréviations

## PILOTER LA PERFORMANCE À L'AUNE DES INDICATEURS ET DES COMPORTEMENTS

Si les indicateurs permettent de mesurer les performances en matière de sécurité, ils ne racontent qu'une partie de l'histoire. Le nombre d'événements de sécurité est traditionnellement exploité. Les indicateurs de résultats appréhendent mal les aspects comportementaux. Leur utilisation comme seule mesure de performance peut rendre une organisation aveugle aux facteurs sous-jacents. Les indicateurs de pilotage, quant à eux, aident à identifier des lacunes organisationnelles et comportementales.

Les programmes de leadership et de *behavioural safety* sont de nature à s'attaquer aux causes comportementales. Les interactions de terrain aident à comprendre les facteurs qui influencent les comportements et à créer une approche collaborative. Ces programmes, qui existent depuis le début des années 80, ont prouvé que le leadership et la présence du management sur le terrain augmentent l'engagement des travailleurs et leur niveau de responsabilisation, améliorant ainsi les performances de sécurité et réduisant le nombre d'accidents.

Lors de mes visites, j'ai encore constaté que l'on accordait trop d'attention aux indicateurs et à leur gestion en comparaison des observations et du travail sur les comportements. Je continue d'observer des événements les mettant en cause.

Cette faiblesse récurrente est imputable à plusieurs facteurs communs à la France et au Royaume-Uni. Les récents programmes de sécurité se sont concentrés sur les managers. Une forte rotation du personnel et des programmes de recrutement importants ont conduit à perdre certains repères. Un manque de vigilance partagée ou une « pudeur » à interagir entre travailleurs qui devraient veiller les uns sur les autres. La sécurité et la radioprotection sont souvent perçues comme une affaire d'experts et non comme une responsabilité individuelle et collective.

D'autres facteurs sont spécifiques. Au Royaume-Uni, depuis le programme Performance Humaine au début des années 2000, il n'y a pas eu de programme collectif de *behavioural safety* associant managers et travailleurs. Au fil du temps, le départ de salariés expérimentés a émoussé la culture commune. En France, les travailleurs ont encore trop tendance à mettre en œuvre les parades en fonction de leur seule perception.

Ces lacunes sont reconnues par *Nuclear Operations* et la Division production nucléaire (DPN). L'approche au Royaume-Uni reste embryonnaire avec des plans d'amélioration hétérogènes. En France, les leviers d'action privilégient la formation des managers en vue d'un effet d'entraînement sur les salariés et les partenaires industriels.

### **Behavioural safety**

La majorité des accidents résulte de mauvais comportements. Le programme de *behavioural safety* vise à renforcer la culture sécurité. Son principe est d'agir sur la responsabilisation plutôt que sur la mise en place de solutions matérielles ou procédurales. Son objectif est d'utiliser la présence terrain et les observations pour encourager les bons comportements et comprendre les facteurs à l'origine d'écarts. De tels programmes sont en œuvre depuis plusieurs années (par exemple pour réduire les accidents à l'usine du combustible de Springfields au Royaume-Uni).

## SÉCURITÉ : MONTER D'UN CRAN

Les indicateurs de sécurité de la DPN atteignent leurs objectifs (*cf. annexes*). Trop dépendants des modalités de déclaration, notamment administratives, ils restent difficiles à comparer aux standards internationaux. Il est primordial de se fier aux observations de terrain.

Lors de mes visites en France, j'ai constaté des différences avec le Royaume-Uni et les États-Unis. Les exigences sont encore perçues par les travailleurs français comme un obstacle à la réalisation de leur activité. Les freins générationnels ou sociaux perdurent : un jeune a encore du mal à faire une observation à un ancien et un sous-traitant à un agent EDF. Les managers et chargés de surveillance ont moins conscience de leur responsabilité juridique. Derrière la signature d'une analyse de risques, d'un régime de consignation, le chargé de travaux a-t-il toujours la perception des risques terrain et de sa responsabilité envers son équipe ?

Au Royaume-Uni, bien que les indicateurs soient bons (cf. *annexes*), des signaux faibles indiquent un relâchement des comportements. Cette inflexion est connue d'EDF *Nuclear Operations* et je perçois une réelle volonté de l'endiguer pour atteindre des niveaux de performance internationaux.



Travaux en hauteur à la centrale de Paluel

L'analyse des événements de sécurité à haut et moyen potentiel (HPE et MPE) identifie les tendances pour prévenir les situations dangereuses et les accidents graves. A Hinkley Point C (HPC), une meilleure remontée d'information a permis de détecter les situations dangereuses et d'anticiper les actions correctrices. C'est d'autant plus important face à la montée en puissance en 2024 des montages électromécaniques.

Les résultats chez Framatome marquent le pas. Au-delà des effets arithmétiques liés à l'intégration de nouvelles entités (Framatome ARC fin 2022 et Framatome Grenoble, en 2023), ce constat souligne le besoin d'accompagner l'augmentation du volume des activités et des effectifs, notamment sur les sites industriels, en renforçant la prévention des risques professionnels. Le niveau d'exigence vis-à-vis des sous-traitants doit également être accru : les principaux concernés ont reçu en 2023 un courrier leur rappelant les exigences de Framatome en matière de sécurité. Les critères d'évaluation, de sélection et de notation doivent être adaptés.

Aucun accident mortel n'est à déplorer cette année dans le périmètre des activités nucléaires du Groupe. Ce bilan positif est à imputer au développement et à la promotion de la culture sécurité, à maintenir dans la durée. Cependant, les décès survenus en 2023 dans le Groupe et en lien avec une activité industrielle nous rappellent l'importance du strict respect des règles liées aux risques critiques (travaux en hauteur, sous tension, risque de chute d'objet en cas de manutention...).

### Levage : conformité des matériels, compétences et respect des consignes

Les levages sont essentiels à la maintenance des installations. Les risques associés sont gérés de plusieurs manières : formation et qualification du personnel, évaluation des risques, rédaction des instructions, certification et inspection des équipements, et application des consignes. Tous ces éléments, lorsqu'ils sont respectés, garantissent la sécurité du personnel.

De graves blessures et des chutes de charges importantes ont été provoquées par le non-respect de ces mesures. Par ailleurs, en France, un moteur a chuté de plusieurs mètres à proximité de la piscine réacteur. La potence a cédé pendant le levage par surcharge. De même, l'utilisation non conforme aux consignes d'une potence de levage a entraîné la chute (d'environ dix mètres) d'une charge de 110 kilos.

A ces événements, qui manifestent des lacunes d'exploitation des matériels de levage, s'ajoutent des insuffisances dans les inspections et des écarts de conformité. Des audits et des évaluations ont révélé l'absence de certificats de conformité et d'historique de maintenance pour certains matériels.

#### Une blessure qui bouleverse une vie

Une nacelle conduite par un opérateur qualifié, sous la supervision d'un surveillant, devait passer par un portique de sécurité pour accéder au chantier. Le conducteur a badgé au portique d'accès pour entrer dans la zone protégée du site, tandis que le surveillant a dû badger à un autre tourniquet pour piétons. Transgressant la consigne d'attendre le retour du surveillant, le conducteur poursuit sa route et heurte un piéton. Tombé sous la nacelle, il subit un grave écrasement des membres inférieurs entraînant une amputation.

Avec 59 grues sur le chantier de construction d'HPC au Royaume-Uni, le site concentre des risques levage. Pour y faire face, la sécurité du levage HPC a été renforcée en 2023 par la mise en œuvre de nouvelles pratiques : installation de caméras sur les crochets de 39 grues pour aider les grutiers à mieux identifier les dangers, réduction du nombre de personnes impliquées dans les activités de levage et amélioration

des compétences spécifiques au domaine. Les exigences relatives au levage ont été mises à jour pour refléter ces améliorations. Les montages électromécaniques de 2024 poseront de nouveaux défis de levage, en particulier à l'intérieur des bâtiments. J'invite le projet à la vigilance pendant cette phase d'activités. J'invite également à transférer au chantier EPR2 de Penly l'expérience d'HPC.

### Sécurité électrique : les fondamentaux protégés

Les travaux électriques exigent le strict respect des consignes car les conséquences d'une électrisation peuvent être fatales. Il est essentiel que ceux qui interviennent sur les équipements électriques se protègent des dangers en appliquant les règles de l'art. Certaines pratiques sont spécifiques, comme la vérification de l'absence de tension, le manchonnage des câbles et le port des équipements de protection individuelle (EPI). D'autres pratiques, telles les méthodes de prévention des erreurs humaines (PFI, pratiques de fiabilisation des interventions), concernent tous les travailleurs et sont à prendre en compte dans la planification et la préparation des consignations / déconsignations électriques.

Je continue de constater un certain relâchement et des comportements inadaptés. Des électriciens négligent de vérifier l'absence de tension, poser les manchons de protection sur les câbles à nu, porter les EPI requis (masque facial, gants spécifiques, etc.) ou recourir aux PFI pour confirmer qu'ils interviennent sur le bon équipement. Des chargés de consignation n'utilisent pas efficacement les PFI pour garantir la mise hors tension du bon matériel.

#### Électrisation à Romans-sur-Isère

Après une modification dans un tableau, les consignations électriques sont levées pour réaliser les essais fonctionnels. Dans l'attente des travaux d'intervention ultérieurs, une mesure technique compensatoire est définie. Les mêmes intervenants entrent dans le local électrique, sans autorisation. Quelques minutes plus tard, une explosion et un flash se produisent. Les deux intervenants sont blessés. L'un d'eux est gravement atteint au visage et aux yeux. Un mètre ruban métallique calciné est retrouvé sur place et les lunettes de protection intégrées au casque ne sont pas portées.

### PRÉVENTION DES ADDICTIONS : TRANSFORMER L'ESSAI

L'usage de stupéfiants est un délit puni d'emprisonnement. Commettre cette infraction dans l'exercice d'une fonction est une circonstance aggravante. Le programme systématique de dépistage des stupéfiants répond à plusieurs objectifs : la santé / sécurité du personnel, la sûreté des installations et la réputation du Groupe.

Je constate que la DPN dispose désormais d'un plan de dépistage dans tous les sites, deux l'ont déjà appliqué en 2023. Cependant, je suis surpris de constater que leur déploiement reste retardé par des résistances institutionnelles et administratives, particulièrement lors de l'examen des projets de modification des règlements intérieurs. J'en appelle à toutes les parties prenantes, y compris les inspections du travail et les partenaires sociaux, de faire en sorte que 2024 puisse être l'année du déploiement de ces tests préventifs dans tous les sites pour le personnel, EDF et prestataires.

Je serai attentif aux dispositions prises sur le chantier de l'EPR2 de Penly. J'invite la direction du projet à tirer les leçons de l'expérience malheureuse de FLA3 et à s'inspirer des bonnes pratiques d'HPC. Ces deux sites pratiquent à présent des tests qui ne posent aucun problème d'acceptabilité (environ 11 000 tests ont été effectués en 2023 à HPC, soit plus du double qu'en 2022).

Depuis 2018, les modalités de réalisation des contrôles sont inscrites dans les règlements intérieurs des établissements de Framatome.



Heysham 1 a fêté 40 ans d'exploitation en 2023

### RADIOPROTECTION : FAIRE ÉVOLUER LES COMPORTEMENTS

Contrairement à la sécurité classique, les risques générés par les rayonnements ionisants ou la contamination sont difficiles à percevoir. Cette caractéristique affecte les comportements des travailleurs. Pour y remédier, ils doivent bénéficier d'une formation, d'instructions et d'un coaching appropriés. Objectif : influencer les comportements en faisant comprendre les dangers et en expliquant les exigences.

En France, les stages de recyclages (sûreté-sécurité-qualité-radioprotection) n'atteignent pas leurs objectifs. Cela se manifeste par un manque de compréhension et de respect des régimes de

travail radiologique, des oublis de port de dosimètres ou encore des réactions inadaptées lors de l'activation d'alarmes des dosimètres. Les faiblesses de ces stages sont reconnues par la DPN, qui a demandé à l'UFPI (Unité de professionnalisation pour la performance industrielle) d'en revoir les modalités.

Le manque de cohérence entre sites dans la déclinaison des exigences de radioprotection ajoute à la confusion des prestataires. Je demande d'y remédier rapidement. Les mouvements de personnel sont suffisamment importants et générateurs de risque pour ne pas y ajouter des référentiels fluctuants.

Il y a trois ans, la DPN a lancé son Plan de reconquête de radioprotection qui s'est traduit par une réduction de la dose globale des travailleurs et du nombre de contaminations. Néanmoins, si les spécialistes se le sont bien approprié, d'importantes faiblesses comportementales subsistent à la conduite, à la maintenance et chez les prestataires. Il convient de saluer l'initiative d'autodéclaration en zone contrôlée (ZC) mise en œuvre dans certains sites : elle demande que les intervenants qui n'ont pas de chantier fixe s'autocontrôlent régulièrement et déclarent leur éventuelle contamination avant le passage aux portiques.



Travaux sur la machine de chargement à Dungeness B

A Flamanville 3, la ZC est en service dans le bâtiment combustible et devrait être généralisée pour entraînement à l'ensemble des installations plusieurs mois avant le chargement. Une importante action de préparation et de formation a été effectuée par le site pour communiquer les exigences et les attentes du travail en ZC. C'est une bonne occasion de s'approprier les bonnes pratiques et d'adopter les bons comportements dès le début.

Au Royaume-Uni, pour identifier les lacunes dans les connaissances et les comportements, les non-conformités aux règles de radioprotection sont analysées. Cela permet d'identifier des lacunes spécifiques et d'engager des plans d'action ciblés qui ont déjà commencé à porter leurs fruits.

### Tirs radio : un problème récurrent en France

Le tir radio est une méthode d'inspection non destructive pour vérifier la qualité des soudures. L'utilisation de rayonnements ionisants engendre des risques gérés par des processus rigoureux et par la formation et l'habilitation des intervenants spécialistes.

De nombreux événements liés aux tirs radio dans les sites français continuent de m'alerter. Il s'agit d'une tendance récurrente depuis plusieurs années. Réelle préoccupation, les performances des prestataires ont fait l'objet de nombreuses initiatives à la DPN.

Malgré un solide processus de formation et d'habilitation, on continue de constater des mauvaises prises de décision et des manques de rigueur dans la sécurisation des zones d'exclusion et dans l'utilisation des appareils gammagraphiques. Autant de manquements aux pratiques fondamentales des tirs radio. En complément, je continue à observer des événements où les travailleurs ne respectent pas les balisages et la signalisation des tirs radio.

Le tir radio est très souvent une activité sous-traitée par les prestataires de soudage, ce qui peut diluer le contrôle qu'EDF exerce. Au Royaume-Uni en revanche, toutes les activités de tir radio sur les sites en production sont directement sous-traitées par EDF *Nuclear Operations*, qui conserve le contrôle et la surveillance de la prestation et en assure la sécurité.

A HPC, le nombre de tirs radio augmentera en 2024. L'équipe de projet cherche à diminuer la quantité de tirs sur site ou à en réduire l'impact. Parmi les méthodes simples et sûres, on peut citer l'augmentation des contrôles en usine, l'utilisation de sources d'énergie réduite pour minimiser les zones d'exclusion (*Small Contained Area Radiography SCAR*) ou l'utilisation d'autres techniques d'essais non destructifs telles les inspections par ultrasons *phased array*.

### Phased Array Ultrasonic Inspection (PAUT)

PAUT est une technique avancée d'essai non destructif par ultrasons multiéléments. Elle est déployée depuis un certain temps dans d'autres secteurs très réglementés comme la pétrochimie. Les sondes, pulsées individuellement, créent un faisceau phasé qui balaie la zone d'inspection afin d'identifier les défauts.

Il est prévu que ce système puisse couvrir 67 % du périmètre de l'inspection radiographique à HPC et bénéficier à Sizewell C.

## Mieux confiner les chantiers

La maintenance en zone contrôlée nécessite une propreté radiologique, un environnement de travail et des dispositions de protection qui empêchent la dispersion de matières et la contamination des intervenants. Cela passe en particulier par la mise en place de sas de confinement.

En 2022, plusieurs événements de contamination notables avaient eu lieu dans le parc français et il est regrettable que ce genre d'événement se répète en 2023. Les compétences et comportements en sont, une fois de plus, la cause. Des sas mal montés ou utilisés, aux ventilations inopérantes, et l'absence de réponse aux alarmes ont conduit à des contaminations internes et externes, dont un ESR (événement significatif de radioprotection) dose peau classé INES 2, et des évacuations de bâtiments réacteurs.

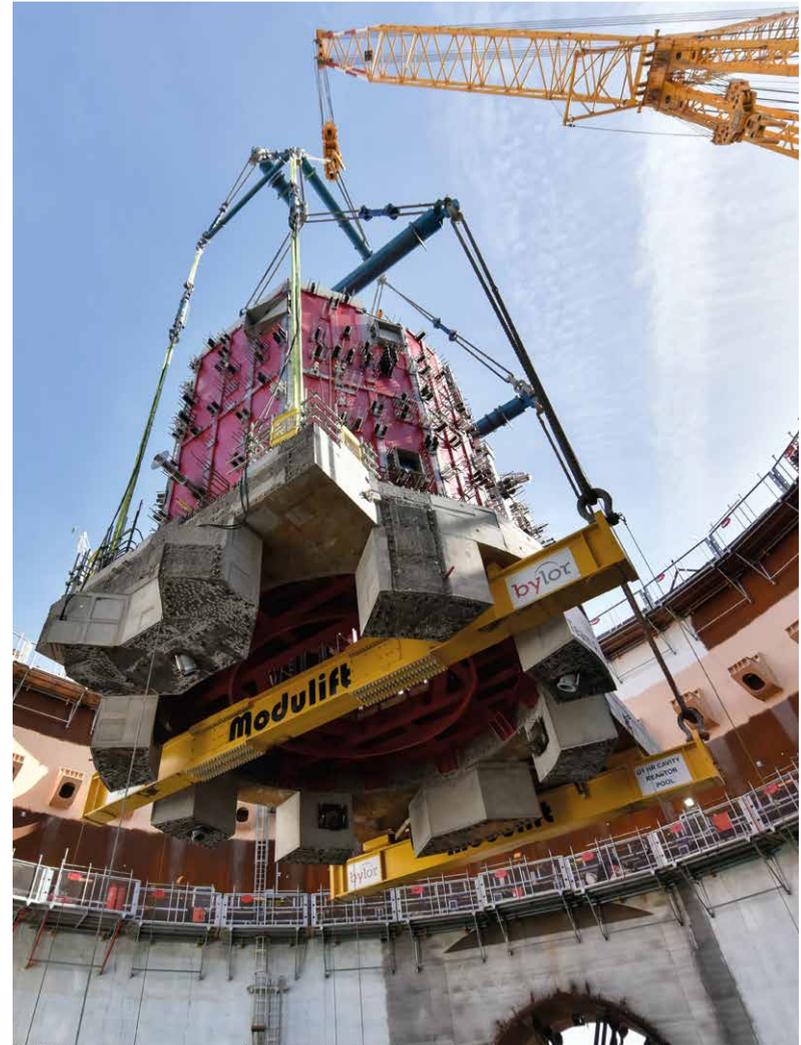
Au Royaume-Uni, seuls deux événements de contaminations internes se sont produits en 2023, inférieurs au niveau de déclaration. Le design des réacteurs AGR est favorable à la radioprotection. Les performances du REP de Sizewell B (le seul du parc britannique) en matière de propreté radiologique sont comparables à celles du parc AGR. Sur la base de bonnes performances historiques, l'indicateur de contamination a été retiré des indicateurs de haut niveau et remplacé par un suivi des écarts de comportement aux règles de radioprotection. Les événements de contamination qui demeurent sont de faible ampleur et généralement liés aux activités des arrêts pour rechargement.

### Contamination : chaque ligne de défense compte

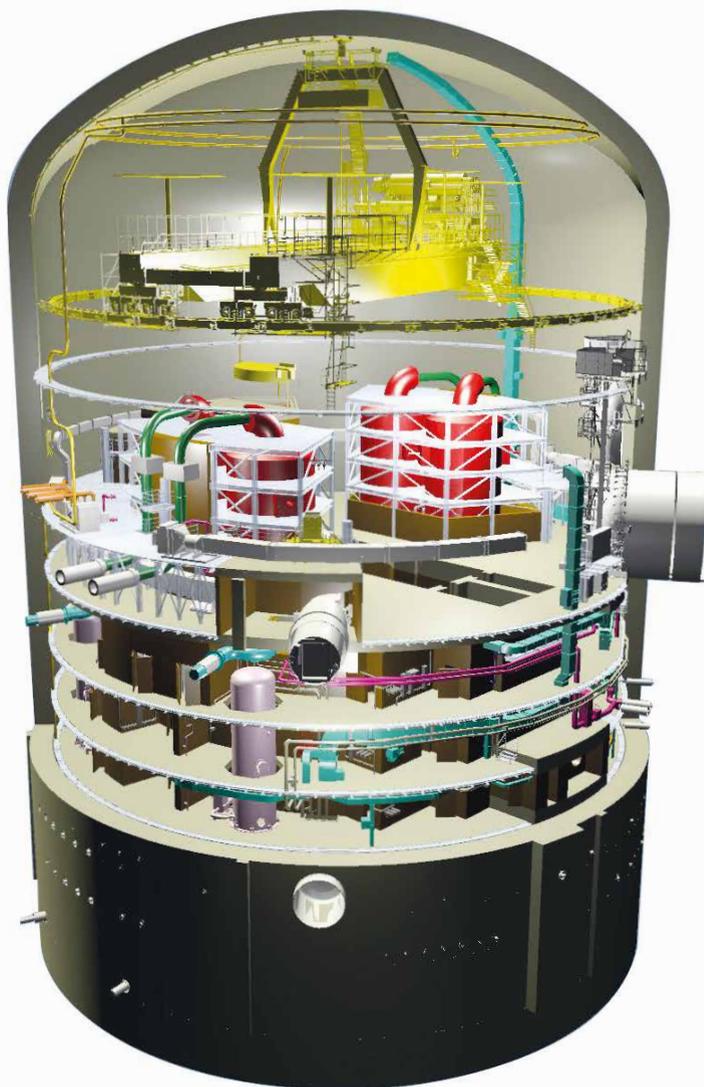
Dans un site français, une centaine de travailleurs ont été, début 2023, exposés à divers degrés de contamination, du fait de la défaillance de plusieurs lignes de défense sur un chantier de contrôle de tubes de générateur de vapeur dans le bâtiment réacteur. Les investigations ont montré des défauts de confinement statique et dynamique du sas, des défauts de suivi des balises de surveillance pourtant fonctionnelles, ainsi que le manque d'expérience des acteurs et une absence de contrôle technique. Le bâtiment réacteur a été évacué. Les contrôles n'ont pas révélé de contamination individuelle supérieure aux seuils de déclaration.

## RECOMMANDATION

**Malgré des plans de redressement, des problèmes de culture de sécurité et de radioprotection persistent. En France comme au Royaume-Uni, les comportements restent la cause d'événements importants. Je recommande aux directeurs de la DPN et de *Nuclear Operations* de réévaluer leurs plans de façon à modifier les comportements individuels et collectifs, sur le terrain.**



Levage du compartiment transfert (1100 t) à Hinkley Point C



**L'EPR2 est une version optimisée et industrialisée de l'EPR. Sa conception intègre des standards de sûreté et d'environnement parmi les plus élevés au monde.**

**Le programme actuel de l'EPR2 prévoit la construction de trois paires de réacteurs avec en option quatre paires supplémentaires.**

**Les trois premiers sites retenus sont ceux de Penly, Gravelines et Bugey.**

# Du pragmatisme au service de l'EPR2

# 04

Le projet EPR2 a été consolidé depuis le discours du président de la République à Belfort en février 2022 et bénéficie de la loi de juin 2023 relative à l'accélération des procédures de construction des nouvelles installations nucléaires. Une délégation interministérielle au nouveau nucléaire (DINN) supervise le programme et coordonne l'action des administrations. Ces dispositions gouvernementales et la réorganisation du Groupe reflètent la volonté de créer les conditions de réussite du programme EPR2.

Pour compléter cette saine dynamique, les plannings d'instruction réglementaire de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et du projet d'EDF doivent converger. La montée en puissance du programme sera soutenue et requiert de toutes les parties prenantes de fonctionner en mode projet.

## 2023, ANNÉE DE TRANSITION

La gouvernance du projet est bien structurée. Les revues de design de la MOA (maîtrise d'ouvrage), combinées aux revues de maturité, aux comités de pilotage des points ouverts et à ceux consacrés aux modifications, sécurisent le projet. L'autorité technique, qui devait être prochainement créée à la DSTID (direction stratégie, technologies, innovations & développement), devra apporter une vision transversale et stratégique sur certains sujets de sûreté et garantir standardisation et réplification du premier palier.

Je salue la revue de programme convenue entre la DINN et EDF. Son rapport évalue la maturité de l'EPR2 en fin d'avant-projet (*basic design*), les conditions pour lancer les études de projet détaillé (*detailed design*), la cohérence du calendrier et du devis. Au-delà de l'état des lieux, cette revue fait des propositions sur les aspects organisation, étude, méthode industrielle, relations avec les autorités, partenariat avec les fournisseurs, délais et performance.

Les équipes d'Edvance qui réaliseront le *detailed design* croissent rapidement avec un enjeu de montée en compétences et d'intégration des nouveaux embauchés. Elles devront être conseillées par l'exploitant pour que l'installation soit adaptée à ses besoins, au regard notamment des modalités d'implantation des équipements, de la définition des règles de conduite et d'exploitation (RGE), de la conception de l'interface homme machine (IHM). Je note avec satisfaction que la Direction industrielle est totalement impliquée et responsabilisée dans le choix des matériaux.

### La DINN, délégation interministérielle au nouveau nucléaire

Créée par décret le 7 novembre 2022 dans la continuité du discours de Belfort, la DINN supervise pour le compte de l'Etat la réalisation des programmes industriels de construction des nouveaux réacteurs électronucléaires français. Rattachée au Premier ministre, elle s'assure que ces programmes seront menés dans les délais et dans les coûts fixés. La DINN contribue à la mise en place des dispositions relevant de la responsabilité de l'Etat et coordonne l'ensemble des acteurs.

Le projet a déménagé à Lyon à l'été 2023 avant une forte croissance de ses effectifs. Le personnel resté en région parisienne a majoritairement été redéployé dans les unités d'ingénierie de la capitale et continue de travailler pour le projet.

La DIPNN (Direction de l'ingénierie et des nouveaux projets nucléaires) travaille à résoudre les difficultés de son nouvel environnement informatique (progiciel PLM 3DX). Le manque de performance des modules documentaires et P&ID (diagrammes de tuyauterie et d'instrumentation) a fait perdre en productivité. Une meilleure implication des développeurs aux côtés des métiers en phase de développement du progiciel aurait été nécessaire. La réplification des données du site de Gravelines n'a pu être encore effectuée sous 3DX et devra être sécurisée.

Le succès industriel du projet EPR2 passera par notre capacité à faire « bien du premier coup » par réplification. Il s'agit de garder strictement l'effet palier sur les six premiers réacteurs puis d'en faire bénéficier les suivants pour maximiser les effets de série et optimiser qualité, délai, coût.

L'ASN et EDF ont convenu que l'instruction de la partie générique du rapport de sûreté des réacteurs de Penly et ses conclusions s'appliqueront à tout le premier palier EPR2. Ce principe devra impérativement être respecté dans la durée et mérite d'être étendu à la réglementation ESPN (équipements nucléaires sous pression) pour la fabrication des gros composants, produits standardisés. Avant de débiter les activités de *detailed design*, les exigences et référentiels applicables aux domaines incendie, séisme et risque de chute d'avion devront être convenus avec l'ASN et le Haut Fonctionnaire de défense et de sécurité.

## Autorisations préalables à la construction

La Commission nationale du débat public (CNDP), saisie par EDF en février 2022, a organisé une consultation d'octobre 2022 à février 2023 sur le programme du palier. Elle a publié son rapport en avril 2023.

Le maître d'ouvrage EDF a confirmé la poursuite du projet, le 28 juin 2023. Avant toute construction, deux autorisations sont nécessaires : la concession d'utilisation du domaine public maritime (CUDPM) et l'autorisation environnementale (DDAE). Les demandes ont été déposées. Ces autorisations nécessiteront une enquête publique.

Une demande de décret d'autorisation de création (DAC) a également été déposée. L'obtention du DAC est nécessaire pour commencer la construction des parties nucléaires de l'installation.

## DÉVELOPPER UNE *SUPPLY CHAIN* DE PREMIER RANG

La réussite du projet EPR2 ne réside pas dans la sophistication des études de conception, qui peuvent aboutir à un design complexe, mais dans la capacité à constituer une *supply chain* robuste qui garantira des fournitures de haute qualité.

La politique industrielle et le choix des fournisseurs sont pilotés de manière intégrée par le plateau fournisseurs qui se réunit chaque semaine. Son efficacité fait l'unanimité. La démarche *Supplier development* complète le dispositif en accompagnant la montée en compétence et en qualité des fournisseurs.

Framatome devra investir dans son outil industriel. Un groupe de réflexion usine sera lancé en 2024 pour définir la stratégie, en particulier organiser les usines selon une logique de flux pour produire en série les gros composants de la chaudière. Les premiers ont été forgés.



Gravelines et ses deux EPR2

La qualité de fabrication et les contrôles ont largement progressé ces dernières années. La confiance des clients et de l'ASN s'en est trouvée renforcée. La standardisation de fabrication supposera un dispositif apprenant pour continuer à améliorer les procédés et réduire progressivement l'utilisation de dérogations.

Le processus réglementaire de délivrance des attestations de conformité des ESPN devra être adapté. Tel qu'appliqué au projet Flamanville 3, il est conclu de manière trop tardive, après montage de tous les équipements, ce qui fait courir un risque industriel jusqu'au chargement du combustible.

La Direction des équipements pilote le cycle de vie des équipements : relations avec les prestataires industriels, surveillance des fabrications, livraison, montage et essais. La majorité des contrats est passée très tôt, en 2023 et 2024. C'est un point positif qui donne de la visibilité à la *supply chain*. Cette anticipation permettra d'associer les fournisseurs à la séquence d'ingénierie pour retenir des solutions industrielles et conformes à l'état de l'art.

Les fabricants d'équipements seront essentiellement français ou européens. Le taux de réplication des matériels de Flamanville 3 sera plus faible qu'on aurait pu le souhaiter, conséquence de spécifications techniques différentes entre les projets et d'une *supply chain* qui a évolué en 20 ans.

## POURUIVRE LA MONTÉE EN PUISSANCE DE L'EXPLOITANT

Bien que l'exploitant soit impliqué dans le projet depuis 2017, son expression de besoin arrive trop tard pour pouvoir être intégralement prise en compte. Son engagement s'est renforcé à la fois dans la direction de projet et dans la MOA. Des revues coprésidées avec la direction de la DPN orientent les choix. L'exploitant est associé en phase de contractualisation.

La performance de l'EPR2, en particulier sa disponibilité, doit rejoindre les standards internationaux. Elle suppose, dès la tête de série, des règles générales exploitation (RGE) qui garantissent sûreté et production. Je suivrai les démarches qui ont été lancées pour simplifier ces dernières (*cf. chapitre 2*).

Un premier travail a été réalisé concernant les choix de maintenance des équipements, conditionnelle, par échange standard... Il doit être poursuivi. Par ailleurs, il me semble nécessaire de ménager la possibilité de remplacer de manière industrielle les gros composants comme les générateurs de vapeur. Dans la conception de l'interface homme machine, il faudra penser exploitation et bénéficier des travaux de la R&D sur les développements de modélisation et d'imagerie des phénomènes thermohydrauliques.

Les choix d'exploitation de l'EPR2 doivent s'inspirer des meilleures pratiques organisationnelles : rythmes de travail, organisations des équipes de conduite favorables aux formations juste à temps (dont un jour dédié, J de reprise de quart), équipes d'arrêt dédiées, *Work Execution Center* (WEC) sont à prendre en compte.

Le combustible prévu pour l'EPR2 devra être homogène aux standards du parc EDF en 2035 (cf. [chapitre 7](#)).

## L'EPR2

L'EPR2 reprend de l'EPR la puissance (1 670 MWe) le niveau de sûreté et les principaux équipements et matériels, des atouts pour maîtriser les risques industriels. Il intègre le retour d'expérience de tous les chantiers EPR dans le monde ainsi que celui du parc en exploitation.

Reprenant les principales caractéristiques de l'EPR (coque avion, récupérateur de corium, recombineurs d'hydrogène, diversification des sources électriques internes de secours, etc.), l'EPR2 s'en distingue notamment par une enceinte unique, trois trains de sûreté, une source d'eau froide diversifiée.

Il est conçu pour être manœuvrant, conformément aux spécifications de l'exploitant. L'EPR2 prend en compte les évolutions du changement climatique et pourra s'y adapter.

## LES MARGES À LA CONCEPTION : UN PATRIMOINE POUR 60 ANS

Les marges de l'EPR2 doivent être suffisantes dans une perspective d'exploitation d'au moins 60 ans. Son design doit aussi être adaptable dans la durée.

La direction de projet a mis en place un dispositif de pilotage *ad hoc* des marges du design. Je souligne le bien-fondé de cette initiative qui sera à maintenir dans la durée, de la conception à la mise en service industrielle.

Le changement climatique est pris en compte à la conception. L'EPR2 retient des hypothèses très conservatives. Les référentiels applicables sont sévères et incluent des marges. Pour éviter un design trop complexe, voire surdimensionné, il faudra veiller à ne pas vouloir additionner à l'excès des conservatismes là où des parades d'exploitation pourraient suffire (cf. [chapitre 6](#)).

Je relève la bonne orientation du dialogue technique avec l'ASN comme sur le dossier Exclusion de rupture. Le projet tire les leçons de l'aléa corrosion sous contrainte (CSC). Des dispositions spécifiques sont définies avec des méthodes de construction et un programme de contrôles adaptés. Les tracés des tuyauteries seront revus. Les procédés de soudage, les tolérances dimensionnelles de montage, le

principe d'arasage des soudures, la maximisation des préfabriques et la minimisation du nombre de soudures sont autant de facteurs favorables à la prévention du risque de CSC. Les connaissances sur l'origine de ce phénomène inédit sont susceptibles de s'enrichir et le projet devra rester en veille pour en intégrer, le cas échéant, les enseignements.

L'EPR2 devrait bénéficier dès la phase d'études de la nouvelle chaîne de calcul de cœur ODYSSEE. Plus prédictive que les outils actuels, elle tire parti des dernières connaissances en modélisation.



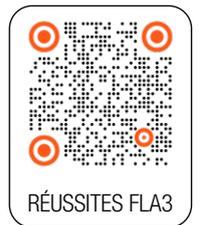
Flamanville 3

## LES AUTRES PROJETS FLA3, HPC ET SZC

### FLA3, dernière ligne droite

Les réparations des soudures des circuits du secondaire de l'EPR Flamanville 3 (FLA3), leur détensionnement et les épreuves hydrauliques associées ont été achevés à l'été 2023. La fin de ces activités ponctue quatre ans de travail. Les essais de requalification d'ensemble (ERE 23) se sont achevés avec succès le 10 décembre 2023. Le planning des activités avant chargement est tendu et reste conditionné au traitement du reste à faire et à l'obtention des autorisations réglementaires.

Le dialogue technique avec l'ASN se déroule de manière satisfaisante. Des palliatifs aux problèmes de fiabilité de l'instrumentation interne du réacteur et aux fluctuations de flux neutronique ont été définis pour les premières années d'exploitation. Des solutions de long terme seront à mettre en



RÉSULTATS FLA3

place une fois terminés les analyses et les programmes d'essai. La compréhension du phénomène de corrosion accélérée de l'alliage M5 des assemblages de combustible doit continuer à progresser. Des solutions de prévention ont été définies (cf. chapitre 7).

Je soutiens l'initiative d'un système d'autorisation interne (SAI) inspiré du SAI cœur combustible et convenu avec l'ASN pour autoriser le franchissement des différents paliers de puissance intermédiaire de la phase de démarrage.

Le programme de la visite complète n°1 demeure titanesque. Pour la préparer, il faut dès à présent y consacrer des ressources dédiées et protégées des activités fortuites inhérentes à la phase de démarrage et au premier cycle d'exploitation.



Flamanville 3 : intervenants en station de pompage

## Une expérience qui doit profiter aux autres projets

L'expérience du projet FLA3 est très riche. Elle doit pleinement profiter au projet EPR2 qui entre en phase de *detailed design*. Les sujets relatifs à l'organisation d'exploitation, au dimensionnement des ressources, à la nécessaire fluidité des relations avec Framatome, à l'approvisionnement des pièces de rechange, aux choix d'interface homme machine, à la disposition des équipements, à la fiabilité des équipements de ventilations et des cellules électriques, au déficit d'intégration des systèmes supports des diesels principaux doivent tous faire l'objet d'une analyse approfondie. Forts d'un savoir précieux, certains acteurs clés du projet FLA3 doivent pouvoir consacrer du temps au projet EPR2 pour transférer leur expérience de terrain.

Comme indiqué dans le rapport 2022, le projet Hinkley Point C (HPC) doit saisir l'opportunité de participer à la phase de démarrage de FLA3. Les équipes du site y sont prêtes. Cet investissement sera naturellement rentabilisé.

L'articulation de l'exploitant avec les équipes de construction, de montage et d'essai des futurs projets français et britanniques doit s'inspirer de la démarche ONE Fla3. Bien que tardive, elle a eu la vertu de fédérer tous les acteurs autour d'un objectif commun en renforçant le positionnement du futur propriétaire exploitant. Les processus de transfert (pour consignation, maintenance et exploitation des équipements, systèmes et locaux) utilisés à FLA3 étaient les mêmes que ceux des démarrages des précédents paliers. Ce retour d'expérience doit servir le projet EPR2.

Dans les chantiers de réacteurs neufs, avant le passage au stade d'installation nucléaire, il me paraît indispensable, au titre de la protection du patrimoine industriel, de porter, dès le début de la construction, une plus grande attention au risque incendie que ce ne fut le cas à FLA3.

### Penly, premier site EPR2

Le site de Penly permet d'accueillir quatre réacteurs de forte puissance, deux 1 300 MWe en exploitation et deux EPR2.

Le projet EPR2 bénéficie du soutien des collectivités territoriales. Il minimise l'empreinte sur la biodiversité terrestre et maritime par une implantation sur une parcelle déjà artificialisée et un impact foncier optimisé. Il répond aux dix critères techniques recommandés par l'AIEA : foncier, urbanisme, source froide, nature des sols, risques externes tels que séisme et inondation, sensibilité environnementale incluant le volet rejets d'une installation industrielle, liaison et implantation dans le réseau électrique.

## HPC, début du MEH

Au Royaume-Uni, un jalon important a été franchi le 15 décembre 2023 avec la pose du dôme du réacteur n°1 de l'EPR de Hinkley Point C (HPC). Le projet opérera en 2024 un virage d'ampleur avec la montée en puissance des montages électromécaniques (MEH) qui nécessitent une bonne coordination et une grande qualité d'installation. La nature des risques de sécurité au travail évolue avec la multiplication des coactivités (cf. chapitre 3). Le projet devra coordonner les montages des premières tuyauteries dont les approvisionnements accusent du retard. Il devra aussi veiller à la bonne articulation entre une logique de productivité (montage en masse) et le pilotage par jalons en lien avec les travaux de génie civil. La tenue des cadences prévues, très ambitieuses au regard des chantiers précédents, devra être assurée sans compromis sur la qualité.

En comparaison des autres projets EPR, HPC dispose d'un bon degré de maturité du *design* du MEH. Mi-2023, 90 % du *detailed design* est disponible et permet d'engager la production des plans d'exécution. Je note que le processus qualité de fourniture des équipements est robuste. Des retours fournisseurs restent cependant attendus pour terminer des études du *detailed design* et des plans d'exécution. Le programme de qualification d'équipements confié à certains fournisseurs mérite aussi une attention particulière.

La stratégie de constitution des équipes d'essai (*commissioning*) est bien orientée, de sorte à faire bénéficier le futur exploitant de l'expérience acquise. Le niveau de recrutement et l'effectif cible des équipes de maintenance me semblent en retrait, ce dernier étant dimensionné à date comme celui de FLA3 alors que le site comptera deux nouveaux réacteurs et 20 % de matériels en plus par réacteur. Conscient de cette problématique le projet HPC travaille à la réévaluation de l'effectif cible de la maintenance en s'intercomparant avec les organisations de SZB, OL3 et FLA3.

L'expérience du projet HPC doit bénéficier au projet EPR2 dans tous les domaines : *design*, méthodes de construction du génie civil, montages électromécaniques, *supply chain*, savoir-faire en matière de *commissioning*, modèle d'exploitation, méthodes de planification, outils de pilotage, etc.



Pose dôme HPC



Chantier à Hinkley Point C - Construction du réacteur n°2

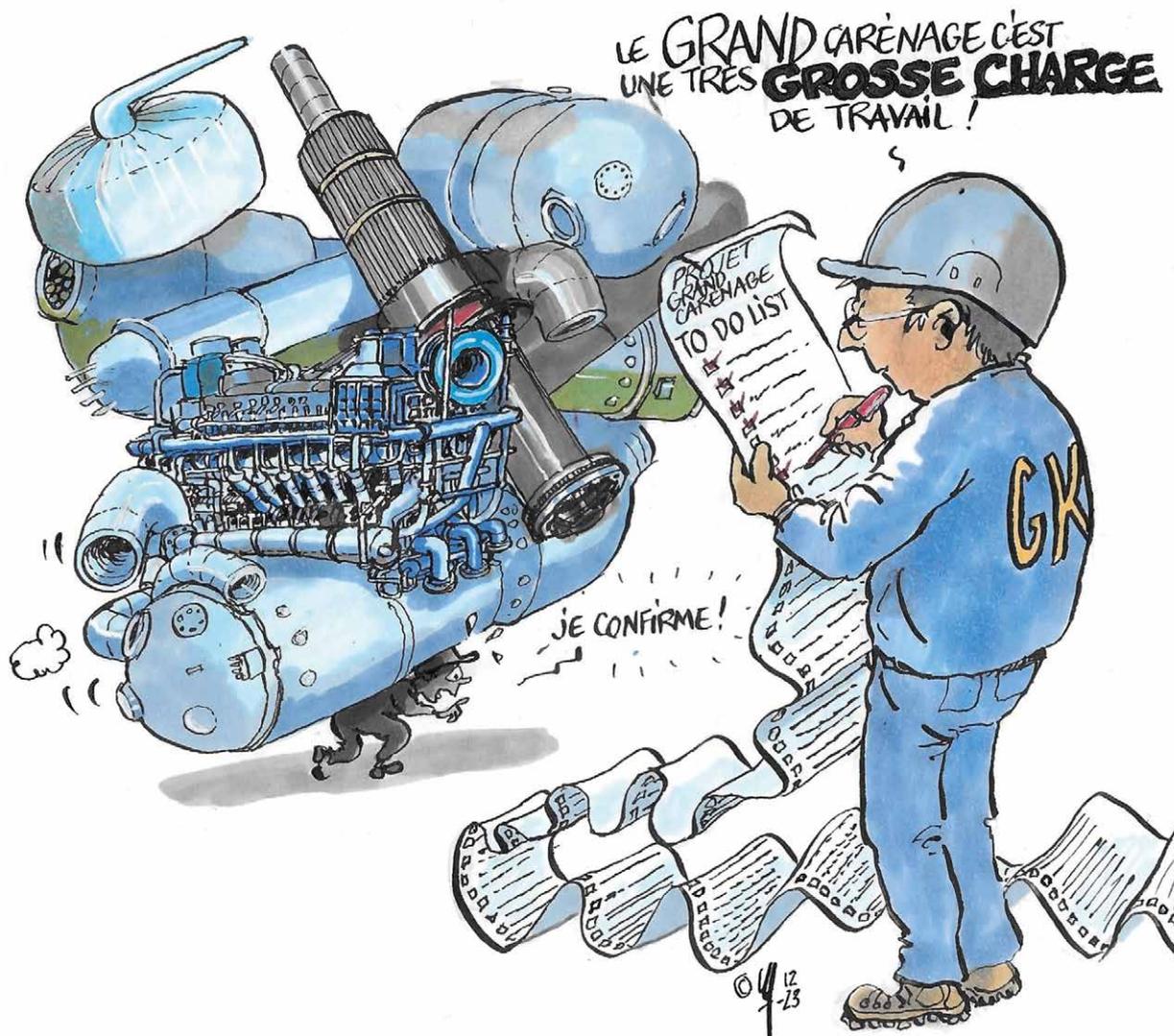
## Sizewell C : répliquer HPC

Le projet d'EPR Sizewell C est résolument orienté vers la réplication d'HPC. Ce choix est à tenir dans la durée. L'ONR (*Office for Nuclear Regulation*) soutient formellement ce principe, gage d'efficacité, de qualité et finalement de sûreté. La réplication passe par le transfert du *detailed design* et des plans d'exécution. Relevant de sociétés distinctes, les risques d'écarts devront être maîtrisés tout au long du projet. L'environnement, la géologie et le plan-masse lié aux spécificités du site et à la proximité du REP Sizewell B nécessitent des adaptations qui ne doivent pas remettre en cause le principe de réplication. Les évolutions réglementaires dans les domaines incendie et ALARA requerront des dossiers de justification. Enfin, l'accélération du planning de construction ne doit pas conduire à prendre des options qui remettraient en cause le *design*.

## RECOMMANDATIONS

**En vue d'un design sûr et aussi simple que possible de l'EPR2, je recommande au directeur de la DIPNN, en relation avec l'ASN, de veiller à ne pas additionner à l'excès les conservatismes de dimensionnement et les parades d'exploitation.**

**Pour bénéficier à plein du retour d'expérience du parc en exploitation et des projets EPR, je recommande aux directeurs de la DPNT et de la DIPNN d'intégrer davantage l'exploitant dans les équipes d'ingénierie chargées du *detailed design* de l'EPR2.**



Les 56 réacteurs du parc nucléaire français n'ont pas de limite d'âge technique ou réglementaire.

Le programme Grand Carénage a été lancé en 2015. Cet investissement financier et humain vise à prolonger la durée de fonctionnement du parc nucléaire en exploitation au-delà de 40 ans.

Au Royaume-Uni, Sizewell B lance le programme Durée de fonctionnement (Long Term Operation) pour prolonger l'exploitation *a minima* jusqu'en 2055.

# Grand Carénage, un programme très chargé

05

Le Groupe EDF a lancé un programme d'investissement d'envergure pour prolonger la durée de fonctionnement de son parc en exploitation au-delà de 40 ans, avec l'ambition d'être une référence mondiale en termes de sûreté. Ce programme a un caractère exceptionnel par le volume et la complexité de ses travaux qui s'échelonnent sur plus d'une décennie. Il mobilise les CNPE, les ingénieries et l'ensemble des partenaires industriels. Les modifications sont réalisées lors des 4<sup>es</sup> visites décennales (VD4) de chaque réacteur des paliers 900 et 1 300 MWe et lors des 3<sup>es</sup> visites décennales pour le palier 1 450 MWe.

De manière similaire, EDF Energy lance le programme *Long Term Operation* (LTO) du REP de Sizewell B, en visant une exploitation *a minima* jusqu'en 2055.

Framatome a réalisé des investissements importants pour moderniser son site de fabrication d'assemblages de combustible de Romans-sur-Isère.

En France, la durée de fonctionnement d'un réacteur nucléaire n'est pas définie *a priori*. L'exploitant réalise tous les dix ans un réexamen périodique de sûreté (RP) pour vérifier la conformité de l'installation aux règles applicables et actualiser l'appréciation des risques pour la sûreté. La réévaluation de sûreté tient compte de l'état de l'installation, de l'expérience acquise durant l'exploitation, de l'évolution des technologies, des standards et des connaissances, dont celles sur le changement climatique et ses effets : 60 % des modifications sont réalisées lors des visites décennales (VD). Afin de lisser la charge de travail des VD4, des lots supplémentaires de modifications complètent le lot initial et sont programmés pendant les arrêts suivants.

## GRAND CARÉNAGE EN CHEF D'ORCHESTRE

Le programme Grand Carénage (GK) poursuit trois objectifs :

- prolonger la durée de fonctionnement des réacteurs en garantissant leur conformité au référentiel applicable et en réalisant des modifications qui renforcent leur sûreté ;
- permettre au parc en exploitation d'atteindre ses objectifs de production en toute sûreté ;
- sécuriser et optimiser la trajectoire financière des investissements.

Le GK a réussi à fédérer l'ensemble des acteurs autour des préparations modulaires des arrêts de réacteur. Des diesels d'ultime secours (DUS) ont été mis en place et le déploiement des sources d'eau ultime est en phase finale sur chaque site. Malgré les perturbations de la crise

sanitaire puis de la corrosion sous contrainte, le GK a maintenu son programme de déploiement.

Bien que ce bilan soit très positif, la charge de travail ne cesse de se densifier. Les dossiers de modification des premiers réacteurs ne sont pas livrés conformément aux canons de la préparation modulaire des arrêts. Les derniers remplacements de générateurs de vapeur (RGV) n'ont pas été maîtrisés : Framatome et la direction de projet ont engagé un plan d'action pour remettre sous contrôle cette activité. Les prochains RGV devront disposer d'un planning fiable, de compétences chantier à tous les niveaux de sous-traitance et d'une organisation renforcée, en préparation et en réalisation.

La disponibilité des pièces de rechange et la mise à jour de la documentation et des bases de données doivent encore progresser sur les sites têtes de série (TTS). Les formations, spécifiques à chaque modification, manquent encore d'intégration et n'apportent pas aux exploitants une vision d'ensemble. Le retour d'expérience des modifications doit aussi être amélioré.

Le programme GK inclut un large volet d'investissement patrimonial, fondamental pour garantir la prolongation de fonctionnement. J'accorderai une attention particulière à sa préservation.

## UNE VD4 900 RICHE D'ENSEIGNEMENTS

### Les réussites du projet VD4 900

Le 4<sup>e</sup> réexamen périodique (RP4) des 32 réacteurs du palier 900 MWe a conduit à un programme de modifications inédit des installations. La charge de travail est cinq fois supérieure à celle des VD3. Le renforcement de la défense en profondeur, dont le noyau dur post-Fukushima Daiichi, constitue une substantielle avancée de sûreté. La réalisation en 2019 de la tête de série VD4 du palier CPY (28 réacteurs) à Tricastin a été une réussite. Bugey, avec ses spécificités du palier CP0, a su intégrer avec succès le retour d'expérience de sa première VD4. Le déploiement des VD4 900 se poursuit sans recrudescence d'événements significatifs.

### Les enseignements du RP4 900

Au-delà des réussites du projet VD4 900, des enseignements doivent être tirés en vue des autres réexamens de sûreté. Le RP4 900 avait débuté tard. Les organisations ont dû être adaptées pour respecter



les échéances de la TTS. Les dossiers de modification ont été livrés tardivement. Le programme de modifications, trop important, impose une intégration en trois phases. Entre deux VD, les équipes vivent un régime permanent de modifications des équipements et des référentiels d'exploitation. Ce régime n'est pas favorable à une bonne appropriation des installations et conduit à une saturation des organisations. La RP4 900 a donné lieu à de très nombreuses prescriptions techniques qui n'ont pu être anticipées du fait de leur parution tardive. Certaines modifications liées au risque tornade sont à reprendre, à quelques années d'intervalle, pour intégrer de nouvelles exigences.

### Des points de vigilance

Le projet VD4 900 doit à présent relever plusieurs défis. Dans un contexte de forte charge de travail, il faut conserver la cadence de déploiement sur l'ensemble du palier. La qualité de réalisation ne devra pas souffrir du rythme soutenu de livraison des équipements et de l'entrée de nouveaux prestataires. Il faudra également savoir clore le projet en renonçant à des modifications dont l'idée pourrait tardivement voir le jour.



La maquette numérique développée par les équipes de la DIPDE

J'apprécie les initiatives de la DIPDE (Division de l'ingénierie du parc et de l'environnement) pour améliorer ses méthodes de travail, comme l'industrialisation des dossiers de modification par le projet NOM'ING et le développement d'une maquette numérique hybride. Celle-ci ne saurait remplacer la présence des équipes sur le terrain.

En anticipation des arrêts, les modifications sont réalisées à 70 % réacteur en fonctionnement (TEM), ce qui complexifie l'exploitation et accroît la charge de travail des opérateurs en salle de commande, notamment la gestion de nombreuses inhibitions de capteurs incendie peu favorable à la sérénité. Les dérogations aux spécifications techniques d'exploitation (STE) ont augmenté. Le planning d'activité s'est alourdi et sa fiabilité s'est dégradée. Les cumuls d'événements compliquent la programmation des automaticiens qui doivent réaliser des activités normales en horaires décalés. J'attends que les constats de l'étude FOH (facteurs organisationnels et humains) menée à Tricastin soient pris en compte.

Le passage aux référentiels VD4 n'est pas neutre non plus pour les plans de chargement du combustible. Les dossiers de sûreté des recharges nécessitent des moyens de calcul significativement plus lourds et, dans 25 % des cas, des reprises du plan de chargement (cf. chapitre 7).

### La maquette numérique hybride

La MNH est un dispositif numérique léger qui met à disposition des plans d'installation en 3D. Elle couple des scans 3D des installations avec des photos permettant de donner du relief aux plans d'installation avec un degré de précision au 10<sup>e</sup> de mm. Disponible pour chaque tête de série des paliers CP0, CPY, P4 et P'4, elle est en cours de constitution pour le palier N4. Utilisée en complément des enquêtes de site, la MNH assiste la DIPDE, le CNEPE (Centre national d'équipement de production d'électricité) et leurs bureaux d'études partenaires en phase de développement des modifications. Elle est aussi utilisée par l'UFPI et l'exploitant.

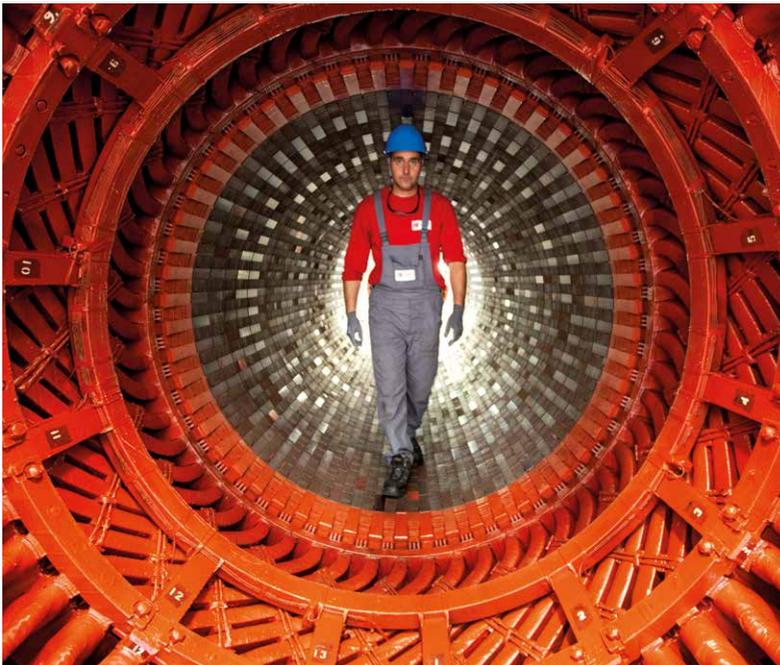
### RP4 1 300 ET RP3 N4 : TIRER LES LEÇONS DU 900

#### RP4 1 300, une charge de travail inédite

Le RP4 (4<sup>e</sup> réexamen périodique de sûreté) du palier 1 300 MWe ambitionne une amélioration de sûreté au moins équivalente à celle des RP4 900. EDF a mieux anticipé les VD4 1 300 en comparaison des VD4 900 dont le programme avait été impacté par les enseignements de l'accident de Fukushima Daiichi.

La première année de déploiement (2026) sera exceptionnellement chargée. EDF fait face à un challenge inédit avec un déploiement sur

25 % du palier 1 300 MWe en deux ans alors que plus d'un an avait été ménagé entre la TTS (Tricastin 1) et la VD4 du deuxième réacteur (Dampierre 1) du palier 900 MWe CPY. Une organisation devra être mise en place pour capitaliser de façon réactive le retour d'expérience des premières réalisations. La charge de travail est hors norme à Paluel qui réalisera en 18 mois deux VD4, dont la TTS du palier, un RGV et des remplacements de coudes du circuit primaire. Saint-Alban se prépare aussi à un programme industriel d'ampleur. De 2027 à 2029, le site réalisera deux VD, un RGV ainsi que la TTS du lot B. Si toutes les dispositions organisationnelles semblent prises, ces sites pourraient être mis en difficulté et je suggère de renforcer l'appui prévu.



Visite d'alternateur à Bugey

### Une gouvernance de projet renforcée

La gouvernance des réexamens de sûreté des installations s'est structurée depuis 2021 entre EDF et l'ASN (Autorité de sûreté nucléaire). Le retour d'expérience du RP4 du palier 900 MWe a été mis à profit. Les modifications seront limitées à deux lots et non plus trois et les évolutions documentaires calées sur les lots et non plus sur un échéancier calendaire. Le périmètre du premier lot de modifications a été validé par l'ASN à l'été 2023. Je considère nécessaire de contenir le volume du second lot et aussi d'éviter les modifications qui n'apporteraient que de trop faibles gains de sûreté. L'avis générique

de l'ASN sur le programme VD4 1 300 sera rendu six mois avant la réalisation de la TTS de Paluel alors qu'il avait été rendu après la VD4 de Tricastin, TTS du palier 900 MWe.

Dans un souci d'efficacité, le projet associe les sites dès la conception pour orienter au mieux les choix techniques. Des plateaux de travail collaboratifs regroupent l'ingénierie de la DIPDE et les trois sites TTS Paluel, Cattenom et Saint-Alban. Ils fonctionnent déjà en régime nominal. Les Jeudis de la VD4 complètent le dispositif, cadencent le projet et apportent une vision d'ensemble très appréciée.

Néanmoins les premiers dossiers de modifications seront livrés trop peu de temps avant les TTS. Pour pallier ce retard, les sites n'auront d'autre choix que de renforcer leur préparation d'arrêts et la coordination des activités à réaliser, réacteur en fonctionnement. L'accompagnement par la DIPDE des sites TTS devra être adapté en conséquence et prendre en compte l'éloignement géographique.

### Les défis du projet

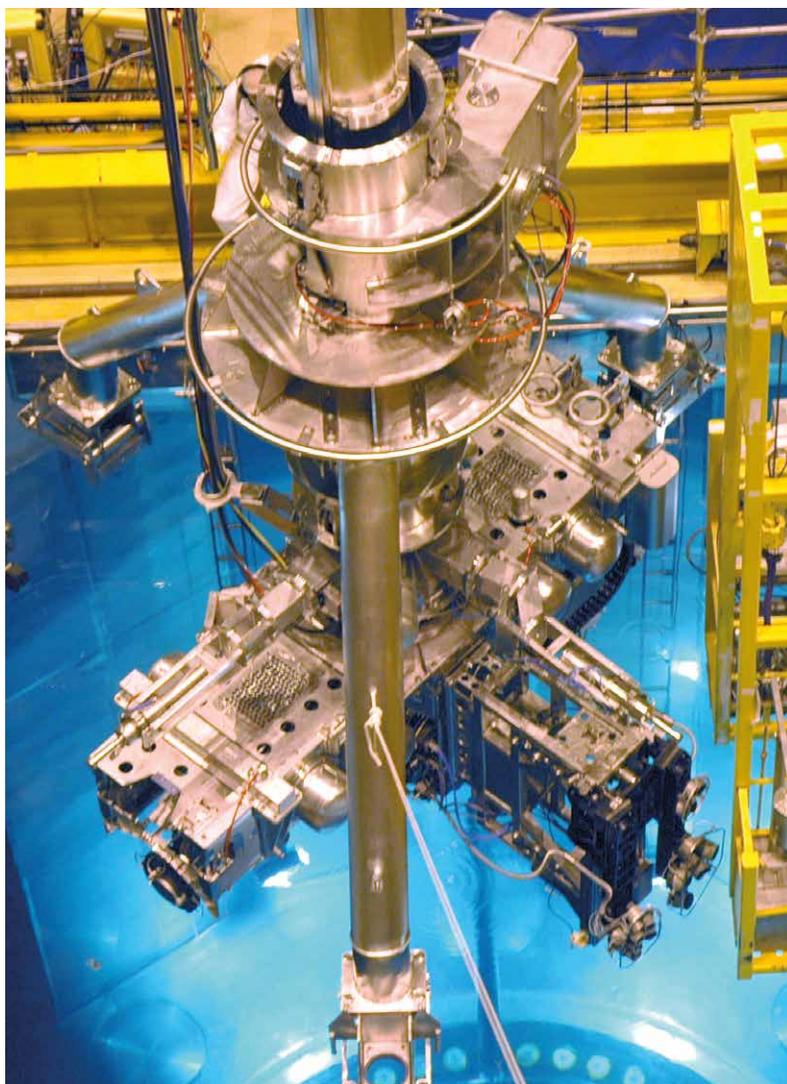
Les défis à relever par les ingénieries du Groupe (DIPDE, CNEPE et DT) sont multiples. Il faut d'abord tendre vers « le juste nécessaire ». Je réitère ma recommandation de 2022 quant à la nécessité de réduire, avec l'ASN, la liste des modifications considérées pour les VD4 1 300 et les VD3 du palier N4, au regard des bénéfices de sûreté escomptés. Les études devront être pilotées de manière rapprochée pour tenir les échéances. Des palliatifs devront être trouvés pour compenser les ressources d'ingénierie qui n'ont pu être redéployées du projet VD4 900 vers le projet VD4 1 300, du fait d'une charge de travail très soutenue. Les cahiers des charges destinés aux partenaires industriels devront être émis au plus tôt afin de les associer dans la séquence d'ingénierie. Ils pourront ainsi contribuer à la définition des solutions techniques et anticiper les approvisionnements sensibles de la chaudronnerie et des câblages. Enfin, la cascade de sous-traitance devra être scrupuleusement suivie sous l'angle de la qualité et de l'échéancier de livraison des équipements.

### ECOT, l'examen de conformité des tranches

L'ECOT contribue à démontrer que les réacteurs sont conformes à leur état de référence. La démonstration est apportée par des contrôles spécifiques *in situ* des ouvrages et des équipements, ainsi que par la vérification de la déclinaison du référentiel documentaire applicable. Méthodique et sélective, l'approche repose sur la prise en compte des exigences réglementaires dans les documents de référence et opérationnels du site, et sur des vérifications par sondage. Objectif : permettre à l'exploitant de s'engager sur la conformité de son installation et formaliser cet engagement sur la base d'éléments tangibles et vérifiables.

## Anticipation pour la VD3 N4

Le projet VD3 du palier N4 a été lancé en 2021 dans une logique d'alignement « 4 4 3 » avec les VD4 900 et les VD4 1 300. Le palier N4 bénéficiera des dernières modifications de sûreté dès les VD3, sans attendre l'échéance du 4<sup>e</sup> réexamen de sûreté. La TTS est programmée en 2029 à Chooz, sur la base des modifications du palier 1 300 MWe prises en référence. Les bilans de puissance des diesels d'ultime secours méritent une attention particulière.



Contrôle MIS (machine d'inspection en service) d'une cuve réacteur de Paluel

## DURÉE DE FONCTIONNEMENT : SE CONCENTRER SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les modifications des VD s'inscrivent dans une approche d'amélioration de sûreté incrémentale de nos installations, avec un incrément très significatif en VD4 pour les rapprocher des standards les plus élevés de l'EPR. L'accent devra porter désormais sur la qualité d'exploitation et l'investissement patrimonial. Le périmètre des VD5 devra se limiter à l'examen de conformité et au changement climatique (cf. chapitre 6). Le maintien de la qualification aux conditions accidentelles (MQCA) pour le passage des 50 ans concerne principalement les matériels électriques auxquels il faudra consacrer les moyens nécessaires. Le projet VD5 devra être rapidement gréé en ressources et compétences.

Les défis techniques relatifs à la durée de fonctionnement concernent principalement les cuves, les coudes moulés du circuit primaire et les enceintes. Je note avec satisfaction que le dossier ségrégation carbone est en cours de clôture. Je salue aussi l'initiative conjointe de l'ASN et d'EDF d'anticiper l'instruction du dossier durée de fonctionnement du parc en exploitation.

Quatre cuves du palier 900 MWe nécessitent des justifications particulières. Les enceintes de confinement de trois sites (deux 1 300 MWe et un N4) méritent un traitement spécifique. Pour les coudes moulés des circuits primaires, des pistes alternatives à la justification par calcul sont explorées. Le cas particulier du risque sismique du site de Cruas (suite du séisme du Teil) devra être analysé avec pragmatisme, en veillant à traiter les scénarios les plus extrêmes avec des méthodes adaptées.

EDF R&D a lancé en 2019 une démarche pour identifier les verrous techniques à une exploitation de long terme. Des comparaisons sont en particulier réalisées avec les États-Unis qui ont déjà octroyé des extensions de licence d'exploitation à 80 ans, les 60 ans étant acquis pour les réacteurs qui en ont fait la demande. Cette initiative tend à favoriser une approche plus patrimoniale que réglementaire. A titre d'exemple, des travaux sur les méthodes d'analyse mécanique sont lancés par la R&D d'EDF pour évaluer les marges sur les durées de vie des cuves par des méthodes d'analyse numérique à l'état de l'art. Une modification pour chauffer l'eau du circuit d'injection de sécurité permettrait également de dégager des marges dans le domaine de la rupture fragile des cuves.

La comparaison avec les pratiques internationales doit également aider à trouver des solutions réalistes. EDF a organisé en septembre 2023 un symposium, regroupant les principaux acteurs nucléaires mondiaux, sur le thème de la durée de fonctionnement. Il en est ressorti qu'aucun n'identifie de verrou rédhibitoire à une poursuite d'exploitation au-delà de 60 ans. En France, nos méthodes

sont, dans certains cas, extrêmement pénalisantes par rapport aux pratiques internationales.

De plus, au regard du retour d'expérience, il faut ajuster le programme d'inspection exploratoire pour suivre le comportement des matériaux et des équipements dans certaines zones où l'on ne redoute pas de défauts *a priori*.

### Vercors, maquette des bâtiments réacteurs

Vercors est un bâtiment réacteur (BR) type P4 à l'échelle 1/3. Cette maquette permet d'anticiper les évolutions (fluage, évolution de défauts, diffusion de l'eau du béton) d'un BR dont l'état de finition est représentatif des réacteurs d'EDF. Le temps est accéléré d'un facteur 9.

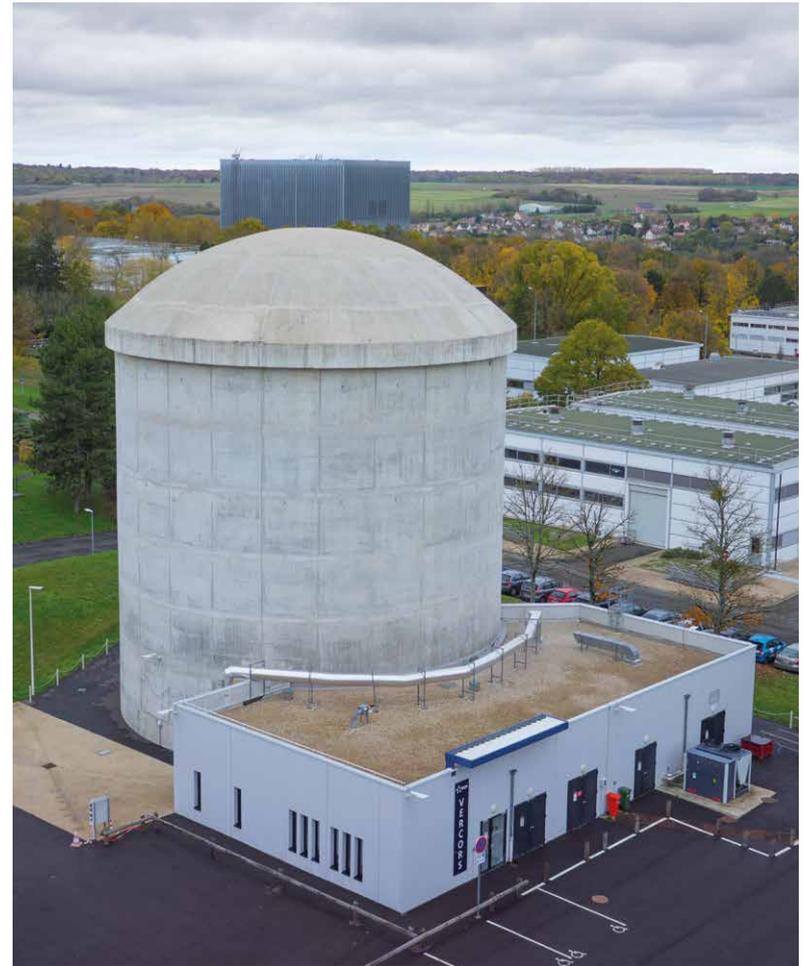
Vercors représente aujourd'hui un BR qui aurait environ 70 ans. Ses critères de taux de fuite de l'enceinte restent respectés. Ses évolutions dimensionnelles et son taux de fuite tendent à se stabiliser dans le temps. Aucun point de faiblesse particulier n'est à noter que ce soit sur la précontrainte ou sur l'apparition de zones de fuites singulières, notamment au niveau du radier, de la couronne supérieure, des traversées ou du tampon matériel.

## DÉVELOPPER LA CULTURE DU « JUSTE NÉCESSAIRE »

L'ingénierie du parc en exploitation (DIPDE), confrontée à un volume de travail très important, croît en effectifs chaque année et sous-traite plus qu'à l'accoutumée pour suivre la cadence. Trop détaillés et prescriptifs, les référentiels applicables aux modifications des installations sont très contraignants. Le délai minimal de déploiement des modifications entre la décision de réalisation sur les bases d'un *basic design* et la première mise en œuvre est de trois ans. Ce délai contraint les calendriers imposés et déjà tendus.

La charge de travail ne cesse de s'accumuler. Le déploiement des VD4 900 bat son plein avec un volume d'activité qui diminue moins vite que prévu avec les lots B et B complémentaire. Pour le palier 1 300 MWe, alors que les instructions des RP3 ne sont pas définitivement closes, le programme d'ingénierie du RP4 est lancé à plein régime avec un déploiement des modifications dès 2026. Le RP3 du palier 1 450 MWe et le RP5 du palier 900 MWe vont prochainement se rajouter. L'effet d'empilement doit être maîtrisé pour rendre soutenable la charge de travail de toutes les parties prenantes : ingénierie EDF, exploitant, partenaires industriels, ASN et IRSN. Dans la continuité de ma recommandation de 2022, je préconise de développer, en lien avec l'ASN, une culture du « juste nécessaire » et d'utiliser la méthode de « pesage des enjeux sûreté » pour hiérarchiser et prioriser les modifications et aussi renoncer à celles qui n'apportent que des

gains de sûreté marginaux. François Roussely préconisait dès 2010 que « *la seule logique raisonnable ne peut pas être une croissance continue des exigences de sûreté* » [...] et qu'il fallait « *associer au mieux exigences de sûreté et contraintes économiques, en incluant une vision internationale, a minima européenne* ».



Maquette Vercors

Le programme industriel des sites en exploitation s'est fortement densifié ces dernières années. Le volume des RP4 avec son cortège de modifications nous a éloignés de l'approche historique de « saut durant les visites décennales » pour tendre vers un régime de modifications en continu. Les sites à quatre et six réacteurs du palier 900 MWe enchaînent les modifications en permanence, sans atteindre d'état homogène et stabilisé avant de réenchaîner avec le RP5.

A cela se sont ajoutées la pandémie puis la corrosion sous contrainte. La programmation des arrêts a atteint un niveau d'instabilité trop important pour le déroulement serein d'un programme industriel d'une telle ampleur. Le contexte s'est tellement complexifié que les tranches avec un cycle combustible de 18 mois ne peuvent plus bénéficier de temps de pause avec des arrêts pour simple rechargement.

Je salue les initiatives communes d'EDF et de l'ASN pour maîtriser et alléger la charge de travail des réexamens périodiques. Une

vision pluriannuelle permet d'identifier les zones de congestion. Un pilotage entre EDF et l'ASN aide à arbitrer et à mieux faire avancer les dossiers. Enfin, le groupe de travail Maîtrise de la charge a permis d'optimiser l'instruction de certaines demandes de l'ASN. Pour le RP4 1 300, EDF a aussi proposé de simplifier les instructions des études des modifications similaires à celles du palier 900 MWe, en fonctionnant sur la base d'avis d'expert et par transposition des conclusions d'études déjà réalisées.



CNPE de Paluel tête de série VD4 1 300

## SIZEWELL B : CAP SUR 60+ ANS

Le REP (réacteur à eau sous pression) Sizewell B, fleuron de la flotte d'EDF Energy, a été mis en service en 1995. Il bénéficie d'une conception très robuste. Certaines études du rapport de sûreté ont été réalisées pour 40 ans, le site a donc engagé le programme LTO (*Long Term Operation*). Les investissements s'échelonnent sur une dizaine d'années en visant 60 ans d'exploitation ou plus. Les sites américains de Callaway et de Wolf Creek, homologues de Sizewell B, ont déjà obtenu une extension de leur licence d'exploitation à 60 ans.

Le site, avec l'appui de *Nuclear Operations*, a structuré le projet LTO dont le périmètre est en cours de définition. Je m'assurerai que les modalités de financement n'influenceront pas les choix de sûreté et n'impacteront pas leur bonne exécution. J'ai noté que l'Autorité de sûreté britannique (ONR) était associée à la définition du programme. Les ressources et compétences pour mener à bien ce projet représentent un enjeu majeur. Une organisation spécifique a été créée, les recrutements d'ingénierie ont été lancés par le site et par la *Joint Technical Organisation*. La capacité du site, du *Corporate* et des industriels à respecter les jalons demeure le principal défi. Je salue l'initiative de programmer d'ici à 2030 une mission d'accompagnement de la démarche par l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), baptisée SALTO.

Les sites voisins de Sizewell B et C partagent des enjeux communs de sûreté dont les modalités de traitement devront être cohérentes.

Le risque d'éjection d'ailette de turbine et les hypothèses d'inondation devront être travaillés de concert.

Pour le parc des réacteurs AGR, les dates de fin d'exploitation restent inchangées, à l'exception de celles de Heysham 1 et de Hartlepool maintenant prévues en 2026 ±1 an. Le programme d'investissement de ces deux sites a été révisé en conséquence et doit être exécuté.



## SALTO

L'AIEA propose aux États membres des missions SALTO (*Safety Aspects of Long Term Operation*) : un examen de sûreté complet qui porte directement sur la stratégie et les éléments essentiels à la sûreté de l'exploitation à long terme des centrales nucléaires. L'évaluation des programmes et de la performance est effectuée sur la base des normes de sûreté et d'autres documents d'orientation de l'AIEA. Les missions sont menées par des pairs qui en vérifient le respect et rédigent, le cas échéant, des recommandations. Ces missions permettent aussi au personnel de la centrale de partager leurs pratiques de travail avec des experts, elles renforcent la confiance du public et procurent une aide dans la procédure de renouvellement ou d'extension d'autorisation d'exploitation.

## 3<sup>E</sup> RÉEXAMEN DE SÛRETÉ DE ROMANS-SUR-ISÈRE

L'usine de fabrication de combustible de Romans-sur-Isère a transmis à l'ASN, en 2023, son dossier de 3<sup>e</sup> réexamen de sûreté. Les travaux qui en découleront et la résorption des écarts de conformité devront être soldés fin 2025.

Les principales mises à niveau des installations ont déjà été réalisées dans le cadre du précédent réexamen de sûreté et du post-Fukushima Daiichi. Elles ont notamment conduit à créer de nouvelles installations de fabrication de combustible de réacteurs de recherche qui seront mises en service courant 2024.

Compte tenu de la nature des activités industrielles du site, de sa situation géographique et des investissements déjà réalisés, le changement climatique ne devrait pas conduire à de nouvelles modifications ces prochaines années.

## RECOMMANDATION

La stabilité des programmes des réexamens périodiques RP4 1 300 et RP5 900 étant une condition essentielle de réussite, je recommande aux directeurs de la DPNT et de la DIPNN de travailler avec l'ASN pour définir les modalités d'instruction afin de maîtriser les différentes séquences d'un réexamen, notamment en figeant les hypothèses et méthodes, au plus tard au moment de la revue « corps d'hypothèses ».



**Moyens de la lutte contre le changement climatique, les réacteurs nucléaires doivent aussi s'y adapter.**

**Les aléas naturels occupent une place croissante dans la sûreté, par leurs conséquences potentielles et par les incertitudes inhérentes aux sciences de la nature.**

**Une réelle prise de conscience s'opère, mobilisant une considérable expertise développée par le Groupe au fil des décennies : il convient de l'employer toujours plus efficacement.**

*Centrale de Bugey*

# Les réacteurs s'adaptent au changement climatique

06

Sommaire

01

02

03

04

05

06

07

08

09

Annexes

Abréviations

## LES ALÉAS NATURELS FORMENT UNE PART CROISSANTE DE LA SÛRETÉ

Les centrales nucléaires furent dès l'origine conçues pour résister aux agressions externes (séisme, crue, rupture de barrage, marées et tempêtes). Depuis, les aléas naturels occupent une place croissante dans la sûreté, résultant de l'évolution des connaissances, des études de sûreté mais aussi de l'expérience : prise en glace de la station de pompage (Saint-Laurent), arrivée massive de colmatants dans les filtres (Paluel, Blayais, Cruas, Torness), inondation à Blayais en 1999, etc., jusqu'au raz de marée ayant frappé Fukushima Daiichi. L'histoire montre que la nature peut nous surprendre. Les incertitudes, caractéristiques de l'évaluation des aléas naturels, imposent de prendre des marges.

### Des renforcements réussis

Des modifications importantes jalonnent la vie des deux parcs : rehaussement de digues en France et au Royaume-Uni ; protection des îlots nucléaires contre les pluies de forte intensité ; batardeaux mobiles ; dopage d'échangeurs ; réfection de sources froides ; plans grands froids, ventilation et grands chauds ; ajout de groupes froids ; protection contre les grands vents ; systèmes de prévention du frasil, etc.

Les référentiels d'agression sont revus, site par site, à chaque réexamen périodique de sûreté. De grands événements dictent des évolutions de doctrine et des modifications, comme l'inondation du



Épisode de pluie extrême en France

Blayais ou l'accident de Fukushima Daiichi (un pan des évaluations complémentaires de sûreté portait sur la robustesse des installations à des agressions naturelles extrêmes). Les marges vis-à-vis des aléas climatiques sont vérifiées tous les cinq ans. Une *analyse ad hoc* est réalisée en cas d'événement exceptionnel.

Les évaluations post-Fukushima et les nouveaux référentiels de l'association des autorités de sûreté européennes WENRA (*Western European Nuclear Regulators Association*) ont fait évoluer la doctrine en considérant des aléas plus extrêmes et plus rares. Ainsi, on recherche des niveaux d'aléas climatiques et de crues correspondant à des périodes de retour de 10 000 ans. Cela est bénéfique à la sûreté.

Il reste à mes yeux à mieux définir certaines règles d'études : les aléas de faible probabilité (par exemple de période de retour de 10 000 ans) doivent-ils être cumulés aux accidents hypothétiques ? S'il paraît nécessaire de cumuler une chaleur extrême à une perte totale du réseau électrique externe, qui peuvent être liées, sans doute ne l'est-il pas de cumuler à un transitoire de 4<sup>e</sup> catégorie.

Le changement climatique va naturellement modifier les référentiels (*cf. infra*).

### Une prise en compte plus incarnée

S'il reste des cas où la motivation première des études paraît défensive, répondre à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), je retire de mes entretiens un sentiment de meilleure appropriation du domaine des agressions par les ingénieries centrales. Le programme ADAPT d'adaptation au changement climatique lancé par la direction de la DPNT (Direction du parc nucléaire et thermique) joue un rôle de catalyseur. La perception par chacun des sujets climatiques, illustrés par l'expérience et abondamment relayés par les médias, contribue aussi à une prise de conscience. Quelques aberrations (emploi de décimales dans les températures projetées à 30 ans, par exemple 45,7°C, ou certaines protections grand vent), rappellent qu'il faut aller sur le terrain avant de concevoir des modifications et veiller au sens de l'ingénieur.

Dans les CNPE que j'ai visités, l'appropriation est globalement meilleure. J'ai vu certaines ingénieries de sites très convaincues et actives. Dans d'autres sites, des référents de la conduite hors quart pilotent avec compétence la surveillance des températures du fleuve, préparent les réponses opérationnelles et se coordonnent avec EDF Hydro et les sites

voisins. Des revues sont organisées plusieurs mois avant l'été pour être prêt à faire face à des pics de chaleur. J'observe aussi un plus grand investissement dans la source froide (cf. chapitre 2). Les renforcements des installations contribuent à un progrès sensible de la protection et de la sûreté des CNPE et aussi à cette appropriation. Toutefois, la prise en main et l'organisation de ce domaine varient encore trop d'un site à l'autre. L'exploitation doit donner toute sa place à la connaissance et à l'intégration des conditions climatiques.

### Colmatage par des feuilles mortes

Une arrivée massive de feuilles mortes lors de fortes pluies a obstrué une tuyauterie du système de nettoyage des grilles de filtration de la station de pompage. Ce colmatage a provoqué la montée du niveau d'eau dans un déversoir de rejet, conduisant à l'inondation interne de galeries en station de pompage, sans incidence sur la sûreté. Les moyens de pompage de la FARN et des pompiers ont été mobilisés en complément de ceux du site. L'analyse devra en tirer toutes les conséquences.

Les RASA (recueils des matériels et exigences contribuant à la protection contre les agressions) suscitent un accueil contrasté, et même une certaine passion. Considérés par certains comme l'exemple de complexification des Règles générales d'exploitation RGE (10 000 EIPS RASA, équipements importants pour la sûreté), voire qualifiés de monstrueux, ils sont reconnus par d'autres comme un progrès de la sensibilisation et de la rigueur. Leur principe est peu contestable : rappeler les matériels participant à la protection contre les agressions et appliquer les exigences existantes associées. En revanche, il faut se garder d'en calquer l'application sur celles des spécifications techniques d'exploitation STE (cumuls, délais de repli, multiplication des équipements et activités classés importants pour la sûreté, etc.), au risque de les transformer en machine bureaucratique. L'objectif est que ces matériels soient connus, que l'on s'en occupe avec attention et que quelqu'un s'en sente propriétaire et responsable.

### De remarquables compétences mais une organisation éclatée et complexe

Ayant visité les équipes d'experts du domaine (R&D, LNHE, DTG, DT, CNEPE, DIPDE, UNIE, CTO), je peux affirmer que les compétences du Groupe sont de premier plan. Elles se sont construites depuis des décennies et, en plus d'une grande maîtrise théorique<sup>1</sup>, elles s'ancrent dans l'expérimentation (avec par exemple le LNHE, Laboratoire national d'hydraulique et d'environnement) et dans la pratique opérationnelle<sup>2</sup>. Le Service climatique de la R&D, créé en 2014, les met en réseau.

Les coopérations externes sont solides. Le lien étroit entre nucléaire et EDF Hydro est essentiel. La DTG d'EDF Hydro (Division technique générale) jouant un rôle primordial d'appui au parc et aux projets nucléaires, il me semble important de proportionner ses ressources aux enjeux nucléaires croissants.

Les compétences sont remarquables mais l'organisation demeure complexe et les responsabilités éclatées, au risque de manquer de stratégie d'ensemble, différer des évolutions ou favoriser le silence organisationnel. Le risque est que des experts ne se cantonnent qu'à la question qu'on leur pose, sans alerter, le cas échéant, hors du champ de leur saisine.

J'estime nécessaire de désigner un pilote d'ensemble, qui rendrait compte de la gestion du risque, de la doctrine à la mise en œuvre opérationnelle. Cette stratégie devrait traiter du parc et du nouveau nucléaire. Les échanges entre entités devraient aussi davantage porter sur le risque et sa maîtrise, au-delà de la réponse à tel ou tel jalon, exigence ou demande.

Au Royaume-Uni, si 2023 a vu un nouvel élan, les ressources sont plus réduites et le domaine mérite davantage d'impulsion managériale.

### L'INONDATION, REDOUTABLE MODE COMMUN

L'inondation recèle un considérable potentiel de mode commun. C'est la principale leçon de l'accident de Fukushima Daiichi où l'arrivée de l'eau dans les bâtiments des réacteurs a mis hors service les systèmes de sûreté et de contrôle commande. L'événement de Blayais avait été une alerte et il avait conduit à renforcer les référentiels de protection des sites. En 2012, le débordement du Missouri n'a pas eu de conséquences car les protections mobiles, déployées à temps autour de Fort Calhoun, ont joué leur rôle.



Fort Calhoun, crue du Missouri en 2012



<sup>1</sup> Évaluation statistique des extrêmes, scénarios de changement climatique, modélisation des inondations, etc.

<sup>2</sup> Hydrométéorologie à la DTG pour piloter les réserves d'eau des barrages et prévoir les crues, etc.

Beaucoup a été fait depuis : les digues de Blayais ont à nouveau été rehaussées et étendues, un mur d'enceinte entoure désormais le CNPE de Gravelines, la digue de Tricastin a été consolidée (*cf. rapport 2018*), etc. Les référentiels intègrent une crue ou un niveau marin millénaux augmentés de 15 %.

Le nucléaire détermine les crues de dimensionnement par extrapolation statistique des mesures historiques, EDF Hydro les modélise en combinant des jeux de caractéristiques des bassins versants à des séries d'événements météorologiques plausibles (méthode SCHADEX). Cette méthode a l'avantage de représenter les phénomènes physiques et d'intégrer davantage d'événements, apportant aux évaluations une robustesse supplémentaire. Des étalements d'eau en amont, parfois absents des séries historiques et de nature à tempérer certaines crues, sont aussi modélisés. Je note que la DPNT en prévoit une première expérimentation.

Les ingénieries estiment que le parc dispose de bonnes marges. Il convient de rester curieux et prudent en la matière et de toujours se demander si des aléas ou conjonctions d'aléas peuvent nous prendre en défaut, afin de se prémunir de toute inondation d'ampleur imprévue.

### SCHADEX

La méthode de Simulation climato-hydrologique pour l'appréciation des débits extrêmes évalue les débits maximums plausibles dans un bassin versant, selon sa topographie, ses caractéristiques et le temps de retour considéré.

Développée par EDF, elle est depuis 2007 la méthode de référence pour dimensionner les évacuateurs de crue des barrages. SCHADEX s'appuie sur deux composantes : un modèle probabiliste de pluies et un modèle hydrologique qui simule l'effet de ces épisodes de pluie sur toute la gamme possible d'états hydriques du bassin (sols secs ou détrempés, hauteur et densité de la neige, état des nappes phréatiques, niveau des lacs, etc.).

## LE CHANGEMENT CLIMATIQUE : UNE RUPTURE

Le changement climatique est manifestement à l'œuvre. Des records de température sont régulièrement battus dans certains sites et les projections statistiques amènent à rehausser des températures maximales, de réexamen périodique en réexamen périodique. Cela conduit à renforcer les installations : ajout de groupes froids, brumisation d'eau dans les halls des diesels, dopage d'échangeurs, etc. Des pluies extrêmes se multiplient aussi.

Des réacteurs nucléaires fonctionnent dans des régions plus chaudes, arides ou pluvieuses que les nôtres (Arizona, Espagne, Moyen-Orient, tropiques) et il existe des solutions techniques.

## Des changements de méthodes

Le changement climatique conduit à s'interroger sur la façon de projeter dans les phénomènes locaux les scénarios du GIEC d'évolution globale du climat. C'est scientifiquement ardu, d'autant que la France est à la confluence de climats océanique, semi-continentale et méditerranéenne. L'analyse statistique de données passées, méthode éprouvée depuis 40 ans, suppose un climat stable, bien qu'une évolution soit incluse dans les tendances récentes. Apprécier les extrêmes plausibles en changement climatique est également une science complexe, au stade de la R&D.



*Palo Verde, centrale américaine en plein désert d'Arizona*

EDF possède des compétences de haut niveau dans ce domaine, ayant commencé la R&D sur le changement climatique dès le début des années 1990, au lendemain de la publication du premier rapport du GIEC. C'est un socle solide sur lequel bâtir des stratégies et des réponses.

Il est satisfaisant également que les études des 5<sup>es</sup> visites décennales (VD5) soient essentiellement orientées sur la réponse des sites au changement climatique (*cf. chapitre 5*) et que la DPNT les inscrive dans une optique de long terme, au-delà des dix ans entre VD5 et VD6. Le projet EPR2 définit les conditions qui relèvent du dimensionnement initial et identifie les possibilités d'évolution qui permettraient, au cours de son exploitation, de l'adapter au changement climatique tel qu'il sera observé et prévu. Il faut saluer le développement d'une stratégie d'ensemble à la DPNT via le programme ADAPT, qui intègre tous les facteurs hors sûreté de l'exploitation des centrales, dont la gestion de la ressource en eau, en les considérant dans leur environnement géographique et socio-économique.

## Manquera-t-on d'eau ?

L'essentiel de l'eau des fleuves est rejeté à la mer. Un réacteur nucléaire fonctionnant en circuit fermé (aéroréfrigérant) ne consomme par évaporation que moins d'1 m<sup>3</sup>/s d'eau du fleuve, ceux en circuit ouvert lui restituent toute leur eau de refroidissement. Rappelons que le débit moyen du Rhône à l'embouchure est de 1 700 m<sup>3</sup>/s et celui de la Loire de 900 m<sup>3</sup>/s.

Les restrictions estivales de production des réacteurs ne proviennent pas d'un manque d'eau dans les fleuves mais des limites à

l'augmentation de leur température fixées par les arrêtés de rejets pour protéger la faune et la flore. Ces limitations affectent moins de 0,5 % de la production. Les projections indiquent qu'elles pourraient augmenter jusqu'à 1,5 %, ce qui reste modeste. Il conviendra de revoir les arrêtés de rejet lorsqu'ils portent non sur une augmentation de la température de l'eau entre l'amont et l'aval des réacteurs mais sur une température absolue. Les biotopes s'adaptent en effet à une augmentation globale de la température des cours d'eau. Cette démarche semble permise par la masse de données et de connaissances accumulées depuis le démarrage des CNPE. C'est ainsi que des dérogations exceptionnelles ont pu être octroyées en 2022 ; les observations confirment leur absence de conséquences sur l'environnement.

Les projections prévoient une baisse du débit moyen des fleuves l'été, par raréfaction des pluies estivales, diminution du stock de neige et augmentation de l'évapotranspiration de la végétation. Un manque d'eau dans les fleuves affecterait la production bien avant la sûreté : produire demande d'évacuer deux tiers de la puissance thermique nominale du réacteur, assurer la sûreté à l'arrêt quelques pourcents. La R&D et l'ingénierie d'EDF étudient les moyens de limiter la consommation d'eau à long terme, ce qui est satisfaisant. Il est appréciable que la DPNT et la DIPNN aient fait un voyage d'étude à la centrale nucléaire de Palo Verde, qui, dans le désert de l'Arizona, est refroidie par les eaux usées de la ville de Phoenix. Elle s'intéresse aussi aux solutions mises en œuvre à Trillo et à Almaraz en Espagne. En France, la source froide de sûreté de Civaux est, depuis le démarrage, conçue pour les étiages sévères de la Vienne.

### La source froide de sûreté de Civaux

La Vienne peut n'avoir qu'un faible débit l'été, une source froide de sûreté spécifique a donc été conçue dès l'origine du CNPE de Civaux. D'importants réservoirs assurent le refroidissement des systèmes de sûreté, par l'intermédiaire d'aéroréfrigérants, et lui donnent une autonomie de dix jours au minimum sans pompage dans le cours d'eau. De beaucoup plus petite taille que ceux servant à la production, les aéroréfrigérants sont pulsés par des ventilateurs. Redondant, électriquement secouru par les diesels, l'ensemble du système est classé de sûreté.

Le soutien d'étiage par EDF Hydro peut assurer en amont un débit et une température permettant de maintenir des réacteurs en production pendant les canicules. EDF Hydro exerce ainsi une mission globale d'optimisation de la gestion de l'eau. Par exemple, les ouvrages hydroélectriques du bassin Durance-Verdon assurent, outre la production électrique, l'adduction d'eau potable de la région, la protection contre les inondations de la Durance, l'irrigation et un niveau d'eau favorisant les activités touristiques des lacs de Serre-Ponçon et de Sainte-Croix. Dans les régions de production nucléaire,

la maîtrise de la source froide en amont, le soutien des réacteurs par les moyens hydroélectriques et la gestion intégrée des usages de l'eau sont des nécessités de service public qui ne feront que croître avec le changement climatique. Il me semble donc essentiel de maintenir, dans les réorganisations actuelles ou futures, un lien étroit entre les départements nucléaire et hydroélectrique. La gestion des fleuves transfrontaliers demande aussi l'implication de notre diplomatie.

Dans les rapports de sûreté, le soutien d'étiage n'est nécessaire qu'à un site. Il convient de voir si le changement climatique est susceptible de changer cette donnée. Ce sont bien les étiages sévères qu'il faut considérer afin de vérifier si les débits de sûreté pourraient être remis en cause sur certains cours d'eau. Les analyses ont débuté, avec un premier rapport de la DTG. L'EPR2 peut quant à lui intégrer, dans sa version fluviale, selon le débit du fleuve, une source froide de sûreté du type de celle de Civaux.

Le changement climatique peut aussi modifier le biotope et accroître les risques d'arrivée massive de colmatants dans les sources froides : méduses, alevins, algues, herbes aquatiques, etc. Des progrès ont été faits : surveillance de la différence de niveau et de pression en aval des tambours filtrants, modification des dégrilleurs, suivi de la faune, accords avec des pêcheurs, etc. Ils sont à poursuivre car des événements continuent de se produire.

### Y aura-t-il trop d'eau ?

Les élévations du niveau de la mer selon différents scénarios du GIEC se calculent aisément. En plus d'être prévisible, ce phénomène est lent : on peut donc y préparer les installations à l'avance.

Les experts ne considèrent pas que le changement climatique est, de manière évidente, susceptible d'augmenter le risque de grandes crues des fleuves. Toutefois, il faut rester prudents et examiner les projections dans le détail. C'est l'objet du programme Estimation des crues extrêmes et changement climatique que la DTG vient de lancer et auquel la DPNT, la DIPNN et la R&D sont associées.

Une vigilance particulière aux phénomènes météorologiques locaux sévères me paraît nécessaire. Une hypothèse de pluie intense jugée très conservatrice avait été prise après Fukushima Daiichi : 20 cm en deux heures. Depuis, des phénomènes violents sont observés et des records régulièrement battus. Il n'est pas sûr que les fortes pluies soient plus probables à l'avenir (davantage de blocages anticycloniques) mais elles peuvent être plus violentes (une mer plus chaude engendre des masses d'air plus humides). Les pluies cévenoles voient aussi s'étendre leur zone d'influence. J'appelle à réexaminer les hypothèses en la matière. Les études de sûreté prenant en compte le bouchage complet des systèmes d'évacuation des eaux pluviales, il me semble opportun de renouveler l'attention à ces systèmes pour se donner des marges. Il faudra aussi, en fonction de ces études, s'interroger

sur la hauteur des murets de la protection rapprochée basse des îlots nucléaires.

Au Royaume-Uni, où les centrales nucléaires sont toutes en bord de mer, un important travail avait été réalisé après Fukushima Daiichi pour évaluer les risques d'inondation marine et protéger les installations (par exemple rehaussement de digues, batardeaux mobiles). *Nuclear Operations* relance ces études en insistant sur les conjonctions de pluie et de vent, ce qui est important.

### Faire face aux canicules

Du point de vue de la sûreté, en période de canicule, on doit maintenir sous une certaine limite :

- la température du circuit d'eau qui évacue la puissance résiduelle du combustible et refroidit les matériels, grâce aux échangeurs ;
- la température des locaux où se trouvent des matériels importants pour la sûreté, grâce à la ventilation et à la climatisation, secourues par les diesels.

Il faut aussi assurer des conditions de température vivables pour le personnel d'exploitation.

Une température limite acceptable de l'eau des fleuves est définie dans les rapports de sûreté et comparée aux températures maximales envisageables. Si celles-ci devenaient excessives, la première réponse est l'augmentation de la surface ou du débit des échangeurs. C'est un des réels enjeux de sûreté du changement climatique.

Concernant la température de l'air, le dimensionnement des groupes froids et des diesels repose, en France, sur la modélisation de la température de chaque local en fonction de celle de l'air extérieur, des caractéristiques de la climatisation et de la dissipation thermique dans les bâtiments par les pompes, les tableaux électriques, le contrôle commande, la puissance résiduelle, etc. Les études sont conservatives : tous les matériels sont, par exemple, supposés fonctionner en même temps et à pleine puissance. Au Royaume-Uni, l'approche est plus empirique, par mesure de la température dans les bâtiments.

En France, la canicule de 2003 a montré certaines limites du dimensionnement : il en est résulté un plan grand chaud, régulièrement

mis à jour, qui a montré son efficacité en 2021 et 2022 (*cf. rapport 2022*). La démarche devra être poursuivie, en particulier lors des 5<sup>es</sup> visites décennales VD5 du palier 900 MWe. En effet, des records sont régulièrement battus, en particulier dans le nord-ouest. Ils n'ont pas à ce jour remis en question les températures retenues en VD4. Les 50°C sont envisagés pour le parc (VD5 900) et l'EPR2, visant à couvrir une période de retour de 10 000 ans sous changement climatique.

Le Royaume-Uni a connu, pendant l'été 2022, des niveaux de température inconnus et non anticipés, jusqu'à 36°C, y compris dans le nord du pays. Si aucun problème n'est apparu dans les sites, les plans *seasonal readiness* ont été remis en cause et il est apparu nécessaire d'intégrer ce type de situations dans les études de sûreté. Une étude de sûreté à 36°C a donc été réalisée. Elle prévoit essentiellement un repli préventif des réacteurs. Il me semble nécessaire de ne pas se contenter de ce rapport provisoire, qu'il s'agisse des méthodes d'analyse, des températures (40°C envisagés), de la conduite à tenir ou des solutions retenues. Il conviendra aussi d'étendre cette analyse à d'autres aléas ou conjonctions d'aléas.

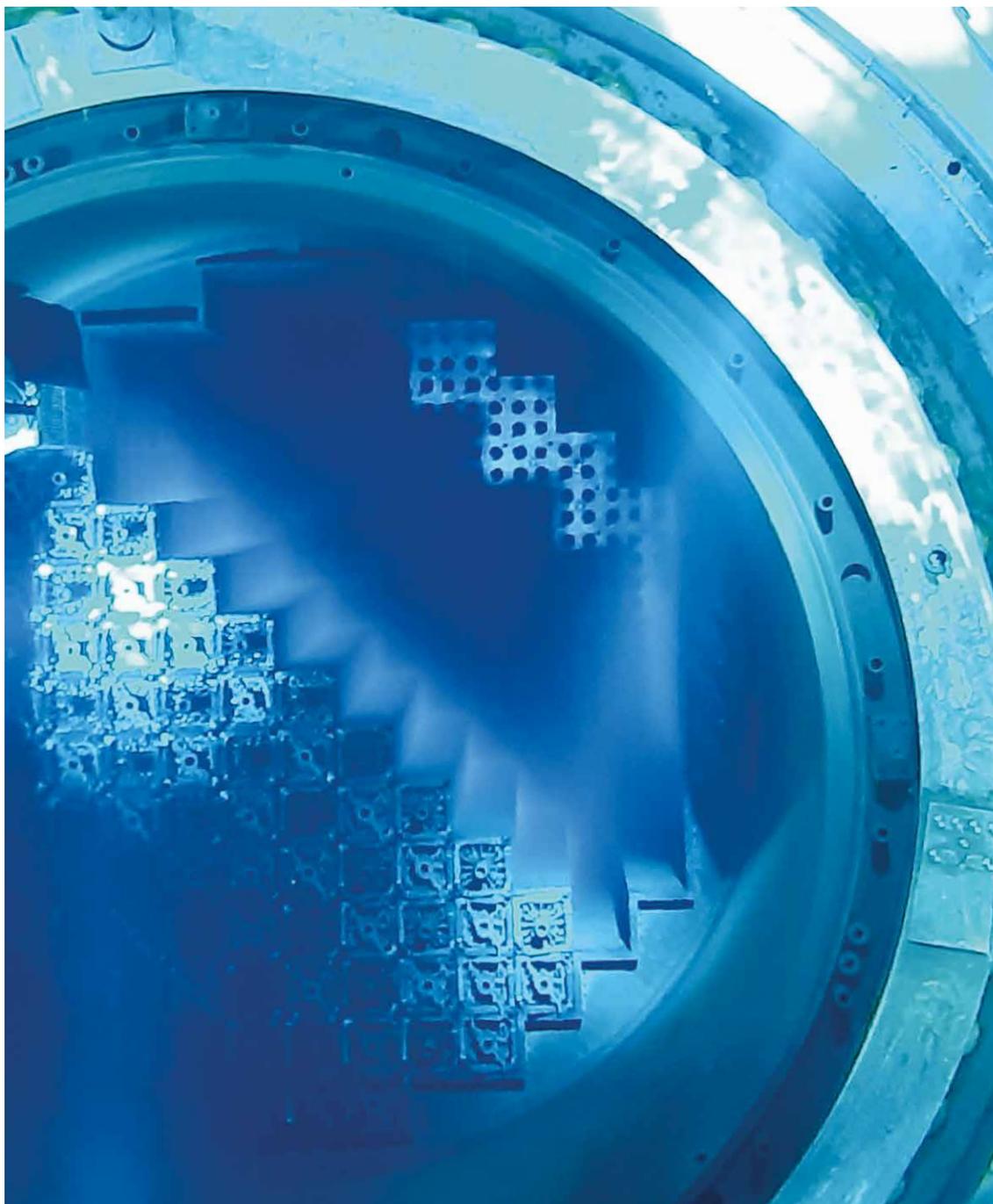
Au-delà du renforcement des groupes froids, des diesels et des échangeurs, nécessaires mais relevant d'une démarche de « toujours plus de la même chose », j'invite à davantage considérer :

- la résistance des matériels à la température : résistance réelle, voire ultime, des matériels existants et spécification des nouveaux matériels ;
- les moyens de limiter la chaleur dissipée, par l'arrêt des matériels non indispensables ou une moindre consommation des équipements nouveaux, ou la chaleur absorbée, par exemple en peignant des bâtiments en blanc ;
- les marges dans les calculs ;
- les événements qui pourraient ne pas être cumulés aux températures extrêmes ;
- la marge supplémentaire que procurerait, *in fine*, un arrêt préventif du réacteur.

## RECOMMANDATIONS

**Face aux aléas et au changement climatiques et devant la complexité de notre organisation, je recommande à la direction du Groupe de définir l'entité chargée de la réflexion et du pilotage d'ensemble de ces questions du point de vue de la sûreté. Elle devrait couvrir toutes les composantes du Groupe, y compris ENR, contribuant à la sûreté du parc en exploitation et du nouveau nucléaire.**

**Après les *safety cases* préliminaires développés à la suite de la canicule de l'été 2022, je recommande au directeur de *Nuclear Operations* de poursuivre activement la démarche, d'y affecter les ressources nécessaires, d'y consacrer davantage d'élan managérial et de l'étendre aux autres agressions.**



**Le combustible est un domaine de grande technicité et d'excellence.**

**En exploitation comme en ingénierie, la maîtrise de la réactivité est la première des fonctions de sûreté.**

**Au fil du temps, les problèmes technologiques ont été résolus et les combustibles ont gagné en marges de sûreté.**

**Les matériels de manutention connaissent des problèmes de fiabilité et d'obsolescence.**

*Opérations de chargement de combustible*

# Combustible et réactivité : le cœur de la sûreté

07

Siège de la fission et de la densité de puissance propres au nucléaire, le combustible forme le cœur du réacteur. Sa conception, sa fabrication et son exploitation exigent une expertise de pointe.

## MAÎTRISER LA RÉACTIVITÉ : L'ESSENCE DU NUCLÉAIRE

Parce que la réaction en chaîne est l'essence du nucléaire et que son potentiel énergétique est considérable, la maîtrise de la réactivité est la première des fonctions de sûreté.

L'accent sur la maîtrise de la réactivité s'est accru depuis deux ans. En France, les ingénieurs d'exploitation cœur combustible (IECC) pilotent les plans de progrès des CNPE. Des incidents se produisent néanmoins : il faut maintenir l'effort de compétence et de rigueur. Par exemple, j'estime que les dilutions et manœuvres manuelles de grappes de commande, même minimales, doivent faire l'objet d'une surveillance, d'une communication sécurisée ou d'un contrôle croisé systématiques, comme je l'ai vu au Royaume-Uni. Des incidents en France et au Royaume-Uni rappellent aussi l'exigence de strict contrôle des teneurs en bore et des sources d'eau pure ou froide, à l'arrêt.

### Incident de borication

L'opérateur injecte du bore dans le circuit primaire. Il n'appuie pas suffisamment sur le bouton d'arrêt de la platine de réglage et il est injecté en six minutes environ 1 100 litres de bore au lieu de 30 litres. De plus, se rendant compte de la borication excessive, l'opérateur lance une dilution « réflexe », sans calcul préalable et seul. La puissance du réacteur est passée de 8,5 % à 0,07 % de la puissance nominale.

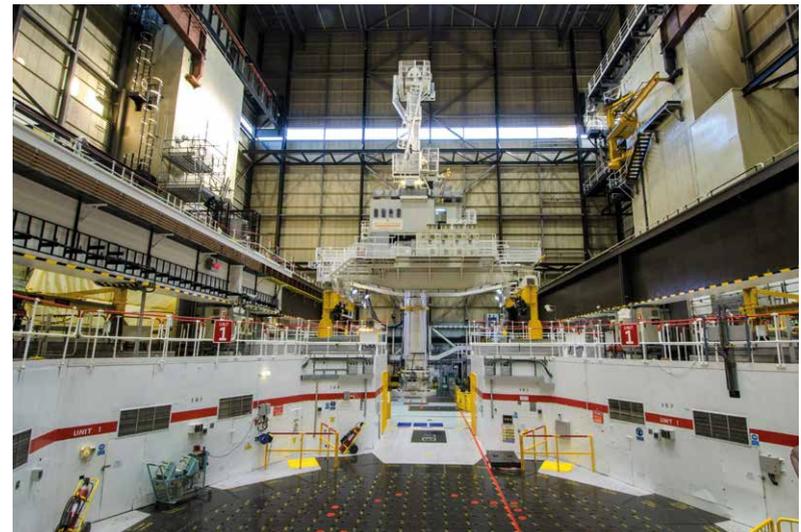
Au Royaume-Uni, le *Nuclear Safety Group* (NSG) est solide et proche des équipes de conduite. A Torness et Heysham 2, le chargement des réacteurs à l'arrêt et dépressurisés, et non plus en continu, modifie le pilotage car le cœur présente après rechargement une plus grande réactivité. Ce changement est, à ce jour, bien maîtrisé. Les indicateurs et comités de ce domaine n'ayant pas varié depuis plusieurs années, *Nuclear Operations* les réexamine afin d'en retrouver l'efficacité : je suivrai cette initiative avec intérêt car certains événements demandent un retour d'expérience.

Explorer des voies de progrès doit aussi être un objectif de l'ingénierie. Pouvoir refroidir le réacteur, après un arrêt automatique, sans risquer de

rediverger même en l'absence d'injection active de bore, contribuerait à une sûreté plus intrinsèque. Le comportement réel du réacteur pourrait, dans ce cadre, être examiné en levant des conservatismes. Après les progrès des vingt dernières années, il convient aussi d'approfondir les voies de prévention des risques d'injection de bouchon d'eau dans le cœur (par exemple par un démarrage lent des pompes primaires).

## UN DOMAINE DE GRANDE TECHNICITÉ ET D'EXCELLENCE

Le combustible doit résister aux sollicitations hydrauliques, thermiques et mécaniques en fonctionnement normal et en situation accidentelle. Le comportement de la gaine reste au centre des études de physique, de matériaux et d'accident.



Hall réacteur de Heysham 1

## Un réseau de compétences bien établi

J'ai rencontré les principaux acteurs du combustible du Groupe : R&D, Direction technique, GECC (Groupe d'exploitation cœur combustible), Division combustible nucléaire DCN, Framatome, IECC, NSG, les services du combustible et de la *fuel route*. L'expertise, les parcours professionnels et le réseau demeurent solides. Les responsabilités, les cycles de formation et les habilitations sont clairs. Il faut éviter que la surcharge en ingénierie ne freine les mobilités au détriment des parcours intégrés. En vue du développement d'un parc britannique de

REP, il serait utile d'associer *Nuclear Operations* à certaines réunions et instances françaises.

Les équipes reconnaissent le professionnalisme des relations et la qualité des échanges techniques avec Framatome, à la fois fournisseur et filiale. Mais le volet contractuel ralentit parfois l'information et la confiance peut s'en ressentir. J'ai visité l'ingénierie de Framatome *Fuel* et l'usine de Romans-sur-Isère. Les compétences, la stratégie produit et l'envergure internationale m'ont marqué. L'investissement dans la mise à niveau des usines, qui était nécessaire, est visible.

La R&D possède aux Renardières des moyens d'essais qui couplent de manière remarquable expérimentation et modélisation. Au plan national, l'investissement de la puissance publique dans les boucles et réacteurs de recherche demeure indispensable et c'est la mission régaliennne du CEA, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, que d'assurer l'infrastructure scientifique amont du secteur nucléaire.

### REP : une optimisation dans la durée

Le combustible des réacteurs REP n'a jamais été aussi fiable qu'en 2023 : seuls deux assemblages combustibles (AC) déchargés étaient inétanches, soit un taux de défaillance de 0,032 %. Cette performance historique résulte de l'optimisation des produits, par Framatome et Westinghouse, et du progrès de leur exploitation, dont la prévention des corps migrants. Au Royaume-Uni, le REP Sizewell B n'a détecté aucun défaut d'étanchéité depuis une quinzaine d'années (en France, environ un tiers des réacteurs est dans ce cas depuis une dizaine d'années au moins).

Des problèmes technologiques ont affecté le combustible : *fretting*<sup>3</sup>, petits percements précoces, CRUDs<sup>4</sup>, corrosion de gaines, rupture de ressorts de grilles par corrosion sous contrainte (CSC), inétanchéité de soudures, déformations d'AC, remontée de flux en extrémité de colonne fissile de crayons de MOX (mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium), etc. Échelonnés dans le temps, sans conséquence sérieuse sur la sûreté, ils ont été résolus au fur et à mesure. Le plus récent concerne une corrosion des gaines en alliage M5 (qui avait affecté des réacteurs étrangers et dont le retour d'expérience a été insuffisamment pris en compte, *cf. rapport 2021*). Une augmentation de la teneur en fer semble y remédier et s'applique aux nouvelles fabrications, même si les mécanismes fins restent à comprendre. Les examens ayant confirmé que cette corrosion n'engendre que peu d'hydruration<sup>5</sup> qui fragilise la gaine, ses conséquences sur la sûreté restent limitées. Il faut aussi continuer à solder le retour d'expérience de l'EPR de Taishan (*cf. chapitre 4*).

<sup>3</sup> Usure des gaines par frottement, qui peut aller jusqu'à leur percement.

<sup>4</sup> Crystal River Unknown Deposits : dépôts d'oxyde sur les gaines, observés à Paluel 2 (*cf. rapport 2020*).

<sup>5</sup> Lors de l'oxydation par l'eau, l'hydrogène libérée s'insère dans le métal.

Depuis 50 ans, le combustible est dans sa conception générale le même et pourtant il a changé :

- les dernières générations d'alliages de gaines augmentent les marges en situation incidentelle ou accidentelle, notamment le M5 ;
- les grilles maintiennent mieux les crayons afin d'éviter le *fretting* et ne sont plus sujettes aux dégradations en manutention ;
- les squelettes sont plus rigides, prévenant une déformation des AC qui peut freiner la chute des grappes de commande et qui augmente les lames d'eau entre crayons, donc le flux neutronique local.

Les évolutions technologiques ont ainsi fait gagner de réelles marges de sûreté physiques.

### Le combustible des REP

Un assemblage de combustible est formé de crayons et d'un squelette.

Le squelette maintient les crayons, optimise le refroidissement (les grilles mélangent les veines d'eau) et guide le mouvement des grappes de commande (elles coulissent dans les tubes guides).

Les crayons contiennent les pastilles de combustible et leur gaine forme la première barrière de confinement. Les pastilles sont constituées d'environ 7 grammes d'une céramique d'oxyde d'uranium enrichi, à quelques pourcents, en U235 ou en plutonium (MOX). Une pastille produit autant d'énergie qu'une tonne de charbon.

Les objectifs de sûreté sont de prévenir la fusion de pastilles, de maintenir l'intégrité des gaines et de garantir la chute des grappes de commande.

### En attendant le déchargement des AGR, maintenir la vigilance

Le combustible des réacteurs AGR est fabriqué à Springfield (Westinghouse). Un contrat en sécurise l'approvisionnement jusqu'à l'échéance prévue de l'exploitation des derniers AGR.

Après des ruptures de gaines répétées, exigeant même de limiter la puissance d'un réacteur, le problème semblait réglé et aucun AC inétanche n'avait été constaté depuis trois ans. En 2023, 7 ont été détectés, dont 5 dans un même site. Pour en comprendre la cause, des examens seront menés à Sellafield lorsque la puissance résiduelle des AC aura baissé. En attendant, la puissance des réacteurs concernés sera progressivement diminuée en fin de cycle.

Les déchargements et rechargements d'AC à Torness et à Heysham 2, désormais effectués tous les trois à quatre mois, réacteur à l'arrêt et

dépressurisé et non plus en continu et en puissance, sont stabilisés après une forte perturbation de l'organisation.

La *fuel route*<sup>6</sup>, objet de plans de fiabilisation, demeure sensible. Une erreur humaine a provoqué la chute d'un panier de manutention de combustible, heureusement vide, en piscine. Un manque de cadence de la *fuel route* a ralenti le *defueling* (déchargement définitif) d'un AGR. Celui de Dungeness B a commencé, en température et en pression pour ménager les matériaux. Je salue la performance d'Hunterston B qui a déchargé, sans incident et en 18 mois, le premier réacteur.



Romans-sur-Isère : contrôle visuel d'un assemblage combustible

### Combustibles de l'avenir : les feuilles de route se précisent

Le Groupe a pris le virage stratégique de se mettre davantage au diapason des produits utilisés à l'international. Les feuilles de route prévoient par exemple d'adopter des grilles intermédiaires de mélange (GIM) et le combustible de nouvelle génération de Framatome, GAIA.

Les GIM améliorent le refroidissement en mélangeant mieux les veines d'eau le long des crayons et font progresser la sûreté. Transitoirement,

il faut justifier la coexistence d'AC avec et sans GIM. J'estime que certains conservatismes pourraient être réexaminés pour justifier les cœurs mixtes car il s'agit d'une situation temporaire en vue d'une amélioration de sûreté.

Le squelette de GAIA, plus rigide, a été conçu pour limiter les déformations d'AC. Ses grilles plus résistantes doivent garantir l'absence de flambage sous les chargements les plus sévères (dont les séismes extrêmes). Les ressorts de grille emboutis dans le feuillard et non rapportés par soudage éliminent le phénomène de rupture de ressorts. L'embout inférieur protégera encore mieux l'AC des corps migrants et du *fretting*, etc.

En vue du plus long terme, les premiers AC d'E-ATF (*Enhanced Accident Tolerant Fuel*) seront testés en réacteur. Le revêtement de la gaine en chrome vise à la rendre plus robuste en condition accidentelle. Du chrome pourrait aussi être ajouté aux pastilles afin de mieux y emprisonner les gaz de fission ; son opportunité industrielle doit toutefois être évaluée car il ralentit les cadences de recyclage.

### Exploitation des cœurs : une expertise du quotidien

Définir les plans de chargement, mener et interpréter les essais physiques et les cartes de flux neutronique, calculer les paramètres du système de protection mobilisent des procédures rigoureuses, des outils de calcul opérationnels et de solides connaissances en physique des cœurs. C'est, en France, le rôle de GECC au niveau central et des IECC dans les CNPE, au Royaume-Uni, des NSG des sites. Les parcours et compétences sont solides et les rôles clairs et reconnus. La DT et la R&D appuient GECC pour développer les outils génériques et traiter de cas atypiques.

Il faut veiller aux ressources de GECC car la définition et la justification des plans de chargement tendent à se sophistiquer. Si ceux-ci suivent en général un plan type (ou gestion), caractéristique du palier et de son combustible (par exemple MOX), des adaptations sont souvent nécessaires. Plusieurs facteurs ont conduit à multiplier les solutions cousues main : difficultés techniques, problèmes de livraison de MOX, changements du placement des arrêts (donc des longues de campagne) à la suite du Covid, des prolongations de visites décennales (VD) ou de la corrosion sous contrainte, exigences de démonstration supplémentaires issues des VD4. Le dossier générique Variabilité des recharges, qui permet de charger 4 ou 8 AC neufs en plus ou en moins, est de ce point de vue une réussite<sup>7</sup>.

Les marges des cœurs sont solidement suivies. Certains estiment que l'on « empile les conservatismes » ou que la France « prend

<sup>6</sup> Installations qui assurent la réception et l'évacuation des combustibles, le montage et le démantèlement des assemblages, leur chargement et leur déchargement, leur refroidissement intermédiaire et leur entreposage en piscine.

<sup>7</sup> En vigueur pour le MOX, il a vocation à être étendu aux autres gestions.

seule en compte l'interaction pastille-gaine ou les lames d'eau ». Ces phénomènes ne peuvent pas être ignorés sauf à convenir qu'ils sont couverts par les marges. Le moment me semble venu de réexaminer la chaîne des hypothèses et conservatismes, dans un souci de relégitimer l'équilibre des justifications de sûreté et de le partager entre tous les acteurs.

## 01 Lancer un plan de rénovation des moyens de manutention du combustible de la DPN

02 Les équipes de manutention du combustible rencontrées dans les CNPE sont compétentes. Les formations initiales sont solides, à l'UFPI (Unité de professionnalisation pour la performance industrielle), au CETIC (Centre d'expérimentation et de validation des techniques d'intervention sur chaudière nucléaire à eau) et chez les constructeurs ; le compagnonnage est organisé. Mais les viviers sont étroits, les effectifs sans marges, les GPEC (gestion prévisionnelle des emplois et des compétences) tendues.

06 Les services du combustible et de la maintenance restent souvent cloisonnés et le niveau de la maintenance est hétérogène. Internaliser une part de la maintenance aide à s'approprier les matériels, entretenir les compétences, piloter les prestataires et répondre aux aléas.

08 S'il demeure quelques incidents, dont le REX est partagé, les progrès sont tangibles : seulement deux événements en 2023 (des marquages de trous S), un plus bas historique, de meilleurs examens télévisuels (mais le déploiement de caméras HD est lent), des cadences de chargement et déchargement tenues.

09 J'ai observé à Flamanville 3 qu'une équipe de l'exploitant est depuis la phase de chantier chargée des moyens de manutention et de levage. Elle s'approprie ainsi les matériels et prépare l'exploitation. Le projet Hinkley Point C HPC suit la même voie et l'équipe concernée se rend régulièrement à Flamanville. Je suggère que le projet EPR2 s'inspire de cette bonne pratique et l'élargisse à d'autres systèmes.

Annexes  
Abréviations

Au plan national, les programmes de maintenance sont désormais mis à jour sur un « plateau flash » rassemblant services centraux, ingénieries et constructeurs ; c'est une bonne pratique. Mais l'obsolescence affecte de nombreuses pièces : heureuse initiative, leur inventaire est en cours. Si j'ai rencontré des gens engagés et si des progrès ont été faits, des problèmes résolus, la fiabilité améliorée, il s'agit surtout de réactions au cas par cas. Les moyens manquent dans ce domaine et des matériels de manutention du combustible restent en souffrance. Il faut investir davantage, développer une vision de long terme et engager un plan de rénovation.

## DES APPROVISIONNEMENTS MAÎTRISÉS ET UN AVAL DU CYCLE À REFONDER

### La sécurité d'approvisionnement bien en main

Accélééré comme moyen de souveraineté énergétique en réponse au premier choc pétrolier, le programme nucléaire français se révèle tout aussi adapté à la suite du choc gazier dû à la guerre russo-ukrainienne, contrairement à l'*Energiewende* allemande qui supposait l'accès au gaz russe bon marché (cf. chapitre 1).

Cette souveraineté suppose l'accès à certaines matières premières et c'est la mission de la DCN d'en assurer la sécurité par un portefeuille diversifié d'approvisionnements à long terme et par des stocks. Seules des quantités limitées de matières premières stratégiques sont nécessaires au nucléaire. Ainsi, l'uranium ne représente que quelques pourcents du coût de l'électricité. Une augmentation du prix de l'uranium n'affecte que très marginalement le coût de l'électricité alors qu'il accroît les réserves géologiques exploitables et suscite des projets miniers. Diversité des pays producteurs et stocks permettent de faire face sans réelle inquiétude aux crises russe et nigérienne.

Le nucléaire ne figure pas dans les sanctions contre la Russie et les approvisionnements de la France en dépendent peu, contrairement à ceux des États-Unis.

L'approvisionnement en demi-produits (lingots, barres, etc.) et en matières premières autres que l'uranium est également bien piloté par la DCN. En particulier, la pandémie l'a conduit à surveiller plus étroitement l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement et à systématiser les doubles sources.

### La gestion du plutonium, le MOX et les RNR

Parmi les sujets opérationnels en cours concernant le combustible MOX, je retiens :

- les efforts d'Orano pour surmonter les difficultés de l'usine Melox, grâce aux investissements de maintenance et à un retour à la poudre voie humide ;
- le projet de moxage de réacteurs 1 300 MWe ;
- le projet de porter de 12 à 16 mois la longueur des cycles des réacteurs 900 MWe (CAMOX).

Du point de vue de la sûreté, ces projets s'inscrivent dans une gestion classique du MOX.

Les travaux sur le multi-recyclage du MOX en REP me semblent avoir gagné en maturité :

- il est reconnu comme une phase transitoire en attendant les réacteurs à neutrons rapides (RNR), jugés nécessaires à terme ;

- le combustible envisagé (MOX-MR) est aujourd'hui conçu dans la continuité du MOX actuel ;
- optimiser l'origine du plutonium (UOX, MOX) limiterait la dégradation du vecteur isotopique.

Si les études du comportement du MOX-MR en situation accidentelle sont encourageantes, il me semble nécessaire de donner davantage d'accent aux questions de réactivité, notamment en cas de vidange.

### Le plutonium en REP

Engendré par absorption neutronique de l'U238, le Pu239, fissile, produit à son tour des réactions nucléaires. Ainsi, dans un cœur d'AC à l'U235, la fission du plutonium produit environ un tiers de l'énergie. Au dernier déchargement après trois ou quatre cycles, le combustible contient encore 1% d'U235 et du Pu239. Ils peuvent être réemployés, le premier sous forme d'URT, le second de MOX.

La physique impose des limites au recyclage du Pu dans les REP : l'irradiation accroît la proportion d'isotopes pairs (Pu240, Pu242) qui ne sont pas fissiles en REP (spectre thermique) alors qu'ils le sont en réacteur à neutrons rapides RNR (spectre rapide). On dit qu'il y a dégradation du « vecteur isotopique » du Pu. Compenser cette dégradation suppose d'augmenter la teneur en Pu ou en U235, ou la taille des recharges (stratégie retenue). Comme les isotopes pairs deviennent fissiles en cas de vidange du cœur (spectre rapide), accroissant la réactivité, des limites de sûreté doivent être fixées.

### Stratégie de l'aval du cycle : un besoin reconnu au bon niveau

La réflexion est engagée sur l'avenir des usines Orano de l'aval du cycle (La Hague, Melox), leur Grand Carénage et leur remplacement. Sa nécessité est actée au plus haut niveau des entreprises et de l'État. Ce virage confirme à long terme la stratégie de fermeture du cycle qui nécessitera aussi un plan de développement de RNR.

L'évaluation des besoins d'entreposage des combustibles usés s'est précisée selon différents scénarios et un jeu d'options est au stade des études d'ingénierie ou de l'industrialisation : densification des piscines de La Hague, entreposage à sec, piscine centralisée d'EDF, augmentation de la taille des recharges de MOX, moxage de réacteurs supplémentaires, etc.

### RECOMMANDATIONS

Devant les difficultés récurrentes et les questions d'obsolescence qui affectent les moyens de manutention du combustible et compte tenu des perspectives de durée de fonctionnement du parc, je recommande au directeur de la DPN de mettre en œuvre un plan global de rénovation de ces moyens.

La maîtrise de la réactivité exigeant la plus grande rigueur, je recommande au directeur de la DPN de renforcer la surveillance et le contrôle des manœuvres touchant à la réactivité, en établissant un standard comparable aux pratiques internationales.

Au Royaume-Uni, le combustible usé des AGR est stocké à Sellafield et celui de Sizewell B sur site, en piscine et dans un entreposage à sec qui doit progressivement atteindre son régime de croisière.

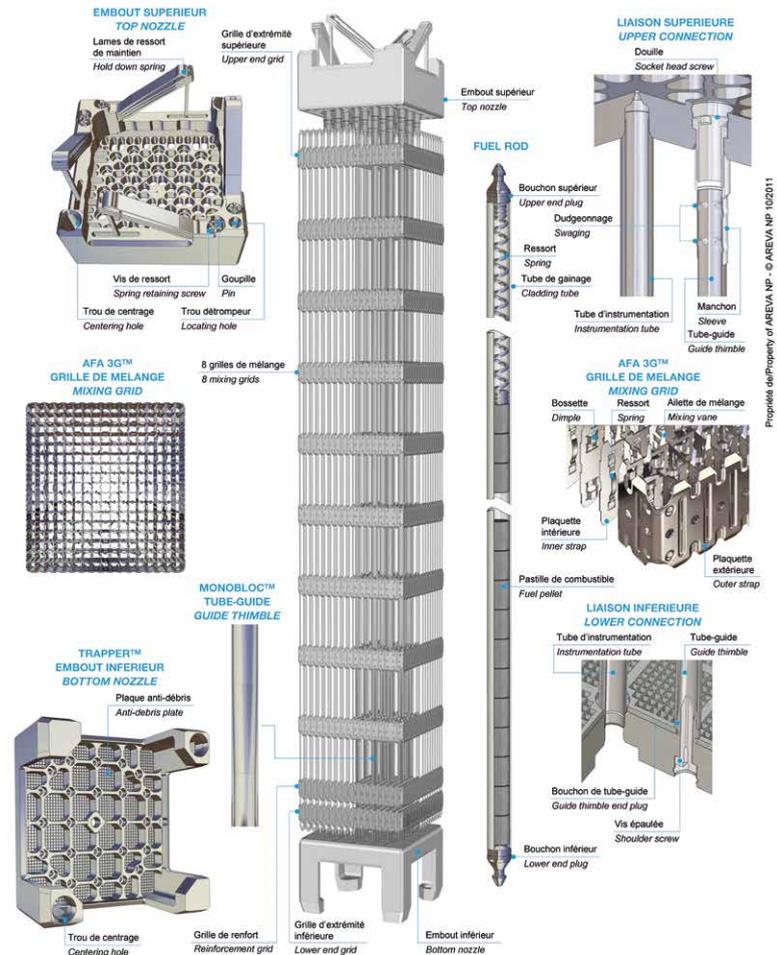


Schéma d'un assemblage combustible REP



Formation sur simulateur numérique à Saint-Alban

**Des compétences au bon niveau sont le socle de la sûreté.**

**Les nombreux recrutements liés au nouveau nucléaire et au renouvellement générationnel doivent s'opérer sur une base solide apte à transmettre savoir, savoir-faire et savoir-être.**

**L'implication managériale, l'engagement des collectifs et le niveau d'exigence sont à renforcer.**



# Compétences, sommes-nous assez exigeants ?

08

La France et le Royaume-Uni ont fait le choix de conserver le nucléaire dans leur mix énergétique. Dans un contexte de développement du nouveau nucléaire, ils sont confrontés au maintien d'un socle de compétences.

Le Groupement des industriels français de l'énergie nucléaire (GIFEN) estime à 100 000 les recrutements à réaliser dans les dix prochaines années. Selon la *Nuclear Industry Association* (NIA), la main-d'œuvre de l'industrie nucléaire britannique doit passer de 77 000 à 200 000 personnes d'ici à 2050. Ces perspectives marquent une ambition et confèrent une responsabilité à tous les acteurs du nucléaire, à commencer par l'exploitant. Comment attirer, intégrer, former, fidéliser dans une filière longtemps boudée ?

## RECRUTEMENT ET MOBILITÉ INTERNE : NE PAS TRANSIGER

### UN DÉFI AVANT TOUT QUALITATIF

La réponse au défi majeur du quantitatif réside aussi, de mon point de vue, dans le qualitatif. Notre façon de recruter, former et aménager des parcours professionnels valorisants doit répondre à la charge de travail à court et moyen termes. Elle garantira aussi notre permis d'exploiter dans le futur. Nous ne pouvons faire l'économie d'une réflexion sur la spécificité de la filière nucléaire : technicité, exigence et culture de sûreté. J'appelle chacun à ne pas transiger et à questionner les bonnes et mauvaises habitudes.

### DES INITIATIVES POSITIVES

L'Université des métiers du nucléaire (UMN), créée en 2021, est l'une d'entre elles. En fédérant les acteurs de la filière nucléaire, de la formation et de l'emploi, l'UMN rend visible l'offre de formation, facilite l'adéquation entre l'offre et la demande, met en relation les acteurs nationaux et locaux, promeut les métiers et l'attractivité de la filière. Des dispositifs concrets voient le jour : portail Internet Mon avenir dans le nucléaire, campus régionaux (celui de Normandie me semble une référence), bourses. J'appelle les responsables du projet, au-delà de la qualité des contenus, à challenger le niveau d'exigence des formations labellisées. Le label nucléaire doit être synonyme d'excellence.

Je note aussi une volonté de recruter de nouveau dans toute la plage de qualification, en visant les collèges exécution à la DPN (Division production nucléaire) et maîtrise à la DIPNN (Direction de l'ingénierie et des projets du nouveau nucléaire). Cette orientation encourage des parcours professionnels riches, fondés sur une expérience

d'intervention et l'exercice pratique de différentes responsabilités.

Je trouve également bénéfique pour le Groupe de recruter du personnel d'autres secteurs industriels afin de bénéficier de leur expérience sans paupériser le reste de la filière. A cette fin, il faut veiller à ce qu'une excessive complexité des modes de travail ne nuise à notre attractivité.



Formation aux interventions électriques à l'UFPI

### MOBILITÉ PROFESSIONNELLE, LE SYSTÈME SE CRISPE

Les mobilités entre les entités du Groupe sont essentielles. Au fil de mes visites, j'observe en 2023 un système qui se rigidifie. Cela se manifeste par des parcours croisés trop peu nombreux entre DPNT et DIPNN, un contingentement par origine des effectifs d'Edvance qui pénalise l'apport d'expérience, la difficulté à orienter une part du personnel de construction de Flamanville 3 vers l'exploitation ou d'autres chantiers. Concevoir des réacteurs favorisant la sûreté en exploitation nécessite d'irriguer les projets du nouveau nucléaire avec des compétences d'exploitant (*cf. chapitre 4*).

Bâtir des parcours croisés entre ingénierie d'exploitation et sites, entre Framatome et centres d'ingénierie, entre UFPI et entités de

production et d'ingénierie, ou entre entités françaises et britanniques, favorise le transfert d'expérience et de bonnes pratiques. Le Groupe doit s'adapter au monde de l'entreprise en quittant un modèle de gestion de stock au profit d'un modèle de gestion de flux. Fidéliser ne passera plus seulement par un statut mais par un parcours valorisant. La réorganisation de l'ingénierie ne doit pas manquer l'occasion d'encourager les parcours croisés et de fixer, dès le départ, les conditions favorables au décloisonnement.

## PARC BRITANNIQUE : DES ENJEUX DIFFÉRENTS

### DIVERSITÉ DE PERSPECTIVES

Les perspectives des sites britanniques sont diverses : exploitation à long terme du REP de Sizewell B, fonctionnement des AGR de Torness et Heysham 2 jusqu'en 2028, Hartlepool et Heysham 1 jusqu'en 2026, déchargement des autres réacteurs AGR pendant trois à cinq ans avant leur transfert à *Nuclear Restoration Services (ex-Magnox)*, développement des ingénieries *corporate* et projets Hinkley Point C et Sizewell C.



Chantier école à Heysham

Malgré les arrêts définitifs de réacteurs AGR, *Nuclear Operations* a lancé une campagne de recrutement pour maintenir les bases de compétences dans les sites et aussi dans les services centraux. Heysham 2 renouvelle ainsi près de la moitié de son personnel en cinq ans et Dungeness, malgré la mise à l'arrêt de ses deux réacteurs, continue à recruter pour former des opérateurs. Le maintien et le développement des compétences constituent l'un des quatre axes

prioritaires (*cornerstones*) de la flotte. Ils s'appuient sur la méthode *Systematic Approach To Training*.

### CONDUITE : DES PROGRAMMES SOLIDES

La conduite dispose de programmes éprouvés de formation initiale et continue. Les programmes d'habilitation et de renouvellement de licence (tous les trois ans) des chefs d'exploitation (CE), superviseurs et opérateurs sont solides. Chaque équipe de quart bénéficie d'une semaine de formation toutes les six semaines, incluant exercices sur simulateur et cours en salle. Le CE y participe, ce qui lui permet d'évaluer les performances individuelles et collectives. Le programme *Line of Sight to the Core* de l'INPO (*Institute of Nuclear Power Operations*) a contribué à améliorer l'efficacité de ces semaines de formation.

Les instructeurs sur simulateur sont des opérateurs expérimentés ou des superviseurs. Ils conservent leur habilitation et doivent pour cela effectuer un minimum de dix quarts dans l'année. Afin d'accroître la robustesse et la souplesse de fonctionnement des équipes de quart, des rôles d'*upgrader* ont été créés : certains opérateurs sont formés et qualifiés pour remplacer des superviseurs, de même certains superviseurs pour remplacer des CE.

### MAINTENANCE : UN APPRENTISSAGE PAR LE FAIRE

Bien que les techniciens bénéficient d'une formation structurée et de dispositions d'habilitation, celles-ci ne sont pas aussi étendues que celles du personnel de conduite. La maintenance recrute des apprentis ou directement du personnel expérimenté. Pour les premiers, la formation et l'habilitation sont structurées sur quatre ans, tandis que pour les techniciens recrutés à l'extérieur la première habilitation repose sur une combinaison de formations et d'observations en situation de travail. Des fiches de qualification par métier et des fiches de compétences par matériel cadrent leur formation. Des formations et des recyclages périodiques garantissent que les techniciens maîtrisent les évolutions des pratiques de maintenance et que les éventuelles lacunes identifiées, par exemple en cas de non-qualité, sont traitées.

#### Objectif d'EDF Energy : recruter 100% des apprentis

L'apprentissage reste une voie privilégiée de recrutement à EDF Energy dans les métiers de maintenance. Ce programme très structuré, avec des critères de réussite bien définis, favorise l'embauche de tous les apprentis à l'issue des quatre ans de formation.

Il débute par deux ans d'études dans une école interne, la *Nuclear Skills Alliance*, et se poursuit par deux ans de formation et d'expérience pratique sur le terrain. Malgré l'entrée progressive des réacteurs AGR en phase de déchargement et démantèlement, ce programme continue à former des apprentis dont les sites ont toujours besoin.

## À L'EXPLOITATION, CHANGER D'ÉTAT D'ESPRIT

### PROJET COMPÉTENCES À LA DPN, DES CONVICTIONS PLEINES DE BON SENS ...

Le programme START 2025 repositionne le management des compétences comme un des principaux leviers de performance. Ses convictions sont pleines de bon sens, trois en particulier ont retenu mon attention.

Réaffirmer le manager comme garant des compétences de son équipe est essentiel. Je constate trop souvent une désaffection du management pour les séances d'entraînement qui permettent pourtant d'apprécier les compétences individuelles ou collectives. Les Appuis formation compétences des services conduite (AFCOs) mis en place pour décharger le chef de service et les CE des contraintes administratives se sont substitués à ces derniers, y compris en séance d'évaluation sur simulateur. La présence du manager y est pourtant obligatoire car il engage sa responsabilité en délivrant l'habilitation.

Réinstaurer des rituels internes à chaque équipe est un autre pilier du projet Compétences. Parmi ces rituels, certains relèvent du manager comme les comités compétences. J'estime que le jour de reprise de quart (J) à la conduite devrait être consacré à la formation et à l'entraînement. D'autres rituels relèvent selon moi de la vie du collectif : préparation aux planches techniques, formations dispensées spontanément, approfondissement des dossiers de système élémentaire et schémas mécaniques, utilisation libre du simulateur. Les nouvelles technologies (e-learning, simulateurs numériques, etc.) peuvent être précieuses pour moderniser les rituels et les adapter aux nouvelles générations. Je salue la décision d'équiper tous les services de conduite de simulateurs numériques Saturne.

Professionaliser au contact de la machine est une ambition du projet qui me tient à cœur. La ré-internalisation de certaines activités de maintenance est un facteur très positif de réappropriation de la machine. La « fierté du faire » met les équipes dans une nouvelle dynamique de propriétaire. J'encourage à poursuivre la démarche et réitère mon propos d'assurer une cohérence à terme dans les choix effectués d'un site à l'autre et de maintenir cette stratégie dans la durée.

### ... MAIS UN ÉTAT D'ESPRIT À CHANGER

Les leviers sont bons mais un changement d'esprit doit s'opérer. En plus d'être la responsabilité du manager, le développement des compétences devrait être la préoccupation de chaque salarié et de son collectif de travail. Des salariés engagés dans leur professionnalisation, une équipe garante de ses compétences ne se décrètent pas. L'émulation viendra des valeurs de l'équipe : un échec individuel à une planche ou une moindre performance à une évaluation devraient être vécus comme un échec collectif. J'invite donc toutes les équipes

françaises et britanniques, chacune avec ses forces et ses faiblesses, à se réapproprier le sujet des compétences. Quant aux managers, ils doivent fixer le niveau d'exigence et laisser les marges de manœuvre nécessaires.

#### Réinternalisation à la maintenance : la fierté du faire

A Bugey, l'équipe chaudronnerie travaille depuis plusieurs années à la ré-internalisation d'activités dans les domaines du soudage, des capacités et des supportages. Concernant le soudage, l'équipe intervention s'est concentrée sur l'obtention des qualifications, à l'Institut de soudure, pour des soudures bout à bout et par emboîtement. Un programme spécifique d'activités à réaliser en interne est établi pour chaque arrêt. L'équipe commence également à préparer un programme pluriannuel. Comme dans d'autres sites, cette stratégie de ré-internalisation s'intègre dans un parcours professionnel où les intervenants, forts de ces bases techniques, pourront ensuite évoluer dans différents rôles : chargés de surveillance, préparateurs méthodes, chargés d'affaires ou managers.

## À L'INGÉNIERIE, ASSEOIR LES BASES

### REPENSER L'INTÉGRATION

La croissance des effectifs de l'ingénierie met en difficulté les rituels historiques d'intégration et de montée en compétence « au contact ». Pour y répondre, de nouveaux parcours d'intégration alliant sensibilisation et formation Savoirs communs (SCIN) ont été mis en place. Des immersions sont parfois réalisées dans les sites de production et des parcours de formation propres à certains métiers ont vu le jour.

Néanmoins, la charge de travail, le manque de capacité d'accueil ou les contraintes budgétaires empêchent ces approches d'atteindre la robustesse attendue. Il est essentiel de garantir à chaque jeune ingénieur, à sa prise de poste, l'acquisition des bases du métier, du fonctionnement des réacteurs et de la culture sûreté. Il faut pour cela être plus systématique dans le parcours initial de formation, incluant obligatoirement une mission sur site. Le parcours Intégrall, mis en place en 2023 par la Direction technique de Framatome, constitue un exemple prometteur.

La question se pose d'instaurer à l'ingénierie, comme chez l'exploitant, une habilitation sûreté nucléaire gage de l'acquisition des fondamentaux. L'UTO (Unité technique opérationnelle) l'a fait et Edvance en a jeté les bases. La certification sûreté-qualité (ISO 19443) de l'organisation reste complémentaire.

## Integrall, première promotion

Le programme *Integrall* vise à favoriser le recrutement et l'intégration des jeunes ingénieurs de la Direction Technique de l'Ingénierie (DTI) de Framatome.

Une promotion de quarante d'entre eux a suivi pendant dix semaines, à partir d'octobre 2023, un cursus pour approfondir leurs connaissances de physique, du nucléaire, de Framatome, de la DTI et de ses installations. Ils réalisent ensuite pendant six semaines des études de cas spécifiques à leur futur métier afin d'être plus rapidement opérationnels. Une centaine de jeunes ingénieurs devraient suivre ce programme en 2024.

## DES ÉQUIPES SUR UNE LIGNE DE CRÊTE

Au-delà du défi d'ensemble, la croissance des effectifs de certains collectifs est inédite. J'ai pu le constater dans une équipe du nouveau nucléaire dont l'effectif de 20 personnes en 2022 devrait passer à 50 fin 2023 et doubler encore d'ici fin 2024. Préserver les équilibres entre les nouveaux entrants, le noyau dur des référents, voire les sous-traitants, est un véritable défi. S'y ajoute parfois la difficulté d'avoir des effectifs répartis sur différents sites.



Sizewell B REP de 1 200 MWe

Les directions sont conscientes de ce risque et, au-delà de l'instrumenter et de développer des plans d'action, ont commencé à mettre en place des structures pour y remédier. C'est le cas à Edvance avec la création d'une Autorité technique regroupant des experts au niveau de chaque service. Cela apporte du recul et permet de reprendre le pilotage technique métier (animation métier).

Néanmoins, j'appelle à revenir au bon sens : face au défi de croissance et à la pression des projets, il faut garder des tailles d'équipes raisonnables garantissant la maîtrise technique d'ensemble. Leur efficacité à terme viendra de la solidité acquise dans cette période de refondation de la filière.

## COMPÉTENCES, MONTER LE NIVEAU D'EXIGENCE

### AU-DELÀ DES PROCESSUS

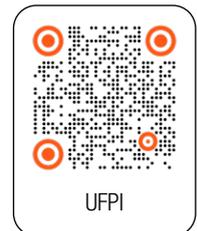
Les bâtisseurs du nucléaire n'ont eu d'autre choix que d'apprendre : les systèmes étaient nouveaux, la culture de sûreté nucléaire était à inventer, l'acquisition des compétences a été faite au plus près de la machine au travers des essais de démarrage et des dépannages. Le passeport pour l'accès aux responsabilités supérieures passait de façon incontournable par la réussite de planches exigeantes, le manager étant d'abord un référent technique.

Depuis, notre industrie s'est beaucoup processée. Si des évolutions pour réassurer le geste de l'intervenant étaient nécessaires, n'a-t-on pas baissé la garde sur le socle de compétences attendues (*cf. chapitre 2*) ?

### REDRESSER LA BARRE

L'augmentation du nombre de postes et la mise en tension des tableaux de succession, en particulier à la conduite, ont pu créer un système où devant créer des vocations, nous avons été tentés d'agrandir les mailles du filet. Le ratio nombre de candidats / nombre de places, de l'ordre de cinq contre un dans le passé, a été parfois inversé à un contre deux ces dernières années. Le remplacement progressif des managers choisis pour leur technicité par des managers choisis pour leur leadership a aussi contribué, en France et au Royaume-Uni, à passer à un système où la connaissance des règles prenait le pas sur la connaissance technique du métier. Pourtant le bon manager doit s'appuyer sur un socle technique suffisant, pas forcément d'expert, et un vrai leadership. Si ce que l'on ne sait pas peut (et doit) s'apprendre, ce que l'on n'est pas est cependant plus difficile à améliorer, mais on peut y travailler pour le devenir.

J'invite donc les responsables de la maintenance, de la conduite et de l'UFPI à se réinterroger. Les



UFPI

formations ont besoin d'une barre d'exigence placée au bon niveau, non pour écarter, mais pour mieux stimuler et, *in fine*, intégrer et créer de la confiance réciproque.

### L'UFPI : POUR UNE RELATION PARTENARIALE RESPONSABLE

La gestion des compétence des unités est largement partagée avec l'UFPI. Après la visite des sites, des centres d'ingénierie et de l'UFPI, je suis convaincu que la relation entité-UFPI ne peut se limiter à une simple sous-traitance : elle mérite d'être repensée selon une logique d'engagement sur le niveau.

La relation clients-fournisseurs s'appuie sur un contrat. Elle se satisfait de la conformité aux process et de verdir les tableaux de bord. La relation partenariale vise au meilleur, renforce les comportements vertueux et crée les conditions de confiance pour aussi se dire les choses quand elles ne vont pas. Il n'est plus question de respect de contrat mais d'apprendre et de s'améliorer ensemble.

D'après Tal Ben-Shahar, professeur à Harvard, « *si l'on n'apprend pas à échouer, on échoue à apprendre* ». L'entraînement sert à ça et permet d'éviter l'échec à l'examen qu'une forme de pudeur a remplacé par le terme de non-validation. Le bon relationnel s'en trouve renforcé mais l'objectif de performance n'est pas atteint. Contrairement à une tendance de fond de notre société, le nucléaire ne se satisfait pas d'un niveau standard : il tend à l'excellence. Si le niveau requis n'est pas atteint, suspendre l'habilitation est un principe de mise en sécurité individuelle et collective. C'est un acte de management.



Formation sur le campus de Saclay

## RECOMMANDATIONS

Dans un contexte de rajeunissement et de recrutements massifs, je recommande aux directeurs du Groupe de faire effectuer à tout nouvel entrant à l'ingénierie et dans les projets, dès son arrivée, un parcours de formation garantissant :

- l'acquisition des fondamentaux de sûreté nucléaire ;
- les connaissances de base indispensables au bon exercice de son métier ;
- une immersion dans un site d'exploitation ;

et d'envisager un système d'habilitation.

Les compétences formant le socle de la sûreté, je recommande au directeur de la DPN en lien avec l'UFPI de renforcer le niveau d'exigence vis-à-vis :

- des prérequis et critères de validation des formations ;
  - des renouvellements d'habilitation, en particulier à la conduite ;
- et de dynamiser les rituels de formation interne aux équipes.



Matériel d'essai au centre de recherche EDF des Renardières

**Marqué notamment par l'essor des énergies renouvelables intermittentes, le système électrique est en pleine mutation.**

**Si les réacteurs ont été conçus pour être résilients face à des événements survenant sur le réseau, le lien entre sûreté du système électrique et sûreté nucléaire ne doit pas être sous-estimé.**

**La réduction des marges du système électrique conduit à une augmentation des perturbations dans les centrales, autant de stress-tests pour les matériels et les équipes.**

**Des événements au Royaume-Uni et sur le continent appellent à anticiper les risques induits et à en définir les parades.**

# Mutations du système électrique : anticiper et ne pas subir

09

Sommaire

01

02

03

04

05

06

07

08

09

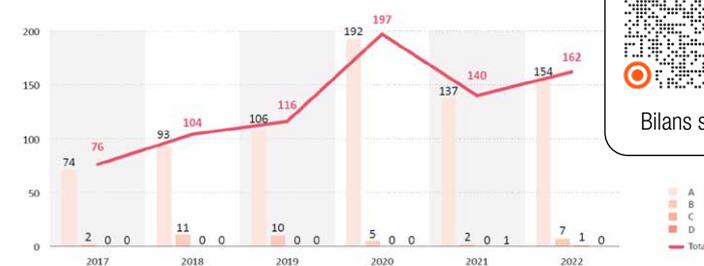
Annexes

Abréviations

La transformation du mix énergétique est engagée. Elle va s'accroître sous l'impulsion des politiques publiques. L'électrification des usages, la croissance des énergies renouvelables intermittentes (ENR) et leur répartition inégale soulèvent des problématiques nouvelles pour les gestionnaires des réseaux de transport d'électricité.

Le solaire et l'éolien ne contribuant pas encore aux besoins de flexibilité, le système électrique a de moins en moins de marge. L'augmentation des événements significatifs système (ESS) observée en France et au Royaume-Uni ces cinq dernières années l'illustre. Des incidents marquants incitent à la prudence : séparations est-ouest du réseau européen en janvier 2021 puis de la péninsule ibérique en juillet 2021.

EVOLUTION DES ESS DE GRAVITÉ ≥ A



garantie et l'exploitant doit se tenir prêt à faire face à un incident réseau généralisé, même rare. Les pertes totales des alimentations électriques externes sont prévues à la conception des centrales et dans les études de sûreté. Sauf îlotage (cf. *infra*), la sûreté est assurée par les diesels et le fonctionnement en thermosiphon avant la restauration des sources externes. Si ces situations sont prévues, d'un point de vue probabiliste il convient de ne pas les multiplier à l'excès.

## Séparation du réseau électrique européen

Le 24 juillet 2021, le réseau électrique synchrone européen a été séparé en deux zones en raison de la perte en cascade de plusieurs lignes situées à la frontière franco-espagnole.

L'analyse technique de l'événement réalisée *a posteriori* par le groupement européen des gestionnaires de réseau (ENTSOE) a montré que le fait initiateur était un incendie à l'origine d'un court-circuit sur une des deux lignes de la liaison 400 kV Baixas-Gaudière. La diminution de puissance transitée n'ayant pas été assez rapide (flux initial de près de 2 500 MWe), un phénomène de surcharges en cascade a progressivement mené à la perte de synchronisme entre les réseaux français et espagnol, avec pour conséquence finale de couper complètement la péninsule Ibérique du reste du réseau continental européen.

Source : ENTSOE

## Des ESS en constante augmentation

RTE mesure chaque année la sûreté d'exploitation du système électrique en comptabilisant les événements significatifs système (ESS) classés selon une échelle de gravité allant de 0 (sans impact direct sur la sûreté du système) et A jusqu'à F. Ces événements reflètent la survenue d'incidents dont les origines peuvent être multiples.

Avec 162 ESS, l'année 2022 s'inscrit dans une tendance globale toujours à la hausse depuis 2017.

Source : Bilan Sûreté 2022 – RTE

## STABILITÉ DU RÉSEAU : LE NUCLÉAIRE AU CŒUR DES ÉQUILIBRES

Le gestionnaire du réseau de transport d'électricité (RTE en France, *National Grid* et *Scottish Power* au Royaume-Uni) est le garant de la sûreté du système électrique. La sûreté du système, assurée de façon intrinsèque par le gestionnaire (architecture, fiabilité, conduite), repose sur le respect d'exigences contractualisées avec les producteurs et les consommateurs. Ces exigences sont définies par les codes réseau. En France, la documentation technique de référence rédigée par RTE est issue des codes européens.

Depuis les années 90, EDF a recensé tous les paramètres importants pour la sûreté du réseau et défini un référentiel d'exigences garantissant la pertinence du réglage des protections et leur conformité. L'implication

Dans ce contexte, le nucléaire, pilotable et manœuvrant, joue un rôle essentiel. Sa résilience face à ces nouvelles perturbations doit être



Maintenance sur un transformateur à Penly

historique de la Division technique générale d'EDF (DTG) dans ce domaine est essentielle. J'invite les managers de la maintenance et de la conduite des CNPE à mieux exploiter les formations qu'elle propose.

### Maintenir la fréquence

Du Portugal à l'Ukraine, la fréquence du réseau électrique est synchrone autour de 50 Hz. Le moindre déséquilibre entre production et consommation à un quelconque point du système interconnecté européen induit une variation de fréquence ressentie par l'ensemble des utilisateurs. Pour y remédier, les gestionnaires de réseau ont mis en place des règles de régulation et d'intervention. Les groupes pilotables, dont le nucléaire, contribuent par les systèmes de réglage (primaire, secondaire et tertiaire) de fréquence et par leur inertie, à compenser ces variations. Si ces régulations ne suffisent pas, des dispositifs de type interruptibilité ou plans de délestage permettent de retrouver l'équilibre en déconnectant des consommateurs pré-identifiés.

La fermeture de centrales pilotables associée au développement des énergies intermittentes tend à fragiliser cet équilibre :

- difficulté à prévoir la production de ces dernières ;
- diminution du nombre de groupes capables de réagir rapidement ;
- perte de foisonnement en cas d'aléas climatiques touchant simultanément toute l'Europe ;
- moindre part de machines tournantes naturellement stabilisatrices.

Les réserves européennes requises permettent de compenser un déséquilibre instantané de puissance inférieur ou égal à 3 000 MWe. En 2023, la France contribuait à hauteur de 519 MWe à cette réserve.

Dans des circonstances exceptionnelles, le réseau alimentant l'utilisateur peut se trouver momentanément isolé par rapport au réseau européen. RTE privilégie alors le maintien de la tension, quitte à voir la fréquence varier dans une plage plus importante. Il revient aux utilisateurs de prendre les dispositions pour protéger leurs installations.

### Maintenir la tension

Tenir la tension est essentiel à la sûreté de fonctionnement du système électrique. Les tensions basses peuvent mettre des lignes en surcharge, provoquer le déclenchement des installations de production ou même être à l'origine d'un effondrement généralisé du réseau comme en Belgique en 1982 et dans l'ouest de la France et au Japon en 1987. Les tensions hautes sont la cause du vieillissement prématuré d'équipements, voire de leur destruction.

Le maintien de la tension dans des plages prédéfinies est essentiel au bon fonctionnement des récepteurs et des générateurs connectés

au réseau. La plupart ne peuvent pas accepter une tension s'écartant notablement de leur tension de conception.

Le nucléaire contribue de façon importante au réglage permanent de la tension par action sur le courant d'excitation de l'alternateur. Ce dernier produit ou consomme de la puissance réactive, ce qui modifie la tension au point d'injection. De proche en proche, cet effet se répercute sur l'ensemble des points voisins. Contrairement à la fréquence, le maintien de tension a donc une réalité résolument locale. Le nucléaire y apporte une contribution clef. Ainsi le site de Blayais a été sollicité au printemps 2023 par le RTE pour maintenir deux de ses réacteurs couplés au réseau, au titre du soutien au plan de tension de la plaque sud-ouest. Cela s'est traduit notamment par le report de près d'un mois de la visite décennale du réacteur numéro 2.

Ces dernières années, le raccordement privilégié des ENR directement sur le réseau de distribution et l'enfouissement des lignes ont eu tendance à induire des phénomènes de tensions hautes. Cela sollicite les alternateurs des sites nucléaires plus près de leurs limites de fonctionnement et les rapproche des seuils de protection.

## ANTICIPER ET NE PAS SUBIR

Face à ces mutations et à leurs conséquences potentielles sur la sûreté du système, il me semble crucial d'anticiper d'un point de vue technique, de définir les parades supplémentaires et de contribuer activement à la définition des nouvelles normes réseau.

### Direction de la stratégie et R&D à la manœuvre

Depuis plusieurs années, EDF mène des analyses prospectives et des programmes de recherche.

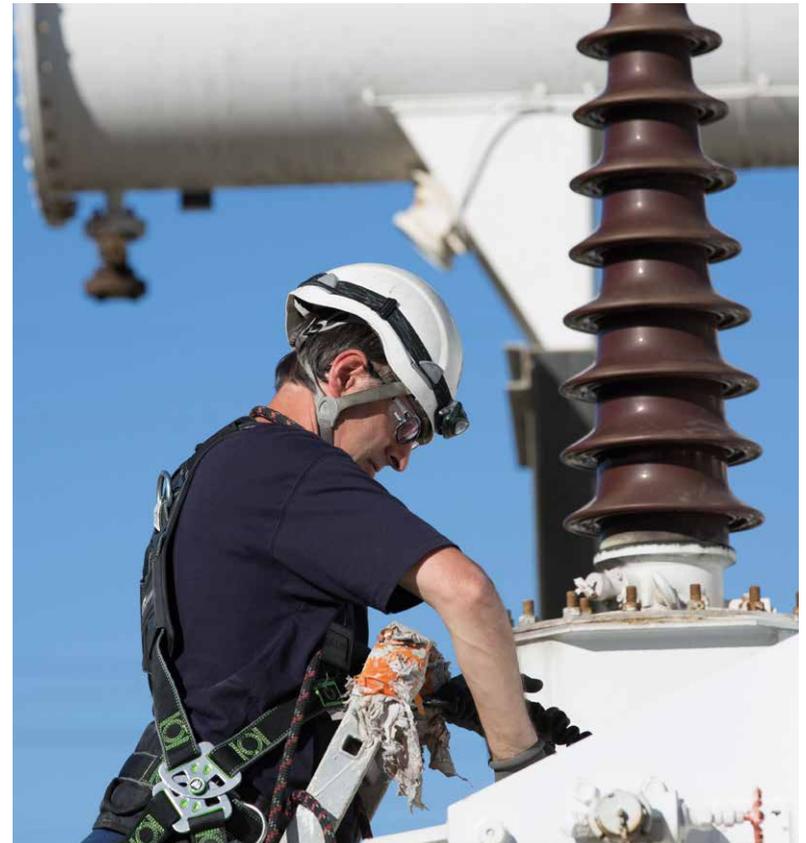
A la Direction de la stratégie, les analystes et experts du Groupe engagés dans CHypSE (corps d'hypothèses stratégique énergies) mettent à jour annuellement les scénarios d'évolution du mix énergétique afin d'éclairer les décisions d'investissement. Ce travail très fouillé examine un certain nombre d'hypothèses, en particulier sur les trajectoires d'investissement des différents pays. La préservation de l'équilibre du système électrique à terme repose sur la capacité des pays interconnectés à coordonner dès aujourd'hui leurs initiatives, selon une feuille de route d'ensemble. (584 milliards d'euros d'investissements seraient nécessaires pour moderniser les réseaux électriques de l'Union européenne d'ici à 2030). Il faut rester prudent quant à la capacité collective à converger vers un système des systèmes cohérent.

A la R&D, l'expertise sur les réseaux est une compétence historique, elle se manifeste en particulier par des outils de simulation de qualité et des installations d'essai uniques. Le projet INCREASE vise à définir l'effet de l'intégration des énergies renouvelables sur le réseau

et à identifier les mesures à prendre dans le parc existant et les prochains EPR2. Des phénomènes d'oscillations basse fréquence (dites hyposynchrones) initiés par les installations d'électronique de puissance (fermes éoliennes, par exemple) sont étudiés pour en prévenir les effets mécaniques sur les groupes tournants. Le projet EMED traite quant à lui du mix électrique de demain et notamment de la tenue du plan de tension en fonction du nombre de tranches nucléaires couplées.

### Contribuer aux évolutions de la réglementation

Sur le plan des évolutions de la réglementation, il est important que le savoir-faire et l'expérience d'EDF contribuent à définir les futures exigences et leur compatibilité avec les limites des performances des moyens de production. Jusqu'à présent, le parc pilotable assure la majeure partie des flexibilités, les producteurs d'ENR n'étant soumis qu'à très peu d'exigences. La proportion d'ENR augmentant, il est indispensable qu'elles prennent également leur part.



*Intervention DTG sur un transformateur*

Par ailleurs, il est crucial que les caractéristiques dynamiques du réseau, imposées aux futurs réacteurs, soient technologiquement acceptables. C'est un des enjeux de l'implication d'EDF dans l'élaboration des codes de réseau européen et de leur révision périodique. Les discussions autour du ROCOF (pente de variation de fréquence lors d'un à-coup de réseau), qui tendra à augmenter avec la disparition des groupes pilotables fortement inertiels, en sont un bon exemple. Si l'essor des ENR tend à imposer un ROCOF élevé, il faut aussi préserver les marges de fonctionnement des machines pilotables, elles-mêmes stabilisatrices.

## MAINTENIR LA FIABILITÉ DES ÉQUIPEMENTS

Si les mutations du système électrique doivent faire l'objet d'attention, sa fragilité viendra peut-être d'abord de son vieillissement.

Aujourd'hui, les matériels 400 kV et 225 kV sont très majoritairement sous la responsabilité de RTE. Avec une moyenne d'âge d'environ 50 ans, le réseau de transport français est l'un des plus anciens d'Europe. Le mur d'investissements nécessaire à son renouvellement sera dans les quinze prochaines années un enjeu crucial. Certaines réhabilitations sont jugées urgentes (par exemple, risques induits par la corrosion). Ce programme figure dans le schéma décennal publié par RTE en 2019.

Dans les CNPE, ces mêmes matériels (225 kV et 400 kV) font l'objet depuis plusieurs années d'un programme de remplacement piloté par le Grand Carénage. Pour les transformateurs, il s'agit de remplacer les pôles TP, TS et TA et de les équiper d'un système de *monitoring*. Pour les postes d'évacuation, il faut remplacer les postes aériens ou sous enveloppe métallique pour pallier la corrosion, les fuites de gaz SF6 et le vieillissement du matériel. Ce programme patrimonial ne doit pas pâtir d'arbitrages financiers ou dus au planning. Il importe aussi de donner toute sa place à la maintenance courante et conditionnelle pour garantir la conformité des installations dans le temps. L'un et l'autre apporteront la fiabilité attendue.

## SE PRÉPARER AUX INCIDENTS RÉSEAU GÉNÉRALISÉS, MÊME RARES

RTE dispose d'un plan de défense efficace pour contrer les signes avant-coureurs d'événement majeur. En 2022, 95 % des défauts ont été éliminés, conformément aux attentes. Néanmoins, des événements continuent de survenir et montrent que des conjonctions exceptionnelles de facteurs défavorables, incluant les conditions climatiques extrêmes, pourraient conduire à une coupure généralisée.

## Îlotages et renvois de tension essentiels à la reconstitution du réseau

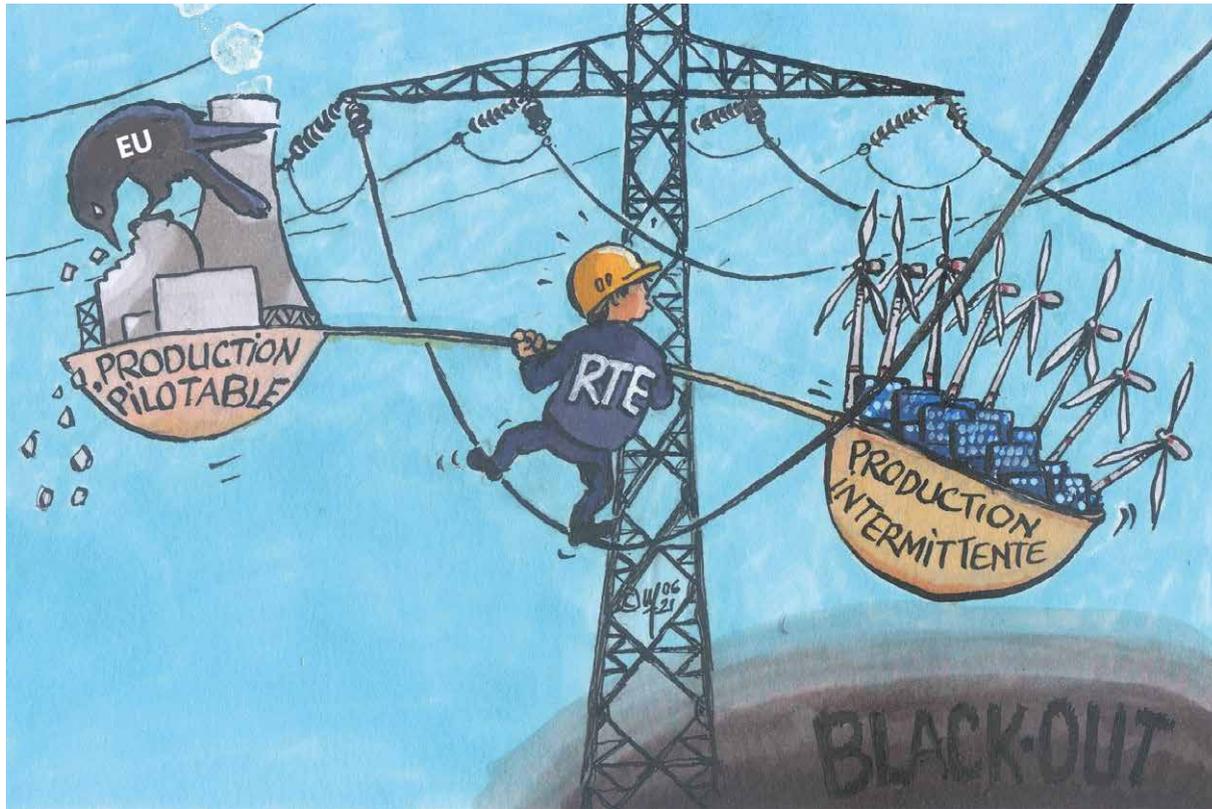
La stratégie de RTE pour reconstituer tout ou partie du réseau après un incident généralisé repose sur des groupes nucléaires complétés des moyens hydrauliques. La reconstitution se fait à partir d'ossatures prédéfinies pour assurer la réalimentation progressive. Les réacteurs nucléaires îlotés peuvent redémarrer seuls, les réacteurs non îlotés doivent recevoir la puissance nécessaire à leur redémarrage depuis une autre unité de production. Dans le cas d'un incident réseau généralisé, EDF et RTE ont donc des rôles complémentaires : EDF s'engage à réussir l'îlotage de certains réacteurs tandis que RTE s'engage à garantir des renvois de tension.

Lors d'un îlotage, un réacteur cesse d'alimenter le réseau et passe à une puissance réduite pour produire l'énergie électrique nécessaire à son propre fonctionnement. Chaque réacteur doit réaliser un essai d'îlotage tous les quatre arrêts pour rechargement, l'engagement contractuel d'EDF vis-à-vis de RTE est d'en réussir plus de 60 % sur une période de quatre ans glissants. Cet indicateur dépasse aujourd'hui 90 %.

Chaque site dispose de trois scénarios de renvoi de tension : l'un interne (de réacteur à réacteur) et les deux autres externes (par exemple, depuis un barrage hydroélectrique). La périodicité des essais de renvois de tension externe est passée de trois à six ans, compensée par la réalisation de deux exercices sur simulateur par an et par site avec RTE. Des retards d'essai montrent la difficulté à réunir les conditions de réalisation entre le groupe émetteur de la tension, RTE qui configure le réseau, et le groupe qui reçoit la tension. Le suivi de ce programme doit encore se renforcer. C'est un des objectifs du Comité de pilotage des renvois de tension et de la reconstitution du réseau.

### Tempête Ciarán

Les 1<sup>er</sup> et 2 novembre 2023, les vents violents et les pluies abondantes de la tempête Ciarán ont touché le nord-ouest de la France. La foudre a frappé une ligne à très haute tension et le vent a fragilisé une traversée électrique du transformateur principal du réacteur n°2 de Flamanville, conduisant aux îlotages des deux unités. Les réacteurs produisent alors l'énergie nécessaire à leurs systèmes auxiliaires pour fonctionner de façon autonome en toute sûreté. Le transitoire s'est déroulé normalement et a été correctement géré par les équipes de quart. Le réacteur n°1 a été reconnecté rapidement au réseau, le réacteur n°2 a dû être mis à l'arrêt pour remplacer la traversée endommagée. L'entraînement des équipes de quart en préparation de l'événement a contribué à la maîtrise de ces transitoires.



Gérer l'équilibre offre / demande

### Renforcer formation et entraînement

Les réacteurs à eau pressurisée REP d'EDF ont des designs robustes avec une redondance des sources électriques externes, internes et ultimes, renforcée après Fukushima Daiichi (DUS, diesels d'ultime secours).

L'enjeu porte sur les compétences requises pour garantir un haut niveau de maîtrise opérationnelle, depuis les matériels 400 kV jusqu'au moindre composant de la distribution électrique. Des échanges menés sur site et avec les unités nationales d'appui, je retiens que des efforts complémentaires mériteraient d'être accomplis dans les métiers de la conduite et de la maintenance électrique.

A la conduite, la formation des opérateurs dans ce domaine est très concentrée pendant leur formation initiale. J'encourage à généraliser

l'initiative de certains sites qui organisent des recyclages. L'objectif est de s'assurer qu'au-delà de l'application des procédures, les équipes conservent la maîtrise du schéma de distribution électrique et la capacité à élaborer des diagnostics et des stratégies de réalimentation. Il me paraît également important que chaque opérateur soit régulièrement amené à jouer un scénario de perte des alimentations électriques externes et de reconstitution de réseau. Enfin, les compétences des délégués sécurité exploitation (DSE), en matière de configuration et de consignation des matériels 400 kV, 225 kV et 6,6 kV, méritent une attention particulière. L'objectif est d'affermir leurs connaissances et de leur donner confiance dans la maîtrise des gestes rares.

A la maintenance, si des initiatives sont prises par le niveau national à travers des guides et des communautés de pratiques, le risque est de ne toucher qu'un nombre limité d'acteurs locaux. Le catalogue

de la formation spécifique au domaine électrique est bien fourni (par exemple, stages constructeurs). Néanmoins, la maîtrise de la distribution électrique doit être rehaussée pour tous. Le personnel d'astreinte électrique, en lien avec l'exploitant en cas d'incident, doit en particulier disposer d'un socle plus pointu de compétences. Elles doivent être acquises par la formation et par un parcours professionnel comportant la réalisation (ou le suivi) d'activités plus rares telles que les coupures 400 kV ou 225 kV, les coupures de voies ou les coupures de tableaux. Un suivi plus particulier de ces populations sensibles doit être assuré.

### LA MANŒVRABILITÉ DU PARC : UN CAPITAL À PRÉSERVER

Le suivi de charge est un atout des réacteurs EDF, les autres exploitants dans le monde utilisant essentiellement leurs réacteurs en base. Les réacteurs du parc d'EDF peuvent faire varier leur puissance entre 20 % et 100 % en 30 minutes, deux fois par jour. Des améliorations du design d'origine permettent cette flexibilité.

Une étude menée sur la période 2002-2016 a montré que le suivi de charge n'avait pas d'impact évident sur le nombre d'événements sûreté liés aux transitoires ni sur l'intégrité du combustible et qu'il avait des effets limités sur le circuit secondaire.

La manœuvrabilité offerte par le nucléaire devient d'autant plus indispensable avec la priorité accordée aux ENR. Plus qu'auparavant, il faut limiter au strict nécessaire les prescriptions temporaires imposant le maintien du réacteur à pleine puissance. Il faut aussi porter une attention plus soutenue aux matériels pouvant être affectés

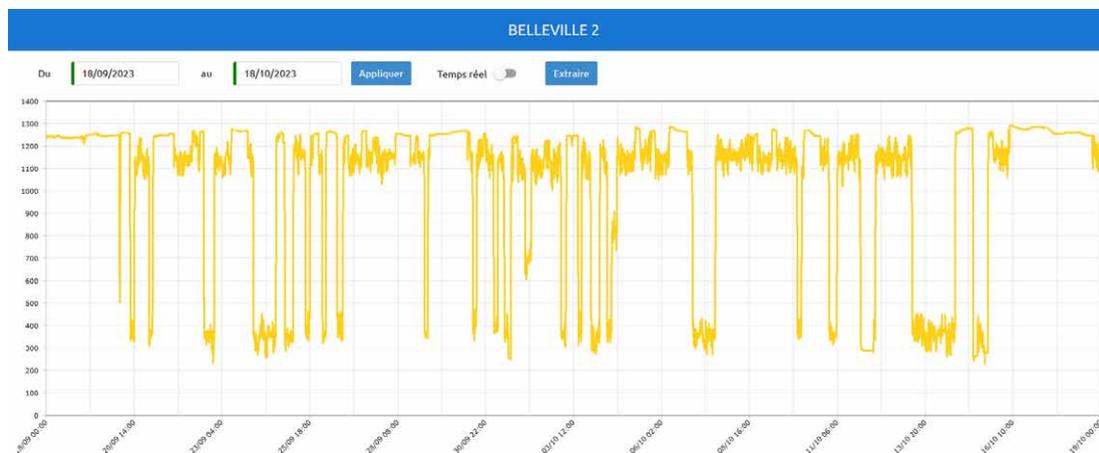
par les variations de charge (circuits d'effluents, évaporateurs) et aux chaudières auxiliaires de production de vapeur nécessaires au redémarrage. Enfin, la capacité des opérateurs à gérer les transitoires de puissance doit être un point de constante attention.

### LE RÉSEAU BRITANNIQUE : DES MUTATIONS DONT IL FAUT APPRENDRE

Le Royaume-Uni vise à atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050. Le système électrique subit des changements importants : le mix énergétique est passé de 3 % d'électricité générée par les ENR en 2010 à 40 % en 2022. La même période a vu la fermeture de centrales thermiques classiques et nucléaires. Dans ce nouveau paysage, un site nucléaire peut se retrouver le dernier moyen de production pilotable dans une région, ce qui peut exacerber les conséquences des perturbations du réseau.

Des événements survenus en 2023 dans des sites d'EDF *Nuclear Operations* illustrent cette situation.

- Un site a subi en période d'arrêt réacteur des déclenchements répétés de certains moteurs électriques importants pour la sûreté. Ces déclenchements ont été initiés par des perturbations du réseau provenant d'une combinaison de facteurs défavorables : passage à l'arrêt pour maintenance de certaines lignes, flux de puissance associés à des parcs éoliens en mer, déséquilibres de charge connus de longue date au niveau du réseau de transport dans la région. Les relais de protection des moteurs, trop sensibles aux perturbations, devront être remplacés par des modèles résistant à des déséquilibres de courant plus importants ;



Graphique de variation de puissance d'un réacteur 1 300 MWe (enregistrement sur un mois)

- Dans un autre site, l'arrêt automatique d'un réacteur (AAR) résulte d'une perturbation réseau sous la forme d'oscillations hyposynchrones (à une fréquence de 8 Hz), occasionnées par la mise en service d'une ferme éolienne en mer à proximité du site. Au moment de l'événement, l'alternateur du site était le seul générateur synchrone connecté au réseau dans la région, ce qui a probablement amplifié le phénomène. Une modification du régulateur de tension de l'alternateur a permis de traiter la faiblesse identifiée. Depuis, le site a connu 26 événements similaires, dont 18 en une seule journée, néanmoins sans AAR.

La direction de *Nuclear Operations* a engagé un programme de travail volontariste. Il intègre la création au plus haut niveau d'instances d'échange avec les gestionnaires de réseau pour partager la situation, anticiper les évolutions et définir les parades nécessaires. Il comporte aussi un pan matériel visant à renforcer la résilience des sites : revue des normes minimales d'entretien obligatoire, élaboration de stratégies de durée de vie pour certains composants, investissements ciblés, amélioration des moyens de surveillance de l'état du réseau. Si ces initiatives sont à saluer, elles arrivent un peu tardivement et méritent d'être mises en œuvre dans des délais courts. Le remplacement des matériels à l'origine de l'événement survenu en 2021 ne sera achevé qu'en 2024 (*cf. rapport 2021*), d'où la nécessité d'analyser et de traiter au plus tôt les causes matérielles des événements de 2023.

En conclusion, j'incite *Nuclear Operations* à mieux se prémunir des perturbations du réseau britannique et les Français à tirer les enseignements de tout incident outre-Manche, précurseur de ce que l'arrivée massive des ENR provoquera sur le continent.



*L'Europe vue de l'espace : empreinte lumineuse*

## RECOMMANDATIONS

**Les mutations du système électrique et le vieillissement du réseau étant amenés à davantage solliciter nos installations, je recommande au directeur de la DPNT de mieux ancrer les compétences dans le domaine électrique et de renforcer la maîtrise des conséquences des perturbations système sur les installations de production. Les services maintenance et conduite doivent s'évaluer puis corriger, avec l'appui de l'UFPI, leurs points faibles.**

**Pour donner suite aux événements survenus sur le réseau britannique ces dernières années, je recommande au directeur de *Nuclear Operations* de réexaminer les réglages des protections électriques afin de garantir leur conformité et de vérifier que leurs valeurs prennent en compte les évolutions du système électrique.**



Chantier à Hinkley Point C - Pose du dôme du réacteur n°1

# Annexes

## **LES INDICATEURS DE RÉSULTATS DES PARCS NUCLÉAIRES**

EDF SA  
EDF ENERGY

## **LES ÉTAPES INDUSTRIELLES DES UNITÉS DE PRODUCTION**

EDF SA  
EDF ENERGY

## **LES SITES NUCLÉAIRES**

EDF SA  
EDF ENERGY  
FRAMATOME

## **TABLE DES ABRÉVIATIONS**

## LES INDICATEURS DE RÉSULTATS DU PARC NUCLÉAIRE D'EDF SA

N°	Indicateurs	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	Nombre d'événements significatifs pour la sûreté classés dans l'échelle INES (1 et plus), par réacteur <sup>1</sup>	1,14	1,16	0,98	1,12	1,28	1,45	1,4	1,3	1,4	1,2
2	Nombre d'événements significatifs pour la sûreté (INES 0 et plus), par réacteur	10,8	10,03	9,78	11,59	12,6	12,7	12,4	12,9	12,2	12,7
3	Nombre d'événements significatifs, par réacteur <ul style="list-style-type: none"> <li>• Non-conformités aux STE</li> <li>• Réactivité</li> </ul>	1,55 -	1,24 -	1,48 -	1,41 0,9	1,69 0,7	1,8 0,9	1,5 0,6	1,5 1,0	1,5 0,7	1,1 0,7
4	Nombre de non-conformités <sup>2</sup> de configuration de circuits par réacteur	1,41	1,74	1,64	1,78	1,24	1,4	1,3	1,1	1,3	1,25 <sup>6</sup>
5	Nombre d'arrêts du réacteur, par réacteur (et pour 7 000 heures de criticité <sup>3</sup> ) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatiques</li> <li>• Manuels</li> </ul>	0,53 0,07	0,66 0	0,48 0	0,38 0,04	0,31 0	0,53 0,03	0,29 0,04	0,53 0	0,36 0,02	0,32 0,04
6	Dose opérationnelle collective moyenne, par tranche en service (en hSv)	0,72	0,71	0,76	0,61	0,67	0,74	0,61	0,71	0,67	0,72
7	Dosimétrie individuelle : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre de personnes dont la dose est supérieure à 20 mSv</li> <li>• Nombre de personnes entre 16 et 20 mSv</li> <li>• Nombre de personnes entre 14 et 16 mSv</li> </ul>	0 0 5	0 0 2	0 0 1	0 0 0	0 0 1	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
8	Nombre d'événements significatifs pour la radioprotection	113	109	117	131	170	171	173	108	140	141
9	Disponibilité (%)	80,9	80,8	79,6	77,1	76,5	74	71,9	72,9	58,1	67,3
10	Indisponibilité fortuite (%)	2,4	2,48	2,02	3,26	3,7	3,95	5	4,55	2,36 <sup>5</sup>	3,69 <sup>5</sup>
11	Taux de fréquence des accidents du travail avec arrêt Tfg (pour 1 million d'heures travaillées) <sup>4</sup>	3,2	2,7	2,8	2,2	2,3	3,3	2,9	2,9	3,1	3,1
12	Taux de fréquence des accidents du travail avec arrêt LTIR (pour 1 million d'heures travaillées) <sup>4</sup>	-	-	-	-	-	2,4	2,2	3,2	2,0	2,0

<sup>1</sup> Hors événements dits génériques.

<sup>2</sup> Toute configuration d'un circuit ou ses sources, en écart par rapport à la situation attendue, et étant la ou une cause d'un événement significatif (série statistique retraitée en 2018).

<sup>3</sup> Valeur moyenne ne tenant pas compte des AAR pour cause externe.

<sup>4</sup> Taux de fréquence DPN et prestataires.

<sup>5</sup> Valeur hors CSC (8,3% en 2022 et 4,18% en 2023 en intégrant l'impact CSC).

<sup>6</sup> Donnée non définitive et extrapolée des résultats à fin octobre 2023.

## LES INDICATEURS DE RÉSULTATS DU PARC NUCLÉAIRE D'EDF ENERGY

N°	Indicateurs	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	Nombre d'événements classés dans l'échelle INES (1 et plus), par réacteur	0,33	0,47	0,27	0,47	0,53	0,27	0,07	0,47	0,13	0,27
2	Nombre d'événements sûreté dans l'échelle INES (0 et plus) par réacteur <sup>1</sup>	4,47	7,4	10	6,13	5,93	6,73	5,47	6,2	5,53	5,27
3	Nombre de cas de non-conformité aux STE, par réacteur	1,53	1	0,8	0,6	0,6	0,67	0,87	0,53	0,6	0,47
4	Nombre de non-conformités <sup>2</sup> de configuration de circuits par réacteur	2,8	2,87	3,13	0,93	1,67	1,67	1	1,33	1,2	1,47
5	Nombre d'arrêts du réacteur, par réacteur (et pour 7 000 heures de criticité <sup>3</sup> ) • Automatiques • Manuels	1,17	0,57	0,3	0,49	0,89	0,56	0,35	0,63	0,49	0,23
		0,62	0,19	0,42	0,37	0,20	0,32	0	0,27	0	0,12
6	Dose opérationnelle collective moyenne, par tranche en service (en hSv) • Sizewell B • AGR	0,365	0,048	0,544	0,296	0,096	0,255	0,031	0,383	0,028	0,719
		0,074	0,067	0,021	0,02	0,05	0,032	0,013	0,012	0,015	0,014
7	Dosimétrie individuelle : • Nombre de personnes dont la dose est supérieure à 20 mSv • Nombre de personnes entre 16 et 20 mSv • Nombre de personnes entre 14 et 16 mSv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		5	2	1	0	1	0	0	0	0	0
8	Nombre d'événements significatifs pour la radioprotection	27	18	20	10	23	28	26	29	18	19
9	Disponibilité (%) : • Parc EDF Energy • Sizewell B • AGR	72,1	77,3	83	81,6	76,1	65,8	61,7	60,4	77,9	73
		84,1	100	82	83,8	89,4	80,6	99,4	64,2	98,7	73,7
		70,2	73,7	83,1	81,2	74	63,5	55,9	59,7	73,1	72,8
10	Indisponibilité fortuite (%) : • Parc EDF Energy • Sizewell B • AGR	10,7	2,3	5,1	5	3,1	4	5	12,3	4,8	4
		0,7	0	0,1	0	2,2	0,2	0,6	0	1,3	0,6
		12,3	2,7	5,8	5,7	3,3	4,7	6,2	14,3	5,9	4,9
11	Taux de fréquence des accidents du travail avec arrêt LTIR (pour 1 million d'heures travaillées) <sup>4</sup>	0,2	0,4	0,3	0,2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3
12	Taux de fréquence des accidents du travail avec et sans arrêt TRIR (pour 1 million d'heures travaillées) <sup>4</sup>	0,8	0,6	0,7	0,4	1,1	1,0	0,7	0,5	0,8	1

<sup>1</sup> Hors événements dits génériques (événements dus à des anomalies de conception).

<sup>2</sup> Toute configuration d'un circuit ou ses sources, en écart par rapport à la situation attendue, et étant la ou une cause d'un événement significatif.

<sup>3</sup> Valeur moyenne de tous les réacteurs à la différence de la valeur WAN0, qui prend en compte la valeur du réacteur médian.

<sup>4</sup> Taux de fréquence EDF Nuclear Generation et prestataires.

## LES ÉTAPES INDUSTRIELLES DES UNITÉS DE PRODUCTION D'EDF SA

Année de mise en service	Unité de production	Puissance en MWe*	VD1	VD2	VD3	VD4
1977	Fessenheim 1 CP0	880	1989	1999	2009	N/A
1977	Fessenheim 2 CP0	880	1990	2000	2011	N/A
1978	Bugey 2 CP0	910	1989	2000	2010	2020
1978	Bugey 3 CP0	910	1991	2002	2013	2023
1979	Bugey 4 CP0	880	1990	2001	2011	2020
1979	Bugey 5 CP0	880	1991	2001	2011	2021
1980	Dampierre 1 CP1	890	1990	2000	2011	2021
1980	Dampierre 2 CP1	890	1991	2002	2012	2022
1980	Gravelines 1 CP1	910	1990	2001	2011	2021
1980	Gravelines 2 CP1	910	1991	2002	2013	2023
1980	Gravelines 3 CP1	910	1992	2001	2012	2022
1980	Tricastin 1 CP1	915	1990	1998	2009	2019
1980	Tricastin 2 CP1	915	1991	2000	2011	2021
1980	Tricastin 3 CP1	915	1992	2001	2012	2022
1981	Blayais 1 CP1	910	1992	2002	2012	2022
1981	Dampierre 3 CP1	890	1992	2003	2013	2023
1981	Dampierre 4 CP1	890	1993	2004	2014	2024
1981	Gravelines 4 CP1	910	1992	2003	2014	2024
1981	St-Laurent B1 CP2	915	1995	2005	2015	2025
1981	St-Laurent B2 CP2	915	1993	2003	2013	2023
1981	Tricastin 4 CP1	915	1992	2004	2014	2024
1982	Blayais 2 CP1	910	1993	2003	2013	2023
1982	Chinon B1 CP2	905	1994	2003	2013	2023
1983	Blayais 3 CP1	910	1994	2004	2015	2024
1983	Blayais 4 CP1	910	1995	2005	2015	2025
1983	Chinon B2 CP2	905	1996	2006	2016	2026
1983	Cruas 1 CP2	915	1995	2005	2015	2025
1984	Cruas 2 CP2	915	1997	2007	2018	2027
1984	Cruas 3 CP2	915	1994	2004	2014	2024

VD1 : 1<sup>re</sup> visite décennaleVD2 : 2<sup>e</sup> visite décennaleVD3 : 3<sup>e</sup> visite décennaleVD4 : 4<sup>e</sup> visite décennale

Année de mise en service	Unité de production	Puissance en MWe*	VD1	VD2	VD3	VD4
1984	Cruas 4 CP2	915	1996	2006	2016	2026
1984	Gravelines 5 CP1	910	1996	2006	2016	2026
1984	Paluel 1 P4	1330	1996	2006	2016	2026
1984	Paluel 2 P4	1330	1995	2005	2018	2026
1985	Flamanville 1 P4	1330	1997	2008	2018	2028
1985	Gravelines 6 CPY	910	1997	2007	2018	2028
1985	Paluel 3 P4	1330	1997	2007	2017	2027
1985	St-Alban 1 P4	1335	1997	2007	2017	2027
1986	Cattenom 1 P'4	1300	1997	2006	2016	2027
1986	Chinon B3 CP2	905	1999	2009	2019	2029
1986	Flamanville 2 P4	1330	1998	2008	2019	2029
1986	Paluel 4 P4	1330	1998	2008	2019	2029
1986	St-Alban 2 P4	1335	1998	2008	2018	2028
1987	Belleville 1 P'4	1310	1999	2010	2020	2030
1987	Cattenom 2 P'4	1300	1998	2008	2018	2028
1987	Chinon B4 CP2	905	2000	2010	2020	2030
1987	Nogent 1 P'4	1310	1998	2009	2019	2029
1988	Belleville 2 P'4	1310	1999	2009	2019	2029
1988	Nogent 2 P'4	1310	1999	2010	2020	2030
1990	Cattenom 3 P'4	1300	2001	2011	2021	2031
1990	Golfech 1 P'4	1310	2001	2012	2022	2032
1990	Penly 1 P'4	1330	2002	2011	2021	2031
1991	Cattenom 4 P'4	1300	2003	2013	2023	2033
1992	Penly 2 P'4	1330	2004	2014	2024	2034
1993	Golfech 2 P'4	1310	2004	2014	2025	2034
1996	Chooz B1 N4	1500	2010	2020	2030	2040
1997	Chooz B2 N4	1500	2009	2019	2029	2039
1997	Civaux 1 N4	1495	2011	2021	2031	2041
1999	Civaux 2 N4	1495	2012	2022	2032	2042

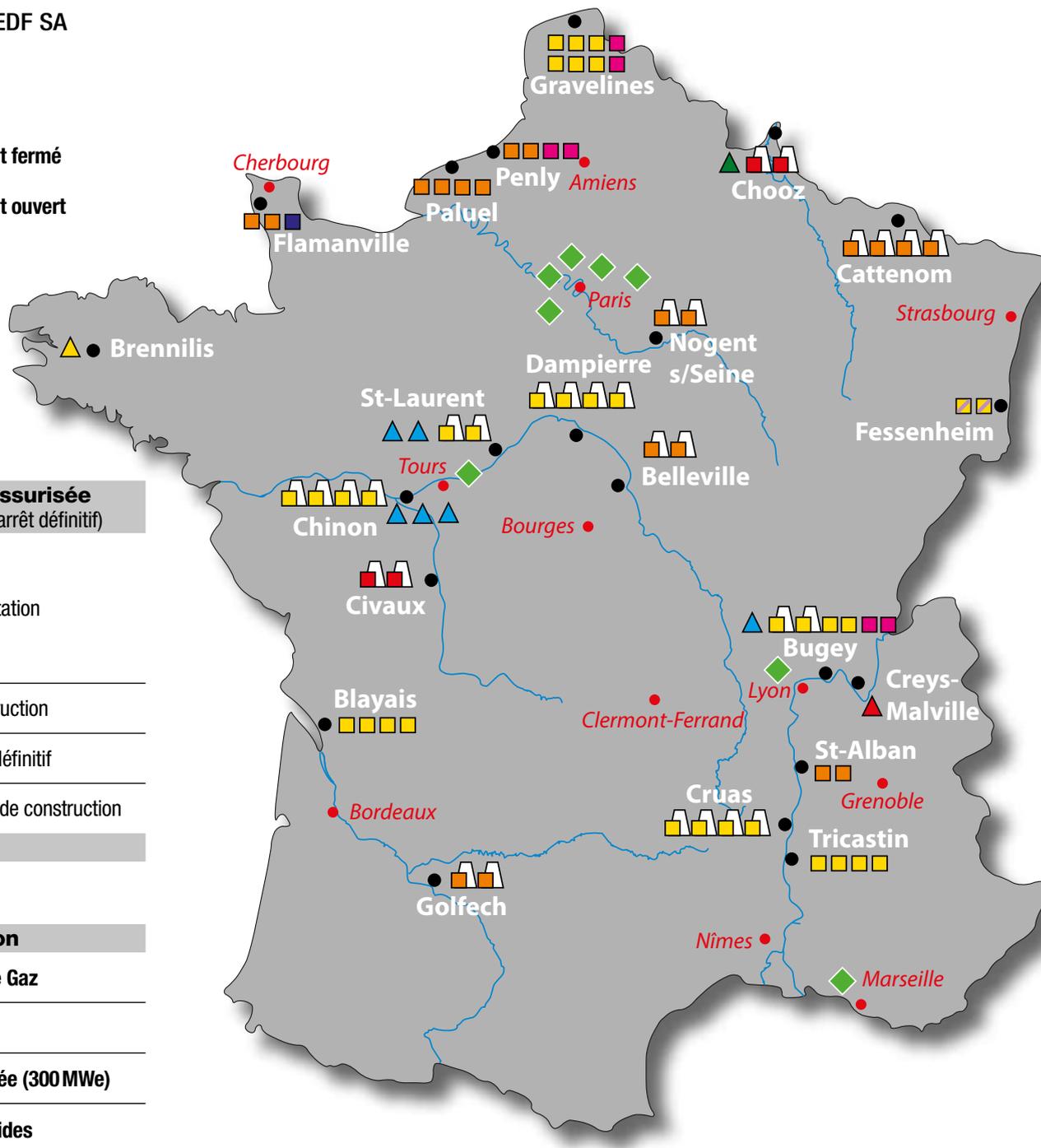
(\*) Puissance Continue Nette (PCN)

## LES ÉTAPES INDUSTRIELLES DES UNITÉS DE PRODUCTION D'EDF Energy

Année de mise en service	Unité de production	Réacteur numéro	Puissance MWe	Date prévue de mise à l'arrêt définitif
1976	Hinkley Point B	R3	480	2022
1976	Hinkley Point B	R4	475	2022
1976	Hunterston B	R3	480	2021
1976	Hunterston B	R4	485	2022
1983	Dungeness B	R21	525	2021
1983	Dungeness B	R22	525	2021
1983	Heysham 1	R1	580	2026
1983	Heysham 1	R2	575	2026
1983	Hartlepool	R1	595	2026
1983	Hartlepool	R2	585	2026
1988	Heysham 2	R7	615	2028
1988	Heysham 2	R8	615	2028
1988	Torness	R1	590	2028
1988	Torness	R2	595	2028
1995	Sizewell B		1198	2035

## LES SITES NUCLÉAIRES D'EDF SA

- Refroidissement en circuit fermé
- Refroidissement en circuit ouvert



### Réacteurs à eau pressurisée (exploitation, construction et arrêt définitif)

<b>32</b>	<b>900 MWe</b>	
<b>20</b>	<b>1 300 MWe</b>	Exploitation
<b>4</b>	<b>1 450 MWe</b>	
<b>1</b>	<b>1 600 MWe (EPR)</b>	Construction
<b>2</b>	<b>900 MWe</b>	Arrêt définitif
<b>6</b>	<b>1 670 MWe (EPR2)</b>	Projet de construction

### Ingénierie

<b>8</b>	Ingénierie
----------	------------

### Déconstruction

<b>6</b>	Uranium Naturel Graphite Gaz
<b>1</b>	Eau Lourde
<b>1</b>	Réacteur à eau pressurisée (300 MWe)
<b>1</b>	Réacteur à Neutrons Rapides

Sommaire

01

02

03

04

05

06

07

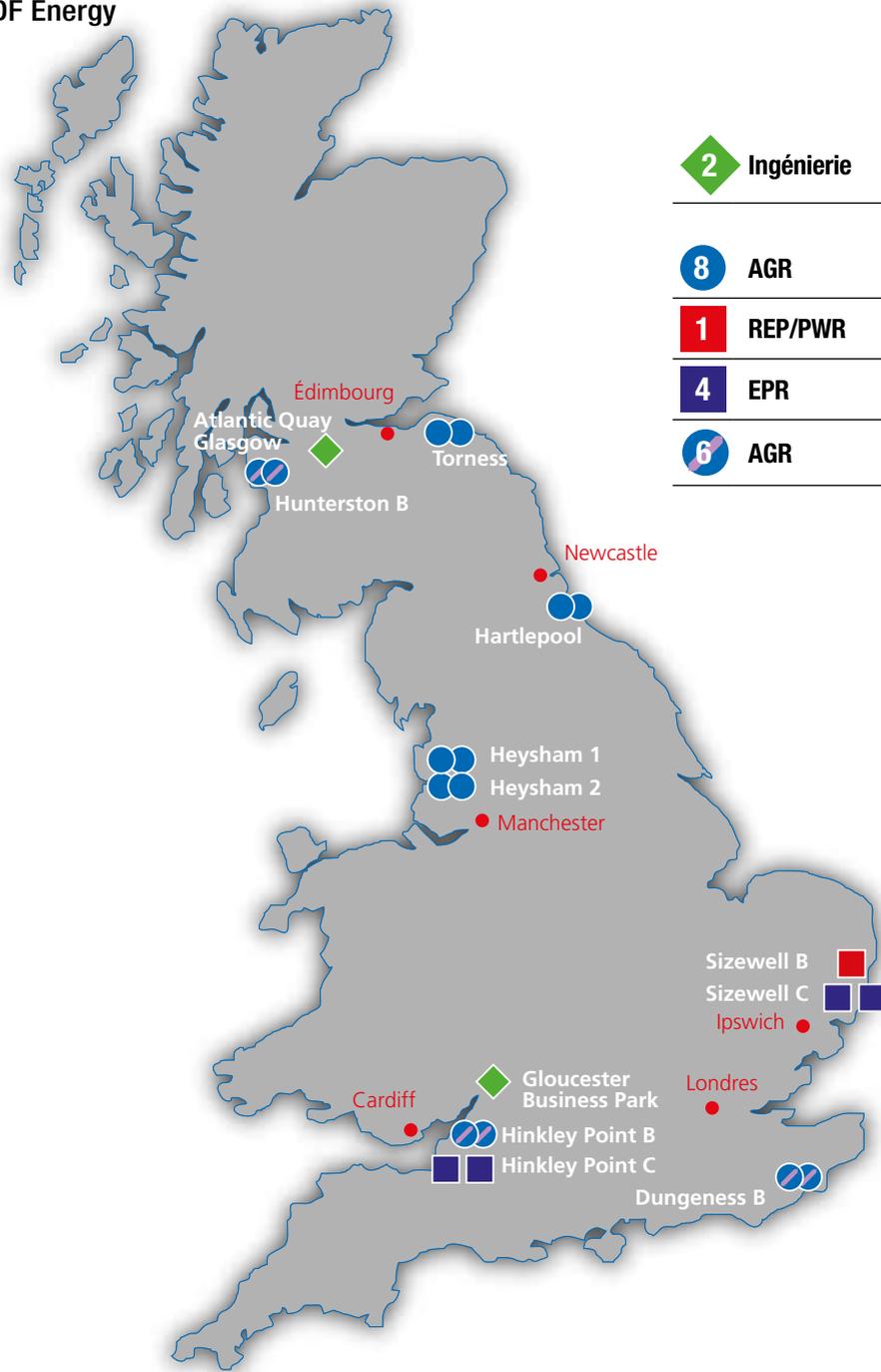
08

09

Annexes

Abréviations

## LES SITES NUCLÉAIRES D'EDF Energy



## LES SITES DE FRAMATOME

Sommaire

01

02

03

04

05

06

07

08

09

Annexes

Abréviations

**Reste du monde**

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| 8 Japon : Tokyo                | 17 Espagne : Zaragoza                       |
| 9 Corée du Sud : Séoul         | 18 Royaume-Uni : Londres                    |
| 10 République Tchèque : Prague | 19 Afrique du Sud : Le Cap                  |
| 11 Russie : Moscou             | 20 Argentine                                |
| 12 Ukraine : Kiev              | 21 Brésil : Rio de Janeiro / Angra dos Reis |
| 13 Bulgarie : Sofia            | 22 Canada : Pickering / Kincardine          |
| 14 Slovaquie : Bratislava      |   |
| 15 Hongrie                     |   |
| 16 Suède : Helsingborg         |   |

**Allemagne**

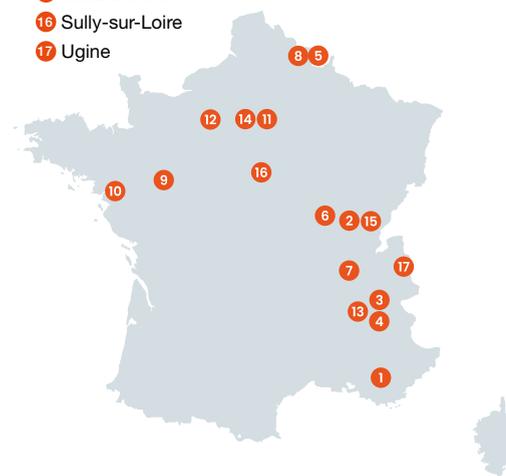
- 1 Berlin
- 2 Erlangen
- 3 Karlstein
- 4 Lingen

**Chine**

- 1 Pékin
- 2 Lianyungang
- 3 Fuqing
- 4 Shanghai
- 5 Taishan
- 6 Deyang
- 7 Haiyan
- 8 Daya Bay

**France**

- |                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| 1 Cadarache         | 13 Romans-sur-Isère |
| 2 Chalon-sur-Saône  | 14 Rungis           |
| 3 Grenoble          | 15 Saint-Marcel     |
| 4 Jarrie            | 16 Sully-sur-Loire  |
| 5 Jeumont           | 17 Uginé            |
| 6 Le Creusot        |                     |
| 7 Lyon              |                     |
| 8 Maubeuge          |                     |
| 9 Montreuil-Juigné  |                     |
| 10 Paimbœuf         |                     |
| 11 Paris La Défense |                     |
| 12 Rugles           |                     |



## TABLE DES ABRÉVIATIONS

**A**

AAR	Arrêt Automatique de Réacteur
AFI	Recommandation
AGR	Advanced Gas-cooled Reactor
AIP	Activité Importante pour la Protection des intérêts
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
AIEA	Agence Internationale de l'Énergie Atomique
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
AMR	Arrêt Manuel de Réacteur
AMT	Agence de Maintenance Thermique
ANDRA	Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs
ARENH	Accès Régulé à l'Électricité Nucléaire Historique
ASN	Autorité de Sûreté Nucléaire
AT	Arrêt de Tranche
ATEX	ATmosphères EXplosibles

**B**

BWR	Réacteur à eau bouillante
-----	---------------------------

**C**

CCL	Centre de Crise Local
CEA	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives
CEFRI	Comité français de certification des entreprises pour la formation et le suivi du personnel travaillant sous rayonnements ionisants
CETIC	Centre d'Expérimentation et de validation des Techniques d'Intervention sur Chaudière nucléaire à eau
CGN	China General Nuclear Power Corporation (Chine)
CIPR	Commission Internationale de Protection Radiologique
CLI	Commission Locale d'Information
CIGEO	Centre industriel de stockage géologique
CNC	Protection de site qui inclut le PSPG
CNEPE	Centre National d'Équipement de Production d'Électricité (DIPNN)
CNPE	Centre Nucléaire de Production d'Électricité
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
COLIMO	projet de modernisation et de sécurisation des méthodes et pratiques de Consignation, Lignage et Mobilité
COMSAD	Commission Sûreté de Démarrage
COMSAT	Commission Sûreté en Arrêt de Tranche
COPAT	Centre Opérationnel de Pilotage des Arrêts de Tranche

CPO	Crew Performance Observation
CRT	Comité des Référentiels Techniques
CRESS	Compte Rendu d'Événement Significatif Sûreté
CSN	Conseil de Sûreté Nucléaire
CSNE	Comité Sûreté Nucléaire en Exploitation de la DPN
CTO	Central Technical Organisation

**D**

DACI	Direction Autorité de Contrôle Indépendant (Edvance)
DART	Equipe d'intervention réactive (EIR)
DBUE	Force d'Action Rapide Nucléaire (FARN UK)
DCC	Directoire Cœur Combustible
DCN	Division Combustible Nucléaire
DFISQ	Département Filière Indépendante de Sûreté et de Qualité (DIPNN)
DI	Direction Industrielle (DIPNN)
DIPDE	Division de l'Ingénierie du Parc, et De l'Environnement
DIPNN	Direction de l'Ingénierie et des Projets du Nouveau Nucléaire
DOE	Department Of Energy (US)
DP2D	Direction des Projets Déconstruction et Déchets
DPN	Division Production Nucléaire
DPNT	Direction du Parc Nucléaire et Thermique
DRS	Directoire des Réexamens de Sûreté
DSPTN	Direction Support aux Projets et Transformation Numérique (DIPNN)
DT	Direction Technique (DIPNN)
DTEAM	Division Thermique Expertise Appui industriel Multi métier
DTEO	Direction de la Transformation et Efficacité Opérationnelle
DTG	Division Technique Générale (EDF Hydro)
DTI	Direction Technique et de l'Ingénierie (Framatome)

**E**

EATF	Enhanced Accident-Tolerant Fuel
EDT	Équipe Dédiée Terrain
EDVANCE	Filière d'EDF (80 %) et de Framatome (20 %)
EGE	Évaluation Globale d'Excellence
EIP	Élément Important pour la Protection des intérêts
EIPS	Équipement d'Intérêt Protégé pour la Sûreté
EMAT	Equipe Mutualisée d'Arrêt de Tranche
EIR	Equipe d'Intervention Rapide
EIR	Évènement Intéressant Radioprotection
EPR	European Pressurised Reactor
EPRI	Electric Power Research Institute (États-Unis)

ESPN	Équipements Sous Pression Nucléaires
ESR	Événement Significatif en Radioprotection
ESS	Événement Significatif de Sûreté
EVEREST	Évoluer VERs une Entrée Sans Tenu universelle (Projet de reconquête de la propreté radiologique)

**F**

FARN	Force d'Action Rapide du Nucléaire
FIN	Equipe d'Intervention Réactive (EIR UK)
FIS	Filière Indépendante de Sûreté
FME	Foreign Material Exclusion
FSAT	Equipe d'Intervention Incendie (UK)

**G**

GDA	Generic Design Assessment (UK)
GECC	Groupe Exploitation Cœur Combustible
GIEC	Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (ONU)
GIFEN	Groupement des Industriels Français de l'Énergie Nucléaire
GK	Programme Grand Carénage
GPEC	Gestion Prévisionnelle des Emplois et des Compétences
GPSN	Groupe Performances Sûreté Nucléaire (UNIE)

**H**

HCTISN	Haut-Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire
HOF	Facteur Organisationnel et Humain (FOH)
HPC	Projet Hinkley Point C (Royaume-Uni)
HPT	Pratiques de Fiables des Interventions (PFI)

**I**

IAEA	voir A = AIEA
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
ICRP	Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR)
IFOPSE	Centre de formation sécurité en entreprise
IN	Inspection Nucléaire (DPN)
INA	Independent Nuclear Assurance (EDF Energy)
INB	Installation Nucléaire de Base
INES	International Nuclear Events Scale
INPO	Institute of Nuclear Power Operations (États-Unis)
INSAG	International Nuclear SAFETY Group (AIEA)
INSAG	International Safety Advisory Group (AIEA)

IPCC	Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC ONU)
IRAS	Ingénieur chargé des Relations avec l'ASN (CNPE)
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire

**J**

JDO	Joint Design Office (UK)
-----	--------------------------

**L**

LLS	Turbo-alternateur d'ultime secours
LNHE	Laboratoire National Hydraulique et Environnement
LOCA	Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP)
LTIR	Lost Time Injury Rate

**M**

MAAP	Mission d'Appui et d'Assistance à la Performance (DPNT)
MARN	Mission d'Appui à la gestion des Risques Nucléaires
MDL	Manager de Deuxième Ligne
MEEI	Maintenir un État Exemplaire des Installations (projet de la DPN)
MEH	Composants Electromécaniques
MLC	Matériels Locaux de Crise
MME	Méthodes de Maintenance et d'Exploitation
MOX	Abréviation pour Combustible mélange d'oxydes
MPL	Manager de Première Ligne
MQME	Plan de Maîtrise de la Qualité de Maintenance et d'Exploitation (DPN)
MVM	Maîtrise des Volumes de Maintenance

**N**

NCC	Noyau de Cohérence des métiers de Conduite
N3C	Non-conformités de configurations de circuits
NCME	Noyau de Cohérence des métiers de Maintenance en Exploitation
NC STE	Non Conformité Spécifications Techniques d'Exploitation
NDA	Nuclear Decommissioning Authority (Royaume- Uni)
NDT	Contrôles non destructifs
NEA	Nuclear Energy Agency (OECD)
NEI	Nuclear Energy Institute (États-Unis)
NNB	Nuclear New Build (EDF Energy)
NNSA	National Nuclear Security Administration (Chine)
NPP	Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE)
NQME	Non Qualité de Maintenance et d'Exploitation
NRC	Nuclear Regulatory Commission (États-Unis)

NSG	Service Sécurité (UK)
-----	-----------------------

**O**

OIU	Organe d'Inspection de l'Utilisateur
ONC	Organisation Nationale de Crise
ONR	Office for Nuclear Regulation (Royaume-Uni)
OPEX	Retour d'Expérience
OSART	Operational Safety Review Team (AIEA)
OST	Observation Situation de Travail

**P**

PBMP	Programme de Base de Maintenance Préventive
PCCF	Projet Conformité Creusot Forge (Framatome)
PCC-EO	Pôle Compétences Conseil et Efficacité des Organisations
PCI	Interaction Pastille Gains (IPG)
PDC	Plan de Développement des Compétences de l'ingénierie nucléaire
PFI	Pratiques de Fiabilisation des Interventions
PGAC	Prestations Générales d'Assistance aux Chantiers
PIRP	Politique Industrielle et Relations Prestataires
PLM	Plant Lifecycle Management
PPAS	Plan Pluriannuel d'Amélioration de la Sécurité (Framatome)
PPE	Équipement de Protection Individuelle (EPI)
PPI	Plan Particulier d'Intervention
PSPG	Peloton Spécialisé de Protection de la Gendarmerie
PUI	Plan d'Urgence Interne
PWR	Réacteur à Eau sous Pression (REP)

**R**

R&D	Direction Recherche et Développement
RASA	Règle d'Application des Spécifications Agressions
REP	Réacteur à Eau Pressurisée
REX	Retour d'Expérience
RGE	Règles Générales d'Exploitation
RGV	Remplacement des générateurs de vapeur
RIS	Circuit d'injection d'eau de secours pour assurer le refroidissement du réacteur
RTE	Réseau de Transport d'Électricité

**S**

SAT	Systematic Approach to Training
SDIN	Système D'Information du Nucléaire
SDIS	Services Départementaux d'Incendie et de Secours
SIR	Service d'Inspection Reconnu

SMART	Programme de digitalisation de la DIPDE
SMI	Système de Management Intégré
SMR	Petit Réacteur Modulaire
SODT	Safety Oversight Delivery Team
SOER	Significant Operating Experience Report (WANO)
SOH	Socio-Organisationnel et Humain
SP	Structures Palier (DPN)
SPR	Service Prévention des Risques
SQEP	Habilitation (personne qualifiée et expérimentée)
STE	Spécifications Techniques d'Exploitation
SWITCH	Programme de transformation numérique de la DIPNN
SYGMA	Système de Gestion de la Maintenance

**T**

TCO	Technical Client Organisation (UK)
TEM	Tranche En Marche
Tfg	Taux de fréquence et de global
TNPJVC	Joint-venture entre CGN (51 %), Guangdong Yudean group Company (19 %) et EDF (30 %)
TRIR	Total Recordable Injury Rate
TSM	Technical Support Mission, réalisé par des pairs sous l'égide de WANO
TSN	Loi sur la Transparence et la Sécurité en matière Nucléaire
TSSM	Chef de Mission Sécurité Qualité (MSQ)
TVO	Teollisuuden Voima Oyj (Finlande)

**U**

UFPI	Unité de professionnalisation pour la Performance Industrielle (DTEAM)
UGM	Université Groupe du Management
ULM	Unité Logistique et Maintenance
UNGG	Uranium Naturel Graphite Gaz
UNIE	Unité d'Ingénierie d'Exploitation (DPN)
UTO	Unité Technique Opérationnelle (DPN)

**V**

VC	Visite Complète
VD	Visite Décennale
VP	Visite Partielle

**W**

WANO	World Association of Nuclear Operators
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association



*L'équipe IGSNR à Saint-Alban :  
Bertrand VAUCHY - Jean CASABIANCA - Jean-Baptiste DUTTO - Paul WOLFENDEN - Bertrand de l'ÉPINOIS*

## CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

Pierre Antoine, Jean-Louis Burnod, Marc Caraveo, Christophe Guibbaud / Sipa, James Fletcher / Niki Rousseau, Denis Allard / REA, Marc Didier, Laurent Vautrin, Creation CARAVEO (r), Antoine Soubigou, Bruno County, EDF MÉDIATHÈQUE / Francis Chanteloup, Marc Didier, Geoff Harris, Cyrille Dupont / The Pulses, Copyright EDF / Olivier Guerrin, C. MEIREIS\_CAPA, David Richard, Nicolas Waeckel



Raoul Dufy, *La Fée Électricité*, 1937

Pour leur accueil et la qualité des échanges, l'IGSNR remercie :

**En France :**

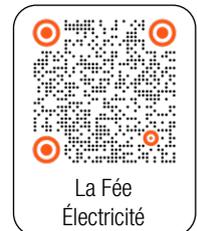
- les membres du Comex et des directions de la DPNT et de la DIPNN ;
- la direction de la DPN, l'UNIE, l'UTO, l'IN, les CNEPE de Gravelines, Bugey, Chooz, Paluel, Saint-Alban et Flamanville 3 ;
- le projet EPR2, le CNEPE, Edvance, la DI, l'OIU, la DT, la DFISQ ;
- le Grand Carénage, l'UFPI, la DIPDE, la DCN, la direction de l'audit Groupe, la MAAP, le GIFEN, l'UMN, la R&D des Renardières et de Chatou ;
- Framatome Romans-sur-Isère, Fuel, DTI ;
- TechnicAtome, le porte-avions *Charles de Gaulle*, ITER ;
- EDF Hydro, la DTG ;
- Musée d'Art Moderne (MAM) de Paris  
Sophie Krebs - conservateur général responsable des collections du MAM.

**Au Royaume-Uni :**

- Nuclear Operations, Sizewell B, Heysham 1, Dungeness B, Sizewell C, Hinkley Point C.

**Aux États-Unis :**

- l'INPO, la centrale de Vogtle, la NRC, NEI et l'ambassade de France.





E.D.F.  
Présidence IGSNR  
22-30, avenue de Wagram  
75008 Paris  
☎ : +33 (0)1 40 42 25 20

[www.edf.com](http://www.edf.com)  
[www.igsnr.com](http://www.igsnr.com)