

RAPPORT DE L'INSPECTEUR GÉNÉRAL
POUR LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE
ET LA RADIOPROTECTION 2025



20
25



AVANT-PROPOS

Notre organisation repose sur la responsabilité première de l'exploitant en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection. La politique sûreté du groupe EDF en fait une priorité absolue.

Ce rapport, remis au Président, présente mon appréciation de l'état de la sûreté nucléaire, de la radioprotection et de la sécurité dans les activités et installations nucléaires du groupe EDF en 2025.

Fruit d'un travail collectif avec Bertrand de L'Épinois, Jean-Baptiste Dutto, Paul Wolfenden et Bertrand Vauchy, il s'appuie sur les contributions des équipes de terrain, des responsables techniques, des représentants du personnel, des partenaires industriels et des instances de contrôle internes et externes. J'adresse mes remerciements appuyés à Paul Wolfenden qui rejoint sa flotte sur l'autre rive de la Manche.

Ce rapport s'adresse non seulement à ceux qui, dans l'entreprise, prennent des décisions, mais aussi à tous ceux dont le travail influe sur la sûreté, par leurs gestes, leurs attitudes et leurs pratiques. Tous les sites de production français et britanniques, les ingénieries, les filiales et partenaires sont concernés : rigueur technique, transparence, responsabilisation sont autant de leviers essentiels pour progresser en toute sûreté.

Plus que jamais j'insiste sur la conduite du changement : transformation des organisations, adaptation du management, modernisation des pratiques, évolution des métiers, numérisation, innovations technologiques, afin que la sûreté ne soit pas seulement un impératif mais une culture, un stimulant plutôt qu'un frein. Les fragilités identifiées dans les années récentes concernant le maintien des compétences, la complexité des règles d'exploitation, la lourdeur du programme

industriel, les délais et charges pesant sur le temps d'intervention, la cohérence du mix énergétique et le retour d'expérience rendent urgentes des évolutions structurelles, une appropriation individuelle et un engagement collectif.

Mon intention est que ce rapport, au-delà des forces et des progrès, identifie les signaux faibles, les domaines de risque et qu'il propose des pistes d'amélioration. Ses recommandations incitent à l'action et seront suivies en Conseil de sûreté nucléaire.

La sûreté ne se décrète pas : elle se construit jour après jour sur la compétence et la responsabilité individuelle, sur le *leadership* et l'exemplarité et, surtout, sur la volonté collective de s'améliorer.

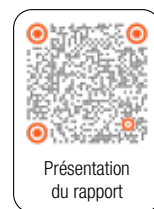
Ce rapport se fonde sur les trois piliers de la culture de sûreté nucléaire : démarche rigoureuse et prudente, attitude interrogative, communication. Il doit donc recevoir une large diffusion interne pour susciter à son tour interrogations et critiques, facteurs clés de l'amélioration continue de la sûreté.

En toute transparence, il est mis à la disposition du public, en français et en anglais, sur le site www.igsnr.com.

Paris, le 15 janvier 2026



L'inspecteur général
pour la sûreté nucléaire
et la radioprotection
Amiral (2S) Jean Casabianca





SOMMAIRE

	Avant-propos	3
<u>CHAP 1</u>	Rétrospectives, bilan et perspectives	7
<u>CHAP 2</u>	Le management de la sûreté	21
<u>CHAP 3</u>	Construire au quotidien une culture de sécurité et de radioprotection	31
<u>CHAP 4</u>	La fiabilité des matériels, pilier de la sûreté	41
<u>CHAP 5</u>	La source froide, avant-poste de la centrale	51
<u>CHAP 6</u>	Une relation partenariale en mutation	61
<u>CHAP 7</u>	Crise, incendie : prévenir et intervenir	73
<u>CHAP 8</u>	EPR, tirer profit du REX	83
<u>CHAP 9</u>	Asseoir la souveraineté nationale en fermant le cycle du combustible	95
	Annexes	105



Centrale de Cattenom

CHAP 1

RÉTROSPECTIVES, BILAN ET PERSPECTIVES

L'année 2025 confirme le renouveau du nucléaire avec un record de production mondiale grâce aux nouveaux raccordements au réseau en Chine et au redémarrage de réacteurs japonais, sous cocon depuis l'accident de Fukushima en 2011.

Les résultats sûreté du Groupe restent stables mais des incidents, aux effets maîtrisés, doivent servir au retour d'expérience.

Flamanville 3 (FLA3), 4^e EPR de la famille, devient un des 57 réacteurs français en production. C'est le 70^e réacteur électrogène construit en France.

Cinq ans ont passé depuis mon premier rapport en plein Covid et avant la détection des phénomènes de corrosion sous contrainte (CSC). Tant de choses ont changé, tant reste à faire, avec une certitude : le nucléaire est une énergie abondante, fiable et décarbonée. Un atout pour la souveraineté.

Les femmes et les hommes du Groupe devront continuer à en être les exploitants responsables. En toute sûreté.

UN BILAN SÛRETÉ SATISFAISANT, DES INCIDENTS À BIEN PRENDRE EN COMPTE

Dans l'ensemble du Groupe, si la plupart des indicateurs de sûreté sont satisfaisants, le nombre d'arrêts automatiques de réacteurs (AAR) pour des causes internes se stabilise autour d'une vingtaine en France (24 pour 57 réacteurs) et il a augmenté à un niveau rarement atteint au Royaume-Uni (8 pour 9 réacteurs). De part et d'autre de la Manche, le facteur humain ainsi que des défaillances d'équipements en sont les causes principales. En France, s'y ajoutent, de manière atypique, six AAR liés à des causes externes (foudre, méduses, réseau, etc.).

Ce bilan sûreté relativement stable, avec une meilleure maîtrise de la réactivité qui devra s'inscrire dans la durée, accompagne une production en hausse en France (373 TWh et 35 TWh de modulation) et en léger retrait au Royaume-Uni (32,9 TWh au lieu de 38,4 TWh prévus). L'amélioration de la maîtrise des arrêts de tranche résulte du plan Start 2025 et d'une plus grande rigueur dans le respect des jalons. EDF SA se rapproche ainsi de son objectif de 400 TWh annuels, confirmant la reprise du parc nucléaire français. La moindre performance du parc britannique s'explique par des avaries subies principalement par une même centrale.

Au-delà des statistiques et des indicateurs, l'année 2025 a été marquée par des événements qui méritent une attention particulière au titre de la sûreté et par la confirmation des évolutions du mix énergétique français.

Les deux premiers incidents commentés ci-dessous confirment que, dans un contexte de fragilisation de l'équilibre des réseaux, il est important de s'entraîner aux pertes d'alimentations électriques externes et de fiabiliser les moyens de secours. Les recommandations du rapport 2023, dans son chapitre Mutations du système électrique : anticiper et ne pas subir, ont fait l'objet d'un plan d'actions et

restent actuelles. La redondance et la résilience des moyens de production et des réseaux contribuent à la sûreté des réacteurs et réduisent les risques d'effet cascade sur le fonctionnement des pays (paralysie générale des transports et des services de santé, de télécommunication et de sécurité publique).

Une troisième famille d'incidents, regroupe des agressions de la source froide d'origines différentes et qui risquent de se multiplier avec les effets du changement climatique sur la faune et la flore de nos mers et fleuves.

UN BLACK-OUT IBÉRIQUE ÉCLAIRANT !

Le 28 avril, la perte totale durant près de 24h du réseau de la péninsule Ibérique a été qualifiée par l'ENTSO-E, l'association des gestionnaires de réseaux européens, de « premier black-out lié à un phénomène de surtensions en cascade, en Europe et probablement dans le monde ». Il a provoqué des perturbations dans le sud-ouest de la France et l'arrêt automatique d'un réacteur de Golfech.

L'ENTSO-E a publié un rapport en octobre 2025 et prévoit une version finale au printemps 2026 avec l'analyse des causes profondes, du comportement des acteurs et des moyens techniques mobilisés. Il formulera les recommandations nécessaires au renforcement de la résilience du système électrique européen.

Ce passage dans le noir de la péninsule Ibérique met en lumière la plus grande robustesse du réseau français et de ses moyens de production. En cas de perte d'alimentation extérieure, les centrales nucléaires disposent de trois lignes de défense : l'îlotage (ou auto-alimentation électrique par le groupe turbo-alternateur, une caractéristique du parc français), les sources internes (diesels, turbines à gaz) puis la

possibilité de redémarrer centrales et réseau (*blackstart*) grâce aux moyens pilotables et diversifiés de production (appel à un réacteur secourant l'autre, aux barrages hydroélectriques ou aux turbines à combustion du thermique à flamme). Par l'inertie et les capacités de pilotage et de réglage de ses grosses machines tournantes, le parc nucléaire stabilise fortement le réseau.

La coordination opérationnelle et le contrôle périodique des performances entre les sites de production et les centres opérationnels du système électrique (COSE) de RTE mettent en exergue l'importance de l'interface réseau / production. Enfin la formation et l'entraînement des équipes de conduite à l'ilotage et aux renvois de tension méritent d'être régulièrement entretenus.

En application du code européen *Emergency and Restoration* et de sa déclinaison nationale, RTE et EDF assurent conjointement la capacité de reconstitution du système électrique français dans des délais courts en cas d'incident réseau généralisé (IRG ou *black-out*). La complémentarité des centrales nucléaires et hydrauliques d'EDF est fondamentale et doit être préservée. Il est bienvenu que les contrats et raccordements d'énergies renouvelables (ENR) intègrent désormais des règles spécifiques pour ne pas nuire à l'équilibre et à la stabilité du réseau.

LA PERTE D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE D'UN SITE BRITANNIQUE

À Hartlepool, la défaillance d'un transformateur a entraîné l'arrêt du réacteur en puissance (l'autre étant à l'arrêt pour maintenance programmée) par perte des alimentations électriques externes. Les turbines à gaz ont bien fonctionné comme générateurs de secours et la sûreté des deux réacteurs est restée maîtrisée. Les travaux menés par la flotte pour améliorer la fiabilité des turbines à gaz lui ont permis de fonctionner hors réseau pendant une période prolongée.

Un défaut de fabrication, connu et surveillé, a provoqué cet incident. Être confronté à ce type de situation pendant près de cinq jours est



Centrale de Golfech - Accès aux installations industrielles

exceptionnel. La centrale a bien réagi et a bénéficié du soutien des services centraux et des partenaires industriels. Le retour d'expérience devra être rapidement exploité en prenant en compte une analyse de risque plus poussée sur la redondance des sources externes en préalable aux interventions sur les alimentations électriques.

L'incident a également provoqué une entrée d'eau de mer dans le circuit secondaire. La corrosion de deux rotors de turbine a conduit à leur remplacement et à une prolongation de l'arrêt, sans incidence sur la sûreté mais avec un impact conséquent sur la production.

UNE NATURE AGRESSIVE POUR LA SOURCE FROIDE, EN MER COMME EN RIVIÈRE

Durant l'été, des arrivées massives de colmatants ont altéré les sources froides de plusieurs sites de bord de mer ou de fleuve. Bancs de méduses ou algues filamenteuses charriées par les crues ont affecté des sources froides de production et aussi, dans un cas, celles

de sûreté, provoquant ou imposant l'arrêt de réacteurs et nécessitant de nombreux travaux de préservation (cf. chapitre 5).

Un retour d'expérience global est nécessaire, portant à la fois sur l'anticipation de ces phénomènes, les dispositifs d'alerte, les mesures d'exploitation et le matériel associé. La R&D d'EDF travaille avec l'IFREMER, dans le cadre du projet Iguazù, sur le développement des méduses en mer du Nord. Dans un domaine qui n'est jamais figé, qui est sensible au changement climatique, prendre en compte tous les agresseurs possibles est fondamental.

LA FLEXIBILITÉ DU NUCLÉAIRE À L'ÉPREUVE DE LA SURCAPACITÉ INTERMITTENTE

Depuis l'origine, le parc nucléaire français module sa production d'électricité afin d'assurer l'équilibre entre offre et demande. Historiquement limitée aux nuits et aux week-ends, cette modulation s'intensifie avec la montée en puissance en Europe des énergies renouvelables (ENR) dans un contexte de stagnation de la demande, avec une cloche solaire méridienne et des pics éoliens irréguliers.

En 2024, les volumes modulés avaient doublé, atteignant 31 TWh, entraînant un recours accru aux arrêts temporaires de réacteurs. En 2025, le parc subit un nouveau record avec 35 TWh.

J'ai déjà alerté dans deux rapports sur les conséquences techniques, humaines et organisationnelles d'un pilotage de plus en plus soumis à des contraintes extérieures qui tendent à s'amplifier. Les conclusions de l'étude conduite dans une approche globale par EDF en 2025 corroborent mon analyse technique et l'enrichissent de données économiques. La modulation augmente le nombre de transitoires subis par l'installation ; elle nécessitera des études pour retrouver des marges et pourrait imposer le remplacement de gros composants, notamment les équipements en butée de comptabilisation de situations. Dans un contexte industriel déjà chargé, la modulation, même bien encadrée, alourdit l'organisation du travail, perturbe la planification des activités et complexifie les conditions d'exploitation.



HPB - Activité en salle des machines

D'ici à 2030, la modulation pourrait tripler, donnant à croire en une capacité nucléaire mal dimensionnée. Mais la stabilité du réseau et la réponse aux besoins saisonniers de production massive (hiver rigoureux, sans soleil et sans vent) passent par les moyens pilotables et décarbonés fournis par nos centrales. L'Allemagne, qui dispose d'une capacité ENR équivalente à trois parcs nucléaires français,

module avec des turbines à gaz et avec du charbon. Son impact carbone reste plus de dix fois supérieur à celui de la France.

La sûreté nucléaire des centrales et la sûreté des réseaux demeurent nos priorités absolues. Deux leviers majeurs s'imposent pour moins

moduler et plus décarboner : accélérer l'électrification des usages et adapter le développement des capacités de production renouvelable à l'évolution de la demande dans une approche technique et économique, dépassionnée et non dogmatique.

RENAISSANCE NUCLÉAIRE : LA GÉOPOLITIQUE DE L'ATOME REPREND SES DROITS

La relance du nucléaire entre dans l'ère des réalisations concrètes : les investissements mondiaux ont bondi de 50 % en cinq ans et dépassent 70 Md\$. Le retour de la Banque mondiale et celui de la Banque européenne d'investissement marquent un tournant institutionnel. L'Europe et les États-Unis placent désormais le nucléaire au cœur de leur souveraineté industrielle et énergétique. Outre les projets de réacteurs de forte puissance, la dynamique est portée par l'essor des SMR (*small modular reactor*), la cogénération électricité-chaleur, le développement de *data centers*, la désalinisation et la production d'hydrogène et, à plus long terme, la fusion.

Deux décisions traduisent un mouvement stratégique vers la sécurisation et la régionalisation des chaînes d'approvisionnement en combustible nucléaire. Aux États-Unis, la NRC (*Nuclear Regulatory Commission*) autorise Urenco à enrichir l'uranium jusqu'à 10 %, ouvrant la voie à un combustible plus performant et adapté aux futurs SMR. Au Japon, l'objectif est de compter 20 % d'énergie nucléaire dans le mix électrique d'ici à 2030 (avec l'exploitation de 33 des réacteurs mis sous cocon après Fukushima et la construction de trois nouveaux), la relance de l'usine de retraitement et d'enrichissement de Rokkasho pour renforcer l'autonomie du pays notamment vis-à-vis de la Russie. J'ai visité cette année à Onagawa, le 1^{er} BWR (réacteur à eau bouillante) redémarré et j'ai apprécié l'ampleur des travaux de mise à niveau de sûreté et la formation du personnel à la gestion de crise.

LA CHINE PASSE À LA VITESSE SUPÉRIEURE

Les 58 centrales nucléaires chinoises (57 GWe) ont produit environ 450 TWh nucléaire, 5 % de la consommation électrique. Une trentaine d'unités sont en construction. En 2025, dix nouveaux réacteurs, essentiellement des *Hualong One*, ont été approuvés. La Chine innove aussi avec un réacteur à haute température refroidi au gaz HTRPM (GEN IV) quasi en service et un réacteur rapide refroidi au sodium (CFR 600) (*cf. chapitre 9*). Les technologies numériques avancées (jumeaux numériques, IA) sont intégrées dans les nouvelles installations. La Chine apporte une démonstration de maîtrise des délais de construction (environ cinq ans).

LE NUCLÉAIRE AMÉRICAIN, DOCTRINE DE PUISSANCE

Les États-Unis se repositionnent comme l'acteur majeur du nucléaire civil, pilier stratégique de souveraineté énergétique, de supériorité technologique et de puissance géopolitique. *Energy Dominance* est aussi conçue comme un contrepoids aux ambitions de la Russie et de la Chine dans l'exportation nucléaire.

Au-delà de la prolongation des réacteurs existants et du soutien à la R&D, la volonté affichée est de transformer le cadre réglementaire, ouvrir le secteur à de nouvelles technologies (SMR et GEN IV) et faire du nucléaire un soutien essentiel des infrastructures critiques (centres de calcul et *data centers*, IA, sites militaires). L'objectif est de quadrupler

d'ici à 2050 la capacité nucléaire américaine, voisine aujourd'hui de 100 GWe, et de la rendre économiquement rentable face au gaz de schiste. L'administration américaine impose à la *Nuclear Regulatory Commission* de réduire ses délais d'approbation (18 mois pour les nouveaux réacteurs, 12 mois pour les centrales existantes), repenser les normes d'exposition radiologique et instaurer une voie accélérée pour les technologies déjà testées par la Défense. Le risque de dilution des standards de sûreté, de simplification à l'excès des procédures et de pression sur les agences de régulation suscite des interrogations.

Le gouvernement et le groupe américain *Westinghouse Electric Company* ont débloqué 80 Md\$ avec l'objectif de dix réacteurs en chantier d'ici à 2030.

UNE RUSSIE EXPORTATRICE ET EN POSITION DOMINANTE POUR LE COMBUSTIBLE

La Russie reste le principal exportateur de centrales nucléaires. Elle fournit 20 des 59 réacteurs en construction dans le monde et détient plus de 40 % de la capacité mondiale d'enrichissement et de conversion d'uranium. D'où sa capacité d'influence géopolitique dans la soixantaine de pays partenaires.

Sur le plan domestique deux nouvelles licences ont été émises. L'énergie nucléaire représente environ 20 % du mix électrique russe avec une volonté de monter à 24 % d'ici à 2042. Le financement, la disponibilité de main-d'œuvre spécialisée et les effets des sanctions internationales pèsent sur la dynamique.

L'UNION EUROPÉENNE SE RÉVEILLERA-T-ELLE ?

La Commission européenne alloue un budget record de 9,8 Md€ au programme Euratom (2028-2032). La priorité donnée à la fusion se confirme avec 4 Md€ pour le projet ITER, vitrine technologique mondiale, et 1,3 Md€ pour la recherche et l'innovation en vue de bâtir une filière européenne. Outre les fonds dédiés au centre de recherche de la Commission (JRC), seuls 590 M€ sont destinés, *via* des appels

publics à projet, au secteur de la fission au profit du renforcement de la sûreté, de la radioprotection et de la préservation des compétences.

L'UE a également mis à jour le Programme Indicatif Nucléaire (PINIC) prévu par le traité Euratom, qui prévoit un développement du nucléaire de fission en Europe. Pour la première fois, sur la base des contributions des États membres, le volume de GWe installés en Europe devrait croître d'ici à 2050 (de 98 GWe en 2025 à 109 GWe en 2050 en incluant la fermeture de réacteurs en fin d'exploitation et la construction de nouveaux). Fin 2024, 101 réacteurs étaient en service dans l'UE représentant 23 % de la production électrique européenne.

La Commission a lancé l'Alliance Industrielle pour les SMR. Neuf SMR et AMR ont été sélectionnés en raison de leur contribution à l'économie et aux ambitions européennes. Ce soutien à de nouveaux projets de réacteur est une première dans l'UE depuis plus de 40 ans. La Commission prévoit un doublement de la demande d'électricité alors que la moitié des infrastructures actuelles ont plus de 40 ans. Les réseaux doivent donc être repensés pour soutenir l'électrification des usages, intégrer les énergies renouvelables, réduire les besoins en stockage et garantir des prix plus compétitifs *via* un marché élargi. La Cour des comptes européenne évalue ce mur financier à près de 1 900 Md€. La France s'engage déjà avec près de 200 Md€ sur 15 ans pour adapter ses réseaux. Chaque pays doit pouvoir importer l'équivalent d'au moins 15 % de sa production d'ici à 2030. Beaucoup sont encore bien en-deçà et des freins persistent : coûts élevés, délais de développement (plus d'une décennie) et contraintes réglementaires.

L'Allemagne investit plus de 2 Md€ d'ici à 2029 dans le *Fusion Action Plan* pour faire de la fusion nucléaire un pilier de sa stratégie énergétique et elle prétend atteindre l'autonomie énergétique, la neutralité carbone et le *leadership* mondial d'ici à 2040. D'ici là, elle prévoit surtout de construire 71 centrales à gaz pour pallier son déficit de production pilotable et assurer la stabilité de son réseau électrique. En attendant, la France l'aide à décarboner son électricité en lui fournissant encore cette année une part importante des 92 TWh exportés (nouveau record après celui de 2024).



Centrale de Cattenom - Visite de terrain en salle des machines

L'Italie, premier importateur d'électricité en Europe, a adopté le 28 février 2025 un projet de loi ouvrant la voie au retour de l'énergie nucléaire après la prohibition issue des référendums de 1987 et 2011.

En Belgique, la sortie du nucléaire est retardée avec la prolongation jusqu'en 2035 des réacteurs Doel 4 et Tihange 3, malgré les arrêts de Tihange 1 et de Doel 2.

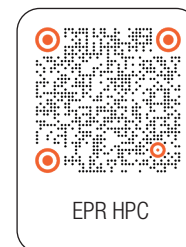
En Espagne, la fermeture progressive des centrales est programmée entre 2027 et 2035. Il est possible que le récent *black-out* rebatte les cartes.

Ailleurs en Europe, la Suède, les Pays-Bas, la Finlande, la République tchèque, la Slovaquie, la Hongrie et la Pologne misent

sur le maintien ou le développement du nucléaire, notamment *via* de nouveaux réacteurs dont des SMR ou des AMR.

LES PAYS DU GROUPE EDF

Le Royaume-Uni a modifié en février 2025 son cadre réglementaire afin de relancer la construction de réacteurs nucléaires, notamment les SMR : les règles de planification sont repensées pour accélérer les projets.



EPR HPC

Après la décision en 2024 de prolonger jusqu'en mars 2030 les quatre réacteurs AGR de Heysham 2 et de Torness, des travaux sont en cours afin de prolonger jusqu'en 2055 la durée de fonctionnement du réacteur à eau pressurisée (REP) de Sizewell B. Les quatre réacteurs AGR de Heysham 1 et de Hartlepool produiront jusqu'en mars 2028, soit un an de plus que prévu. Le projet d'EPR de Sizewell C a obtenu le feu vert avec la décision d'investissement final en juillet 2025, le gouvernement devenant le principal actionnaire.

Outre la fissuration du graphite, objet d'inspections du cœur et de dossiers de sûreté dédiés, la prolongation de l'exploitation des AGR suppose de maîtriser la dégradation des générateurs de vapeur et le vieillissement des installations. La fiabilité des matériels, notamment dans les réacteurs dont le design présente un moindre niveau de redondance et de défense en profondeur, reste la priorité. Le parc britannique doit rattraper un programme d'investissement réduit il y a quelques années du fait de la fermeture alors proche des AGR.

Je réitère la recommandation de mon prédécesseur qui en 2019, devant les risques de prolongations incrémentales successives dans un contexte énergétique contraint, jugeait nécessaire de planifier les investissements sur la base de l'échéance la plus lointaine envisagée (*cf. chapitre 4*).

En France, le nucléaire civil se trouve à un tournant stratégique. Alors que la relance de la filière est engagée avec le programme de six EPR2, l'absence d'inscription dans une nouvelle programmation

pluriannuelle de l'énergie (PPE) crée de l'incertitude et pourrait freiner les investissements. Ce flou complique la tâche d'EDF et de la filière industrielle et contribue par les provisions pour risque à une hausse des coûts.

L'avis favorable de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASN) sur la poursuite au-delà de 40 ans du fonctionnement des réacteurs 900 MWe et sa prise de position le 1^{er} juillet sur les conditions de celle des réacteurs 1 300 MWe sont d'excellentes nouvelles. Pour sa part, la Cour des comptes confirme, dans son rapport de novembre 2025, que prolonger serait sur le plan économique « une option avantageuse pour le système de production électrique français ». Néanmoins, cette prolongation ne saurait à long terme se substituer à une stratégie énergétique cohérente et stable. La France, forte de son expérience et de son parc homogène, dispose d'un atout industriel et stratégique à condition que l'État rétablisse rapidement une vision claire et durable de son avenir énergétique. C'est aussi une question de sûreté.

Le réacteur EPR Flamanville 3 (FLA3), raccordé au réseau fin 2024, a atteint sa pleine puissance le 14 décembre 2025 et a fourni en 2025 ses 2 premiers TWh. La montée en puissance s'est poursuivie avec des aléas maîtrisés mais générateurs de retard. FLA3 doit maintenant quitter définitivement le mode projet et s'intégrer dans le parc en exploitation, tout en préparant son premier arrêt (VC1) prévu à l'automne 2026. Ce n'est pas son moindre défi (*cf. chapitre 8*).

CINQ ANNÉES AU CŒUR DE LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Après cinq années à la tête de cette structure originale qu'est l'IGSNR, je suis en mesure de récapituler quelques éléments clés pour progresser en sûreté tels qu'ils ressortent de mes visites et entretiens sur le terrain.

Ma ligne directrice est demeurée claire : la sûreté est la priorité absolue et la responsabilité première de l'exploitant d'une énergie nucléaire compétitive, respectueuse de l'environnement et décarbonée, au service d'une ambition industrielle renouvelée.

LA SÛRETÉ NE SE DÉCRÈTE PAS, ELLE S'INCARNE, SE PRATIQUE ET S'ENTRETIENT

Le nucléaire doit faire preuve d'un niveau d'exigence et de transparence exemplaire, indispensable à la confiance du public et à la légitimité industrielle. La sûreté oblige d'être irréprochable.

La sûreté nucléaire n'est jamais acquise et tout écart peut se payer cher. Elle repose d'abord sur la qualité des équipes qui conçoivent puis font fonctionner les installations. Elle doit être vécue non comme un état mais comme une dynamique : elle se cultive par l'exigence, la remise en question, la compétence et l'apprentissage individuel et collectif.

Chacun, professionnel en charge de systèmes complexes, doit être garant de la sûreté nucléaire et de la maîtrise des risques industriels et environnementaux devant les concitoyens, ainsi que de la sécurité et de la santé du personnel. C'est à ce titre que j'ai poursuivi le travail de mon prédécesseur contre les addictions dans une volonté de préserver la sûreté des installations, la santé des salariés et la réputation du Groupe.

La conformité aux règles, élément majeur de la prévention des accidents, ne suffit pas à garantir l'excellence en sûreté nucléaire. Celle-ci n'est ni un état figé, ni une norme statique, elle ne se décrète pas : elle s'incarne, se pratique et s'entretient.

La force de la filière ne réside pas seulement dans ses technologies, mais dans l'alliance de l'homme et de la machine, de la conscience et de la technique, de l'exigence et de la compétence. C'est un état d'esprit, une tension permanente entre le savoir-faire et l'attitude interrogative, entre la confiance et le doute. En conception, l'homme prévoit, analyse, innove et calcule. En exploitation, il agit, contrôle,



EPR de Flamanville 3

corrige et protège. Dans la transmission, il forme, partage, enseigne et fait grandir. Et en situation de crise qui dépasserait l'application stricte des procédures, il sait s'adapter et innover.

Cette continuité humaine fait vivre la rigueur de la sûreté, l'exigence de la sécurité et le respect de la santé, tout à la fois socle partagé et priorités d'un exploitant industriel responsable.

PROFESSIONNALISER LES ÉQUIPES, EXIGENCE DE SÛRETÉ

Je suis persuadé du rôle clé de la capacité d'entraînement des managers (*leadership*), de la force du collectif et des compétences comme premières lignes de défense. L'homme est la première barrière de sûreté, et parfois l'ultime recours. Il doit en être conscient et s'y préparer. C'est sa responsabilité dans une approche de performance collective reposant sur des compétences individuelles.

Le *leadership* se fonde sur des qualités professionnelles et humaines reconnues et entretenues ; la présence de terrain permet de les développer car rien n'est inné. Il est donc nécessaire de consacrer son temps d'abord aux tâches essentielles : connaissance des installations et des hommes, entraînement, analyse du retour d'expérience, conscience de la réalité opérationnelle.

Les compétences s'acquièrent par la formation, l'apprentissage, le compagnonnage et la pratique, en conception comme en exploitation. Le contrôle des qualifications et des compétences est essentiel. Le leader se doit d'être exigeant sans rigorisme, d'aider à progresser sans complaisance et de faire preuve de courage managérial pour affirmer et assurer ses choix.

La sûreté ne dépend pas seulement des procédures, mais de la manière de se les approprier. Elle naît de la compréhension de l'ensemble comme de l'attention au détail et du refus de la banalisation du risque. Avec comme corollaire que cette exigence de sûreté est source de performance industrielle.

Si j'ai souvent cité Michel Crozier qui écrivait « *Professionalisez les hommes au lieu de sophistiquer les structures et les procédures* », peut-être est-ce parce que je voyais le contraire ?

Enfin, si les jeunes générations sont rompues aux nouvelles technologies, leur niveau scientifique et technique et leurs dispositions d'esprit doivent aussi demeurer à la hauteur des enjeux. Pour compenser les déficits du système éducatif, il est urgent d'apporter à l'embauche un complément de formation.

Le retour d'un élan international pour l'énergie atomique se concrétise par une relance du nouveau nucléaire. L'enthousiasme qu'il fait naître est moteur d'attractivité mais confronte le Groupe à la difficulté de recruter massivement, tout en assurant un haut niveau de compétence. De plus, la transformation numérique et les plans de performance doivent veiller à ne pas déshumaniser le travail, au risque de nuire à la sûreté. Il faut s'assurer que les nouvelles organisations du travail, peu propices à la friction des idées, ainsi que les nouveaux outils numériques et les facilités offertes par l'IA ne nuisent pas à ce qui, pour une fois, n'est pas sous process. Les occasions de transmission de savoir, notamment d'échange avec les experts, doivent être préservées.

GARDER L'HOMME AU CŒUR DE LA SÛRETÉ

Dans la phase de conception, l'intelligence de l'homme articule science, technique et responsabilité. L'homme ne se contente pas de créer des machines sûres, il anticipe les aléas techniques ou naturels et les erreurs possibles. Chaque plan, chaque schéma, chaque calcul doit être pensé pour protéger, en démontrant aujourd'hui et surtout en facilitant la tâche de ceux qui construiront et exploiteront demain. L'ingénieur doit concevoir des systèmes faciles à exploiter, fiables et robustes, dimensionnés avec des marges, tout en garantissant la sécurité et la santé du personnel qui les met en œuvre. La rigueur ne se limite pas à la conformité, chaque décision de conception engage l'avenir. Le concepteur doit intégrer, c'est-à-dire connaître, la

dimension humaine, celle de ceux qui travailleront sur site et de ceux qui vivront à proximité, dans la durée.

En exploitation, la sûreté devient un comportement vivant et partagé. L'homme est à la fois capteur, interprète et correcteur du système industriel. Il est le gardien d'un quotidien où chaque geste compte, chaque décision peut faire la différence. Un constat partagé avec Edgar Morin pour qui « *l'homme est à la fois le plus grand danger et la meilleure protection de l'homme.* ». Chaque opérateur, technicien, ingénieur sait que sa rigueur est le premier rempart contre l'incident. La sûreté n'est plus seulement un ensemble de règles mais un mode de travail.

La filière indépendante de sûreté (FIS) joue un rôle de vigie : elle assiste les directions et s'assure que les choix de conception et de production n'empiètent jamais sur l'impératif de sûreté. Pour être à même d'éclairer les décisions, le rôle des managers est de lui assurer une juste place, l'accès à toute l'information et de la sérénité. Le choix final incombe toujours au responsable sous réserve d'avoir organisé le débat contradictoire.

Enfin, la santé et le respect de l'environnement ne sont pas accessoires : ils constituent le socle de la légitimité sociale du nucléaire. La radioprotection, l'ergonomie et la sécurité des chantiers sont autant de preuves tangibles que l'homme et sa vie sont au centre de toutes les décisions.

ANTICIPER, S'ADAPTER SANS RÉGRESSER

La reconnaissance de la place centrale du nucléaire dans les politiques de décarbonation s'accompagne d'un avertissement : la relance ne saurait justifier aucun relâchement, chez les exploitants historiques comme chez les nouveaux entrants. L'amélioration de la production et de la maîtrise industrielle n'occulte pas les défis émergents : transition énergétique, pilotabilité dans un mix plus intermittent, prolongation de la durée de fonctionnement et renouvellement du parc existant, adaptation climatique et gestion des déchets. J'appelle aussi à

la vigilance face aux phénomènes techniques (la corrosion sous contrainte est un rappel à l'humilité).

Dans le précédent rapport, j'aurais pu consacrer un chapitre aux nouveaux défis collectifs : changement climatique, réindustrialisation, sécurisation des chaînes d'approvisionnement nationales, instabilités économiques et politiques, risques sanitaires et sécuritaires. Ils ne manqueront pas de perturber nos sociétés. Cependant j'ai pris le parti de le consacrer aux défis organisationnels et humains sur lesquels nous avons la main : décalages générationnels et organisationnels, complexité, performance de la conception et de l'ingénierie, place du numérique et de l'intelligence artificielle, engagement de l'individu et du collectif.

L'organisation intégrée d'EDF, riche en expertises, peut aussi engendrer complexité et lenteur. Chaque domaine doit avoir un responsable légitime clairement identifié en capacité de décider. En conception et réalisation, une autorité technique et une maîtrise d'ouvrage fortes ainsi qu'une maîtrise d'œuvre au périmètre clairement défini sont autant de garanties pour les programmes futurs. En exploitation, une maîtrise d'ouvrage globale de la maintenance (pluriannuel, arrêté de tranche, tranche en marche) commence à produire ses effets. Mieux intégrer ingénieries et exploitants, partager les bonnes pratiques entre pairs et capitaliser sur les synergies entre parcs, associer davantage les partenaires industriels, bonifier le retour d'expérience, sont des clés d'efficacité, d'économies et de sûreté.

Les mobilités professionnelles doivent être organisées et le cloisonnement des métiers combattu. Notamment, la filière conduite, forte de son expérience et de ses compétences de terrain, doit irriguer les métiers de formateurs, de la filière sûreté et de l'ingénierie.

AMÉLIORATION CONTINUE : INVESTIR UTILE

La création en 2025 de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) est l'occasion d'améliorer le dialogue technique entre le régulateur et l'exploitant, sans antagonisme ni complaisance.

Les réacteurs à eau sous pression ont démontré leur robustesse et leur fiabilité, permettant d'envisager des durées d'exploitation au-delà de 60 ans. L'expérience acquise, les études probabilistes, les leçons des accidents majeurs (Three Mile Island, Tchernobyl, Davis-Besse, Fukushima Daiichi) et la R&D ont progressivement façonné une philosophie de sûreté intégrée et évolutive. Ces enseignements ont conduit à améliorer le design des réacteurs de génération II et à définir des standards de la génération III+, incarnés par l'EPR puis l'EPR2 et auxquels ce dernier devrait se conformer au juste nécessaire.

Les 4^{es} visites décennales (VD4) des réacteurs 900 MWe marquent une refonte majeure, intégrant les leçons de Fukushima et de nouvelles protections contre les aléas naturels, les pertes de sources et les accidents graves. Ces évolutions, étendues aux autres paliers, renforceront durablement la défense en profondeur, rendant superflues de nouvelles modifications de conception importantes sauf fait nouveau. Les futurs réexamens de sûreté porteront donc prioritairement sur la conformité, le vieillissement et les effets du changement climatique. Le traitement de l'obsolescence et l'entretien patrimonial prendront toute leur part. Face à la complexité croissante des systèmes, la stratégie porte désormais sur la stabilisation des installations, la simplification des règles générales d'exploitation (RGE) et le renforcement de la qualité d'exploitation. Il s'agit de rééquilibrer la "sûreté réglée" (prescriptive) au profit de la "sûreté gérée" (responsabilisée).

Construire en série des EPR2 identiques constitue un levier essentiel de maîtrise industrielle et de qualité, donc de sûreté. Cela suppose de stabiliser les référentiels et de prévoir des marges de conception. La gestion de la sûreté doit rester proportionnée aux risques, fondée sur le principe de gradation et sur un pesage des enjeux visant une allocation optimale des ressources. La sûreté n'a pas de prix mais elle a un coût. Il faut donc investir de manière ciblée et proportionnée, réapprendre à peser les gains et assumer la part inévitable de risque : le juste nécessaire n'est peut-être pas suffisant, mais le maximum possible complexifie et surenchérit sans amélioration notable de sûreté.

Ne plus modifier, sécuriser l'existant, bien entretenir et bien exploiter, ne nuit pas à l'ambition d'amélioration continue, centrale dans la doctrine de sûreté. Mais si cette ambition est bénéfique car elle impose de prendre en compte le retour d'expérience, elle est aussi à l'origine d'une évolution continue des exigences, parfois sans bénéfices clairs associés, ce qui lui fait perdre de son sens originel.

« *La simplicité est la sophistication suprême* » (Léonard de Vinci) et la sûreté exige des marges financières, techniques et calendaires pour éviter que pressions économiques, écologiques ou énergétiques ne compromettent la rigueur des décisions.

LA SÛRETÉ : UNE ÉTHIQUE

La sûreté repose sur la qualité des femmes et des hommes qui agissent, transmettent et veillent. Aucune procédure, aussi parfaite soit-elle, ne remplace un œil attentif, une oreille à l'écoute, une main experte, un esprit éveillé et surtout la conscience de sa responsabilité, individuelle et collective.

En définitive, la sûreté n'est pas seulement l'art d'éviter l'incident. C'est une forme d'éthique en mouvement, un équilibre fragile entre l'ambition et la prudence, entre l'élan et la mesure. C'est l'assurance qu'en dépit du risque, l'homme demeure à la hauteur de la puissance qu'il a créée.

« *La perfection n'est pas atteinte lorsqu'il n'y a plus rien à ajouter, mais lorsqu'il n'y a plus rien à retirer* » (Antoine de Saint-Exupéry).



L'amirauté à l'IGSNR



Centrale de Golfech



LE MANAGEMENT DE LA SÛRETÉ

La sûreté est le fruit d'un apprentissage continu forgé au rythme de l'expérience vécue.

Cet héritage, pris en compte dans le développement technique et l'ingénierie des installations, nous oblige aussi à intégrer concrètement les enseignements des grands événements de l'industrie nucléaire dans nos organisations, nos pratiques de travail et la culture de nos collectifs.

La sûreté se construit au quotidien, par l'exigence, la capacité à se remettre en cause et la volonté de traiter les problèmes avant qu'ils ne prennent de l'ampleur. Elle relève du positionnement des *leaders*, de la responsabilité individuelle et de la force du collectif.

Elle repose sur une conviction partagée de sa place prioritaire dans la recherche de performance.

De l'année 2025 on retiendra concernant la sûreté que, globalement, l'amélioration progressive des principaux indicateurs se poursuit, à l'exception des arrêts automatiques de réacteur (AAR) qui restent un défi pour les deux flottes. Le nombre d'écarts aux spécifications techniques d'exploitation augmente par rapport à 2024 tout en restant sous le seuil fixé, les événements en lien avec la maîtrise de la réactivité ont été divisés par deux et les départs de feu, risque industriel majeur, restent heureusement rares. Ces résultats sont obtenus dans un contexte marqué par une charge industrielle toujours importante et, en France, par de très nombreuses modulations imposées à l'exploitant. Ils doivent être considérés avec humilité.

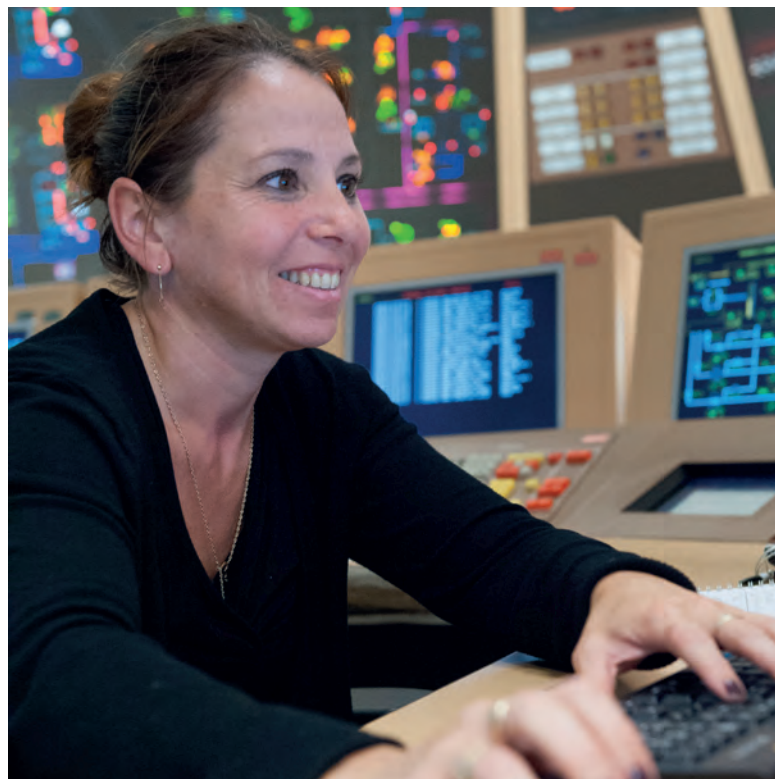
Ainsi, l'exploitant s'est, dans certains cas, rendu compte tardivement que l'équilibre entre sûreté et performance pouvait être mis à mal. De plus, certains événements ont fragilisé les lignes de défense, en particulier : perte totale des alimentations électriques externes de Hartlepool, agressions de la source froide, notamment arrivée massive d'algues à Chinon (*cf. chapitre 5*), indisponibilités de matériel de sauvegarde par non-respect des fondamentaux.

ÉVÉNEMENTS DE SÛRETÉ : QUE DISENT-ILS DES PRATIQUES ?

DÉTECTIONS TARDIVES : RENFORCER L'ANALYSE DES CAUSES PROFONDES

Parmi les types d'événements de sûreté, les détections tardives revêtent à mes yeux une importance particulière. Constat implacable, un exploitant peut vivre pendant un certain temps sans se rendre compte de l'indisponibilité d'un matériel. Les causes peuvent en être de plusieurs ordres. J'invite les exploitants à s'y intéresser de plus près et à les traiter avec la profondeur nécessaire.

Vigilance à la qualité des diagnostics lors d'anomalie de matériel. Un site a mesuré pendant six mois des températures anormales sur deux cylindres d'un diesel de secours en se convainquant qu'il s'agissait d'un problème d'instrumentation alors que les injecteurs étaient en cause et, de ce fait, le diesel indisponible. Si ces erreurs de diagnostic demeurent rares, je reste insatisfait de la qualité des enseignements



Centrale de Civaux - Opératrice en salle de commande

tirés et regrette que les aspects compétence et le processus de prise de décision ne soient pas plus approfondis.

Régulièrement, on ne mène pas des diagnostics complets car il faudrait rendre volontairement indisponible le matériel. Or, la réglementation considère que, si on le fait et si la défaillance n'est finalement pas confirmée, la sanction tombe : déclarer un événement significatif, potentiellement classé. Probablement faut-il revoir la rédaction et l'application des RGE sur ce sujet.

Vigilance ensuite aux erreurs humaines non détectées lors d'activités. J'évoquais dans le rapport 2024 l'erreur d'un agent de terrain qui, en préalable à des travaux de maintenance, a consigné une pompe de refroidissement sur le réacteur en fonctionnement au lieu du réacteur à l'arrêt ; l'erreur n'a été détectée que la semaine suivante, lors d'un essai. En 2025, trois erreurs similaires sont intervenues. À la lumière de ces événements, la seule mise en œuvre des pratiques de fiabilisation des interventions ne saurait se substituer à l'attitude interrogative ; j'invite de plus à trouver des parades complémentaires (balisages, détrompeurs, etc.).

Vigilance enfin à la pertinence des requalifications fonctionnelles après travaux. Cette ligne de défense est parfois fragilisée, jusqu'à considérer une fonction disponible alors qu'elle ne l'est pas.

PRÉVENIR LES AAR : DÉFI D'EXCELLENCE

Le nombre d'AAR est une mesure de l'excellence en matière de sûreté. Son activation protège le réacteur (la chute des grappes de contrôle étouffant immédiatement la réaction en chaîne). Mais un AAR sanctionne trop souvent un défaut de fiabilité technique, humaine ou organisationnelle. L'AAR, au-delà de sa fonction de sûreté, doit être analysé comme un révélateur. Comme les années précédentes, le facteur organisationnel et humain (FOH) en demeure la cause majoritaire. Je rappelle ma recommandation de passer d'une vision "outil" de la performance humaine à une attention approfondie aux situations de travail. Je rappelle aussi qu'il importe que les managers fassent preuve de *leadership* en s'impliquant dans le développement

des compétences, plus particulièrement dans l'entraînement (répéter le prévu, se préparer à l'imprévu). La maîtrise des AAR caractérise l'excellence dans le métier.

Les causes techniques sont instructives. Je constate en France la qualité des analyses et la pertinence des actions techniques identifiées, mais aussi des faiblesses dans leur mise en œuvre et leur pérennisation (*cf. rapport 2022*). On ne peut se satisfaire que des causes bien identifiées produisent les mêmes incidents. Ainsi, la présence de câbles hors de leur cheminement à proximité de pièces chaudes ou la mauvaise qualité des connectiques continuent de provoquer des AAR.

La démarche Matériel à risque AAR direct

Les exploitants mondiaux ayant de bons résultats en AAR mettent en œuvre une démarche de gestion des SPV (*Single Point Vulnerability*) sur l'ensemble de l'installation. Objectif : supprimer des points de vulnérabilité uniques ou, *a minima*, atténuer leur risque. Pratiquée depuis plusieurs années au Royaume-Uni, cette approche vient d'être relancée par la DPN sur le risque AAR. Facteur de ré-interrogation systématique, elle doit sans nul doute conduire à mieux connaître et sécuriser ce risque.

COMMUNIQUER EN SALLE DE COMMANDE !

La surveillance en salle de commande est un des référentiels majeurs de la conduite : la DPN l'a mis à jour en 2025, à l'issue de réflexions menées sur la "salle de commande idéale" dans le cadre du programme START 2025. Parmi les inflexions : garantir un état technique irréprochable et renforcer les exigences de sérénité en salle de commande.

J'appuie cette démarche mais elle doit s'accompagner d'une réflexion plus approfondie sur la communication et le fonctionnement collectif en salle de commande. Les opérateurs britanniques signalent à haute voix la prise en compte des alarmes et le superviseur collationne l'information. En France, des réticences demeurent. Or, des échanges

plus explicites en salle de commande auraient permis d'éviter des événements encore survenus en 2025. J'encourage à dépasser l'argument des spécificités culturelles et à accélérer l'application des meilleures pratiques internationales.

MAÎTRISE DE LA RÉACTIVITÉ, RESTER VIGILANT CŒUR CONVERGÉ AUSSI

La maîtrise de la réactivité a fait l'objet de nombreux efforts ces dernières années. Elle se concentre habituellement sur la fiabilisation des activités cœur divergé. Il faut garder de l'humilité car des événements se produisent encore.

Il ne faut pas non plus négliger les risques lors des activités réacteur à l'arrêt. L'enjeu est d'éviter à tout prix la formation d'une poche d'eau claire ou froide (dans le circuit primaire ou un circuit connecté) pouvant provoquer une insertion brutale de réactivité au redémarrage de pompes. Les études post-Tchernobyl ont montré qu'une insertion de réactivité est possible lors de la mise en service d'un circuit préalablement isolé ou lors du rétablissement de la circulation forcée du circuit primaire. La DPN a rédigé un référentiel managérial qu'il est impératif d'appliquer rigoureusement. Au-delà de la conduite, tout métier, dont la maintenance, peut avoir un impact direct sur la maîtrise de la réactivité.



Centrale de Hartlepool - Ronde en salle des machines

RESTER INFLEXIBLE SUR LES FONDAMENTAUX

Changements d'état, prévention des modes communs, gestion des dispositions et moyens particuliers (DMP) : plusieurs événements en 2025 ont révélé des faiblesses dans la mise en œuvre de règles fondamentales adoptées au fil de décennies d'exploitation des parcs mondiaux. Ces événements restés sans conséquence sont pourtant des signes précurseurs. Les incidents ayant marqué les générations de bâtisseurs s'éloignent dans le temps et s'estompent dans les mémoires. Le risque encouru est une érosion des pratiques, les nouvelles générations ayant hérité des règles mais peut-être pas de leur sens.

Or, il est indispensable de gagner la conviction de chacun. *Le Livret des événements sûreté*, paru début 2024, est à exploiter. Une autre lecture, toujours d'actualité, est celle du rapport de Bernard Noc (septembre 1989) à la suite des incidents de l'été 1989 à Gravelines et à Dampierre. Ce rapport marquant a fait prendre conscience à la maintenance de sa responsabilité vis-à-vis de la sûreté. Un virage

important. C'est ainsi qu'a été créée la Commission sûreté arrêt de tranche (COMSAT), animée par la direction de la centrale et chargée de s'assurer du respect des exigences de sûreté pendant l'arrêt, aux changements d'états et au redémarrage. C'est aussi la naissance de la directive 74, exigeant que tout DMP fasse l'objet d'une gestion physique et administrative.

Oubli d'un fond plein à l'aspiration d'une pompe de sauvegarde

Au cours de la visite décennale d'un réacteur, la maintenance de la turbopompe de sauvegarde ASG est réalisée. Lors de son remontage, on constate un défaut d'alignement entre la bride d'aspiration de la pompe et celle du collecteur, ce qui nécessite de réaligner la tuyauterie par découpe et soudage. À la repose du tronçon, un fond plein est mis en place sur la bride pour protéger la pompe. Ce travail est effectué en dehors des documents opératoires. Le fond plein n'est ensuite pas déposé. Il faudra attendre l'essai de requalification pour détecter cet oubli. La pompe sera restée indisponible pendant plus de 18 jours.

SÛRETÉ ET PERFORMANCE, VEILLER AUX BONS ÉQUILIBRES

SÛRETÉ, PARVIENT-ON RÉELLEMENT À BIEN L'APPRÉHENDER ?

Chaque site produit un diagnostic annuel de sûreté (DAS) mais je reste souvent dubitatif quant à la profondeur de ses analyses et de son partage sur site. Lors de mes visites, j'ai en effet constaté que des aspects importants ne figuraient pas dans les synthèses.

Trop de temps est consacré à l'analyse des grands indicateurs de sûreté et des processus associés, dit autrement à la "mécanique de

sûreté". *A contrario*, trop peu de place est laissée à la compréhension fine de la dynamique des métiers, en particulier de maintenance. Par exemple, une équipe d'automaticiens qui voit partir simultanément de nombreux chargés de travaux expérimentés peut se retrouver dans une période délicate. Ce départ aura plus d'impact négatif sur l'indicateur AAR ou de maîtrise de la réactivité que les plans d'actions n'auront d'effets positifs. De plus, les DAS analysent le passé plus qu'ils ne se projettent dans l'avenir.

Pour sortir de cette logique d'ingénieur, l'outil "trajectoire", créé par l'INPO (Institute of nuclear power operations) et généralisé par WANO (World association of nuclear operators), mériterait d'être déployé car il conduit à s'interroger sur trois facteurs : l'efficacité organisationnelle, la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences (*proficiency*) et la charge de travail.

Dans ce contexte, les renvois d'image de l'Inspection nucléaire d'EDF (IN) et de WANO lors des *Combined Peer Reviews* sont précieux. Partir du terrain pour évaluer les performances des métiers est pertinent mais je constate combien il est difficile de bien s'en approprier les messages notamment en matière de *leadership*. Pourtant, sans cette phase d'acceptation, engager un changement paraît difficile.

LEADERS DANS LE NUCLÉAIRE, UNE POSITION EXIGEANTE À TRAVAILLER

Au cours de mes visites, j'ai vu du bon et aussi du moins bon en *leadership* sûreté.

J'ai vu des managers faisant preuve de *leadership* en établissant proximité et confiance, tout en restant exigeants. La présence terrain, en commençant par celle du directeur d'unité, est le premier moyen d'y parvenir. Des salariés témoignent apprécier des chefs qui savent décider et qui font preuve de pragmatisme et d'efficacité dans les sujets techniques grâce à leur connaissance du terrain et des conditions d'exercice du métier.

A contrario, certains cadres ont du mal à "parler vrai" et dire les choses surtout si elles concernent une personne clairement identifiée : peur de remettre en cause la compétence individuelle, crainte d'être soupçonné de partialité, manque de courage managérial ? Préserver le flou alors que chacun sait, laisse un sentiment désagréable ressenti par le collectif : « *ici, quand quelqu'un est malade, on administre le traitement à tout le monde* ». Par ailleurs, malgré des progrès, des managers peinent à se saisir du problème des compétences et certaines GPEC restent en difficulté. Enfin, écouter le terrain est louable mais ne pas exploiter le message est contre-productif.

Face au manque de vocation de manager, constaté sur tous les sites lors de mes inspections, il me semble primordial de redonner l'envie de prendre cette responsabilité exigeante mais gratifiante. Il en va du futur de notre industrie. Sélectionner des managers sur la base d'évaluations externes n'aidera pas à inverser cette tendance. Nos centrales nucléaires sont de merveilleux lieux d'apprentissage où chacun, face à la machine, avec ses collègues, échange, apprend, grandit. Il y a mille occasions d'observer, sélectionner, mettre en situation, encourager, guider les futurs *leaders*.

CULTURE DE SÛRETÉ : UN BESOIN DE CLARTÉ ET D'INCARNATION

WANO propose comme premier attribut du leader d'établir une vision de l'excellence qui donne la priorité à la sûreté. Cela paraît évident mais, dans un contexte de légitime recherche de performance, la cohérence prend toute son importance entre l'ambition et les discours, leur incarnation et leur compréhension sur le terrain.

Besoin d'engagement mais pas au-delà du raisonnable, besoin d'efficacité mais pas au détriment d'une approche rigoureuse et prudente, recherche de performance mais sans course au record : dans un système par nature complexe, le professionnel du nucléaire est au centre d'injonctions pouvant paraître contradictoires. La tentation existe parfois de couper des virages, de considérer que « *puisque ce n'est pas interdit, c'est autorisé* » ou d'adapter les règles sans en peser le risque. L'expérience montre qu'une forte culture de sûreté, à tous les niveaux, forme le meilleur rempart.

Comme l'expliquent les spécialistes du FOH, « *ce qui détermine une culture, ce ne sont pas des messages ou des règles : c'est l'expérience partagée de pratiques répétées et convergentes* » (F. Daniellou dans : Facteurs humains et organisationnels de la sécurité industrielle, un état de l'art).

Ainsi, la culture de sûreté repose d'abord sur son incarnation par la direction et l'encadrement : exemplarité, cohérence des messages et des actes, priorité à la sûreté dans les arbitrages, etc.

Diffuser une culture de sûreté suppose une interaction forte entre les organisations centrales et les sites : les premières fixent les principes, les seconds décrivent et intègrent la réalité et les paradoxes vécus sur le terrain. La définition du directeur de la DPN d'une performance équilibrée visant à produire en toute sûreté est claire et chacun doit s'attacher à la mettre en œuvre : « *Viser une performance reproductible est l'inverse de chercher à battre des records [...] seule une performance reproductible est améliorable pas à pas.* »

FIS, CONDUITE, FORMATION : ENSEMBLE !

DES PROGRÈS VISIBLES DANS LES CENTRALES

Si les réalités des filières indépendantes de sûreté (FIS) peuvent varier d'un CNPE à l'autre, j'observe un mouvement d'ensemble positif. Parmi les progrès, je note un élargissement du regard de la FIS qui, du zoom systématique, s'ouvre progressivement au grand angle. De même, des GPEC s'améliorent avec des collectifs mieux grésés et plus équilibrés. Enfin, une animation métier nationale proche des acteurs fait un travail de *coaching*. Tout n'est pas achevé : les collectifs ont toujours besoin d'appui et les FIS de renvois d'image. En ce sens, outre le chef de mission sûreté qualité (CMSQ), la proximité avec les directeurs d'unité et de projets est indispensable. De plus, une coopération étroite entre les collectifs chefs d'exploitation (CE) et ingénieurs sûreté (IS) doit être entretenue pour se dire les choses en dehors du temps réel, s'écouter, clarifier.

DES FIS D'INGÉNIERIE EN CONSTRUCTION

Je reste plus réservé sur la maturité de certaines FIS d'ingénierie. Si elles jouent leur rôle de diffusion de la culture de sûreté, elles restent



Centrale de Hinkley Point B - Ronde conduite

trop cantonnées au contrôle des activités à enjeu de sûreté (AIP) ou de la qualité des livrables. L'existence même des FIS est remise en cause dans certaines unités, bien que prescrite par l'exigence 6 de la politique sûreté du Groupe. J'en déduis que leur valeur ajoutée n'est pas toujours reconnue. Peut-être leur positionnement mériterait-il d'être examiné ? Il convient en particulier de s'accorder sur leur périmètre et leur rôle dans l'élaboration des décisions techniques. Cette réflexion est indissociable de celle sur l'autorité technique.

CONDUITE : TRAVAILLER EN ÉQUIPE

La conduite est un sport collectif. La réalité montre qu'il n'est pas toujours pratiqué. Très sollicité, le CE a besoin d'un chef d'exploitation délégué (CED) technique qui défend la machine et d'un délégué sécurité exploitation (DSE) référent des agents de terrain. Les opérateurs doivent proposer au CE des analyses de sûreté approfondies. Les agents de terrain doivent ne pas se cantonner à un rôle de simple exécutant, peu compatible avec l'exercice d'une vraie responsabilité fondée sur la compétence et la confiance ; l'une se travaille, l'autre se mérite. Si un collectif ne parvient pas à tirer chacun vers le haut, alors le nivellement s'opérera vers le bas. Soyons exigeants, chacun à son

niveau, pour être plus performants collectivement ! C'est le rôle des *leaders*, c'est la force du collectif.

FORMATION : CONDUITE ET UFPI MAIN DANS LA MAIN

Je note avec satisfaction les efforts initiés pour améliorer la formation des agents de terrain. Les référents pour les accompagner en formation initiale se généralisent. Ils font le lien avec la réalité de l'installation, dont les gestes rares et les nouveaux matériels déployés lors des visites décennales.

Le déploiement des simulateurs Saturne (simulateur ultra-réduit numérique) facilite les entraînements juste-à-temps. Le transfert de



Nogent-sur-Seine - Activité en salle des machines

compétence par des référents bloc, anciens opérateurs ou CED détachés, se développe. Je recueille des témoignages encourageants d'une implication croissante des CE dans la formation des membres de leur équipe. J'apprécie que les chefs des services communs de formation renforcent leur collaboration avec ceux de la conduite, notamment pour évaluer comportements et pratiques. L'observation d'un quart en salle de commande par des instructeurs me semble à généraliser : elle permet aux jeunes formateurs d'appréhender les

conditions réelles d'exercice de la conduite, notamment du facteur temps, et à l'équipe de quart de bénéficier d'un regard externe.

Je reste prudent quant à la persistance possible de vieux démons : délivrer des extensions d'équivalences, ne pas toujours exploiter les fiches d'aide à la progression, tarder à généraliser les jours J de reprise de quart. La formation est une chance sur laquelle l'entreprise a investi. Chacun doit en être conscient.

RECOMMANDATIONS

Les détections tardives révèlent des faiblesses touchant les lignes de défense. Vu leur enjeu de sûreté et pour éviter leur renouvellement, je recommande aux directeurs de Nuclear Operations et de la DPN d'en analyser systématiquement les causes profondes techniques, organisationnelles et humaines et d'en tirer tous les enseignements.

Face à l'hétérogénéité de maturité de la fonction indépendante de sûreté (FIS, INA *Independent Nuclear Assurance*) dans les centres d'ingénierie et les projets du Groupe et à sa difficulté parfois à se construire une identité forte, je recommande aux directeurs de la DirIN et de la DPPI de proposer un modèle intégrant leur retour d'expérience et les évolutions d'organisation.



Centrale de Dungeness B



CONSTRUIRE AU QUOTIDIEN UNE CULTURE DE SÉCURITÉ ET DE RADIOPROTECTION

Une culture de sécurité et de radioprotection ne se décrète pas, elle se construit et s'éprouve au quotidien dans les discours et par les actes.

Dès son arrivée, Bernard Fontana affirme que « *la sûreté, la sécurité et la santé des personnes sont notre priorité n°1, notre license to lead* ». Cet engagement nous oblige à nous réinterroger à titre individuel et collectif : en tant que professionnels du nucléaire, faisons-nous tout le nécessaire pour renforcer la sécurité et la santé ?

Les activités dans l'industrie nucléaire se caractérisent par une exposition aux rayonnements ionisants et au risque de contamination. Les mesures de radioprotection permettent de protéger les travailleurs.

LA CULTURE DE LA SÉCURITÉ AU TRAVAIL, UN LONG CHEMIN

Si en 2025 les résultats sécurité du groupe EDF stagnent avec un taux d'accident avec arrêt (*lost time incident rate* LTIR) à l'objectif de 1,6, je constate de fortes disparités entre Framatome, *EDF Energy* (LTIR de 0,5 et 0,4) et la DPN (LTIR de 2,2). J'observe que la culture de sécurité n'est pas partout incarnée avec la même intensité. Au bilan, on déplore deux accidents avec arrêt par jour dans le Groupe. En 2032, l'objectif est d'atteindre un LTIR inférieur à 0,5 permettant de rejoindre les meilleures entreprises.

EN FRANCE, DES ÉVÉNEMENTS PERDURENT...

Malgré des campagnes régulières de sensibilisation dans les sites, dont « la vie d'abord », des événements sécurité persistent : chutes de hauteur, presque électrisation, chutes de charges, blessures aux mains.

Les intervenants connaissent les règles mais choisissent parfois de les ignorer. Si la présence de terrain des managers est indispensable, elle n'arrivera pas à éviter tous les écarts de comportement. Concentration sur le seul résultat, pression du temps, sous-estimation ou acceptation du risque, les causes invoquées sont multiples. Les STOP chantiers restent peu utilisés et la "culture Juste" se limite au traitement managérial des écarts.

La vigilance partagée, mettant le collectif au cœur du dispositif, reste insuffisamment ancrée. Je l'ai personnellement constaté, une remarque, même bienveillante, est perçue comme une remise en cause, voire une atteinte à la liberté individuelle.

La conformité sécurité demeure un sujet de préoccupation. Si la DPN a lancé ces dernières années des initiatives concernant les accessoires de levage et les protections collectives (rampes, balisages, etc.),



Centrale de Hinkley Point B - Ronde en salle des machines

chaque site doit périodiquement contrôler, mettre en sécurité et traiter les écarts.

La priorité accordée par le directeur d'unité est le levier majeur du partage d'une culture de sécurité.

... POURTANT, DES EXEMPLES INSPIRANTS

Je constate que, par leur implication, certains collectifs, notamment des chefs de service, réussissent à mieux promouvoir la sécurité. C'est le cas des équipes communes chargées des modifications de l'installation. Partage hebdomadaire des événements et presque événements sécurité, ingénieurs sécurité crédibles, chargés d'affaires

responsabilisés sur la mission de surveillance terrain, intégration des partenaires sont quelques facteurs de réussite.

Les communications innovantes méritent d'être encouragées, comme celle que j'ai visionnée à Tours au Centre national d'équipement et de production d'électricité (CNEPE).

Dans certains sites, la démarche *Leaders* en sécurité industrielle vise à rapprocher travail prescrit et travail réel. Échelonnée sur plusieurs années, associant partenaires et salariés d'EDF, elle propose un véritable programme d'acculturation des *leaders*.

AU ROYAUME-UNI, DES SIGNES POSITIFS...

Après une année 2024 difficile, les performances retrouvent leur bon niveau historique. La démarche de fond alliant présence de terrain et reprise de formations à la sécurité montre ses premiers effets positifs. La vigilance partagée, historiquement bien implantée dans le parc britannique mais en retrait dernièrement, est de nouveau visible sur le terrain.

Got your back

Lancée par Heysham 1 en 2022 pour développer une culture collective de vigilance partagée, cette initiative encourage le personnel et les partenaires à :

- s'exprimer lorsqu'ils observent des comportements dangereux ou des écarts aux procédures ;
- veiller les uns sur les autres, quel que soit le niveau hiérarchique ou l'âge ;
- promouvoir la responsabilité mutuelle en sécurité.

Elle utilise différents médias de communication, des méthodes de renforcement comportemental et des discussions sur le terrain autour d'événements de sécurité.

Elle a été reproduite et personnalisée par plusieurs autres sites.

La collaboration entre intervenants et référents sécurité s'améliore, favorisant les STOP chantiers.

L'association des partenaires reste solide, avec notamment des apprentissages dynamiques et des formations obligatoires aux règles et standards. Les équipes de sécurité intégrées terrain associent salariés EDF et partenaires.

La démarche *Key Risk Tool* vise à garantir la conformité des installations sous l'angle sécurité.

... ET DES DÉFIS QUI DEMEURENT

Les événements sécurité survenus en 2025 dans le parc britannique invitent à rester humble et pleinement engagé pour atteindre le zéro accident. Parmi les causes principales, l'activité n'est pas perçue comme présentant un risque sécurité. L'accoutumance à l'écart persistant et son acceptation (par exemple, indisponibilité prolongée d'un monte-charge) engendrent des stratégies d'évitement et des prises de risque. Autre facteur important, la "rationalisation" du risque lors d'activités jugées à faible enjeu. De plus, la qualité et l'application des analyses de risques restent perfectibles.

STOP AUX BLESSURES AUX MAINS !

Depuis 2024, on constate une hausse du nombre d'accidents aux mains. S'ils ne relèvent pas des règles vitales, ils ne sont pas à banaliser. Coincements, écrasements, happements, sectionnements suivis ou non d'amputations de phalanges : les atteintes physiques sont souvent lourdes. Les deux flottes se sont saisies du sujet.

AGIR AUPRÈS DE LA MAINTENANCE

En France, le directeur de la DPN a décidé début 2025 de regrouper techniciens de maintenance et préventeurs pour traiter les causes racines : les accidents ont lieu, pour près de la moitié, lors de l'utilisation de machines portatives, l'autre moitié étant répartie entre machines-outils et machines tournantes. Les mesures de précaution et règles de l'art ont dû être rappelées aux professionnels : interdiction d'engager la main ou un outil dans une partie de machine ou de démonter les protections d'un équipement. L'attention doit être portée à neutraliser l'énergie résiduelle trop souvent sous-estimée (système à ressort, charge instable pendant le démontage des organes cinématiques, etc.).

Au Royaume-Uni, Nuclear Operations a décidé de remplacer certains outils à risque par des alternatives plus sûres et aussi de vérifier la conformité des outils utilisés. Malgré ces mesures, un travailleur a été blessé à la main lors d'une opération de meulage.

CONSIGNATION, L'AFFAIRE DE TOUS

UNE VÉRITABLE CHAÎNE DE RESPONSABILITÉS

Alors que la consignation est un processus clé dans la mise en sécurité des équipements et des intervenants, le métier de chargé de consignation reste dans l'ombre. Une erreur dans la phase de préparation ou d'exécution d'une mise sous régime peut pourtant exposer les intervenants à des risques majeurs. Même si les erreurs restent très peu nombreuses au regard des milliers d'activités, le retour d'expérience 2025 encourage à ne pas considérer comme acquis les fondamentaux du domaine.

La mise à jour du *Recueil de prescriptions au personnel* (RPP) rappelle les principes fondamentaux sous forme de prescriptions et d'interdits. Chacun des acteurs de la chaîne doit assumer sa responsabilité : le planificateur qui associe l'activité au bon créneau de maintenance, le chargé d'affaires métier qui fait la demande de régime et décrit les conditions de l'activité, le chargé de consignation conduite qui transforme la demande en régime de travail, le chargé d'exploitation qui donne son autorisation après contrôle ultime, le technicien d'exploitation qui pose le régime et réalise les consignations, le chargé de travaux qui réalise ses contrôles préalables.

CONDUITE : DÉVELOPPER DES COMPÉTENCES TERRAIN

Si la formation théorique du chargé de consignation couvre l'essentiel, le compagnonnage aux côtés du DSE (délégué sécurité exploitation), SAP (*senior authorised person*) au Royaume-Uni et l'observation de gestes rares bâtissent la compétence (par exemple coupures 400 kV, réalimentations électriques, etc.). Ce développement de compétences nécessite de réellement anticiper les parcours professionnels pour favoriser les mises en situation sur le terrain. En France, les récents changements de parcours professionnel (possibilité d'être CED, chef d'exploitation délégué, voire CE, sans passer par les emplois d'opérateur chargé de consignation et DSE) ne favorisent pas cet apprentissage. Il me semble important que certaines directions de sites et l'animation métier se réinterrogent.

Au Royaume-Uni, avec le renouvellement des générations, les ressources de consignation sont tendues, contraignant les SAP à un rôle de réalisation au détriment de celui de supervision. Les compétences conduite consignation manquent aussi dans les organisations projets (nouveaux équipements ou modifications).

FORMER LA MAINTENANCE

Les chargés d'affaires maintenance et les partenaires ne sont pas assez formés à la consignation, conduisant souvent à des demandes de régime incomplètes et à une compensation par les chargés de

consignation. Des groupes de travail associant la conduite et les métiers partagent le retour d'expérience et développent des plans d'amélioration.

EN FRANCE, LA NUMÉRISATION ET LA DÉMATÉRIALISATION AU SERVICE DES MÉTIERS

Sous l'impulsion du projet CoLiMo, le domaine des consignations est passé de l'âge du papier à l'âge du numérique, offrant à tous les acteurs du terrain un système d'information efficace et proche des

meilleurs standards, permettant d'industrialiser des demandes de régime. J'encourage Nuclear Operations à s'en inspirer à Sizewell B.

Malgré ces efforts remarquables, je constate encore des bases de données informatiques parfois incomplètes et des schémas pas toujours à jour. Ces défauts obligent les chargés de consignation à faire des recherches complémentaires au risque de se tromper. Il est primordial que chaque site contrôle sa situation en la matière et mette en place les actions correctives.

RADIOPROTECTION, REJOINDRE LES STANDARDS INTERNATIONAUX



Centrale de Golfech site Everest
Radiabox en entrée du bâtiment réacteur

L'activation des internes cuve et des impuretés contenues dans le fluide du circuit primaire contribue au terme source des réacteurs. Les structures du circuit primaire se recouvrent d'une couche d'oxyde protectrice qui relâche une partie de ses produits de corrosion. Ces derniers sont à l'origine de plus de 90 % de la dosimétrie. Les isotopes les plus pénalisants sont ceux du cobalt (58 et 60), et, dans quelques cas particuliers, l'argent 110 et l'antimoine 124.

Dans le parc français en exploitation, la dosimétrie collective reste stable, sans amélioration notable. Bien maîtrisée, la dosimétrie individuelle est très en deçà des limites réglementaires (20 mSv - milliSievert). Seuls 0,1 % des intervenants en CNPE enregistrent une dose individuelle supérieure à 10 mSv. Les accès dans les zones de travail aux débits de dose élevés sont mieux maîtrisés en 2025 qu'en 2024 et le nombre d'événements significatifs déclarés diminue. Le recyclage culture du nucléaire (RCDN) inclut le volet radioprotection et les évaluations sont renforcées avec des prérequis à valider et une évaluation individuelle en fin de stage.

Par conception, la dosimétrie collective dans les réacteurs AGR au Royaume-Uni est inférieure d'environ un facteur 20 à celle des REP.



Centrale de Cattenom
Intervention zone contrôlée en tenue étanche ventilée

La dosimétrie y est bien optimisée. Le contrôle et l'élimination des points chauds doivent être poursuivis.

DES PROCESSUS SENSIBLES SOUS CONTRÔLE MAIS PERFECTIBLES

Pour les tirs gammagraphiques, le nombre d'événements dans le parc français est de trois, identique à 2024. La formation des camaristes (qui manipulent les appareils de radiographie industrielle) a été renforcée pour les sensibiliser aux contrôles d'absence d'intervenant après pose du balisage ainsi qu'aux risques d'entrée fortuite, en

utilisant des moyens temporaires (échafaudages par exemple) et de dégradation des balisages des zones de tir.

Pour les zones rouges, aucun écart n'est déclaré depuis près de deux ans. Les pratiques de classement sont standardisées dans l'ensemble des installations. La maîtrise des accès se joue dans la préparation de l'activité. Par ailleurs, le parc souhaite dématérialiser le formulaire d'accès. Le niveau de rigueur devra être maintenu, en particulier sur :

- la justification de l'intervention ;
- la qualité du *pré-job briefing* et la sensibilisation des intervenants aux risques spécifiques de l'activité ;
- le contrôle des autorisations employeur.

Des signaux faibles de dégradation des moyens de condamnation sont à traiter dans certains sites et certaines zones.

Dispersion de contamination lors d'un transfert de résines

450 litres de résines actives du circuit de contrôle chimique et volumétrique ont été dispersés au sol lors de la dépose d'un robinet. Des locaux ont été contaminés, dont un classé en zone rouge du fait d'un débit de dose de 120 mSv / h à 50 cm du point le plus pénalisant et d'autres en zone orange. La complète remise en conformité des installations a nécessité d'utiliser des moyens robotisés d'une entreprise spécialisée (GIE INTRA). Le site a aussi dû décontaminer un puisard avec une unité mobile de filtration. Cet événement rappelle la rigueur à accorder à la préparation et à l'analyse de risque avant toute activité à enjeu.

Pour les accès en zone orange, l'homogénéisation des pratiques doit progresser. La différence de critères entre sites peut conduire à classer autant de locaux sur un seul réacteur que sur quatre. Des difficultés sont parfois rencontrées lors de la remise en conformité des balisages après intervention. Des initiatives pour renforcer leur robustesse (par exemple signalisations tridimensionnelles avec un marquage au sol, voire portes à battants) sont à déployer. J'encourage aussi à diminuer le nombre de zones classées orange en réduisant le nombre de points chauds.

MAÎTRISER LE TERME SOURCE

Je note avec satisfaction que le parc s'est engagé dans la réduction des termes sources. L'ouverture d'une affaire parc, fin 2025, permet de structurer la démarche et de considérer l'optimisation du terme source comme un investissement patrimonial : il engage dans la durée la dosimétrie collective et individuelle et nécessitera des financements. Créée en 2025, une communauté de pratique Terme Source permet d'animer les métiers et de partager savoir et bonnes pratiques sur un sujet qui requiert de l'expertise tant des radioprotectionnistes que des chimistes. La gestion du terme source requiert d'en comprendre l'origine. Sa connaissance est obtenue grâce à des spectrométries, à des gamma-caméras et à la pose de spectromètres aux endroits stratégiques.

L'impact du terme source des tranches s'inscrit dans la durée et trouve notamment son origine dans l'historique des générateurs de vapeur (teneur en nickel 58). Les réacteurs dont le terme source est le plus élevé doivent faire l'objet d'un programme d'assainissement spécifique. Le parc a lancé un programme sur cinq ans d'assainissements et d'utilisation de CADOR. Ce code d'aide à la décision propose des scénarios de pose de protections biologiques pour optimiser la dosimétrie en arrêt. Des assainissements sont réalisés sur trois réacteurs chaque année. Cette programmation pluriannuelle devrait, à mon sens, inclure le traitement des points chauds. Le parc analyse également la faisabilité d'un FSD (*full system decontamination*). Les pollutions spécifiques en argent 110 nécessitent des traitements adaptés, pilotés au niveau national.

La mise à l'arrêt à froid du réacteur et la purification du circuit primaire conditionnent le terme source et doivent être mieux maîtrisées : la compréhension des phénomènes, la définition de la stratégie et le suivi des activités de purification doivent être plus orientés sur l'atteinte d'une asymptote en débit de dose que sur des critères radiochimiques d'arrêt des groupes motopompe primaire.

Les stratégies de mise à l'arrêt doivent être adaptées car les nouveaux générateurs de vapeur bénéficient d'une bonne passivation.

La professionnalisation et le maintien des compétences des acteurs, chimistes et radioprotectionnistes, qui pilotent la stratégie de mise à l'arrêt sont des éléments clés de réussite.

Au Royaume-Uni, le REP de Sizewell B applique les recommandations de l'Electric Power Research Institute (EPRI). Le terme source est stable dans la durée. Le site bénéficie de conditions favorables avec une bonne passivation du circuit primaire et peu de stellites (alliage cobalt / chrome) dans ses équipements. On attend de l'injection de zinc des gains de dosimétrie importants. Le site fait évoluer les protections biologiques et utilise du T-Flex. J'invite la DPN et Nuclear Operations à partager leurs pratiques d'optimisation dosimétrique.

EXIGENCE ET RIGUEUR FACE AU RISQUE DE CONTAMINATION

La maîtrise du risque de contamination corporelle relève des comportements individuels : ne jamais sous-estimer le risque potentiel en zone contrôlée, être attentif à chacun de ses gestes, respecter rigoureusement les protections exigées et les contrôles en sortie de chantier (contrôles en 5 points).

Contamination peau, ESR de niveau 2

Lors de contrôles radiographiques d'une tuyauterie du circuit primaire dans le bâtiment réacteur, la pose du film radio contraint l'intervenant à s'allonger au sol. En sortie de zone contrôlée, il détecte un point de contamination au niveau de la nuque. La particule radioactive est immédiatement retirée. Évaluée par le médecin du travail, la dose peau est supérieure à la limite annuelle réglementaire. Les cartographies radiologiques du local ne mettaient pas en évidence de contamination. Cet événement significatif de radioprotection (ESR) de niveau 2 rappelle que, même si un local n'est pas repéré comme contaminé, des particules radioactives isolées peuvent être présentes et qu'il faut donc bien se protéger et se contrôler en 5 points régulièrement.

Le confinement des chantiers progresse avec de nouveaux types de sas dont les sites doivent sécuriser le budget d'investissement. Plus de 2 000 intervenants des partenaires chargés de la logistique (PGAC) ont été formés aux montages des sas de confinement statique et dynamique.

TRANSPORTS, ENJEUX RADIOLOGIQUES ET SÛRETÉ

Le nombre d'événements concernant les transports externes de classe 7 (matières dangereuses radioactives) diminue en 2025. Les écarts portent principalement sur l'étiquetage et la documentation.



Division Combustible Nucléaire - Chargées d'affaires

Je note 3 écarts de propreté déclarés en 2025 lors des évacuations de combustible usé, en progrès par rapport à 2024. La durée du maintien en position verticale des châteaux de combustible usé des réacteurs des paliers CP0, P'4 et N4 doit être limitée pour des raisons de sûreté. Les sites concernés ont travaillé à fiabiliser leurs équipements de manutention et de basculement en position horizontale.

Les évacuations de combustible se font avec des emballages TN12 et 13 d'une validité limitée par les agréments et autorisations de transport. Suite à l'évolution de la réglementation transport de l'AIEA en 2018, un nouvel emballage a été développé avec Orano. Les principaux changements concernent la double barrière de sûreté sur chaque orifice et la prise en compte de l'impact des assemblages sur le bouchon en cas de choc. Les mises en service sont prévues en 2026.

En grande majorité, les transports internes se font avec des conteneurs ADR. Le parc a travaillé avec les sites à améliorer le confinement et la nature des emballages des colis hors gabarit et des colis de coques de déchets. Les conditions de transport interne des coques de déchets non bloqués ont été clarifiées avec le régulateur. Pour les colis hors gabarit, des investissements pluriannuels sont à prévoir.

RECOMMANDATION

Afin de diminuer le terme source, je recommande au directeur de la DPN de renforcer les exigences des stratégies de mise à l'arrêt à froid en début d'arrêt et leur adaptation aux spécificités de chaque réacteur.



Centrale de Sizewell B

4

CHAP

LA FIABILITÉ DES MATÉRIELS, PILIER DE LA SÛRETÉ

Le métier d'exploitant repose sur trois fiabilités : celle des hommes, celle des organisations, celle de la machine.

La sûreté suppose des matériels fiables, c'est-à-dire capables d'assurer la fonction pour laquelle ils ont été conçus.

Si les deux flottes bénéficient d'un héritage solide, il reste à mieux détecter les signes précurseurs de défaillance pour intervenir à meilleur escient et préparer la prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs.

Le mot fiabilité peut paraître intuitif, mais quand il s'agit d'en faire une réalité concrète, des questions demeurent. Comment s'assurer que chaque matériel bénéficie de l'attention qu'il mérite, en particulier lorsqu'il contribue à la sûreté ? Quel type de maintenance, à quelle fréquence, sur quel composant, pour garantir la disponibilité de la fonction ? Comment détecter les signes précurseurs de défaillance ? Ces questions occupent l'industrie nucléaire depuis son origine et restent au premier plan. À ce stade, malgré plusieurs évolutions de la politique de maintenance, les résultats demeurent en deçà des objectifs.

CONSTRUIRE UNE VISION INTÉGRÉE DE L'ÉTAT DE SANTÉ DES MATÉRIELS

DES BASES SOLIDES

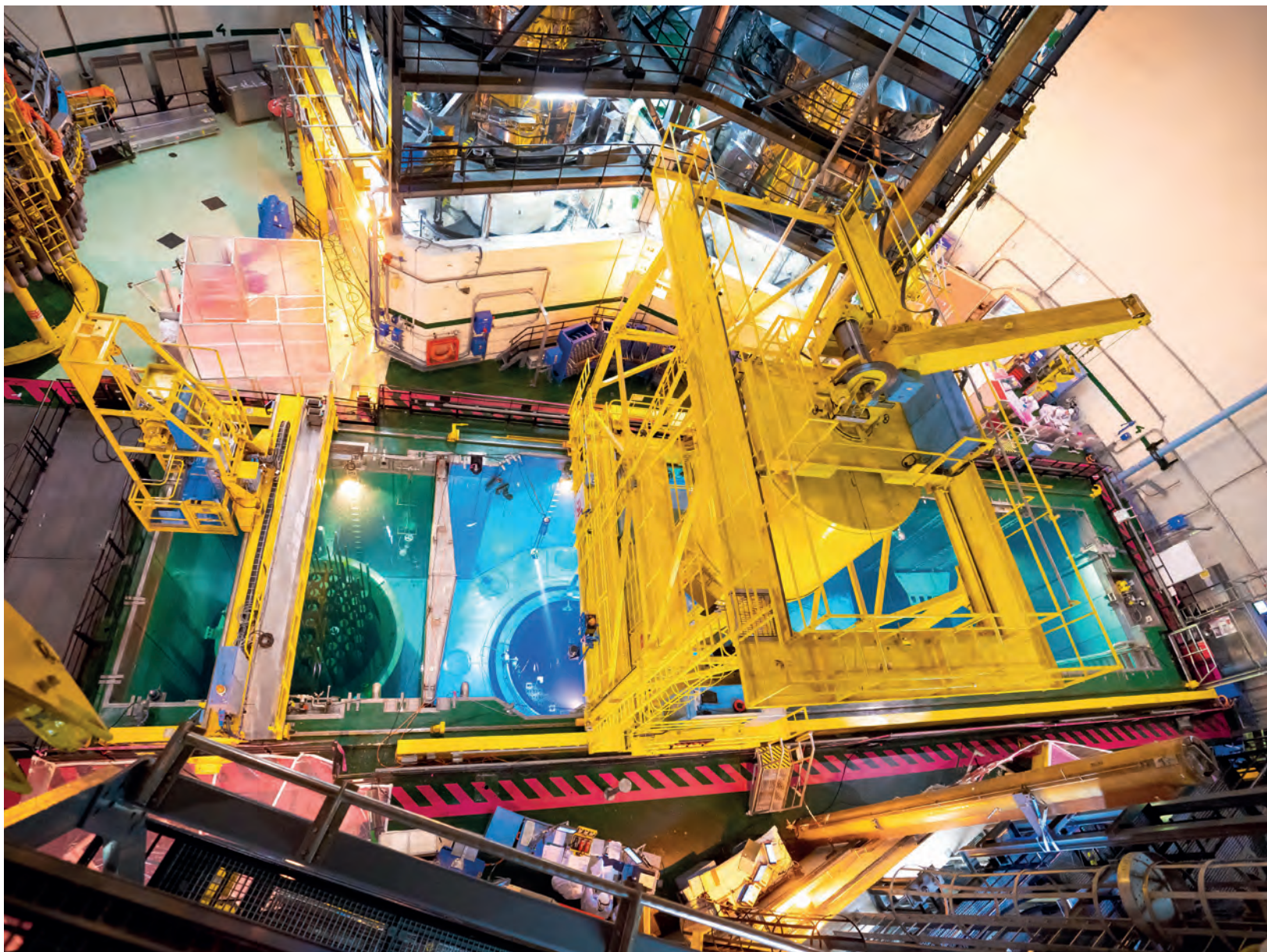
Retracer l'historique des démarches de fiabilité de l'industrie nucléaire demanderait plusieurs livres ! En France, elles prennent leurs sources dans le parc thermique à flamme et dans les Guides d'exploitation et d'entretien (GEE) fournis par les fabricants des premiers équipements du parc. Au Royaume-Uni, les programmes de maintenance sont issus des études de sûreté (*safety case*), traduits en *maintenance schedule* et complétés au fil du temps par les *routine maintenance*.

En France, l'approche par matériel a dominé à l'origine, synthétisée dans des doctrines, véritables bibles rédigées par les experts du département Matériels. Sous l'influence de méthodes américaines, une optimisation de la maintenance par des calculs de fiabilité (dite OMF) a été lancée en deux phases successives. Elle consiste à évaluer d'une part la probabilité de défaillance, d'autre part ses effets, puis à coupler les deux évaluations pour peser l'intérêt d'une opération de maintenance. Réalisée par les sites et appuyée par les services centraux, elle aboutit au début des années 2000 à une très solide base de programmes de maintenance préventive, véritable condensé de ce que l'on sait faire de mieux pour les machines.

UNE ORGANISATION STRUCTURÉE

Au cours de l'histoire, plusieurs approches se sont succédées sans atteindre la maturité espérée : maintenance conditionnelle, maintenance par appareil témoin, réduction des volumes de maintenance (RVM), etc. Alors que les deux flottes peinaient à trouver la solution aux problèmes chroniques de disponibilité, le regard s'est tourné vers une méthode américaine : l'AP913. Fondée sur une classification des matériels, elle associe à toute défaillance potentielle un canevas de maintenance préventive.

Au Royaume-Uni, Nuclear Operations applique strictement la méthode. L'approche de fiabilité se structure en deux boucles temporelles de surveillance des systèmes élémentaires (plus de 150 à Sizewell B) : bilans complets en boucle longue (fréquence de trois à six ans), surveillance des systèmes en boucle courte sur la base des principaux indicateurs de fiabilité (fréquence d'un à six mois). Le partage régulier entre le responsable de la fiabilité et les ingénieurs systèmes permet de prendre du recul sur les menaces techniques : demandes de travaux répétées ou trop longtemps laissées en attente, durée d'indisponibilité cumulée révélant une faiblesse récurrente ou encore problème important à intégrer au programme du prochain arrêt.



Centrale de Cattenom - Fiabilité pour une maintenance combustible en toute sûreté



Framatome Jeumont
Ajustage joint hydrodynamique de pompe primaire

En France, la mise en œuvre de l'AP913 au début des années 2010 s'est révélée plus difficile, imposant en 2016 une adaptation du modèle et de la stratégie initiale. Parmi les problèmes rencontrés, des bilans mal utilisés et la génération d'une multitude d'activités supplémentaires mal proportionnées au regard des conséquences des défaillances couvertes. Fort de ce long apprentissage, l'approche est simplifiée en l'appliquant à des mailles plus larges, les fonctions, au nombre de quinze. Aujourd'hui, chacune fait l'objet d'un bilan annuel en comité Fiabilité de site qui recense les principaux problèmes et définit leur traitement. À l'échelle du parc, un directoire Fiabilité national (DPT) réunit les directeurs techniques des sites pour un travail analogue. Sur proposition des responsables de domaines, il décide des stratégies

de maintenance exceptionnelle sollicitant, le cas échéant, l'appui des centres d'ingénierie. À souligner, dans le développement des compétences, le rôle important des communautés de pratiques qui rassemblent les spécialistes des sites et des unités d'ingénierie pour partager leur expérience.

RATIONALISER L'APPROCHE ET BOUCLER LA BOUCLE

Si les démarches de fiabilité française et britannique ont mûri, des défis demeurent.

D'abord, elles ne semblent produire que du "toujours plus" : dans une propension naturelle à traiter ce qui ne va pas bien, l'ingénieur ajoute des activités ou en augmente la fréquence. Il devrait aussi analyser ce qui va bien pour alléger les fréquences et traquer les sur-exigences. L'optimisation est une question de sûreté, la sur-maintenance pouvant engendrer des non-qualités. L'AIEA appelle d'ailleurs à une juste maintenance : *"Maintenance optimization helps to ensure that the right tasks are being performed on the right equipment at the right time"* (SSG 74 : Maintenance Testing Surveillance and Inspection in Nuclear Plants).

Ensuite, les interactions entre les acteurs de la fiabilité, de la conduite et de la maintenance restent insuffisantes. J'ai rencontré des ingénieurs fiabilité davantage sur le terrain et à l'écoute de la conduite, mais des risques d'éloignement de la machine et de l'exploitant demeurent, surtout quand la surveillance s'opère depuis le bureau. Le lien avec la maintenance doit aussi se renforcer. Certains sites ont amorcé cette dynamique : les métiers sont mieux associés à la préparation des comités Fiabilité et à l'élaboration de bilans matériels. Ces bilans encouragent le préparateur à se recentrer sur l'analyse de son matériel et à faire des propositions.

De plus, la chaîne de valeur des différents bilans de fonction, de santé et de matériels, ainsi que les fréquences associées mériteraient d'être réinterrogées. Il faut boucler la boucle et mettre enfin en œuvre toutes les actions résultant des bilans. Il est préférable d'en définir moins mais de les mener à terme.

EN FRANCE, FAIRE UN EFFORT DE VISIBILITÉ ET DE SYNTHÈSE

Malgré l'investissement dans les bilans, je reste surpris que peu de sites en France disposent d'un inventaire simple et complet de l'état de santé de leurs matériels sauf à devoir consulter de volumineux documents. Il en est de même à l'échelle du parc même si les bilans mensuels des responsables de domaine constituent une belle

avancée. Le manque de synthèse empêche de hiérarchiser les risques et de prioriser leur traitement et n'offre pas la visibilité nécessaire aux métiers et projets pour organiser collectivement les travaux.

J'appelle les directions techniques locales et les services centraux à s'inspirer de certaines initiatives et à les généraliser : cartographies de l'état des systèmes, vision intégrée des risques techniques ou exercice menaces techniques, revues périodiques managériales alliant indicateurs et conviction des spécialistes.

SE COMPORTER EN PROPRIÉTAIRE

REVENIR À LA MACHINE

Au-delà des questions de processus et d'organisation, je suis convaincu qu'une bonne fiabilité passe par des responsabilités claires et un intégrateur par système. En France, cette responsabilité minutieusement décrite dans des notes d'organisation est éclatée entre les métiers de la maintenance et de l'ingénierie, les équipes de quart, voire l'équipe MEEI (maintien d'un état exemplaire des installations). Le matériel est un peu la propriété de tout le monde, avec un risque de dilution du sentiment propriétaire.

J'appelle à ramener les préparateurs maintenance à la technique. Accaparés par la déclinaison des prescritifs, la mise à jour du système d'information du nucléaire (SDIN) et les modifications, ils ne peuvent pas, malgré leur inclination technique, consacrer assez de temps à l'analyse et à l'approfondissement de la connaissance de leurs matériels. Les ingénieurs doivent rester en veille active, encourager les diagnostics approfondis lorsque nécessaire et aller jusqu'au bout des expertises pour traiter les causes profondes.

Sortir des processus permettrait d'être davantage dans l'action car ne passe-t-on pas trop de temps à construire des bilans plutôt qu'à

traiter les problèmes ? Il faut faciliter le passage à l'acte. Les passifs de pots de demande de travaux (DT), bien qu'en baisse, illustrent la propension d'un système à classer, prioriser puis analyser, plutôt qu'à traiter. Dans une centrale, il n'y a pas de petit matériel ou de matériel qui ne sert à rien. Je renvoie à ma recommandation de 2024 appelant, pour mieux passer la charge, à trouver des solutions entre les projets tranche en marche TEM, arrêt de tranche AT et Pluriannuel.

NE PAS SOUS-ESTIMER LES BESOINS DE RÉNOVATION DU PATRIMOINE

Les projets *Long-Term Operation* de Sizewell B ou Grand Carénage et Durée de fonctionnement du parc français ambitionnent de passer le cap des 40 ans et, plus récemment, de dessiner un nouvel horizon de fonctionnement au-delà de 60 ans. Malgré des investissements considérables, certains systèmes et équipements ne sont pas couverts par des projets de rénovation ou de remplacement. C'est le cas des systèmes spécifiques liés à la prise d'eau, des circuits tertiaires, des communs de tranches (stations de déminéralisation,

déshuileurs, grands réservoirs), des infrastructures de génie civil (toitures, bardages, tuyauteries) et de certaines infrastructures tertiaires.

Pour traiter cette diversité de sujets, des programmes pluriannuels patrimoniaux (PPP) avaient été lancés sur tous les sites. Cette démarche s'est essouffée dans certaines centrales. Devant ce constat, la direction du parc français a décidé en 2024 d'en faire un axe important de la prolongation de la durée de fonctionnement. C'est un très bon choix que j'appelais de mes vœux. Cependant, pour être efficace, j'encourage à bien vérifier la qualité des états des lieux, à réfléchir aux modalités de gouvernance pour allier responsabilité des sites et cohérence palier, et à s'assurer des financements, de l'appui des centres d'ingénierie et de la capacité industrielle.

LES DÉFIS PARTICULIERS DES AGR

Après des perspectives d'arrêt à court terme liées aux phénomènes de fissuration du graphite et de vieillissement des *boilers*, les réacteurs AGR ont vu leur durée de fonctionnement étendue par étapes successives. Cette approche incrémentale est menée sur la base d'une revue des études de sûreté et d'une inspection renforcée du graphite. L'approche alternative consistant à fixer une date butée d'exploitation permet de bâtir une stratégie plus robuste sur les plans technique et humain (*cf. rapport 2019*). La direction de Nuclear Operations disposant d'une cible d'exploitation plus ambitieuse, les conditions sont réunies pour associer tous les acteurs dans une perspective cohérente et mieux éclairer les investissements à réaliser.

Je n'oublie pas les AGR déjà arrêtés et en cours de déchargement ultime. Je salue les performances des sites de Hunterston et de Hinkley Point B qui ont achevé cette dernière phase en 2025. Lors d'une visite à Dungeness B, j'ai constaté la reprise d'une bonne dynamique de déchargement, les conditions initiales en mode pressurisé à froid ayant pu être allégées.

Si les enjeux de sûreté sur ces sites sont moindres du fait d'une puissance résiduelle très faible, je reste attentif à ce que les standards de fiabilité des équipements demeurent élevés au niveau de l'entretien des machines et des compétences nécessaires.

SAVOIR SE REMETTRE EN CAUSE

RÉFÉRENTIELS DE MAINTENANCE, VISER LE JUSTE NÉCESSAIRE

Mes rapports ont déjà pointé la difficulté des sites à faire face à la charge de travail des programmes de maintenance. Cela se traduit, chaque mois, par des activités préventives reportées. L'approche doit être rigoureuse : soit la tâche de maintenance préventive ne se justifie pas et il faut la supprimer, soit elle est nécessaire et il faut la mettre en œuvre aux échéances prescrites.

Plusieurs sites s'emploient, sur la base d'analyses fouillées, à proposer des modifications ou des allègements de programmes. D'autres éprouvent des difficultés à prendre en compte les retours terrain constatés lors des activités ou plus largement le retour d'expérience de la maintenance réalisée. Au risque d'épuiser les initiatives locales, il est indispensable de redonner de l'efficacité au processus d'amendement du référentiel.

Je note que la DPN a relancé une démarche d'envergure pour optimiser ses programmes de maintenance avec le projet Juste maintenance. Il me semble primordial de bien coordonner ce travail avec le programme RGE du futur et de veiller à la cohérence des référentiels.



Centrale de Golfech - Surveillance terrain d'équipements de production



Centrale de Cattenom - Intervention sur une vanne vapeur

DÉVELOPPER LA MAINTENANCE PRÉDICTIVE

Chaque jour dans les sites britanniques et français, des centaines de capteurs renvoient des informations relatives au fonctionnement des matériels. Elles sont complétées par les paramètres relevés lors des essais périodiques ou des rondes des agents de terrain. Mais seule une infime partie des milliers de données ainsi stockées est exploitée.

Des démarches de suivi de tendance, de *e-monitoring* et d'analyses de transitoire ont été déployées avec un certain succès. Toutefois, le potentiel de développement pour exploiter et détecter les signes précurseurs de défaillance reste énorme et j'ai trouvé des sites très moteurs. Certains cherchent à installer des capteurs supplémentaires (IoT¹) pour compléter l'instrumentation d'origine, ce qui nécessite un réseau adapté (il faudra le prendre en compte pour nos futurs réacteurs). L'unité d'ingénierie d'exploitation (UNIE) a réalisé en 2025 une *learning expedition* auprès d'industriels pour s'imprégner de l'état de l'art. Elle en est revenue avec la certitude que beaucoup reste à faire. Si les technologies sont connues dans le groupe EDF (R&D et hydraulique) et pour la plupart déjà au stade industriel, il reste à en accélérer leur déploiement à la DPN. L'enjeu premier est d'intégrer intelligemment les contraintes (cybersécurité, protection des données) et de libérer l'initiative locale.

1. IoT : internet des objets – internet of things.

DES SUJETS À NE PAS SOUS-ESTIMER

TRAITER L'OBSOLESCENCE

Dans le stock global de pièces de rechange (PdR) pour la DPN, environ 10 000 souffrent d'obsolescence. Les causes sont diverses : arrêt de fabrication, désengagement de fournisseurs des marchés nucléaires, évolution des normes alliée à de faibles volumes, évolution technologique subie, voire disparition de fournisseurs. L'obsolescence

couvre tous les domaines avec, en tête, l'instrumentation et le contrôle-commande, l'électricité et la robinetterie. Face à cet enjeu, l'unité technique opérationnelle (UTO) a été étoffée en 2025 et renforce son approche. Les budgets pour constituer des stocks de fin de vie sont en nette augmentation, offrant une solution, de long terme ou temporaire, pour traiter l'obsolescence. Malgré les efforts déployés, sa capacité, certes en hausse, reste limitée : il faut encore accélérer.

UNE CHIMIE À NE PAS NÉGLIGER

Au carrefour de nombreux sujets, la chimie contribue significativement à la fiabilité et à la durée de vie des équipements. De bons paramètres préservent les circuits primaire, secondaire, auxiliaires et les systèmes supports. La bataille de la chimie se gagne dans la durée et doit être l'affaire de tous. Quand l'exploitant accepte des dépassements de critères de conditionnement ou des imperfections dans la conservation à l'arrêt, les matériels eux s'en souviennent.

Peu avant 2010, le colmatage des générateurs de vapeur (GV) a fait prendre conscience de l'importance de la chimie. Depuis, des progrès ont été accomplis. Tous les sites ont un ingénieur chimie, le domaine est piloté, les indicateurs sont suivis, analysés et font

l'objet de plans de progrès. Parfois, la performance ne repose que sur quelques acteurs clés. Ces dernières années, l'analyse de l'indice de performance chimie (IPC) montre qu'on ne progresse plus. Le fait qu'un site se fasse surprendre en 2025 par un colmatage de ses GV plus rapide que prévu interroge.

Si l'attention de départ a porté sur les équipements prioritaires, de gros composants des circuits auxiliaires vieillissent (évaporateurs, réchauffeurs), avec parfois un mode de fonctionnement dégradé. J'appelle à rester vigilant et à s'assurer sur chaque site que les matériels concourant à la chimie ne sont pas les parents pauvres de la maintenance et que les chimistes trouvent une écoute attentive auprès de la direction de site, notamment du service conduite (*cf. rapport 2021*).

RECOMMANDATIONS

Une démarche de fiabilité technique efficace est une condition forte de la sûreté. Malgré les programmes engagés par le parc nucléaire français, certains matériels restent à rénover ou à remplacer, en particulier dans la perspective d'une durée de fonctionnement au-delà de 60 ans. Je recommande au directeur de la DPNT d'en faire établir le périmètre précis, de doter tous les sites d'un programme patrimonial pluriannuel et de l'assortir d'un budget à la hauteur des enjeux.

La durée de fonctionnement des réacteurs AGR a été plusieurs fois modifiée ces dernières années. Pour éviter les risques d'une démarche incrémentale, je recommande au directeur de Nuclear Operations de définir et de communiquer une échéance cible maximale de durée de fonctionnement pour programmer, tant au niveau central que sur site, les investissements techniques et humains.



Centrale de Civaux - Une source froide spécifique



5 CHAP

LA SOURCE FROIDE, AVANT-POSTE DE LA CENTRALE

Les stations de pompage sont aux avant-postes dans l'environnement. À partir de la mer ou des fleuves, leur fonction est d'alimenter en toutes circonstances la centrale en eau avec le débit et la température adéquats.

Nécessaire à la production, la source froide est indispensable à la sûreté : refroidir les matériels importants et, à l'arrêt, évacuer la puissance résiduelle voisine de 1 % de la puissance nominale.

La source froide, installation technique en interaction avec le milieu naturel, dont elle dépend, mobilise des compétences d'ingénieur et de sciences naturelles. Son exploitation exige de connaître l'environnement de la centrale et d'y prêter une attention permanente.

MERS, RIVIÈRES, CLIMAT : LE NUCLÉAIRE ET LA NATURE

L'ANNÉE DES MÉDUSES... ET DES ALGUES

Dans la soirée du 10 août 2025, des pompes de refroidissement du condenseur (CRF) des réacteurs 2, 4, 6 et 3 de Gravelines déclenchent successivement sur protection par différence de pression élevée (delta P) au niveau des tambours filtrants (TF) en station de pompage. Cela provoque l'arrêt automatique (AAR) de trois de ces réacteurs un peu avant minuit, puis du quatrième le lendemain à l'aube. L'aspiration d'un banc de méduses à la dérive avait colmaté les TF. Les réacteurs 1 et 5 étaient déjà à l'arrêt pour rechargement. Les protections ont joué leur rôle et aucun matériel n'a été endommagé. L'arrêt de la très forte aspiration par les pompes CRF a mis fin au colmatage. Par conception, les pompes de la source froide de sûreté (SEC) ont toujours pu aspirer le faible débit nécessaire. Ces événements n'ont pas affecté la sûreté.

Le même mois, sur la côte est de l'Écosse, Torness connaît aussi une hausse brutale de delta P par arrivée de méduses, sans AAR. Il en va de même à Paluel qui évite l'AAR, mais au prix d'une sortie de domaine de pilotage du cœur par baisse trop rapide de la charge.

Le 30 août à Chinon, des pompes du SEC déclenchent par delta P élevée : des quantités d'algues filamenteuses ont envahi les prises d'eau, contournant partiellement les filtres à chaîne et affectant les échangeurs RRI / SEC. Il s'agit donc de sûreté. Pendant plusieurs jours, des équipes se relaient en 3x8 pour dégager la prise d'eau, faire fonctionner les filtres et nettoyer les échangeurs. Ces algues avaient proliféré dans les eaux chaudes de bras morts de la Loire avant qu'une crue provoquée par les pluies violentes de la fin d'été ne les arrache.

2. Si la hauteur d'eau est très faible, l'aspiration des pompes peut provoquer un fort courant et un écoulement tumultueux analogue à celui d'un torrent, susceptible d'éroder brutalement des fonds de sable ou de graviers.

À Flamanville 1, pendant quelques jours fin août, à marée basse, une pompe CRF déclenche par delta P au niveau de la grille de préfiltration : une masse d'algues arrachées par un coup de vent et aspirées par le pompage s'est plaquée sur la grille dont les dégrilleurs s'arrêtent par obstruction du ru d'eau. Les TF sont restés libres d'algues et le SEC opérationnel.

Ordres de grandeur de débits

En production, le débit des pompes du condenseur est de 75 000 à 100 000 m³ / h selon les paliers.

Le circuit de refroidissement de sûreté doit évacuer la puissance résiduelle, environ 1 % de la puissance nominale du réacteur, et refroidir les matériels de sûreté. Son débit est d'environ 2 à 4 000 m³ / h.

Un fleuve comme le Rhône a un débit moyen d'environ 6 millions m³ / h à l'embouchure.

ARRIVÉE MASSIVE DE COLMATANTS : UN SUJET RÉCURRENT, DES PROGRÈS ET DES SURPRISES

Ce type d'événement n'est pas nouveau : les arrivées massives de colmatants (AMC) touchent régulièrement des stations de pompage dans le monde. Le réchauffement climatique en modifie la nature et en accroît probablement la fréquence.

En bord de mer, ces colmatants peuvent être très divers : algues, alevins, méduses (dont les groseilles de mer qui provoquent des AAR à Gravelines dans les années 1990), sable, limon, hydrocarbures, etc. À marée basse, il faut aussi se garder que l'écoulement dans le chenal ne passe en régime torrentiel² et ne transporte du sable ou des galets vers la prise d'eau. L'exploitant procède donc à des bathymétries et, au besoin, des dragages. Le code de calcul Chenal 3, qui intègre les dernières avancées de la R&D d'EDF, prévoit les risques de régime torrentiel selon la carte des bancs de sable, la marée, la météo et le débit de pompage. Au besoin, l'exploitant réduit la puissance des réacteurs et le débit d'aspiration.

Les arrivées massives d'algues ont, selon les périodes, affecté Flamanville, Paluel ou Penly qui ont mis en place des améliorations. Torness, dans l'axe des grandes tempêtes de la mer du Nord, a dû beaucoup y travailler ces dernières années et a fait progresser ses prévisions et ses observations en mer, grâce à des accords avec des pêcheurs, ainsi que sa réponse opérationnelle. D'autres sites britanniques sont affectés par du limon qui peut colmater les filtres des circuits SEC ; je suggère qu'ils se rapprochent d'autres exploitants dont la DPN pour examiner les éventuels moyens de prévention. En bord d'estuaire, Blayais connaît des épisodes de sare, débris végétaux emportés par le courant.

En bord de rivière, ces colmatants sont des plantes aquatiques, des branchages, des feuillages, des sédiments, des débris, etc. Les crues peuvent charrier la végétation du fleuve ou des berges, les résidus de faucardage laissés en place ou des sédiments. Des événements se produisent régulièrement et leur fréquence augmente depuis une décennie. L'incident de 2009 à Cruas a donné lieu à un retour d'expérience significatif. Autre exemple, Civaux qui, avec l'aide de la Force d'action rapide du nucléaire (FARN), a dû enlever en septembre 2023 des tonnes de plantes amassées dans la prise d'eau par une soudaine crue de la Vienne. Je retiens de cet épisode bien maîtrisé que l'exploitant, alerté par la Division technique générale d'EDF Hydro (DTG), avait mobilisé du personnel à l'avance. Il en fut de même en 2023 lors d'une arrivée massive d'algues vertes filamenteuses à Dampierre. Durant l'été 2023, Chinon a aussi retiré de la source froide 235 m³ de plantes aquatiques. Un rapport annuel de la DTG recense et analyse toutes les AMC signalées par les sites.

Au bord de la mer ainsi que des fleuves, des moules peuvent se développer dans des ouvrages, filtres ou échangeurs, et les obstruer. On surveille particulièrement le développement de moules de rivières, zébrées ou quagga. Des curages et des traitements biocides peuvent s'imposer, selon les sites.

La DTG diffuse aux sites en bord de rivière un bulletin hebdomadaire de prévision et d'alerte, selon le développement des plantes aquatiques, l'hydrologie et la météo. Elle effectue des relevés saisonniers des



Centrale de Flamanville 3
Nettoyage d'une nappe de débris dans le chenal

herbiers aquatiques. Algues filamenteuses, potamot, lentilles d'eau, renoncule aquatique, égerie dense, élodée, vallisnérie en spirale, etc. : EDF acquiert une véritable science des végétaux aquatiques.

Des progrès significatifs ont été faits en prévision, vigilance, instrumentation et automatismes (alarme et protection automatique sur delta P, passage des TF en grande vitesse, etc.), procédures.

Pourtant, en août 2025, des sites ont été surpris par des phénomènes dont ils n'avaient pas l'habitude ou qu'ils n'avaient pas vus venir. Je recommande d'en tirer le retour d'expérience en termes :

- d'observation locale et d'alerte (caméras, senseurs, pêcheurs, bulletins de prévision, etc.) ;
- de prévention en amont des ouvrages (barges, pêcheurs, filets, etc.) ;



Centrale de Penly - Modélisation par le code chenal 3

- de disponibilité des matériels de la station de pompage et de renforts sur alerte pour observer, prévenir, nettoyer les rus d'eau, veiller aux dégrilleurs, changer les paniers, etc.

Comme l'agriculture, notre activité est au confluent de la nature, de la mécanique et de l'intervention humaine ; c'est un aspect à intégrer.

FRASIL : EN FRANCE AUSSI

Pendant le très rigoureux hiver 1985-1986, la Loire charriait des glaçons et la prise d'eau de Chinon prenait en glace, requérant l'intervention de l'armée. Un plan "grand froid" a suivi.

D'une autre nature, le frasil affecta la station de pompage de Chooz en 2009 : de l'eau restée liquide en dessous de zéro degré a brutalement gelé au contact des grilles de préfiltration, réduisant la capacité du SEC. Les sites sensibles au frasil ont été recensés et des modifications réalisées ces dernières années, par réinjection d'eau chaude du rejet en amont de la prise d'eau.

J'ai déjà mentionné que les modifications frasil de Tricastin affectent sa capacité à lutter contre les bois flottés et à draguer les sédiments (*cf. rapport 2024*). La volonté de ne pas réduire la puissance en cas de risque de frasil (qui disparaît si l'on stoppe les pompes CRF et le

brassage entre fond et surface), associée à une spirale de contraintes et d'exigences, a conduit à cette solution. J'incite à revoir ce dispositif afin de s'assurer qu'il ne nuit pas plus qu'il ne bénéficie à la sûreté, d'autant que des crues hivernales ont déjà charrié vers le site d'importants volumes de sédiments.

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE À L'ŒUVRE

Mon rapport 2023 y consacrait un chapitre : je n'y reviens pas et ne commente que les évolutions.

En France, qu'il s'agisse du parc ou des projets, la mobilisation du Groupe se confirme, de la science aux investissements. Elle s'applique à tous les thèmes : étiages, thermie, colmatants, usages de l'eau, santé, etc. La volonté est nette à la tête de l'entreprise et des moyens y sont alloués.

À horizon temporel donné, la cohérence des chiffres (températures, débits, etc.) est visée entre le projet Durée de fonctionnement du parc (DDF) et le nouveau nucléaire. Le 6^e rapport du GIEC est pris en compte. Un ensemble de méthodes est nécessaire, du court terme (prochaines visites décennales) au moyen terme (30 ans) et au long terme (2 100). Elles évolueront, entre celles qui existent et celles qui permettront une plus grande exactitude, par exemple pour modéliser les aléas extrêmes sous changement climatique à la fin du siècle.

En matière d'hydrologie, je perçois que les méthodes SHADEX, qui estiment les débits maximaux des crues, vont devenir la référence dans le nucléaire comme elles le sont chez EDF Hydro (*cf. rapport 2023*). J'encourage le parc à franchir le pas. La DTG développe une méthode équivalente pour évaluer les étiages sévères en changement climatique : MOSAHYCC.

L'augmentation de la température des fleuves sera sans doute le principal sujet de sûreté et le Groupe y porte une attention particulière, ce que j'approuve. Le dopage d'échangeurs RRI / SEC se poursuit (augmentation de la surface d'échange par ajout de plaques), le parc

étudie des remplacements d'échangeurs et il recense l'ensemble des solutions envisageables.

Il se confirme que le changement climatique provoque des pluies cévenoles plus violentes. Les dernières modélisations sont cohérentes avec les épisodes méditerranéens récents. La R&D vise à modéliser les pluies diluviennes locales sur sol sec, un exercice scientifique ambitieux.

EXPERTISE ET COMPLEXITÉ

Le Groupe possède une solide expertise scientifique et technique de la source froide et de son environnement. La R&D, la DTG et l'ingénierie mènent des études et développements très pointus et visent à leur application opérationnelle.

Le Laboratoire national d'hydraulique et d'essai (LNHE), au sein de la R&D, dispose de halls d'essai précieux où sont testées des maquettes d'ouvrages, par exemple digues et chenaux, et des circuits. Pépite technique, la DTG confirme la force du lien entre EDF Hydro et le nucléaire, indispensable à maintenir. Les orientations sur les concessions hydroélectriques sont, de ce point de vue, rassurantes car de nature à conserver l'hydraulique intégrée au Groupe.

Ma visite au Centre national d'équipement de production d'électricité (CNEPE) conforte ma conviction de l'importance d'une compétence interne pointue en conception des sources froides et que traiter à la fois du parc et du nouveau nucléaire est un atout. Cela pourrait être un modèle général. La direction technique de l'ingénierie (DT) établit les référentiels. À la DPN, le domaine de la source froide est piloté et cela se ressent ; les communautés de pratique (COP) sont appréciées.

J'ai visité, en France et au Royaume-Uni, des sites plus engagés qu'auparavant dans l'entretien de la source froide et plus vigilants vis-à-vis de ses agressions potentielles. Des ingénieurs source froide agissent sur le terrain, avec conviction. La DPN doit prêter une plus grande attention à leur formation, aux recouvrements systématiques et aux parcours professionnels. Source froide et alimentations électriques externes doivent engager la direction des CNPE : la centrale dépend de l'extérieur.

Soulignés dans mes rapports précédents, le nombre d'acteurs et la complexité d'organisation demeurent. Objet d'une recommandation du rapport 2023, le pilote d'ensemble, l'autorité technique, le stratège reste difficile à identifier.

L'organisation, les ressources et le pilotage d'ensemble sont au Royaume-Uni plus limités. Le domaine semble surtout laissé à l'initiative des sites.

INTERNATIONAL : TOUS CONCERNÉS

EDF participe à des échanges internationaux avec :

- WANO, qui en fait un point d'examen dans ses analyses et revues de pairs ;
- l'EPRI (institut de recherche des exploitants américains) dont un des thèmes du séminaire annuel, en août 2025, portait sur les méduses ;
- son équivalent japonais, le CRIEPI, sur des sujets techniques ciblés, par exemple le *biofouling* ;
- l'exploitant chinois CGN, qui fait face à une vie marine luxuriante et met en œuvre de manière volontariste d'importants moyens de défense en profondeur ;
- les exploitants canadiens et scandinaves sur le frasil, etc.

Les informations sont nombreuses et de qualité ; il faut aussi savoir s'inspirer des bonnes pratiques. Dans le Groupe, la coopération entre EDF SA et *EDF Energy*, qui exploitent des stations de pompage de part et d'autre de la Manche, doit se structurer davantage.



Centrale de Chinon - Nettoyage des filtres à chaîne

STATIONS DE POMPAGE : LUTTER SANS CESSÉ

J'observe en France un progrès global grâce à un effort de la DPN qui en a fait une priorité bienvenue ces dernières années. Des programmes de rénovation et de remplacements sont en cours (tuyauteries SEC revêtues en néoprène, tambours filtrants, etc.). Un projet du Grand Carénage lui est dédié. Des problèmes génériques (dégrilleurs, systèmes de chloration, etc.) et des difficultés de pièces de rechange restent à résoudre. Des fuites d'échangeurs RRI / SEC ont entraîné faute de plaques de rechange et de priorité.

L'état des stations de pompage en bord de rivière visitées cette année est satisfaisant. Je note avec satisfaction la reconquête de la source froide de Cattenom, grâce au travail de terrain entre ingénieur source froide, maintenance et conduite. En bord de mer, à Torness, j'apprécie la rénovation de la station de pompage, qui le nécessitait.

À côté des programmes de maintenance (PBMP) et des projets nationaux (GK), indispensables mais dont on ne doit pas tout attendre, l'initiative des sites et leur "esprit propriétaire" feront la différence. Je vois encore trop de fuites persistantes de presse-étoupe mal réglés, mal canalisées, qui corrodent le matériel. Des demandes de travaux traînent et les services échangent des mails. Les sites doivent aussi mieux assurer la disponibilité des dégrilleurs, pompes de relevage, surpresseurs, etc., déterminants en cas d'AMC.

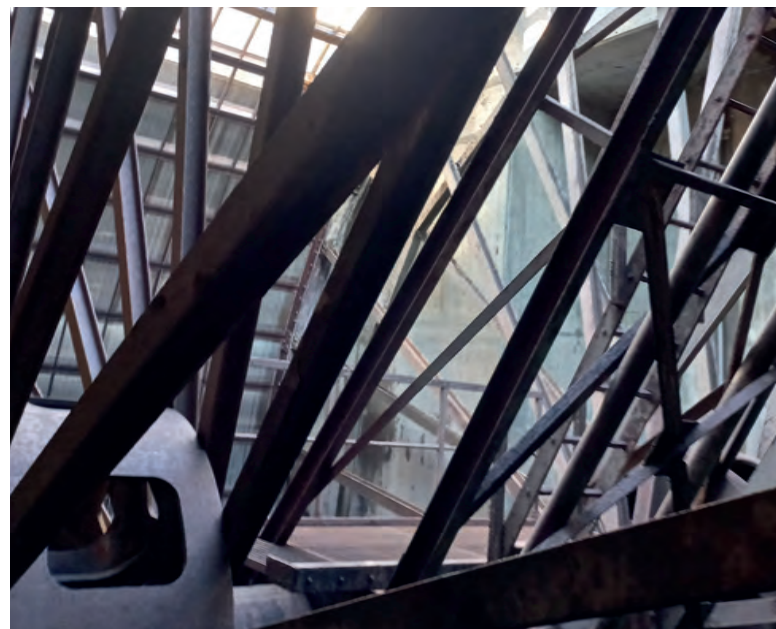
L'eau corrode, le brouillard salin encore plus... Le combat doit être permanent, sans attendre les échéances des PBMP : faire le tour des installations, gratter, repeindre, graisser..., bref protéger et prévenir. Ne pas se reposer sur une demande de travaux émise ni attendre qu'elle finisse par surnager parmi les priorités : entre-temps, la corrosion se développe. Je recommande donc de constituer des équipes dédiées et de les former aux règles de l'art.

EN INGÉNIERIE : CONNAÎTRE PLUTÔT QUE DÉCLINER

CONCEPTION : S'ADAPTER AU SITE

La station de pompage doit épouser la géographie du site. La conception hydraulique des ouvrages s'avère souvent astucieuse en bord de rivière. Certaines prises d'eau sont naturellement protégées des AMC, sans que ce ne soit imparable ni partout le cas. La sûreté de deux sites est indépendante de la rivière, pendant une durée significative : Civaux grâce à un SEC refroidi par des aéroréfrigérants et des réservoirs, Cattenom grâce au lac artificiel de Mirgenbach. Les dispositions contre le frasil s'avèrent, selon la disposition des lieux, soit simples, soit embarrassantes. En bord de mer, la protection contre les embruns et le brouillard salin n'a pas toujours été pensée de manière optimale.

L'EPR2 disposera d'une source froide alternative, dans son principe similaire à celle de Civaux, un point fort. J'ai apprécié que des ingénieurs du CNEPE aillent à Civaux s'enquérir du retour d'expérience. Les maquettes hydrauliques en cours d'essai au LNHE sont un atout. Le projet prévoit des tuyauteries SEC enterrées, en polyéthylène haute densité (PEHD). Très employé en adduction d'eau potable, il résiste à la corrosion, aux mouvements de terrain et au séisme. Les possibilités d'inspection en service restent à définir pour en observer la longévité.



Centrale de Bugey - Tambour filtrant de la station de pompage

J'invite à étudier les effets réciproques entre sites du nouveau nucléaire et centrales actuelles, en phase de chantier et d'exploitation : courants, limon, envasement, régimes torrentiels, trait de côte, etc. (*cf. chapitre 8*).

TEMPÉRER LA MÉCANIQUE DES RÈGLES D'ÉTUDES

La source froide aussi demande du jugement d'ingénieur et d'apprécier les ordres de grandeur, les marges et la résilience. D'autant plus que l'évaluation de sa sûreté intègre des sciences naturelles évolutives : tout n'est pas mathématiquement démontrable.

Revoir certaines règles ou conservatismes s'impose, avec bon sens et jugement. Exemples :

- par canicule, la température des galeries SEC enterrées est supposée être celle de l'extérieur ;

- quel sens y a-t-il à classer EIPS (élément important pour la protection des intérêts, sûreté), les blocs cubiques rainurés de béton des digues de l'EPR2 de Penly ?

Le sous-dimensionnement des échangeurs RRI / SEC de FLA3, par un sous-traitant mal sélectionné et mal surveillé, doit inciter à toujours veiller aux bases du métier et à rester en contact avec l'expérience et les réalités de l'industrie.

PARC EN EXPLOITATION : MODIFIER JUSTE

Des modifications nécessaires et bénéfiques ont été faites sur les sources froides du parc. D'autres sont moins convaincantes : rajouter des tuyaux ou des protections grand vent n'est pas toujours heureux. Ces dernières procèdent généralement d'un esprit systématique de déclinaison d'exigences théoriques, sans jugement de terrain.

Dans le projet DDF, il serait judicieux de rechercher des pistes de robustesse, de résilience ainsi que les marges et dispositions d'exploitation favorables pour éviter que, guidés par la seule démonstration de sûreté, on ne fasse toujours "plus de la même chose".

ET SI L'ON PERD LA STATION DE POMPAGE ?

En France, en cas de perte totale de la source froide, la procédure H1 s'applique depuis les années 1980 : évacuation de la puissance résiduelle du cœur par les générateurs de vapeur alimentés par l'ASG ; refroidissement du RRI, et donc des matériels indispensables à la sûreté, grâce à l'inertie thermique de la bache d'eau PTR du réacteur. Cas exceptionnel, Cruas a dû l'appliquer en 2009.

Des moyens supplémentaires ont été ajoutés depuis Fukushima :

- en cas de perte du refroidissement de la piscine du combustible, maintien de son niveau par appoint d'eau ; la FARN pourrait en 24h connecter un échangeur de chaleur (PTR bis) ;
- une source d'eau ultime, forage, bassin ou réservoir, peut alimenter la bache ASG et la piscine du combustible ; les solutions définitives ou des solutions d'attente sont en place ;
- la FARN dispose de moyens de pompage dans les cours d'eau, les étangs et la mer ;
- en cas d'accident grave, refroidissement du bâtiment réacteur par le système EAS-U, avec intervention de la FARN ;
- les BDBUE britanniques (*beyond design back-up equipment*, équivalent de la FARN) apportent des fonctionnalités équivalentes.

Au Royaume-Uni, le REP de Sizewell B bénéficie d'une source froide de secours, à échangeurs à air. Les réacteurs AGR, grâce à leur faible densité de puissance et leur volume important, manifestent une grande inertie thermique. Des moyens diversifiés permettent de refroidir le réacteur.

Cruas 2009

Dans la nuit du 1^{er} décembre, une arrivée massive exceptionnelle de plantes aquatiques obstrue la source froide. Ces plantes s'étaient accumulées dans le lit et sur les berges du fleuve. Une crue du Rhône les a détachées et charriées.

La perte de la source froide de sûreté et de production est totale sur le réacteur 4, partielle sur les autres. Les opérateurs appliquent la procédure H1. L'inertie de la piscine de stockage du combustible a aussi été mise à profit. Le déblaiement des grilles de préfiltration a permis de rétablir la source froide en dix heures.



Source froide

RECOMMANDATIONS

Certains CNPE ont, en août 2025, été surpris par des arrivées massives de colmatants de la source froide dont ils n'avaient pas l'habitude ou qu'ils n'ont pas vues venir. Je recommande au directeur de la DPN d'en tirer le retour d'expérience opérationnel en termes de :

- moyens locaux d'observation et d'alerte ;
- prévention et lutte en amont des ouvrages ;
- disponibilité des matériels de la station de pompage et renforts de personnel sur alerte.

Je recommande également au directeur de la DirIN d'intégrer ce retour d'expérience dans la conception des ouvrages.

Prévenir et traiter la corrosion doit être un combat permanent. Afin de ne pas laisser les matériels se dégrader, en particulier en bord de mer, je recommande au directeur de la DPN de mettre en place dans chaque site une organisation robuste et pérenne, au besoin en dédiant des spécialistes à la prévention et au traitement de la corrosion dans l'ensemble de l'installation, en particulier la source froide.



Centrale de Nogent-sur-Seine

CHAP 6

UNE RELATION PARTENARIALE EN MUTATION

Une activité nucléaire performante s'appuie sur un tissu industriel compétent et souverain. Framatome acquiert plusieurs entreprises pour en assurer la pérennité et investit dans les compétences et dans son outil industriel, notamment à Chalon-sur-Saône et à Jeumont.

Le plateau fournisseur définit la politique industrielle du Groupe. Par les démarches *Supplier Development* et *Recovery*, EDF aide la filière à progresser en qualité et en délais.

L'exploitant doit exercer une surveillance de toutes les activités sous-traitées importantes pour la sûreté.

La signature du contrat stratégique 2025-2028 par l'État et les acteurs de la filière vise à renforcer la souveraineté énergétique, la compétitivité et la transition écologique. Il comporte quatre axes : amélioration de la performance industrielle, développement des compétences et attractivité de la filière, mobilisation sur les enjeux d'avenir et promotion d'une filière responsable et durable. Cette excellente nouvelle rassure la filière.

GÉRER LA CHARGE POUR FIDÉLISER LES COMPÉTENCES

Les partenaires permanents de la DPN se sédentarisent et, pour près de 95 %, vivent à moins de 50 km des sites. Une évolution liée aux nécessités familiales et professionnelles. Parallèlement, les sites réinternalisent certaines activités de maintenance pour renforcer leurs compétences, mieux superviser la sous-traitance et accroître leur autonomie. La saisonnalité des arrêts de réacteurs entraîne des variations importantes de charge de travail avec des périodes de sous-charge. Nos partenaires ont besoin de visibilité et d'une planification fiable pour pouvoir anticiper.

Dans le nouveau nucléaire (NN), les partenaires d'ingénierie doivent ajuster leur plan de charge dans un contexte de fin du projet Flamanville 3 (FLA3), de décroissance d'activité à Hinkley Point C (HPC), de réplication à Sizewell C (SZC), d'assouplissement du calendrier de l'EPR2, de perte de l'appel d'offres en République tchèque et de réorientation du projet Nuward. Paradoxalement, une forte montée en puissance reste prévue. Le resserrement du panel de fournisseurs permet de redistribuer des activités et limite l'impact de la sous-charge et les pertes de compétences.

MUSCLER NOTRE CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT

La maturité de la chaîne d'approvisionnement (*supply chain*) reste faible. Peu automatisée, manquant de compétences, de pratique et de réactivité, son taux de non-conformités est élevé. Les méthodes de traitement d'écarts, comme le QRQC (*quick response quality control*)

et l'AMDEC (analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité), sont trop peu utilisées. De plus, des sur-spécifications, des réponses aux fournisseurs parfois tardives ou incomplètes et un manque de présence dans leurs usines pénalisent l'industrie : devenue trop réglementaire, l'approche manque de pragmatisme et ne se concentre pas assez sur les risques techniques.

LES ATTENTES DE L'INDUSTRIE

UNE INTÉGRATION MEILLEURE AU ROYAUME-UNI QU'EN FRANCE

En France, nos partenaires souhaitent l'harmonisation des pratiques et des exigences. Ils considèrent nos règles plus lourdes que celles des autres industriels, exploitants nucléaires ou non. Ils perçoivent un déséquilibre d'exigence entre eux et EDF, freinant la vigilance partagée. Sur le terrain, les chargés de travaux rencontrent des difficultés à assumer l'ensemble des responsabilités qui leur sont confiées (outre leurs activités, la logistique, la radioprotection, etc.). Ils soulignent aussi l'instabilité des plannings TEM (tranche en marche) et la faible qualité de la documentation. La mise à jour documentaire des paliers manque de réactivité, ce qui nécessite de compenser par un fonds documentaire local. Les contrats à obligation de résultat sont inadaptés aux chantiers dont le temps métal est trop faible. Ils nuisent à la relation partenariale et, paradoxalement, à la performance.

Au Royaume-Uni, les partenaires sont intégrés dans l'organisation du site. Ils participent aux réunions opérationnelles, à des *leadership coaching reviews* et à des *awaydays*. Cependant, le volume et la qualité de la documentation exigée restent variables : les *risk assessment method statements* (RAMS) peuvent être plus complets que les analyses de risque que Nuclear Operations s'impose. En revanche, à l'approche de la phase de démantèlement et du

transfert à NRS (*Nuclear restoration services*) des installations, les partenaires manquent de visibilité sur la pérennité de leur activité.

LES AMT, PARTENAIRES DE CONFIANCE

Les agences de maintenance thermique (AMT) entretiennent d'excellentes relations avec les sites. En complément des interventions, elles les conseillent et apportent leur expertise technique. Par leur savoir-faire, elles contribuent à améliorer les données des sites. Leurs forces incluent la préparation des activités grâce à des revues de sécurisation, la pratique des STOP chantier en cas de risque sécurité et l'analyse du retour d'expérience. Elles réalisent de la surveillance, permettant aux chargés de surveillance et d'intervention (CSI) de libérer du temps pour réaliser des interventions et entretenir leurs compétences.

Le BEMA au service du parc

Le Bureau des études, des méthodes et des affaires (BEMA) est issu du projet Ensemble chaudronnerie soudage, né de la crise de la corrosion sous contrainte. Il renforce l'autonomie industrielle du Groupe dans la chaudronnerie, la tuyauterie et le soudage, en donnant à l'Unité logistique et maintenance la capacité de réaliser des opérations complexes et des remplacements de gros composants. Il mobilise les compétences internes et externes et se compose :

- du Bureau des études, responsable de l'analyse technique et du développement des procédés ;
- du Bureau des méthodes, garant de la qualité d'exécution ;
- du Bureau des affaires, chargé de la gestion de la charge.

LOGISTIQUE ET TEMPS MÉTAL

La restructuration des marchés de prestations globales d'assistance chantier (PGAC) par spécialité (logistique de chantier, échafaudage,



Centrale de Cattenom - Soudage automatique en pré-fabrication

radioprotection, etc.) et zone géographique vise à mutualiser les ressources et lisser la charge de travail. La volatilité du personnel de logistique de chantier limite l'acquisition de compétences. Stabiliser les équipes demande de gagner en visibilité, moins fonctionner en mode réactif et sortir d'une culture trop centrée sur la sanction. La fidélisation du personnel passe aussi par des contrats à durée indéterminée.

En alternative à la PGAC, d'autres organisations redoutablement efficaces méritent d'être utilisées autant que de besoin. Le dispositif "tapis rouge" décharge totalement les intervenants des contraintes logistiques. Les prestations intégrées incluent la logistique. De même, des équipes logistiques dédiées ou une fédération d'entreprises peuvent être envisagées pour gérer les interfaces.

Les demandes sous le système d'information logistique EPSILON doivent être améliorées. Le passage à ELOG offrira un système plus intégré et adapté, à condition d'assurer le transfert complet des données (dimensionnement et positionnement des échafaudages, sas de chantier, etc.), notamment celles de nos partenaires. Les bornes CoLiMo facilitent la gestion des régimes et améliorent le temps métal.

PRESTATION D'INGÉNIERIE, PROXIMITÉ VERSUS FLEXIBILITÉ

Les modes de travail actuels maintiennent une obligation de proximité géographique de nos partenaires avec leurs donneurs d'ordre, réduisant leur potentiel de flexibilité. De plus, la régionalisation limite la capacité des partenaires à gérer les sous-charges par le redéploiement de ressources nationales.

UNE POLITIQUE INDUSTRIELLE POUR RENFORCER LA *SUPPLY CHAIN*

LA SOUVERAINETÉ AVANT TOUT

Le secteur nucléaire, objet de souveraineté, s'appuie sur une industrie majoritairement nationale (95 %). Framatome renforce son intégration verticale par plusieurs acquisitions récentes : Valselve, Vanatome, Segault et Selectarc. Les activités d'ingénierie sous-traitées restent principalement en France et au Royaume-Uni. Toutefois, la gestion du risque *Export Control* et notre souveraineté technologique doivent encore être consolidées pour sécuriser durablement nos activités et nos projets internationaux.

PLATEAU FOURNISSEUR, ÉQUILIBRE ENTRE PARC EN EXPLOITATION ET NOUVEAU NUCLÉAIRE

Le plateau fournisseur définit la politique industrielle d'EDF. Il co-construit avec la DPN, les programmes Grand Carénage, EPR2 et Nouveau Nucléaire au Royaume-Uni des politiques d'achats de long terme. Il renforce l'exigence et favorise la mutualisation. Les filières métiers du Groupe décident du panel de fournisseurs en cohérence avec cette stratégie. La DPN fait les choix pour les domaines intervention et pièces de rechange (PdR) tandis que le nouveau nucléaire se concentre sur les équipements et les chantiers. Des progrès sont attendus pour protéger notre propriété intellectuelle.

Le plateau fournisseur réunit les responsables stratégiques, les responsables fournisseurs, les maîtrises d'œuvre et d'ouvrage du nouveau nucléaire et les représentants de la DPNT, dont un directeur Stratégie industrielle et neuf chefs de segment de l'unité technique opérationnelle (UTO). La création récente de ces postes renforce l'influence de la DPN qui apporte tout son retour d'expérience. La DPN dispose désormais des moyens pour structurer une stratégie industrielle de long terme, intégrant l'obsolescence. Enfin, la filière Achat se structure selon une logique de produit, c'est une bonne chose.

ADAPTER NOTRE POLITIQUE INDUSTRIELLE

La politique industrielle de la DPN concilie l'ancrage territorial favorable au développement des compétences et la performance économique. Elle distingue les marchés généralistes, apportant volume et compétitivité, des marchés spécialistes, réservés aux équipements sensibles. Les marchés nationaux favorisent la standardisation des pratiques mais coûtent paradoxalement plus cher du fait des grands déplacements, tandis que les marchés locaux offrent réactivité et continuité.

EDF resserre son panel de fournisseurs de rang 1, qui font appel à de la sous-traitance et aux ressources locales. Dans ce contexte, il est nécessaire de réorienter les missions des cellules d'analyse et de retour d'expérience des marchés (CAREM). Plus largement, la gouvernance



Centrale de Civaux - Travaux en salle des machines

de l'ancrage territorial, des marchés locaux et des plaques régionales gagnerait à être clarifiée auprès de l'ensemble des acteurs.

Pour les arrêts réacteur, le principe d'affectation nationale et annuelle peut pénaliser au niveau local la visibilité et la stabilité des partenariats. Les sites demandent plus de cohérence d'affectation entre arrêts identiques. Les partenaires manquent de visibilité et sont encore trop

peu intégrés à la préparation des arrêts. La concurrence entre les CNPE et la DIPDE (direction de l'ingénierie du parc et de l'environnement) pour les mêmes ressources crée parfois des tensions. Les relations entre EDF SA et certaines filiales sont tendues.

Au Royaume-Uni, la compétition entre nouveau nucléaire et parc en exploitation reste intense, les salaires du nouveau nucléaire



Framatome Jeumont - Contrôle d'un composant de pompe primaire

étant plus attractifs. Les prestataires des sites en déchargement pour démantèlement ne bénéficient plus des incitations financières spécifiques aux arrêts.

Les contrats de sous-traitance sont gérés de manière très centralisée, limitant les initiatives locales et l'adaptation aux spécificités des sites. Les processus de la *supply chain* pourraient être améliorés en adaptant les délais de consultation, en tenant compte des contraintes des fournisseurs et en les impliquant dans la rédaction des cahiers des charges.

FLEXIBILITÉ DANS L'INGÉNIERIE : MASSIFICATION ET INTÉGRATION

Les ingénieries actualisent chaque année une analyse "plus-value de l'ingénierie nucléaire" qui oriente leur politique de sous-traitance. La compétitivité des partenaires dépend principalement du degré de massification et d'allotissement (*workpackage*). C'est tout l'objet des nouveaux contrats de prestations d'ingénierie d'études et d'assistance technique (PIAT).

La *supply chain* de l'ingénierie reste utilisée pour apporter de la flexibilité capacitaire. Nous gagnerions à favoriser l'investissement dans les compétences, à faciliter les possibilités d'équilibrer la charge entre nouveau nucléaire et parc en exploitation et à massifier les activités sous-traitées dans une logique *workpackage*. Cela encouragerait l'innovation chez nos partenaires. Les spécificités des têtes de série (*First of a kind* FOAK) d'Edvance exigent, par leur complexité, une collaboration de proximité tandis que la réplification peut faire davantage appel à des *workpackages*.

Enfin, le *modus operandi* trouvé sur la propriété intellectuelle et le droit d'usage (Pidu) améliore le travail des personnels de statuts différents d'Edvance. Sa renégociation prévue pour 2027 devra en intégrer le retour d'expérience.

AMÉLIORER LA QUALITÉ DE FABRICATION

EDF ACCOMPAGNE LA SUPPLY CHAIN

La démarche *Supplier development* (SD) proposée par EDF a pour objectif d'améliorer durablement les performances de nos fournisseurs de rang 1 et plus. Après un diagnostic approfondi des

causes de contre-performances, un plan d'actions ciblé est élaboré pour progresser en qualité (OQD, *on quality delivery*) et délai (OTD, *on time delivery*). En incitant les fournisseurs à traiter rapidement les écarts et en les accompagnant de manière intrusive, en particulier ceux qui peinent à "faire bien du premier coup", la filière progresse. La démarche apporte un regard externe, redynamise les relations entre client et fournisseur, permet de définir des indicateurs de performance adaptés et d'ajuster la pertinence du programme de surveillance. Toutefois, elle a ses limites : elle n'agit pas sur les rangs inférieurs de la *supply chain* (fournisseurs de matériaux, de demi-produits, de composants, etc.) et nécessiterait une connaissance fine des processus de fabrication des usines. Elle est particulièrement bénéfique aux PME, moins dotées en qualitatifs que les industries plus importantes et mieux structurées. En complément, la démarche *Supplier Recovery* s'applique à des cas de déblocage pour sécuriser des livraisons urgentes.

Supplier Development (SD), un soutien pour la filière

Lancée en septembre 2022, SD est une démarche menée par une équipe de douze experts industriels en *lean engineering / manufacturing* intervention afin d'accompagner les fournisseurs et d'améliorer leur performance.

Cette approche partenariale inspirée des secteurs de l'automobile et de l'aéronautique a été adaptée à la filière nucléaire. Plus de 110 chantiers SD d'une durée moyenne de six mois ont été lancés sur 33 sites de fabrication avec des résultats mesurables : OTD (*on time delivery*), *lead time*, non-conformités, bons directs, volet capacitaire, sécurité au travail, baisse du nombre de points de convocation, etc.

UNE SUPPLY CHAIN PLUS CONSCIENTE DU RISQUE CFSI

La déclaration des CFSI (articles contrefaits, frauduleux et suspects) auprès de l'ASNR est bien coordonnée avec nos partenaires.

La capacité de détection s'améliore et plus d'anomalies sont identifiées. La plupart présentent des enjeux modérés et résultent de comportements individuels sans volonté de nuire. Les cas les plus sensibles concernent la fabrication d'équipements qui font intervenir de nombreux rangs de sous-traitance. Le projet de lutte contre la fraude gagne en maturité, cependant il arrive que de potentielles anomalies remontent trop rapidement avant que les faits ne soient consolidés. Enfin, un *e-learning* de sensibilisation vise à former tous les salariés et partenaires d'ici à 2026.

LES PDR, SOURCES D'IRRITANTS

Pour répondre aux besoins de production et maintenir une proximité avec les exploitants, DPN / UTO garde la responsabilité de la gestion des pièces de rechange (PdR). Sur ce sujet sensible, plusieurs actions de progrès sont engagées : poursuite du traitement des irritants avec les CNPE, intégration des actions au projet START, création en 2025 d'un baromètre PdR et déploiement d'un nouveau référentiel managérial. De plus, des groupes de résolution de problèmes traitent rapidement les aléas.

DES COMPÉTENCES POUR LA SÛRETÉ

La qualification pour des prestations d'ingénierie exige un investissement dans les compétences et des formations certifiantes. Les ingénieurs confirmés de 3 à 10 ans d'expérience sont les plus recherchés. Avant d'intervenir en CNPE, les jeunes diplômés doivent compléter leurs connaissances par des formations habilitantes du CEFRI (Comité de certification des entreprises pour la formation et le suivi du personnel sous rayonnements ionisants).

ACCOMPAGNER LES PME / TPE

Si le personnel des grandes entreprises a les moyens de maîtriser les enjeux de sûreté, les PME / TPE en manquent parfois pour obtenir la certification ISO 19443 ou décliner START 2025. Alors que le Gifen (Groupement des industriels français de l'énergie nucléaire) est surtout tourné vers les grands acteurs du secteur, les Agences régionales de prestataires accompagnent les petites structures locales. Leur rôle essentiel est parfois mal compris.

De plus, les chargés de travaux endossent une responsabilité très large malgré leur formation, insuffisante par rapport à celle des agents EDF. La confusion persiste entre les niveaux d'habilitation des partenaires (HN) et d'EDF (SN) et entretient une illusion d'équivalence de connaissances. La formation HN gagnerait à réintégrer un minimum de compétence process (fonctionnement du réacteur).

Pour faciliter l'acquisition de compétences, EDF met à disposition des partenaires ses outils de formation et un catalogue des maquettes d'entraînement. Déployé en 2024-2025, l'outil de cartographie des compétences SIGECO est performant. Commun aux partenaires, il suit la qualification de leur personnel.

Au Royaume-Uni, les partenaires participent aux formations de Nuclear Operations. Cependant, comme en France, ils ne bénéficient pas de formation au process.

SURVEILLANCE, GAGNER EN PERTINENCE

UNE QUALIFICATION RODÉE

Le périmètre de qualification couvre l'ensemble des activités à enjeu de sûreté (AIP) sous-traitées. Plus de 700 fournisseurs sont

qualifiés, incluant prestations intellectuelles, assistance technique, réalisations, fournitures d'équipements et de PdR. Chaque année, plus de 11 000 fiches d'évaluation prestataire (FEP) sont produites. Actuellement, 27 fournisseurs (36 en 2024) figurent au plan d'actions national (PAN) et huit sont suspendus. Pour les contrats à enjeux du nouveau nucléaire, EDF s'impose de vérifier et d'approuver les schémas de sous-traitance. Un processus exceptionnel d'exemption de qualification, validé au niveau de la direction, offre une flexibilité encadrée à des prestations singulières.

Le système d'évaluation des prestations est satisfaisant. Il gagnerait toutefois en pertinence s'il reposait sur une évaluation plus progressive et moins dépendante des effets de seuil, d'où la pertinence d'un indice de qualité pour pondérer les prestations selon leurs volumes. Dans les CNPE, des suivis dynamiques permettent d'anticiper les dérives et contribuent à la relation partenariale. Néanmoins, la production des FEP reste trop concentrée en fin d'année. Enfin, le PAN montre ses limites : certaines entreprises y figurent depuis plusieurs années sans amélioration notable.

UNE SURVEILLANCE PROFESSIONNALISÉE

En France, la surveillance des intervenants extérieurs s'est invitée dans les règles générales d'exploitation (RGE) sous forme d'*addendum*. Animés en réseau, les chargés de surveillance et d'intervention fondent leur légitimité sur leur expertise technique. La surveillance est plus compliquée pour l'utilisation de la documentation fournisseur, moins bien maîtrisée. Le système d'information de la surveillance est apprécié des utilisateurs (Argos, eFEP, KALIF). Je note que les partenaires en concurrence valorisent davantage la surveillance et les FEP que ceux en situation de monopole.

FAIRE PROGRESSER LE SUIVI CONTRACTUEL

Les partenaires maîtrisent mieux les contrats que les donneurs d'ordre, davantage axés sur la sûreté et l'outil industriel. Peu valorisé, le métier de *contract manager* est souvent exercé à temps partiel.



Centrale de Cattenom - Introduction d'un rotor d'alternateur par l'ULM

Ceux du premier niveau sont plus orientés vers la technique et ceux du second niveau vers les clauses contractuelles. L'intégration des deux approches est nécessaire. Les formations sont solides mais trop axées sur l'aspect financier et leur animation reste perfectible dans certains segments techniques. Les parcours professionnels de la filière restent à structurer.

AU ROYAUME-UNI, UN DISPOSITIF LÉGER

Les exigences de maintenance, de sécurité et de radioprotection sont identiques sur tous les sites. La surveillance des activités des partenaires ne fait pas l'objet d'un plan de surveillance basé sur une analyse de risque et des grilles d'évaluation détaillées comme en France mais simplement sur une évaluation annuelle globale. Les écarts donnent lieu à des remontées réactives et à des traitements proportionnés.

L'INGÉNIERIE ADAPTE SA SURVEILLANCE

La surveillance des études, qui mobilise beaucoup de ressources, doit être industrialisée et adaptée aux enjeux. Trop monotone, elle ne débouche que sur trop peu d'observations pertinentes. Notre surveillance des données techniques des livrables des partenaires doit être renforcée et gagner en fiabilité. Le nouvel outil de surveillance des livrables des fournisseurs automatisera certaines étapes et facilitera la capitalisation des données. Pour le parc en exploitation, la surveillance gagnerait en pertinence par une meilleure appréciation des risques et en s'adaptant en cours d'exécution de contrat aux difficultés rencontrées ou aux faiblesses constatées.

La direction Qualité industrielle pratique une surveillance par sondage basée sur une analyse de risque et le retour d'expérience. Elle utilise l'outil REFLEX pour cibler sa surveillance et développe l'interface Praxis pour adapter la plateforme Argos à ses besoins. Des méthodes statistiques d'échantillonnage sont développées pour adapter la surveillance au volume de données issues des essais non destructifs automatisés.

FRAMATOME INVESTIT DANS SON OUTIL INDUSTRIEL

UNE RELATION DE PROXIMITÉ PRIVILÉGIÉE

Framatome dispose de points d'entrée permanents dans la plupart des CNPE français. La gestion des interfaces est facilitée, c'est une bonne pratique. Sa valeur ajoutée repose principalement sur son ingénierie. Ses prestations devraient se concentrer sur des activités nécessitant des bureaux d'études spécialisés. L'entreprise devrait également détacher des ressources auprès de la DIPDE, selon le modèle DPN.

Framatome assure une présence permanente sur le site de Sizewell B, ce qui facilite la coordination des activités liées au programme

LTO (*long term operation*) et aux arrêts réacteur. Les opérations confiées à l'entreprise, notamment la manutention du combustible et les interventions sur les générateurs de vapeur, sont réalisées par Framatome Inc., afin de respecter l'*Export Control*.

INSTALLED BASE FRANCE, POURSUIVRE ET PÉRENNISER LES PROGRÈS

Le site de Chalon-sur-Saône regroupe des installations dédiées à la préparation des interventions, à la formation et au développement de

nouveaux procédés. Il investit dans l'innovation industrielle, favorisant les synergies entre expertise, qualification et entraînement. Parmi les avancées : robotisation et soudage automatique TOCE, arasage interne de soudures et innovations en contrôles non destructifs (thermographie laser, ultrasons conformables). EDF ne bénéficie que trop lentement de ces technologies à cause de temps d'instruction réglementaires trop longs.

Le remplacement de générateur (RGV) de vapeur de Cruas 3 a été une réussite. Ces résultats doivent être pérennisés et améliorés. La gestion d'aléas doit être prise en compte dans le planning. Cette opération doit servir de référence aux futurs RGV des réacteurs 1 300 MWe du palier P'4. Framatome doit aussi travailler à l'enchaînement des opérations de Paluel 3 et Saint-Alban 2 et anticiper les spécificités du palier P'4.

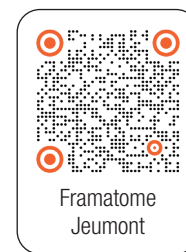
Framatome devrait s'impliquer davantage dans l'élaboration du programme pluriannuel de maintenance de la DPN pour anticiper et lisser la charge de travail. L'activité de nettoyage des générateurs de vapeur connaîtra un pic entre 2028 et 2030 et nécessite de maintenir les compétences.



FRAMATOME JEUMONT, CONFIRMER LE REDRESSEMENT

Le site de Jeumont, inscrit au PAN (plan d'actions national), est sous surveillance renforcée. Il bénéficie de la démarche *Supplier Development* et se redresse après un manque d'investissement humain et industriel. Malgré des progrès, les performances *on quality and time delivery* restent inférieures aux attentes.

Le site connaît une forte relance avec 400 embauches en trois ans, une modernisation de son outil industriel, une numérisation de la métrologie et un programme important d'extension à Maubeuge. La qualité et l'*On Time In Full* progressent nettement, passant de 30 % à plus de 70 %, pour un objectif de 90 %. Les plans d'action visent à améliorer la qualité, réduire le passif et maîtriser les écarts en suivant leur taux d'occurrence. Les équipes travaillent à la standardisation et à la simplification pour améliorer la performance. Jeumont Électrique, fournisseur de moteurs, est lui aussi inscrit au PAN et bénéficie de l'accompagnement *Supplier Development*.



RECOMMANDATION

Bien que les méthodes de surveillance des études sous-traitées se soient améliorées, elles restent parfois trop documentaires et peu corrélées aux enjeux des études. L'identification des risques devrait être plus poussée et la surveillance ajustée en cours d'exécution de contrat. Je recommande aux directeurs de la DirlN et de la DPPI d'améliorer la pertinence des méthodes de surveillance.



FARN Civaux - Cérémonie de remise des casques rouges à la promotion IGSNR

CHAP

CRISE, INCENDIE : PRÉVENIR ET INTERVENIR

Les accidents étudiés peuvent se produire, l'imprévu aussi peut s'inviter. Il faut s'y préparer en s'entraînant. La gestion de crise est une composante essentielle de la sûreté, un des métiers, une des missions de l'exploitant. Pas un "à-côté".

Principal risque en installation industrielle, l'incendie impose à tous compétence et vigilance : prévenir les départs de feu (rondes, détections, points chauds), en limiter l'extension (charges calorifiques, sectorisation) et savoir s'équiper et combattre le feu, sans imprudence ni timidité.

Les directions doivent davantage insuffler la culture de prévention et d'entraînement et s'assurer que ces domaines ne restent pas l'affaire des seuls chargés de crise ou d'incendie.

GESTION DE CRISE : ÊTRE PRÊTS

EDF consacre d'importants moyens à la gestion de crise : organisation nationale de crise (ONC), centres de crise, astreintes, matériels locaux mobiles (MLC), force d'action rapide nucléaire (FARN) et son équivalent britannique BDBUE (*beyond design back-up equipment*), exercices réguliers, etc.

Particulièrement performant en "mode pompier", le Groupe n'agit jamais aussi bien qu'en temps de crise, comme l'a montré la gestion du covid et de la corrosion sous contrainte. Et pourtant, dans les sites, il me semble parfois manquer quelque chose à la préparation. La crise doit davantage être considérée comme partie intégrante du métier et comme un espace de développement de compétences.

L'urgence n'est pas qu'une vue théorique : en 2025, Hartlepool a dû tenir cinq jours sur ses alimentations électriques internes, le black-out espagnol rappelle que les réseaux deviennent instables (*cf. chapitres 1 et 2*) et Chinon a frôlé une perte de la source froide (*cf. chapitre 5*).

UNE AFFAIRE D'ÉTAT D'ESPRIT, DE PHILOSOPHIE DE SÛRETÉ ET DE FOH

La mémoire de Fukushima s'estompe et nous devons partout veiller à ne pas baisser la garde. J'observe dans mes visites que l'appropriation est hétérogène. Et je constate que la préparation à la crise est trop souvent laissée aux seuls ingénieurs Plan d'urgence interne (PUI), dont certains se sentent isolés et surchargés.

Tous, nous devons croire que quelque chose peut survenir. Il faut s'y préparer, connaître la physique, les phénomènes et les matériels, s'entraîner. Savoir faire face à un impondérable est au cœur du métier. Les directions de site et les managers doivent davantage s'impliquer afin que, malgré la multiplication des exigences, processus et *reportings* de tous ordres, la crise ne devienne pas un "à-côté"



Centrale de Paluel - Exercice national de la FARN

supplémentaire mais s'inscrit quotidiennement dans les missions essentielles.

J'apprécie les expositions itinérantes, en France et au Royaume-Uni, consacrées aux accidents de l'histoire. Elles sont l'occasion de journées dédiées, animées par des chefs d'exploitation (CE). J'observe que l'exploitant chinois CGN a envoyé ses CE visiter Tchernobyl. Les visites à Fukushima ramènent à des réalités tangibles.

La place faite à la gestion de crise dit beaucoup de la philosophie de sûreté. Aujourd'hui, en France, le champ de la démonstration de sûreté s'hypertrophie au détriment de celui de la gestion de crise. Or le "tout prévu" n'épuisera jamais le réel. Il faut savoir arrêter la

démonstration de sûreté et convenir qu'au-delà d'un certain point, la sûreté relèvera de la gestion de crise.

La gestion de crise elle-même tend au "tout démonstration". Je m'inquiète que l'on cherche à spécifier tout ce qui doit se passer et de voir naître la tentation d'exigences de "démonstration" jusqu'à quinze jours après l'initiateur. Les CNPE croulent sous les révisions documentaires, les classeurs PUI comptent des milliers de pages. Il faut arrêter de vouloir tout écrire au risque de ne pas pouvoir tout lire... Une approche capacitaire est au contraire à privilégier. Celle-ci doit intégrer les matériels, les organisations et la composante humaine. L'homme ne se met pas en équation et maîtriser une crise suppose des marges de manœuvre.

Autant qu'à des scénarios anticipés, il faut « *se préparer à l'imprévu, c'est-à-dire à n'être pas préparé* » (Jean Pariès). Une extrême optimisation aux conditions prévues se paye en effet d'une moindre adaptabilité à l'imprévu. L'alternative est d'étendre le champ de l'anticipation, le catalogue du prévu, ou de se "préparer à n'être pas préparé", ce qui suppose de transférer des capacités du contrôle *a priori* vers l'aptitude à réagir en temps réel. Deux options, donc : faire "toujours plus de la même chose", en prédéterminant des réponses à tous les scénarios et en augmentant la discipline et le contrôle ; ou reconnaître une irréductible imprévisibilité et entretenir les facteurs d'adaptabilité.

Le Service central de sûreté des installations nucléaires (SCSIN) écrivait d'ailleurs en 1981, deux ans après l'accident de Three Mile Island : « *La capacité de réflexion de l'opérateur dans des conditions non prévues va devenir la plus importante de ses qualités : c'est un nouveau concept de fiabilité humaine qu'il convient de développer désormais.* »

UNE ORGANISATION ET DES MOYENS ROBUSTES

En France, la gestion de crise bénéficie de moyens importants et d'une organisation robuste. EDF l'a significativement renforcée après l'accident de Fukushima-Daichi.

Les centres de crises nationaux sont bien équipés ; ceux des CNPE sont en cours de remplacement par les centres de crise locaux (CCL) post-Fukushima, conçus pour opérer en aléas extrêmes, en ambiance radiologique et en autonomie complète pendant 72 h. Après des reports, dus aux difficultés du montage contractuel, tous doivent être opérationnels d'ici à 2026.

Les tours d'astreinte sont créés et fonctionnent. Cependant, la maîtrise technique des PCD1 (directeur de crise du CNPE, en astreinte) s'avère hétérogène et des équipiers locaux de crise (ELC) sont parfois en difficulté technique. Aussi je suggère à la DPN d'examiner ces questions de près et de respecter, voire de hausser, les exigences de formation préalable à l'inscription dans les tours d'astreinte. Un médecin spécialisé en radioprotection manque par ailleurs dans l'équipe nationale de crise.



Centrale d'Onagawa Japon - Centre de crise

Les moyens post-Fukushima, comme les diesels d'ultime secours (DUS) et les sources d'eau ultimes (SEU) sont en place. Ils renforcent indéniablement la défense en profondeur et la sûreté.

Des moyens mobiles (MLC) s'y ajoutent, nombreux et diversifiés. Dans les sites que j'ai visités, ils sont bien entretenus, testés et opérationnels, et leur propriétaire est identifié. En revanche, des inspections de l'IN et de l'ASNR ont révélé des retards de mise en œuvre par les équipes de quart ou d'astreinte.

Au Royaume-Uni, l'organisation de crise paraît également robuste et ses équipes sont bien créées. Les ingénieurs PUI s'y sentent là aussi sous tension. Recruter des radioprotectionnistes demeure difficile. La flotte doit aussi veiller à mieux résoudre les problèmes pratiques, par exemple de moyens de communication, et à garantir la bonne maintenance des matériels de crise.

Dans le nouveau nucléaire, il reste à définir l'organisation de crise et les modalités de coopération entre Hinkley Point et Sizewell C, dont les réacteurs sont les mêmes, et les sociétés exploitantes différentes. La place de Nuclear Operations et de Nuclear Services est en particulier à déterminer.

S'ENTRAÎNER JUSQU'AU BOUT

Globalement, en France, les exercices PUI sont faits et la gestion administrative assurée. Mais des signes manifestent que la crise est un poids. Dans les CNPE, négocier le calendrier des exercices tourne au casse-tête : éviter les vacances scolaires, les arrêts de tranche, les vendredis, les heures de repas, etc. De plus, la conduite se positionne trop souvent en prestataire, estimant que les recyclages sur simulateur lui suffisent.

La principale faiblesse tient au manque d'entraînement aux manœuvres locales. Il faut pourtant aller jusqu'au bout et pratiquer les détails car ils peuvent faire la différence : trouver les clés et la documentation, réussir les lignages, déployer les MLC sans perdre de temps, établir les bonnes connexions électriques. Il n'est pas sûr que

toutes les fiches de manœuvres locales soient disponibles, validées et appliquées lors d'exercices. Je demande à la DPN de le vérifier.

S'y ajoute un manque de formation continue et d'entraînement des agents de terrain. La DPN en a pris conscience et il me semble urgent de développer le dispositif, en ayant à l'esprit qu'on ralliera le terrain par les aspects techniques et la pratique. J'apprécie quand des sites déploient à chaque exercice des MLC, qu'ils figurent ou non dans le scénario.

Après les exercices ou les crises réelles, le retour d'expérience doit être renforcé, en se disant les choses et en ne laissant pas l'ingénieur PUI seul aux prises avec les actions décidées.

À Sizewell B, je salue l'implication des agents de terrain et le fait que les manœuvres locales soient systématiquement jouées. En revanche, la gestion des blessés reste une faiblesse au Royaume-Uni.

Mon voyage au Japon m'a impressionné :

- humilité depuis Fukushima et profession de foi de TEPCO : « nous avons oublié l'homme » ;
- importance et qualité des dispositions de crise sur le site d'Onagawa que j'ai visité. Les matériels s'y organisent entre moyens fixes et moyens mobiles (objets d'une préférence car résistant mieux aux aléas et reconfigurables) ;
- présence permanente, sur site, d'équipes de crise, adaptée à un pays aux accès difficiles et à des exploitants différents.

FARN ET BDBUE, DES OUTILS REMARQUABLES

Basée à Civaux, Dampierre, Bugey et Paluel, la FARN dispose d'un excellent matériel. Les équipiers du centre que j'ai visité se comportent en propriétaires, l'entretiennent et s'entraînent. L'organisation nationale de crise commence à réfléchir à son renouvellement progressif à moyen et à long terme.

J'ai trouvé à la FARN un excellent état d'esprit et beaucoup de motivation et de dynamisme. Ses membres croient en leur mission.

La formation est définie et solide, l'entraînement un maître mot, dans des cadres diversifiés. On y teste la résistance des colonnes d'intervention en conditions d'inconfort et de stress. Les interventions en crise réelle (Roya, Martinique, Mayotte) renforcent son opérabilité et font honneur à la mission de service public d'EDF. La FARN s'est assurée qu'elles n'obèrent pas sa capacité à répondre à un accident nucléaire qui surviendrait au même moment.

Après un petit trou d'air, l'effectif revient au niveau requis. Les parcours professionnels entre CNPE et FARN sont organisés avec sens. Il reste à bien veiller au retour des agents après leur détachement et à pleinement employer ce qu'ils y ont appris. Les visites médicales et conditions d'aptitude ne sont toujours pas harmonisées entre centres : c'est une question à régler sans attendre.

La principale difficulté tient au manque d'interaction entre les CNPE et la FARN. Hormis l'exercice annuel national, les entraînements conjoints sont rares. La conduite s'implique trop peu dans les lignages à prévoir en cas d'intervention de la FARN (cf. *supra*). Ce que peut apporter la FARN est parfois mal connu des CNPE. *A contrario*, son existence ne doit en rien désengager les CNPE de leur propre préparation : les heures avant son arrivée seront cruciales et leur responsabilité entière.

Je me suis déjà exprimé sur les inconvénients de l'alourdissement du catalogue de missions de la FARN et sur le contresens à les inscrire dans la démonstration de sûreté. Ce formalisme contre nature alourdit son travail aux dépens de sa réactivité. Ainsi, le capteur de pression d'un container de transport s'est vu classé EIPS (élément important pour la protection des intérêts, sûreté) ; défaillant, il a fallu faire des mois d'administration pour le remplacer.

Au Royaume-Uni, j'ai visité le centre BDBUE de Sizewell B, à quelques kilomètres du réacteur qu'il doit secourir. Parfaitement équipé lui aussi, il est en grande partie armé par le site. Les agents de terrain conduisent les camions, mettent en œuvre les matériels, s'entraînent aux lignages, ce qui est remarquable. Des moyens d'injection d'eau dans les générateurs de vapeur sont très intéressants.

INGÉNIERIE : RECHERCHER DES SOLUTIONS PRATIQUES

Il revient à l'ingénierie, maître d'œuvre des rapports de sûreté, de mieux borner le périmètre de la démonstration de sûreté et de laisser sa place à la gestion de crise (cf. *supra*). Dans le domaine de la crise aussi, bien connaître les réalités de terrain, appréhender la composante humaine de l'exploitation et faire preuve de jugement d'ingénieur conditionnent la sûreté réelle.

Le temps long qu'ont demandé les nécessaires modifications post-Fukushima s'imposait certes par la taille du parc et les limites de la capacité industrielle. Mais l'escalade des exigences et conservatismes y a aussi contribué. Un retour d'expérience serait souhaitable, en se comparant aux exploitants étrangers.

INCENDIE

En France, quatre PUI ont en 2025 été déclenchés sur incendies, hors zone contrôlée : incendie d'une navette de transport, d'un bâtiment tertiaire et de paliers de turbines. Des batteries lithium-ion ont probablement provoqué les deux premiers.

Au Royaume-Uni, aucun feu significatif n'a été enregistré. Le faible nombre de feux confirmés ne doit en rien faire baisser la garde.

DÉVELOPPER SANS RELÂCHE LA CULTURE INCENDIE

L'engagement collectif manque envers la maîtrise du risque incendie. Dans les services, l'exigence des *leaders* à respecter les règles de base reste insuffisante ainsi que la culture incendie.

Dans mes visites, je rencontre en France des responsables incendie un peu seuls : il faut que l'incendie soit toujours et partout l'affaire de tous ! Le Plan rigueur incendie lancé dans un site a, de l'avis général, transformé la situation.



Sizewell B - Beyond Design Back-Up Equipment (BDBUE)

Les relations sont bonnes avec les services départementaux d'incendie et de secours (SDIS) et, au Royaume-Uni, avec les *local fire brigades*.

PRÉVENIR ET SECTORISER

En France, en matière de prévention, je note que la gestion des permis de feu a progressé. Pérenniser ces progrès suppose de toujours vérifier, sur le terrain, leurs conditions d'application.

La fermeture des portes coupe-feu varie selon les sites et les périodes. Leur état souffre parfois, soit parce qu'on les malmène, soit par

manque de quincaillerie de rechange (gonds, poignées, etc.), dont la qualification semble poser d'inattendues difficultés administratives.

La tenue des siphons de sol demeure insuffisante, bien qu'il s'agisse le plus souvent de banals sujets de surveillance et de remplissage. En sous-traiter l'entretien n'est peut-être pas le meilleur vecteur d'appropriation. Je note qu'ils fournissent parfois d'intéressants sujets à l'ingénierie, par exemple parce que des mouvements de portes les vidangent, par la dépression du confinement dynamique.

De nombreuses et diverses anomalies de trémies ont imposé une *task force*. L'inventaire des écarts est désormais fait. Quelques points

se sont révélés préoccupants, sans être, de loin, la majorité, et sont remis en ordre. La prochaine étape consiste en l'ordonnancement des remises en conformité.

De manière générale, l'état des matériels incendie a progressé là où les filières indépendantes de sûreté (FIS) ou WANO avaient souligné des manques. S'il reste des difficultés, les demandes de travaux (DT) sont mieux suivies.

Au Royaume-Uni, à Sizewell B, l'équipe d'intervention rapide DART répare efficacement les défauts ; le progrès est réel alors que le site était en difficulté. D'autres sites britanniques continuent de batailler avec des problèmes de matériel, un sujet récurrent.

En France et au Royaume-Uni, l'insuffisante maîtrise des charges calorifiques constitue la principale faiblesse. En cause, la définition, la communication et l'application systématique des limites, dans chaque local. Et je continue d'observer une accoutumance aux fuites d'huile, par exemple au pied des diesels ou, en salle des machines, sous les caillebotis. Outre la discipline, la culture doit être intériorisée, selon la devise "*Justifier, limiter, évacuer*". Même s'ils respectent la limite, des matériels à forte charge calorifique comme des tourets de câbles ne devraient pas se trouver dans un secteur de feu quand ils ne sont plus nécessaires aux travaux.

Dans les deux parcs, les tuyauteries enterrées de lutte contre l'incendie restent un problème à traiter.

Les batteries lithium-ion provoquent régulièrement des départs de feu. Leur usage se généralisant, notamment dans l'outillage portatif et les engins de manutention, il devient urgent de définir des règles et des conditions de charge, de stockage et d'extinction. Je note que c'est le cas à HPC en ce qui concerne la charge et le stockage d'équipements portatifs.

LES PROGRÈS DE LA LUTTE

La doctrine de première intervention me semble stabilisée en France : l'équipe de quart attaque le feu selon la situation et ses compétences, sans se mettre en danger. Les exercices sont réalisés et donnent satisfaction, de l'avis des officiers sapeurs-pompiers. J'apprécie qu'ils se déroulent bien plus souvent avec mise sous pression des manches. Les nouvelles tenues sont en cours de distribution.

Dans les CNPE où le SDIS ne peut garantir le délai d'intervention requis, des gardes opérationnelles postées (GOP) sont en cours de déploiement. Leur organisation varie selon les sites et il convient d'observer le dispositif fonctionner. Mes visites confirment le sentiment de mon rapport de 2024 : en n'intervenant plus régulièrement sur des feux réels, les pompiers qui sont affectés en permanence dans une GOP risquent de perdre entraînement et motivation. J'incite donc à trouver partout des modalités qui permettent aux pompiers des GOP d'intervenir à l'extérieur et à inscrire cette affectation dans un parcours professionnel. Pourrait-on également délivrer une qualification de type site industriel ou INB afin de les motiver ? En outre, il faut absolument tirer parti des GOP et de leur renvoi d'image pour renforcer la culture incendie. Leur présence sur le terrain, le coup d'œil du professionnel, le respect envers les pompiers en uniforme peuvent transformer les esprits.

Les centres de l'IFOPSE (Institut de formation à la prévention et à la sécurité) demeurent une force. J'apprécie aussi l'effort de promotion de certains sites en faveur des engagements de sapeurs-pompiers volontaires ; Bugey en dispose ainsi d'une quarantaine.

Au Royaume-Uni, Nuclear Operations demande à ses équipes de première intervention d'appliquer le même principe de discernement entre les actions à engager tout de suite et celles qui relèvent des pompiers. En revanche, à l'intérieur des bâtiments, les salariés ne peuvent s'attaquer qu'aux feux pouvant être éteints à l'extincteur.



IFOPSE - Formation de la conduite

ÉVITER LA RÉVOLUTION PERMANENTE DES RÉFÉRENTIELS

L'ingénierie a changé de monde, passant des méthodes forfaitaires traditionnelles à des calculs de plus en plus sophistiqués et systématiques. Ceux-ci s'appuient sur les moyens d'essais de la R&D, que j'ai visités et dont les fonctionnalités et l'instrumentation sont à l'état de l'art. Ils soutiennent des capacités de modélisation qui se sont beaucoup développées.

Cette évolution est nécessaire car elle correspond au progrès des connaissances des phénomènes physiques associés aux incendies. Mais elle est à maîtriser afin d'éviter que, quittant un cadre reconnu, on ne bascule dans un questionnement incessant. Les calculs sophistiqués devraient ainsi, dans la mesure du possible, servir à

valider des méthodes forfaitaires plutôt qu'à s'appliquer à tous les cas d'espèce. Les méthodes pourraient être l'objet de revues régulières, préférables à la révolution permanente.

J'incite de nouveau à stabiliser les référentiels d'étude de l'EPR2 et à réfléchir aux cumuls et hypothèses qui seraient exagérés et conduiraient à une complexification à outrance.

Dans le cadre des 4^{es} visites décennales (VD4), les études du risque de colmatage des filtres des puits en cas de recirculation de l'eau de refroidissement du réacteur ont mis en évidence que ce phénomène pourrait être aggravé par la colle de l'enrubannage de câbles destinés à la protection incendie. On a ainsi enlevé l'enrubannage dans les casemates des pompes primaires des bâtiments réacteurs. Face à deux objectifs antagonistes, la recirculation et la protection incendie, je ne suis pas sûr que les deux risques aient été pesés de manière homogène et que l'on n'ait pas privilégié les conservatismes de la démonstration de sûreté de la recirculation.

Je note qu'à Penly 3-4, des systèmes de détection incendie mobiles et provisoires seront installés dès le début du chantier, ce qui est satisfaisant.

Mars 1975 à Browns Ferry, Alabama

Dans l'entrepont de câblage sous la salle de commande, des ouvriers consolident l'étanchéité de trémies et en recherchent les fuites avec une bougie qui signale les courants d'air. Celle-ci met le feu à la mousse de polyuréthane utilisée pour refaire les joints.

Le feu se propage aux câbles de l'autre côté de la paroi, dans le bâtiment réacteur. Il provoque des signaux incohérents et des alarmes erratiques en salle de commande. Il conduit à la perte de contrôle de systèmes de sauvegarde des deux réacteurs et à des difficultés pour les ramener dans un état sûr.

Fortement endommagé, le réacteur 1 a été arrêté un an. Cet incident fait date dans l'histoire de la sûreté aux États-Unis. Il a conduit à renforcer les standards de protection contre l'incendie.

RECOMMANDATIONS

La préparation à la gestion accidentelle forme un pilier de la sûreté et son succès repose sur les actions de terrain. Je recommande au directeur de la DPN de développer l'entraînement aux manœuvres locales, de les intégrer dans les exercices PUI, de s'assurer que toutes les fiches de manœuvre sont établies et validées, de jouer plus souvent l'interaction avec la FARN et de mobiliser davantage les services de conduite.

En matière de prévention des incendies, principal risque dans les installations industrielles, je recommande aux directeurs de la DPN, de Nuclear Operations et de la DPPI de définir des règles et des moyens d'utilisation des batteries lithium-ion, en s'inspirant de standards déjà établis par d'autres industries.



EPR2 Penly - Travaux de terrassement

CHAP 8

EPR, TIRER PROFIT DU REX

Flamanville 3 (FLA3) a atteint 100 % de puissance le 14 décembre 2025. C'est le quatrième EPR en service après les deux de Taishan en Chine et celui d'Olkiluoto en Finlande.

Le succès d'un projet de centrale nucléaire repose sur la maîtrise et l'enchaînement de nombreuses phases impliquant de multiples acteurs : étude de faisabilité suivie de l'avant-projet sommaire puis détaillé, contractualisation et plans d'exécution, réalisation avec la préparation du site, le génie civil et les montages électromécaniques et enfin les essais à froid et à chaud, chargement et démarrage avant la mise en service industrielle. La bonne exécution de chacune de ces phases conditionne les 60 ans, *a minima*, d'exploitation.

En 2025, les projets EPR progressent avec la décision finale d'investissement de Sizewell C en juillet, la poursuite des travaux de terrassement de Penly et en mai puis septembre la décision d'EDF, à l'issue des débats publics, de poursuivre la préparation de la construction de deux autres paires d'EPR2 à Gravelines et à Bugey.

FLA3 ATTEINT 100 % DE PUISSANCE

Flamanville 3 (FLA3) progresse en qualité d'exploitation. Le nombre d'événements déclarés baisse ainsi que le nombre d'incidents classés de niveau 1 sur l'échelle internationale des événements (INES). L'état général des installations est excellent et les équipements sont bien entretenus.

Les priorités sont de : terminer les essais de démarrage, réussir le premier cycle de production, préparer la première visite complète (VC1), planifier les activités structurantes à long terme et renforcer les pratiques d'exploitation. Après une forte mobilisation pour coupler le réacteur au réseau, l'exploitant a dû résoudre différents problèmes techniques sur les circuits primaire et secondaire.

Toujours en phase d'essais et en mode démarrage, le site peine à traiter les aléas tout en dédiant des ressources à la préparation de la VC1 qui accuse du retard.

L'exercice national d'octobre 2025 a validé l'organisation de crise.

RALLIER LES STANDARDS D'EXPLOITATION DU PARC NUCLÉAIRE

Le site peine à adopter les standards de fonctionnement de la DPN (Pluriannuel, arrêt de tranche AT et tranche en marche TEM). Certains outils numériques diffèrent encore de ceux de la DPN. L'EAM (*entreprise asset management*) n'est que partiellement renseigné. La forte charge opérationnelle restreint la disponibilité des équipes méthodes et affaires de la maintenance pour préparer la VC1. Elles méritent d'être renforcées. La ventilation, les groupes froids et la chaudronnerie sont les domaines les plus en difficulté et leur maintenance préventive risque d'être reportée sur la VC1.

La conduite pilote une installation en cours de réglage et réalise un programme d'essais très complet. Le retour d'expérience de Taishan et d'OL3 n'est que partiellement transposable, ce que les différences de

design ne justifient pas à elles seules. Des exigences supplémentaires s'appliquent à FLA3. Ainsi les essais doivent être à nouveau validés sur simulateur. Les ingénieurs d'Edvance détachés sur site, en lien avec leur échelon central, apportent l'appui nécessaire. La DT et GECC (groupe exploitation cœur combustible), mobilisés, devront accompagner le site pendant tout le premier cycle. Des protocoles spécifiques ont été établis pour procéder de manière simplifiée aux modifications du contrôle-commande. Sa maquette mérite d'être mise à jour et pérennisée.

FLA3 et l'unité technique opérationnelle (UTO) se sont accordés sur le stock de sécurité national de pièces de rechange (PdR). Certaines sont toujours en cours de fabrication. L'enveloppe budgétaire de celles qui restent à commander doit être sécurisée.

La gestion des déchets repose sur un protocole radiologique validé par l'Andra.

RGE : SIMPLIFIER ET DONNER DE LA SOUPLESSE

Mieux maîtrisées, les règles générales d'exploitation (RGE) demeurent trop complexes et chronophages pour l'équipe de quart et les ingénieurs sûreté (IS). Le chantier de simplification est enclenché avec l'ASNR ; les premières modifications sont attendues en 2026-2027. À l'instar des recueils d'exigences réglementaires RASA / RASI / RASR du parc en exploitation, les chapitres (2, 5, 11) devraient être transformés en prescriptif interne. Des évolutions du chapitre 3 (généralités des spécifications techniques d'exploitation STE) et du chapitre 9 (essais) sont attendues. Il faut poursuivre, introduire davantage de souplesse, corriger ce qui est perfectible (règles de cumul des groupes 2), accroître les créneaux de maintenance et ce dès le deuxième cycle de production. Il faut simplifier certaines prescriptions des STE relevant de scénarios hautement improbables



Chantier de Penly 3-4 - Visite de Bernard Fontana

qui complexifient les opérations d'exploitation (dérogations, maintien en l'état de défauts sur l'installation, etc.).

Les chapitres 8 (maintenance) et 9 (essais) sont trop rigides. Il me semble nécessaire de prévoir des marges de manœuvre plutôt que de procéder par dérogations. Les incohérences entre procédures d'essai de démarrage et gammes d'essais périodiques doivent être traitées. Les durées de vie qualifiées des équipements devraient être harmonisées avec celles du parc en exploitation et les règles d'essai allégées. Le chapitre 8 souffre d'une surcharge de précisions et d'un processus d'amendement trop lourd. Ainsi la référence faite aux notes d'instruction rend leur mise à jour trop contraignante.

ACCOMPAGNER LE CHANGEMENT

Depuis le chargement du combustible, la DIPDE assure les missions de *Design Authority*. Le transfert des activités entre Edvance et la DIPDE se déroulera en deux étapes : après la VC1 pour le génie civil, l'appui concepteur et la conformité, puis d'ici la visite partielle 4 (VP4) pour les études et affaires. Le projet Grand Carénage FLA3 coordonnera les affaires techniques non clôturées.

Ces changements demandent d'acculturer le personnel d'Edvance au Guide d'ingénierie opérationnelle GIOP, de mettre en cohérence le système d'information de FLA3 avec celui du parc, de transférer

les données de la maquette 3D issues du *plant design management system* (PDMS) ainsi que les compétences d'Edvance à la DIPDE. Des synergies entre la DIPDE, EPR-E et Nuclear Services sont à envisager pour mutualiser les améliorations techniques.

LIMITER AU JUSTE NÉCESSAIRE LE DOSSIER DE FIN DE DÉMARRAGE

Le dossier de fin de démarrage (DFD) doit refléter l'état final de l'installation et capitaliser le retour d'expérience des essais et du premier cycle d'exploitation. Une simplification de son périmètre vise à limiter l'instruction au juste nécessaire. En concertation avec l'ASNR, il faudra s'assurer que les modifications matérielles et intellectuelles (études, données, etc.) issues du DFD et non urgentes s'inscrivent dans le rythme des visites décennales.

Compte tenu du niveau de sûreté du design de l'EPR, il faut se garder de la tentation de mener le réexamen périodique en prenant comme référence l'EPR2, sauf à vouloir générer une complexité contreproductive.

VC1, UN PROGRAMME TROP CHARGÉ ET UNE PRÉPARATION EN RETARD

La VC1 de FLA3, prévue à l'automne 2026, accuse un retard de préparation. Son programme exceptionnellement dense comporte de nombreuses et lourdes modifications, dont le remplacement du couvercle de cuve et des échangeurs RRI / SEC, la mise à niveau du contrôle-commande ainsi que le programme d'inspections réglementaires et de maintenance préventive. Des butées réglementaires relatives aux équipements sous pression (ESP) imposent la date de l'arrêt.

La multiplicité des ESP et la date simultanée de leur mise en service engendrent un volume considérable d'épreuves hydrauliques. Une stratégie pluriannuelle de dérogations pour des équipements neufs devrait être définie pour lisser la charge de travail. Des incohérences

dans le classement d'équipements, une réglementation ESPN incomplète au moment des fabrications et les exigences d'exclusion de rupture complexifient la préparation.

L'accès en puissance à la zone service du bâtiment réacteur, pourtant prévu par le design, reste limité dans le temps par conservatisme ; le pont polaire ne peut être préparé qu'en début d'arrêt. Je renouvelle ma demande de résoudre ce problème administratif.

Le classement EIP de très nombreux équipements alourdit la charge de travail administratif. En outre, le retard pris sur les activités préventives TEM pourrait alourdir le programme de plusieurs centaines d'activités.

Enfin, le manque d'expérience du personnel et la faible disponibilité des équipes de maintenance freinent la préparation.

LA FAMILLE EPR, DES SYNERGIES À LA CARTE

Les exploitants d'EPR se coordonnent : l'EPROOG (EPR Owner Operators Group) prend en charge les problèmes partagés et des ingénieurs de liaison traitent des sujets techniques spécifiques, dans le cadre d'accords bilatéraux. J'estime que les échanges devraient inclure systématiquement les événements de sûreté. FLA3 entretient de bonnes relations avec Taishan, les échanges sont plus fluides avec OL3. Je regrette que la famille EPR n'ait pas choisi à terme l'option d'une autorité de conception (*Responsible Designer* - RD) commune, *a minima* chez EDF entre France et Royaume-Uni.

UN RETOUR D'EXPÉRIENCE EN BOUCLE OUVERTE

Le retour d'expérience (REX) est centralisé par la direction Services et performance des projets DSPP et structuré en trois catégories : REX à enjeu, boucle courte, "à la demande". Les principaux dossiers sont identifiés et gérés par les projets. La prise en compte du REX reste cependant trop aléatoire. Un pôle REX dans chaque projet permettrait de mieux fermer la boucle.



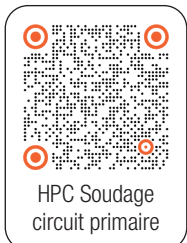
Centrale de Flamanville 3 - Visite terrain diesel source interne électrique

Le projet EPR2 sollicite FLA3, c'est une bonne chose. Cependant la pression du calendrier et l'avancement du projet ne permettent pas toujours de prendre en compte les recommandations, je le regrette. En complément de mes précédents rapports, le REX des modifications

apportées aux réglages des installations, d'exploitation en phase chantier des portes de séparation de division et de partage du centre de crise local de Flamanville devront bénéficier aux autres projets.

HPC, INDUSTRIALISER LES MONTAGES MEH

UN PROJET QUI PROGRESSE AVEC UN NIVEAU DE SÉCURITÉ ET DE QUALITÉ MANIFESTE



Le dôme de l'unité N°2 a été posé avec succès le 17 août 2025, marquant une étape importante. La courbe d'apprentissage des préfabrifications apporte un gain de performance de 20 à 30 % entre les réacteurs N°1 et N°2. Le montage par Framatome du circuit primaire sur le réacteur N°1 se déroule correctement. Les MEH (montages électromécaniques) démarrent lentement (cf. *infra*).

Le site s'est densifié. Les circulations se complexifient et des espaces de stockage commencent à manquer. Sa réorganisation entre les zones de génie civil et de MEH améliore la logistique et la sérénité des opérations. La nature des risques évolue avec les MEH : coactivité, activité de soudage, travail en milieu confiné et tirs radiographiques. L'usage des contrôles par ultrasons multi-éléments (*phased array*) réduit de 40 % les tirs radio. C'est une méthode à déployer sur l'EPR2.

Les standards du service médical *Hinkley Point Health* et *HPC Way* contribuent aux bons résultats en sécurité et doivent servir de référence au chantier EPR2.

DES ACTIVITÉS À METTRE SOUS CONTRÔLE

Le design a atteint une bonne maturité en 2024, le projet en contrôle désormais la stabilité. Des ressources d'ingénierie du RD (Edvance et le CNEPE, Centre national d'équipement de production d'électricité) devront être maintenues, financées et disponibles jusqu'à la mise en service industrielle. Le Joint Design Office JDO, structure commune à NNB (*Nuclear New Build*) et EPR-E, inspirée de Taishan, constitue un mode de collaboration efficace. Mais son personnel est encore trop peu présent sur le chantier ce qui limite sa compréhension des difficultés de montage et le déploiement de solutions clés en main (*standard field solutions*). Concernant la maîtrise de la configuration, la prise en compte des instructions de modification par les constructeurs d'équipement (*contract transfer sheet*) mériterait d'être sécurisée. La qualification des équipements progresse mais des retards subsistent comme sur les traversées électriques et les diesels. Enfin, la maîtrise des soudures de l'acier P355 NH exige une qualification rigoureuse des matériaux, des procédés et des intervenants, en associant les experts des directions Qualité industrielle et Technique.



Centrale de Hinkley Point C

MEH, COMPRENDRE ET PROGRESSER

Les montages MEH prennent du retard. La granulométrie du planning de pilotage n'est pas adaptée. Le chantier manque de rythme pour différentes raisons, impact du Brexit sur la main-d'œuvre qualifiée, soudeurs en particulier, manque d'équipements, exigences locales, complexité du projet, absence d'une ingénierie centrale au sein de l'Alliance MEH (à l'instar de Bylor pour le génie civil), coordination insuffisante et cadre contractuel perfectible. Les retards désorganisent

la séquence et accroissent le risque de reprise de travaux ou de non-qualités. La structure de la salle des machines de l'unité N°1 est achevée. Les relations avec Arabelle Solutions sont tendues en raison de retards, de difficultés de coordination des sous-traitants de rangs 2 et 3 et d'une nécessaire adaptation par NNB des méthodes de travail en déclinaison de la responsabilité CDM (*construction, design and management regulation*) qui lui incombe. La gestion des points ouverts s'améliore grâce à une meilleure catégorisation et un traitement réactif. Toutefois, EPR-E doit limiter l'ouverture de nouveaux points

en appliquant le principe ALARP (*as low as reasonably practicable*). Le contrôle de la configuration, désormais partagé avec NNB *via* des outils numériques communs, repose sur trois piliers : verrouillage du design, gel de la configuration, gestion stricte des modifications.

Créée il y a deux ans, EPR-E a gagné en maturité. Les effectifs se stabilisent, avec un moindre recours à la sous-traitance. La JDO d'EPR-E pilote la mise en œuvre des solutions terrain *via* des *integrated response teams*. L'effort porte sur des zones géographiques prioritaires de l'installation et la chaudronnerie. La future articulation des responsabilités d'ingénierie entre EPR-E, Nuclear Services et le CNEPE méritera d'être clarifiée.

DIMENSIONNER LA MAINTENANCE À PARTIR DU REX DE FLA3

La priorité du projet est d'assurer la montée en cadence du montage. L'organisation devra être ensuite adaptée selon une logique système. Les équipes de *commissioning* s'organisent en vue des premiers essais de mise sous tension du transformateur auxiliaire, en 2026.

La projection des ressources de maintenance reste inchangée et très en retrait de celles de FLA3 et de Taishan. J'encourage HPC à échanger avec FLA3 pour dimensionner convenablement les effectifs.

PARTAGER LE REX

Les activités de génie civil sont désormais maîtrisées avec un fort effet d'apprentissage sur le réacteur N°2 grâce à la construction modulaire qui devrait atteindre 60 %. Les innovations des partenaires de tous rangs doivent être capitalisées. HPC alimente encore trop peu le projet REX de la direction projet construction DPC. Le projet Bridge vise à transférer l'expertise de FLA3 et de Taishan vers HPC puis les EPR2. Les parcours professionnels devront à cette fin être gérés dans la durée. Enfin, la concomitance des projets EPR2 et Sizewell C (SZC) doit être mise à profit pour partager les bonnes pratiques.

SIZEWELL C, RÉPLIQUER !

Le partenariat du projet SZC a été conclu le 22 juillet 2025 avec la décision finale d'investissement prise conjointement par EDF, le gouvernement britannique, La Caisse, Centrica et Amber Infrastructure. Le contrat d'ingénierie, *nuclear service agreement*, est entré en vigueur début janvier 2025. Les aménagements d'infrastructures routières sont adaptés à la dimension du chantier. Le Groupe joue un rôle central comme fournisseur d'ingénierie et d'équipements : chaudière nucléaire, contrôle-commande de sûreté et groupe turbo-alternateur.

Mobilisant près de 40 fournisseurs français, le projet renforce notre filière : consolidation des compétences, valorisation du retour d'expérience, effet d'échelle, etc.

RÉPLIQUER ET BÉNÉFICIER DU REX

La maturité du design et le faible nombre de modifications sécurisent le projet. Le taux de répliation est élevé et les évolutions sont sous contrôle. C'est une bonne chose. Les méthodes et processus d'ingénierie ont été adaptés et différent du traditionnel cycle en V.

Les équipes d'EPR-E sont structurées par métiers. Edvance leur transfère ses activités. La filière indépendante de sûreté (*Independent Nuclear Safety Oversight*) joue son rôle. La fabrication d'équipements a débuté, évitant toute rupture de charge, tandis que le retour d'expérience d'HPC est pleinement intégré. Toutefois, des contraintes environnementales et réglementaires dans les domaines incendie, génie civil et *supply chain* pourraient compromettre la standardisation. Il faudra les piloter avec rigueur en appliquant le principe ALARP. L'ensemble des acteurs, NS *intelligent customer* par délégation, le régulateur ou les actionnaires doivent veiller à privilégier cette standardisation garante de la maîtrise du projet et de la qualité de réalisation.

La maturité de la documentation d'HPC est essentielle à la réplication. Les adaptations et modifications mineures devront être tracées avec rigueur et transmises. La réussite dépendra de la compatibilité des systèmes d'information.

RENFORCER LES SYNERGIES

Même si la gestion des interfaces entre les sites de Sizewell B (SZB) et SZC progresse, il convient de consacrer davantage d'attention à certains sujets d'interaction sensibles pour la sûreté (effets potentiels sur la source froide de SZB et autres exemples cités dans mon rapport 2024). De potentielles synergies dans les domaines logistique, environnemental, sécuritaire, protection contre les inondations et PUI mériteraient d'être travaillées. Nuclear Services assure la cohérence technique entre les installations de Nuclear Operations, d'HPC et de SZC. Il me paraît important que le concept d'un opérateur unique d'un parc standardisé soit validé. SZC, membre de WANO et de l'EPROOG, renforce ses coopérations avec HPC et SZB pour développer des synergies et éviter une concurrence contreproductive.

EPR2, SIMPLIFIER ET STABILISER LES RÉFÉRENTIELS

DES AVANCÉES SIGNIFICATIVES



En mars 2025, le Conseil de politique nucléaire a arrêté les grands principes de financement et de régulation du programme EPR2. L'État avait, en janvier, publié le décret qualifiant d'intérêt général le projet d'une paire d'EPR2 à Penly et délivré les autorisations environnementales. Les travaux de terrassement se déroulent comme prévu.



EPR Family

À l'horizon 2030, près de 10 000 personnes exerçant une centaine de métiers devraient travailler sur le chantier.

À l'issue des débats publics, EDF a décidé en mai 2025 de poursuivre la préparation de la construction d'une paire d'EPR2 à Gravelines et en septembre à Bugey. À Gravelines, EDF et ses partenaires envisagent plusieurs types de renforcement du sol selon les ouvrages : remblais, *soil mixing* (incorporation dans le sol d'un liant de type cimentaire), et inclusions rigides. EDF a effectué une première campagne d'essais géotechniques et coulé des plots d'essais. D'autres types de renforcement sont en cours d'étude. Les propriétés atypiques du sol et le renforcement envisagé nécessitent une instruction spécifique du comportement sismique.

STABILISER LES RÉFÉRENTIELS

La stabilité des référentiels techniques et réglementaires conditionne la réussite du projet. Elle donne de la visibilité et la répétition des

activités permet de progresser. Il faudra veiller à limiter leur évolution au juste besoin, au moins pendant la période de conception et de construction des six premiers EPR2.

Pour assurer la compétitivité du programme, une *Task Force* est chargée de ramener le délai de construction à 70 mois. Le projet travaille également à la simplification des normes de chantier. Améliorer les délais contribuera au respect des coûts. Cela passe par l'adaptation de nos process et la qualité de fabrication.

Enfin, le projet EPR2 va passer d'un mode de pilotage projet d'ingénierie à un mode projet d'exécution. Il faudra accompagner le changement.

Plus encore que sur des outils numériques, la réussite reposera sur la bonne maîtrise et le bon partage des données entre EDF et ses partenaires. Données communes, indicateurs partagés et planification



DISC - Outils de conception numérique

intégrée favorisent des décisions rapides et cohérentes. EDF et la filière travaillent au fonctionnement en entreprise étendue pour renforcer l'interopérabilité des systèmes.

RÉUSSIR ENSEMBLE

La réussite du projet passe d'abord par la sortie d'une logique du tout prescrit vers un fonctionnement en mode projet avec des jalons partagés entre tous les acteurs. Notre ingénierie reste trop cloisonnée, la maîtrise d'ouvrage et l'autorité technique doivent être renforcées. Le cadre réglementaire de plus en plus complexe mobilise des ressources qualifiées sur des tâches administratives, comme l'ouverture de fiches FACR et notes NACR d'analyse du cadre réglementaire en phase de design pour tout changement ou écart, au détriment d'activités à plus forte valeur ajoutée.

Pour renforcer la coopération, EDF et le Gifem (Groupement des industriels français de l'énergie nucléaire) ont signé en juillet 2025 un pacte de performance sur Penly. Les industriels demandent plus de visibilité sur le modèle de sous-traitance et un accès au REX. L'organisation d'EDF manque de lisibilité et les relations gagneraient à être plus partenariales.

Les directions Ingénierie et Projets construction (DISC et DPC) travaillent aux parcours professionnels : immersion en CNPE, mobilité de l'ingénierie aux chantiers, projet Bridge, etc. Pour bien concevoir, il faut bénéficier d'une expérience d'exploitant. Des parcours professionnels intégrant une étape exploitation pour connaître les réacteurs et développer une culture commune restent à organiser.

TIRER PROFIT DU REX

Le REX du parc en exploitation devrait mieux profiter aux projets du nouveau nucléaire. Les plateaux d'ingénierie mis en place par la DISC faciliteront les échanges, à condition de renforcer la collaboration entre la DIPDE et Edvance. Le programme EPR2 devra tenir compte du retour d'expérience d'HPC sur le MEH et tirer avantage de la

construction modulaire. Le groupe de travail Constructeur, avec pour objectif de partager ces informations, devra faire ses preuves.

DÉVELOPPER LES SOLUTIONS NUMÉRIQUES POUR LA CONSTRUCTION

Le programme de transformation au périmètre EPCC doit encore délivrer de nombreux développements alors que les besoins du chantier de Penly s'intensifient. Les utilisateurs doivent spécifier leurs exigences à la DSIN qui doit accélérer la mise à disposition des outils. L'écosystème du système d'information devra garantir

la continuité des données jusqu'à l'exploitant. Les fonctionnalités de 3DX, dont le module documentaire a été séparé, se stabilisent. La gestion des modifications et le transfert des spécifications techniques aux fournisseurs devraient être plus *data-centric* afin d'améliorer leur maîtrise.

Pour fonctionner en entreprise étendue, EDF et ses partenaires se dotent du hub d'échange de données Data4NuclearX qui permettra à près de 2 000 entreprises de partager de manière sécurisée et souveraine des informations de conception, maintenance et construction pour tous les chantiers de la filière.

RECOMMANDATIONS

Je recommande au directeur de la DPN de renforcer l'accompagnement du site de FLA3 pour rejoindre les standards d'exploitation (Pluriannuel, AT, TEM) et, au besoin, de solliciter de l'ASNR des dérogations d'épreuves hydrauliques d'équipements neufs.

Pour assurer la qualité de montage nécessaire à la sûreté des MEH à Hinkley Point C, je recommande au directeur de la DPPI d'identifier et de traiter les freins organisationnels et contractuels et d'en tirer le retour d'expérience pour le projet Sizewell C et le programme EPR2.



Piscine d'entreposage des combustibles usés. Usine de traitement des combustibles usés Orano, établissement de La Hague.



ASSEOIR LA SOUVERAINETÉ NATIONALE EN FERMANT LE CYCLE DU COMBUSTIBLE

Le nucléaire repose sur deux piliers indissociables : les réacteurs et le combustible. Il faut disposer des matières fissiles adéquates, savoir les utiliser dans un réacteur puis gérer les combustibles usés en pensant aux générations futures.

Fondée dès les années 1960 sur des bases scientifiques, forte d'une expérience solide (retraitement, RNR, MOX), la stratégie de fermeture du cycle du combustible en vue d'une pleine sécurité d'approvisionnement s'est vue quelque peu malmenée et l'on ne peut que se réjouir de sa relance par le Conseil de politique nucléaire (CPN).

Développer une filière de réacteurs à neutrons rapides (RNR) et le cycle du combustible associé requerra d'investir dans un ensemble complet de moyens de R&D et d'installations d'essais, y compris des réacteurs.

Ce chapitre est rédigé avec une pensée toute particulière pour Joël Guidez, grand expert et pilier incontestable des RNR, disparu le 28 octobre 2025.

INCONTOURNABLE PLUTONIUM

MALÉDICTION OU CADEAU DE LA NATURE ?

Seul élément fissile de la nature³, l'uranium 235 (U235) ne constitue que 0,7 % de l'uranium, les 99,3 % restants étant constitués d'uranium 238 (U238). S'il ne peut entretenir la réaction en chaîne, l'U238 est en revanche fertile : par capture d'un neutron, il donne du plutonium 239 (Pu239), fissile⁴.

Ainsi, dans un réacteur à eau sous pression (REP) chargé en combustible à l'uranium légèrement enrichi (UNE avec 3 à 5 % d'U235), de l'U238 se transforme en Pu239, dont une partie fissionne et participe à la réaction en chaîne. Ce Pu239 fournit 1/3 environ de l'énergie produite au cours du cycle de fonctionnement. Le plutonium est donc indissociable de l'usage de l'uranium.

Dans les représentations collectives, l'origine militaire du Pu lui a donné mauvaise réputation. Toutefois, son utilisation en réacteur électrogène du type de ceux que nous employons (REP) le rend impropre à tout usage militaire. De manière générale, les questions de non-prolifération sont traitées avec le plus grand sérieux.

La forte radiotoxicité du Pu impose des précautions particulières que les exploitants maîtrisent. S'il devait être stocké parmi les déchets, il dominerait leur radioactivité à long terme.

Or c'est une matière fissile de grande valeur énergétique et le moyen de valoriser les 99,3 % d'U238 non fissiles de l'uranium naturel. Transformer en plutonium les stocks d'U238 existant en France suffirait à nous rendre autonomes pendant des milliers d'années. Cela suppose des réacteurs et des installations du cycle adéquats.

3. On appelle fissile un isotope qui peut fissionner par capture d'un neutron lent ou rapide.

4. Il en est de même du thorium, qui n'est pas fissile mais fertile. Placé en réacteur, il se transforme en U233, fissile. Le cycle du thorium présente des avantages et des inconvénients. En France, passer au thorium signifierait bâtir un cycle du combustible radicalement nouveau et perdre l'essentiel des acquis techniques et des investissements industriels.

Isotopes et neutrons

La fission émet des neutrons de grande énergie. S'ils sont ralentis par un modérateur (eau, graphite), on parle de spectre thermique (REP, AGR, etc.), s'ils ne le sont pas, de spectre rapide (RNR). Le spectre thermique favorise la fission de l'U235 et du Pu239, le spectre rapide la multiplication de neutrons et le rapport fission sur captures.

En réacteur, du Pu239 se transforme en Pu240, puis 241, 242, et en actinides mineurs (américium, curium, etc.) ; il se forme par ailleurs du Pu238. En spectre thermique, les isotopes pairs (Pu238, 240, 242), non fissiles, sont nuisibles et leur proportion croît avec l'irradiation : le "vecteur isotopique" se dégrade. En spectre rapide, les isotopes fissionnent tous et le rapport fission sur capture est meilleur : le vecteur se stabilise à des valeurs convenables, compatibles avec une utilisation ultérieure en REP.

Exemples de vecteurs isotopiques :

- combustible UNE usé REP (2,8 % Pu238, 55,5 % Pu239, 25,4 % Pu240, 7,7 % Pu241, 7,5 % Pu242)
- combustible MOX usé REP (4,2 % Pu238, 42,6 % Pu239, 33,2 % Pu240, 6,3 % Pu241, 12,7 % Pu242)

LE MOX DANS LES REP, PREMIÈRE ÉTAPE DE LA FERMETURE DU CYCLE

À l'usine de La Hague, le combustible usé est séparé en uranium (dit uranium de retraitement ou URT), en plutonium et en déchets ultimes (produits de fission et actinides mineurs, 4 % du total, conditionnés en colis de verres très stables en vue de leur stockage définitif). Le retraitement à La Hague réduit d'un facteur jusqu'à trois quarts le nombre d'assemblages de combustible (AC) usés à entreposer et optimise le volume des déchets.

Avec ce plutonium, l'usine Melox de Marcoule fabrique du combustible MOX (oxydes mixtes d'uranium et de plutonium) : mélangé à de

l'uranium appauvri, le plutonium y remplace l'U235. Employé en France depuis les années 1980, le MOX bénéficie d'une longue expérience. Il économise 10 % d'uranium naturel. La consommation du MOX dimensionne le volume du retraitement à La Hague.

Parce que certains isotopes du Pu absorbent les neutrons (Pu240, Pu242), la teneur en Pu des assemblages de combustible MOX (8 à 9 %) doit être supérieure à celle en U235 des AC classiques (4 %). L'utilisation du MOX exige des dispositions de sûreté particulières :

- respecter une teneur limite en Pu ;
- ajouter des grappes de commande et augmenter la concentration en bore ;
- ajuster les seuils de protection et le pilotage car le Pu239 est plus réactif que l'U235.

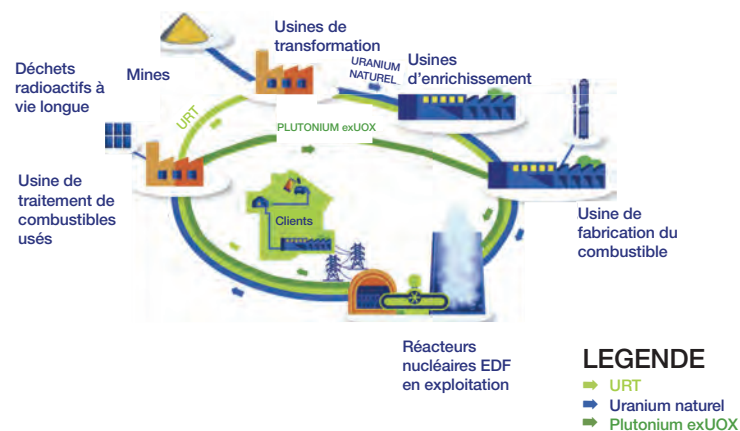
La sûreté du MOX

En REP, les isotopes pairs du Pu (240, 242) absorbent les neutrons thermiques. En cas de perte de l'eau du circuit primaire, les neutrons ne sont plus ralentis, les isotopes pairs ne les absorbent plus, ils fissionnent même, ce qui accroît la réactivité. Et ce d'autant plus que la teneur en Pu est élevée. Il faut donc limiter la teneur en Pu des AC MOX (<12 %) afin d'assurer la stabilité du cœur en cas de perte d'eau (coefficient de vide négatif).

De plus, le spectre neutronique du MOX, par rapport à celui de l'UNE, est un peu plus énergétique et rapide ; comme les grappes de commande et le bore soluble absorbent moins les neutrons rapides, leur efficacité relative diminue et il faut ajouter des grappes et augmenter la concentration en bore (avec une limite pour garder un coefficient modérateur négatif).

Les fissions du Pu se caractérisant par une moindre fraction de neutrons retardés et un temps de multiplication de neutrons plus bref, le cœur est plus réactif.

Ces dernières années, des difficultés de production dans les usines de La Hague et Melox ont limité l'approvisionnement du parc d'EDF en MOX. Elles sont en voie de résolution (*cf. rapport 2024*).



Cycle du combustible

Une quarantaine de réacteurs dans le monde ont utilisé du MOX, en Grande-Bretagne, Belgique, Allemagne, Suisse, Japon, France. En France, il l'est dans 22 réacteurs 900 MWe. Les cycles d'exploitation y sont d'un an et des études sont en bonne voie afin de les porter à 16 mois (projet CAMOX). Des AC précurseurs sont testés dans un réacteur 1 300 MWe pour disposer de cette option. Aucune difficulté significative n'est signalée. Le palier EPR2 pourra employer du MOX.

L'URT : UNE MINE D'URANIUM DOMESTIQUE

L'URT, issu du retraitement des combustibles usés à La Hague, contient environ 1 % d'U235, davantage que l'uranium naturel. On peut le réenrichir pour produire du combustible. Les réacteurs de Cruas fonctionnent ainsi à l'URT. À terme, il est prévu de l'employer dans dix réacteurs 1 300 MWe.

La présence dans l'URT d'autres isotopes de l'uranium lui confère quelques spécificités. L'U232, radioactif, impose des contraintes de radioprotection dans les installations du cycle. L'U236 absorbe les neutrons thermiques et des dispositions analogues à celles du MOX doivent être prises en réacteur.

Du fait de l'U232, la conversion de l'URT, étape préalable à l'enrichissement, n'est réalisable qu'en Russie ; une solution européenne est en projet. Son enrichissement peut être réalisé en Europe chez Urenco ou en Russie. L'usine de Framatome de Romans a été modifiée pour fabriquer des AC à base d'URT.

LE MULTI-RECYCLAGE DU MOX EN REP : UNE OPTION DE TRANSITION VERS LES RNR

Dans un REP, multiplier les recyclages du plutonium dégrade le vecteur isotopique du Pu. Pour compenser, il faut soit augmenter la teneur en Pu, soit ajouter de l'uranium enrichi. La première voie trouve des limites de sûreté, la seconde réduit l'économie d'uranium. Par ailleurs, la quantité d'actinides mineurs, issus du Pu, augmente.

La réflexion sur le multi-recyclage du MOX en REP (MREP), poussé comme solution de fermeture du cycle après l'arrêt d'Astrid, prototype de réacteur à neutrons rapides (RNR) refroidi au sodium, a mûri. Il ne pourrait qu'être transitoire et des RNR seront *in fine* nécessaires à la fermeture du cycle. Les caractéristiques du MOX-MR multi-recyclé ont également évolué : du type des MOX actuels, les teneurs de Pu seraient du même ordre, la dégradation du vecteur isotopique modérée et compensée par une plus grande proportion de MOX dans le cœur (aujourd'hui 30 %).

INDISPENSABLES RNR

VALORISER TOUT LE PLUTONIUM ET TOUT L'U238

Employer l'ensemble du plutonium accumulé, plutôt que le stocker à terme comme déchet, demande des réacteurs à neutrons rapides (RNR). Ils sont plus indispensables encore pour valoriser l'ensemble



Orano La Hague - Télémnipulation

Cette option n'empêche pas l'utilisation ultérieure de ce plutonium en RNR. Elle permet une certaine économie supplémentaire d'uranium. En revanche, les MOX multi-recyclés étant plus chauds et radioactifs, leur stockage définitif est à éviter, d'où l'importance d'une future utilisation en RNR.

de l'U238 et se passer un jour d'approvisionnement en uranium naturel. Dans la stratégie nationale, associés aux installations du cycle correspondantes, les RNR sont un outil de souveraineté.

Eux seuls peuvent en effet fissionner l'ensemble des isotopes du plutonium. Ils peuvent d'ailleurs améliorer son vecteur isotopique, le rendant ainsi de nouveau propre à son utilisation en REP. Et ils sont les seuls à pouvoir être iso ou surgénérateurs (produire autant ou plus de Pu239, via l'U238, qu'on ne consomme de matière fissile).

C'est ce qui avait fait dire à Enrico Fermi, dès 1945, que « *le pays qui le premier développera un réacteur surgénérateur aura un grand avantage compétitif en matière d'énergie atomique* ».

ET POURTANT, LES RÉACTEURS À EAU TRIOMPHÈRENT

Malgré Fermi, les réacteurs à neutrons thermiques ont jusqu'à maintenant dominé le nucléaire mondial. Deux facteurs principaux en sont la cause : l'abondance d'uranium naturel et le succès technique, industriel, économique des réacteurs à eau légère, dont les REP. Dans un monde d'abondance et de faible prix du minerai, ces machines "simples" et robustes ont emporté tous les suffrages bien qu'elles ne valorisent que moins de 1 % de l'uranium naturel.

DES SPÉCIFICITÉS DE SÛRETÉ

Les spécificités de sûreté des RNR tiennent à leur neutronique et à leur fluide caloporteur. Les sections efficaces (probabilités de fission) bien plus faibles qu'en spectre thermique imposent d'augmenter la densité de matière fissile, c'est-à-dire la teneur en plutonium (de l'ordre de 20 %) et la compacité du cœur, ainsi que le flux neutronique. Ce dernier sollicite davantage les matériaux. La densité de puissance exige des performances de refroidissement accrues. Le cœur est plus "poussé".

Du point de vue neutronique, le design doit parer au risque de compaction incidentelle du cœur qui conduirait à un accident de réactivité. De même, il faut éviter que la vidange de tout ou partie du caloporteur (ébullition, passage d'une bulle de gaz) n'entraîne une excursion de puissance incontrôlée. On cherche donc, d'une part, à repousser ce risque dans le domaine hautement improbable, et, d'autre part, à concevoir des cœurs au coefficient de vidange global négatif.

Par ailleurs, les RNR bénéficient de deux effets neutroniques favorables :

- les produits de fission absorbent très peu les neutrons rapides, contrairement aux neutrons thermiques, ce qui simplifie le pilotage (pas d'effet xénon par exemple, un grand avantage) ;
- quand la puissance ou la température augmentent, le cœur se dilate et la réactivité diminue.

Le besoin de caloporteurs ne ralentissant pas les neutrons et refroidissant très efficacement a orienté vers des métaux liquides, sodium principalement et plomb. Ils offrent d'excellentes capacités de refroidissement, beaucoup d'inertie thermique et de marges avant ébullition ainsi que de très bonnes propriétés de convection naturelle et de refroidissement passif. Pressuriser le réacteur n'est pas nécessaire. L'inconvénient du sodium tient à ses réactions violentes avec l'eau (en cas de fuite dans les générateurs de vapeur par exemple), celui du plomb à la corrosion des métaux. Par sa masse et son effet en cas de séisme, le plomb n'est utilisable que dans de petits réacteurs. Opaques, les métaux liquides exigent des dispositions particulières d'exploitation et d'inspection en service.

RNR, surgénération, sûreté

Seuls les RNR peuvent être surgénérateurs car seule la fission du Pu239 en spectre rapide fournit un neutron qui entretient la réaction en chaîne, un autre qui transforme un U238 en Pu239 et une fraction suffisante de neutrons qui compense les fuites et absorptions inutiles.

Concernant la sûreté, la vidange du sodium a deux effets antagonistes. D'un côté, le caloporteur capturant ou ralentissant très légèrement les neutrons, sa disparition augmente l'énergie du flux, l'amenant dans des zones du spectre où les captures diminuent et les fissions augmentent. D'un autre côté, la vidange accroît les fuites de neutrons, ralentissant la réaction en chaîne. Au centre du cœur, le premier effet domine, en périphérie le second. L'effet global dépend de la taille et du design du cœur. Astrid, par exemple, visait un coefficient global négatif.



Fermeture du cycle

LA RICHE HISTOIRE ET L'ÉLAN NOUVEAU DES RNR

Au plan mondial, les RNR totalisent 400 années réacteurs d'expérience. La filière sodium domine.

Dès les années 1950 et 1960, les États-Unis, la Grande-Bretagne, l'Allemagne, la Russie, suivis par la France et le Japon, ont développé des RNR. Le premier réacteur électrogène, en 1951, fut d'ailleurs un RNR : EBR1, sur le site d'Idaho, aux États-Unis.

Les États-Unis, dont le dernier RNR s'est arrêté en 1994, manifestent aujourd'hui un dynamisme patent au travers de start-up convaincues, bien financées et qui peuvent compter sur les puissants centres de recherche du Department of energy. Paradoxe en matière de RNR, le retraitement y est interdit depuis l'administration Carter : sans doute un sujet de réflexion des prochaines années.

En Russie, les RNR sont depuis longtemps une réalité. À Beloiarsk, le BN 600 alimente le réseau depuis 1980 et le BN 800 depuis 2016. Un BN 1 200 est en projet ainsi qu'un RNR au plomb, Brest 300.

Le Japon a réaffirmé sa stratégie de RNR et de retraitement du combustible usé, dans une approche très voisine de la nôtre. La coopération, ancienne, est d'ailleurs étroite. La Chine déploie dans ce domaine aussi son ambition et le CFR 600 a été connecté au réseau. L'Inde aussi s'y intéresse.

En Europe, la Belgique fait de la R&D en RNR au plomb. Partenaires de Superphénix, les Italiens ont gardé une compétence certaine, qu'ils appliquent à Newcleo, petit réacteur de génération IV AMR (*Advanced modular reactor*) au plomb.

DE LA VALLÉE DES PILES À SUPERPHÉNIX ET ASTRID : UNE FORCE FRANÇAISE

Pensée par de grands savants, menée par d'excellents ingénieurs, initiée et appuyée par l'État, soignée par le Général de Gaulle, aidée par Euratom, la filière RNR française s'est bâtie sur un programme d'essais très complet. Celui-ci traitait de questions scientifiques, techniques et industrielles préalablement posées avec beaucoup de soin. Il en est résulté un remarquable ensemble d'installations couvrant le combustible et son cycle, le sodium, la physique du cœur, la thermo-hydraulique, les matériaux, la sûreté : Atalante, Esmeralda, Masurca, ATPu, TOR, LECA, boucles sodium, réacteurs Cabri, Scarabée, Rapsodie, Phénix, Superphénix... Marcoule et la Vallée des piles de Cadarache en furent les hauts lieux.

Les succès techniques furent considérables et beaucoup de problèmes résolus grâce à cette approche minutieuse et progressive. En matière de combustible, le cycle complet a été validé : fabrication semi-industrielle des cœurs, augmentation des taux de combustion par améliorations successives dans Phénix, démonstration de la surgénération, retraitement et production de nouveaux cœurs. Les échangeurs de Phénix ont dû être remplacés et le réacteur a connu de multiples réactions sodium-eau, sans conséquences : grâce à ce retour d'expérience, il n'y en eut aucune sur Superphénix.

Ce ne sont que quelques exemples d'une histoire aux acquis précieux, qui s'achève en 2019 avec la décision de mettre un terme

au projet Astrid. Superphénix nous aura beaucoup appris, mais pas assez en termes d'irradiation des combustibles et de matériaux du fait de son arrêt prématuré en 1997. Quant à Phénix, exploité pendant

quarante ans jusqu'en 2009, il a livré un trésor de données.



METTRE EN ŒUVRE LES ORIENTATIONS DU CONSEIL DE POLITIQUE NUCLÉAIRE

SE DONNER LES MOYENS DE PILOTER NOTRE SOUVERAINETÉ

Dans un monde où la géopolitique se tend, être à terme en mesure d'utiliser tout le potentiel de l'U238 que nous possédons et se passer d'importer de l'uranium naturel se confirme comme stratégique. Fermer le cycle permettra de mieux employer les matières premières et de réduire les déchets.

En mars 2025, le CPN a ainsi confirmé l'orientation de fermeture du cycle dans la seconde moitié du siècle et relancé un programme de travail en ce sens. Actant des développements technologiques importants nécessaires dans les domaines des combustibles, du retraitement et des réacteurs, le CPN a demandé aux acteurs de la filière de lui proposer un programme de travail et une organisation.

Ayant rencontré ces acteurs (EDF, Orano, CEA, Framatome) et visité plusieurs sites, je salue l'esprit de coopération qui préside à ces travaux. Ils visent à bâtir un ensemble cohérent de briques industrielles (réacteurs, combustible, retraitement) dont le calendrier de mise en œuvre pourra être ajusté selon la situation géopolitique et les ressources en uranium disponibles.



Phénix CEA

Une maîtrise d'ouvrage publique sera indispensable. Elle devra être forte afin de maintenir la cohérence entre le cycle et les réacteurs, de veiller aux ressources et de promouvoir la R&D nécessaire.

TENIR FERMEMENT ENSEMBLE LES RÉACTEURS ET LE CYCLE, DANS LA DURÉE

Une vision claire et structurée du cycle est partagée, qui le projette dans la longue durée : ce travail est à saluer ainsi que les investissements en cours dans les usines de La Hague et de Melox. Le succès du remplacement des évaporateurs de La Hague, projet qui a tenu ses coûts (1 Md€) et délais, est de bon augure.

Le programme pérennité-résilience est lancé. Il vise à prolonger la durée d'exploitation de La Hague et de Melox et à les rendre robustes

face à une indisponibilité fortuite et durable d'un composant majeur. Localisée à La Hague, l'ingénierie est proche des matériels et de l'exploitant, c'est un atout.

Les études et l'ingénierie du programme Aval du futur sont enclenchées. J'ai apprécié, lors de mes visites chez Orano et au CEA, que soient clairement identifiés les choix technologiques qu'il faudra faire et la R&D associée, par exemple pour retraiter des MOX. La fabrication de combustible de RNR et son retraitement ne sont pour l'instant qu'en option ; ils me semblent pourtant constituer le cœur de la fermeture du cycle, même si le calendrier est lointain et les financements pas encore acquis.

La feuille de route me paraît plus embryonnaire quant aux étapes vers un futur RNR industriel.



CEA Cadarache - Boucle d'essai sodium

Quelle sera la proportion de RNR et de REP à la fin du XXI^e siècle ? L'objectif est de pouvoir l'ajuster en fonction des impératifs de souveraineté énergétique, de stabilisation du vecteur isotopique du Pu et de gestion des déchets. Le choix pourra être celui d'un parc avec beaucoup de RNR pour se passer d'uranium, avec de moins nombreux RNR pour recycler le Pu entre REP et RNR, ou encore avec un seul ou quelques RNR pour disposer de l'option.

LES COMPÉTENCES APRÈS LES ABANDONS DE SUPERPHÉNIX ET D'ASTRID

Lancé une douzaine d'années après l'arrêt de Superphénix, le projet Astrid a remobilisé des compétences encore substantielles, commencé à former une nouvelle génération d'ingénieurs et investi dans quelques moyens d'essais. Son arrêt n'a pas été sans dommages, même en poursuivant certains travaux de R&D. La génération de ceux qui ont conçu, construit et piloté des RNR s'éloigne ; la plupart des moyens d'essais ont fermé et la France n'a plus de réacteur à spectre rapide depuis 2009. La masse de données est considérable, l'expérience de Phénix a été soigneusement consignée, l'institut IRESNE au CEA a fait un très bel effort de recueil et de transmission, comprenant des MOOC d'interviews d'experts. Mais en ce domaine aussi, la pratique demeure irremplaçable.

LES AMR CATALYSEURS D'IDÉES, DE COMPÉTENCES ET DE TECHNOLOGIES ?

L'élan des start-up séduit et fait souffler un vent de jeunesse dans un secteur dont le cadre, par nature rigoureux, s'est mué en carcan. On peut enfin vouloir innover et cesser de ralentir ! Des jeunes se plongent dans la physique des réacteurs, calculent des systèmes, se frottent aux questions techniques difficiles. Mais *in fine* seules les réalisations de systèmes, de boucles de test, de réacteurs d'essai ou de prototypes donneront corps à ce biotope de développement de compétences et de technologies.

Il est heureux que le combustible, le cycle et les matières fissiles se soient invités dans le paysage. La mesure dans laquelle les AMR RNR pourraient répondre aux objectifs de recyclage du Pu et de souveraineté et passer à l'échelle industrielle reste à examiner de près.

Les start-up, aussi bénéfiques soient-elles, ne pourront seules assumer la recherche nécessaire au développement des RNR qui permettront de fermer le cycle à grande échelle. Le nucléaire ne peut pas faire l'économie d'une très solide infrastructure publique de R&D.

BÂTIR UN ENSEMBLE ROBUSTE DE MOYENS D'ESSAIS

Même si nous l'avons déjà fait, construire des RNR et leur cycle du combustible exigera des moyens importants. Aussi riches soient-ils, tout ne se trouve pas dans les rapports et le "trésor Phénix".

Les RNR sont des machines à haute densité de puissance, à flux neutronique intense, à la physique du cœur exigeante. Ses matériaux et combustibles devront être impérativement testés en réacteur d'essai, et ce d'autant plus qu'un réacteur industriel doit être performant, optimisé et sûr. La réussite technique conditionne aussi la sûreté et on ne pourra se fier seulement à des modèles.

Si le cœur diffère des précédents, une "maquette critique" s'imposera probablement et si le combustible change, un réacteur d'essais d'excursions de réactivité, de type Cabri, sans doute aussi. Dans tous les cas, le combustible devra avoir été irradié en réacteur avant d'être qualifié pour un usage industriel. Le type et la puissance de ce réacteur d'essais devront être définis. Les matériaux aussi devront être testés en flux rapide et les grands composants dans des boucles au sodium, à une échelle suffisante.

Développer une nouvelle filière à neutrons rapides, à un horizon compatible avec nos besoins de souveraineté énergétique, impose de définir rigoureusement, sans impasse ni retard, les moyens d'essais nécessaires. Tout programme nucléaire solide et durable s'appuie sur une colonne vertébrale de R&D, un parc de moyens d'essais et des financements publics.



Centrale de Flamanville 3



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	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1	Nombre d'événements significatifs pour la sûreté classés dans l'échelle INES (1 et plus), par réacteur ¹	0,98	1,12	1,28	1,45	1,4	1,3	1,4	1,2	0,9	1,2
2	Nombre d'événements significatifs pour la sûreté (INES 0 et plus), par réacteur	9,78	11,59	12,6	12,7	12,4	12,9	12,2	12,7	12,6	13,3
3	Nombre d'événements significatifs, par réacteur <ul style="list-style-type: none"> • Non-conformités aux STE • Réactivité 	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	1 0,7	1,1 0,36
4	Nombre de non-conformités ² de configuration de circuits par réacteur	1,64	1,78	1,24	1,4	1,3	1,1	1,3	1,32	0,98	1,03
5	Nombre d'arrêts du réacteur, par réacteur (et pour 7 000 heures de criticité ³) <ul style="list-style-type: none"> • Automatiques • Manuels 	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	0,54 0	0,42 0,02
6	Dose opérationnelle collective moyenne, par tranche en service (en hSv)	0,76	0,61	0,67	0,74	0,61	0,71	0,67	0,72	0,75	0,68
7	Dosimétrie individuelle : <ul style="list-style-type: none"> • 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 1	0 0 0	0 0 1	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
8	Nombre d'événements significatifs pour la radioprotection	117	131	170	171	173	108	140	141	108	118
9	Disponibilité (%)	79,6	77,1	76,5	74	71,9	72,9	58,1	67,3	74,15	77,1
10	Indisponibilité fortuite (%)	2,02	3,26	3,7	3,95	5	4,55	2,36 ⁵	3,69 ⁵	3,9	2,9
11	Taux de fréquence des accidents du travail avec arrêt Tfg (pour 1 million d'heures travaillées) ⁴	2,8	2,2	2,3	3,3	2,9	3	3,1	3,1	3,6	3,6
12	Taux de fréquence des accidents du travail avec arrêt LTIR (pour 1 million d'heures travaillées) ⁴	-	-	-	2,4	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	2,2

¹ Hors événements dits génériques.

² 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).

³ Valeur moyenne ne tenant pas compte des AAR pour cause externe.

⁴ Taux de fréquence DPN et prestataires.

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

LES INDICATEURS DE RÉSULTATS DU PARC NUCLÉAIRE D'EDF ENERGY

N°	Indicateurs	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1	Nombre d'événements classés dans l'échelle INES (1 et plus), par réacteur	0,27	0,47	0,53	0,27	0,07	0,47	0,13	0,27	0,20	0,13
2	Nombre d'événements sûreté dans l'échelle INES (0 et plus) par réacteur ¹	10	6,13	5,93	6,73	5,47	6,2	5,53	5,27	6,27	6,87
3	Nombre de cas de non-conformité aux STE, par réacteur	0,8	0,6	0,6	0,67	0,87	0,53	0,6	0,47	0,47	0,33
4	Nombre de non-conformités ² de configuration de circuits par réacteur	3,13	0,93	1,67	1,67	1	1,33	1,2	1,47	1,07	1,07
5	Nombre d'arrêts du réacteur, par réacteur (et pour 7 000 heures de criticité ³) • Automatiques • Manuels	0,3	0,49	0,89	0,56	0,35	0,63	0,49	0,23	0,12	1,09
		0,42	0,37	0,20	0,32	0	0,27	0	0,12	0,24	0,41
6	Dose opérationnelle collective moyenne, par tranche en service (en hSv) • Sizewell B • AGR	0,544	0,296	0,096	0,255	0,031	0,383	0,028	0,719	0,309	0,054
		0,021	0,02	0,05	0,032	0,013	0,012	0,015	0,014	0,013	0,013
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
		1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	Nombre d'événements significatifs pour la radioprotection	20	10	23	28	26	29	18	19	8	10
9	Disponibilité (%) : • Parc EDF Energy • Sizewell B • AGR	83	81,6	76,1	65,8	61,7	60,4	77,9	73	72,7	64,2
		82	83,8	89,4	80,6	99,4	64,2	98,7	73,7	84,6	98,9
		83,1	81,2	74	63,5	55,9	59,7	73,1	72,8	69,6	55,4
10	Indisponibilité fortuite (%) : • Parc EDF Energy • Sizewell B • AGR	5,1	5	3,1	4	5	12,3	4,8	4	12,1	17,1
		0,1	0	2,2	0,2	0,6	0	1,3	0,6	0	1,1
		5,8	5,7	3,3	4,7	6,2	14,3	5,9	4,9	15,3	22,8
11	Taux de fréquence des accidents du travail avec arrêt LTIR (pour 1 million d'heures travaillées) ⁴	0,3	0,2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,8	0,37
12	Taux de fréquence des accidents du travail avec et sans arrêt TRIR (pour 1 million d'heures travaillées) ⁴	0,7	0,4	1,1	1,0	0,7	0,5	0,8	1	0,9	0,74

1 Hors événements dits génériques (événements dus à des anomalies de conception).

2 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.

3 Valeur moyenne de tous les réacteurs à la différence de la valeur WANO, qui prend en compte la valeur du réacteur médian.

4 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^{re} visite décennale VD2 : 2^e visite décennale
 VD3 : 3^e visite décennale VD4 : 4^e 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	Arrêt : 2022
1976	Hinkley Point B	R4	475	Arrêt : 2022
1976	Hunterston B	R3	480	Arrêt : 2021
1976	Hunterston B	R4	485	Arrêt : 2022
1983	Dungeness B	R21	525	Arrêt : 2021
1983	Dungeness B	R22	525	Arrêt : 2021
1983	Heysham 1	R1	580	2028
1983	Heysham 1	R2	575	2028
1983	Hartlepool	R1	595	2028
1983	Hartlepool	R2	585	2028
1988	Heysham 2	R7	615	2030
1988	Heysham 2	R8	615	2030
1988	Torness	R1	590	2030
1988	Torness	R2	595	2030
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)

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

Ingénierie

8 Ingénierie

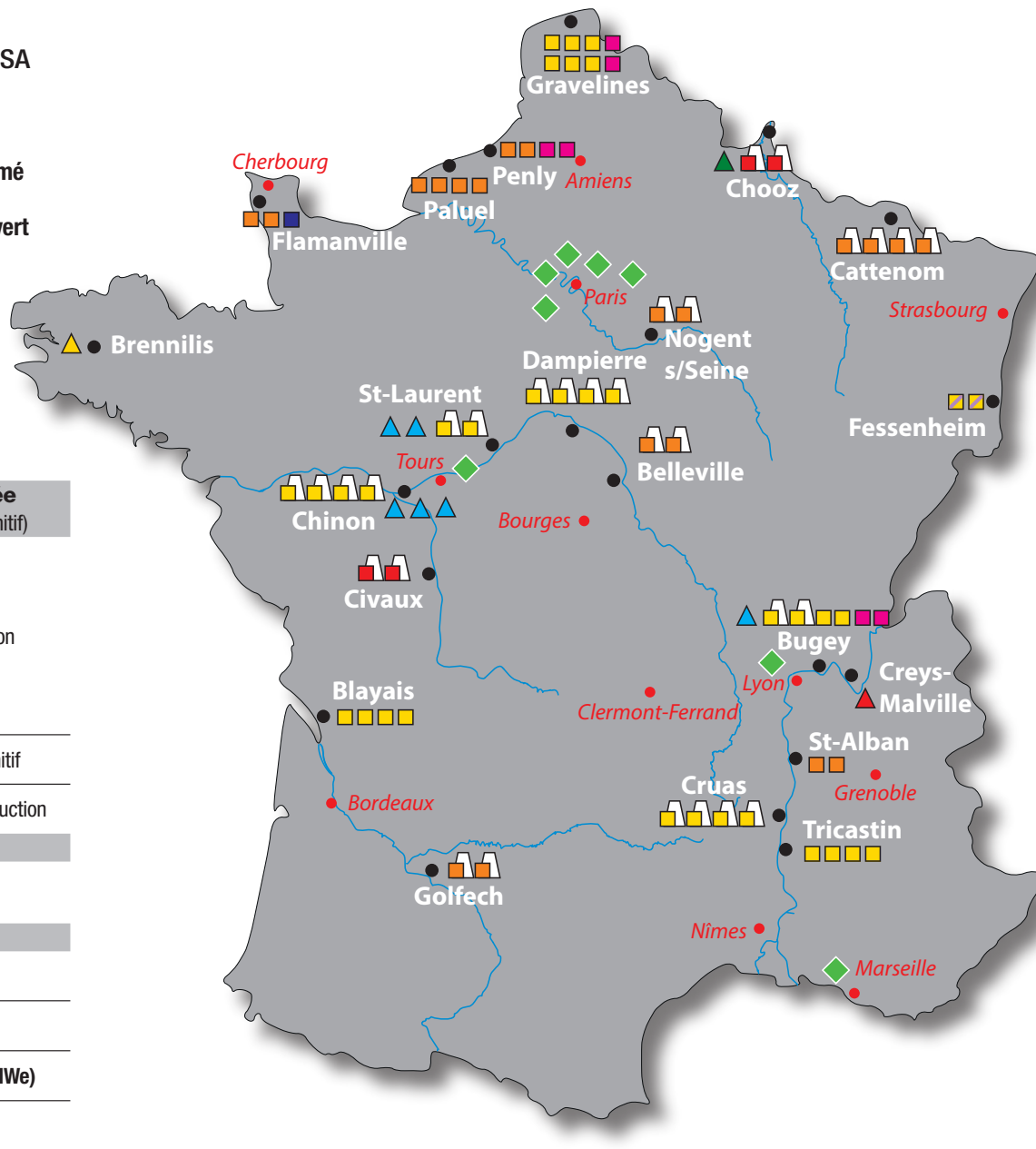
Déconstruction

6 Uranium Naturel Graphite Gaz

1 Eau Lourde

1 Réacteur à eau pressurisée (300 MWe)

1 Réacteur à Neutrons Rapides



LES SITES NUCLÉAIRES D'EDF Energy



2 Ingénierie

8 AGR

Exploitation

1 REP/PWR

4 EPR

Construction ou Projet

6 AGR

Arrêt définitif

LES SITES DE FRAMATOME



Reste du monde

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

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

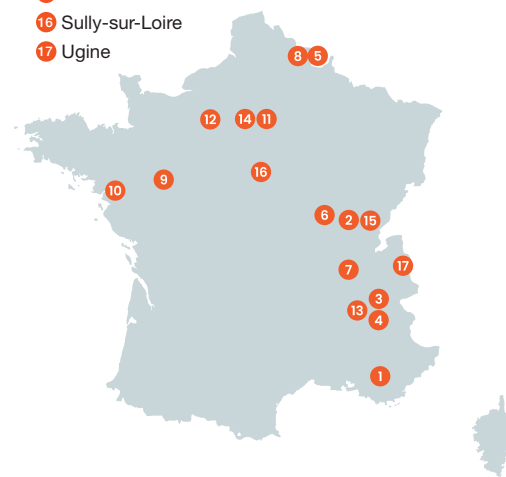


TABLE DES ABRÉVIATIONS

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

BDBUE	Beyond Design Back-Up Equipment
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
CSFI	Counterfeit Fraudulent and Suspect Items 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	Équipe d'intervention réactive (EIR)
DBUE	Force d'Action Rapide Nucléaire (FARN Royaume-Uni)
DCC	Directoire Cœur Combustible
DCN	Division Combustible Nucléaire
DFISQ	Département Filière Indépendante de Sûreté et de Qualité (DIPNN)
DISC	Direction Ingénierie et Supply Chain
DirIN	Direction de l'Ingénierie Nucléaire
DQI	Direction Qualité Industrielle
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 (États-Unis)
DPC	Direction Projets et Construction
DP2D	Direction des Projets Déconstruction et Déchets
DPN	Division Production Nucléaire
DPNT	Direction du Parc Nucléaire et Thermique
DPPI	Direction Projets et Partenariats Industriels
DRS	Directoire des Réexamens de Sûreté
DSIN	Direction Standards Intégration et Numérique
DSTID	Direction Stratégie, Technologies, Innovation et Développement
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 Dédicée 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	Équipe Mutualisée d'Arrêt de Tranche
EIR	Équipe d'Intervention Rapide
EIR	Évènement Intéressant Radioprotection
EPR	European Pressurised Reactor
EPRI	Electric Power Research Institute (États-Unis)
ESPN	Équipements Sous Pression Nucléaires
ESR	Évènement Significatif en Radioprotection
ESS	Évènement Significatif de Sûreté
EVEREST	Évoluer VERs une Entrée Sans Tenue universelle (Projet de reconquête de la propreté radiologique)

F

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

G

GDA	Generic Design Assessment (Royaume-Uni)
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 Fiabilisation 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 (Royaume-Uni)
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)
NN	Nouveau Nucléaire
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 (Royaume-Uni)
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
PI	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 (Royaume-Uni)
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 la centrale de Nogent-sur-Seine :
Jean-Baptiste DUTTO – Bertrand VAUCHY – Jean CASABIANCA – Bertrand de L'ÉPINOIS – Paul WOLFENDEN

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

R. BEAUMONT, Caroline BLUMBERG EPA, Grégory BRANDEL, John CAIRNS, Patrice DHUMES, Cyrille DUPONT The Pulses, EDF Médiathèque, James FLETCHER, Richard LACOUR, Alexis MORIN, Didier MARC PWP, Guillaume MURAT, Lucille PELLERIN Capa Pictures, Xavier POPY REA, Lucie SALABERT, Science Photo Library, Antoine SOUBIGOU.



Maquette des sites de Sizewell B et C

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

En France :

- les membres du Comex et des directions de la DPNT, DSTID, DPC et de la DISC ;
- la direction de l'UNIE, l'UTO, l'IN, le CNEPE, les CNPE de Civaux, Cattenom, Golfech, Nogent-sur-Seine et Flamanville 3 ;
- le chantier de l'EPR2 de Penly, Nuward, Edvance, la DSPP, la DQI, la DSIN, la DFISQ, la DT Lyon, la DTG, la DIPDE, la DP2D, la DCN, la DTEAM et l'UFPI ;
- EDF Hydro ;
- la R&D de Chatou ;
- Framatome : Chalon-sur-Saône, la DTI, Framatome Jeumont ;
- le CEA de Saclay, le CEA de Cadarache, Orano La Hague, le Gifen ;
- l'Escadrille des sous-marins d'attaque de Toulon, le *Tourville*.

Au Royaume-Uni :

- Nuclear Operations, Hartlepool, Sizewell B, Dungeness B, Hinkley Point C, Sizewell C et EPR-E.

Au Japon :

- l'Ambassade de France à Tokyo, la NRA, Tepco (HQ Tokyo + site de Fukushima Daiichi), Tohoku Electric (centrale d'Onagawa), JAPC, le CRIEPI et JANSI.

Et elle remercie Nicolas Waeckel de ses dessins et son talent.