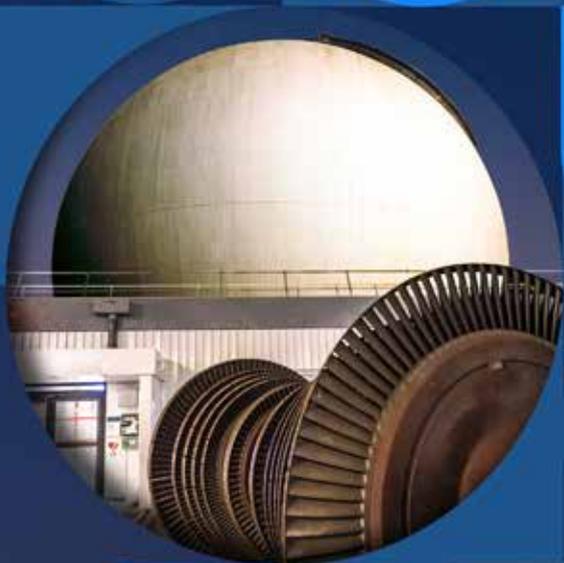


Rapport de l'inspecteur général pour la sûreté nucléaire
et la radioprotection.

2024



AVANT-PROPOS



Les organisations française et britannique reposent sur le principe de la responsabilité première de l'exploitant en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection ; la politique sûreté du groupe EDF en fait donc légitimement une priorité absolue.

Ce rapport, destiné au président d'EDF, présente mon appréciation de l'état de la sûreté et de la radioprotection dans le Groupe pour l'année 2024, fruit d'un travail collectif avec Bertrand de L'Épinois, Jean-Baptiste Dutto, Paul Wolfenden et Bertrand Vauchy.

Il est élaboré principalement à partir du millier d'entretiens sur le lieu de travail des salariés de tous les niveaux, des responsables du dialogue social, du corps médical, des entreprises partenaires, des commissions locales d'information et des instances indépendantes de sûreté, lors de la centaine de journées de visites conduites sur le terrain. Les exploitants chinois et finlandais nous ont aussi ouvert leurs portes cette année.

Il s'adresse donc aussi à ceux, en France et au Royaume-Uni, qui nous ont enrichis de la qualité et la pertinence de leurs constats, de leurs réflexions, de leurs propositions voire de leurs critiques. Cette preuve d'engagement et de confiance est un élément majeur pour la sûreté et nous oblige.

Dans l'esprit d'information et de transparence de ma lettre de mission, ce rapport s'attache à mettre l'accent sur ce qui pourrait pénaliser la sûreté. Il doit susciter la réflexion et conduire à des actions concrètes. Il suggère des pistes d'amélioration pour l'ensemble de l'entreprise, ses filiales ainsi que ses partenaires. Ses recommandations sont validées et suivies en conseil de sûreté nucléaire (CSN).

Les évolutions des politiques énergétiques française et britannique, la progression de l'électrification de nos usages et l'arrivée massive de nouveaux producteurs vont nécessiter des adaptations pour garantir un mix énergétique décarboné et fiable. Il nous faut collectivement être conscients que cela nous demande plus encore d'exemplarité et de rigueur et nécessite d'inscrire nos efforts dans le temps long pour relever les défis qui s'annoncent.

La flamme olympique de Paris 2024 aura été, pour la première fois, aérienne et éclairée par la fée électricité sublimant un brouillard d'eau. Raoul Dufy aurait certainement immortalisé cette vasque dans sa fresque ! Une magnifique illustration de la capacité d'innovation de notre Groupe qui met à profit cet événement planétaire pour promouvoir l'usage d'une électricité pilotable et décarbonée, produite par nos centrales en toute sûreté, même lorsque le soleil se couche et que le vent tombe.

Ce document est mis à la disposition du public, en français et en anglais, sur les sites www.ignr.com et www.edf.fr.



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

**Amiral (2S) Jean Casabianca
Paris, le 15 janvier 2025**

Sommaire

1	RÉTROSPECTIVES ET PERSPECTIVES	6
2	LE LONG CHEMIN DE LA DÉMONSTRATION AU TERRAIN	14
3	SÉCURITÉ ET RADIOPROTECTION : CONCRÉTISER SUR LE TERRAIN	22
4	L'HOMME SOURCE D'ERREUR OU FACTEUR DE SÛRETÉ ?	28
5	SÉISME, INONDATION INTERNE : LA THÉORIE ET LA PRATIQUE	34
6	DU PLURI AU TEM : RIGUEUR ET AGILITÉ	40
7	LA DYNAMIQUE DU NOUVEAU NUCLÉAIRE	46
8	MOBILISER NOS PARTENAIRES INDUSTRIELS	52
9	DÉFIS D'AVENIR	58
	Annexes	70



Le nucléaire offre une réponse décarbonée au développement économique. La compétition internationale s’amplifie tant en construction qu’en innovation.

Le groupe EDF, à bilan sûreté constant, améliore sa production et exporte plus que jamais. En France, le réacteur EPR de Flamanville 3 (FLA3) est connecté au réseau et le site de Penly commence les travaux de terrassement pour accueillir une paire d’EPR2. Au Royaume-Uni, le projet EPR de Hinkley Point C (HPC) entame les montages électromécaniques.

La filière se prépare, beaucoup reste à faire. À commencer par s’accorder sur une vision claire de notre mix énergétique.

Centrale de Cruas Meysse

Rétrospectives et perspectives

01

LE SECTEUR NUCLÉAIRE TOUJOURS PLÉBISCITÉ À L'INTERNATIONAL

L'année 2024 se distingue peu de la précédente dans un monde résolument marqué par le renouveau d'une énergie nucléaire reconnue dans la lutte contre le changement climatique. Quelques pays, notamment européens, viennent troubler cet enthousiasme, affichant des réticences plus dogmatiques que rationnelles, privilégiant un mix électrique, toujours carboné par du gaz importé.

Un regain de projets

L'évolution de la production électrique d'origine nucléaire dans le monde stagne depuis les années 2000 aux alentours des 2 600 TWh, les nouveaux réacteurs sur le réseau compensant juste ceux retirés du service. Malgré la croissance de la consommation, la part du nucléaire dans le mix électrique mondial diminue et passe désormais sous les 10 %. Mais elle représente 30 % de l'électricité décarbonée et, associée à l'hydraulique, 100 % du pilotable décarboné.

À la fin 2024, le monde compte 440 réacteurs nucléaires en service, 60 en construction dans 15 pays, 92 déjà planifiés et 343 en projet dont près de la moitié en Chine. Depuis le 1^{er} janvier 2024, de nombreux réacteurs nucléaires ont été connectés au réseau électrique, aux Émirats arabes unis, en Chine, en Inde, aux États-Unis et, enfin, en France avec FLA3, notre 57^e réacteur en service. Cela augure d'une croissance significative de la capacité nucléaire mondiale cohérente avec les conclusions du rapport *Electricity 2024* de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), bien que le rythme s'en soit ralenti. Celle-ci est principalement portée par les pays en forte hausse de consommation (Chine, Inde, etc.). En Extrême-Orient, depuis deux ans, le Japon relance progressivement les centrales mises à l'arrêt après l'accident de Fukushima de 2011. Selon l'AIE la production mondiale d'électricité devrait doubler d'ici à 2050.

La relance du nucléaire en France après le discours de Belfort ainsi que l'autorisation des premiers travaux préparatoires sur le site de Penly trouvent un écho au Royaume-Uni, en Belgique et aussi en Italie, en Suisse et en Europe de l'Est qui envisagent plus de nucléaire pour tenir leurs objectifs écologiques. Même en Allemagne, des voix de plus en plus nombreuses s'élèvent pour remettre en cause la politique de sortie du nucléaire.

De plus la compétition est rude. Aux technologies occidentales GEN III (AP 1 000, EPR, APR 1 400, etc.) s'ajoutent des technologies concurrentes, soit russe pour l'exportation (Turquie, Égypte, Biélorussie, Afrique, etc.), soit chinoise avec les Hualong, essentiellement dédiée au marché domestique.

Un énorme retour d'expérience au profit de la sûreté

Après ce panorama prospectif, force est de constater qu'en 2024 les réacteurs nucléaires civils en exploitation ont franchi les 20 000 années réacteurs selon les données de l'AIEA. C'est aussi le 70^e anniversaire de la propulsion nucléaire navale de l'amiral Rickover, initiée à bord du sous-marin *Nautilus*, qui préfigura le premier réacteur à eau pressurisée civil de Shippingport aux États-Unis, mis en service en 1957 de manière quasi simultanée avec le réacteur à eau bouillante de Vallecitos.



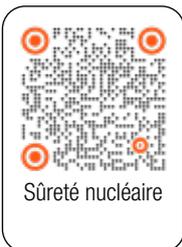
Techniciens devant les osmoseurs Tricastin

Cet impressionnant cumul de temps de fonctionnement de réacteurs enrichit les exploitants via la transparence de la remontée d'informations et les échanges. Il n'a de sens et d'intérêt pour la sûreté nucléaire que si le retour d'expérience (REX) bénéficie à tous, notamment aux pays à parc réduit. EDF, 1^{er} exploitant mondial, a pris le parti d'une complète transparence pour enrichir la base de données partagée dont il peut tirer profit. Comme je l'ai déjà évoqué dans un précédent rapport, l'exigence de sûreté nucléaire prime et c'est bien le rôle des instances nationales et internationales que de favoriser la collaboration et l'échange d'information entre exploitants, sans préjudice de leur nationalité et de leur situation diplomatique. Son défaut restant un risque partagé, la sûreté doit rester un bien commun. Le contrôle des exportations ne devrait pas servir de prétexte à la rétention d'information.

Le retour des États-Unis

Le changement majeur perceptible cette année reste le retour en force du nucléaire aux États-Unis qui, depuis la fin des années 2000, s'étaient tournés massivement vers leur gaz de schiste et les énergies renouvelables. Les besoins croissants en électricité et le développement des data centers (assorti de la volonté d'autonomie de leurs propriétaires) ainsi que la reconnaissance du caractère pérenne, pilotable et bas carbone du nucléaire pour les satisfaire, ont favorisé la relance du secteur (jusqu'au projet de redémarrage d'un réacteur de TMI, Three Mile Island). Le département de l'Énergie (DOE) procure un soutien indéniable par un programme de prêts garantis, subventions et crédits d'impôt et ce, en dépit d'une filière du combustible toujours dépendante de la Russie, exemptée de sanction dans ce domaine. La nouvelle administration opérera-t-elle un revirement vers les énergies fossiles ?

BILAN SÛRETÉ DU GROUPE STABLE, PRODUCTION QUI PROGRESSE



En cette année olympique, les athlètes ont concouru sur des stades éclairés bas carbone par le groupe EDF qui présente un bilan sûreté avec des progrès réels mais quelques faiblesses, dans un contexte de remontée notable de la production.

2024, du mieux et du perfectible

Même s'il faut garder une grande humilité devant des indicateurs chiffrés, qui sont loin de tout dire de la sûreté et peuvent varier rapidement, ils sont

globalement bons en France et au Royaume-Uni. Ils marquent des progrès par rapport aux années précédentes et dans le temps long.

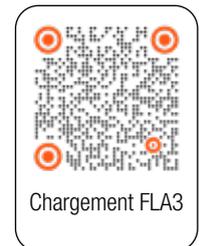
En France, la séquence d'arrêts automatiques de réacteur (AAR) du second semestre contraste toutefois avec la réduction constatée depuis quelques années. Les AAR, avec près de soixante par an au

tournant des années 2000, avoisinaient la quinzaine ces dernières années. L'année 2024 se solde avec une contre-performance en France (29 AAR), contrairement au Royaume-Uni qui se limite désormais à quelques-uns. Près de la moitié d'entre eux sont liés à un facteur organisationnel et humain. Je ne peux que souscrire au plan d'actions destiné à dynamiser l'effort de rigueur, de développement des compétences et de présence du management sur le terrain. Cette démarche vient compléter l'accent mis par la DPN sur le développement du leadership et le pilotage des métiers, en particulier à la conduite, là où il se portait principalement sur la gestion des processus. Je note que Nuclear Operations et le projet Hinkley Point C (HPC) investissent davantage le champ des comportements et j'apprécie les échanges entre nos deux parcs dans ces domaines.

Dans les deux flottes, les lignages, les consignations dont les condamnations administratives, demeurent sensibles. Les signaux faibles sont les premiers éléments qui doivent conduire à détecter et prévenir des risques plus conséquents. L'analyse de l'accident de TMI a mis en évidence le rôle crucial du facteur humain. Cela impose, de manière soutenue et homogène, l'engagement de tous et l'exigence du management.

Le cas particulier des EPR

Le réacteur FLA3 poursuit son démarrage. Après chargement en mai et divergence le 3 septembre, il a été couplé au réseau le 21 décembre. Les essais de mise en service devraient s'achever au 1^{er} semestre 2025. Sans surprise et sans véritable impact sur la sûreté, le nombre d'événements au démarrage est élevé, atypique. J'apprécie, en bonne sûreté, que l'exploitant ne se réfugie pas derrière la complexité des règles générales d'exploitation (RGE) pour justifier ces nombreux événements (*cf. chapitre 7*). FLA3 rejoint les trois autres EPR qui démontrent la pertinence du concept et sa performance. En Chine, Taishan 2, avec près de 13 TWh nets, bat le record de production d'un réacteur sur un an. Quant à Olkiluoto 3, un an après sa mise en production commerciale, il satisfait 20 % de la demande d'électricité de la Finlande.



Au Royaume-Uni, le projet EPR de Hinkley Point C, après réévaluation de son calendrier et de son coût, a entamé les montages électromécaniques. La nature et la densité des activités changent sur un site qui emploie désormais plus de 12 000 personnes de toutes nationalités.

Cette phase s'accompagne, de manière pragmatique, d'une sensibilisation accrue aux règles d'hygiène et de sécurité du travail et d'une implication forte du management de proximité. J'y trouve une source constante de retour d'expérience pour les futurs chantiers EPR2.

Radioprotection, addiction - Maintenir l'effort

Je constate depuis plusieurs années en France, une certaine banalisation de la prévention en matière de radioprotection, à laquelle la DPN s'efforce de remédier. Cela demande de soutenir l'effort managérial (*cf. chapitre 3*).

En matière d'addiction, tous les règlements intérieurs ont été modifiés en France et permettent des tests de dépistage. Des deux côtés de la Manche, l'objectif est bien d'assurer une prévention active en communiquant et en offrant des solutions de traitement à des addictions qu'on ne peut considérer comme récréatives, au vu des objectifs de sûreté auxquels elles pourraient nuire. Je constate qu'au Royaume-Uni les dépistages systématiques portent leurs fruits, notamment à HPC avec un taux de cas positifs très inférieur à celui de la population. Le chantier de Penly devra s'en inspirer. Je salue les directions, les acteurs locaux et les représentants du personnel d'avoir su progresser ensemble dans cette voie indispensable à la santé de nos équipes, à la sûreté de nos activités d'exploitation et d'ingénierie et à la réputation de notre Groupe.



Travail d'équipe en salle de commande Dampierre-en-Burly

Des recommandations suivies d'effet

Maîtrise de la réactivité (rapport 2023)

Je me félicite de la façon dont la DPN s'est saisie du sujet. Les dispositions à appliquer en salle de commande ont été revues, limitant les configurations à risque, valorisant le rôle des opérateurs et celui du pilote de tranche en regard croisé. Elles ont donné lieu à une nouvelle version du Guide de maîtrise de la réactivité.

Ces travaux sur la maîtrise de la réactivité doivent servir de référence à la sécurisation de toutes les activités sensibles. J'insiste sur la formation initiale individuelle à la physique du réacteur et sur l'entraînement collectif qui valorise le rôle de chacun dans une complémentarité, gage de sûreté. La pertinence des organisations, les enseignements du REX et sa prise en compte par tous ainsi que l'humilité et le questionnement ne peuvent que bénéficier à la sûreté.

Appui aux sites en difficulté (rapport 2021)

En 2021, je m'étais particulièrement intéressé aux sites en difficulté, à l'importance de leur détection précoce et à la façon de les aider. Sur la base d'un dispositif de supervision rénové, la DPN met en place plus rapidement des plans d'appui. Ils ciblent et coordonnent mieux le soutien. À l'heure où les incidences des crises du Covid-19 et des corrosions sous contrainte (CSC) s'atténuent et où le plan START 2025 produit des effets, un constat reste toujours valable : quelles que soient les actions entreprises, la remontée d'un site en difficulté n'est jamais acquise si le collectif ne s'en approprie pas l'objectif. « *Un objectif commun, une vision partagée, une équipe forte et engagée, sont les éléments clefs de la réussite* », tout est dit par Andrew Carnegie.

La complexité et la charge du programme industriel d'EDF en France (Grand Carénage) viennent ajouter au défi. La rationalisation de ce programme et la limitation à la source des modifications restent indispensables (*cf. rapport 2023*).

Dans le même esprit, Nuclear Operations a travaillé sur le dispositif de supervision avec une analyse plus transversale de l'état des sites, un meilleur partage entre pairs, une détection plus précoce des signes de déclin et de nouvelles modalités d'appui. La durée d'exploitation des réacteurs AGR ayant été précisée, Nuclear Operations peut mieux planifier les investissements et la maintenance. J'attire l'attention sur l'investissement humain d'autant que les recrutements se poursuivent et qu'il faut préparer la génération qui assurera la transition entre les AGR et les EPR, sans recouvrement.

Une production en progrès malgré la modulation

La production aura finalement été supérieure aux objectifs, témoignant d'un progrès de maîtrise industrielle et illustrant que les performances de sûreté et de production vont de pair.

Passée par un seuil bas à 280 TWh en 2022, réhaussé de 40 TWh en 2023, la production électronucléaire française a retrouvé en 2024 le niveau des années antérieures aux problèmes de corrosion sous contrainte (CSC) avec près de 362 TWh.

Avec plus de 89 TWh d'électricité exportés, le système français bat un record inégalé depuis 2002 (77 TWh) et atteint un minimum historique d'émissions de CO₂. La France aura ainsi fourni à ses voisins, dont l'Allemagne, une électricité parmi les moins chères et les moins carbonées d'Europe (huit fois moins qu'au pays de l'*Energiewende*). L'amélioration de la disponibilité de nos sources de production ne peut, à elle seule, expliquer ce solde positif. Au-delà d'une plus grande sobriété, la baisse de la consommation française illustre malheureusement les difficultés de notre industrie.

Au Royaume-Uni, après deux ans de production sensiblement supérieure à l'objectif, Nuclear Operations a dû en 2024 réajuster sa cible de 38 à 37 TWh. L'événement survenu à Heysham 1 et l'arrêt préventif de ses deux réacteurs et des deux réacteurs, identiques, d'Hartlepool en sont à l'origine. La bonne tenue des plannings d'arrêts de maintenance et rechargement a minimisé l'impact de cet incident générique.

SOUVERAINETÉ ET PRÉPARATION DE L'AVENIR

Les investissements dans le cycle du combustible

Le projet de piscine centralisée d'EDF à La Hague laisse place à un futur complexe construit par Orano comprenant trois bassins d'entreposage de combustibles usés qui se substitueront aux piscines existantes.

Le fonctionnement des usines de l'aval du cycle progresse (UP2-800 et UP3 à La Hague, Melox à Marcoule), ce qui restaure progressivement l'approvisionnement en combustible Mox du parc d'EDF et éloigne le risque de saturation des piscines d'entreposage. La bonne maîtrise du cycle du plutonium contribue à notre souveraineté (cf. *rapport 2023*).

Partagée avec Orano, le CEA et l'État, la stratégie de l'avenir de l'aval du cycle, structure les prochaines décennies : grands travaux de rénovation et prolongation des usines du cycle actuelles, nouvelles usines (Melox2, UP4, ADEC, conversion d'URT), préparation de l'arrivée des réacteurs de la GEN IV (cf. *infra*).

Les ambitions du Nouveau Nucléaire

Ambition 2035

Le projet d'EDF, Ambition 2035, date prévisionnelle de couplage du premier EPR2, affiche la volonté de construire un réacteur en 70 mois. Pour ce faire, la filière industrielle doit se mettre en ordre de bataille (cf. *chapitre 8*). La Banque publique d'investissement soutient les entreprises du secteur pour améliorer leur productivité. Le Groupe a racheté les usines de GE où sont construites les turbines ARABELLE et des entreprises sensibles comme Jeumont Electric ou le robinetier Vanatome. L'intégration de ces nouveaux arrivants en termes d'appartenance au Groupe, de culture de sûreté et d'exigence qualité est un défi à relever sur un temps court.

La charge de nos ingénieries est maximale pour tenir les coûts et les délais, aucun risque ne doit être pris sur la sûreté. J'y ajoute volontiers une priorité : la refonte complète des règles générales d'exploitation (RGE) actuelles, que je qualifierais du futur proche, au rendez-vous de 2035 (cf. *chapitre 2*).

Les SMR, Nuward®

Les projets SMR (Small Modular Reactor), qualifiés de prometteurs depuis de nombreuses années, ont du mal à déboucher. Au-delà du slogan *Small is beautiful*, le modèle économique est interrogé (effet d'échelle, contexte réglementaire). Aux États-Unis, le projet de Nuscale® dans l'Idaho a été abandonné pour des raisons de rentabilité. L'autorité de sûreté américaine est mandatée pour développer une réglementation adaptée.



Relevé de paramètres dans les locaux électriques Blayais

Les options techniques du projet Nuward® se révèlent trop longues à développer. Pour respecter planning et coûts des clients potentiels, le Groupe a pris la décision courageuse de réorienter les développements pour s'appuyer sur des technologies éprouvées. Les équipes élaborent les nouvelles options de conception. La prochaine étape porte sur la réalisation du *conceptual design*, qui devrait être achevée mi 2026. La tête de série d'un réacteur de 400 MWe est prévue en France dès le début des années 2030.

RNR GEN IV

Les recommandations de 2023 des députés Raphaël Schellenberger et Antoine Armand sur les raisons de la perte de souveraineté et d'indépendance énergétique de la France tardent à se concrétiser. Dans les erreurs pointées par les parlementaires : avoir mis « à l'arrêt le réacteur Superphénix à neutrons rapides en 1997 et ne pas avoir préservé notre avance dans la recherche et le développement de la 4^e génération post-2019. » La leçon qu'ils en tirent est tout aussi pertinente : « sans recherche, nous sommes condamnés à avoir du retard : la recherche a besoin de visibilité et de moyens pour anticiper les cinq prochaines décennies : fermeture du cycle dans l'industrie nucléaire [...] la France doit également rattraper le retard pris en matière de recherche et relancer activement des programmes d'ampleur sur la 4^e génération, seule en mesure de changer d'échelle nos besoins en uranium importé et de réduire nettement, sans la résoudre à ce stade, la question des déchets. »

Pendant ce temps de réflexion, des pays investissent (réacteur à haute température HTR en Chine, projets américains et indiens, sodium et plomb en Russie, réacteur à neutrons rapides JSFR au Japon, etc.) certainement dans l'objectif d'économiser drastiquement une ressource en uranium qui ne manquera pas de s'épuiser.

En décembre 2024, Framatome et l'Agence japonaise de l'énergie atomique (JAEA) ont signé un accord de coopération stratégique sur le développement des réacteurs rapides. Ce partenariat permet de mutualiser les expertises et renforce la position de Framatome sur le marché mondial des technologies innovantes.

La fusion ASN-IRSN, des attentes et des obligations pour l'exploitant

La création au 1^{er} janvier 2025 de l'ASNR transformera le dialogue technique, désormais mené par une seule maison et non deux, et fera évoluer la relation entre autorité de sûreté et exploitant. C'est l'occasion de réaffirmer la responsabilité première de l'exploitant, qui avait pu s'émousser devant la multiplicité des études, questions et instructions ne laissant pas toujours ressortir la hiérarchie des sujets de sûreté. Si, inconsciemment, il était devenu confortable de laisser l'initiative à l'autorité de sûreté, le moment semble venu de faire vivre

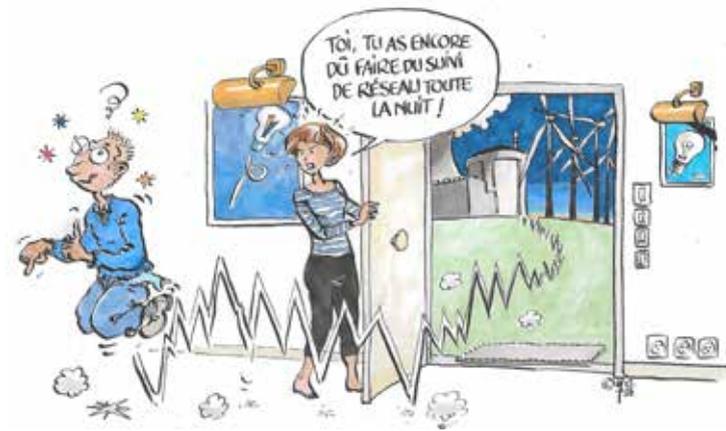
plus nettement la responsabilité de l'exploitant de bâtir une stratégie de sûreté et de manifester conviction et anticipation.

L'objectif n'est pas tant d'améliorer les relations, elles sont bonnes, que de toujours exposer les enjeux, définir les priorités, mettre en évidence les réalités de terrain. Un dialogue technique continu comme une plus grande ouverture des CNPE aux ingénieurs et experts de l'ASNR ne peuvent que le favoriser.

Je suggère d'inscrire la naissance de cette entité sous le signe de la stabilité des référentiels. L'accord de l'ASN de conserver les objectifs de sûreté du quatrième réexamen périodique des réacteurs 900 MWe pour leur cinquième est de bon augure.

Le nucléaire, variable d'ajustement

Pour des raisons économiques, les coûts fixes étant élevés et les coûts variables faibles, la plupart des centrales nucléaires mondiales fonctionnent en régime de base, c'est-à-dire à pleine puissance. La part de l'énergie nucléaire dans les bouquets énergétiques est relativement faible et, en l'absence d'une politique de décarbonation, l'équilibre production/consommation s'effectue par des centrales thermiques à gaz ou au charbon, aux coûts fixes faibles et aux coûts variables élevés.



Accro au suivi de réseau

Dès les années 80, à la suite du choix politique d'un mix énergétique majoritairement électronucléaire, les réacteurs français ont été dotés de la capacité à moduler leur puissance (suivi de charge) afin d'équilibrer production/consommation et de réguler la fréquence du réseau (cf. rapport 2023). Cette souplesse du système de contrôle de la réaction neutronique, dit des grappes grises, est une performance technique.

Auparavant cette manœuvrabilité (baisse puis hausse de 80 % en 30 minutes) était sollicitée sur une partie de sa plage, lors des pics de consommation du matin et du soir. L'arrivée massive de nouvelles sources d'électricité renouvelables (EnR), à la fois intermittentes et prioritaires sur le réseau, a multiplié les variations de charge. Elles ne sont pas sans risque sur la sûreté du système électrique (dont le black-out) ni sans contrainte sur le fonctionnement de nos installations. À long terme, elles remettent en cause le modèle économique.

D'une douzaine de réacteurs modulant sur une journée, il n'est plus rare qu'environ la moitié du parc nucléaire en service soit désormais concernée. Les équipes de conduite sont rompues à l'exercice mais une variation de puissance n'est pas une opération anodine. Exclusive de toute autre activité, elle légitime la sanctuarisation de la salle de commande. L'imprévisibilité et le faible préavis de ces modulations profondes perturbent la planification des activités, les maintenances programmées et les essais périodiques, touchant ainsi l'ensemble des métiers et des acteurs, prestataires compris.

De manière plus macroscopique, l'organisation des arrêts techniques devra être ajustée et nécessitera de conserver disponibles de nombreux réacteurs pour pallier l'intermittence des EnR. En hiver, au moment des grands appels de puissance sur le réseau, l'éolien, assujéti aux régimes météorologiques anticyclone/dépression, peut varier de plus de 20 GW en quelques heures. De même, en période d'ensoleillement, le nucléaire s'efface en milieu de journée et doit répondre au pic d'appel à la nuit tombée. De souplesse de fonctionnement, la modulation s'est transformée en contrainte, le nucléaire devant faire face à la demande, seul ou avec l'hydraulique, sauf à se résoudre à employer des moyens thermiques et carbonés.

En outre, le suivi de charge a forcément un impact sur la machine, plus fréquemment sollicitée par des cyclages profonds. L'augmentation des fortuits n'est pas flagrante mais c'est dans la durée que les effets seront appréciés.

J'estime que la priorité donnée aux EnR, dans une complémentarité unilatérale nucléaire-EnR, conduit à des variations de puissance dont il serait d'autant plus opportun de se dispenser qu'elles ne sont jamais anodines sur la sûreté, notamment la maîtrise de la réactivité, et sur la maintenabilité, la longévité et le coût d'exploitation de nos installations.

ET TOUJOURS L'HUMAIN

La valeur travail, entre épanouissement personnel et mission collective, quels repères et quels ressorts pour une nouvelle génération en quête de sens dans un univers complexe et incertain ? *« Il faut accepter la complexité de l'humain, toujours contextualiser et ne pas s'enfermer dans des certitudes. Aujourd'hui, même les sciences les plus*

avancées affrontent des incertitudes. C'est pourquoi l'enseignement doit comporter l'affrontement de ces incertitudes. » (Edgar Morin)

La culture sûreté offre l'opportunité de se préparer à cette confrontation et de donner du sens à l'exigence de nos métiers, au profit de la performance du collectif.

Toutes les petites victoires du Groupe, des ingénieries comme des sites en exploitation, sont de belles démonstrations de la force d'un collectif où chaque talent contribue de manière solidaire à un objectif partagé. L'échec se nourrit d'individualisme et de cloisonnement ; il n'est pas une fatalité. Le succès relève d'un état d'esprit qui s'appuie sur l'intelligence collective. Le collectif additionne les talents, divise le travail, réduit les risques et multiplie les résultats.

En 2023, j'ai insisté sur l'ordre entre exigence et bienveillance. Se contenter d'un niveau standard, c'est prendre le risque d'une dégradation progressive et insidieuse. Comme aux JO, il faut viser *« plus vite, plus haut et plus fort. »* Mais il ne sert à rien de renforcer les forts s'il reste même un seul faible. Ne pas l'abandonner, lui donner confiance et l'aider à progresser, l'inciter à se prendre en main pour s'améliorer au profit des autres, voilà l'essence du leadership. La performance collective ne se satisfera pas du maintien ni de la seule compensation des faiblesses individuelles. C'est la différence majeure entre tirer vers le haut et niveler par le bas ! Le leader doit élever ! La sûreté de nos systèmes complexes en dépend.

Sensible à la dimension humaine de la sûreté, j'ai souhaité consacrer un chapitre du rapport aux défis que le Groupe devra affronter. Et parmi tous les défis possibles, ceux qui relèvent des domaines organisationnels et humains, dans un monde confronté aux nouvelles technologies (*cf chapitre 9*).

En cette année 2024 qui voit le retrait du sous-marin nucléaire d'attaque *Émeraude* après 36 années de service actif, l'amiral sous-marinier et désormais inspecteur général souhaite partager une pensée émue au souvenir des dix membres de son équipage victimes de leur devoir, il y a trente ans déjà.

Le risque industriel reste toujours majeur et mortel même dans un sous-marin scrupuleusement respectueux de la sécurité plongée et de la sûreté nucléaire. L'humilité de l'exploitant, ou du combattant, l'oblige à ne jamais l'oublier sinon il se rappelle cruellement à lui.



Dans le Groupe, après une réelle prise de conscience des risques de la complexification, l'objectif est de passer à la pratique, en développant les responsabilités et les marges de manœuvre sur le terrain.

La conduite en France voit des progrès notables dans les intentions et les exigences ; la bataille est désormais celle de leur application, du pilotage en équipe et de l'homogénéisation.

Les priorités concernant les filières indépendantes de sûreté (FIS) : en France, élargir leur champ et harmoniser leurs pratiques, au Royaume-Uni, veiller à leur gestion prévisionnelle (GPEC).

Centrale de Flamanville 1&2

Le long chemin de la démonstration au terrain

02

Sommaire

01

02

03

04

05

06

07

08

09

Annexes

Abréviations

ACTUALITÉS DE LA SÛRETÉ

Des résultats convenables et des incidents qui incitent à la vigilance

Les indicateurs sont globalement satisfaisants dans les deux parcs bien que le nombre de non-respects de spécifications techniques d'exploitation (NCSTE) stagne au Royaume-Uni et celui des arrêts automatiques (AAR) dépasse l'objectif en France (29). Les consignations et les lignages exigent une vigilance accrue.

On constate toujours des incidents de maîtrise de la réactivité en France (dont une nouvelle borcation-dilution incontrôlée). Au Royaume-Uni, je retiens trois événements marquants :

- reclassement au niveau 2 de l'échelle INES, par l'Office for nuclear regulation (ONR), d'un incident de 2023 qui s'est répété à six



Intervention d'automaticiens en salle des machines Flamanville 1&2

mois d'intervalle : défaillance du démarrage automatique des *gas circulators* après la perte d'alimentations électriques ;

- rupture d'une tige de commande d'une vanne vapeur principale ; l'exploitant a décidé l'arrêt des quatre réacteurs du même type jusqu'à remplacement des organes en cause ;
- blocage d'un assemblage de combustible dans une machine de chargement.

Si les décisions opérationnelles furent adéquates, ces événements appellent à mieux prévenir le vieillissement des installations.

Certains CNPE en difficulté se redressent trop lentement, avec un risque d'usure et de désengagement du personnel. La DPN a renforcé son dispositif de détection et d'aide (*cf. rapport 2023*). Certains plans de rigueur en exploitation (PRE) restent trop foisonnants, d'autres deviennent bien ajustés, avec l'appui de la DPN. Un appui qui porte surtout sur le challenge, la mesure de la performance et le pilotage des plans. Il convient maintenant d'aider à l'amélioration des pratiques, sur le terrain. À cet égard, j'apprécie que l'Unité d'ingénierie d'exploitation (UNIE) développe un catalogue de missions de ce type et que la DPN évolue vers moins de prescriptions et plus d'appui. En réaction à la série d'incidents au démarrage de Flamanville 3 (*FLA 3, cf. chapitre 7*), la DPN a engagé un plan d'appui division. L'état-major britannique aussi fait évoluer la fonction d'appui, avec la volonté d'être plus proche des sites.

Le graphite et le terme de l'exploitation des AGR

Phénomènes inexorables, la fissuration et la perte de matière (allègement) du graphite peuvent déterminer la fin d'exploitation des réacteurs AGR.

La fissuration des blocs du cœur pourrait entraver la chute des barres de commande en cas de séisme ou créer des débris susceptibles de coincer des assemblages de combustible (AC). Les fissures sont de deux types :

- les KWRC, *key way root cracks*, dans les encoches des clavettes solidarifiant les blocs de graphite, qui ont conduit à fermer Hunterston B et Hinkley Point B, et pénalisent surtout Heysham 1 et Hartlepool, de moindre conception parasismique que Heysham 2 et Torness ;

- les SRGW, *seal ring groove wall cracks*, dans les anneaux d'encastrement des blocs, spécifiques à ces derniers réacteurs, qui pourraient créer des débris. Des essais ayant montré qu'extraire les AC resterait possible, leur apparition n'entraîne donc plus la fin immédiate de l'exploitation.

Quant à l'allègement du graphite, il réduit la modération neutronique. Dans ce cas, un incident d'arrivée d'eau dans le cœur, comme une rupture de tube de générateur de vapeur, augmenterait la réactivité. Des procédures permettraient d'y faire face ; un automatisme est envisagé.

En 2024, EDF Energy a examiné l'ensemble des données, modélisations et analyses de sûreté relatives au graphite. Le calendrier de fermeture des AGR encore en exploitation a été redéfini : Heysham 1 et Hartlepool en 2027, Heysham 2 et Torness en 2030. Les inspections tous les trois mois et les révisions régulières des analyses de sûreté seront déterminantes.

La CSC en mode industriel

Le traitement de la corrosion sous contrainte (*CSC*, cf. *rapports 2022 et 2023*) se poursuit grâce à des contrôles et réparations industrialisés et à une politique pertinente de remplacement préventif.

L'industrialisation des nouveaux procédés de contrôle par ultrasons (notamment les UTc développés par Intercontrôle), l'automatisation du soudage et l'acquisition de savoir-faire par l'ensemble des intervenants limitent la dosimétrie et l'allongement des arrêts. Des robots d'arasage des cordons de soudures ont été mis au point, les chantiers EPR2 en bénéficieront. Plus de 1 300 soudures ont fait l'objet d'examens non destructifs et d'expertises en laboratoire. D'ici à la fin 2025, le suivi de la CSC entrera dans un mode de maintenance courante.

Il reste à mieux comprendre en profondeur son origine et ses facteurs de déclenchement, en associant l'ensemble des experts. Et aussi à accélérer l'examen de solutions nouvelles (*overlay*, colliers MSIP de mise en compression).

Incendie : mieux maîtriser les charges calorifiques, la sectorisation et les calculs

Deux incendies de transformateurs principaux ont marqué le parc français en 2024. Si l'extinction a été efficace, cette récurrence n'est pas satisfaisante et tient à une fragilité des traversées électriques. Dans un des sites, un tel événement avait déjà eu lieu et la traversée en cause devait être remplacée ; dans l'autre, les capteurs de surveillance n'étaient pas utilisés.



Visite technique après modifications Atex en salle des machines Tricastin

La maîtrise des charges calorifiques reste en deçà des exigences, en France comme au Royaume-Uni. Je constate aussi que l'emploi de batteries au lithium se développe dans l'outillage portatif : il ne faut pas les recharger sans surveillance ni à proximité de matières inflammables, comme un départ de feu en zone contrôlée l'a illustré.

En matière de sectorisation, j'observe des portes bien fermées, témoins d'un progrès. En revanche, plusieurs dizaines de siphons de sols ont été détectés en anomalie en France. De nombreux défauts, variés, affectent aussi les trémies et font l'objet d'une *task force* nationale : je m'intéresserai de près à leur résolution.

Des groupes de pompiers professionnels permanents sont en cours de constitution dans certains CNPE. Je m'assurerai qu'ils maintiennent leur entraînement et motivation malgré le faible nombre de feux et que les sites en tirent parti pour améliorer leurs pratiques et leur culture incendie. Il ne faudrait surtout pas estimer que leur présence peut alléger les devoirs de prévention : l'incendie est le premier risque dans un site industriel et l'exploitant doit s'en sentir responsable. La culture incendie doit aussi être renforcée au Royaume-Uni ainsi que la fiabilité des matériels de détection et d'extinction.

En ingénierie, on multiplie les études de réexamen, avec des méthodes sophistiquées. Les référentiels sont en évolution permanente pour répondre à des exigences croissantes, avec des interactions entre R&D et instructions pendant les réexamens eux-mêmes. Les méthodes des 4^e réexamens de sûreté (RP4) du palier 1 300 MWe évoluent par rapport à celles des RP4 du palier 900 MWe, elles-mêmes différentes de celles de FLA3 qui vient de démarrer, et celles de l'EPR2 demeurent en suspens. Il me semble que ces évolutions devraient être discutées à froid. La rédaction en cours des méthodes pour le parc et l'EPR2 devrait tirer parti de ces enseignements et viser à une simplification. Surtout, j'observe que les ingénieries, plongées dans des centaines d'études calculatoires, peinent, par manque de temps, à en tirer des synthèses quant à la maîtrise des risques.

L'ingénierie aussi doit être plus proche de la source froide

Les pluies cévenoles d'octobre n'ont pas eu de conséquences sur les réacteurs de la vallée du Rhône. L'organisation *ad'hoc* avait été mobilisée, les rondes préalables effectuées et les astreintes prévenues. Dans la région, les précipitations, les plus fortes en 40 ans, ont atteint plus de 600 mm en 24 heures. Après tout événement de ce type, il convient de vérifier s'il faut reconsidérer les hypothèses et référentiels (*cf. rapport 2023*). J'invite aussi à bien veiller aux systèmes de drainage des eaux (SEO).

Dans un site français en bord de mer, l'arrivée massive d'algues dans la source froide a provoqué un arrêt automatique de réacteur (AAR). Cet événement montre qu'il faut continuer à progresser en complément de l'amélioration des moyens de conduite de ces dernières années. Dans un site britannique sensible à ce phénomène, j'ai constaté les progrès dans la prévision et la conduite de ces événements. La source froide y fait l'objet d'investissements appréciables.

J'ai vu des modifications, destinées à prévenir les risques dus au frasil, qui gênent le dragage du canal d'amenée et la récupération des bois flottés charriés par le courant. Ailleurs, de telles modifications avaient en 2023 accentué un incident d'inondation de source froide. En matière d'agressions, j'appelle les ingénieries à travailler davantage sur le terrain, pour apprécier la configuration des lieux et les conditions d'exploitation. Les études sur plan ne peuvent suffire.

Exploiter les diesels selon les règles de l'art, ils nous le rendront !

La ré-internalisation de certaines maintenances et l'immersion de techniciens à l'Unité logistique et maintenance (ULM) ou chez les fabricants favorisent l'appropriation des matériels et l'acquisition des compétences. La situation des diesels d'ultime secours (DUS) s'améliore, *via* la réalisation de virages lents. J'apprécie la volonté d'en arrêter les essais à vide.

Néanmoins, les virages lents ne sont pas généralisés aux autres diesels et nombre d'essais restent trop courts et à vide. Des incidents interrogent aussi le niveau technique de certains CNPE. Ainsi, un essai de la protection de survitesse a conduit à dépasser de près de 100 % la vitesse maximale du moteur, entraînant sa réfection complète : la protection, objet du test, n'a pas fonctionné et les opérateurs ne surveillaient pas le tachymètre. On prévoit de compléter les analyses de risque et d'ajouter la surveillance de la vitesse dans la procédure : c'est plutôt le sens du geste métier qui est à retrouver.

Je réitère les recommandations de mon rapport 2021, appelant au développement homogène des compétences des sites et à exploiter et tester les diesels selon les règles de l'art. Cela est d'autant plus nécessaire que le développement massif des EnR intermittentes fragilise le système électrique.

Au Royaume-Uni, la fiabilité des turbines à gaz de secours reste insuffisante malgré l'action d'une *task force* en 2023. De plus, un site a connu des problèmes de diesels.

DES INSTALLATIONS BIEN TENUES MAIS LE PATRIMOINE LÉGITIME DES INVESTISSEMENTS

L'état des installations témoigne d'une culture de site. Il varie d'un site à l'autre et il est en général bon. Les matériels classés de sûreté sont globalement bien tenus. Certaines parties des bâtiments des auxiliaires nucléaires (BAN) de sites français sont vétustes, par exemple leur salle de commande.

Les stations de pompage se sont améliorées. En bord de mer, la lutte contre la corrosion doit être permanente, dans toute l'installation, or ce n'est pas partout le cas. Plutôt que d'alimenter le pot de DT (liste des demandes de travaux), des équipes devraient s'y consacrer.

Dans un site britannique, des fuites de réchauffeurs laissent de l'humidité pénétrer dans le circuit de CO2 de refroidissement du cœur, hypothéquant le contrôle de sa chimie et la tenue à terme des matériels. En outre, le vieillissement des équipements engendre des événements marquants (*cf. supra*).

Si l'indicateur de pot de DT s'améliore, le patrimoine a besoin de plus d'investissement humain et financier. Le processus DT permet d'identifier les priorités parmi les centaines de demandes de travaux mais il tend aussi à laisser trop longtemps insatisfaites celles qui n'affectent pas immédiatement la production ou les règles générales d'exploitation (RGE). J'observe une forme de déconnexion entre le processus et le sens de propriétaire ; une tendance à ne s'intéresser qu'au prescrit, à classer les priorités et justifier les délais plutôt qu'à réparer ; une accoutumance aux écarts et un risque de résignation.

Traiter rapidement ce qui peut l'être et anticiper les défauts en entretenant le patrimoine doivent être les maîtres mots. Le premier suppose de pouvoir intervenir efficacement, le second d'investir sans céder aux sirènes de réductions budgétaires (cf. chapitre 6). En matière de culture, les individus doivent se sentir propriétaires de la machine et être responsabilisés. Tout le reste en découlera.

COMBUSTIBLE : DES ÉVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES SOLIDES

Avec cinq assemblages de combustible (AC) inétanches (0,072 %), dont aucun de MOX, la performance du parc français est bonne, sans égaler le record de 2023 (2 AC inétanches). La corrosion des gaines en M5 paraît maîtrisée grâce aux fortes teneurs en fer, la connaissance fine du phénomène restant à parfaire. Le nombre de ressorts cassés par CSC (corrosion sous contrainte) diminue. Le développement de CRUDS (dépôts de produits de corrosion sur les gaines) doit être surveillé et il convient de maintenir l'attention aux corps migrants.

La feuille de route des produits est bien établie (cf. rapport 2023) et je salue qu'ait été programmée l'introduction de grilles intermédiaires de mélange qui apportent des marges significatives vis-à-vis de la "crise d'ébullition". J'estime indispensable que l'EPR2 s'inscrive d'emblée dans la feuille de route du parc. À terme, le nombre de produits va par ailleurs doubler, ce qui imposera des processus qualité appropriés.

Un cas d'inétanchéité a été observé au Royaume-Uni en 2024. Les investigations pour en identifier la cause sont en cours et les résultats

prévus mi-2025. C'est un site sur lequel des inétanchéités avaient déjà été observées, du fait de dépôts de carbone sur les gaines, ce qui avait conduit à des injections d'oxygène et à des précautions spécifiques dans les phases d'arrêt et de redémarrage.

La *fuel route* reste un domaine délicat, du fait de la complexité et de l'âge de ses installations ainsi que d'obsolescences. Deux incidents sérieux l'illustrent : le blocage d'un AC dans une machine de chargement connectée au cœur et, dans un autre site, celui d'un élément dans l'installation de démantèlement d'assemblages.

LE DEFUELING EN BONNE VOIE AU ROYAUME-UNI

Le déchargement des réacteurs définitivement arrêtés progresse nominalement. Il s'est achevé à Hunterston B fin 2024 et dans le premier réacteur de Hinkley Point B mi-2024. A Dungeness B, le déchargement s'effectue à chaud (cf. rapport 2023) : il a été montré que tous les assemblages pouvaient être déchargés ainsi, même ceux de moindres caractéristiques mécaniques. Les analyses tâchent de justifier que le déchargement pourrait aussi s'effectuer à froid, ce qui le simplifierait.

La préparation du transfert à Nuclear Restoration Services (NRS) des réacteurs après déchargement a franchi des étapes significatives. La réception des assemblages à Sellafield s'est bien déroulée cette année encore et des investissements ont fiabilisé l'usine (cf. rapport 2022).

CONDUITE EN FRANCE : PILOTER EN ÉQUIPE ET HOMOGENÉISER

La conduite reste en France trop hétérogène. Le pilotage en équipe, un des fondamentaux qui a pu s'éroder, doit redevenir systématique. Dans les industries à risque, communication et vérification croisée sont des principes généraux : la situation peut n'être pas celle que l'on se représente et chacun, même le plus expérimenté, peut commettre une erreur dans l'exécution d'une tâche, même mille fois répétée, banale, surtout une tâche banale (cf. chapitre 4). Il faut se parler des manœuvres que l'on entend faire et vérifier l'un l'autre les ordres que l'on donne à la machine. Nombre d'incidents de ces dernières années, notamment de maîtrise de la réactivité, le corroborent.

Si mes observations portent à dessein sur la conduite en France, je note qu'au Royaume-Uni aussi, des signes de manque de rigueur ont été constatés, par exemple des NC STE ou des erreurs de consignation. Le fort renouvellement de ces dernières années, réduisant l'expérience des équipes, a quant à lui été résolu dans les sites que j'ai visités.



Centrale de Hinkley Point B

Maîtrise de la réactivité : l'IGSNR entendue

Je salue que la DPN ait publié de nouvelles exigences et un nouveau Guide de maîtrise de la réactivité. Toutes les manœuvres touchant à la réactivité feront ainsi l'objet d'une communication préalable et d'une surveillance appropriée. Ces dispositions répondent pleinement à ma recommandation de 2023. Il faut les appliquer dans toutes les salles de commande, avec clarté et détermination.

J'ai rencontré une équipe qui les a rapidement trouvées bénéfiques et m'en a vanté la pertinence : « *Se parler et vérifier rassure le collectif.* » Au-delà de la maîtrise de la réactivité, elles fonderont à mes yeux une transformation plus globale de la conduite.

Cet exemple illustre les bénéfices de l'animation métier (*cf. rapport 2023*) qui définit et harmonise les pratiques. La relayer dans les sites est indispensable, de manière homogène, ce qui peut demander du courage managérial, voire une capacité de confrontation.

La formation comme moteur de l'homogénéité de la conduite

Avec l'animation métier, la formation doit être l'autre pilier d'homogénéisation des pratiques et des comportements. J'ai vu de bonnes choses dans certaines équipes : préparation de "planches", retour à la technique derrière les procédures, thèmes de simulateur choisis en fonction des difficultés observées en quart, entraînements sans procédures, présence du management aux séances de simulateur, bons couplages avec le service commun de formation (SCF), etc. Mais ces bonnes pratiques peuvent rester spécifiques à une équipe, et sa voisine ou d'autres sites ne pas se sentir concernés. Mesure générale quant à elle, je salue le déploiement de mini-simulateurs numériques Saturne dans tous les services de conduite. Que les instructeurs observent des quarts en salle de commande, comme cela se fait dans certains SCF, me paraît une base de ce métier.

La formation se doit d'être homogène et la répartition des rôles et responsabilités entre la DPN et l'Unité de professionnalisation pour la performance industrielle (UFPI) doit être réexaminée. La formation à la théorie et à la conduite accidentelle est assurée par l'UFPI, la pratique de la conduite normale essentiellement par immersion dans une équipe. De cette équipe-là, on prend les habitudes, bonnes ou mauvaises. Certains services de conduite compensent en dédiant de très bons opérateurs à un pôle de compétence qui forme tous les futurs opérateurs. Cette bonne pratique révèle aussi un manque. Le moment semble venu de se réinterroger sur la formation à la conduite normale et aux pratiques en salle de commande et sur le rôle de l'UFPI en la matière.

J'estime aussi nécessaire de renforcer l'autorité de l'UFPI lors des habilitations et des recyclages. Et j'appelle les CNPE à mettre fin aux équivalences délivrées lors du covid, permettant de différer certains recyclages. J'invite les directeurs de CNPE et leurs filières indépendantes de sûreté (FIS) à s'y intéresser de près.

Tempérer le suivi de réseau

Le suivi de réseau se pratique depuis des décennies pour accompagner les pics de consommation du matin et du soir. Mais le développement massif des EnR intermittentes, prioritaires sur le réseau, contraint les réacteurs nucléaires à beaucoup plus de manœuvres (2 000 en un semestre). Moins anticipables, ces dernières interviennent à tout moment de la journée, voient leur programme varier en permanence et touchent un plus grand nombre de réacteurs. J'ai aussi observé la pression du gestionnaire du réseau sur les salles de commande.

Si le suivi de réseau dans le cadre du domaine autorisé est facteur d'entraînement et de compétences, sa généralisation met certaines équipes à l'épreuve. Il engendre aussi des interrogations, lorsqu'il faut arrêter un réacteur que l'on vient de redémarrer après un arrêt de tranche intense, pour donner la priorité à une autre énergie décarbonée.

Une réflexion s'impose pour garantir une production nucléaire en base, mieux équilibrer entre producteurs la charge d'adaptation à la consommation et donner davantage de préavis aux variations de puissance des réacteurs afin de garantir la préparation et la sérénité des équipes de conduite.

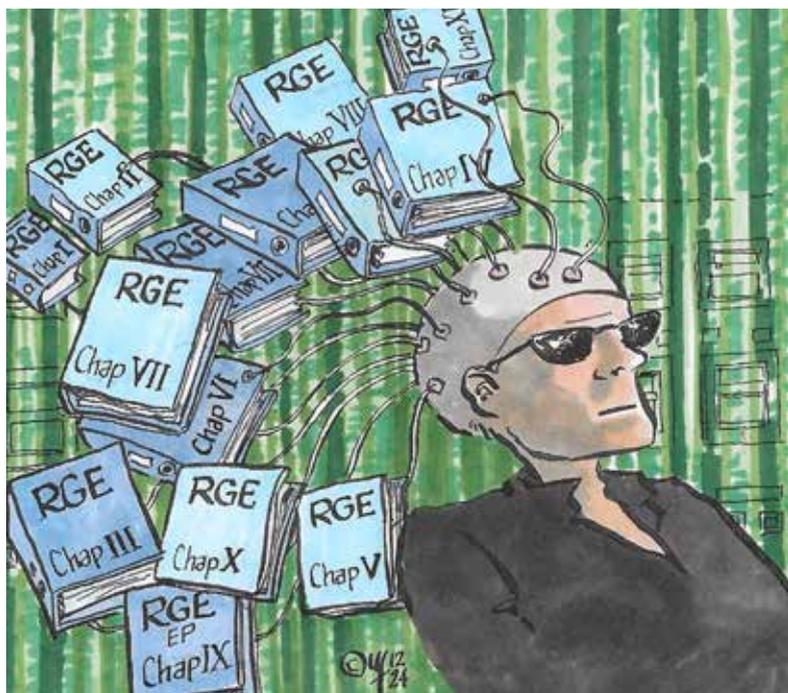
ON N'EXPLOITE PAS UNE DÉMONSTRATION DE SÛRETÉ MAIS UN RÉACTEUR

Traiter la complexité reconnue comme une priorité

La prise de conscience de l'urgence à réduire la complexification, car elle pose des problèmes de sûreté, est large et bénéfique, comme en témoigne le choix de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) d'y consacrer les travaux du COFSOH. De puissants freins aux simplifications demeurent néanmoins (*cf. chapitre 9*).

Plusieurs initiatives de la DPN me paraissent positives :

- la suppression du formalisme des visites managériales de terrain (VMT), remplacé par des échanges sur ce que l'on a vu afin d'en tirer des axes de travail ;
- l'animation métier, visible en conduite (*cf. supra*), qui incite à parler des pratiques et de technique plutôt que de laisser libre cours à l'exégèse des textes ;



Les RGE en tête

- l'objectif de l'Unité d'ingénierie d'exploitation (UNIE), dans son volet stratégique, de simplifier l'exploitation, sur le terrain.

Le besoin crucial de réviser les RGE

La France s'est mise à l'écart des pratiques internationales en matière de RGE, y compris sur les EPR. Comme l'illustre FLA3, notre approche, d'une sophistication vertigineuse, est au bout d'un système. Sans atteindre le même paroxysme, les RGE du parc suivent un chemin analogue. « *On doit choisir entre la lettre et le sens* », « *on rentre davantage par les STE que par la machine* », « *la connaissance des règles a pris le pas sur celle de la machine* », tel est le dilemme des CNPE. Il y a risque pour la sûreté. Heureusement, la prise de conscience est réelle et la réflexion engagée.

J'approuve qu'au chantier des RGE du futur, à l'horizon de 2035, s'ajoute celui de leur simplification rapide, sans en changer la structure mais en appliquant quelques idées concrètes, par exemple ne plus y intégrer les exigences agressions, supprimer les replis sur cumuls de groupe 2, réparer en l'état plutôt que replier le réacteur, sortir le centre de crise local (CCL) de Flamanville des STE (spécifications techniques d'exploitation), etc. Ces pistes, qui reçoivent un accord de principe

de l'ASN, vont dans le sens de la sûreté et correspondent à mes recommandations. J'invite à rapidement transformer l'essai.

J'estime qu'il faut se saisir de l'occasion pour réduire drastiquement le nombre de critères sûreté des essais périodiques, qui ne devraient porter que sur les grandes valeurs fonctionnelles. Les RGE ne diront jamais tout de la disponibilité des matériels, qui repose sur les rondes, la maintenance, la connaissance des équipements par leurs responsables et les essais périodiques. Prononcer la disponibilité d'un matériel requiert des compétences, du jugement, une responsabilité. Cocher des cases de critères toujours plus nombreux n'en dispensera pas. Dans le même esprit, j'appelle au sens des ordres de grandeur et des constantes de temps dans la définition des critères et leur mesure.

La rédaction des RGE de l'EPR2 doit, à mes yeux, intégrer d'emblée ces pistes, ce qui suppose un pilotage global de la stratégie d'évolution des RGE (cf. chapitre 7).

Ingénierie : le terrain et le juste nécessaire

L'ingénierie, qui travaille beaucoup et avec de grandes compétences, souffre de trois maux :

- le taylorisme : à force de multiplier les études par centaines et de découper celles-ci en sous-études, on finit par perdre le sens et la vision globale ;
- une insuffisante fréquentation du terrain et connaissance de l'exploitation et de son REX ;
- une croissance rapide des effectifs avec un programme de formation initiale pas encore industrialisé, malgré des progrès chez EDF et de bonnes pratiques chez Framatome. Les immersions en CNPE et les capacités d'encadrement ne sont pas proportionnées au volume de recrutements (cf. rapport 2023).

Afin de développer le "bien concevoir", le sens des équilibres et celui du "juste nécessaire", j'estime impératif de donner toute leur place à la pratique du terrain, au jugement d'ingénieur, à la maîtrise des ordres de grandeur et des chiffres significatifs ainsi qu'à la responsabilité (« *quand on ne veut pas prendre de responsabilité, on demande des démonstrations* ») (cf. chapitre 9).

LES FIS, TOURS DE GUET DU SENS DE LA SÛRETÉ

Dans les sites, attention aux GPEC et à la capacité de recul

Dans les sites britanniques, le tandem TSSM (*Technical safety and support manager*) – NSG (*Nuclear safety group*) se montre solide. Si l'INA (*Independent nuclear assurance*) fait des constats pertinents, sa GPEC reste en difficulté et je réitère mon alerte. Celle des sites français s'améliore mais certains CNPE souffrent encore (malgré la transformation des postes d'auditeurs en IS, ingénieurs sûreté). J'appelle les services centraux à résoudre ces problèmes.

Dans les sites français, les IS manquent de recul, à cause du cadrage étroit des évaluations de tranche et de la complexité des RGE. Experts des RGE, ils se retrouvent en première ligne de l'analyse. *A contrario*, j'ai apprécié que des IS m'exposent une appréciation de haut niveau de la sûreté de leur CNPE et qu'ils analysent à froid les prises de décisions opérationnelles de l'année. L'unité d'ingénierie d'exploitation (UNIE) réexamine le cadre des évaluations de tranche, en l'élargissant : je suivrai avec intérêt cette initiative bienvenue.

Mon rapport 2023 regrettait que la formation, les jurys et l'encadrement des IS les conditionnent à un soin exclusif de la lettre des RGE et à se dénier tout devoir de discernement. L'appellation de doctinaire en témoigne et ne favorise pas l'image d'un poste qui doit être d'ingénieur plutôt que notarial. Plus encore, la sûreté est en risque lorsque « *l'on n'arrive pas à rendre cohérents la lettre et le sens.* » Le nouveau noyau de cohérence des métiers de la sûreté en prend acte, ce qui est important.

Évolutions dans les services centraux

À la DPN, l'inspection nucléaire (IN) s'oriente vers l'appréciation de performance plutôt que la seule vérification de conformité. C'est un changement bienvenu. L'intégration de ses inspections (EGE) et des revues de pairs de WANO, initiée il y a quelques années, est désormais totale. L'IN mènera en parallèle des inspections plus réactives sur des sujets ciblés, ce qui est également positif. Elle manifeste des points de vue pertinents.

L'INA des services centraux de Nuclear Operations a, ces dernières années, manifesté avec indépendance des vues solides. Dans la période de renouvellement d'effectifs dans laquelle elle s'inscrit, de même que l'ONR, elle devra veiller à conserver son ancrage de terrain et son indépendance.

Dans l'ingénierie et les projets, la parcellisation demeure

Si des FIS existent dans toutes les unités d'ingénierie et de projets et si elles participent à un nombre croissant d'instances, une grande hétérogénéité demeure, qu'il s'agisse de façon de travailler, de connaissance de terrain, de percutant dans l'expression, d'apport à la sûreté.

J'ai apprécié que certaines FIS (DIPDE, DTI Framatome) examinent les compétences et la formation ou que d'autres (DIPDE) soulignent les risques de la taylorisation.

Parcellaires, morcelées, diverses, les FIS de l'ingénierie et des projets manquent de cohésion et de synthèse. Elles doivent rapidement trouver leur place et affirmer leur légitimité dans la nouvelle organisation.

RECOMMANDATIONS

Devant l'hétérogénéité des pratiques en salle de commande, je recommande aux directeurs de la DPNT et de la DPN de réexaminer les modalités de formation à la conduite normale et aux pratiques collectives de salle de commande.

Devant la répétition d'incidents techniques dans les réacteurs AGR, je recommande au directeur de Nuclear Operations de renforcer le traitement de leurs causes profondes, le pilotage du retour d'expérience technique entre sites et les plans d'entretien des matériels.



Centrale de Torness

L'évolution des résultats sécurité nécessite une réaction, des presque accidents auraient pu avoir des conséquences dramatiques.

Les sensibilisations et les programmes d'amélioration ne suffisent pas : ils doivent se traduire par du concret et s'incarner au quotidien.

En France, la maîtrise de la contamination, sujet d'attention, progresse ; la dosimétrie collective stagne. Au Royaume-Uni, les résultats en radioprotection restent stables et de bon niveau.

Sujet à part entière, le domaine des déchets nucléaires mérite toute notre attention.

Sécurité et radioprotection : concrétiser sur le terrain

03

Sommaire

01

02

03

04

05

06

07

08

09

Annexes

Abréviations

TOUR D'HORIZON DE L'ANNÉE 2024

Les résultats sécurité 2024 incitent à rester vigilants. Un accident mortel est survenu à Nogent lors d'un trajet domicile-travail à vélo. L'accidentologie est à la hausse en France et au Royaume-Uni avec un doublement du nombre d'accidents avec arrêt de travail pour Nuclear Operations (12 en 2024).



Manœuvre de cellule électrique Saint-Laurent-des-Eaux B

Sur les sites français, les faiblesses concernent les travaux en hauteur (cf. *infra*) ainsi que la conformité réglementaire. Une attention particulière doit aussi porter sur les blessures aux mains et d'autres risques : chimie, anoxie, explosion (cf. *infra*). On assiste à une

recrudescence des accidents de trajets à deux-roues, notamment pour les ingénieries dans les grands centres urbains. Au Royaume-Uni, les causes prépondérantes des accidents avec arrêt sont liées aux manutentions à la main, à des chutes d'objets mal rangés et à un manque de vigilance des intervenants. Je crains aussi que le passif des demandes de travaux non traitées ne dégrade les conditions de sécurité dans les installations (par exemple la chute d'un morceau de béton dans un bâtiment en mauvais état).

En 2023, j'intitulais le chapitre sécurité et radioprotection « Ce sont les comportements qui comptent. » Je compléterai cette année en affirmant que « ce sont les situations de travail qui conditionnent les comportements » (cf. *chapitre 4*). Il faut traiter non seulement les risques critiques et les règles vitales, le réglementaire et les contrôles associés, mais aussi le travail quotidien et son lot de difficultés pratiques. Dans les domaines sécurité/radioprotection, comme en matière de sûreté, les questions de culture et de leadership sont essentielles pour mettre chacun en situation de réussir son activité sans risque.

À ce titre, j'ai observé des signes positifs :

- un respect des règles vitales qui a permis d'éviter des accidents potentiellement graves, en particulier le respect des zones d'exclusion de levage et la vérification de l'absence de tension électrique ;
- une plus grande collaboration entre d'une part les professionnels de la sécurité (moins portés sur le rôle de gendarme) et d'autre part les intervenants. Tous sont plus alignés sur la recherche de solutions pragmatiques ;
- le déploiement dans les deux parcs de programmes attestant de la volonté de ne pas se satisfaire des performances actuelles ; Nuclear Operations en a lancé quatre ciblant les travaux en hauteur, la conformité électrique, la sécurité des systèmes à risque et l'état des structures (métalliques et génie civil).

Les sociétés récemment acquises par Framatome vont devoir s'approprier la culture sécurité et les exigences de leur maison mère. C'est un sujet suivi de près par l'inspecteur général de Framatome.

En France, la dosimétrie collective est maîtrisée dans une période de forte charge industrielle mais reste élevée et ne s'améliore que trop lentement. Au Royaume-Uni, elle est basse tant dans les réacteurs

AGR que dans le REP de Sizewell B. En matière de contamination, je relève :

- en France, 7 événements engendrant une dosimétrie cutanée dont 2 classés INES 2 ;
- au Royaume-Uni, l'augmentation des événements de transport (propreté radiologique).

SÉCURITÉ : DES POINTS D'ATTENTION

Travaux en hauteur

Les deux parcs ont connu une année difficile. Plusieurs événements à haut potentiel mettent en cause la perception des risques, la vigilance partagée et le comportement des intervenants. Ils questionnent aussi sur la préparation du travail en amont, la sollicitation des experts et la pertinence des analyses de risques.

En 2024, des travailleurs ont été exposés à des risques de chute potentiellement mortelle, dus à des protections collectives très détériorées (crinolines, plates-formes de travail). Des situations dangereuses souvent connues mais qui ne remontent pas au bon niveau. Le processus d'identification n'étant pas appliqué de manière cohérente sur tous les sites, ces anomalies sont traitées trop tardivement et il est difficile d'en obtenir un état des lieux au niveau du parc. Je salue l'action décidée par la DPN pour y remédier. En France, les réexamens de sûreté décennaux conduisent à des investissements significatifs pour améliorer la sûreté mais les installations contribuant à la sécurité mériteraient la même attention.

Une chute qui aurait pu être grave

En septembre 2022, l'inspecteur du travail a identifié un risque de chute de hauteur sur le chantier d'un générateur de vapeur. Ce risque n'a été ni tracé par le site (absence de demande de travaux ou de constat de situation dangereuse), ni pris en compte dans la préparation de l'arrêt de 2024. Un manque de rigueur des inspections préalables et une mauvaise appropriation (préjob briefing et minute d'arrêt) par les intervenants n'ont pas permis d'identifier le risque de chute. Lors du décalorifugeage, un intervenant a heurté la butée de pied en reculant et, déséquilibré, a chuté de 3 mètres, heureusement sans blessures importantes.

Comme indiqué dans mon rapport 2023, les causes relatives aux connaissances et aux comportements des travailleurs sont majoritaires. Elles relèvent du non-respect d'exigences de base : non-port ou mauvaise utilisation des harnais, franchissement de garde-corps ou non-fermeture de trappes de plates-formes. D'autres causes apparaissent : modifications d'échafaudages inadaptées, mauvais

stockage de matériels avec risque de chute, moyens de manutention mal utilisés. La chute d'une tige de visite (500 kg) de condenseur a blessé un ouvrier à la cuisse et à la cheville et aurait pu entraîner des conséquences plus graves.



Inspection d'un transformateur Heysham 2

Le parc britannique est sensibilisé au risque de travail en hauteur depuis un accident mortel en 2010. Des investissements et un programme d'inspection systématique ont été réalisés pour garantir la conformité des installations. Toutefois, le fort renouvellement des effectifs ces dernières années a érodé les connaissances et la perception des risques. Plusieurs événements à haut potentiel en ont résulté en 2023 et début 2024. Pour y remédier, le programme Travail en hauteur se concentre sur deux axes : la qualité des dossiers d'intervention et les comportements avec le programme *Behavioural Based Safety* (BBS).

Les arrêts de tranche concentrent le risque de chutes d'objets, comme le confirment les revues du type *Early Outage Safety Reviews*. Les formations avant les arrêts rappellent les exigences. Les sites sont également encouragés à identifier les zones à risque élevé et à installer des protections permanentes telles que des grillages sur les garde-corps et autour des plates-formes d'accès.

En matière de travaux en hauteur, le chantier de Hinkley Point C, de nouveau visité par l'IGSNR en 2024, présente un concentré de risques auquel la direction de chantier est très attentive. En complément des dispositions concrètes sur le terrain, elle encourage la remontée d'information, notamment des événements à haut potentiel, pour identifier et traiter les causes comportementales et organisationnelles.

Risques chimiques, explosion et anoxie

Dans nos installations, certains risques sont plus sournois et méritent une attention spécifique. C'est le cas des produits chimiques, des gaz explosifs ou suffocants. Essentiels à une exploitation sûre, ils peuvent devenir dangereux pour ceux qui effectuent des activités à leur proximité ou dans des environnements confinés.

La situation vis-à-vis du risque chimique est contrastée en France : si certains systèmes ont fait l'objet d'investissements importants (par exemple, préparation du bore), d'autres en manquent ou souffrent d'une insuffisance de maintenance accroissant les risques de fuite. Au Royaume-Uni, sur proposition des *Chief Engineers*, un programme de rénovation a été lancé. L'état de ces systèmes (retards de maintenance, passif de demandes de travaux, etc. cf. [chapitre 6](#)) mériterait plus d'attention.

D'une toute autre nature, le risque d'anoxie est difficile à détecter et plusieurs accidents mortels dans l'industrie hors nucléaire en témoignent. Pour le maîtriser, nous recourons à des processus d'accès et à des matériels de détection robustes. Malgré ces mesures, j'ai observé en France des freins à leur mise en œuvre comme la pénurie d'oxygénomètres et d'explosimètres en magasin.

Les risques associés aux atmosphères explosives sont couverts par des réglementations spécifiques. La conformité des équipements est généralement bien gérée dans les deux parcs. En France, les modifications des boîtes à gants d'échantillonnage, pourtant nécessaires, prennent trop de temps à être déployées (contraintes d'exploitation). Des mesures compensatoires sont en place mais je crains qu'au fil du temps les travailleurs ne s'habituent à une situation dégradée.

GESTION DES DOSES : TROUVER LE MEILLEUR ÉQUILIBRE

La législation fixe des limites à l'exposition des travailleurs aux rayonnements sur une période de douze mois glissants. Les exploitants sont aussi tenus de respecter le principe ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) qui demande de rechercher le meilleur équilibre entre les aspects radiologiques, techniques et économiques. Planification et préparation permettent de peser les différentes options pour y parvenir et de choisir la meilleure.

En France, pour réduire le « terme source » (débit de dose des installations) qui reste supérieur à la moyenne internationale, la DPN a décidé de lancer un programme d'assainissement des circuits (dont assainissements chimiques) et de traitement des points chauds. Les premiers résultats des assainissements menés sur quatre réacteurs en 2024 sont encourageants. Sur tous les réacteurs, il s'agit de mieux mettre à profit les opérations de mise à l'arrêt froid et de purification



Contrôle dosimètre Hinkley Point B

pour réduire davantage le terme source. Je suivrai attentivement l'évolution de ces initiatives et leur résultat.

EDF continue d'investir dans diverses initiatives pour optimiser l'exposition collective, en améliorant la prédiction (à l'aide du logiciel CADOR) et en développant des techniques robotisées d'inspection non destructive pour éloigner les travailleurs des zones à fort risque d'exposition.

Développement des technologies END : un atout supplémentaire

En réponse à l'affaire de la corrosion sous contrainte, la DQI a développé, avec ses partenaires spécialisés, une technique d'examen non destructif (END) par ultrasons multiéléments (cf. [rapport 2023](#)). Cette technique, qui rend le processus d'inspection plus fiable et reproductible, a ensuite été améliorée en robotisant la mesure et l'enregistrement. L'automatisation de l'inspection a aussi permis de réduire la dose collective significativement, les techniciens d'inspection pouvant se tenir à distance des zones de contrôle pendant la mesure.

Au Royaume-Uni, même si les réacteurs AGR sont moins dosants, l'accumulation progressive de poussière de graphite dans certaines

zones augmente le débit de dose. Les sites doivent s'y adapter dans le cadre des prolongations d'exploitation. Le responsable de radioprotection du parc a demandé aux sites de réduire le nombre de points chauds ou, le cas échéant, de justifier de mesures de réduction du débit de dose. Le comité ALARA du parc suivra l'avancement du plan d'actions.

01 DÉCHETS NUCLÉAIRES : DES MÉTIERS À VALORISER ET DES FILIÈRES À OPTIMISER

02 Un poids du réglementaire très différent en France et au Royaume-Uni

03 En France, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a choisi de ne pas suivre les normes Euratom et, dans une logique ferme de zonage, considère que toute matière issue d'une zone contrôlée doit être classée comme déchet nucléaire. Ainsi, de nombreux déchets dits nucléaires en France ne sont pas contaminés. Cela ne va dans le sens ni de l'optimisation des stockages, ni du recyclage.

05 Selon leur nature, les déchets nucléaires sont répartis en filières de traitement soumises à autorisation et qui, une fois sécurisées, fonctionnent bien. Mais l'obtention de l'autorisation pour une nouvelle filière est un processus fastidieux (par exemple, 15 ans pour l'élimination des piles) et certains déchets restent encore aujourd'hui sans filière (soude, boues, graphite par exemple). Ceux-ci doivent



Vérification de paramètres Tricastin

rester entreposés sur site, ce qui n'est pas sans poser de difficulté pour l'exploitant comme pour la DP2D (direction des projets déconstruction et déchets). De plus, les autorisations n'étant accordées que pour une durée limitée, l'instruction de leur renouvellement, très chronophage, tend à saturer la capacité des équipes spécialisées de l'unité technique opérationnelle (UTO). Cette charge de travail apporte-t-elle réellement une plus-value ?

L'installation mobile MERCURE de traitement de résines fonctionne de manière très fiable. Elle est indispensable au bon fonctionnement du parc nucléaire. Nous devons rester vigilants quant à sa disponibilité qui repose sur deux unités seulement.

Le projet de construction, à Fessenheim, du Technocentre de traitement des déchets métalliques faiblement contaminés est une excellente initiative de reconversion de site. Il permettra, après fusion, leur réutilisation afin d'éviter leur stockage inutile.



Le traitement des déchets métalliques

Les déchets métalliques très faiblement radioactifs sont envoyés soit au CIRES (Andra) dans l'Aube pour y être stockés, soit à l'usine Centracore (EDF) dans le Gard pour y être fondus. Le stockage au CIRES sature inutilement les capacités nationales. Le projet de construction du Technocentre de fusion des déchets métalliques à Fessenheim, en vue de leur réutilisation, est une excellente initiative qui évitera le stockage inutile de métaux non ou faiblement contaminés. Sujet à débat public jusqu'en février 2025, sa mise en service opérationnel est prévue en 2031.

L'approche britannique est plus pragmatique. La réglementation autorise à traiter comme conventionnels les déchets ne présentant pas de contamination même s'ils ont séjourné en zone contrôlée. Cela réduit considérablement la quantité de déchets à stocker, décontaminer ou incinérer. Des techniciens qualifiés trient les déchets sur site et les orientent vers les filières de traitement. Celles-ci restent inchangées depuis de nombreuses années avec des partenaires et procédés historiques. À noter toutefois une évolution récente quant aux déchets contenant de la poussière de graphite (sacs d'aspirateurs entre autres) qui doivent rester stockés sur site en attendant leur caractérisation radiologique.

Un métier à rendre plus attractif et des matériels à soigner

J'ai constaté en France que les métiers de traitement des déchets font appel à un personnel expérimenté et motivé. Leur activité mériterait d'être mieux valorisée.

Les métiers générateurs de déchets ne s'investissent pas suffisamment pour fournir des estimations de production fiables. Le tri des déchets à la source par les chargés de travaux fait l'objet de trop nombreux écarts qui génèrent une surcharge de travail pour les PGAC. La dosimétrie induite pourrait être évitée. De plus, les installations de traitement des déchets et leurs moyens de manutention manquent de fiabilité : elles vieillissent, rencontrent des problèmes d'obsolescence, souffrent d'un manque de maintenance. Je note que la DPN a lancé des projets d'investissement, j'en suivrai le déploiement.

Au Royaume-Uni, les installations de traitement des effluents ont bénéficié d'un programme de rénovation (numérisation de la salle de commande du bâtiment des auxiliaires nucléaires par exemple). L'utilisation de broyeurs et compacteurs optimise le volume des déchets produits en zone contrôlée. J'encourage les sites français à s'en inspirer.

RECOMMANDATIONS

Afin de ramener la dosimétrie des réacteurs français aux standards internationaux, je recommande au directeur de la DPN de veiller à la mise en œuvre du plan d'assainissement pour réduire le terme source. Et lors des phases d'arrêt, au titre du principe ALARA, de prêter une attention particulière au bon équilibre entre optimisation du planning et purification des circuits.

Dans les installations de traitement et de manutention des déchets nucléaires, le manque d'investissement et de maintenance génère des problèmes de fiabilité. Je recommande au directeur de la DPN de poursuivre les programmes d'investissement et de maintenance au profit de ces installations.

AGR en fin de vie, inventaire avant transfert

Le futur transfert des sites à Nuclear Restoration Services (NRS) ajoute une nouvelle dimension à la gestion des déchets. Les exigences imposent que Nuclear Operations fournisse à NRS un inventaire précis de tous les déchets qui resteront sur site lors du transfert (par exemple matériaux issus des assemblages combustibles, boues et résines radioactives), dont ceux stockés dans des puits depuis le début de l'exploitation. Un travail important est engagé pour garantir l'exactitude des inventaires, il s'agira de les maintenir à jour.



La prise en compte des facteurs humains et organisationnels est inhérente à la sûreté.

L'industrie nucléaire en a pris conscience trop souvent à ses dépens et n'en maîtrise toujours pas tous les ressorts.

D'une approche de sûreté considérant l'homme comme source d'erreur, ne doit-on pas passer à une approche faisant de l'homme la solution ?

Dans ce changement de regard, chacun a un rôle à jouer.

Centrale du Blayais

L'homme source d'erreur ou facteur de sûreté ?

04

POURQUOI UNE APPROCHE FACTEURS ORGANISATIONNELS ET HUMAINS (FOH) ?

Des accidents industriels fondateurs

Three Mile Island, Tchernobyl, Davis-Besse, trois des quatre accidents ou événements majeurs de l'industrie nucléaire ont pour cause profonde des FOH. Les autres industries n'y dérogent pas : pétrochimie (Seveso, Bhopal, AZF), spatial (Challenger, Columbia) ou aviation (vol Air France Rio-Paris). Ces événements ont profondément modifié la conception et l'exploitation de nos réacteurs. Leur analyse a aussi participé à mieux comprendre ce qui conditionne l'activité humaine en rééquilibrant ce qui relève du comportement des opérateurs et ce qui relève de l'organisation et du management. Elle a notamment permis de prendre conscience que, dans de nombreux événements, l'information était quelque part dans l'organisation mais qu'elle n'était pas remontée ou n'avait pas été écoutée.

Cultiver l'humilité

Aujourd'hui encore, plus de 80 % des événements de sûreté impliquent les FOH. Ils peuvent relever :

- d'erreurs individuelles de tranche ou de matériel conduisant à l'arrêt automatique d'un réacteur ou à consigner une voie complète de refroidissement ;
- d'une mauvaise prise de décision opérationnelle résultant par exemple d'un défaut d'analyse ;
- d'écarts entre la réalité de l'état de l'installation et sa représentation mentale, y compris collective (effet tunnel), en salle de commande ;
- de dérive lente et d'accoutumance aux écarts pouvant conduire, comme il y a quelques années, à la non-robustesse au séisme des groupes électrogènes de secours d'un site.

Mieux apprendre des événements

Si la forme des événements est variée, leur analyse systémique a permis d'en déduire une anatomie : en amont du geste ultime qui conduit à l'événement, il se trouve toujours des précurseurs, des faiblesses organisationnelles latentes, des lignes de défense affaiblies ou transgressées. L'objet des FOH est de mieux apprendre de ces analyses, d'en extraire les causes profondes organisationnelles

et humaines et d'en tirer des leçons, moins d'ordre technique ou documentaire que liées aux compétences et à la culture collective. En France, ces questions ont conduit en 2023 à refondre la méthode d'analyse d'événement selon une approche plus proportionnée aux enjeux. C'était une recommandation de l'IGSNR, il faudra en mesurer l'efficacité réelle. Au Royaume-Uni, l'approche HUET (*Human Performance Evaluation Tool*) constitue depuis plusieurs années une méthode d'analyse mature, mais l'analyse et le suivi des tendances des causes pourraient être mieux exploités par le parc. Quelle que soit la méthode, j'insiste sur la qualité à apporter à la collecte initiale des faits et invite les directions à associer au plus tôt et plus systématiquement les personnes aux compétences FOH.

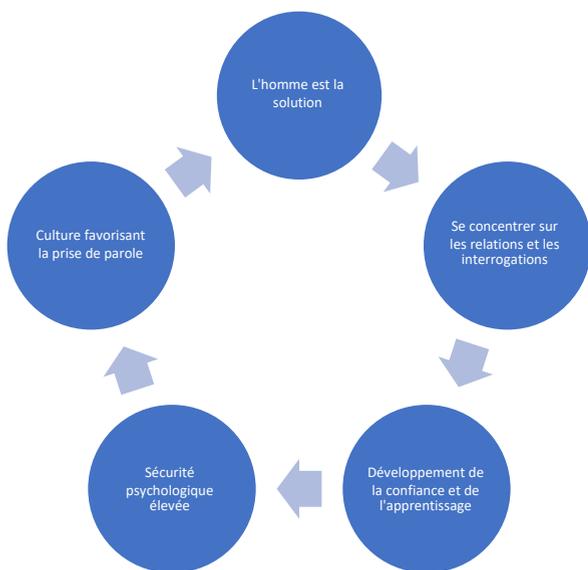
Apprendre du travail de tous les jours

S'intéresser aux événements n'est pas suffisant. Nous évaluons notre performance à l'aune de nos échecs. Il faut aussi s'enrichir de la très grande majorité d'activités qui finissent bien. Elles peuvent nous apprendre beaucoup des compromis réalisés par l'intervenant dans la vraie vie ou des adaptations et compensations mises en œuvre face aux faiblesses de l'organisation. Elles peuvent aussi conforter ce qui marche, il faut en parler. Les partages réguliers dans les collectifs de travail, la présence terrain relancée sur les sites français et anglais vont dans ce sens, mais aussi les avis des correspondants facteurs humains et les renvois d'image externes (IN, INA, WANO).

COMPREND-ON RÉELLEMENT LA PERFORMANCE HUMAINE ET ORGANISATIONNELLE ?

Ne pas se limiter à une vision « outils »

La performance humaine est souvent assimilée à la sécurisation des activités. Dans cette perception, l'objectif est d'empêcher l'homme de commettre des écarts par rapport au prévu et au prescrit. L'essentiel devient de se conformer aux règles, d'exécuter proprement une procédure, de mettre en œuvre les pratiques de fiabilisation et les parades imaginées face à des risques pré-identifiés. Néanmoins, cette représentation de la performance assimilant l'homme à un opérateur idéalisé recourant scrupuleusement à une liste de leviers de sécurisation fait abstraction du réel.



Clive Lloyd – « Next generation safety leadership » Le cycle de la confiance

Erreurs actives et erreurs latentes

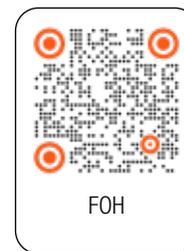
Une approche trop partielle de la performance humaine peut amener à concentrer les efforts essentiellement sur la prévention des erreurs actives, c'est-à-dire les actions aux conséquences indésirables immédiates. Or, une étude réalisée par l'autorité de sûreté américaine sur une série d'événements précurseurs d'accidents a montré qu'une grande majorité était liée à des erreurs latentes (par exemple : erreur de design, procédure inadéquate, non détection de défauts) qui se combinent avec d'autres facteurs de l'environnement de travail, y compris des erreurs actives (cf. J. Reason, 1990). Plus subtiles, sans conséquence immédiate, elles passent inaperçues et devraient faire l'objet d'une plus grande attention.

Mettre en relief les éléments moins visibles

Pour limiter les sources d'erreurs, il faut « apprendre du travail de tous les jours. » Cela suppose de prendre en compte des éléments tels que le contexte, l'environnement de travail, la qualité des appuis. F. Daniellou¹ illustre dans un de ses ouvrages : « *L'activité comporte une dimension visible (le comportement) et des dimensions non*

visibles (les perceptions, les émotions, la mémoire, les connaissances, le raisonnement, les prises de décision, la commande des mouvements...). »

Le reconnaître ouvre de nouvelles perspectives : identifier les facteurs influençant le comportement, les pièges et les dérives, saisir les opportunités d'améliorer le travail.



L'homme n'est pas le problème, il est la solution

Si l'homme est faillible, il fiabilise. Poser ce regard, c'est choisir une nouvelle vision de la sûreté. Considérer que l'homme peut s'adapter à des situations imprévues et faire preuve d'initiative change profondément la place qu'on lui accorde. L'homme peut être individuellement, et plus encore collectivement, facteur de résilience, à condition de lui laisser des marges. Dans cette vision renouvelée de la sûreté, l'organisation, les règles et le manager doivent s'intéresser à la façon de le rendre performant quelles que soient les conditions.

Les cinq principes de performance humaine selon T. Conklin²

- L'erreur est normale. Il arrive même aux meilleurs de se tromper.
- Blâmer ne résout rien.
- Il est vital d'apprendre et de chercher à s'améliorer. Apprendre est un acte délibéré.
- Le contexte influe sur le comportement. C'est le système qui détermine les résultats.
- La façon dont les leaders réagissent à l'erreur compte.

QUELLES APPROCHES FOH POUR L'EXPLOITANT ?

Redonner du sens aux pratiques de fiabilisation des interventions

Les pratiques de fiabilisation des interventions (PFI) ont été déployées dans les années 2000 dans l'industrie nucléaire pour anticiper, prévenir et détecter les erreurs actives. Une vingtaine de pratiques est recensée dans les référentiels internationaux : le parc nucléaire français en a identifié six, le parc britannique en utilise dix. De part et d'autre de la Manche, on constate la même érosion de leur mise en œuvre. Les raisons invoquées sont différentes : renouvellement progressif des personnes initialement formées sur le parc britannique et moindre accompagnement des nouveaux entrants, difficulté sur

¹ F. Daniellou, longtemps directeur scientifique de l'ICSI, institut pour une culture de sécurité industrielle, co-auteur de l'ouvrage « Facteurs humains et organisationnels de la sécurité Industrielle, état de l'art. »

² T. Conklin, spécialiste culture de sûreté au laboratoire de Los Alamos, auteur du livre « The 5 Principles of Human Performance. »



Salle de commande Flamanville 1&2

le parc français à leur donner du sens du fait d'une mise en œuvre systématique en mode réflexe et d'un effet d'empilement avec d'autres outils de sécurisation (appropriation, adhérence aux procédures, etc.). Pour relancer le sujet, Nuclear Operations a déployé le programme *BBS and HU* qui réinstalle des bases par la formation de tous et le coaching des leaders. La DPN laisse, quant à elle, plus de marge de manœuvre aux sites. Dans les deux cas, l'essentiel est sans doute que chaque individu comprenne que, fût-il le meilleur des professionnels, il n'est pas à l'abri d'une erreur. Sa réussite reposera sur sa capacité d'autocritique ou sur le regard croisé d'un pair, voire sur la résilience du collectif.

Apprécier la réalité du travail par la présence terrain

Plusieurs démarches FOH vont dans ce sens. Promue par START 2025 à la DPN, la nouvelle approche présence terrain permet de mieux s'intéresser aux situations de travail. Les formations se déploient sur les sites. Cette orientation, appelée de mes vœux, insiste sur la nécessité d'instaurer un climat de confiance, gage de sûreté. À Nuclear Operations, il en est de même avec, en complément, le développement de revues de coaching (*Leadership coaching reviews*) pendant lesquelles les cadres partagent ce qu'ils ont vu sur le terrain et s'accordent sur les actions à mener.

Un travail sur le leadership

À Nuclear Operations, la relance du programme historique *HULA*, « *leader, champion de la performance humaine* », renforce les savoirs, la compréhension et les pratiques en matière de performance humaine et de culture de sûreté. Basée sur le mentorat, elle vise au-delà de la seule mise en œuvre des PFI, un véritable approfondissement des principes de performance humaine. À la DPN, un mouvement d'ensemble sur le leadership est visible : l'état-major définit les postures attendues des leaders et les outils (par exemple, modules de formation), les sites construisent leur feuille de route et animent leurs collectifs selon leurs convictions et leurs besoins.

En France, une culture FOH à mûrir

Par mes visites, j'ai pu mesurer le chemin restant à parcourir pour mieux prendre en compte les FOH au plus près du terrain. Si plusieurs actions de fond vont dans le bon sens et porteront leurs fruits avec le temps, la réalité des constats doit pousser à changer de braquet :

- manque de connaissance des FOH à différents niveaux de l'organisation, se traduisant par une compréhension trop limitée des phénomènes et des implications ;
- approche trop orientée outils ne favorisant pas l'imprégnation durable d'une culture FOH sur le terrain ;
- exigences locales risquant d'infantiliser les acteurs de terrain (par exemple : demander à un chargé de travaux d'apposer un tampon pour tracer son appropriation d'une activité) ;
- dévoiement de la notion de culture juste en la centrant sur l'énoncé des interdits et des sanctions plutôt que sur le besoin de transparence et la confiance dans la possibilité de remonter sans crainte ses propres erreurs.

Pour sortir de ces travers, mieux ancrer la culture FOH sur les sites et acculturer plus profondément les managers à la dimension FOH, j'encourage d'abord la DPN à profiter du nouveau programme leadership nucléaire. Un kit de formation de qualité vient d'être mis à disposition des sites : il importe d'en assurer la maîtrise par une masse critique de leaders, voire de l'étendre à tous les salariés. Je suggère par ailleurs de mieux utiliser les correspondants FH, en les encourageant à se positionner sur les enjeux du site (observations, feedback, etc.). Je suggère aussi de revoir le déploiement de la notion de culture juste pour éviter, en effet boomerang, le risque de silence organisationnel.

Au Royaume-Uni, une cohérence à retrouver

J'ai pu percevoir le faible niveau de déploiement du programme *BBS and HU* et mesurer l'hétérogénéité de la priorité accordée aux FOH. Si sur certains sites, les démarches HUET et HULA n'ont pas faibli, sur d'autres, elles ne semblent plus faire l'objet d'attentes particulières. À noter que les plus belles pratiques FOH observées sur le terrain

sont le fait d'initiatives de chefs de service. C'est le cas à Heysham 2 avec le dispositif *Crew resource management* du service conduite (cf. encadré) ou des approches FOH du service maintenance qui allient :

- des créneaux de présence terrain garantis tous les jours de 10h30 à 13h00, avec comme priorités sûreté et qualité ;
- des attentes vis-à-vis des comportements des salariés dans le sens de la responsabilisation individuelle et collective : *Take 100 % responsibility, act with integrity, put the team first* ;
- un encouragement à apprendre en permanence de ses activités et à en partager les enseignements : remontée des constats de terrain avec la *Discovery clock* et mise en commun hebdomadaire avec la *Weekly safety meeting*.

Crew Resource Management (CRM)

Mis en place au service conduite de Heysham 2 suite à un benchmark dans la Royal Air Force, le CRM vise à tirer le meilleur parti des observations des évaluations sur simulateur. Heysham 2 a créé et utilise des diagrammes radar pour cerner les points forts ou faibles des équipes. Ces derniers sont utilisés dans le cadre d'un examen annuel de la composition des équipes pour les équilibrer et renforcer leur efficacité collective.

FH À LA CONCEPTION, OÙ EN EST-ON ?

Modifications des installations, on arrive aux limites

Dans l'ingénierie d'une modification, l'analyse FOH est exigée dès l'analyse de risque. Malgré les progrès réalisés, le risque FOH est dilué dans une cinquantaine de thèmes transverses. Il reste difficile d'identifier les effets que le cumul de modifications induit sur les métiers. Les conclusions de la revue de complexité, menée par le site de Tricastin à la suite des modifications de la 4^e visite décennale (VD4), sont explicites : « *l'exploitant, en bout de chaîne, est dans l'obligation de s'adapter [...] nous estimons être aux limites de nos capacités d'apprentissage.* »

Fort de cette expérience, la DPN a décidé de travailler davantage avec les métiers en amont des VD4 des trois têtes de série (TTS) du palier 1 300 MWe. L'analyse est réalisée à deux niveaux :

- pesage de chaque modification selon son enjeu FOH (faible, modéré, fort) avec un renforcement de l'analyse d'impact et une meilleure identification des métiers concernés ;
- examen du cumul par métier avec des ateliers sur les sites pour s'approprier les difficultés et se préparer.

Ce travail, s'il s'avère bénéfique, requiert une implication très forte des métiers, difficile à obtenir de façon homogène sur un site en



Tournée Environnement Flamanville 3

exploitation. J'invite donc les TTS à mutualiser leurs efforts, par métier et suggère à la DPN de bâtir une approche structurée dont les sites suivants pourraient bénéficier. Par ailleurs, ayant conscience que ces accompagnements n'auront que des effets limités, je renouvelle ma recommandation de réduire le nombre de modifications lors des VD3 du palier N4 et des VD5 du palier 900 MWe.

Nouveau nucléaire : prendre en compte plus tôt l'exploitation

La prise en compte du facteur humain dans la conception des nouveaux réacteurs obéit à des référentiels internationaux (guide AIEA SSG-51, norme NUREG 0711) et nationaux. L'ingénierie FH s'est améliorée au fil des projets EPR. Très centrée sur la salle de commande, d'ailleurs avec succès, elle s'est limitée à quelques équipements complémentaires sur FLA3. Elle s'est renforcée sur HPC au profit des bâtiments et des équipements. Pour l'EPR2, le meilleur des deux approches a été retenu.

Ainsi, l'IHM et l'ergonomie de la salle de commande restent très bien intégrées au profit de la conduite. Dans les bâtiments, les espaces pour bien réaliser les activités de maintenance sont mieux pris en compte et devront être préservés durant toutes les phases du projet.

Néanmoins, comme me l'ont indiqué certains interlocuteurs, il faut continuer à se battre pour penser exploitation. Sur les équipements,

le facteur humain est encore vu comme une contrainte. On ne réfléchit pas assez aux activités associées aux équipements (maintenance, lignages, etc.). La pression des coûts et des délais mais aussi la volonté de standardisation rendent difficile la montée en puissance du FOH, qui reste encore perçu comme du plus ou du *nice to have*. En conséquence, j'incite tous les ingénieurs à résister à la tentation de penser que l'exploitant s'adaptera ou que ce sera compensé par de la formation.

CULTURE, LEADERSHIP ET RESPONSABILISATION : LES VRAIS LEVIERS

Ne pas laisser s'établir une culture par défaut

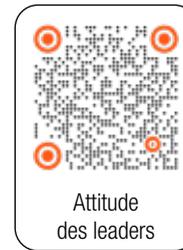
Un tour d'horizon des pratiques FOH d'autres exploitants européens montre tout l'enjeu pour les directions de sites de travailler au développement d'une culture FOH. À défaut, les mécanismes de silence organisationnel entreront en jeu, empêchant des informations importantes pour la sûreté, en particulier les mauvaises nouvelles, de remonter du terrain et d'être prises en compte dans les décisions (cf. [Davis Besse](#)).

Pour y parvenir, au-delà des programmes de présence terrain, les exploitants investissent principalement deux champs : la diffusion très large des principes de performance humaine et la création des conditions dites de sécurité psychologique. Cette dernière, développée par A. Edmondson³, part du principe assez intuitif que chaque individu doit se sentir en confiance pour oser prendre la parole dans son collectif, être force de proposition, voire remettre en cause le statu quo, le tout sans craindre d'être embarrassé, marginalisé, ridiculisé ou blâmé.

Les échanges avec l'aviation civile nous ont permis de prendre conscience du droit à l'erreur développé dans la culture des compagnies aériennes. Remonter ses propres erreurs est un devoir et les directions s'engagent à ne pas sanctionner ceux qui le font. C'est leur approche de la culture juste.

Les leaders, architectes d'une nouvelle approche de la sûreté

Une culture plaçant l'homme au centre prend du temps à se construire, les managers doivent en être les architectes. Le mode traditionnel de leadership du type *Command and control*, qui ramène l'opérateur à un simple exécutant, est révolu. Il s'agit de promouvoir un leadership exigeant qui fait grandir la personne et développe son engagement et sa responsabilisation. C'est bien à un changement de regard sur l'homme auquel nous incite une meilleure prise en compte du facteur humain. Quitter une logique boîte à outils pour une culture de performance humaine, tel est l'objectif. Cette culture suppose une organisation apprenante, à même de faire progresser en permanence. Elle dépasse les seuls enjeux de sûreté et mérite d'être portée au plus haut niveau dans les sites et les ingénieries.



RECOMMANDATIONS

La performance humaine et organisationnelle nécessitant une connaissance véritable des principes et mécanismes des FOH, je recommande à la DPN d'y former tous les salariés. Cela suppose que chacun s'en approprie le sens et s'engage à les mettre en œuvre à son niveau.

Face aux différences de dynamique entre sites et au faible taux de pénétration du programme *BBS and HU*, je recommande à Nuclear Operations de s'assurer de l'appropriation homogène de la méthode *HULA* par les leaders et d'enrichir les démarches de progrès par les constats et les analyses *HUET*.

³ A. Edmondson, professeur de leadership à Harvard University, auteur de "The fearless organization: creating psychological safety in the workplace for learning, innovation, and growth".



Pris en compte dans toutes nos installations, le séisme est très sérieusement traité mais ne doit pas être survalorisé en France et au Royaume-Uni, pays de sismicité faible à modérée.

Moins passionnante pour l'ingénieur, l'inondation interne se révèle insidieuse : l'eau peut venir d'où on ne l'imagine pas et s'infiltrer là où on ne le voudrait pas. La sûreté se joue sur le terrain.

Séisme, inondation interne : la théorie et la pratique

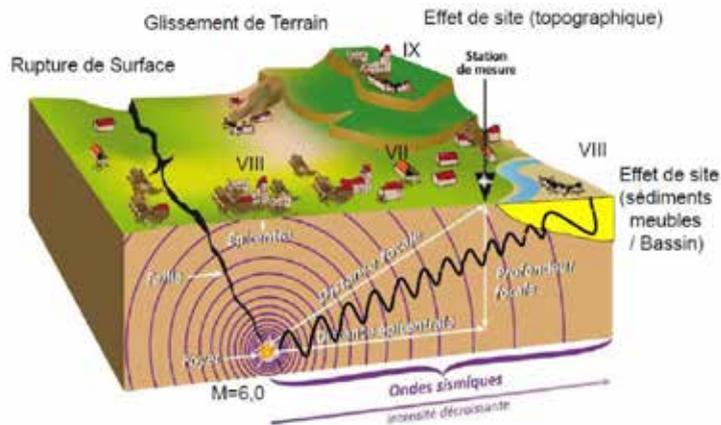
05

QUAND LA TERRE TREMBLE

Des failles géologiques cèdent, leur rupture provoque un mouvement qui se propage sous forme d'ondes et le sol vibre selon ses propriétés, à grande distance. Seul un moteur très puissant peut engendrer ces forces gigantesques : la tectonique des plaques.

Une expertise et des moyens d'essais

Tectonique des plaques, géologie, propagation d'ondes, réponse des ouvrages, calcul des structures... à la jonction entre sciences naturelles et sciences de l'ingénieur, le séisme passionne. Au risque de le survaloriser parmi les agressions. Ainsi, après Fukushima, on a beaucoup plus parlé de tremblement de terre, auquel les réacteurs avaient très bien résisté, que d'inondation, seul phénomène à l'origine de l'accident.



Le séisme et sa propagation

J'observe chez EDF SA une grande expertise, un réseau qui fonctionne, des coopérations de qualité. J'ai visité, à Aix-en-Provence, le nouveau site de TEGG, Techniques d'essais en géologie, géotechnique et génie civil, département qui œuvre au profit de l'hydraulique et du nucléaire et qui pratique la géologie de terrain depuis 70 ans. Il dispose de moyens d'essais modernes et de compétences remarquables. La 3^e tranche du programme SIGMA s'annonce prometteuse. En revanche, il faut

mieux sécuriser les budgets de préparation de l'avenir. Par exemple, l'annualisation du budget de SIGMA 3 n'aide pas à son pilotage. De même, il faudrait assurer un financement suffisant au réseau RAN de mesures sismiques sur les sites.

Révisée en 2023, la note d'orientation stratégique sur le séisme met de manière opportune l'accent sur l'intégration des études, de la faille à l'équipement.

SIGMA

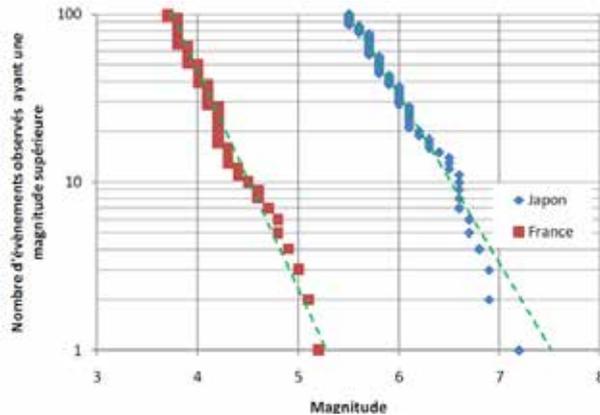
SIGMA, *Seismic Ground Motion Assessment*, est un programme de recherche en sismologie initié par EDF. Il développe des données, des modèles et des méthodes d'évaluation des aléas sismiques correspondant à l'état de l'art. SIGMA 1 a été lancé juste avant l'accident de Fukushima, SIGMA 2 s'est déroulé entre 2017 et 2022 et SIGMA 3 a démarré en 2024.

Initialement franco-italien, le programme intègre désormais un grand nombre de pays, européens et aussi les États-Unis et le Japon. Il rassemble des opérateurs nucléaires, des laboratoires publics, des universités et des consultants spécialisés. Plusieurs dizaines de thèses et d'articles scientifiques sont publiés à chaque édition. Son champ s'étend de la physique des failles aux spectrogrammes employés par les ingénieurs, en passant par la propagation des ondes sismiques, la réponse locale des sols, l'optimisation des modèles probabilistes (PSHA) et la maîtrise des incertitudes tout au long de la chaîne de calcul.

La France, pays de sismicité faible à modérée

À l'écart des principales lignes de fracture de la tectonique des plaques, la France est un pays de sismicité faible à modérée. Elle n'est ni le Japon, ni la Californie, ni le plateau anatolien, ni même l'Italie. Les séismes y sont relativement peu fréquents et d'amplitude modeste.

Une loi empirique (Gutenberg-Richter) relie magnitude et nombre des séismes (*cf. figure*) : la fréquence des séismes de magnitude M est environ 10 fois supérieure à celle de magnitude $M+1$. Ainsi il apparaît que le Japon est quelques centaines de fois plus sismique que la France. Pourtant, ne compensons-nous pas inconsciemment notre situation modeste par l'accumulation des marges ?



Distribution de Gutenberg-Richter au voisinage de sites français et japonais

Des règles très françaises et très nucléaires

Le nucléaire a, dès la conception des réacteurs, cherché à se protéger de séismes plus rares et intenses que les autres secteurs. L'aléa de référence est choisi selon une règle fondamentale de sûreté (RFS) : établissement des zones sismotectoniques au potentiel sismique homogène, recherche du séisme historique le plus fort de chaque zone et translation de celui-ci au plus près du site, ce qui donne le SMHV (séisme maximum historiquement vraisemblable). Le séisme majoré de sécurité (SMS) du rapport de sûreté en est déduit, en majorant l'intensité d'un degré ou la magnitude d'un demi-degré (opérations équivalentes)⁴. Mille ans de registres paroissiaux permettent cette méthode : la description des effets observés indique l'intensité du séisme. Robuste, la RFS a fait ses preuves. Néanmoins elle surpondère un unique séisme et elle n'intègre pas l'ensemble des événements. Aussi, les méthodes internationales de référence sont aujourd'hui probabilistes (PSHA, *probabilistic seismic hazard analysis*).

Le SMS est transformé en spectre d'accélération, à partir duquel l'ingénieur calcule les structures. Initialement forfaitaires, très conservatives, les méthodes procurent des marges très importantes.

On arrive cependant aux limites de la démarche en multipliant et en détaillant toujours plus les calculs conventionnels et en les associant à des aléas toujours plus sévères. Dans ces conditions, les accélérations pourraient en certains points atteindre 15 à 20 g, ce qui n'a plus de sens physique. De même, des calculs de tuyauteries ne « passent plus », là où le REX international montre qu'elles résistent parfaitement en séisme réel.

⁴ La magnitude désigne l'énergie au foyer du séisme ; plusieurs échelles la mesurent : Richter, magnitude de moment, magnitude de surface. L'intensité repère les effets observés en surface, selon l'échelle MSK notamment.

⁵ Accélération du SMS multipliée par 1,5 ou de période de retour supérieure à 20 000 ans.

Séisme noyau dur : se garder des extrêmes

Après Fukushima, on a défini des séismes noyau dur (SND), significativement supérieurs au SMS⁵, afin de vérifier que des situations extrêmes, bien au-delà du dimensionnement, ne provoqueraient pas d'effet "falaise". Le débat se poursuit sur le point de savoir si les nouveaux réacteurs doivent être dimensionnés au SND (avec des méthodes conservatives comme pour le SMS) ou leur robustesse vérifiée par des calculs réalistes.

J'appelle à maintenir, en matière de séisme aussi, la gradation entre domaine de dimensionnement (SMS) et domaine complémentaire (SND), redevable de méthodes réalistes. "Trop fort n'a jamais manqué", certes, mais ne risquons-nous pas de construire des monstres peu proportionnés à la sismicité réelle ? Que les équipements nouveaux du noyau dur du parc aient été dimensionnés au SND ne devrait pas faire jurisprudence : ils étaient en nombre très restreint et il fallait aller vite. Dans un réacteur nouveau, presque tout l'îlot nucléaire doit être justifié au SND : appliquer les méthodes de dimensionnement plutôt que de vérification de robustesse ferait passer du SMS au SND le séisme de référence, ce qui n'avait jamais été l'intention. Je reprends à mon compte la recommandation du comité de revue EPR2 en la matière.

Maintenir cette gradation entre SMS et SND me semble d'autant plus raisonnable que les marges des nouveaux réacteurs seront encore supérieures à celles du parc à son démarrage, par leur conception et parce que les SMS ont depuis été rehaussés.

Au Royaume-Uni, géologie comparable et méthodes différentes

Conçus dans les années 1950-60 et construits à partir de 1966, les premiers réacteurs AGR l'ont été sans considération sismique. La conception parasismique a commencé à Heysham 2 et à Torness, suivis par Sizewell B ; le niveau forfaitaire de 0,25 g retenu offre beaucoup de marges.

Au milieu des années 1990, lors du premier réexamen de sûreté, les AGR non dimensionnés au séisme ont été justifiés *a posteriori*. Le bloc réacteur l'a aisément été car il repose sur des plots munis de patins en caoutchouc. Des bâtiments ont été renforcés et des platines et ancrages ajoutés à de nombreux équipements. Dans certains sites, des pieux ont été coulés dans le sol et s'ancrent dans le rocher dur. Les analyses poursuivies lors des réexamens suivants et après Fukushima confirment les marges.

Les aléas sont définis par la méthode probabiliste internationale PSHA, à partir du catalogue sismique britannique (British Geological Survey) et de cartes géotectoniques locales. Des experts externes règlent les

pondérations des différents facteurs et modèles ; l'ONR s'assure du bon fonctionnement du processus. Les bases de données américaines complétées d'essais servent à évaluer la tenue des matériels. Ce sont de bonnes pratiques.

Séisme du Teil : confirmation ou révolution ?

Le séisme du Teil, le 11 novembre 2019, qui a marqué par ses effets spectaculaires dans certains villages, n'a causé aucun dommage aux réacteurs de Cruas. Il est similaire aux événements survenant régulièrement dans cette zone, comme le séisme du 8 août 1873, référence du SMHV de Cruas. La nouveauté tient à la faible profondeur de son foyer (1 000 m), occasionnant une petite rupture de surface (10 cm), phénomène rare pour un séisme de magnitude modérée (5), plus usuel dans les grands pays sismiques (magnitudes de 8 et décrochements de l'ordre d'un mètre, voire plus).

Il a déclenché un réexamen approfondi de sismologie de Cruas :

- ajout d'un demi-degré (MSK) au SMS, ceci reste débattu car peut-être exagéré ;
- révision du spectre en employant une loi de propagation adaptée à la sismicité proche et vérification de la tenue des réacteurs ;
- campagnes géophysiques pour détecter d'éventuelles failles actives sous le site.

Cruas possède de solides atouts : construit sur le rocher, plots parasismiques, conception robuste. J'ai visité l'installation, les plots et



Campagne de géophysique

les radiers sont bien entretenus et en très bon état. Le sujet technique porte sur la recherche d'éventuelles failles au voisinage du site. La probabilité de propagation en surface et les conséquences sur la sûreté d'un éventuel événement de ce type.

Les campagnes géophysiques réalisées et prévues m'ont été présentées : elles sont de premier plan.

Et dans les centrales ?

L'attention des sites porte sur la conformité et sur le "séisme événement". Afin de garantir le maintien de la qualification des matériels aux conditions accidentelles (MQCA), plusieurs plans d'action se sont succédé à la suite d'écarts :

- freins d'écrous manquants ou mal mis ; il me paraît urgent d'ancrer les règles élémentaires du métier de mécanicien ;
- ancrages et supportages en écart, notamment du fait de chapes de béton non conformes ;
- corrosion de refroidisseurs des diesels ; j'ai vu dans le site en question un début de corrosion sur des structures remplacées : la prévention doit être permanente ;
- manque de rigueur quant à la sécurisation des matériels mobiles et des échafaudages.

Le cumul d'un séisme avec les efforts engendrés par les accidents hypothétiques du rapport de sûreté (par exemple rupture de tuyauterie) fait partie des règles historiques de dimensionnement. Désormais, on considère aussi le séisme comme initiateur : il peut casser des matériels non classés (par exemple une tuyauterie) qui pourraient, par effet domino, aggraver des matériels de sûreté (par exemple une pompe). C'est le séisme événement. Je note que la revue exhaustive des couples agresseur – agressé, en ingénierie et dans les CNPE, arrive à son terme et que des renforcements ont été opérés là où c'était nécessaire.

Après le séisme du Teil, il a fallu revoir à chaud, à Cruas, les procédures de vérification avant redémarrage. Je m'étonne que leur déploiement dans tous les CNPE ne soit pas encore achevé.

Voies d'avenir : mieux apprécier le risque réel

Quelques sujets restent d'actualité comme les effets de site (amplification des ondes sismiques du fait de spécificités géologiques locales) ou d'éventuelles failles à Cruas (*cf. supra*) et les sciences naturelles continueront d'être approfondies. Mais mon impression en matière de risque sismique est celle de sur-conservatismes excessifs, d'approches morcelées et d'une fuite dans la multiplication des calculs, le rehaussement permanent des référentiels, la juxtaposition de méthodes d'antan. Des experts estiment que « *des enjeux de sûreté limités consomment des ressources d'ingénierie considérables.* »

Les réacteurs nucléaires du type des nôtres, dans un pays de sismicité modérée, ont des marges considérables. Le REX international le confirme, lors de grands séismes réels. Il convient de prendre du recul, d'apprécier la chaîne complète des marges, de retrouver le sens du juste nécessaire.

Certaines pistes ont été étudiées, qu'il faut faire aboutir :

- adopter les méthodes probabilistes d'évaluation d'aléas (PSHA), état de l'art international ;
- développer les panels d'évaluation internationaux ;
- examiner si les sols peuvent vraiment transmettre toute l'énergie de nos spectres extrêmes ;
- examiner les méthodes aptes à évaluer l'effet et la nocivité de séismes proches ;
- employer les données internationales de tenue des matériels en conditions réelles ;
- développer le calibrage des modèles de calcul des structures par des mesures *in situ* ;
- tempérer l'emploi de calculs 3D, développer le sens de l'ingénieur et du bien concevoir.

INONDATION INTERNE : UN RISQUE INSIDIEUX

L'eau vient d'où on ne l'imagine pas et s'infiltré là où on ne le voudrait pas. Une fuite même modérée cheminera vers un tableau de contrôle commande par des chemins insoupçonnés. Dans d'autres cas, une rupture de circuit du condenseur provoquera d'importants débits. Or eau et électricité font mauvais ménage. Il faut donc protéger tableaux de distribution, contrôle commande et moteurs électriques contre des fuites intempestives des circuits et réservoirs, des réseaux incendie, d'eau potable, usée ou de pluie, etc.

Terrain et ingénierie : deux mondes

Je rencontre des exploitants et des ingénieries qui paraissent mener deux vies séparées. Les premiers sont aux prises avec des réseaux utilitaires (SEP, SEV, SEO, RPE, JPI...), des gouttières, des gaines de ventilation, des chemins de câbles, des siphons de sol, des joints inter-bâtiments, etc. En application de la démonstration de sûreté, l'ingénierie se polarise à l'excès sur les RTHE (ruptures de tuyauteries de haute énergie). On multiplie les études par centaines et on débat *ad nauseam* des hypothèses de calcul.

J'estime indispensable de relier ingénierie et exploitation, études et pratique, et de piloter ce domaine avec une vue concrète et globale des risques.

Inondation interne à Nogent-sur-Seine

En 2005 à Nogent-sur-Seine, le redémarrage de l'alimentation en eau des générateurs de vapeur après un arrêt de tranche provoque une importante fuite sur le toit du bâtiment électrique, par des purges laissées indûment ouvertes. Les évacuations étant bouchées, l'eau a cheminé par des défauts d'étanchéité de la toiture et par des trappes de visite de joints inter-bâtiments restées ouvertes. Des projections d'eau sur des armoires de contrôle-commande et du système de protection ont déclenché des ordres intempestifs, dont l'arrêt automatique du réacteur et le démarrage de l'injection de sécurité.

Tempérer la démonstration de sûreté

Outre les RTHE, qui, transformées en nouvelles études d'APRP (accidents de perte de réfrigérant primaire, c'est-à-dire brèches du circuit primaire), peuvent être un refuge, j'estime nécessaire de tempérer la mécanique du classement. Avec une logique implacable selon laquelle devrait être classé de sûreté tout matériel pouvant avoir une incidence sur la sûreté, on en vient à classer les robinets d'arrêt des circuits d'eau potable d'HPC ou de l'EPR2. Ceci me paraît inutile, absurde et à terme dangereux : si tout est classé, le classement perd tout sens.

Dans le même esprit, on alourdit les procédures de conduite événementielle et les règles générales d'exploitation (RGE). En cas d'inondation, on demande aux équipes de consulter les notes d'études, aux combinaisons potentiellement innombrables. Le jour venu, plutôt que consulter des études pour fermer une vanne, connaître le terrain et les circuits me semble plus sûr.

En matière d'inondation interne aussi, les RASA (règles d'application des spécifications agressions) peuvent s'avérer un rappel bénéfique ou un enfer administratif (*cf. rapport 2023*). J'approuve l'orientation de les sortir des RGE (*cf. chapitre 2*). J'ai, en effet, vu des ingénieurs sûreté se noyer à chercher des délais de repli dans les RGE après la découverte de siphons de sol percés. Apprécier les délais de réparation, les enjeux de sûreté et d'éventuelles mesures compensatoires aurait mieux valu que des heures d'exégèse de textes.

Sans être indemne des travers ci-dessus, le projet EPR2 a défini de bonnes pratiques de conception :

- forte étanchéité des casemates des circuits secondaires (ARE / VVP) ;
- étanchéité des locaux garantie à 1 m d'eau (10 m dans les étages inférieurs) ;
- évitement de la propagation entre voies, par exemple par les chemins de câbles ;

- absence de tuyaux de gouttières dans les locaux classés (par exemple diesel) ;
- travail avec des exploitants sur les canalisations RPE, bippasses parfaits pour l'inondation ;
- en cas de siphon de sol bouché, existence d'un autre chemin d'évacuation ;
- absence de tuyaux dans le génie civil, etc.

J'invite à examiner de près les locaux du contrôle-commande à proximité desquels demeurerait des réserves d'eau (RRI, groupes froids, etc.).

Du côté des sites : homogénéiser pratiques et formation

L'appropriation de cette agression, qui n'est pas en tête d'affiche, varie du tout au tout selon les sites. J'ai accompagné sur le terrain un référent investi, convaincu, connaisseur, qui montre les choses dans l'installation et traque les demandes de travaux. D'autres en sont encore loin.

Initiative pertinente, l'unité d'ingénierie d'exploitation UNIE avait initié un point zéro d'un certain nombre de tuyauteries : s'il a été fait dans certains sites, d'autres semblent ne pas en connaître l'existence. Établir un bon diagnostic de la conformité du parc paraît la base. J'apprécie qu'un moyen de détection des canalisations bouchées soit en cours d'essais : il se substituera efficacement au "sonnage".

Il s'agit *in fine* de soin aux siphons de sols, gouttières, joints, trémies, rince-œil, tuyaux de toute sorte... Et de donner à voir qu'il n'est pas nécessaire qu'un matériel soit classé pour qu'on s'en occupe. *« Si on laisse dériver les choses, on le paie un jour : dans une centrale nucléaire, il n'y a pas de petit matériel. »* J'appelle aussi les sites à

vérifier qu'ils sont bien outillés en pompes mobiles, tuyaux, raccords, etc., en cas d'urgence. Et il ne faudrait pas hésiter à employer les moyens mobiles du plan d'urgence interne PUI.

Dans les réacteurs AGR, l'eau peut par des caillebotis s'écouler du haut en bas de chaque quadrant (un seul de ces quatre trains suffit à la sûreté), limitant les risques. Attention néanmoins à la partie inférieure des quadrants, là où se trouvent des pompes et où vont se concentrer les eaux. On y a d'ailleurs observé deux événements d'inondation provoqués par des erreurs de consignation.

En matière de modifications, j'apprécie le remplacement et le classement de sûreté des vannes de la tuyauterie d'eau du condenseur d'un CNPE, mise en charge par la pression gravitaire du canal. Je n'ai en revanche pas compris si, à l'issue des VD4, les trémies isolant l'îlot nucléaire des galeries SEC seront étanches en cas de noyage de celles-ci, comme cela s'est déjà produit. À mes yeux, il le faudrait.

En exploitation, le référentiel managérial est un premier pas mais il renvoie surtout aux études, foisonnant par dizaines, et ne décrit que peu les pratiques et gestes métier attendus. Sa plus-value est jugée faible. J'estime indispensable d'établir un référentiel de pratiques de terrain, de consolider les rondes et de structurer les formations. Le coup d'œil et les pratiques des agents de terrain, des référents et des ingénieurs, y compris ceux des unités centrales, me paraissent déterminants.

RECOMMANDATIONS

La France est un pays de sismicité faible à modérée et nos démarches conduisent à cumuler d'importants conservatismes dans chacun des compartiments des études. Afin de mieux apprécier le risque réel, je recommande aux directeurs de la DSTID et de la DISC d'évaluer l'ensemble de la chaîne des marges de sûreté, "de la faille à l'équipement", en s'appuyant notamment sur le REX international et en concertation avec l'autorité de sûreté.

La sûreté en matière d'inondation interne se joue dans les installations. Je recommande au directeur de la DPN de vérifier l'état des équipements hors process concernés, d'insister sur leur bon entretien, d'assurer l'homogénéité des pratiques de terrain, de veiller à la disponibilité des matériels mobiles.



Maintenance et essais garantissent la sûreté et conditionnent la production.

Le projet tranche en marche (TEM) assure au quotidien le fonctionnement des réacteurs en toute sûreté. Il mérite une attention particulière.

Le projet pluriannuel (PLURI) cadence les cycles de production pour inscrire la performance dans la durée.

Centrale de Tricastin

Du PLURI au TEM : rigueur et agilité

06

Sommaire

01

02

03

04

05

06

07

08

09

Annexes

Abréviations

TEM, UN PROJET À RENFORCER

Revenir au sens pour retrouver de l'efficacité

En France et au Royaume-Uni, le TEM coordonne les métiers pour réaliser les activités de maintenance (préventive et curative) et d'exploitation ainsi que les essais périodiques. Il s'assure du respect des exigences de sûreté, gère les coactivités et les risques associés. Dans le cadre des visites décennales (VD), il intègre aussi les activités de modifications réalisables réacteur en fonctionnement avant leur finalisation pendant les arrêts de tranche (AT).

Embryonnaire au début des années 2000, le TEM s'est progressivement étoffé pour mieux fédérer les métiers autour des priorités de l'exploitant. D'un fonctionnement centré sur quelques personnes et réunions clés, le projet s'est structuré autour d'une organisation dotée de ressources dédiées et d'une véritable préparation modulaire⁶. Face à un projet d'AT historiquement fort, le projet TEM a toujours dû faire sa place. Avec l'augmentation de la charge de travail des sites ces dernières années (VD, CSC ...), l'importance accordée au projet TEM a pu s'émousser et j'ai noté la nécessité pour beaucoup de s'en réapproprier la finalité et les principes. Passer les organisations au tamis de l'efficacité pour revenir au sens et retrouver du temps métal semble nécessaire : des réunions plus productives, moins de routine, une bonne responsabilisation. En conséquence, la professionnalisation des acteurs et le partage du REX doivent être sacralisés.

Le TEM, parent pauvre du cycle de production

Des deux côtés de la Manche, le TEM structure la vie quotidienne d'un site et son fonctionnement doit faire l'objet d'une implication managériale constante. Mes visites montrent que ce n'est pas le cas partout, le TEM restant sur certains sites un « parent pauvre » qui doit faire du mieux qu'il peut avec les ressources qu'on lui laisse. Pourtant, les conséquences d'un projet TEM défaillant (difficulté à stabiliser le programme semaine et faible taux de fiabilité, par exemple) touchent tous les domaines : état de la machine (passif de DT, demande de travaux), entretien des matériels (retard de préventif), implication des personnels (confiance mise à mal). Répondre au programme de production, retrouver la capacité à réaliser les activités, traiter les DT, réaliser le préventif de base sont essentiels. Les Britanniques ont fait du TEM (*management of work*) un des quatre

processus incontournables (*corner stones*) pour garantir la sûreté et la fiabilité de l'installation.

Dans les sites en difficulté, les AT plus longs sollicitent plus de ressources et d'attention managériale avec souvent un risque de désengagement du TEM. Il devient alors le premier projet à reconstruire, ce qui passe par l'alignement et la mobilisation de tous les acteurs et nécessite de décloisonner les services, ingénierie, conduite et maintenance notamment : « *les gens doivent se parler plutôt que se rejeter la faute.* » Les sites performants montrent la voie : dans une vision équilibrée de cycle de production, le TEM est positionné au bon niveau, les réunions sont identiques à celles de l'AT et la même capacité d'action est attendue. Leur expérience doit être exploitée plus largement.

Face aux changements, sacraliser la maintenance courante

De part et d'autre de la Manche, les projets TEM sont touchés par de nombreux changements.



Salle des machines Tricastin

⁶ Coordination anticipée de l'ensemble des métiers pour préparer les nombreux éléments d'un dossier d'intervention (planning, gestion des interfaces, gamme opératoire, analyse de risques, logistique, etc.). Elle s'étend sur plusieurs semaines.

La France a vu le TEM s'étoffer d'un volume considérable d'activités pré-VD (70 % des travaux de modification sont effectués en TEM).

Au Royaume-Uni, des changements très structurants ont également eu lieu. Le rechargement du combustible de Heysham 2 et de Torness est passé d'un mode continu à un mode à l'arrêt. Cela nécessite de réaliser, en plus d'un arrêt tous les trois ans (*Statutory Outage*), quatre à cinq arrêts d'environ deux semaines et demie tous les ans. Dans ce nouveau mode, les créneaux de maintenance courante sont moins nombreux et plus concentrés. Soumis à ce rythme de rechargement depuis plusieurs années, Heysham 1 et Hartlepool souffrent des mêmes difficultés. Le manque de fiabilité de la *Fuel Route* perturbe régulièrement le planning, mettant en difficulté les métiers.

J'invite les deux parcs à sacrifier les créneaux de maintenance courante, le préventif ne pouvant servir durablement de variable d'ajustement.

Une question de personnes plutôt que de processus

Nommer les bonnes personnes aux postes clés conditionne l'efficacité des projets TEM. Les sites performants investissent dans le TEM avec des personnes reconnues alors que d'autres le considèrent au mieux comme une pépinière des projets d'AT. Il est primordial de rééquilibrer les expériences. La GPEC du TEM est à regarder spécifiquement. Un TEM « qui marche » nécessite plusieurs ingrédients :

- des ressources de qualité issues de la conduite (par exemple, tête de projet TEM, détachés au *Work Execution Centre*) ;
- des responsables de sous-projet reconnus par les métiers, capables d'instaurer confiance et coopération et de faire valoir leurs priorités ;
- en France, des chargés d'affaires maintenance professionnalisés et agréés conformément à l'attendu ;
- au Royaume-Uni, des préparateurs et des planificateurs ayant un parcours dans la maintenance ou la conduite.

Responsabilisation, collectif, terrain : les clés de l'efficacité

Même si la préparation modulaire est un facteur clé de la réussite du TEM, j'ai constaté que l'énergie qu'on y consacre est disproportionnée. Très centrée sur la documentation et les référentiels, elle ne prend pas assez en compte la réalité opérationnelle du terrain et le fonctionnement collectif. Cela peut conduire à un manque de fiabilité du planning, voire à la déprogrammation d'activités. Pour expliquer ce manque d'efficacité opérationnelle, plusieurs causes sont fréquemment évoquées :

- lourdeur des règles qui complexifient les activités, amplifiée par des sur-interprétations locales ;
- multiplicité des interfaces métiers (logistique, délivrance des régimes, etc.) ;
- dossiers d'intervention qui n'intègrent pas assez la réalité de terrain (documents manquants, imprécis ou pléthoriques) ;
- applications informatiques trop nombreuses ;
- combat pour obtenir des pièces de rechange ;
- difficulté à obtenir des "régimes" ou,
- contraintes liées aux référentiels (événements STE).

Prend-on le problème dans le bon sens ? J'invite d'abord à responsabiliser les intervenants en les rendant acteurs de la préparation de leur activité. Considérer les techniciens comme de simples exécutants recevant chaque jour leur travail préparé par des tiers relève d'un autre siècle. J'incite aussi à davantage d'entraide et de solidarité : les témoignages appellent à sortir d'une vision mono-métier au profit de l'efficacité collective. Enfin, je salue les initiatives des sites qui, jusqu'au tout début de l'activité, mettent toute leur énergie à lever les derniers blocages, concrétisant ainsi l'investissement dans la préparation modulaire. Il est alors essentiel de sauvegarder en bibliothèque les dossiers ainsi fiabilisés pour les rejouer à l'identique à la prochaine échéance. Facteur de fiabilisation et de gain de temps, cette capitalisation permet aux acteurs de se recentrer sur les dossiers à plus forte technicité.



Préparation modulaire tranche en marche

RETROUVER DES MARGES DE MANŒUVRE

Les équipes réactives, preuve qu'on peut faire simple

La préparation modulaire permet de planifier le préventif et le curatif connus. Les équipes réactives conçues pour traiter le fortuit sont plébiscitées. Elles contribuent à fiabiliser la machine et à protéger le planning. Indépendamment de leurs organisations, très diverses, leur efficacité dépend surtout de l'engagement managérial et de l'adhésion des métiers.

Les nombreuses initiatives, notées lors de mes visites, attestent des dynamiques à l'œuvre en France et au Royaume-Uni. Elles touchent le choix des horaires (adoption d'une organisation en continu par un site britannique), les modalités de pilotage (par la conduite en quart ou non) ou la préparation (en ligne ou dédiée). Quels que soient les choix, l'important se résume en trois points :

- retrouver la confiance dans le traitement des demandes de travaux (DT) car une défiance entraîne un cercle vicieux (sur-priorisation, surcharge des équipes, priorités non respectées et découragement) ;
- laisser à la conduite la capacité de décider ce qui est urgent et de garantir la compatibilité de la sûreté et du planning de l'activité ;
- veiller à toujours analyser les risques et à ne pas faire des équipes réactives une solution de contournement systématique de la préparation modulaire.

Dans mon rapport 2022, j'ai vanté les processus *Toolpouch* et *Minor maintenance* au Royaume-Uni, qui devaient permettre des réparations rapides et efficaces. À l'issue de mes visites, je constate que la mise à jour nationale des processus et instructions a progressivement réduit leur efficacité, voire rendu leur application impossible. Un juste équilibre doit être trouvé entre rigueur et agilité.

Passifs de DT, faut-il s'en satisfaire ?

En France et au Royaume-Uni, l'exploitant recense l'ensemble des demandes de travaux à effectuer. On parle de portefeuilles de demandes de travaux, appelés pots de DT. Leur état illustre à coup sûr celui de la machine et fait l'objet de recommandations régulières de la part de l'IN, l'INA, l'IGSNR ou encore WANO et l'AIEA. La DPN comme Nuclear Operations sont dans une dynamique globale de diminution avec des pots de DT réduits de moitié ces dernières années.

S'il faut saluer cette tendance, au-delà des chiffres, la machine s'en porte-t-elle mieux ? À mes yeux, la situation reste matière à vigilance. La part des pots de DT mise sous contrôle ne constitue que la partie émergée de l'iceberg. Certaines DT peuvent y être mal pesées ou avoir une échéance de traitement trop lointaine, au risque de conséquences imprévues (par exemple, un AAR en France en 2024). Pour la partie moins visible, des pots « secondaires » peuvent atteindre plusieurs



Manutention château combustible Cruas

milliers d'objets : on peut s'interroger sur le niveau de maîtrise réelle, voire par effet de cumul, questionner la fiabilité des fonctions. De plus, les priorités ou échéances ne sont pas scrupuleusement respectées. La fiabilité des matériels reste un problème récurrent en France et au Royaume-Uni, je m'y intéresserai.

Quelles solutions ? Certains sites prennent leurs responsabilités, en imposant par exemple un délai plus restrictif de huit semaines pour le traitement des DT de faible priorité (P3). D'autres évoquent l'option de diminuer le volume de préventif qui monopolise selon eux trop de ressources : déjà mené dans le passé, ce type d'action nécessite d'être conduit de façon structurée avec l'échelon national. Je réinterroge la rigidité du dogme consistant à ne pas inclure dans les programmes d'AT le traitement des DT qui peuvent l'être en TEM. Je reste surpris de voir des sites sortir de VD de plus de cent jours avec un pot de DT plus important qu'avant l'arrêt. Au Royaume-Uni, certains sites planifient en fin d'année des campagnes de réduction de pots de DT pour atteindre la cible ; lisser la charge sur l'année me paraîtrait une solution plus pérenne.

De plus, il me semble important d'allouer des budgets suffisants pour entretenir les matériels et investir dans le "patrimoine" dans un contexte de vieillissement des installations et de prolongation de la durée de vie.

Une certaine agilité contractuelle devra de même être préservée afin de pouvoir solliciter des prestataires en tant que de besoin.

Préventif en retard, du danger de franchir les lignes blanches

Les retards d'activités de maintenance préventive sont trop nombreux en France, avec plus d'une centaine par réacteur dont un tiers sur des matériels importants pour la sûreté (IPS), et au Royaume-Uni, avec presque deux cents dont 20 % sur des IPS. Certes, la proportion de ces retards reste faible au regard du nombre d'activités préventives réalisées chaque année (de l'ordre de 0,2%), il demeure de nombreux faux retards imputables au système d'information (SI) et la situation s'améliore (division par deux en deux ans). Mais, au-delà des indicateurs, certaines pratiques m'interrogent. Manifestement pour des raisons de gestion de ressources entre TEM et AT, des métiers reportent des activités TEM et les pilotent à la butée calendaire, sans demande d'arbitrage ni justification.



Intervention de maintenance Hinkley Point B

Cette situation n'est pas saine. Le premier risque est de laisser passer une activité importante et des événements significatifs de sûreté ESS l'ont illustré ces dernières années. Le second risque est de s'accoutumer aux dépassements d'échéance et de perdre des repères. Par le passé, un site a perdu confiance dans le respect de son préventif et des doutes sur la disponibilité des matériels ont fini par naître. Nous ne pouvons pas nous permettre de revivre ce type de situation.

Que faire ? A minima, garantir l'analyse du préventif en retard potentiel avant que l'échéance ne soit dépassée. Bien qu'évidente, cette exigence n'est pas toujours mise en œuvre. À défaut de mieux, doubler les lignes de défense métier par celles des projets, ou des vérifications FIS/INA, est un minimum. Dans l'idéal il convient, comme le préconise WANO, de planifier les activités en conservant une marge à l'échéance de 50 % pour amortir les aléas techniques ou organisationnels.

PLURI, GARANT DES ÉQUILIBRES

À la croisée des enjeux

Les enjeux associés au projet PLURI sont nombreux, en particulier depuis l'engagement du Grand Carénage : garantir les cibles de production en toute sûreté, permettre la prolongation de la durée de fonctionnement des réacteurs, réaliser les rénovations nécessaires, veiller à la bonne mise en œuvre de la maintenance récurrente et patrimoniale, caler au mieux les activités dimensionnantes entre deux VD, tenir et optimiser la trajectoire financière.

Un système d'équations trop contraint

Plusieurs critères sont pris en compte dans l'élaboration du planning pluriannuel : consommation du combustible, réglementation, capacité industrielle. Les perturbations engendrées ces dernières années par le Covid-19 puis la corrosion sous contrainte ont nécessité de nombreuses révisions de la planification pluriannuelle des AT. Il faut se féliciter de s'être donné les moyens de rendre plus réalistes les programmes industriels. Par dérogation réglementaire, la VD d'un site a pu être reportée à sa demande. Les situations les plus complexes ont trouvé une solution dans les échanges avec l'Autorité de sûreté nucléaire. Au plan industriel, les renforts des équipes parc d'arrêt de tranche (EPAT) et des équipes mutualisées d'arrêt de tranche (EMAT) ont été très appréciés des sites. Néanmoins, si la programmation pluriannuelle des activités est en théorie de la responsabilité du directeur d'unité, il faut regretter qu'en réalité ses marges de manœuvre soient très limitées.

La résilience des équipes mise au défi

« Le nœud du problème, c'est la charge », nous confiait un expert du sujet. Le PLURI reste le réceptacle de toutes les demandes et la charge industrielle est considérable. Pour les VD4 du palier 900 MWe, le constat est celui d'une succession d'arrêts chargés avec, en anticipation, des travaux TEM très sollicitants. Devant la récurrence des défis élevés, les sites font preuve de résilience mais le fonctionnement nominal n'existe plus et les moments de respiration sont rares. Je constate que les sites en cycles longs ne bénéficient plus d'arrêts pour simple rechargement du combustible (ASR). Pourront-ils tenir à ce rythme ?

Principes de sûreté en AT : maintenir l'attention

Le Guide managérial sur le pluriannuel demande que « les interventions sur des matériels redondants (par exemple voie électrique) soient si possible programmées sur des arrêts différents. » Cette règle doit être appliquée. J'ai observé de bonnes pratiques. Certains sites rédigent des notes locales qui attestent de la conformité à cette exigence, identifient les écarts et définissent les parades. D'autres sites élaborent des cartes d'identité des AT pour communiquer les choix effectués et la logique de sûreté associée.

Néanmoins, je constate que ces principes de programmation peuvent être remis en cause. Plusieurs modifications ont conduit à recaler le préventif ou à intervenir sur deux voies redondantes lors du même arrêt de tranche. Des arbitrages budgétaires conduisent aussi à faire des renoncements et à déstabiliser la stratégie optimisée par le site. Enfin, des affaires techniques nationales peuvent bouleverser les stratégies locales.

Des raisons d'y croire

Dans cette réalité très contrainte, il faut reconnaître la dynamique insufflée pour donner toute sa place au PLURI. J'apprécie que, conformément à START 2025, des directeurs techniques s'approprient la maîtrise d'ouvrage à la fois en tant que conscience technique du site, patrons du PLURI et décideurs de la stratégie à moyen-long terme. Les programmes patrimoniaux sont clairement de leur ressort, via les instances de gouvernance (Comité DT, Comité fiabilité, PPP, etc.). Il serait logique qu'à ce titre, ils s'impliquent davantage dans le TEM.

Le PLURI pilote les campagnes d'intégration documentaire et la capitalisation des données, il rythme la vie du site en tant que chef d'orchestre. Garant des équilibres de court et moyen-long terme, il doit faire l'objet de choix forts du directeur d'unité. À l'heure d'arbitrages budgétaires, il doit être une boussole et préserver les investissements patrimoniaux indispensables à la durée de vie de nos installations.

Au Royaume-Uni, le plan moyen terme

S'il n'y a pas exactement d'équivalent au projet PLURI, le plan moyen terme (MTP) établit la feuille de route pluriannuelle d'investissements des sites. Un portefeuille de projets est élaboré et pesé à partir des éléments remontés par l'ingénierie, considérant en particulier les études de fiabilité, les réexamens de sûreté, les perspectives de vieillissement et d'obsolescence, la préparation du *defuelling*. Il est ensuite pris en charge par un service dédié (*Investment Delivery*). Chaque année, ce portefeuille est réexaminé et les priorités et plannings mis à jour. Dans cet exercice, les perspectives des sites comptent pour beaucoup : entre le LTO de Sizewell B et les préparations de la fin d'exploitation des réacteurs AGR, les choix et l'ampleur des travaux sont très différents. Si les effectifs dédiés à la préparation et à la réalisation des investissements sont à la hausse, l'ingénierie est en situation plus difficile. Elle est en effet très concentrée sur la réponse aux enjeux de court terme plutôt que sur son rôle de conscience technique (gestion des menaces à moyen et long terme) et sur le choix des investissements.

La boucle de REX : un gage d'amélioration continue

Parvenir à un processus TEM efficace implique de comprendre les raisons du report d'activités planifiées. Promue à l'international, cette bonne pratique fonctionne à deux niveaux : d'abord en conduisant les actions nécessaires pour réussir les activités dès la prochaine occasion, ensuite en corrigeant les faiblesses du processus de préparation modulaire et de réalisation. Les mêmes causes produisant les mêmes effets, négliger cette boucle de REX engendrera frustration et résignation chez les acteurs du terrain.

RECOMMANDATIONS

Le TEM arrive aux limites de sa capacité à traiter la charge (passifs de DT, retards de préventif, dette patrimoniale, manque de fiabilité de planning, etc.). Je recommande au directeur de la DPN d'en améliorer l'efficacité et de trouver un meilleur équilibre avec l'AT et le PLURI. La réflexion pourrait porter sur les marges de manœuvre de nos propres référentiels, le traitement d'une partie des DT durant les AT, le périmètre des activités confiées aux équipes réactives.

La maintenance est entravée par la complexité croissante des référentiels. Je recommande au directeur de Nuclear Operations de réévaluer ceux-ci et de trouver des solutions pragmatiques pour rendre plus efficace la réalisation des activités.



Après la pose du dôme du premier EPR de Hinkley Point C (HPC) fin 2023, le montage des principaux composants du circuit primaire a commencé en 2024.

L'EPR de FLA3 a été connecté au réseau le 21 décembre 2024 et produit ses premiers GWh.

Les travaux préparatoires des deux premiers EPR2 ont débuté sur le site de Penly à l'été 2024.



Construction HPC

Pose du dôme du réacteur n°1 HPC

La dynamique du nouveau nucléaire

07

Sommaire

01

02

03

04

05

06

07

08

09

Annexes

Abréviations

HPC SE TRANSFORME

Lors de ma visite annuelle, j'ai constaté une profonde transformation du site. La pose du dôme du réacteur n°1 est achevée, les activités de montage électromécaniques s'accroissent et l'installation par Framatome des premiers équipements du circuit primaire a débuté. Début 2024, le projet HPC a révisé de manière réaliste son planning. La sécurité sur le chantier est remarquablement gérée, du terrain aux bureaux d'ingénierie.

Début des montages électromécaniques (MEH)

L'organisation du projet demeure complexe et continue de subir un important renouvellement de personnel. Des partenaires de rang 1 estiment manquer de visibilité à propos de la planification des activités et souhaitent être davantage impliqués. La gestion en mode projet induit naturellement une focalisation sur le planning et les budgets. Le credo d'HPC « *Sécurité, Qualité, Planning et Coût, dans cet ordre !* » est, plus que jamais, d'actualité.

La préfabrication et l'articulation des activités de génie civil avec l'installation des gros composants doivent être maîtrisées et faire, le cas échéant, l'objet d'un retour d'expérience (REX) au profit du second réacteur et des autres projets EPR. La transition d'une logique construction de bâtiments



Montages électromécaniques HPC

à celle de montage de systèmes est prévue courant 2026. Le besoin d'une fonction d'intégrateur système est nécessaire.

Sur la base du projet *Bridge*, j'encourage HPC à continuer d'améliorer l'utilisation des compétences des expatriés, quelle que soit leur nationalité. Les règles de contrôle des exportations (accès à la documentation) et le temps de faire sa place dans l'organisation constituent des obstacles.

Le planning prévoit une accélération du génie civil et des montages électromécaniques. Maintenir la rigueur de détection et de traitement des écarts est essentiel. La maîtrise de la configuration repose sur le respect des exigences de sûreté et des spécifications de conception ainsi que sur la maîtrise de la configuration physique (adéquation entre le livré/monté et les requis du design). Les *project managers* et responsables de bâtiments sont focalisés sur la construction et le montage. La maîtrise de la configuration doit être contrôlée dans toutes les phases du projet. Dès les premiers MEH réalisés, il faudra veiller à la bonne conservation des équipements : le projet HPC est bien organisé en ce sens.

HPC utilise des procédés industriels comme le soudage S-MAG et les contrôles par ultrason multiéléments (*Phased Array*). J'espère que le projet EPR2 en tirera parti. Le REX du projet FLA3 confirme que le procédé de soudage de l'acier spécial P 355 NH du circuit secondaire (CSP) est difficile à maîtriser. Garantir sa qualité impose de disposer de soudeurs expérimentés dans cet alliage, qui font défaut au titulaire des contrats. Il faut donc y remédier. Le segment soudage est sous tension et les renforts sont difficiles à mobiliser en raison d'exigences gouvernementales de maîtrise de la langue anglaise. Ces contraintes administratives devraient être assouplies pour privilégier la compétence technique.

Plus de qualité avec S-MAG

Le procédé S-MAG (*Synergic - Metal Active Gas*) est une méthode de soudage à l'arc sous gaz qui protège le bain de fusion. Compatible avec une large gamme de métaux, il limite le nombre de passes grâce à des taux de dépôt élevés et il est parfaitement adapté à l'automatisation. Ce procédé est utilisé sur le chantier d'HPC pour souder les liners des piscines. Il améliore le contrôle des déformations du liner, réduit le nombre de défauts d'environ 20 % par rapport aux soudures TIG traditionnelles et augmente les cadences de fabrication.

Garantir conformité et qualification des équipements

La conformité aux spécifications d'ingénierie des équipements livrés contribue directement à la sûreté ; elle est bien maîtrisée. Cependant, l'avancement du programme de qualification doit être suivi de près. Mi-2024, seul un tiers des QSR (*Qualification Summary Reports*) et des QPS (*Quality Preservation Sheets*) avait été produit. Des séries de fabrication ont été lancées avant que les dossiers de qualification ne soient validés mais les risques sont identifiés et gérés. Je continuerai à suivre ce point lors de mes prochaines visites.

Sécuriser la maintenance en exploitation

Le modèle de maintenance actuellement retenu pour l'exploitation s'éloigne des standards de FLA3 et de Taishan. L'exploitant prévoit de s'appuyer sur les équipes de démarrage et sur des renforts des constructeurs. Certains bénéficieront de contrats de long terme (*Long Term Service Agreement*). Ce modèle interroge les pratiques d'EDF qui intègrent habituellement la maintenance, cœur de son métier.

Les spécifications techniques d'exploitation (STE) d'HPC s'orientent favorablement pour bénéficier des avantages du design de l'EPR, tels que la maintenance d'un train de sauvegarde tranche en marche (TEM) et l'accès sans restriction à la zone service du bâtiment réacteur en puissance. Je soutiens sans réserve ces orientations qui facilitent l'exploitation tout en préservant la sûreté. Établir le référentiel d'inspection en service (liste des soudures et qualification des procédés) représente une charge de travail conséquente, à maîtriser.



HPC - Installation de la cuve de la tranche 1

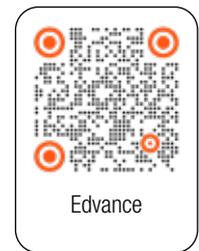
Le projet a identifié ce défi et le pilote efficacement. J'en suivrai attentivement le déroulement.

Une ingénierie en ordre de marche

Edvance réalise les études de conception détaillée (*detailed design*). Leur maturité est satisfaisante. Le jalon de fin du *detailed design* a été atteint en novembre 2023. CGN, l'actionnaire chinois, l'estime plus abouti qu'il ne l'était à Taishan au stade des essais à froid.

Les enjeux du projet se concentrent désormais sur la production des plans d'exécution, la finalisation des travaux de génie civil, la qualification et le montage des équipements.

EPR E (EPR Engineering UK), filiale d'Edvance au Royaume-Uni, a été créée en 2023. Cette structure de plus de 800 personnes reprend progressivement les activités de sa maison mère et du Centre national d'équipement de production d'électricité (CNEPE), en s'appuyant notamment sur des expatriés français. EPR E contribue, pour ses deux clients HPC et SZC (Sizewell C), au rôle de *Responsible Designer* dans les périmètres des îlots nucléaire et conventionnel délégué par Edvance et le CNEPE. Elle joue un rôle déterminant dans la réplification du design d'un projet à l'autre. Pour faire face à la charge de travail, EPR E a créé une alliance d'ingénierie avec trois partenaires et vise une cible de sous-traitance de 40 %. Les fonctionnements en bureau d'études massifié et en Work Package sont privilégiés. La fidélisation du personnel ainsi que sa montée en compétence et en expertise constituent des défis majeurs d'EPR E.



Edvance

La *Joint Design Organisation* d'EPR E est localisée sur le site d'HPC. Elle traite de manière réactive les questions et écarts mineurs avec les acteurs du chantier. Il ne faudrait pas que les contraintes d'accès sur un site déjà saturé pénalisent la présence terrain des ingénieurs d'EPR E. J'encourage les acteurs à en faciliter les modalités. Les modifications de conception (*Design Change*) restent nombreuses et sont gérées par un comité de contrôle de configuration (*Configuration Control Board*). Bien qu'elles concernent surtout des aspects documentaires, leur impact peut être aujourd'hui plus important du fait de l'avancement de la construction.

Nuclear Services (NS), entité nouvellement créée dans EDF Energy, mutualise des services d'ingénierie en appui du parc en exploitation de Nuclear Operations et des projets HPC et SZC. NS assure la maîtrise d'ouvrage déléguée pour le compte de ses clients opérateurs.



Formation sur la séquence d'ingénierie Edvance

SIZEWELL C, RÉPLICATION D'HPC

Le projet SZC a choisi dès le départ de répliquer le design d'HPC. Le cap est maintenu. Seules les spécificités de site, liées à la source froide et à la nature du sol ainsi qu'à la proximité de Sizewell B (SZB) qui impose un traitement cohérent des agressions externes, justifient des différences.

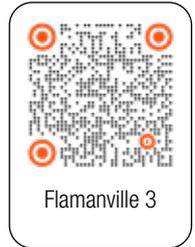
Le projet se donne les moyens de cette ambition. La gouvernance des études de reconduction de la conception détaillée est structurée en ce sens. L'Office for nuclear regulation (ONR) est très favorable à la démarche. Les structures des projets HPC et SZC et de leurs appuis EPR E et NS ainsi que celles de l'ONR et de l'*Environment Agency* sont cohérentes. La réplication repose sur l'utilisation des plans tels que construits d'HPC et la *supply chain* est, autant que possible, identique pour les deux projets.

SZC et HPC relèvent de deux sociétés différentes. Il faudra maintenir rigoureusement la réplication dans la durée même si la construction fait appel à davantage de préfabrication à SZC et que des problèmes d'obsolescence seront à traiter. L'accord employeur (contrat de travail, couverture sociale, etc.) est commun à HPC et SZC, ce qui facilitera les transferts de compétences. Les enjeux de propriété intellectuelle ne devront pas entraver l'échange de données entre détenteurs de licence différents. NS joue à cet égard le rôle d'intégrateur.

Les projets EPR2 et SZC se dérouleront en parallèle et collaborent déjà. Je les invite à poursuivre dans cette voie, notamment pour les outils de pilotage de projet, les méthodes de construction et la *supply chain*.

FLA3 EN SERVICE

Je me réjouis du démarrage de FLA3, qui récompense les efforts du projet, de l'exploitant et des ingénieries. Débuté en mai 2024, le chargement a été suivi de la divergence le 3 septembre. La montée en puissance et les essais du réacteur se poursuivent, avec une mise en service industrielle prévue courant 2025. Lors de ma visite fin 2024, j'ai rencontré un personnel motivé, engagé et conscient des marges de progrès.



Une VC1 très chargée

Le programme de la visite complète n°1 (VC1), extrêmement chargé, équivaut à un Grand Carénage tête de série. La VC1 doit intégrer de gros chantiers : remplacement du couvercle de la cuve et des échangeurs RRI/SEC, modifications importantes du contrôle-commande, achèvement du détensionnement de soudures, résorption des réserves de montage et épreuves réglementaires du circuit primaire et de l'enceinte de confinement. Le programme reste à finaliser et la préparation de l'arrêt doit s'intensifier. Une fois achevés les essais de démarrage, la date de début d'arrêt pour rechargement (VC1) du réacteur pourra être déterminée car elle dépend de l'épuisement du combustible. Les butées réglementaires d'inspection des équipements sous pression qui pourraient être incompatibles avec la date de début d'arrêt devront être gérées. L'utilisation du mode dérogatoire pourra être envisagée.

J'estime que le personnel dédié à la préparation de l'arrêt doit être détaché au plus tôt. L'appui des ressources nationales de l'unité technique opérationnelle UTO (EPAT, EMAT) contribuera grandement à la réussite de cet arrêt. Le volet logistique devra être coordonné avec les activités d'arrêt des réacteurs de FLA1 et FLA2.

Les services de maintenance rencontrent de nombreuses difficultés. Les systèmes de ventilation génèrent une charge de travail six fois plus importante que sur le palier 900 MWe. De nombreux clapets coupe-feu sont difficilement accessibles et leur durée de qualification est limitée. Enfin, le plateau TEM (tranche en marche) devra rapidement trouver son rythme de croisière pour pouvoir consacrer les ressources nécessaires à la préparation de l'arrêt sans qu'elles ne soient perturbées par les aléas du temps réel.

Des RGE à faire évoluer

Le site rencontre des aléas de démarrage avec de nombreux événements de sûreté. Ils sont inhérents au réglage des installations, à leur prise en main par les exploitants mais aussi à la complexité des règles générales d'exploitation (RGE). Certains incidents ont une composante facteur humain, d'autres résultent de la persistance de pratiques de chantier non tolérées en exploitation. D'autres encore sont dus à des RGE trop complexes, ou parfois peu claires et sujettes à interprétation. Enfin, certains événements découlent d'écarts persistants de conception ou de montage. Bien que le REX des autres EPR ait globalement été pris en compte, certains aléas auraient pu être évités par une remontée plus systématique et moins cloisonnée du REX entre les entités de Framatome et ses sous-traitants.

En concertation avec l'ASN, il me semble plus que jamais urgent de simplifier les RGE et de les aligner avec les standards applicables au reste du parc en exploitation. Il faudra aussi veiller à maintenir l'accès, en puissance, à la zone de service du bâtiment réacteur, caractéristique clef de l'EPR largement utilisée par les autres exploitants. Aujourd'hui, cette fonctionnalité est menacée par un mode d'évaluation très conservatif des rejets, sans véritable enjeu pour la sûreté et l'environnement.

Faire bénéficier les projets neufs du REX

Le REX du démarrage devra pleinement bénéficier aux projets britanniques et EPR2. Les RGE doivent être testées à blanc au plus tôt et la zone contrôlée mise en service pour acquérir les réflexes nécessaires, avec plus d'anticipation encore qu'à FLA3. Le transfert total de responsabilité opérationnelle entre l'aménagement et l'exploitant doit avoir lieu au plus tard, lors du chargement du combustible. Framatome doit être mieux intégré au projet et accompagner sans délai son retour d'expérience des EPR en exploitation. La gestion de la configuration des installations tout au long du projet, jusqu'à leur transfert, doit faire l'objet d'un REX. Enfin, l'expérience de terrain des exploitants de FLA3 devra servir le projet EPR2 lors de la phase de conception détaillée : « *le REX, c'est la GPEC.* » Les réussites devront être pérennisées. Il conviendra d'améliorer le choix de certains équipements, leur implantation, les moyens de manutention, la ventilation, la fiabilité des cellules électriques, la motorisation des portes lourdes.

Le projet HPC s'est organisé pour détacher des agents à FLA3. Le cadre contractuel est défini par le *Technical Service Agreement*. Des formations préalables en français et les technologies d'IA permettent de surmonter la barrière de la langue. Il convient de pleinement utiliser ce dispositif.

Poursuivre l'appui à FLA3

Le site bénéficie d'un plan d'appui division qui prévoit un renforcement des ressources, aide à bien positionner les acteurs et apporte un soutien méthodologique à la préparation de la VC1. Au-delà de conseils et de *coaching*, ce sont surtout les renforts expérimentés qui sont utiles au site.

De nombreux points ouverts doivent encore être traités par l'ingénierie. Tous ne seront pas résolus à l'issue de la VC1 et d'autres pourraient s'ajouter à la liste. Les ingénieries de conception de la DISC devront rester mobilisées pour accompagner FLA3 et la DIPDE qui sera en charge de l'IPE, après la VC1.

Un dossier de fin de démarrage (DFD) est exigé pour FLA3. Il doit prendre en compte certaines évolutions des études de sûreté (dont les études probabilistes EPS) ainsi que le REX d'exploitation et des essais de démarrage. Il est à craindre que la production d'un DFD ne s'apparente désormais à un réexamen de sûreté avec son lot potentiel de modifications documentaires et matérielles, et ce, à peine le réacteur démarré. Il sera nécessaire d'en bien maîtriser le contenu et de reporter au réexamen de sûreté ce qui doit en relever.

Tirer bénéfice de la famille EPR

Je me suis rendu en 2024 sur les sites d'Olkiluoto 3 et de Taishan, qui exploitent déjà trois EPR et en apprécient la facilité de pilotage. J'ai constaté que les exploitants finlandais et chinois utilisent, à des degrés divers, les spécificités du design de l'EPR : accès en puissance dans le bâtiment réacteur (concept *two rooms*) et, en Finlande, maintenance en fonctionnement (contrairement à FLA3) grâce aux quatre trains de sauvegarde. J'ai pu juger que l'organisation de Taishan traite de manière efficace son préventif et les demandes de travaux, grâce à des planificateurs expérimentés.

Les RGE de Taishan, bien que plus simples que celles de Flamanville, demeurent plus complexes qu'en Finlande. L'Autorité de sûreté chinoise est favorable à leur évolution visant une plus grande flexibilité d'exploitation et valorisant vraiment les quatre trains de sauvegarde. Les problèmes de fiabilité de l'instrumentation interne du réacteur et de fluctuation du flux neutronique persistent. Des parades sont en place et des solutions de long terme en cours de développement. Je note que l'origine du manque de fiabilité de certains capteurs de l'instrumentation du cœur n'est pas encore totalement comprise. Enfin, Taishan travaille au développement du stockage à sec du combustible usé, à l'instar des autres sites chinois, en prenant en compte la différence de taille des assemblages.

J'invite les trois exploitants (FLA3, TVO et Taishan) à intensifier leur partage d'expérience dans le cadre de l'EPROOG pour tirer pleinement parti du potentiel de l'EPR. Les échanges de personnel, comme l'envoi

d'un chef d'exploitation et d'un ingénieur sûreté chinois à FLA3, en sont une belle illustration.

EPR2, TIRER LES ENSEIGNEMENTS DE FLA3

Le projet EPR2 progresse de manière satisfaisante. La publication des décrets d'autorisation environnementale et d'utilisation du domaine public maritime a permis, durant l'été 2024, de commencer les travaux préparatoires d'aménagement du site de Penly.

La robustesse du processus de conception est un élément clef de la réussite du projet. À la fin de 2023, EDF a décidé de faire mûrir le *basic design* de certains bâtiments. La revue de maturité de l'été 2024 a confirmé le bon avancement du projet et donné son feu vert au passage à la phase de conception détaillée. La complexité du design devra être maîtrisée et le nombre de scénarios d'agressions limité au nécessaire.

Le calendrier d'instruction de l'Autorité de sûreté intègre mieux les contraintes industrielles du projet. Il reste encore à s'accorder sur certains référentiels, notamment l'incendie et le séisme (cf. chapitre 5).

En tant que futur exploitant, la DPN est impliquée dans les choix du projet EPR2 depuis plusieurs années : elle exprime ses besoins et ceux-ci sont bien pris en compte. Cependant, l'exploitant a rejoint le projet trop tardivement, alors que les principales options de performance et de sûreté étaient déjà largement définies.

Une première version des doctrines RGE de l'EPR2 devrait être élaborée, courant 2027, et soumise pour instruction à l'Autorité de sûreté. Il est crucial de phaser la démarche RGE du futur lancée par le parc en exploitation afin que l'EPR2 en bénéficie pleinement (cf. chapitre 2). Il serait incompréhensible que l'exploitant de l'EPR2 démarre les installations avec des RGE du passé.

La réussite du projet EPR2 dépend de la bonne intégration du REX de FLA3. Au-delà des aspects conception et construction, le choix des équipements et leur instrumentation ainsi que l'architecture du contrôle-commande et de l'interface homme machine devront pérenniser les points forts du design de l'EPR, tout en en corrigeant ce qui est perfectible.



Implantation de l'EPR 2 Penly 3&4

La préparation à l'exploitation de la future flotte d'EPR2 devra prévoir des pépinières dans le parc en exploitation et dans les équipes d'aménagement. Il faudra veiller à une meilleure intégration, dès le début du projet, entre la structure d'aménagement et l'exploitant, sur un modèle du type OneFla3, mis en place trop tardivement. Une continuité numérique entre la phase de chantier et celle d'exploitation devra être anticipée pour assurer une bonne maîtrise de la configuration de l'installation. Le projet de division de la DPN devrait inclure un volet spécifique à l'EPR2.

RECOMMANDATION

Dans un contexte de forte augmentation de la charge de travail du programme EPR2, je recommande au directeur de la DISC de réserver les ressources d'ingénierie nécessaires au soutien de FLA3 après la visite complète n°1.



Centrale de Dampierre-en-Burly

Après de nombreuses années de *nuclear bashing*, la tendance s'inverse : le nucléaire suscite un regain d'intérêt et de nouvelles vocations.

La filière, en France et au Royaume-Uni, se mobilise pour relever les défis de la construction des nouveaux réacteurs et de la poursuite d'exploitation du parc.

Framatome investit dans les compétences et dans son outil industriel à Saint-Marcel et au Creusot.

Mobiliser nos partenaires industriels

08

En France, où seuls 9 % du PIB proviennent du secteur industriel (pour une moyenne européenne d'environ 15 %), le discours de Belfort a imposé en 2022 de se mobiliser pour prolonger la durée de vie du parc existant et construire de nouveaux réacteurs.

Le Conseil national de l'industrie coordonne les filières industrielles, y compris celle du nucléaire. Le CSFN (Comité stratégique de la filière nucléaire) définit la stratégie dans un contrat de filière dont la révision devrait être signée par l'État, début 2025. Sa mise en œuvre est assurée par le Groupement des industriels français de l'énergie nucléaire (GIFEN), l'Université des métiers du nucléaire (UMN), les Agences régionales de prestataires (ARP) et Nuclear Valley (R&D).

Le Royaume-Uni a établi une feuille de route *Powering up Britain* pour assurer sa sécurité énergétique et atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050, avec un objectif de 24 GW d'énergie nucléaire.

ÉTAT DES LIEUX

Les attentes de la filière française

La filière attend des pouvoirs publics qu'ils légifèrent (Programmation pluriannuelle de l'énergie PPE) et garantissent une visibilité à long terme, une continuité dans les engagements, des aides au financement et le développement des compétences dans le système d'éducation. L'attractivité de la filière et sa robustesse en dépendent.

Ses principales préoccupations concernent les recrutements et les compétences en ingénierie, l'accélération des contrats d'EDF pour engager les investissements, davantage de mieux-disance et de mode collaboratif. Les perspectives du nucléaire sont encore jugées fragiles et les plannings, trop optimistes.

Le succès du programme nouveau nucléaire français (PNNF) passe par un travail sur le plan de charge, les flux de recrutement et leur professionnalisation, ainsi que l'extension et la modernisation de l'outil industriel de la *supply chain* de rang 2 et plus.

Améliorer l'attractivité

La crise des vocations que nous rencontrons est liée à des changements sociétaux profonds et touche tous les secteurs de l'industrie dont l'attractivité des métiers pâtit de diverses contraintes : sites isolés, emploi du conjoint, horaires décalés, télétravail limité, poids des procédures. Par ailleurs, dans des régions comme le Cotentin ou le Val de Loire le quasi plein emploi met en tension le marché du travail.

Les industriels s'adaptent aux tendances d'une moindre mobilité et d'une plus faible acceptation des contraintes de grands déplacements en ouvrant des agences à proximité des CNPE, en recrutant localement, parfois hors filière, en formant des collaborateurs *ab initio*, notamment en soudage. Ils proposent dès le lycée de l'apprentissage en alternance.

L'UMN développe, avec l'Éducation nationale, des parcours de formation. Mais les classes peinent à se remplir. L'enseignement public reste trop éloigné des besoins, obligeant les industriels à le compléter dans leurs propres centres. Je soutiens sans réserve la formation en alternance, qui aide à mieux connaître les métiers et à se former utilement. La possibilité de pratiquer en CNPE reste cependant entravée par un dispositif d'habilitation contraignant. Les taux d'embauche à l'issue de la phase d'apprentissage semblent trop bas chez EDF SA, alors qu'ils sont plus élevés chez nos partenaires.

GIFEN, le syndicat industriel

Le GIFEN a bâti un programme d'excellence opérationnelle nucléaire (PEON) pour partager les expériences et les meilleures pratiques, construire un référentiel d'excellence, accéder à des outils et formations, bénéficier d'un accompagnement. Il a mis en place une commission qualité sûreté et un programme destiné aux nouveaux entrants. Le GIFEN contribue à rendre les référentiels et spécifications techniques clairs, explicites et répondant au juste besoin. Ses membres travaillent à formuler des exigences de cahiers des charges compatibles de l'état de l'art. Le GIFEN les aide à les prendre en compte en phase d'appel d'offres et l'AFCEN à les décliner.

Royaume-Uni, une filière en tension

On manque aussi de main-d'œuvre dans le nucléaire au Royaume-Uni. Le soudage, l'électricité et certaines spécialités (incendie, facteur humain, etc.) sont les secteurs les plus en tension.

Nuclear Operations s'appuie sur des partenaires historiques bien intégrés et traités sur un pied d'égalité. Cependant, l'attractivité des sites s'est érodée ces dix dernières années. Les partenaires rencontrent des difficultés à attirer du personnel qualifié et à le fidéliser. La crise du Covid-19 a modifié le rapport au travail, réduisant encore la disponibilité des ressources.

L'effet ciseau entre inflation et accord salarial NAECI (*National Agreement Engineering Construction Industry*) de Nuclear Operations a entraîné des départs vers des projets (HPC, SMR de Rolls Royce) ou des industries plus rémunératrices. Ces tensions sont particulièrement palpables sur le site AGR de Hinkley Point B, mitoyen du chantier de l'EPR.

Nuclear Operations garantit la charge de ses principaux partenaires, les *Big 6*, liés par un contrat long terme *Lifetime Enterprise Agreement*. Un plan de fidélisation des ressources est engagé depuis 2021.

Régulièrement réarbitrée en cours d'année, l'activité d'ingénierie sous-traitée manque de visibilité et de stabilité. Des méthodes de travail plus modernes, comme l'IA appliquée à la recherche documentaire, augmenteraient la valeur ajoutée et l'attractivité du métier.

LA QUALITÉ AVANT TOUT

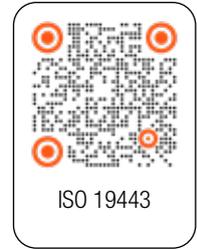
La maîtrise de la qualité des fabrications, des constructions et des interventions dans les installations en fonctionnement relève de la responsabilité de l'exploitant. Celui-ci doit pouvoir compter sur des intervenants compétents, organisés, informés et engagés pour respecter les règles de qualité et les requis et spécifications des activités.



Opération de remplacement de générateurs de vapeur Blayais

ISO 19443, standard d'excellence nucléaire

Framatome et Bureau Veritas ont transformé en 2018 leur standard NSQ 100 en une norme, l'ISO 19443. Elle ne se substitue pas aux autres certifications. Empreinte des exigences de l'arrêté INB, elle clarifie les exigences de qualité attendues des acteurs de la filière nucléaire et de leur chaîne d'approvisionnement. Elle s'adresse aux fournisseurs et sous-traitants dont les produits ou services conditionnent la sûreté des installations de production d'électricité ou de combustible (AIP). La fiabilité, la traçabilité, les compétences et la sensibilité à la sûreté sont essentielles. La certification atteste du niveau de maturité du système de management de la qualité. Elle distingue la capacité d'un fournisseur ou d'un sous-traitant à répondre aux exigences applicables aux activités de ses donneurs d'ordre sur une installation nucléaire. Elle devrait servir de référence dans les appels d'offres internationaux.



La conformité à l'ISO 19443 a été intégrée dès 2019 dans le projet EPR2 et étendue à tous nos contrats, en 2021, sous l'impulsion d'EXCELL. L'unité technique opérationnelle (UTO), la division combustible nucléaire (DCN) et les unités d'ingénierie en lien direct avec des fournisseurs ont obtenu leur certification. J'estime nécessaire de renouveler la certification de la DQI et d'envisager celle des achats de la direction de la *supply chain* (DSC).

L'avis des partenaires, certifiés pour près de la moitié, est positif. Ils estiment que la norme apporte du sens et une réelle plus-value en culture de sûreté, traçabilité, renforcement des exigences et surveillance de leur propre *supply chain*. Mais je constate que leur enthousiasme s'émousse. Ils regrettent qu'être certifiés n'allège pas le processus de qualification et de suivi fournisseur. Il faudra l'adapter.

Traquer les irrégularités

Les irrégularités avérées (CFSI : articles contrefaits, frauduleux et suspects) sont peu nombreuses et relèvent d'actes isolés. Le secteur de la fonderie peine à respecter les cahiers des charges. Des irrégularités dans la traçabilité des activités de maintenance sont aussi parfois constatées.

Les irrégularités proviennent d'un déficit de connaissance, de culture de sûreté et de respect de la réglementation, ou de pression financière ou de planning.

En 2018, EDF a engagé un plan d'actions qui renforce la surveillance, la prévention et la détection des irrégularités, en fabrication et en exploitation. Depuis 2020, les plans de surveillance privilégient une analyse par composant et par fournisseur sur la base d'une analyse de risques. Un projet spécifique aux CFSI a été créé à la DQI en mars 2024.



« Le papier a pris le pas sur le geste technique »

Un nouveau criblage des anomalies détectées lors d'inspection a été mis en place et toute suspicion d'irrégularité est désormais examinée par une cellule dédiée. Dans sa lettre au président de l'ASN, le 19 mars 2024, Luc Rémont s'est engagé à renforcer son plan d'actions.

Lors de mes échanges, j'ai identifié plusieurs axes de progrès. En cas de suspicion de fraude, le traitement judiciaire bloque l'accès aux informations, ce qui contraint le retour d'expérience au titre de la sûreté. Le traitement des CFSI avérées reste également trop long, en moyenne 3 à 4 années. Conformément à l'arrêté INB, le traitement des écarts doit être proportionné aux enjeux. Dans le domaine de la fonderie, il est crucial de renforcer la traçabilité des réparations effectuées sur les corps moulés. En cas de suspicion d'irrégularité, il est impératif que la DPN et DQI harmonisent les modalités d'information de l'ASN. Des protocoles de sécurité doivent garantir l'authenticité et l'intégrité des données. Les solutions doivent encore être rapprochées entre Framatome et l'ASN, sans excès de complexité.

MIEUX QUE DES PRESTATAIRES, DES PARTENAIRES

Homogénéiser les pratiques

Lors de mes échanges, j'ai mesuré le degré d'exaspération que constituent les différences de pratiques entre sites. Elles introduisent de la confusion, complexifient le métier des intervenants et touchent tous les domaines : sécurité et port des équipements de protection individuelle, radioprotection, incendie, analyses de risques, prévention

des NQME et FME, levage, application des pré job briefings, PFI, clauses contractuelles, critères de la culture juste.

Nos partenaires jugent la sur-qualité documentaire contre-productive : « le papier a pris le pas sur le geste technique » et il arrive qu'un soudeur ne puisse souder qu'une demi-heure par jour. Parmi les pistes de simplification : réunion de levée des préalables pour ajuster les besoins au nécessaire, réduction du millefeuille documentaire d'EDF, prestations intégrées sur mesure, incluant la logistique de chantier.

Des ARP qui accompagnent nos partenaires

Regroupées en cinq plaques géographiques (IFARE, GIPNO, PEREN, GIM EST, GIE Atlantique), les agences régionales de prestataires (ARP) aident leurs adhérents à s'adapter aux exigences spécifiques du nucléaire. Une convention nationale homogénéise les pratiques. Leur action est coordonnée par la DPN. L'animation retrouve un dynamisme, à entretenir.

J'encourage les ARP à ne pas se limiter aux formations QHSE et à engager un travail de fond sur les recrutements, les compétences avec l'UMN et la préparation modulaire des arrêts.

L'IFTEA

L'institut de formation des techniques et de l'énergie d'Ardèche (IFTEA) a été fondé par le groupe emploi-compétence de l'instance de concertation et de communication (ICC) de Cruas au profit du Grand Carénage. Plateau technique et centre de formation, il contribue à répondre aux besoins de main-d'œuvre et aux attentes des partenaires d'EDF. Il dispose d'un chantier école, qui forme les salariés des entreprises et les étudiants en BTS CIRA (contrôle industriel et régulation automatique).

Rénover la relation client-fournisseur

La direction de la *supply chain* (DSC) prend le relais du projet EXCELL. La rénovation de la relation client-fournisseur se poursuit avec les démarches d'amélioration de la qualité *Supplier Development* et *Supplier Recovery*, appréciées par nos partenaires. Les contrats incluent désormais davantage de mieux-disance pour éviter les mécanismes qui tirent les prix vers le bas, parfois compensés par des avenants sur les volumes et les évolutions de référentiels. EDF souhaite également resserrer son éventail de fournisseurs pour améliorer la qualité, tout en prenant en compte le risque capacitaire dans une logique de poursuite d'exploitation.

Des dispositions législatives adaptent désormais la commande publique aux spécificités du nucléaire : dérogation à l'allotissement et à la durée maximale des accords-cadres, possibilité de prendre en

compte la crédibilité comme critère d'attribution et de modifier plus simplement un marché en cours d'exécution. Leur bonne utilisation par EDF permettra à nos partenaires d'améliorer la qualité, en investissant dans les compétences de leur personnel et le contenu de leurs services.

Le parc en exploitation structure sa politique industrielle à trois niveaux : national, régional et local. L'UTO élabore les stratégies industrielles selon trois axes : les marchés spécialisés, les marchés généralistes et les marchés locaux. La coordination avec la politique industrielle du Groupe est bien assurée. La rédaction des politiques industrielles de la DPN est encore récente. Il faudra veiller à trouver le bon équilibre entre centralisation et préservation du savoir-faire notamment des pépites locales, fruits de 40 ans d'exploitation. Les responsables de politique industrielle des sites, qui connaissent bien le tissu local et les enjeux d'ancrage territorial, doivent être associés aux travaux des chefs de segment de l'UTO. Sur les marchés spécialisés, la DPN et ses partenaires travaillent sur les compétences dans le cadre du projet START 2025. Une qualification est à présent requise pour les interventions sensibles. Ce sont de bonnes orientations pour réduire les non-qualités de maintenance (NQM).

Fonctionner en entreprise étendue

EDF ambitionne de transformer les méthodes de travail avec ses partenaires. L'entreprise étendue est déployée dans les nouveaux projets et dans le parc, ce qui nécessite d'adapter le cadre contractuel et les plates-formes d'échange d'informations.

Tous les modes de fonctionnement, en plateau, sous forme de prestations massifiées, au forfait ou sur la base de *work package*, s'offrent à l'ingénierie. Les blocages culturels liés au risque de prêt de main-d'œuvre ont été levés. Je considère cette orientation saine.

L'adaptation des systèmes d'information (SI) est indispensable au fonctionnement en entreprise étendue, car ils ne communiquent pas naturellement. Fluidifier les échanges d'informations et éviter les ressaisies, suppose une gestion de données data centrique plutôt que la transmission de fichiers Pdf.

Le projet SI de la DPN mène des expérimentations et vise des succès rapides, comme *Phone Connect* et eDRT, qui font l'unanimité chez nos partenaires.

La transformation numérique de l'ingénierie et des projets du nouveau nucléaire s'appuie sur le programme Switch et sa plate-forme 3DX. La réussite tiendra à la qualité des données, à la limitation du nombre d'outils et à la bonne collaboration entre utilisateurs. Les Business Process & Data Owners (BPDO) en sont les chefs d'orchestre. Les difficultés du PLM 3DX n'ont été que partiellement résolues en 2023. En 2024, les acteurs se sont mobilisés selon trois axes de

travail : renforcement de la gouvernance client/architecte/éditeur, rapprochement des acteurs pour mieux comprendre les besoins des utilisateurs, montées plus fréquentes de version du logiciel. La situation s'est améliorée, néanmoins le niveau de satisfaction des utilisateurs reste en deçà de l'attendu.

L'ESPN digital

À la suite des difficultés, de conformité à la réglementation ESPN des générateurs de vapeur de remplacement, EDF a lancé en 2018 le projet ESPN digital. Cette plate-forme vise à numériser l'ensemble des éléments nécessaires aux attestations de conformité. L'outil centralise les données et fluidifie les échanges d'informations entre parties prenantes, selon le principe de l'entreprise étendue entre fabricants, exploitants, associations professionnelles et organismes habilités (ONA). Il facilite la production des dossiers réglementaires, consolide l'avancement des affaires et intègre des fonctionnalités de mobilité utilisables lors des inspections. La plate-forme est accessible aux autorités de contrôle. En cours de déploiement dans l'ensemble de la filière, il sera généralisé dans les projets EPR2.

PDR, PERSISTANCE D'UN POINT DE FRICTION

Les conséquences de la guerre en Ukraine, qui pouvaient menacer l'approvisionnement en pièces de rechange (PdR), ont été bien gérées, sans rupture d'approvisionnement. Cependant, en France, les PdR demeurent un point de friction et sont à l'origine de reports d'activité. La problématique est complexe et multifactorielle. Progresser demande de travailler sur tous les axes : qualité des bases de données, du stock (et de sa documentation), de la commande et du ciblage des besoins. Le mécanisme de réservation des PdR est insuffisamment vertueux ; les volumes, dépannages ou commandes de pièces spécifiques (PSC) sans consommation engorgent inutilement la logistique. Le poids du responsable logistique de site doit être renforcé avec des profils maintenance du niveau direction.

Les stocks "fin de vie" et les réparations constituent des parades à l'obsolescence. La veille technique est assurée par l'OVCC (Observatoire vieillissement contrôle commande) qui fonctionne bien. L'OVME (Observatoire vieillissement matériel électrique), est quant à lui à réanimer d'urgence. Certaines capacités de stockage atteignent leurs limites (par exemple : pour les équipements de moins de 10 tonnes manutentionnés avec des ponts roulants).

Les PdR associées aux modifications posent encore plus de problèmes et seront désormais commandées en même temps que les équipements. Il reste le passif des anciennes modifications à traiter.

De manière générale, je perçois que la direction des PdR de l'UTO est proactive : elle accompagne les CNPE, tâche de traiter leurs difficultés et, avec l'ASN, les émergences de CFSI, à froid.

Au Royaume-Uni, le principal enjeu concerne l'obsolescence. Les stratégies passent par la constitution de stocks (*lifetime purchases*), la réparation ou le *reengineering* des pièces d'origine. L'extension de l'exploitation des installations doit conduire à vérifier le caractère suffisant des stocks, en particulier pour la *Fuel Route* et les sources électriques internes.

FRAMATOME, UNE DYNAMIQUE ENGAGÉE

Reconquérir la maîtrise industrielle

Dans un contexte de priorisation des ressources pour traiter les réparations liées à la CSC, le remplacement des générateurs de vapeur (RGV), en 2023 à Flamanville, a souffert de difficultés de mobilisation de ressources, de compétences, de planning et de pilotage des écarts qualité. Le remplacement des tronçons RIS, en 2023 à Chinon, a rencontré des difficultés similaires.

L'activité Base installée se renforce en prévision des remplacements de GV et de coudes primaires de 2026 à 2028. Le défi des compétences reste majeur en raison d'un fort renouvellement générationnel. La reconquête de la maîtrise des activités a commencé avec le RGV de Cruas 3 dont EDF et Framatome avaient fait une priorité de 2024, se donnant les moyens de réussir en travaillant ensemble depuis trois ans. Le contrat historique de 2009, qui ne satisfaisait aucune des parties, a été modifié dans un sens plus réaliste. Les modes de travail aident à mieux gérer les interfaces, anticiper les préfabrications, planifier les interventions en tenant compte de la disponibilité des ressources de Framatome, adosser la préparation du chantier à la préparation modulaire, injecter le planning du RGV dans l'outil de pilotage du site et améliorer le pilotage et le reporting.



Saint-Marcel

Framatome investit dans ses usines

Portées par les carnets de commande, les usines de Saint-Marcel et du Creusot investissent fortement dans leurs outils de travail et leurs compétences.

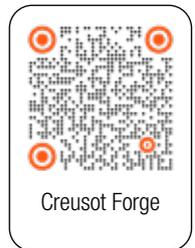
Saint-Marcel étend et réorganise sa chaîne de production. Pour améliorer la qualité, l'usine développe de nouvelles méthodes de travail :



Opération de forgeage Framatome Creusot Forge

QRQC (*Quick Response Quality Control*), indicateurs de taux de fréquence, association de la production aux spécifications pour qu'elles soient réalistes, fonctionnement en flux par spécialisation des postes de travail, boucle courte de traitement du REX, robotisation accrue, standardisation des produits et des revues de maturité des procédés (TRL).

La forge du Creusot a retravaillé ses processus. Davantage de standardisation améliore la qualité et réduit de 90 % le nombre des écarts. Dans une optique de souveraineté, elle va bientôt réinternaliser la production d'internes de cuve dans un nouvel atelier (INOX).



Creusot Forge

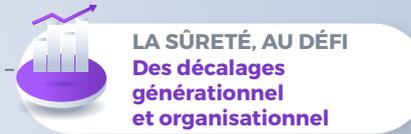
La DTI a ouvert à Saint-Marcel en 2021 le centre de calcul Bourgogne (CCB), qui rapproche la fabrication et l'ingénierie. Les justifications par calcul sont travaillées de concert et au plus près du terrain. La qualité et les délais de production des notes de justification se sont nettement améliorés.

Jeumont Mécanique a du mal à respecter ses délais de fabrication. La capacité industrielle est affectée par les difficultés du bureau d'études à alimenter l'atelier et à maîtriser la réglementation ESPN (équipements sous pression nucléaires). Une mission *Recovery Supplier* a été lancée et commence à porter ses premiers fruits.

RECOMMANDATION

Je recommande aux directeurs de la DISC et de la DPNT de simplifier le dispositif de qualification et les modalités de surveillance de nos partenaires, en fonction de l'obtention ou non de la certification ISO 19443. L'objectif est de viser la certification de nos partenaires.

Des défis pour la sûreté



LA SÛRETÉ, AU DÉFI
Des décalages
générationnel
et organisationnel



LA SÛRETÉ, AU DÉFI
De la complexité



LA SÛRETÉ, AU DÉFI
De la conception
et de l'ingénierie



LA SÛRETÉ, AU DÉFI
Du numérique et
de l'intelligence
artificielle



LA SÛRETÉ, AU DÉFI
De l'engagement de
l'individu ou du collectif ?

Exercice complexe que d'essayer de prévoir l'avenir et d'en envisager les défis. Mais si en matière de sûreté, les inéluctables problèmes techniques et contraintes financières trouvent toujours une solution, les facteurs humains et organisationnels, s'ils sont négligés ou pas suffisamment anticipés, auront du mal à se résoudre d'eux-mêmes. La sûreté en dépend.

Défis d'avenir

09

Sommaire

01

02

03

04

05

06

07

08

09

Annexes

Abréviations

DES DÉFIS, DES PISTES DE RÉFLEXION

Les mutations profondes de la société nous confrontent à autant de défis qu'elles nous offrent d'opportunités. Les attentes sociétales sont toujours plus fortes en matière de durabilité et d'environnement, d'équilibre entre vie privée et professionnelle, de maîtrise absolue du risque.

Le groupe EDF n'y échappe pas dans ses réponses à des questions qui lui sont propres : programme industriel ambitieux, incertitudes sur la durée de vie des centrales en exploitation (avec des échéances proches pour les réacteurs AGR), capacité du nouveau nucléaire à prendre le relais dans les temps et à coût maîtrisé, mur d'investissements dans un contexte de fragilité financière, développement et concurrence des EnR, absence d'alignement européen, concurrence internationale débridée, etc.

Confrontées à ces évolutions, nos installations nucléaires construites à la fin du siècle dernier, nos organisations héritières d'une vision très hiérarchisée, notre culture historique marquée par la recherche de la conformité au prescrit, sont mises au défi.

Défis communs aux deux rives de la Manche, le changement climatique, la réindustrialisation et la sécurisation des chaînes d'approvisionnement nationales, les instabilités économiques et politiques, les risques sanitaires et sécuritaires qui ne manqueront pas de perturber nos sociétés auraient pu faire l'objet de ce chapitre. Cependant, dans un monde confronté aux nouvelles technologies, nous avons pris le parti de traiter dans ce chapitre les défis organisationnels et humains, et pour lesquels il nous semble avoir encore la main au bénéfice de la sûreté nucléaire.

Loin d'être péremptores, nous souhaitons poser des questions et ouvrir des pistes de réflexions auxquelles chacun trouvera une réponse conforme à sa mission et son environnement, selon un principe cher au philosophe Edgar Morin, "*penser global et agir local*".

Je reste persuadé que nous devons collectivement élaborer des solutions adaptées, pour préserver l'énergie nucléaire comme source de souveraineté et d'indépendance, moteur de notre développement économique et garantie de la protection de l'environnement. Un impératif qui ne peut que donner du sens à l'engagement individuel et collectif de tous les acteurs de la filière et répondre ainsi à une attente

générationnelle et sociétale forte vis-à-vis du travail dans une industrie à risque et complexe.

L'entretien des savoir-faire et le développement des compétences restent les conditions initiales indispensables à la résolution de ces équations complexes



La fresque « Verseau » Cruas



LA SÛRETÉ AU DÉFI DES DÉCALAGES GÉNÉRATIONNEL ET ORGANISATIONNEL

Les années 1990 et 2000 ont été marquées par une détérioration de la perception de l'énergie nucléaire et par une perte d'attractivité du secteur, confronté au dogmatisme virulent et à l'influence politique des mouvements écologistes. Si l'on y ajoute la désindustrialisation rapide de l'Europe et le renouvellement générationnel, le secteur manque d'expérience et de résilience (*cf. rapport 2023*).

La renaissance du nucléaire comme réponse à l'urgence climatique impose de construire de nouvelles centrales et de prolonger l'exploitation des parcs existants. Cela pose deux défis inextricablement liés à la sûreté nucléaire : l'un technologique, l'autre humain.

REPENSER NOS ORGANISATIONS

Concevoir, construire et exploiter de nouvelles centrales nécessite d'augmenter massivement la main-d'œuvre du secteur. Loin du modèle historique d'employeurs en mesure de sélectionner les meilleurs candidats et d'imposer leurs conditions, le déséquilibre du marché en matière d'offre et de demande place désormais les candidats en position de force.

Relativement stables en termes d'outils et de méthodes de travail, nos organisations, très segmentées et hiérarchisées, manquent de lisibilité, sont devenues de plus en plus complexes et ont perdu en efficacité. Au risque de perdre aussi en loyauté et en fidélité à l'entreprise, elles devront s'adapter à l'arrivée d'une nouvelle génération qui modifiera la pyramide des âges et des expériences et manifestera des ambitions et des attentes différentes. Pour recruter et conserver les meilleurs talents et faire fructifier leurs compétences, il faudra repenser les modèles de management et de leadership ainsi que les méthodes de travail, en intégrant les nouvelles technologies et le numérique.

NOUS RAPPROCHER DU TERRAIN ET GAGNER EN EFFICACITÉ

Dans un monde global perçu comme plus accessible et plus simple, l'érosion des responsabilités et l'augmentation de la complexité de nos organisations, processus et procédures découragent les jeunes générations qui ont soif de simplicité, d'information et d'autonomie. Critiqué pour son caractère infantilisant et excessivement contraignant, le cadre traditionnel se révèle contre-productif.

La pandémie, avec ses impacts sanitaires et sociaux, a démontré notre capacité à adapter dans l'urgence nos modèles et méthodes de travail. Si nous semblons n'en n'avoir retenu que le télétravail, cette période avait pourtant permis de retrouver la concentration sur l'essentiel : la machine et les hommes. En limitant les réunions au strict nécessaire, en privilégiant l'efficacité sur le terrain, des marges de manœuvre avaient été gagnées.

Attendrons-nous de nouvelles crises pour transformer l'essai ?

REVOIR NOS MÉTHODES D'APPRENTISSAGE

Formation, apprentissage, transfert de connaissances : les méthodes traditionnelles ont fait leurs preuves. Elles doivent évoluer et être plus attrayantes pour les nouvelles générations et mieux adaptées à l'acquisition des compétences.

Nos ambitions, comme les choix entre faire ou faire faire, doivent répondre aux aspirations de la nouvelle génération qui veut pratiquer son métier sur le terrain, élément clef d'un parcours professionnel valorisant. Plutôt que se consumer dans l'administratif, les processus ou le documentaire, elle souhaite revenir à la technique.

Nos leaders et managers doivent aussi faire évoluer leurs méthodes de management, en promouvant la collaboration, en créant la confiance. En redonnant du sens au métier, en prônant un haut niveau d'exigence, le transfert de savoir entre générations s'en trouvera favorisé. L'apprentissage et le mentorat peuvent y contribuer.

MIEUX PRÉPARER AUX RESPONSABILITÉS POUR NE PAS LES FUIR

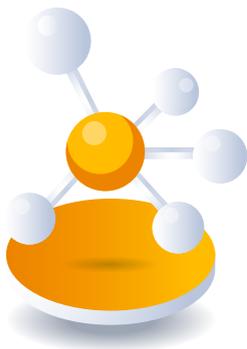
La réticence face aux responsabilités est une autre conséquence des pratiques actuelles de travail et de management. Sont invoquées, la multiplication des contraintes administratives, la complexité et la pression, la perte de l'équilibre entre vie professionnelle et privée, avec le sentiment de vivre pour travailler plutôt que de travailler pour vivre, l'absence de reconnaissance et la peur de l'échec. Le risque

est d'inhiber la prise de responsabilité et, pire, d'être contraint de promouvoir ceux qui n'en ont pas la capacité. Redonner des marges de manœuvre, valoriser l'autorité, retrouver le goût de la réussite... sont autant de pistes qui s'offrent à nous.

Bien que le nucléaire soit singulier, ce défi ne lui est pas spécifique. D'autres industries ont dû faire preuve d'agilité pour s'adapter et évoluer dans un environnement en mutation rapide. Que pouvons-nous en apprendre ?



Prélèvement d'eau dans le lac de la réserve naturelle de la centrale du Blayais



LA SÛRETÉ AU DÉFI DE LA COMPLEXITÉ

TRAQUER LES COMPLEXITÉS INUTILES

Un réacteur nucléaire et son exploitation sont et resteront complexes. Il faut chercher à simplifier ce qui peut l'être, par la conception des réacteurs (par exemple, pouvoir refroidir le cœur sans craindre un retour en criticité) ou par des outils informatiques (par exemple, représenter en temps réel des phénomènes physiques). Plus crucial encore, il faut vaincre les complexités inutiles, néfastes et même délétères qui se développent en couches successives depuis des années :

- inflation de la documentation, des analyses de risque, des démonstrations et des modes de preuve ;
- hypertrophie des processus, des réglementations et des exigences ;
- multiplication des niveaux hiérarchiques, des comités et des signatures.

La sûreté exige des rapports, des règles écrites, des procédures, des processus et une traçabilité. Mais leur excès lui est nuisible. Les capacités cognitives sont accaparées, le sens des mots paraît perdu, intervenir nécessite tant de conditions préalables que l'entraîne et l'efficacité s'épuisent. L'impression d'alimenter une bureaucratie se substitue à la réalité de l'action. Maîtriser les mécanismes de complexification est un combat prioritaire.

RESPONSABILISER DAVANTAGE PAR UN SYSTÈME MOINS PORTÉ SUR LE CONTRÔLE

Systémiques, les mécanismes de complexification sont à la fois internes et externes. D'inspiration souvent louable, ils ont de multiples origines, parmi lesquelles l'inflation des organisations, le développement de mécanismes de réassurance ou l'abus du concept de démonstration de sûreté. Dans le même mouvement, une inflation de mots et de jargon complique notre rapport au monde.

La croissance des organisations morcelle les responsabilités et multiplie les interfaces, processus et comités. Surmonter cette entropie nécessite une énergie considérable, jusqu'à parfois un sentiment de découragement.

De trop nombreuses non-qualités ont abouti à multiplier les mécanismes de réassurance afin qu'elles ne se reproduisent plus. Ce processus semble s'être mué en une injonction de contrôle total depuis les états-majors. La judiciarisation de la sûreté nucléaire, à l'instar du reste de la société, l'amplifie. Il paraît *in fine* fondé sur la croyance que l'on peut mettre en place un système de règles, de procédures et de contrôles qui fasse l'économie du professionnalisme, des compétences et du discernement. Tout contrôler suppose d'ajouter des règles aux règles, en tâchant d'épuiser le réel, ce qu'elles ne feront jamais. Elles finissent d'ailleurs par être contradictoires.

Le mirage du contrôle total se retrouve dans l'abus du terme démonstration de sûreté qui semble s'être substitué à la sûreté elle-même (les matériels importants pour la sûreté devenant des matériels importants pour la démonstration). Ce terme a remplacé, à commencer dans l'arrêté INB, ceux de rapport de sûreté, d'analyse de sûreté, d'évaluation de sûreté, etc. Son emploi devient nuisible lorsqu'il laisse entendre que tout peut être anticipé, que l'on peut étendre à l'infini le champ de l'événementiel et le catalogue du prévu. On semble ainsi avoir oublié les leçons de Three Mile Island.

« PROFESSIONNALISER LES HOMMES AU LIEU DE SOPHISTIQUER LES STRUCTURES ET LES PROCÉDURES »

Décomplexifier suppose de lutter contre l'illusion du contrôle. Il faut redescendre les responsabilités et demander au terrain de davantage se former, s'entraîner, exercer son jugement, prendre et assumer des décisions. Cela suppose de lui en donner les marges, en s'abstenant de le submerger de demandes accessoires.

Il s'agit, en somme, d'accepter de relâcher une part du contrôle au profit d'un travail sur les compétences, la compréhension des matériels, phénomènes et risques, la maîtrise du métier, l'engagement et la responsabilité. En veillant à ne pas ajouter des couches de réassurance à la moindre erreur.

Ce mouvement demande du doigté, certainement du courage, mais aussi une certaine évolution intellectuelle. Beaucoup de choses contribuent à la sûreté mais il n'est pas obligatoire de toutes les traduire dans les règles générales d'exploitation (RGE). Les essais périodiques des RGE ne diront jamais tout de la disponibilité des matériels. Il faut de la maintenance courante, des visites approfondies, de bonnes pratiques d'utilisation, des essais et des rondes. En bref, une appropriation par des compétences, du professionnalisme et du jugement.

Tout ne relève pas non plus de la traçabilité et des modes de preuve. On ne pourra pas tout juger et certifier, depuis un état-major, de la façon de travailler des gens. Il faut rétablir la subsidiarité et redonner toute sa place à l'encadrement de terrain qui veille au geste technique, aux pratiques, aux comportements. Il s'agit d'apprécier les situations de travail.

Diverses voies sont ouvertes :

- revenir aux bases, c'est-à-dire au sens, aux facteurs prépondérants, aux priorités ;
- aimer être sur le terrain, voir les matériels et les hommes, appréhender les situations de travail ;
- se parler, en termes concrets, y compris à propos de ce qui va sans dire ;
- redéfinir ce que sont et ce que ne sont pas les documents d'exploitation et déconstruire une certaine interprétation du terme "démonstration" de sûreté ;
- se préparer à n'être pas préparé, pour être capable de faire face à l'imprévu.

On peut à cette fin s'inspirer de Jean Bourgeois : « toute action doit partir de l'idée simple que c'est *in fine* de l'exploitant lui-même, aux prises avec ses installations, que dépendra la sûreté ; c'est donc à ce niveau qu'il faut agir et cette action sera d'autant plus efficace qu'elle aidera l'exploitant à bien faire son métier, plutôt que lui compliquer la tâche. »

Il s'agit de prescrire moins d'exigences et de manifester plus d'exigence. C'est la condition de la confiance.



Activité de montage électrique HPC



LA SÛRETÉ AU DÉFI DE LA CONCEPTION ET DE L'INGÉNIERIE

PENSER UTILISATEUR

L'ingénierie du groupe EDF doit concevoir de nouveaux réacteurs orientés utilisateur dans un contexte réglementaire très contraint qui ne l'y aide pas. Comment bénéficier du caractère intégré du groupe EDF qui cumule ingénierie de conception, fabrication des gros composants, architecte ensemblier et exploitation du plus grand parc nucléaire mondial totalisant 2 000 années réacteur ?

L'exploitant doit spécifier clairement ses besoins. Il est seul à connaître le contexte opérationnel dans lequel il pilotera les installations et dispose de tout le retour d'expérience d'exploitation.

Penser utilisateur, c'est faciliter l'exploitation au quotidien en fonctionnement normal, perturbé, incidentel, accidentel. Éviter la survenue d'erreurs et faciliter l'exploitation, c'est rendre facilement accessibles l'information et les commandes et simplifier les procédures d'exploitation.

Un design qui, pour répondre à la démonstration de sûreté, empilerait les conservatismes calculatoires et introduirait un niveau de sophistication déraisonnable ne pourrait être jugé exploitable que par son concepteur. L'exploitant doit être mis dans des dispositions favorables à la bonne gestion de situations complexes. Il faut concevoir juste et pertinent : connaître les risques pour définir les parades en limitant le nombre d'équipements au nécessaire, concevoir des automatismes et écrans de contrôle qui aident à appréhender la complexité et offrent une représentation simple des installations et des phénomènes physiques.

L'exploitant doit pouvoir accéder aux équipements, les manœuvrer, les inspecter et en réaliser la maintenance curative et préventive dans de bonnes conditions. En salle de commande, il a besoin d'informations

complètes, facilement interprétables pour surveiller et piloter son installation sereinement. Il doit pouvoir traiter les défaillances de manière proportionnée.

La recherche d'information et la mise en forme des données pour diagnostiquer et surveiller l'installation doivent être facilitées. Les automatismes et commandes doivent être conçus pour des actions rapides et maîtrisées.

L'exploitant doit être déchargé des tâches inutiles et soulagé des tâches ingrates, sans perdre la conscience de la réalité de la machine et en conservant sa capacité à la maîtriser même en cas de panne.

GARDER DES MARGES

Les installations doivent disposer de marges suffisantes pour couvrir des durées de vie de plus en plus longues, pouvoir gérer les obsolescences, traiter des écarts et faire face au changement du climat ou du contexte (réseau et mix de production). Les marges de conception doivent être pilotées et préservées tout au long de la vie des installations.

Celles-ci doivent être résilientes afin de ménager du temps à l'exploitant dans un contexte de charge mentale accrue. En situation complexe, il faut pouvoir établir sereinement un diagnostic, les temps d'action doivent être dimensionnés avec des marges (marge opérateur), les scénarios à cinétique rapide doivent être minimisés.

Le choix d'une technologie évolutionnaire privilégie l'option de raffiner les designs historiques pour tirer parti du retour d'expérience. Cela conduit aussi à faire toujours plus de la même chose, notamment avec des systèmes actifs. Pourrait-on à l'avenir diversifier notre approche en introduisant plus de caractère passif, tout en maîtrisant les risques propres aux systèmes passifs ?

SPÉCIFIER AU JUSTE NÉCESSAIRE ET REJOINDRE LES STANDARDS INDUSTRIELS

Les spécifications propres à la filière nucléaire sont parfois trop complexes pour être assimilées par les fournisseurs. Nos exigences spécifiques nous ont éloignés des produits et process de l'industrie qui fabrique en série des équipements de qualité élevée. Pour bénéficier d'une portabilité maximale de nos équipements électroniques, être plus résilients à l'obsolescence et limiter les non-conformités grâce à des produits bénéficiant d'un système qualité adapté aux grandes séries, il nous faut concevoir et spécifier au juste nécessaire, limiter le nombre de références catalogue et nous rapprocher des standards industriels. Associer nos fournisseurs à nos séquences d'ingénierie y contribuera.

INCARNER LA CULTURE DE SÛRETÉ

Les principes de culture de sûreté s'appliquent autant à la conception qu'à l'exploitation. C'est une gageure pour une ingénierie éloignée d'une machine qui ne sera mise en service que longtemps après sa conception. Couplé à une pression projet soucieuse des plannings, le

morcellement des tâches peut conduire à inhiber la rigueur technique exigée, comme dans le cas du Boeing 737 Max.

Comment toujours accorder la primauté à la sûreté et l'incarner ? Chacun en est l'acteur. Ingénieurs et experts doivent travailler de manière collective, démontrer une attitude interrogative et challenger leurs propres pratiques. Le jugement d'ingénieur doit se nourrir d'une connaissance terrain des installations pour bien concevoir, garder le sens des équilibres et des ordres de grandeur et se recentrer sur le nécessaire. L'engagement et l'exemplarité des managers sont nécessaires. Le juste dimensionnement des ressources, leur professionnalisation et le bon niveau d'exigences doivent être garantis.

Comment faire vivre à l'ingénierie un système de management qui assure un bon niveau de culture de sûreté ? Des domaines sont à privilégier : la circulation d'information entre ingénieries, l'identification et le traitement des anomalies, un apprentissage continu qui intègre réellement le REX, l'autoévaluation et la comparaison avec les pratiques internationales, etc.



Activité de levage Cruas



LA SÛRETÉ AU DÉFI DU NUMÉRIQUE ET DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Après un siècle de révolution industrielle qui a vu la conquête de l'espace et la maîtrise de l'énergie nucléaire, la fin du XX^e siècle a été marquée par une évolution majeure : la révolution numérique qui s'est imposée rapidement à l'ensemble de nos sociétés, sans en mesurer à l'avance tous les effets.

Cette transformation a été marquée par la diffusion massive des ordinateurs, des réseaux, de l'internet, des *smartphones*, des tablettes, des *clouds* et autres *data centers*. Elle a radicalement modifié nos organisations et méthodes de travail, notre relation au temps et notre capacité à raisonner, et a facilité la consommation d'information et le partage du savoir. La révolution numérique s'est opérée en quelques dizaines d'années selon une exponentielle.

Sans être sûrs d'avoir déjà bien maîtrisé la révolution numérique, sommes-nous prêts pour celle de l'intelligence artificielle (IA) et de l'apprentissage automatique (*machine learning ML*) ? L'intelligence de la machine va-t-elle permettre d'éviter l'erreur naturelle de l'homme ? Quelle place devons-nous donner à ce dernier ?

TIRER LE MEILLEUR PARTI DE L'IA

Capacité donnée à une machine d'aider l'homme à résoudre des problèmes complexes, elle apprend et s'améliore par elle-même. Elle trouve dès aujourd'hui ses premières illustrations dans le pilotage des voitures autonomes, qui au-delà de la modélisation des routes et signalétiques, apprécie les comportements des bons ou mauvais conducteurs qu'elles croisent. L'IA n'est donc pas qu'une version augmentée du livre en tant que stock immense de données, elle est une tentative de version augmentée de l'homme par sa capacité à produire des réponses, des logiques et des raisonnements.

Dans notre métier d'exploitant, les perspectives sont multiples. Performante pour la compilation, l'historisation, l'analyse et le traitement des données, l'IA contribue dès l'amont à la recherche fondamentale et à l'innovation technologique puis facilite l'exploitation des systèmes et réduit les coûts de possession. Demain, l'IA appliquée à la maintenance prédictive permettra à la fois d'optimiser la disponibilité des équipements, d'en améliorer la fiabilité et d'économiser du temps et des ressources humaines et financières. Grâce à une meilleure exploitation des signaux faibles, elle facilitera le retour d'expérience et le traitement des données considérables engrangées par le parc. En libérant des tâches chronophages, elle pourra favoriser la multiplication des interactions, donc la friction des idées, et la résolution collaborative de problèmes complexes.

CONTRAINDRE PAR LA NORME OU BIEN OUVRIR LE CHAMP DES POSSIBLES ?

En 2026, le règlement européen Acte sur l'IA entrera en vigueur et cadrera l'usage de cette technologie dans certains domaines selon une approche fondée sur les risques. Il fixera des obligations graduelles pour les différentes parties impliquées dans la chaîne de valeur de l'IA, en fonction du niveau de risque associé à son utilisation.

Il est cependant crucial de ne pas trop corseter l'innovation par la norme, au risque soit de la tuer soit de la voir s'imposer en contrebande. Il importe au contraire de libérer les initiatives par la multiplication des cas d'usage sans se contraindre par le principe zéro risque. Il faut ensuite, avant toute industrialisation, passer l'innovation au filtre d'une grille d'analyse pour s'assurer justement de son impact sur la sûreté et de la place donnée à l'homme.

Consciente du potentiel offert, l'AIEA, Agence internationale de l'énergie atomique, a pris les devants en mettant en ligne une plateforme intitulée « l'intelligence artificielle au service de l'atome. » Elle organise des forums interdisciplinaires permettant aux professionnels d'échanger et de mieux collaborer en matière d'IA dans les applications, la science et la technologie nucléaires. Le Groupe EDF, comme bon nombre d'industriels, développe des projets dont certains visent à améliorer la sécurité nucléaire (transports, contrôles des matières, radioprotection...). Dès ces premières briques applicatives, il faudra s'assurer que l'intelligence humaine puisse rester le moteur de l'IA, de l'apprentissage automatique (*machine learning*), du big data et de l'internet des objets (IoT).

DOMESTIQUER L'IA AU PROFIT DE LA SÛRETÉ

Les risques associés au développement de l'IA sont réels : faire disparaître l'humain du processus de décision, substituer l'IA à certaines actions humaines en pensant les sécuriser. Le risque serait alors de baisser progressivement le degré d'exigence et les capacités à penser, comprendre, décider voire, *in fine*, agir par soi-même.

Comment parvenir au contraire à utiliser cette technologie avec discernement ? Le défi est de taille. Cette domestication exige plus que jamais une éthique rigoureuse : loin de se substituer à l'homme, l'IA doit l'assister sans lui ôter son jugement critique, sa propre expérience, son intuition, sa créativité. Cette domestication nécessite également des moyens techniques de protection des données et de détection des biais algorithmiques ainsi qu'une bonne hygiène numérique pour contrer les effets d'une éventuelle défaillance informatique, malveillante ou non.

Au-delà de la technique, c'est donc une révolution culturelle qu'il faut réussir. Pour gagner en performance sans perdre en sûreté, une prise de conscience collective et un effort de formation d'ampleur sont nécessaires.

La culture numérique est indissociable de la culture de sûreté, qui doit s'appropriier et valoriser la transformation numérique qui s'impose à nous.



Centrale de Dampierre-en-Burly



LA SÛRETÉ AU DÉFI DE L'ENGAGEMENT DE L'INDIVIDU ET DU COLLECTIF

Croissance des enjeux liés à l'énergie, lutte pour un retour à la performance, quête obsessionnelle du zéro défaut : autant de marqueurs de notre industrie qui exigent toujours plus de ceux qui conçoivent, construisent et exploitent nos réacteurs.

Être un bon professionnel revêt de plus en plus de facettes : il faut être compétent, maîtriser les référentiels, connaître les organisations, respecter les processus de travail, fiabiliser son geste, réaliser les contrôles adéquats, intégrer le retour d'expérience, faire face à l'imprévu, décider à son niveau mais savoir aussi solliciter les appuis à bon escient. Il en va de même à tous les niveaux de l'organisation y compris dans les fonctions d'encadrement où l'accroissement des responsabilités peut même aggraver les symptômes. Face à cette tendance, plusieurs phénomènes contraires se font jour : peur de l'échec et fuite des responsabilités pour certains, hyper-engagement et phénomène de compensation pouvant aller jusqu'à l'épuisement pour d'autres. Comment traiter en profondeur ces problèmes ? Comment trouver un meilleur équilibre ?

MISER SUR L'INDIVIDU NE SUFFIT PAS

Les réponses centrées sur l'individu ou l'organisation ne sont pas à négliger. Investir avec constance dans la formation, définir une meilleure répartition des rôles, mettre en place des appuis, accompagner, sont autant de pistes déjà explorées et à poursuivre. Néanmoins, ces réponses ne montrent-elles pas aujourd'hui leurs limites ? Limites cognitives de l'individu. Limites du tout-processus où la tentation de régir les interactions humaines par toujours plus de réglé aboutit à désensibiliser au risque et à tuer la collaboration spontanée. Limites des réorganisations trop fréquentes, coûteuses en énergie et rarement en mesure de répondre aux vrais problèmes. Une part de la vérité

n'est-elle pas plutôt à trouver ailleurs ? Ne devons-nous pas changer nos méthodes et donner une place plus grande aux collectifs ? Ne devons-nous pas en même temps réapprendre à nous parler et retrouver le sens de la coopération ?

INVESTIR SUR LE COLLECTIF

Le travail se fait rarement seul, il est naturellement collectif et collaboratif. À l'heure où des individus risquent de se trouver livrés à eux-mêmes dans des organisations toujours plus complexes, le sentiment de faire partie d'un collectif de travail, d'une équipe peut constituer un véritable stimulant. Facteur d'intégration, un collectif va accueillir les nouveaux, leur transmettre ses règles et savoir-faire.



Au-delà du simple sentiment d'appartenance, de nombreux spécialistes des facteurs humains pensent que « *la vitalité des collectifs est une condition de la sûreté* » (F. Daniellou). En participant à l'identification des situations à risques non couvertes par les procédures, en partageant son expérience et les compétences de ses membres pour faire face aux situations imprévues, le collectif est un élément majeur de la défense en profondeur. Un collectif qui va bien n'est pas qu'une addition d'individus : il met à l'épreuve les manières de faire et sélectionne les meilleures.

Les stratégies visant à redonner une place importante aux métiers face aux processus, l'instauration de communautés de pratiques ou la rencontre régulière des équipes de management sont autant de contributions à cette force du collectif.

FAIRE DU LEADER L'ÉMULATEUR DU COLLECTIF

Quelles sont les conditions pour créer des collectifs qui vont bien ? Des psychologues du travail insistent sur l'importance de créer une culture de « *sécurité psychologique* » (A. Edmondson) où chacun se sent assez en confiance pour exprimer ses doutes et ses interrogations. Dans ce cadre, les leaders ont la responsabilité d'instaurer un climat de confiance et de respect mutuel.

Cette idée de travailler au niveau des collectifs et par-delà est également promue par WANO qui l'intègre comme un des cinq attributs fondamentaux du leadership nucléaire : « *Create an environment of teamwork, trust and cooperation.* » Dans ses attentes, WANO souligne le rôle clef du leader pour créer les conditions favorables afin que chacun se sente dépositaire de la performance de l'équipe et pour encourager la coopération à tous les niveaux de l'organisation.

Le manque de coopération est manifeste dans les sites en difficulté. Dans ces contextes de contre-performance, des équipes élémentaires et des services vont avoir une tendance naturelle au repli sur leur « collectif », cherchant à préserver leur propre fonctionnement, voire à reporter la faute sur l'autre. Le premier rôle du management est alors de lever les barrières et de redonner le plaisir de travailler ensemble. Ces contextes mettent en évidence, mais souvent trop tard, l'importance d'œuvrer en temps de paix à la création de valeurs communes.

Révélation du potentiel d'un collectif, le leadership est force légitime d'entraînement vers un objectif partagé de performance et gage de sûreté.



Hinkley Point B transfert de connaissances sur le terrain

Sommaire

01

02

03

04

05

06

07

08

09

Annexes

Abréviations



Centrale de Flammanville 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	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Nombre d'événements significatifs pour la sûreté classés dans l'échelle INES (1 et plus), par réacteur ¹	1,16	0,98	1,12	1,28	1,45	1,4	1,3	1,4	1,2	0,9
2	Nombre d'événements significatifs pour la sûreté (INES 0 et plus), par réacteur	10,03	9,78	11,59	12,6	12,7	12,4	12,9	12,2	12,7	12,6
3	Nombre d'événements significatifs, par réacteur <ul style="list-style-type: none"> • Non-conformités aux STE • Réactivité 	1,24 -	1,48 -	1,41 0,9	1,69 0,7	1,8 0,9	1,5 0,6	1,5 1,0	1,5 0,7	1,1 0,7	1 0,7
4	Nombre de non-conformités ² de configuration de circuits par réacteur	1,74	1,64	1,78	1,24	1,4	1,3	1,1	1,3	1,32	0,98 ⁶
5	Nombre d'arrêts du réacteur, par réacteur (et pour 7 000 heures de criticité ³) <ul style="list-style-type: none"> • Automatiques • Manuels 	0,66 0	0,48 0	0,38 0,04	0,31 0	0,53 0,03	0,29 0,04	0,53 0	0,36 0,02	0,32 0,04	0,54 0
6	Dose opérationnelle collective moyenne, par tranche en service (en hSv)	0,71	0,76	0,61	0,67	0,74	0,61	0,71	0,67	0,72	0,75
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 2	0 0 1	0 0 0	0 0 1	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
8	Nombre d'événements significatifs pour la radioprotection	109	117	131	170	171	173	108	140	141	108
9	Disponibilité (%)	80,8	79,6	77,1	76,5	74	71,9	72,9	58,1	67,3	74,15
10	Indisponibilité fortuite (%)	2,48	2,02	3,26	3,7	3,95	5	4,55	2,36 ⁵	3,69 ⁵	3,9
11	Taux de fréquence des accidents du travail avec arrêt Tfg (pour 1 million d'heures travaillées) ⁴	2,7	2,8	2,2	2,3	3,3	2,9	3	3,1	3,1	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

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).

⁶ Donnée non définitive et extrapolée des résultats à fin octobre 2024.

LES INDICATEURS DE RÉSULTATS DU PARC NUCLÉAIRE D'EDF ENERGY

N°	Indicateurs	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
1	Nombre d'événements classés dans l'échelle INES (1 et plus), par réacteur	0,47	0,27	0,47	0,53	0,27	0,07	0,47	0,13	0,27	0,27	
2	Nombre d'événements sûreté dans l'échelle INES (0 et plus) par réacteur ¹	7,4	10	6,13	5,93	6,73	5,47	6,2	5,53	5,27	4,73	
3	Nombre de cas de non-conformité aux STE, par réacteur	1	0,8	0,6	0,6	0,67	0,87	0,53	0,6	0,47	0,47	
4	Nombre de non-conformités ² de configuration de circuits par réacteur	2,87	3,13	0,93	1,67	1,67	1	1,33	1,2	1,47	1,07	
5	Nombre d'arrêts du réacteur, par réacteur (et pour 7 000 heures de criticité ³) • Automatiques • Manuels	0,57	0,3	0,49	0,89	0,56	0,35	0,63	0,49	0,23	0,12	
		0,19	0,42	0,37	0,20	0,32	0	0,27	0	0,12	0,24	
6	Dose opérationnelle collective moyenne, par tranche en service (en hSv) • Sizewell B • AGR	0,048	0,544	0,296	0,096	0,255	0,031	0,383	0,028	0,719	0,309	
		0,067	0,021	0,02	0,05	0,032	0,013	0,012	0,015	0,014	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	
		2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
8	Nombre d'événements significatifs pour la radioprotection	18	20	10	23	28	26	29	18	19	8	
9	Disponibilité (%) :	• Parc EDF Energy	77,3	83	81,6	76,1	65,8	61,7	60,4	77,9	73	72,7
		• Sizewell B	100	82	83,8	89,4	80,6	99,4	64,2	98,7	73,7	84,6
		• AGR	73,7	83,1	81,2	74	63,5	55,9	59,7	73,1	72,8	69,6
10	Indisponibilité fortuite (%) :	• Parc EDF Energy	2,3	5,1	5	3,1	4	5	12,3	4,8	4	12,1
		• Sizewell B	0	0,1	0	2,2	0,2	0,6	0	1,3	0,6	0
		• AGR	2,7	5,8	5,7	3,3	4,7	6,2	14,3	5,9	4,9	15,3
11	Taux de fréquence des accidents du travail avec arrêt LTIR (pour 1 million d'heures travaillées) ⁴	0,4	0,3	0,2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,8	
12	Taux de fréquence des accidents du travail avec et sans arrêt TRIR (pour 1 million d'heures travaillées) ⁴	0,6	0,7	0,4	1,1	1,0	0,7	0,5	0,8	1	1	

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 décennaleVD2 : 2^e visite décennaleVD3 : 3^e visite décennaleVD4 : 4^e visite décennale

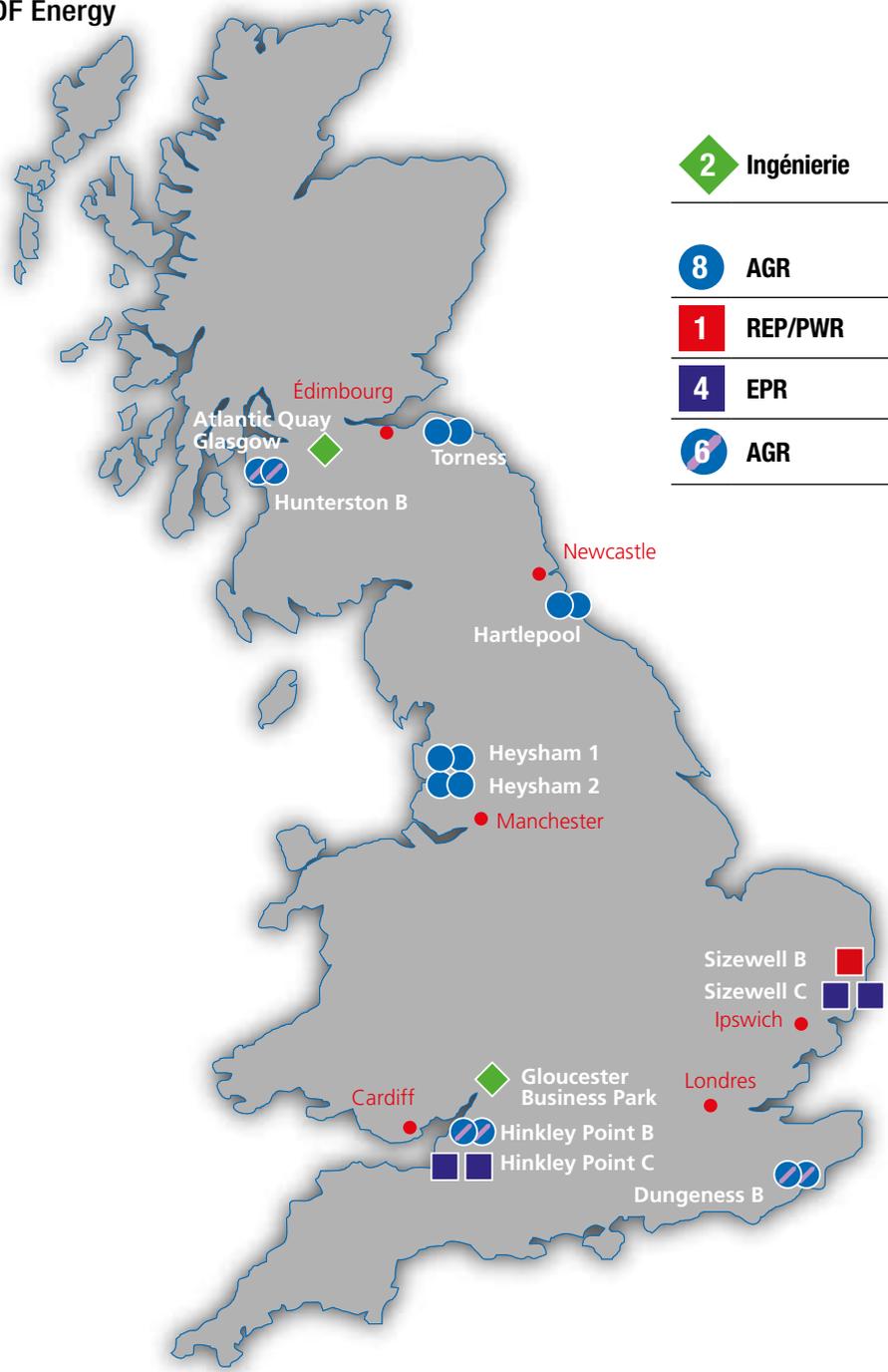
Année de mise en service	Unité de production	Puissance en MWe*	VD1	VD2	VD3	VD4
1984	Cruas 4 CP2	915	1996	2006	2016	2026
1984	Gravelines 5 CP1	910	1996	2006	2016	2026
1984	Paluel 1 P4	1330	1996	2006	2016	2026
1984	Paluel 2 P4	1330	1995	2005	2018	2026
1985	Flamanville 1 P4	1330	1997	2008	2018	2028
1985	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	2022
1976	Hinkley Point B	R4	475	2022
1976	Hunterston B	R3	480	2021
1976	Hunterston B	R4	485	2022
1983	Dungeness B	R21	525	2021
1983	Dungeness B	R22	525	2021
1983	Heysham 1	R1	580	2027
1983	Heysham 1	R2	575	2027
1983	Hartlepool	R1	595	2027
1983	Hartlepool	R2	585	2027
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 Energy



LES SITES DE FRAMATOME

Sommaire

01

02

03

04

05

06

07

08

09

Annexes

Abréviations

**Reste du monde**

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

Allemagne

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

**Chine**

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

**France**

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

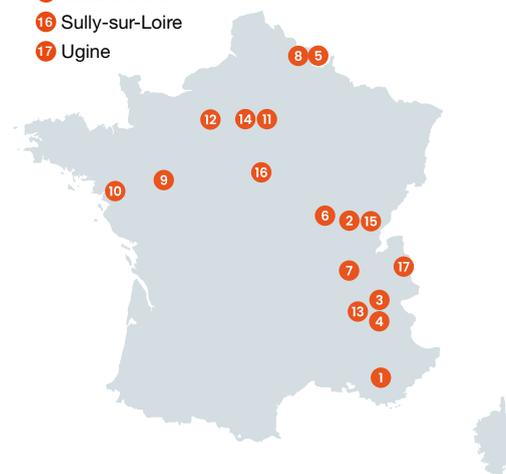


TABLE DES ABRÉVIATIONS

A

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

B

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

C

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

CSN	Conseil de Sûreté Nucléaire
CSNE	Comité Sûreté Nucléaire en Exploitation de la DPN
CTO	Central Technical Organisation

D

DACI	Direction Autorité de Contrôle Indépendant (Edvance)
DART	Equipe d'intervention réactive (EIR)
DBUE	Force d'Action Rapide Nucléaire (FARN UK)
DCC	Directoire Cœur Combustible
DCN	Division Combustible Nucléaire
DFISQ	Département Filière Indépendante de Sûreté et de Qualité (DIPNN)

DISC	Direction Ingénierie et Supply Chain
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 (US)
DPC	Direction Projets et Construction
DP2D	Direction des Projets Déconstruction et Déchets
DPN	Division Production Nucléaire
DPNT	Direction du Parc Nucléaire et Thermique
DRS	Directoire des Réexamens de Sûreté
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	Événement Significatif en Radioprotection
ESS	Événement 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	Equipe d'Intervention Réactive (EIR UK)
FIS	Filière Indépendante de Sûreté
FME	Foreign Material Exclusion
FSAT	Equipe d'Intervention Incendie (UK)

G

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

H

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

J

JDO Joint Design Office (UK)

L

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

M

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

N

NCC Noyau de Cohérence des métiers de Conduite
N3C Non-conformités de configurations de circuits
NCME Noyau de Cohérence des métiers de Maintenance en Exploitation
NC STE Non Conformité Spécifications Techniques d'Exploitation

NDA Nuclear Decommissioning Authority (Royaume- Uni)
NDT Contrôles non destructifs
NEA Nuclear Energy Agency (OECD)
NEI Nuclear Energy Institute (États-Unis)
NNB Nuclear New Build (EDF Energy)
NNSA National Nuclear Security Administration (Chine)
NPP Centre Nucléaire de Production d'Électricité (CNPE)
NQME Non Qualité de Maintenance et d'Exploitation
NRC Nuclear Regulatory Commission (États-Unis)
NSG Service Sécurité (UK)

O

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

P

PBMP Programme de Base de Maintenance Préventive
PCCF Projet Conformité Creusot Forge (Framatome)
PCC-EO Pôle Compétences Conseil et Efficacité des Organisations
PCI Interaction Pastille Gainés (IPG)
PDC Plan de Développement des Compétences de l'ingénierie nucléaire
PFI Pratiques de Fiabilisation des Interventions
PGAC Prestations Générales d'Assistance aux Chantiers
PIRP Politique Industrielle et Relations Prestataires
PLM Plant Lifecycle Management
PPAS Plan Pluriannuel d'Amélioration de la Sécurité (Framatome)

PPE Équipement de Protection Individuelle (EPI)
PPI Plan Particulier d'Intervention
PSPG Peloton Spécialisé de Protection de la Gendarmerie
PUI Plan d'Urgence Interne
PWR Réacteur à Eau sous Pression (REP)

R

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

S

SAT Systematic Approach to Training
SDIN Système D'Information du Nucléaire
SDIS Services Départementaux d'Incendie et de Secours
SIR Service d'Inspection Reconnu
SMART Programme de digitalisation de la DIPDE
SMI Système de Management Intégré
SMR Petit Réacteur Modulaire
SODT Safety Oversight Delivery Team
SOER Significant Operating Experience Report (WANO)
SOH Socio-Organisationnel et Humain
SP Structures Palier (DPN)
SPR Service Prévention des Risques
SQEP Habilitation (personne qualifiée et expérimentée)
STE Spécifications Techniques d'Exploitation
SWITCH Programme de transformation numérique de la DIPNN
SYGMA Système de Gestion de la Maintenance

T

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

U

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

V

VC Visite Complète
VD Visite Décennale
VP Visite Partielle

W

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



*L'équipe IGSNR à la centrale de Cruas Meysse :
Bertrand VAUCHY – Bertrand de l'ÉPINOIS – Jean CASABIANCA – Jean-Baptiste DUTTO – Paul WOLFENDEN*

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

Nicolas WAECKEL pour ses illustrations, Antoine SOUBIGOU, Stéphanie JAYET CAPA Pictures, Christel SASSO, Xavier POPY/REA, Marc DIDIER, Sophie BRANDSTROM, Philippe ERANIAN / TOMA, Gabrielle BALLOFFET, Julien GOLDSTEIN, Alexis TOUREAU CAPA Pictures 72, Abaca Press / Ammar ABD RABBO, EDF Médiathèque, Alexis MORIN, Stéphanie JAYET, Cedric HELSLY, Matthieu COLIN, Cyrille DUPONT / The Pulses, John CAIRNS



La vasque olympique

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, les CNPE de Flamanville 1&2, Blayais, Tricastin, Cruas, Dampierre et Flamanville 3 ;
- les projet EPR2 et Nuward, Edvance, la DSPP, la DQI, l'OIU, la DFISQ, la DT et TEGG, la DIPDE, la DCN, le Grand Carénage et l'UFPI ;
- la R&D de Chatou ;
- Framatome : la DTI et le CCB, les usines du Creusot et de Saint-Marcel ;
- Base de l'Île Longue, l'École navale, TechnicAtome (RES), le CEA de Cadarache, l'Andra (CIGEO, CSA et CIRES) ;
- EDF Hydro.

Au Royaume-Uni :

- Nuclear Operations, Heysham 2, Hinkley Point B, Hinkley Point C, l'EPR-E, 6 Atlantic Quay, Torness, Sizewell C.

En Finlande :

- TVO : Olkiluoto 3 et Onkalo.

En Chine :

- CGN, les sites de Taiping Ling, Taishan ;
- la Compagnie 23.



E.D.F.
Présidence IGSNR
22-30, avenue de Wagram
75008 Paris
☎ : +33 (0)1 40 42 10 57

www.edf.com
www.igsnr.com