

10

Les centrales nucléaires d'EDF



1

Généralités sur les centrales nucléaires p. 303

- 1.1 Présentation générale d'un réacteur à eau sous pression
- 1.2 Les principes de sûreté
- 1.3 Le cœur, le combustible et sa gestion
- 1.4 Le circuit primaire et les circuits secondaires
- 1.5 Le circuit de refroidissement du circuit secondaire
- 1.6 L'enceinte de confinement
- 1.7 Les principaux circuits auxiliaires et de sauvegarde
- 1.8 Les autres systèmes importants pour la sûreté
- 1.9 Le « noyau dur » améliorant la résistance aux événements extrêmes
- 1.10 Les spécificités du réacteur EPR de Flamanville

2

Le contrôle de la sûreté nucléaire des réacteurs en fonctionnement p. 307

- 2.1 **Le combustible**
 - 2.1.1 Le combustible en réacteur
 - 2.1.2 L'évaluation de l'état du combustible en réacteur
- 2.2 **Les équipements sous pression nucléaires**
 - 2.2.1 La conception et la fabrication des équipements sous pression nucléaires
 - 2.2.2 L'évaluation de la conception et de la fabrication des équipements sous pression nucléaires
 - 2.2.3 L'exploitation des équipements sous pression nucléaires
 - 2.2.4 L'évaluation de l'exploitation des équipements sous pression nucléaires
- 2.3 **Les enceintes de confinement**
 - 2.3.1 Les enceintes de confinement
 - 2.3.2 L'évaluation des enceintes de confinement
- 2.4 **L'organisation pour l'exploitation des réacteurs**
 - 2.4.1 L'exploitation des réacteurs
 - 2.4.2 L'évaluation de l'exploitation des réacteurs et de la documentation opérationnelle
 - 2.4.3 Le processus de retour d'expérience
 - 2.4.4 L'évaluation du processus de retour d'expérience
 - 2.4.5 La protection contre les agressions d'origine interne ou externe
 - 2.4.6 L'évaluation de la maîtrise des risques liés aux agressions
- 2.5 **La conformité et la maintenance des installations**
 - 2.5.1 La maintenance des installations et la maîtrise des activités sous-traitées
 - 2.5.2 L'évaluation de la maintenance et des activités sous-traitées
 - 2.5.3 Le contrôle de la conformité des installations aux exigences qui leur sont applicables
 - 2.5.4 L'évaluation du contrôle de la conformité des installations aux exigences qui leur sont applicables
- 2.6 **La prévention et la maîtrise des impacts environnementaux et sanitaires et des risques non radiologiques**
 - 2.6.1 Les prélèvements d'eau, les rejets, la gestion des déchets et les impacts sanitaires
 - 2.6.2 La prévention et la maîtrise des risques non radiologiques
 - 2.6.3 L'évaluation de la maîtrise des impacts environnementaux et sanitaires et des risques non radiologiques
- 2.7 **La radioprotection des travailleurs**
 - 2.7.1 L'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants
 - 2.7.2 L'évaluation de la radioprotection des travailleurs
- 2.8 **Le droit du travail dans les centrales nucléaires**
 - 2.8.1 L'inspection du travail dans les centrales nucléaires
 - 2.8.2 L'évaluation de la santé et de la sécurité, des relations professionnelles et de la qualité de l'emploi dans les centrales nucléaires

3

La poursuite du fonctionnement des centrales nucléaires p. 326

- 3.1 L'âge des centrales nucléaires
- 3.2 Le réexamen périodique
- 3.3 **Les réexamens périodiques en cours des centrales nucléaires**
 - 3.3.1 Les réacteurs de 900 MWe
 - 3.3.2 Les réacteurs de 1 300 MWe
 - 3.3.3 Les réacteurs de 1 450 MWe

4

Le contrôle du réacteur EPR de Flamanville p. 329

- 4.1 L'autorisation de mise en service
- 4.2 Le contrôle du démarrage et des débuts du fonctionnement du réacteur

5

Le contrôle du projet de réacteurs EPR 2 p. 331



Les réacteurs de production d'électricité sont au cœur de l'industrie nucléaire en France. De nombreuses autres installations décrites dans d'autres chapitres de ce rapport produisent le combustible destiné aux centrales nucléaires ou le retraitent, entreposent des déchets provenant des centrales nucléaires ou encore servent à étudier des phénomènes physiques liés à l'exploitation ou à la sûreté de ces réacteurs.

Les réacteurs français sont techniquement proches les uns des autres et forment un [parc standardisé](#) exploité par EDF. Si cette homogénéité permet à l'exploitant et à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) de disposer d'une solide expérience de leur fonctionnement, elle conduit aussi à un risque accru en cas de défaut générique de conception, de fabrication ou de maintenance détecté sur l'une de ces installations, pouvant affecter l'ensemble des réacteurs. L'ASN exige donc d'EDF une forte réactivité et une grande rigueur dans l'analyse du caractère générique de ces défauts et de leurs conséquences pour la protection des personnes et de l'environnement, ainsi que dans leur traitement.

L'ASN exerce un [contrôle exigeant de la sûreté](#), des [mesures de protection de l'environnement et de la radioprotection](#) dans les centrales nucléaires et l'adapte continuellement au regard du retour d'expérience.

L'ASN développe une [approche intégrée du contrôle des installations](#). Elle intervient à tous les stades de la vie des réacteurs électronucléaires, depuis leur conception jusqu'à leur démantèlement et leur déclassement. Son périmètre d'intervention élargi la conduit à examiner, à chacun des stades, les domaines de la sûreté nucléaire, de la protection de l'environnement, de la radioprotection, de la sécurité des travailleurs et de l'application des lois sociales. Pour chacun de ces domaines, elle contrôle tant les aspects techniques qu'organisationnels et humains. Cette approche lui impose de prendre en compte les interactions entre ces domaines et de définir les modalités de son action de contrôle en conséquence. La vision intégrée qui en résulte permet à l'ASN d'affiner son appréciation de l'état de la sûreté nucléaire, de la radioprotection, de la protection de l'environnement et de la protection des travailleurs des centrales nucléaires.

1 – Généralités sur les centrales nucléaires

1.1 Présentation générale d'un réacteur à eau sous pression

Toute centrale électrique thermique produit, en faisant passer de la chaleur d'une source chaude vers une source froide, de l'énergie mécanique qu'elle transforme en électricité. Les centrales thermiques classiques utilisent la chaleur dégagée par la combustion de combustibles fossiles (fioul, charbon, gaz). Les centrales nucléaires utilisent celle dégagée par la fission d'atomes d'uranium ou de plutonium. La chaleur produite dans un réacteur à eau sous pression (REP) permet la formation de vapeur d'eau qui n'entre pas en contact avec le combustible nucléaire. La vapeur est ensuite détendue dans une turbine qui entraîne un alternateur générant un courant électrique triphasé dont la tension est élevée à 400 000 volts (V)

par un transformateur. La vapeur, après détente, est refroidie dans un condenseur au contact de tubes dans lesquels circule de l'eau froide provenant de la mer, d'un cours d'eau (fleuve, rivière) ou d'un circuit de réfrigération atmosphérique. L'eau condensée est réutilisée dans le cycle de production de vapeur.

Chaque [réacteur](#) comporte un îlot nucléaire, un îlot conventionnel, des ouvrages de prise et de rejet d'eau et éventuellement un aéroréfrigérant.

L'îlot nucléaire comprend essentiellement la cuve du réacteur, le [circuit primaire](#), les générateurs de vapeur (GV) et des circuits et systèmes assurant le fonctionnement et la sûreté du réacteur : les circuits de contrôle chimique et volumétrique, de refroidissement à l'arrêt, d'injection de sécurité, d'aspersion dans l'enceinte et d'alimentation en eau des GV, les systèmes

électriques, de [contrôle-commande](#) et de protection du réacteur. À ces éléments sont également associés des circuits et systèmes assurant des fonctions support : contrôle et traitement des effluents primaires, alimentation en eau, ventilation et climatisation, alimentation électrique de sauvegarde (groupes électrogènes à moteur diesel).

L'îlot nucléaire comprend également les systèmes d'évacuation de la vapeur vers l'îlot conventionnel, ainsi que le bâtiment abritant la piscine d'entreposage et de refroidissement des combustibles neufs et usés. L'eau de celle-ci, mélangée à de l'acide borique, sert à absorber les neutrons émis par les noyaux des éléments fissiles des combustibles usés, pour éviter d'entretenir une fission nucléaire et à assurer le refroidissement des combustibles usés et la protection radiologique des travailleurs.

L'îlot conventionnel comprend notamment la turbine, l'alternateur et le condenseur. Certains composants de ces matériels participent à la sûreté du réacteur. Le circuit secondaire appartient pour partie à l'îlot nucléaire et pour partie à l'îlot conventionnel.

1.2 Les principes de sûreté

La conception des réacteurs nucléaires repose sur des principes de sûreté visant à assurer les fonctions de sûreté :

- la maîtrise de la réactivité du cœur, c'est-à-dire le contrôle des réactions nucléaires en chaîne ;
- l'évacuation de la puissance thermique issue des substances radioactives et des réactions nucléaires ;
- le confinement des substances radioactives. Il s'agit d'empêcher la dispersion des substances radioactives dans l'environnement, et d'assurer la protection des personnes et de l'environnement contre les rayonnements ionisants.

La conception des installations nucléaires repose sur le principe de défense en profondeur, qui conduit à la mise en œuvre de niveaux de défense successifs (caractéristiques intrinsèques, dispositions matérielles et procédures), destinés à prévenir les incidents et accidents puis, en cas d'échec de la prévention, à en limiter les conséquences.

Le confinement des substances radioactives est assuré par l'interposition, lorsque le réacteur fonctionne, de trois barrières de confinement entre ces substances et le milieu extérieur :

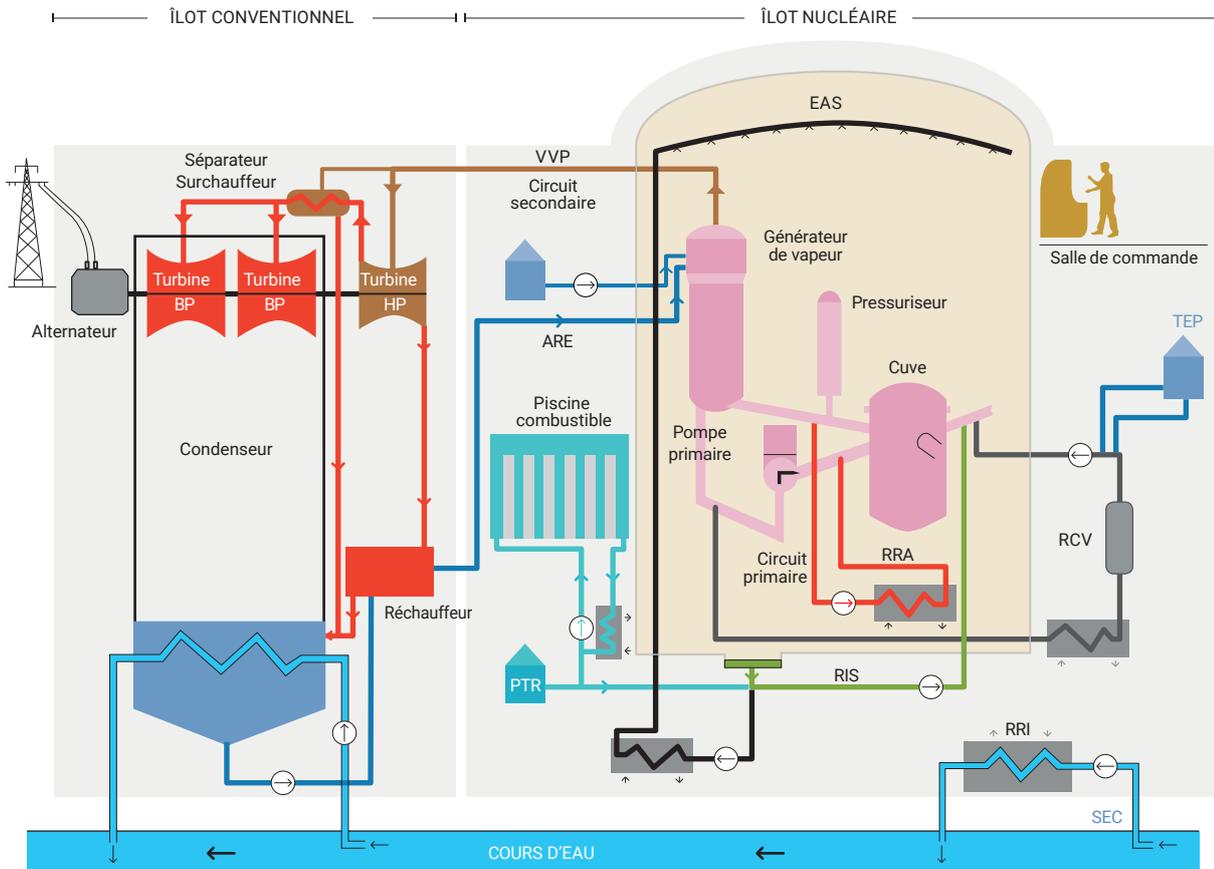
- la gaine qui enveloppe les pastilles de combustible retient les produits radioactifs contenus dans les pastilles de combustible ;
- le circuit primaire qui constitue une deuxième enveloppe capable de retenir la dispersion des produits radioactifs contenus dans le combustible si les gaines sont défaillantes ;
- l'enceinte de confinement qui est constituée par le bâtiment en béton qui abrite le circuit primaire. Elle est destinée en cas

d'accident à retenir les produits radioactifs qui seraient libérés lors d'une rupture du circuit primaire.

1.3 Le cœur, le combustible et sa gestion

Le cœur du réacteur est constitué d'assemblages de combustible qui sont constitués de « crayons », composés de « pastilles » d'oxyde d'uranium ou d'oxyde d'uranium appauvri et de plutonium (pour les combustibles dits « MOX »), contenues dans des tubes métalliques fermés, appelés « gaines ». Lors de leur fission, les noyaux d'uranium ou de plutonium, dits « fissiles », émettent des neutrons qui provoquent, à leur tour, d'autres fissions : c'est la réaction en chaîne. Ces fissions nucléaires dégagent une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur. L'eau du circuit primaire, qui pénètre dans le cœur par la partie inférieure à une température d'environ 285 °C, s'échauffe en remontant le long des crayons de combustible et ressort

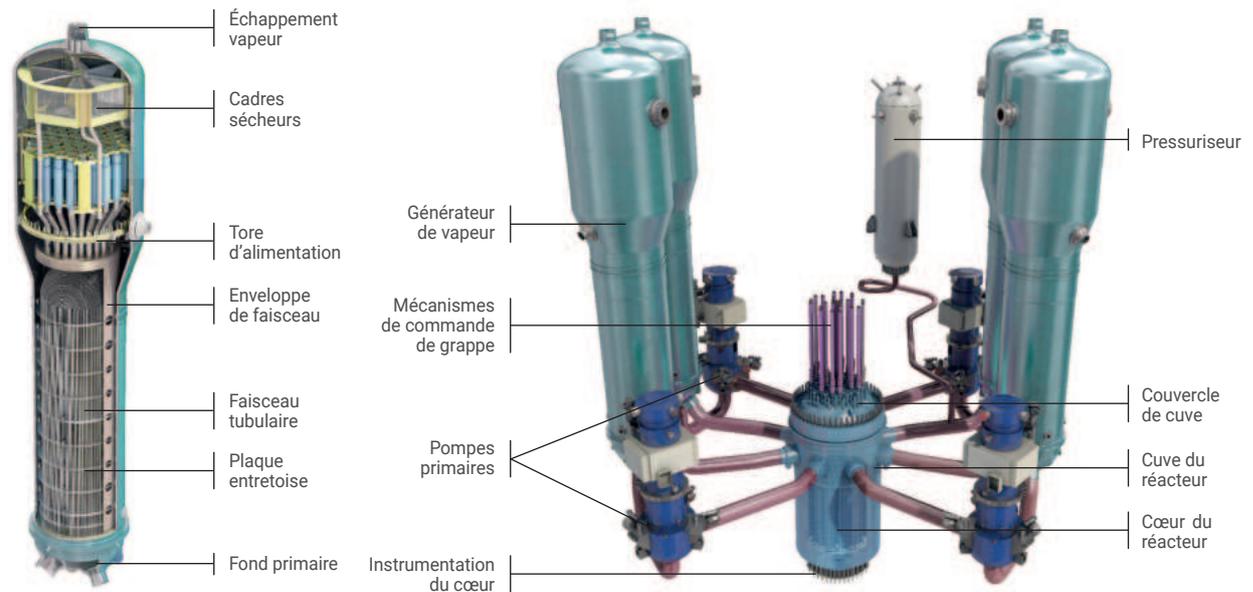
Le principe de fonctionnement d'un réacteur à eau sous pression



- ARE : circuit de régulation du débit d'eau alimentaire
- ASG : circuit d'eau alimentaire de secours des générateurs de vapeur
- EAS : circuit d'aspersion dans l'enceinte du bâtiment réacteur
- PTR : circuit de réfrigération et de purification de l'eau des piscines
- RCV : système de contrôle chimique et volumétrique du réacteur
- RIS : circuit d'injection de sécurité
- ☒ : échangeur

- RRA : système de refroidissement du réacteur à l'arrêt
- RRI : circuit de réfrigération intermédiaire
- SEC : circuit d'eau brute secourue
- TEP : circuit de traitement des effluents primaires
- Turbine BP ou HP : pour basse pression ou haute pression
- VVP : systèmes d'évacuation de la vapeur
- ☉ : pompe

Un générateur de vapeur et un circuit primaire principal d'un réacteur de 1300 MWe



par la partie supérieure à une température proche de 320 °C.

Au début d'un cycle de fonctionnement, le cœur présente une réserve d'énergie très importante. Celle-ci diminue progressivement pendant le cycle, au fur et à mesure de la consommation des noyaux fissiles. La réaction en chaîne, et donc la puissance du réacteur, est contrôlée par :

- l'introduction plus ou moins importante dans le cœur de dispositifs appelés « grappes de commande », qui contiennent des éléments absorbant les neutrons. Elles permettent de contrôler la réactivité du réacteur et d'ajuster sa puissance à la puissance électrique que l'on veut produire. La chute des grappes par gravité permet l'arrêt d'urgence du réacteur ;
- l'ajustement de la concentration en [bore](#) (élément absorbant les neutrons) de l'eau du circuit primaire, qui permet également de compenser l'épuisement progressif du combustible en éléments fissiles au cours du cycle ;
- la présence, dans les crayons de combustible, d'éléments absorbant les neutrons, qui compensent en début de cycle l'excès de réactivité du cœur après le renouvellement partiel du combustible.

En fin de cycle, le cœur du réacteur est déchargé afin de renouveler une partie du combustible.

EDF utilise deux types de combustible dans ses REP :

- des combustibles à base d'oxyde d'uranium (UO₂) enrichi en uranium 235, à 4,5% en masse au maximum. Ces combustibles sont fabriqués dans plusieurs usines, françaises et étrangères, par Framatome et Westinghouse ;
- des combustibles constitués par un mélange d'oxyde d'uranium appauvri et de plutonium (MOX). Le combustible MOX est produit par l'[usine Melox](#)

d'Orano. La teneur maximale en plutonium autorisée est actuellement limitée à 9,08% (en moyenne par assemblage de combustible) et permet d'obtenir une performance énergétique équivalente à du combustible UO₂ enrichi à 3,7% en uranium-235. Ce combustible peut être utilisé dans les 24 réacteurs de 900 mégawatts électriques (MWe) dont les décrets d'autorisation de création (DAC) autorisent l'utilisation de combustible au plutonium. EDF prépare actuellement l'introduction de combustible MOX dans quelques réacteurs de 1300 MWe.

1.4 Le circuit primaire et les circuits secondaires

Le circuit primaire et les [circuits secondaires](#) permettent de transporter l'énergie dégagée par le cœur sous forme de chaleur jusqu'au groupe turbo-alternateur qui assure la production d'électricité.

Le circuit primaire est composé de boucles de refroidissement, au nombre de trois pour un réacteur de 900 MWe, de quatre pour les réacteurs de 1300 et de 1450 MWe. Le rôle du circuit primaire est d'extraire la chaleur dégagée dans le cœur par circulation d'eau sous pression, dite « eau primaire » ou « réfrigérant primaire ». Chaque boucle, raccordée à la cuve du réacteur qui contient le cœur, comprend une pompe de circulation, dite « pompe primaire », et un GV. L'eau primaire, chauffée à plus de 300 °C, est maintenue à une pression de 155 bars par le pressuriseur pour éviter l'ébullition. Le circuit primaire est contenu en totalité dans l'enceinte de confinement.

L'eau du circuit primaire cède sa chaleur à l'eau des circuits secondaires dans les GV. Les GV sont des échangeurs de chaleur qui

contiennent, selon le modèle, de 3500 à 6000 tubes en forme de U dans lesquels circule l'eau primaire. Ces tubes baignent dans l'eau du circuit secondaire, qui est ainsi portée à ébullition sans entrer en contact avec l'eau primaire.

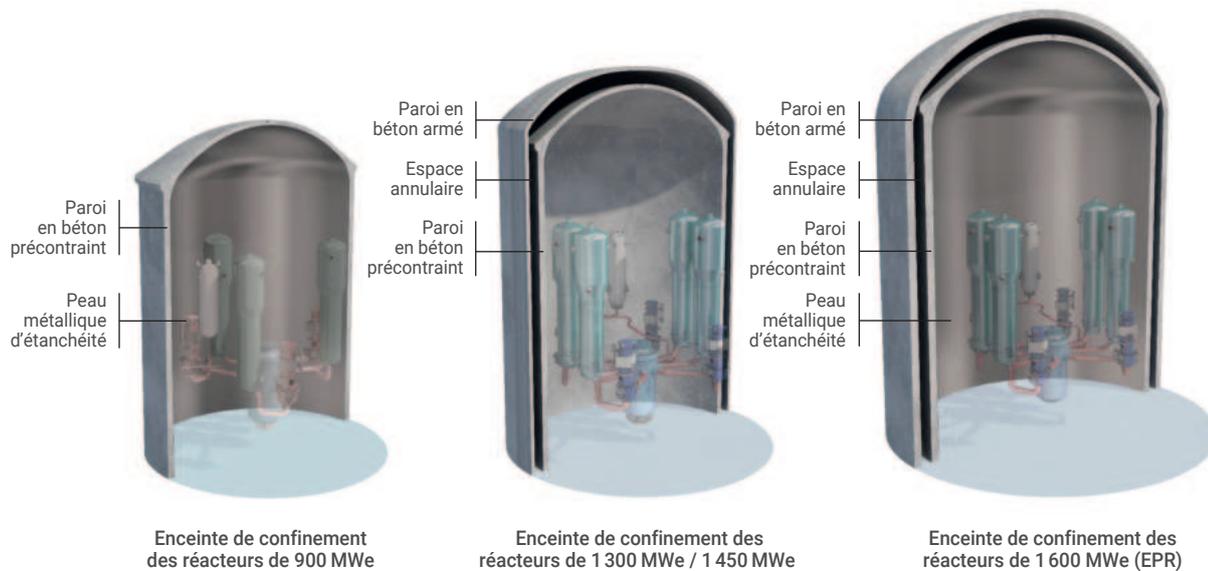
Chaque circuit secondaire est constitué principalement d'une boucle fermée parcourue par de l'eau, sous forme liquide dans une partie et sous forme de vapeur dans l'autre partie. La vapeur produite dans les GV subit une détente partielle dans une turbine haute pression, puis traverse des sécheurs surchauffeurs avant d'être admise pour une détente finale dans les turbines basse pression d'où elle s'échappe vers le condenseur. Condensée, l'eau est ensuite renvoyée vers les GV par des pompes d'extraction relayées par des pompes alimentaires après avoir traversé des réchauffeurs.

Ainsi, ces circuits contribuent à la production d'électricité et à la sûreté du réacteur, puisqu'ils permettent l'évacuation et le contrôle de la chaleur du cœur.

1.5 Le circuit de refroidissement du circuit secondaire

Le circuit de refroidissement du circuit secondaire a pour fonction de condenser la vapeur sortant de la turbine. Il comporte pour cela un condenseur composé d'un échangeur thermique comportant des milliers de tubes dans lesquels circule l'eau froide provenant du milieu extérieur (mer ou rivière). Au contact de ces tubes, la vapeur se condense et peut être renvoyée sous forme liquide vers les GV (*voir point 1.4*). L'eau du circuit de refroidissement échauffée dans le condenseur est ensuite soit rejetée dans le milieu (circuit ouvert), soit refroidie par une tour aéroréfrigérante (circuit fermé ou semi-fermé).

Enceintes de confinement des réacteurs



Les circuits de refroidissement sont des milieux favorables au développement de micro-organismes pathogènes. Le remplacement du laiton par du titane ou des aciers inoxydables comme matériau des condenseurs des réacteurs en bord de rivière, pour réduire les rejets métalliques dans le milieu naturel, impose la mise en œuvre de moyens de désinfection, principalement par traitement biocide. Le cuivre contenu dans le laiton a en effet des propriétés bactéricides que n'ont pas le titane et les aciers inoxydables. Les tours aéro-refrigérantes peuvent contribuer à la dispersion atmosphérique de légionelles dont la prolifération peut être prévenue par un entretien renforcé des ouvrages (détartrage, mise en place d'un traitement biocide, etc.) et une surveillance.

1.6 L'enceinte de confinement

L'enceinte des réacteurs nucléaires assure deux fonctions :

- le confinement des substances radioactives susceptibles d'être dispersées en cas d'accident ; à cette fin, les enceintes ont été conçues pour résister aux températures et pressions qui résulteraient de l'accident d'une brèche sur le circuit primaire ou sur le circuit secondaire, et pour présenter une étanchéité satisfaisante dans ces conditions ;
- la protection du réacteur contre les agressions externes.

Ces enceintes ont été conçues selon trois modèles :

- celles des réacteurs de 900 MWe sont constituées d'une seule paroi en béton précontraint (béton comportant des câbles d'acier tendus de manière à assurer la compression de l'ouvrage dans l'objectif d'augmenter la résistance à la traction de celui-ci). Cette paroi assure la résistance

mécanique à la pression, ainsi que l'intégrité de la structure vis-à-vis d'une agression externe. L'étanchéité est assurée par un revêtement métallique recouvrant l'ensemble de la face interne de la paroi en béton ;

- celles des réacteurs de 1300 et 1450 MWe sont constituées de deux parois : la paroi interne en béton précontraint et la paroi externe en béton armé. L'étanchéité est assurée par la paroi interne et par un système de ventilation qui assure, entre les deux parois, la collecte et la filtration des fuites résiduelles de la paroi interne avant leur rejet. La résistance aux agressions externes est principalement assurée par la paroi externe ;
- celle du réacteur EPR (voir point 1.10).

1.7 Les principaux circuits auxiliaires et de sauvegarde

Les circuits auxiliaires participent en fonctionnement normal, en puissance ou dans les états d'arrêt du réacteur, à la maîtrise des réactions nucléaires, à l'évacuation de la chaleur du circuit primaire et de la puissance résiduelle du combustible dans les états d'arrêt, et au confinement des substances radioactives. Il s'agit principalement du système de contrôle chimique et volumétrique du réacteur (RCV) et du système de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA).

Le rôle des systèmes de sauvegarde est de maîtriser et de limiter les conséquences des incidents et des accidents. Il s'agit principalement des circuits suivants :

- le circuit d'injection de sécurité (RIS), dont le rôle est d'injecter de l'eau dans le circuit primaire en cas de fuite de ce dernier ;
- le circuit d'aspersion dans l'enceinte du bâtiment réacteur (EAS), dont le rôle est de

diminuer la température, et donc la pression, dans l'enceinte de confinement en cas de fuite importante du circuit primaire ;

- le circuit d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG), qui intervient pour alimenter en eau les GV en cas de perte du système d'alimentation normale, et ainsi permettre l'évacuation de la chaleur du circuit primaire. Ce système est également utilisé en fonctionnement normal, lors des phases d'arrêt ou de redémarrage du réacteur. Après l'[accident de la centrale nucléaire de Fukushima](#) (Japon), il a été décidé de mettre en place une source d'eau diversifiée, appelée source d'eau ultime, qui peut être utilisée en situation extrême pour alimenter en eau les GV lorsque les réserves d'eau du système ASG sont vides et que les différentes solutions pour les réalimenter ne sont plus disponibles.

1.8 Les autres systèmes importants pour la sûreté

Les principaux autres systèmes ou circuits importants pour la sûreté et nécessaires au fonctionnement du réacteur sont :

- le circuit de réfrigération intermédiaire (RRI), qui assure le refroidissement d'un certain nombre d'équipements nucléaires. Ce circuit fonctionne en boucle fermée entre, d'une part, les circuits auxiliaires et de sauvegarde, d'autre part, les circuits véhiculant l'eau provenant de la rivière ou de la mer (source froide) ;
- le circuit d'eau brute secourue (SEC), qui assure le refroidissement du circuit RRI au moyen de l'eau provenant de la rivière ou de la mer (source froide). C'est un circuit de sauvegarde constitué de deux lignes redondantes. Chacune de ses lignes est capable d'assurer seule, dans certaines situations, l'évacuation de la chaleur du réacteur vers la source froide ;
- le circuit de réfrigération et de purification de l'eau des piscines (PTR), qui

permet en particulier d'évacuer la chaleur résiduelle des éléments de combustible entreposés dans la piscine du bâtiment du combustible. La source d'eau ultime mise en place dans le cadre des suites de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima permet également d'injecter de l'eau en situation extrême dans la piscine du bâtiment du combustible, en cas de perte du système PTR et des systèmes d'appoint en eau;

- les systèmes de ventilation, qui assurent le confinement des substances radioactives par la mise en dépression des locaux et la filtration des rejets;
- les circuits d'eau destinés à la lutte contre l'incendie;
- le système de contrôle-commande, qui traite les informations reçues de l'ensemble des capteurs de la centrale. Il utilise des réseaux de transmission et donne des ordres aux actionneurs à partir de la salle de commande, grâce à des automatismes de régulation ou à des actions des opérateurs. Son rôle principal vis-à-vis de la sûreté du réacteur consiste à contrôler la réactivité, à piloter l'évacuation de la puissance résiduelle vers la source froide et à participer au confinement des substances radioactives;
- les systèmes électriques, qui sont composés des sources et de la distribution électriques. Les réacteurs électronucléaires français disposent de deux sources électriques externes : le transformateur de soutirage et le transformateur auxiliaire. À ces deux sources externes s'ajoutent deux sources électriques internes : les groupes électrogènes de secours à moteur diesel. En cas de perte totale de ces sources externes et internes, chaque réacteur dispose d'un autre groupe électrogène, constitué d'un turbo-alternateur, et chaque centrale nucléaire dispose d'une source ultime, dont la nature varie selon la centrale considérée. Enfin, ces moyens ont été complétés, après l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima, d'un groupe électrogène de secours à moteur diesel par réacteur, dit « d'ultime secours » (DUS).

1.9 Le « noyau dur » améliorant la résistance aux événements extrêmes

Après l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima, l'ASN a prescrit à EDF de mettre en place sur chaque réacteur, un « noyau dur » de dispositions matérielles et organisationnelles robustes visant, pour les situations extrêmes étudiées dans le cadre des [évaluations complémentaires de sûreté](#) réalisées en 2011, à :

- prévenir un accident avec fusion du combustible ou en limiter la progression;
- éviter les rejets radioactifs massifs;
- permettre à l'exploitant d'assurer les missions qui lui incombent dans la gestion d'une situation d'urgence.

Le « noyau dur » est principalement constitué pour chaque réacteur :

- d'un DUS;
- d'une source d'eau ultime;
- d'un moyen d'injecter de l'eau borée dans le circuit primaire lorsque ce dernier est à haute pression;
- d'une disposition pour l'évacuation de la chaleur par les GV;
- d'un moyen d'appoint à la piscine d'entreposage du combustible, depuis la source d'eau ultime;
- d'un système de refroidissement complémentaire de la piscine d'entreposage du combustible, qui s'appuie en partie sur des moyens mobiles;
- d'une disposition ultime de refroidissement de l'enceinte de confinement, qui s'appuie en partie sur des moyens mobiles;
- de dispositions visant à stabiliser le corium sur le radier, en cas d'accident avec fusion du cœur et percée de la cuve;
- d'un système de contrôle-commande ultime, d'une distribution électrique et de l'instrumentation nécessaire.

De plus, pour la gestion des situations d'urgence, chaque site sera doté d'un nouveau centre de crise local, capable de résister à des agressions extrêmes d'origine externe. Ces dispositions sont en cours de déploiement dans le cadre des réexamens périodiques.

1.10 Les spécificités du réacteur EPR de Flamanville

Le réacteur [EPR de Flamanville](#) est un REP de troisième génération de 1 600 MWe. Il possède quatre boucles de refroidissement et utilise du combustible UO_2 .

Son enceinte de confinement est constituée de deux parois en béton et d'un revêtement métallique (voir page précédente) qui recouvre l'ensemble de la face interne de la paroi interne. Une « coque » en béton armé recouvre les bâtiments les plus sensibles : bâtiment du réacteur, bâtiment d'entreposage du combustible, salle de commande et deux des quatre bâtiments des auxiliaires de sauvegarde.

Comme pour les autres réacteurs, il possède des systèmes ou circuits importants pour la sûreté nécessaires au fonctionnement du réacteur, dont les principales spécificités sont les suivantes :

- la plupart des systèmes de sauvegarde disposent de quatre « trains » redondants;
- les sources d'alimentation électriques sont indépendantes les unes des autres : alimentation électrique principale, alimentation électrique auxiliaire, quatre groupes électrogènes de secours principaux et deux groupes électrogènes d'ultime secours;
- l'IRWST (*In Containment Refueling Water System Tank*) est un réservoir implanté dans l'enceinte et contenant une grande quantité d'eau borée pouvant être injectée dans le circuit primaire en cas d'accident;
- pour limiter les conséquences d'une fusion du cœur qui pourrait entraîner la rupture de la cuve et l'écoulement de matériaux fondus hors de la cuve, un récupérateur en béton très épais, destiné à recueillir le combustible fondu et à le refroidir, est installé sous la cuve du réacteur;
- la piscine d'entreposage du combustible est refroidie par deux systèmes de refroidissement redondants complétés par un troisième dispositif diversifié.

2 — Le contrôle de la sûreté nucléaire des réacteurs en fonctionnement

2.1 Le combustible

2.1.1 Le combustible en réacteur

L'étanchéité des gaines des crayons de combustible, présents à raison de plusieurs dizaines de milliers dans chaque cœur et qui constituent la première barrière de confinement, fait l'objet d'une attention particulière.

En fonctionnement normal, l'étanchéité est suivie par EDF par la mesure permanente de l'activité des radioéléments contenus

dans le circuit primaire. L'augmentation notable de l'activité est le signe d'une perte d'étanchéité de gaines des assemblages. Si l'activité dans le circuit primaire dépasse un seuil prédéfini, les règles générales d'exploitation (RGE) imposent l'arrêt du réacteur avant la fin de son cycle normal.

Lors de chaque arrêt, EDF a l'obligation de rechercher et d'identifier les assemblages contenant des crayons non étanches : le rechargement d'assemblages de combustible contenant des crayons inétanches n'est pas autorisé.

EDF réalise des examens des crayons non étanches afin de déterminer l'origine des défaillances et de prévenir leur réapparition. Les actions préventives et correctives peuvent concerner la conception des crayons et des assemblages, leur fabrication ou les conditions d'exploitation des réacteurs.

Les conditions de manutention des assemblages, de chargement et de déchargement du cœur, ainsi que la prévention de la présence de corps étrangers dans les circuits et les piscines font également l'objet de

dispositions d'exploitation afin de prévenir les risques de perte d'étanchéité des crayons de combustible.

2.1.2 L'évaluation de l'état du combustible en réacteur

En 2024, six réacteurs ont présenté des défauts d'étanchéité du combustible. Malgré une hausse de cet indicateur, l'ASN considère que l'ensemble des centrales nucléaires a une gestion satisfaisante de l'intégrité de la première barrière, constituée par la gaine des crayons de combustible.

L'ASN reste attentive aux examens réalisés par EDF sur les assemblages de combustible concernés, dans le but de déterminer l'origine de ces défauts et d'identifier les actions correctives éventuelles.

Dans le cadre du traitement de l'obsolescence des cellules de ressuage utilisées par EDF sur ses sites pour détecter des défauts d'étanchéité au niveau d'un assemblage de combustible, EDF a présenté en 2024 un projet de cellule mobile dont les performances sont actuellement testées sur maquette.

2.2 Les équipements sous pression nucléaires

2.2.1 La conception et la fabrication des équipements sous pression nucléaires

Les équipements sous pression nucléaires (ESPN) sont des équipements sous pression (ESP) qui assurent le confinement de fluides radioactifs. Certains d'entre eux sont des équipements essentiels pour la sûreté du réacteur. En particulier, les circuits primaires et secondaires mentionnés au point 1.4 de ce chapitre sont constitués d'ESPN.

Compte tenu des risques qui seraient suscités par la défaillance de ces équipements, tant pour la sûreté des réacteurs que pour la sécurité des personnels qui les opèrent, la réglementation encadre leur conception et leur fabrication et leur exploitation en imposant à leur fabricant le respect d'exigences essentielles de sécurité, qui visent à prévenir leur défaillance. Ces exigences concernent par exemple la résistance des matériaux employés, les calculs de conception à réaliser ou encore l'inspectabilité en service des équipements. La réglementation prévoit également que le fabricant d'un ESPN tienne compte des exigences particulières issues de la démonstration de sûreté du réacteur, qui sont susceptibles d'avoir un impact sur la conception de l'équipement.

À ce titre, le fabricant doit définir et appliquer des dispositions qui lui permettent de justifier le respect de ces exigences au moment de la conception et de la fabrication des ESPN. Par la suite, EDF est responsable, en tant qu'exploitant des réacteurs, de leur installation, de leur utilisation et de leur contrôle en service, dans le respect des conditions prévues par le fabricant et en tenant compte de son propre retour d'expérience.

2.2.2 L'évaluation de la conception et de la fabrication des équipements sous pression nucléaires

L'ASN évalue la conformité aux exigences essentielles des ESPN les plus importants pour la sûreté, dits « de niveau N1 », qui correspondent principalement à la cuve, aux GV, au pressuriseur, aux groupes motopompes primaires, à des tuyauteries, notamment celles des circuits primaire et secondaires principaux, ainsi qu'à des vannes et des soupapes de sûreté. L'ASN peut s'appuyer pour cette mission sur des organismes qu'elle habilite et qu'elle contrôle. L'évaluation de la conformité des autres ESPN (dits « de niveau N2 ou N3 ») est réalisée directement par ces organismes habilités. [Quatre organismes](#) ou organes d'inspection sont actuellement habilités par l'ASN pour l'évaluation de la conformité des ESPN : Apave Exploitation France, Bureau Veritas Exploitation, Vinçotte International et l'organe d'inspection des utilisateurs d'EDF.

Cette évaluation de la conformité concerne les équipements destinés aux nouvelles installations nucléaires (elle a concerné plus de 200 équipements pour le [réacteur EPR de Flamanville](#)) et les équipements de rechange destinés aux installations nucléaires en fonctionnement (GV de remplacement notamment). Elle se traduit par un examen de la documentation technique de chaque équipement et par des inspections dans les ateliers des fabricants, ainsi que de leurs fournisseurs et sous-traitants.

En 2024, une part croissante des actions d'évaluation de l'ASN a concerné les ESPN destinés aux réacteurs EPR 2. Par ailleurs, les actions de l'ASN ont été renforcées en ce qui concerne le contrôle des fournisseurs et des fabricants des ESPN de niveau N2 ou N3, en se concentrant en particulier sur certains secteurs d'activité sensibles comme les fonderies ou les fabricants de tuyauteries.

En effet, les opérations de fabrication des ESPN font intervenir un grand nombre de fournisseurs, auxquels les fabricants sous-traitent parfois des activités

déterminantes pour la résistance mécanique de l'équipement produit. Dans ce contexte, l'ASN a renforcé ses contrôles en considérant les déficiences qu'elle a identifiées chez certains fournisseurs de matériaux portant sur la maîtrise des procédés de fabrication sensibles (comme le soudage ou le moulage) ou la traçabilité des opérations de fabrication.

2.2.3 L'exploitation des équipements sous pression nucléaires

Les circuits primaire et secondaires principaux (CPP et CSP) des réacteurs, qui contribuent au confinement des substances radioactives, au refroidissement et au contrôle de la réactivité, fonctionnent à haute température et haute pression.

La surveillance de l'exploitation de ces circuits est réglementée par l'[arrêté du 10 novembre 1999](#) relatif à la surveillance de l'exploitation du CPP et des CSP des réacteurs électronucléaires à eau sous pression. Dans ce cadre, ces circuits font l'objet d'une surveillance et d'une maintenance périodique par EDF.

En particulier, ces circuits sont soumis à une requalification périodique réalisée tous les dix ans, qui comprend une visite complète des circuits impliquant des examens non destructifs sur les zones les plus sensibles, une épreuve hydraulique sous pression et une vérification du bon état et du bon fonctionnement des accessoires de protection contre les surpressions.

Par ailleurs, l'exploitant est tenu de conserver et de mettre à jour, aussi souvent que nécessaire et au moment des requalifications périodiques, les dossiers portant sur la conception, la fabrication, la protection contre les surpressions, les matériaux, les constatations faites au cours de l'exploitation et, le cas échéant, le traitement des [écarts](#).

Sont détaillés ci-dessous certains des enjeux présentés pour la sûreté par les composants du circuit primaire ou des circuits secondaires.

Les cuves des réacteurs

La cuve, composant essentiel d'un REP, contient le cœur du réacteur, ainsi qu'une partie de son instrumentation.

En fonctionnement normal, la cuve est entièrement remplie d'eau, à une pression de 155 bars et une température de 300 °C. Elle est composée d'acier ferritique, avec un revêtement interne en acier inoxydable.

Le contrôle régulier de l'état de la cuve est essentiel pour plusieurs raisons :

- les conséquences de la rupture de cet équipement ne sont pas étudiées dans

Les principes de la démonstration de la résistance en service des cuves



La prévention du risque de rupture brutale de la cuve fait l'objet d'une attention très particulière. Celle-ci conduit à imposer la vérification, à l'occasion de chaque réexamen périodique, de la résistance des cuves en vue des dix années d'exploitation à venir, en tenant compte de la fragilisation de leur acier sous l'effet de l'irradiation.

Le risque de rupture brutale de la cuve d'un réacteur découle de trois facteurs conjoints : la présence d'un défaut (comme une fissure dans le métal) qui est susceptible d'induire une concentration de contraintes, une sollicitation mécanique (résultant de l'exploitation courante du réacteur ou d'une situation incidentelle ou accidentelle) et une résistance mécanique insuffisante du matériau.

La démarche de justification s'appuie donc sur l'analyse de la résistance à la rupture des défauts qui sont connus dans les cuves (ce qui concerne quelques cuves des réacteurs d'EDF, affectées de défauts sous revêtement). De plus, les cuves sont soumises lors de chaque visite décennale à un examen non destructif de la zone soumise à irradiation, dont les performances permettent de détecter les défauts dont la taille est suffisamment grande. Pour assurer le conservatisme des démonstrations, il est donc requis de vérifier également la résistance d'un défaut dit de « référence », qui correspond au plus grand défaut qui ne pourrait pas être détecté lors de ces examens.

L'analyse du risque de rupture brutale des cuves des réacteurs consiste ainsi, pour le défaut de référence comme pour les défauts sous revêtement qui affectent certaines cuves, en :

- l'évaluation des contraintes mécaniques susceptibles d'être à l'origine de l'amorçage de la propagation d'une fissure au niveau de ces défauts, dans toutes les situations de fonctionnement du réacteur, y compris accidentelles ;

- l'évaluation des caractéristiques de résistance mécanique du matériau, en prenant en compte la fragilisation de l'acier sous l'effet de l'irradiation. La fragilisation de l'acier est évaluée tous les dix ans, à partir des résultats d'essais mécaniques réalisés sur des échantillons de matériau qui ont été placés dans des capsules à l'intérieur du cœur des réacteurs. L'emplacement de ces capsules, proche des assemblages de combustible, permet de soumettre ces échantillons à une irradiation plus forte que celle qui atteint la paroi des cuves, et ainsi de vérifier par anticipation la validité des estimations réalisées.

La démarche d'analyse du risque de rupture brutale conduit alors à comparer la sollicitation à l'extrémité du défaut, qui résulte de la première étape, avec la résistance mécanique du matériau, qui résulte de la seconde. Par ailleurs, des coefficients de sécurité sont pris en compte dans l'analyse du risque de rupture brutale, de manière à donner un conservatisme suffisant aux analyses.

Enfin, la cuve dans son ensemble fait l'objet d'autres examens non destructifs, par exemple au niveau du couvercle, et d'un essai de résistance à une pression d'au moins 1,2 fois la pression de service. Cette épreuve constitue un essai de résistance global qui permet de détecter des phénomènes de dégradation non anticipés. À titre d'exemple, c'est lors de l'épreuve réalisée en 1991 de la cuve d'un des réacteurs de la centrale nucléaire du Bugey qu'a été détectée une fuite au niveau d'un adaptateur du couvercle due à un phénomène de corrosion sous contrainte. Cette fuite a conduit EDF à remplacer tous les couvercles de ses réacteurs de 900 et 1300 MWe entre 1994 et 2009.

la démonstration de sûreté du réacteur. Les actions de contrôle contribuent ainsi à la démarche d'exclusion de rupture de cet équipement. Cette démarche repose sur des dispositions particulièrement exigeantes en matière de conception, de fabrication et de contrôle en service afin de garantir sa tenue pendant toute la durée de vie du réacteur, y compris en cas d'accident ;

- durant son fonctionnement, le métal de la cuve se fragilise progressivement sous l'effet des neutrons issus des réactions de fission dans le cœur. Cette fragilisation rend en particulier la cuve plus sensible aux chocs thermiques sous pression ou aux montées brutales de pression à froid. Cette sensibilité est par ailleurs accrue en présence de défauts technologiques,

ce qui est le cas pour quelques cuves qui présentent des défauts apparus sous leur revêtement en acier inoxydable lors de leur fabrication ;

- la cuve est un composant dont le remplacement n'est pas envisagé, pour des raisons à la fois de faisabilité technique et de coût.

Les composants moulés du circuit primaire principal

Le circuit primaire de certains réacteurs français comporte plusieurs coudes et piquages en acier inoxydable austéno-ferritique, fabriqués par moulage. La phase ferritique de cet acier subit un vieillissement en fonctionnement sous l'effet de la température. Certains éléments d'alliage présents dans le matériau, en particulier le molybdène, favorisent cette sensibilité au

vieillessement, notamment pour les réacteurs de 900 MWe et les premiers réacteurs de 1300 MWe. Il en résulte une dégradation de certaines propriétés mécaniques, telles que la résilience et la résistance à la déchirure ductile⁽¹⁾.

Par ailleurs, ces coudes comportent des défauts inhérents au mode de fabrication par moulage statique. Les effets du vieillissement thermique diminuent les marges de résistance à la rupture brutale en présence de défauts.

EDF a mené de nombreux travaux afin d'approfondir sa connaissance de ces matériaux, de leur cinétique de vieillissement et d'évaluation des marges vis-à-vis du risque de rupture brutale. Ces coudes font l'objet d'un suivi attentif de la part de l'ASN, dans la mesure où la poursuite de l'exploitation de ces composants du circuit primaire doit être justifiée à l'occasion de chaque réexamen périodique, en tenant compte de ce phénomène de vieillissement. Certains coudes moulés des réacteurs de 900 et de 1300 MWe, qui sont connectés directement à la cuve des réacteurs, présentent des enjeux particuliers car ils sont très difficilement remplaçables.

Les générateurs de vapeur

Les GV sont composés de deux parties, l'une appartenant au circuit primaire et l'autre au circuit secondaire. L'intégrité des principaux éléments constitutifs des GV est surveillée, tout particulièrement celle des tubes qui constituent le faisceau tubulaire. En effet, une dégradation du faisceau tubulaire (corrosion, usure, fissure, etc.) peut créer une fuite du circuit primaire vers le circuit secondaire. De plus, la rupture de l'un des tubes du faisceau conduirait à contourner l'enceinte de confinement du réacteur, qui constitue la troisième barrière de confinement. Les GV font donc l'objet d'un programme spécifique de surveillance en exploitation, établi et révisé périodiquement par EDF et examiné par l'ASN. À la suite des contrôles, les tubes présentant des dégradations trop importantes sont bouchés pour être mis hors service.

Les GV ont tendance à s'encrasser au fil du temps en raison des produits de corrosion issus des échangeurs du circuit secondaire. Sur les tubes, la couche de dépôt de produits de corrosion (encrassement) diminue l'échange thermique. Au niveau des plaques entretoises, les dépôts (colmatage) empêchent la libre circulation du mélange eau-vapeur, ce qui crée un risque d'endommagement des tubes et des structures internes et peut dégrader le fonctionnement global du GV.

1. Déchirure d'un matériau qui se produit sous l'effet des contraintes qui lui sont appliquées, au terme de sa déformation.

Plusieurs solutions peuvent être mises en œuvre pour limiter les dépôts métalliques dans le circuit secondaire : lançages à l'aide de jets hydrauliques, nettoyages chimiques préventifs, remplacement de certains matériaux utilisés pour la fabrication des faisceaux tubulaires (laiton par acier inoxydable ou alliage de titane, plus résistants à la corrosion), modification des produits chimiques de conditionnement des circuits et augmentation du pH. Certaines de ces opérations nécessitent l'obtention d'une autorisation de l'ASN, car elles impliquent des rejets de substances dangereuses.

Depuis les années 1990, EDF conduit un programme de remplacement des GV ayant les faisceaux tubulaires les plus dégradés. La [campagne de remplacement de GV](#) concernant 26 réacteurs et dont le faisceau tubulaire était en Inconel 600 non traité thermiquement est désormais achevée. Elle

se poursuit par le remplacement des GV dont le faisceau est en Inconel 600 traité thermiquement (21 réacteurs sont encore concernés).

2.2.4 L'évaluation de l'exploitation des équipements sous pression nucléaires

La surveillance de l'exploitation des circuits primaires et secondaires principaux des réacteurs

L'ASN considère que la surveillance menée par EDF de l'exploitation des CPP et CSP reste un point de vigilance. En particulier, EDF a poursuivi en 2024 ses contrôles définis après la détection d'un phénomène de corrosion sous contrainte sur des tuyauteries auxiliaires des circuits primaires (*voir encadré ci-dessous*). Ce phénomène illustre la possibilité que des modes de dégradation non redoutés apparaissent sur ces

circuits, y compris en l'absence de retour d'expérience en France ou à l'international.

Ainsi, il est nécessaire qu'EDF prévoie, au travers des programmes d'investigations complémentaires réalisés sur ces circuits à l'occasion de chaque réexamen périodique, des contrôles adaptés pour tenir compte du risque présenté par d'éventuels phénomènes de dégradation non redoutés, en complément des programmes de surveillance courants.

La déclinaison des programmes de surveillance en exploitation des CPP et CSP, ainsi que leur adaptation pour tenir compte de l'évolution du retour d'expérience et des connaissances concernant les modes de dégradation, font l'objet d'une attention particulière de la part de l'ASN. À ce titre, l'ASN est attentive à ce qu'EDF ait recours à des moyens de contrôle non destructifs adaptés et dont les performances sont qualifiées. EDF doit également être en mesure de déployer de manière réactive des contrôles pour vérifier l'absence de risques particuliers, par exemple en cas de découverte ou de suspicion d'un nouveau mode de dégradation.

Les cuves des réacteurs

Dans le cadre des [réexamens périodiques](#), l'ASN examine tous les dix ans la justification de la tenue en service des cuves. La démarche générique mise en place par EDF consiste à vérifier, selon une approche enveloppe, que toutes les cuves d'un type de réacteur présentent une résistance à la rupture brutale suffisante en tenant compte des chargements auxquelles elles sont soumises en exploitation (que ce soit lors des situations d'exploitation courantes, incidentelles ou accidentelles) et de leur fragilisation sous irradiation. Lors de cet examen, il est tenu compte des propriétés mécaniques de chaque cuve et de la présence d'un défaut hypothétique positionné de manière pénalisante. Pour les cuves présentant des défauts particuliers, EDF vérifie également la résistance mécanique des cuves affectées de ces défauts.

Au terme de son instruction, l'ASN a conclu favorablement sur la capacité des cuves des réacteurs de 900 MWe à fonctionner jusqu'à leur cinquième visite décennale. En 2024, l'ASN a instruit les justifications apportées par EDF pour les cuves des réacteurs de 1300 MWe et l'ASNR prendra position en 2025.

EDF mène également, lors de la visite décennale de chaque réacteur, des contrôles pour s'assurer de l'absence d'évolution des défauts existants ou d'apparition de défauts préjudiciables dans l'acier des cuves. Elle réalise également une épreuve hydraulique sous pression du circuit primaire.

L'ASN émet des procès-verbaux à la suite des contrôles effectués lors de chaque visite décennale sur le circuit primaire, et en particulier sur les cuves. En 2024, les résultats des contrôles menés ont été satisfaisants.

Bilan de la corrosion sous contrainte des lignes auxiliaires

À la suite de la découverte de fissures de [corrosion sous contrainte](#) fin 2021 sur des tuyauteries auxiliaires du circuit primaire de certains de ses réacteurs, EDF a mis en place un programme qui a permis de contrôler plus de 1 200 soudures des systèmes RIS et RRA. En 2024, EDF a maintenu la mobilisation d'importants moyens de contrôle et d'analyse pour identifier les causes de ces dégradations.

EDF a achevé en 2024 les remplacements qui étaient programmés à titre préventif pour les tuyauteries les plus sensibles. Cinq autres réparations de soudures ont été effectuées par ailleurs, à la suite de la découverte de nouveaux défauts.

À ce stade, les contrôles réalisés depuis fin 2021 ont mis en évidence la présence de 80 fissures de plus de 2 mm de profondeur sur ces tuyauteries, ce qui confirme le caractère sérieux de ce phénomène, dont on pensait jusqu'alors qu'il n'était pas susceptible d'affecter ces lignes.

La stratégie de contrôle a mis l'accent sur les soudures réparées lors de leur fabrication, qui sont plus sensibles à la corrosion sous contrainte. Les contrôles de ces soudures ont mis en évidence trois fissures de grande taille, qui auraient pu conduire à une perte d'intégrité de la tuyauterie en cas de sollicitation mécanique importante.

Par ailleurs, la campagne de contrôle réalisée depuis fin 2021 a conduit à la découverte d'une dizaine de fissures de fatigue. Ce phénomène était connu comme susceptible d'affecter ces tuyauteries, mais certaines de ces fissures ont été découvertes au niveau de soudures qui ne faisaient pas l'objet d'un suivi particulier. Ces éléments devront conduire EDF à rendre plus robuste sa stratégie de suivi en service pour ce qui concerne le risque de fissuration par fatigue.

EDF a remplacé l'ensemble des tuyauteries jugées les plus sensibles au phénomène de corrosion sous contrainte. D'ici la fin du premier trimestre 2025, l'ensemble des soudures des tuyauteries RIS et RRA réparées lors de leur fabrication aura été contrôlé et, d'ici la fin 2026, EDF aura contrôlé environ 55% des soudures des lignes RIS et RRA susceptibles d'être concernées par ce phénomène. L'ASN considère que ce taux de contrôle permettra d'avoir une bonne vision de la sensibilité à la corrosion sous contrainte de ces tuyauteries et de compléter les connaissances portant sur le risque de fissuration par fatigue. EDF poursuit par ailleurs la mise en œuvre d'un programme de contrôle par sondage des soudures des autres tuyauteries en acier inoxydable du circuit primaire des réacteurs, afin de vérifier leur absence de sensibilité à la corrosion sous contrainte.

En 2024, l'ASN a poursuivi son contrôle des actions menées par EDF en menant des inspections dans les services d'ingénierie, dans les centrales nucléaires et dans les usines des sous-traitants d'EDF, dans le cadre des opérations de contrôle ou de remplacement de tuyauteries. L'ASN a également poursuivi les échanges avec ses homologues étrangers, dont plusieurs ont réalisé des contrôles spécifiques. À ce stade, l'ASN note que les REP étrangers ne semblent pas concernés par un phénomène d'une telle ampleur.

L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) restera mobilisée sur cette problématique en 2025, et suivra avec attention les résultats des contrôles mis en œuvre par EDF. Elle instruira les évolutions de la stratégie de contrôles d'EDF qui pourraient en découler.

Pour disposer des dernières informations sur le sujet :

asn.fr/l-asn-controle/corrosion-sous-contrainte

Les produits moulés

La justification du maintien en service des produits moulés du CPP au-delà de la quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe a fait l'objet d'une instruction par l'ASN.

Pour ce qui concerne les coudes moulés du CPP, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a expertisé, à la demande de l'ASN, les justifications apportées par EDF pour les coudes les plus sensibles (coudes C, qui sont directement connectés à la cuve, certains coudes E difficilement remplaçables, car situés dans le puits de cuve). L'ASN a réuni le Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires ([GPESPN](#)) à trois reprises sur ce sujet (2016, 2019 et 2023).

Les principes méthodologiques retenus par EDF dans ses analyses mécaniques de justification du maintien en service de ces composants ont ainsi été validés par l'ASN. Cette instruction a conclu que la totalité des coudes (A, B, C, D et E) des réacteurs de 900 MWe peut être maintenue en service au moins jusqu'à la cinquième visite décennale. Actuellement, l'ASN focalise son instruction sur certains coudes E des réacteurs de la [centrale nucléaire de Paluel](#), dont la justification de la poursuite d'exploitation au-delà des visites décennales à venir doit faire l'objet de la remise d'un dossier de la part d'EDF.

Pour justifier le maintien en service des coudes moulés au-delà de la cinquième visite décennale, EDF poursuit ses études de justification selon plusieurs axes. EDF proposera en particulier à l'ASN le recours à des méthodes de calcul plus avancées pour tenir compte de la nature des défauts présents dans les coudes. De plus, EDF développe un nouveau moyen d'examen non destructif de la paroi interne des coudes E, ainsi qu'une technique de réparation de défaut en paroi interne, qui pourraient être mobilisées si EDF n'était pas en mesure d'apporter la justification de leur maintien en service. L'ASN considère ces travaux comme nécessaires, car devant permettre à EDF de définir une stratégie de traitement suffisamment en amont des visites décennales.

Par ailleurs, certains piquages moulés des branches primaires (piquages du système RIS situés en branche froide) sont, pour les mêmes raisons, également sensibles aux phénomènes de vieillissement thermique et ont fait l'objet d'analyses sur leur capacité à être maintenus en service. La méthodologie a été expertisée par l'IRSN (pour les réacteurs de 900 et de 1 300 MWe). La faible ténacité de certains piquages des réacteurs 1 et 2 de la centrale nucléaire de Paluel, liée à leur vieillissement, a conduit EDF à proposer leur remplacement, à une échéance qui est en cours d'examen par l'ASN.

Les générateurs de vapeur

Les GV sont restés un point de vigilance pour l'ASN en 2024. Des niveaux d'encrassement et de colmatage importants dans certains GV, susceptibles d'altérer la sûreté de leur fonctionnement, amènent la programmation de nettoyages préventifs. La maintenance en vue de garantir un état de propreté satisfaisant a été insuffisante par le passé et constitue dorénavant un point de vigilance pour l'ASN. La stratégie de maintenance relative au colmatage et à l'encrassement de la partie secondaire des GV déployée par EDF a été revue en 2020 afin de mieux prévenir ces situations. L'ASN porte aussi une attention particulière au suivi des dégradations des tores d'alimentation en eau des GV des réacteurs de 1 300 et de 1 450 MWe.

Des opérations de remplacement de GV sont planifiées au rythme d'un réacteur par an dans les années à venir.

Les tuyauteries auxiliaires du circuit primaire principal

De nombreuses fissures liées à de la corrosion sous contrainte ou de la fatigue thermique ont été découvertes depuis 2021, en particulier sur les tuyauteries des circuits RIS et RRA des réacteurs de 1 450 et de 1 300 MWe de type P'4, à proximité immédiate de certaines soudures. Elles ont conduit à la réalisation de nombreux contrôles et de réparations. Les investigations se poursuivront en 2025 et 2026, notamment sur d'autres systèmes (*voir encadré page précédente*).

2.3 Les enceintes de confinement

2.3.1 Les enceintes de confinement

Les enceintes de confinement, qui constituent la troisième barrière de confinement, font l'objet de contrôles et d'essais destinés à vérifier leur conformité aux exigences de sûreté. En particulier, leur comportement mécanique doit garantir une bonne étanchéité du bâtiment réacteur si la pression à l'intérieur de celui-ci venait à dépasser la pression atmosphérique, ce qui peut survenir dans certains types d'accident. C'est pourquoi ces essais comprennent, à la fin de la construction, puis lors des visites décennales, une montée en pression de l'enceinte interne avec une mesure du taux de fuite. Ces essais sont imposés par les décrets d'autorisation de création de chaque réacteur et par l'[arrêté du 7 février 2012](#) fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (INB).

D'autres matériels participent à la fonction de confinement, tels que les systèmes pour accéder à l'intérieur de l'enceinte de confinement (dénommés « sas » et « tampon matériel »), le circuit de mise en dépression de l'espace inter-enceinte des enceintes de confinement à double paroi et le circuit de ventilation de la salle de commande.

2.3.2 L'évaluation des enceintes de confinement

Gestion globale de la fonction de confinement

Dans son ensemble, la fonction de confinement fait l'objet d'une gestion satisfaisante de la part d'EDF. L'ASN constate toutefois encore des indisponibilités ponctuelles mais répétées affectant certains matériels participant à cette fonction. Ces indisponibilités concernent notamment le système de pressurisation des pénétrations de l'enceinte et de contrôle des fuites, ainsi que le système de ventilation de la salle de commande.

EDF a engagé depuis 2014 un plan d'action afin de garantir que, compte tenu des évolutions des réacteurs depuis leur construction, les débits des systèmes de ventilation répondent aux exigences de sûreté requises pour le confinement et pour le conditionnement thermique des installations. Le plan d'action est déployé, réacteur par réacteur, sur tous les systèmes de ventilation concernés, et inclut un état des lieux des matériels et des gaines. EDF procède, le cas échéant, à des remises en état et à des améliorations ainsi qu'au réglage des débits de ventilation. La dernière phase de ce plan d'action national intègre un programme visant à s'assurer de la pérennité des réglages réalisés. L'ASN prendra position sur ce programme en 2025.

Les enceintes à simple paroi revêtue sur la face interne d'une peau d'étanchéité métallique

Les épreuves décennales des enceintes des réacteurs de 900 MWe réalisées depuis 2019 dans le cadre de leur quatrième visite décennale n'ont pas mis en évidence de problème générique susceptible de remettre en cause leur exploitation.

En 2024, cinq réacteurs avec enceinte à simple paroi ont réalisé leur épreuve enceinte, dont les résultats ont été satisfaisants.

Les enceintes à double paroi

Les épreuves des enceintes à double paroi réalisées lors des premières visites décennales des réacteurs de 1 300 MWe avaient permis de détecter une augmentation, plus importante qu'anticipée lors de la conception, des taux de fuite de la paroi interne de certaines d'entre elles, sous l'effet combiné de déformations du béton et de perte de la précontrainte de certains câbles.

EDF a alors engagé d'importants travaux consistant à recouvrir localement, par un revêtement d'étanchéité en résine, l'intrados et l'extrados de la paroi interne des enceintes des réacteurs de 1 300 MWe les plus affectés, ainsi que des réacteurs de 1 450 MWe.

Ces travaux ont permis, pour l'ensemble des réacteurs sur lesquels ils ont été effectués, de respecter les critères de taux de fuite lors des épreuves des enceintes.

Les règles générales d'exploitation



Les RGE présentent les dispositions que l'exploitant prévoit de mettre en œuvre pour exploiter son installation dans le respect de la démonstration de sûreté. Elles précisent notamment les règles à respecter en fonctionnement normal, les essais périodiques à réaliser et les opérations de conduite à mener en situation incidentelle ou accidentelle. Elles sont l'une des pièces constitutives de la demande d'autorisation de mise en service d'un réacteur nucléaire.

Les spécifications techniques d'exploitation qui figurent dans les RGE définissent les paramètres à respecter en fonctionnement normal. Elles identifient également les systèmes essentiels au maintien des fonctions de sûreté et prescrivent les conduites à tenir en cas d'indisponibilité momentanée d'un système requis ou de dépassement d'une limite.

En matière d'essais périodiques, les RGE détaillent les contrôles à effectuer, leur fréquence et les critères d'acceptation des résultats. Des essais existent notamment pour vérifier que le cœur du réacteur est conforme au référentiel de conception et à

la démonstration de sûreté et pour calibrer les systèmes de régulation et de protection automatique.

Les procédures de conduite en situation incidentelle ou accidentelle, qui figurent dans les RGE, détaillent les actions à entreprendre par les équipes de conduite dans ces situations pour rétablir un fonctionnement normal ou, dans le cas d'un accident, pour ramener l'installation dans un état sûr et limiter ses conséquences.

EDF met régulièrement à jour ces documents pour intégrer le retour d'expérience et pour prendre en compte les modifications apportées aux réacteurs. Des amendements temporaires peuvent également être apportés. Ils nécessitent une justification et la définition de mesures compensatoires pour maîtriser les risques associés. Les modifications notables des RGE qui sont de nature à affecter la sûreté de l'installation ou la protection de l'environnement font l'objet, selon leur importance, soit d'une demande d'autorisation auprès de l'ASN, soit d'une déclaration à l'ASN, préalablement à leur mise en œuvre.

En 2024, un réacteur avec enceinte à double paroi a réalisé son épreuve enceinte, dont le résultat a été satisfaisant. L'ASN reste particulièrement attentive aux évolutions des taux de fuite des enceintes à double paroi et aux dispositions mises en œuvre par EDF pour les maîtriser.

2.4 L'organisation pour l'exploitation des réacteurs

2.4.1 L'exploitation des réacteurs

L'arrêté du 7 février 2012 prévoit que l'exploitant doit disposer des compétences techniques nécessaires pour assurer la maîtrise des activités d'exploitation. Par ailleurs, cet arrêté prescrit à l'exploitant de définir et de mettre en œuvre un [système de gestion intégrée](#) (SGI) permettant d'assurer que les exigences relatives à la sûreté et à la protection de l'environnement sont systématiquement prises en compte dans toute décision concernant l'installation. Ce SGI doit préciser les dispositions prises en matière d'organisation et de ressources de tout ordre, en particulier celles retenues pour maîtriser les activités importantes pour la protection des personnes et de l'environnement.

Le fonctionnement normal

Les centrales nucléaires d'EDF sont surveillées en permanence depuis une salle de commande par une équipe de conduite qui est aussi chargée du pilotage des installations.

Les limites d'exploitation entre lesquelles les équipes doivent maintenir l'installation sont définies dans les RGE. L'exploitant

s'assure de ce maintien grâce à la documentation d'exploitation normale, notamment les consignes de conduite et les fiches d'alarme. L'exploitant est régulièrement amené à modifier la configuration de l'installation pour assurer l'intervention des équipes de maintenance, pour tester la disponibilité d'un système ou pour changer l'état du réacteur.

Des essais sont régulièrement effectués pour vérifier le bon fonctionnement des systèmes qui pourraient être nécessaires en situation d'incident ou d'accident et pour contrôler le bon comportement du cœur du réacteur. Certains essais sont réalisés lorsque le réacteur fonctionne alors que d'autres ne peuvent être faits que lors des arrêts du réacteur. Les équipes de conduite effectuent elles-mêmes certains de ces essais, tandis que d'autres nécessitent l'intervention d'équipes spécialisées.

La conduite en cas d'incident ou d'accident

Les stratégies et pratiques de conduite à mettre en œuvre en [situation d'incident ou d'accident](#) sont développées dans différents documents (règles et consignes de conduite) mis à leur disposition. Ils prescrivent les actions à réaliser par l'équipe de conduite. Pour la gestion de ces situations, l'organisation de l'équipe de conduite évolue et chaque acteur dispose d'un rôle spécifique. Les équipes de conduite sont régulièrement formées à la mise en œuvre de ces stratégies de conduite.

En complément des stratégies de conduite, un plan d'urgence interne ([PUJ](#)), mis en œuvre par les équipes de crise, est

déclenché pour aider les équipes de conduite dans les situations d'incident ou d'accident qui présentent un risque de conséquences à l'extérieur du site.

À la suite d'un accident, si les fonctions de sûreté (maîtrise de la réactivité, du refroidissement et du confinement) ne sont pas assurées du fait d'une succession de défaillances, la situation est susceptible d'évoluer vers un accident grave avec endommagement sévère du combustible. Face à de telles situations, les stratégies de conduite de l'installation privilégient la préservation de l'intégrité de l'enceinte de confinement afin de limiter autant que possible les rejets dans l'environnement. La mise en œuvre de ces stratégies mobilise les compétences des équipes de crise constituées au niveau local et au niveau national.

2.4.2 L'évaluation de l'exploitation des réacteurs et de la documentation opérationnelle

L'ASN instruit le contenu des RGE avant leur mise en œuvre et contrôle leur bonne application au moyen d'inspections.

Plus largement, elle s'assure que les mesures prises par EDF dans le cadre de l'exploitation des réacteurs sont adaptées aux risques que cette exploitation génère.

L'ASN s'intéresse aux conditions qui favorisent ou pénalisent la contribution des intervenants et des collectifs de travail à la sûreté des centrales nucléaires. Elle définit les facteurs organisationnels et humains ([FOH](#)) comme l'ensemble des éléments des situations de travail et de l'organisation qui exercent une influence sur le travail des opérateurs.

L'organisation générale

L'organisation mise en place par EDF pour assurer la maîtrise des risques est satisfaisante dans son ensemble. Toutefois, l'ASN a identifié des axes d'amélioration pour certaines centrales en matière de coordination entre les métiers et les projets, au sein de services de maintenance et des équipes de conduite, et sur la cohérence entre les plans de charge, les ressources affectées et le suivi des programmes industriels. Les difficultés observées sont souvent liées à des organisations et des environnements de travail de plus en plus complexes, au nombre important d'interlocuteurs, aux interfaces non définies ou non formalisées entre les entités (relèves, relations entre les équipes de quart et les équipes hors quart ou entre l'exploitant et les prestataires), à l'éloignement géographique, à la mauvaise anticipation des situations de coactivité, aux défauts de ressources (humaines et matérielles) et à la densification de la documentation (voir encadré page 314).

Le fonctionnement normal

Lors de ses inspections dans les centrales nucléaires, l'ASN vérifie notamment que l'exploitant respecte les RGE et, le cas échéant, les mesures compensatoires associées à leurs modifications temporaires. Elle contrôle également la cohérence entre la documentation de conduite et les modifications qui ont pu être apportées aux installations. Elle s'assure aussi que les procédures utilisées pour

configurer les circuits ou consigner les matériels prennent bien en compte les exigences issues des RGE.

Enfin, elle est attentive à la bonne compréhension et à la bonne application par les équipes de conduite de ces différents documents et à la bonne gestion des activités sensibles, qui sont régulièrement à l'origine d'écarts. Elle mène pour cela des entretiens avec les équipes de conduite et

assiste à des opérations d'exploitation des centrales nucléaires.

Les non-respects des RGE constituent des événements significatifs qui doivent être déclarés à l'ASN. L'ASN analyse l'origine et les conséquences de ces événements et vérifie lors de ses inspections que des mesures ont bien été prises par l'exploitant pour corriger les écarts et éviter qu'ils ne se reproduisent.

Sur le plan de l'exploitation et de la conduite des réacteurs, l'ASN considère que les performances se sont maintenues en 2024 à un bon niveau. Les plans d'action sur la rigueur d'exploitation lancés par les centrales nucléaires ces dernières années semblent efficaces. Toutefois, le nombre de situations pour lesquelles les réacteurs ont été exploités en dehors des limites prévues a augmenté en 2024, bien que l'activité industrielle ait été similaire à celle de l'année 2023. L'ASN constate également que la qualité de la surveillance en salle de commande continue à se dégrader. Par ailleurs, en 2024, plusieurs événements marquants en lien avec la maîtrise de la réactivité, mais dont les causes relèvent d'une mauvaise organisation, des défauts de documentation opérationnelle ou d'erreurs de l'équipe de conduite, sont survenus. Compte tenu de l'augmentation de ce type d'événements, l'ASN intégrera dans son programme d'inspection 2025-2026 des inspections spécifiques sur le sujet.

L'ASN a poursuivi en 2024 sa campagne d'inspection portant sur la maîtrise de la configuration des circuits (*voir encadré ci-contre*). Elle note positivement l'effort réalisé par EDF pour améliorer la performance des outils permettant de prendre en compte la configuration réelle des circuits dans la programmation des activités de maintenance. EDF a aussi instauré en 2024 des stages périodiques de maintien des compétences des agents de terrain impliqués.

L'ASN vérifie que les essais périodiques des matériels importants pour la sûreté permettent de contrôler leur bon fonctionnement et leur niveau de performance. Elle exerce cette vérification lors de l'instruction des demandes d'autorisation de modification des RGE. Elle vérifie aussi au cours d'inspections que ces essais périodiques sont exécutés conformément aux programmes d'essais prévus dans les RGE.

Comme les années précédentes, plusieurs événements significatifs pour la sûreté (ESS) ont eu pour origine les essais périodiques. Les principales causes de ces événements significatifs sont la mauvaise déclinaison des règles d'essais dans les documents opératoires, des défauts d'application de la gamme d'essais lors de la réalisation des essais, des incohérences



Campagne d'inspections sur la maîtrise des configurations de circuits

La maîtrise de la configuration des circuits hydrauliques et électriques des réacteurs nucléaires concourt à la sûreté des installations. La configuration des circuits couvre les activités de lignage (mise en configuration d'un ensemble d'organes afin qu'un circuit remplisse la fonction souhaitée), de consignation (mise en configuration d'un ensemble d'organes dans des positions définies et condamnées afin de garantir les conditions de sécurité requises pour une intervention de maintenance) et de condamnation administrative (immobilisation physique d'un ensemble d'organes dont le maintien en position est essentiel à la sûreté de l'installation).

Après avoir constaté fin 2022 une augmentation des défauts de lignage et de consignation qui fragilisent la sûreté des installations ou induisent des risques d'accident des personnels, l'ASN a engagé en 2023 une campagne d'inspections dédiée au contrôle des mesures prises par EDF pour assurer la maîtrise de la configuration des circuits des installations.

L'ASN a achevé en 2024 cette campagne qui a permis d'inspecter l'ensemble des centrales nucléaires. Les inspecteurs ont examiné le pilotage de l'ensemble des processus qui contribuent à la maîtrise de la configuration des circuits. Ils ont également procédé à des contrôles de la conformité des configurations des installations et ont observé la réalisation de certaines activités. Ils ont enfin procédé à des entretiens d'explicitation avec des personnels chargés de ces activités.

Cette campagne d'inspection a mis en évidence la qualité du suivi des processus liés à cette thématique, mais également des manques dans la préparation et la réalisation de ces activités.

En 2024, l'ASN a rappelé à EDF la nécessité d'accorder la plus grande importance à l'activité de condamnation administrative et de clarifier les pratiques d'immobilisation des organes condamnés. Elle a aussi demandé à EDF de vérifier la pertinence du dispositif d'immobilisation des robinets condamnés administrativement impliqués dans la lutte contre l'incendie. Enfin, elle a alerté EDF sur la nécessité de pérenniser les dispositifs d'indication de position installés sur les organes soumis à condamnation administrative.

À l'issue de cette campagne, l'ASN note positivement l'effort réalisé par EDF pour améliorer la performance des outils permettant de prendre en compte la configuration des circuits dans la programmation des activités de maintenance. EDF a par ailleurs instauré en 2024 des stages périodiques de maintien de compétence des agents directement impliqués dans la configuration des circuits. Les services centraux d'EDF ont renforcé l'animation du processus de condamnation administrative auprès des exploitants sur site. Ces différentes actions sont de nature à améliorer les performances liées à la configuration des circuits dans les années à venir.

La filière indépendante de sûreté

Au sein d'EDF, la filière indépendante de sûreté (FIS) assure la vérification, en matière de sûreté, des actions et décisions prises par les services chargés de l'exploitation des installations.

Au sein de chaque centrale nucléaire, la FIS est notamment composée d'ingénieurs sûreté, qui assurent quotidiennement une vérification du niveau de sûreté des réacteurs. Le fonctionnement de chaque FIS est contrôlé et évalué, au niveau national, par la FIS de la division de la production nucléaire d'EDF.

Enfin, les services d'inspection interne d'EDF, notamment l'inspecteur général de la sûreté nucléaire, rattaché au président du groupe EDF et assisté d'une équipe d'inspecteurs, constituent le plus haut niveau de vérification indépendante de la sûreté nucléaire au sein du groupe EDF.

entre les documents ou encore des défauts de programmation des essais périodiques.

Dans le cadre du retour d'expérience de ces événements, EDF adapte ses organisations pour assurer un meilleur partage d'information entre les différents acteurs responsables de la définition des essais, de leur programmation et de leur réalisation. À ce titre, EDF a lancé un plan d'action depuis octobre 2023, avec pour objectif de mettre en place un soutien plus structuré et adapté aux sites sur cette thématique, afin d'améliorer la réalisation des essais périodiques.

En 2024, l'ASN a engagé un programme d'inspections spécifique sur l'organisation des sites pour la gestion des essais périodiques. Une grande partie des centrales nucléaires a été inspectée lors de ces contrôles, qui se poursuivront en 2025. L'ASNR dressera un bilan à l'issue de cette campagne.

La gestion des compétences

En 2022 et 2023, l'ASN a mené une campagne d'inspections sur la gestion des compétences des équipes chargées de la conduite des installations. Cette campagne avait conduit EDF à déployer des plans d'action au niveau national et local visant à renforcer les compétences des équipes de conduite et à redynamiser le management des compétences dans sa globalité. EDF a ainsi mis en place des dispositions permettant le renforcement des équipes de formation, la relance des comités de formation, l'accompagnement à la clarification et à l'ancrage des processus de formation et l'augmentation du nombre d'équipements de formation.

En 2024, les difficultés liées à la gestion des compétences, déjà relevées en 2023, perdurent et concernent aussi bien les personnels internes d'EDF que les intervenants extérieurs. L'installation dans le temps de difficultés en matière de gestion des compétences, malgré de nombreux plans d'action, remet en question l'efficacité des dispositions mises en œuvre par l'exploitant pour accompagner la montée et le maintien en compétence des équipes. L'ASN a notamment relevé des difficultés dans l'identification des besoins de formation. La mise en place de formations dites par « frottement » (processus d'apprentissage non formalisé fondé sur le contact avec les pairs) sans définition des objectifs pédagogiques complique l'établissement de la vision réelle du niveau de compétences des équipes. De plus, les formations par *e-learning* y compris pour des domaines techniques, limitent la mise en pratique sur le terrain. Des faiblesses ont aussi été constatées dans l'organisation des sessions de recyclage, du fait de l'indisponibilité des moyens de formation ou des formateurs, et de l'utilisation de questionnaires sans mise en pratique. La gestion des compétences liées aux activités sous-traitées présente également des difficultés concernant l'identification des compétences nécessaires et leur pérennisation.

Complexité du référentiel d'exploitation des réacteurs

La complexité du référentiel d'exploitation, et notamment des RGE, est régulièrement mise en avant. Elle peut être à l'origine d'une perte de sens dans le travail des opérateurs et avoir des effets sur la maîtrise des risques. Depuis le début du fonctionnement des réacteurs, elle a augmenté significativement.

Pour répondre à ces constats, EDF a initié des actions de simplification à court et moyen terme, ainsi qu'un projet de long terme de refonte globale de ses RGE. EDF a pour objectifs d'une part de simplifier le référentiel d'exploitation pour en faciliter la lisibilité et l'utilisation par l'exploitant ; d'autre part de garantir l'exploitabilité des installations, selon une approche proportionnée aux enjeux pour la sûreté.

Des échanges entre l'ASN, l'IRSN et EDF ont eu lieu sur le sujet en 2024.

De son côté, l'ASN a réuni en 2024 la profession au cours d'un cycle de réflexion du Comité d'orientation sur les facteurs sociaux, organisationnels et humains (Cofsoh), ainsi que sur la complexité des activités en lien avec l'exploitation des installations nucléaires. Une synthèse de ces travaux sera publiée en 2025.

L'ASN finance également actuellement une thèse sur les paramètres et les dynamiques de la complexité dans la gouvernance de la sûreté des réacteurs en France. La soutenance de cette thèse et la communication de ses conclusions sont attendues pour fin 2025.

Campagne d'inspections portant sur la gestion d'un accident avec fusion du cœur

L'ASN a mené, entre 2023 et 2024, une campagne d'inspections visant à contrôler la préparation des opérateurs à la gestion d'un accident avec fusion du cœur et à vérifier l'opérabilité des actions de conduite requises.

Si l'ASN a constaté que l'état des matériels requis lors d'un accident avec fusion du cœur était généralement satisfaisant, les inspections ont aussi mis en évidence que le référentiel documentaire établi par les services centraux d'EDF n'était pas toujours bien déployé au sein des centrales nucléaires. En outre, les mises en situation réalisées au cours des inspections ont

montré que les agents de terrain étaient mal préparés aux situations d'accident avec fusion du cœur. Par ailleurs la documentation opérationnelle, permettant la mise en œuvre des actions requises, était parfois inadaptée (informations manquantes ou erronées, outillages indisponibles, etc.). Ces écarts s'expliquent notamment par le fait que les sites ne testent pas systématiquement la documentation opérationnelle avant de la valider.

En réponse aux constats réalisés, EDF a défini un plan d'action dont l'ASNR suivra la mise en œuvre.

La filière indépendante de sûreté

L'ASN examine lors de ses inspections les actions menées par la FIS (*voir encadré ci-contre*) et vérifie la bonne prise en compte de ses avis par les services opérationnels. Les inspecteurs ont relevé la compétence, le bon fonctionnement et l'indépendance de la FIS. Certains sites rencontrent quant à eux toujours des problèmes de ressources, le nombre d'ingénieurs sûreté étant parfois, pendant de longues périodes, inférieur à la cible. EDF a pris des mesures en 2023 pour renforcer ses effectifs d'ingénieurs sûreté, afin que ceux-ci puissent effectuer sereinement leur vérification indépendante de la sûreté des réacteurs. Ces dispositions permettent d'améliorer la situation progressivement, EDF s'étant fixé une cible à l'horizon 2027.

La conduite en cas d'incident, d'accident ou d'accident grave

L'ASN contrôle les processus d'élaboration et de validation des procédures de conduite en cas d'incident ou d'accident, leur pertinence et leurs modalités de mise en œuvre. Dans ce cadre, l'ASN a mené en 2024 plusieurs inspections sur les dispositions organisationnelles et techniques prévues par EDF en situation d'incident ou d'accident. Ces inspections intègrent systématiquement une mise en situation des équipes de conduite afin de contrôler les modalités d'application des consignes ainsi que les pratiques d'intervention et de communication au sein de ces équipes.

À l'issue de ces inspections, l'ASN a de nouveau constaté, à l'instar des années précédentes, des erreurs et imprécisions dans les documents opératoires.

La validation par simulation en local des consignes opératoires de conduite incidente et accidentelle constitue une étape importante pour s'assurer de l'opérabilité de ces consignes. Ces validations permettent généralement de détecter les anomalies. L'ASN a toutefois constaté que certains sites ne réalisent pas systématiquement cette étape de validation. L'ASN considère qu'EDF devrait généraliser cette étape.

Par ailleurs, l'ASN a constaté que les délais de résorption des anomalies détectées à l'issue des validations par simulation locale restent trop importants. Ce retard est notamment lié au fait qu'une part significative de ces anomalies nécessite des échanges et une prise de position des services centraux d'ingénierie.

L'ASN a mené, entre 2023 et 2024, une campagne d'inspections spécifique sur l'opérabilité des actions de conduite requises en cas d'accident avec fusion du cœur. Les conclusions de cette campagne d'inspections sont présentées dans l'encadré dédié (voir page précédente).

L'organisation de crise

Lorsque la situation de l'installation se dégrade ou que des moyens supplémentaires sont nécessaires à la gestion de la situation, les procédures de conduite en cas d'incident ou d'accident prévoient le déclenchement du **PUI**, qui entraîne la mise en place d'une organisation de crise.

En 2024, trois centrales nucléaires ont déclenché leur organisation de crise pour un incendie hors zone contrôlée, c'est-à-dire dans une zone ne contenant pas de substances radioactives : le 10 février à la [centrale nucléaire de Chinon](#), le 28 mai à la [centrale nucléaire de Paluel](#) et le 3 juin à la centrale nucléaire de Cattenom.

La centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire a également déployé son organisation de crise lors d'une fuite d'acide

chlorhydrique le 22 mai, sans déclenchement de PUI, celui-ci ne prévoyant pas ce type de scénario. De manière réactive, la centrale nucléaire a appliqué les consignes prévues à cet effet et en a informé l'ASN. Un projet de mise à jour de l'organisation spécifique pour gérer les situations d'urgence d'origine non radiologique, dit « PUI TOX », a été transmis à l'ASN. À l'échelle nationale, cette organisation devrait être déployée sur l'ensemble des centrales nucléaires d'ici la fin de l'année 2025.

Ces quatre situations ont eu un impact limité au niveau des installations et n'ont pas nécessité d'action de protection de la population.

Afin d'éprouver l'organisation de crise d'EDF et des pouvoirs publics, l'ASN participe à des [exercices nationaux](#). Quatre exercices de ce type ont eu lieu en 2024 sur des centrales nucléaires (Civaux, Bugey, Belleville-sur-Loire et Tricastin).

L'ASN a également procédé à plusieurs inspections sur l'organisation et les moyens de crise d'EDF. Ces inspections, dont certaines reposent sur une mise en situation inopinée induisant le déclenchement de l'organisation de crise du site, ont également été l'occasion de tester l'opérationnalité du dispositif sur des sujets spécifiques (matériels locaux de crise, documentation, formation, suivi des processus, etc.). Dans l'ensemble, ces exercices et inspections ont permis de s'assurer que les sites d'EDF disposent d'un niveau d'appropriation des principes d'organisation, de préparation et de gestion des situations d'urgence leur permettant d'assurer les actions requises en cas de crise. L'ASN souligne en outre le professionnalisme et la motivation des équipiers d'astreinte mobilisés. Toutefois, EDF doit poursuivre ses efforts concernant le suivi du maintien en condition opérationnelle des moyens mobilisables en situation d'urgence et des procédures associées, des formations et des entraînements des équipiers de crise, ainsi qu'en matière de réalisation et de suivi du retour d'expérience des situations réelles et des exercices. Enfin, EDF doit poursuivre le renforcement de la préparation des situations d'urgence d'origine non radiologique.

2.4.3 Le processus de retour d'expérience

La prise en compte par EDF du [retour d'expérience](#) issu de l'exploitation de ses installations et de celles d'autres exploitants est indispensable à l'amélioration continue de la sûreté. Cette prise en compte repose sur la collecte et l'analyse des événements.

Les événements significatifs sont analysés individuellement. Cette analyse vise à identifier leurs causes profondes et les évolutions à apporter pour éviter leur reproduction. Des analyses de tendance

et des signaux faibles sont régulièrement réalisées par EDF pour identifier, le plus en amont possible, des dégradations du niveau de sûreté des installations.

EDF prête une attention particulière à la détection et à l'analyse des événements significatifs potentiellement génériques, qui sont détectés sur un réacteur mais qui pourraient en affecter plusieurs.

2.4.4 L'évaluation du processus de retour d'expérience

Le processus de retour d'expérience

L'ASN analyse les déclarations et comptes rendus d'événement significatif transmis par EDF afin de s'assurer de leur pertinence. Elle mène aussi des inspections sur les centrales nucléaires pour s'assurer de la bonne mise en œuvre du processus de retour d'expérience.

La qualité et la disponibilité des ressources affectées à l'analyse approfondie des événements significatifs sont satisfaisantes sur l'ensemble des sites, ce qui constitue un point positif. Toutefois, l'ASN constate que l'implication des spécialistes des FOH est parfois insuffisante, du fait du manque de personnels formés.

Les analyses révèlent que les causes apparentes et les causes profondes sont généralement correctement identifiées et traitées par des mesures adéquates, même si les analyses se limitent encore trop souvent aux défaillances humaines sans suffisamment investiguer les déterminants de la situation de travail ou les processus organisationnels impliqués.

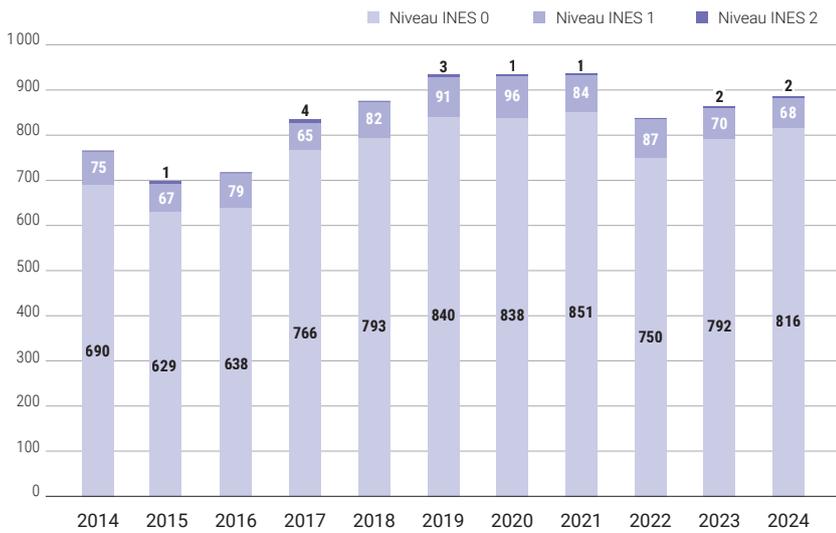
Enfin, l'ASN estime qu'EDF doit encore progresser sur l'évaluation de l'efficacité des actions correctives et sur les conditions de clôture de ces actions. La capitalisation des enseignements et le partage du retour d'expérience restent des points à surveiller.

Les déclarations d'événements significatifs par EDF

En application des règles relatives à la déclaration des [événements significatifs](#) (voir chapitre 3, point 3.3), l'ASN a reçu de la part d'EDF, en 2024, 756 déclarations d'événements significatifs au titre de la sûreté (ESS), 111 au titre de la radioprotection (ESR) et 60 au titre de la protection de l'environnement (ESE). Il est à noter que, depuis 2021, les événements significatifs de la [centrale nucléaire de Fessenheim](#), arrêtée définitivement en juin 2020, ne sont plus comptabilisés dans ce bilan. Par ailleurs, ce bilan intègre l'exploitation du [réacteur EPR de Flamanville](#) mis en service en mai 2024 (50 événements significatifs au titre de la sûreté, dont 15 de niveau 1).

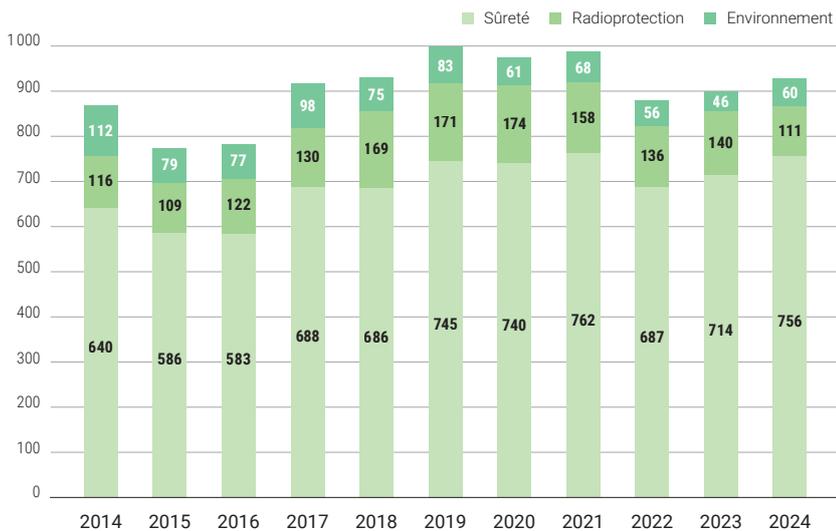
Le graphique 1 (voir page suivante) présente l'évolution du nombre d'événements

GRAPHIQUE 1 Évolution du nombre d'événements significatifs classés sur l'échelle INES dans les centrales nucléaires d'EDF de 2014 à 2024



Ce graphique intègre les données de la centrale nucléaire de Fessenheim jusqu'en 2020.
Source : ASN

GRAPHIQUE 2 Évolution du nombre d'événements significatifs par domaine dans les centrales nucléaires d'EDF de 2014 à 2024



Ce graphique intègre les données de la centrale nucléaire de Fessenheim jusqu'en 2020.
Source : ASN

significatifs déclarés par EDF et classés sur l'échelle INES (International Nuclear and Radiological Event Scale – Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques, graduée de 0 à 7 par ordre croissant de gravité) depuis 2014.

Le graphique 2 présente l'évolution depuis 2014 du nombre d'événements significatifs en fonction du domaine de déclaration.

Les événements significatifs affectant plusieurs réacteurs nucléaires sont regroupés sous l'appellation d'événements significatifs à caractère générique. Ont été déclarés, en 2024, 10 événements de ce type dans le domaine de la sûreté nucléaire (26 en 2020, 31 en 2021, 21 en 2022, 16 en 2023).

En 2024, deux événements significatifs de niveau 2 ont été déclarés par EDF. Ces événements concernent tous deux une contamination externe d'un intervenant. Le premier à la [centrale nucléaire du Tricastin](#) et le second à la [centrale nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux](#) (voir encadré page 324).

2.4.5 La protection contre les agressions d'origine interne ou externe

Les centrales nucléaires doivent pouvoir faire face à des agressions de natures variées, qui trouvent leur origine à l'intérieur ou à l'extérieur des installations. Les

principales agressions présentant un enjeu pour la sûreté sont détaillées ci-dessous.

Les risques liés aux incendies

Un incendie peut entraîner des défaillances d'équipements nécessaires à la maîtrise des fonctions fondamentales de sûreté. Des dispositions doivent donc être mises en œuvre pour protéger les parties sensibles des installations contre l'incendie.

Les centrales nucléaires, comme les autres INB, sont soumises à la [décision n° 2014-DC-0417 de l'ASN du 28 janvier 2014](#) relative aux règles applicables aux INB pour la maîtrise des risques liés à l'incendie.

La prise en compte du risque incendie dans les centrales nucléaires repose sur le principe de défense en profondeur fondé sur les trois niveaux que sont la conception des installations, la prévention, ainsi que la détection et la lutte contre l'incendie.

Les règles de conception visent à empêcher l'extension d'un incendie et à en limiter les conséquences; elles reposent principalement sur la «sectorisation incendie». Il s'agit d'un découpage de l'installation en secteurs et zones de cantonnement conçu pour circonscrire le feu dans un périmètre donné et délimité par des éléments (portes, murs et clapets coupe-feu) présentant une durée de résistance au feu spécifiée. Celle-ci a notamment pour objectif d'éviter la transmission d'un incendie à deux matériels assurant de manière redondante une fonction fondamentale de sûreté.

Les risques liés aux explosions

Une explosion peut endommager des éléments essentiels au maintien de la sûreté ou conduire à une rupture du confinement et à la dispersion de substances radioactives dans l'installation, voire dans l'environnement. Des dispositions doivent donc être mises en œuvre par l'exploitant pour protéger les parties sensibles de l'installation.

Les risques liés aux inondations internes

Une inondation interne, c'est-à-dire provenant de l'intérieur de l'installation, peut entraîner des défaillances d'équipements nécessaires à la maîtrise des fonctions fondamentales de sûreté. L'inondation peut notamment être induite par un séisme. Des dispositions sont donc prises pour prévenir les inondations internes (maintenance des tuyauteries véhiculant de l'eau, etc.) ou maîtriser leurs conséquences (présence de siphons de sol et pompes d'exhaure permettant d'évacuer l'eau, mise en place de seuils ou de portes étanches pour éviter la propagation de l'inondation, etc.).

Les risques liés aux séismes

Bien que la sismicité soit modérée en France, la prise en compte de ce risque par EDF dans la démonstration de sûreté de ses réacteurs électronucléaires fait l'objet d'une attention soutenue de la part de l'ASN compte tenu des conséquences potentielles sur la sûreté des installations. Des dispositions parasismiques sont prises dès la conception des installations et sont réexaminées périodiquement au regard de l'évolution des connaissances, à l'occasion des réexamens périodiques.

La [règle fondamentale de sûreté \(RFS\) n° 2001-01 du 31 mai 2001](#) définit la méthodologie pour déterminer le risque sismique pour les INB de surface.

Cette RFS est complétée par le [Guide 2/01 de mai 2006 de l'ASN](#), qui définit les méthodes de calcul acceptables pour l'étude du comportement sismique des bâtiments nucléaires et d'ouvrages particuliers comme les digues, les galeries et les canalisations enterrées, les soutènements ou les réservoirs.

La conception des bâtiments et matériels importants pour la sûreté des centrales nucléaires doit ainsi leur permettre de résister à des séismes d'intensité supérieure aux plus forts séismes connus survenus dans la région. Les centrales nucléaires d'EDF doivent donc pouvoir faire face à des niveaux de séisme intégrant les spécificités géologiques locales.

Dans le cadre des réexamens périodiques, la réévaluation sismique consiste à vérifier le caractère suffisant du dimensionnement sismique de l'installation en tenant compte du progrès des connaissances en matière de sismicité de la région du site ou de méthodes d'évaluation du comportement sismique des structures et équipements. Les enseignements tirés du retour d'expérience international sont également analysés et intégrés dans ce cadre. Les réévaluations sismiques conduisent régulièrement EDF à renforcer la résistance de ses installations.

Les risques liés aux canicules et aux sécheresses

Au cours des événements caniculaires de 2003 et 2006, certains cours d'eau nécessaires au refroidissement de centrales nucléaires ont connu une réduction de leur débit et un échauffement significatif. Par ailleurs, des augmentations notables de température ont été relevées dans certains locaux des centrales nucléaires abritant des équipements sensibles à la chaleur.

[EDF a pris en compte ce retour d'expérience](#) et a réévalué le fonctionnement de ses installations dans des conditions de températures de l'air et de l'eau plus sévères que celles retenues initialement à la conception. En parallèle du développement de ce référentiel de sûreté

portant sur les situations dites de « grands chauds », EDF a modifié ses installations (par exemple pour augmenter la capacité de certains échangeurs) et mis en place des pratiques d'exploitation qui optimisent la capacité de refroidissement des équipements et améliorent la tenue des matériels sensibles aux températures élevées.

Dans le cadre des réexamens périodiques des réacteurs, EDF prend en compte le changement climatique et continue à améliorer la capacité de ses installations à se prémunir des effets d'une situation de canicule. Il est notamment prévu d'améliorer la capacité de certains systèmes de refroidissement de matériels requis pour la démonstration de sûreté nucléaire. EDF a également engagé un programme de veille climatique afin d'anticiper les évolutions du climat qui pourraient remettre en cause les hypothèses de températures retenues dans son référentiel.

Comme pour les autres agressions, l'ASN demande à EDF de tirer le retour d'expérience des différents événements caniculaires, ainsi que leurs effets sur les installations.

La prise en compte des agressions naturelles d'intensité extrême

À la suite de l'[accident de la centrale nucléaire de Fukushima](#) (Japon) survenu le 11 mars 2011, les [évaluations complémentaires de sûreté](#) ont conduit l'ASN à prescrire la mise en place d'un « noyau dur » de dispositions matérielles et organisationnelles pour faire face aux situations découlant d'agressions naturelles externes d'intensité extrême, dont la sévérité dépasse celle considérée jusqu'alors dans le référentiel de sûreté de chaque installation. Les agressions naturelles externes retenues pour la conception du « noyau dur » sont les suivantes : le séisme, l'inondation (dont les pluies de forte intensité) et les phénomènes associés (vents extrêmes, foudre, grêle), ainsi que la tornade.

2.4.6 L'évaluation de la maîtrise des risques liés aux agressions

L'ASN contrôle la prise en compte des risques liés aux agressions dans les centrales nucléaires en se fondant notamment sur la réévaluation de la conception des installations dans le cadre des réexamens périodiques, l'analyse des référentiels de sûreté de l'exploitant, l'examen des événements significatifs et les inspections réalisées sur les sites.

L'accident de la centrale nucléaire de Fukushima a conduit EDF à renforcer son organisation pour la maîtrise des risques liés aux agressions. En particulier, des réseaux de référents ont été constitués sur l'ensemble des centrales nucléaires afin de piloter la mise en œuvre des actions définies pour faire face à ces risques. Des

revues annuelles sont également menées afin d'améliorer cette organisation.

De manière générale, l'ASN considère que des efforts sont encore nécessaires sur les sites pour améliorer la maîtrise des risques liés aux agressions, en particulier en ce qui concerne :

- la maintenance des équipements (batardeaux, portes coupe-feu, capteurs, siphons de sol, etc.);
- les analyses de risque lors des opérations de maintenance et en cas de détection d'un dysfonctionnement d'un équipement ;
- la formation des référents et la sensibilisation du personnel d'EDF et de ses prestataires.

Les risques liés aux incendies

L'ASN ne constate pas d'évolution notable concernant la maîtrise des risques liés aux incendies au sein des centrales nucléaires. Le niveau de performance global reste en deçà des attentes. Si des progrès sont notés sur certains sites, d'autres voient leurs performances se détériorer. Le nombre de départs de feu en 2024 est très légèrement supérieur à celui de 2023. Trois de ces départs de feu survenus ont conduit au déclenchement du PUI sur le site concerné, dont deux pour des incendies de transformateur, qui ont constitué les feux les plus marquants de l'année.

L'ASN a constaté certaines améliorations dans le pilotage de la gestion du risque incendie dans les centrales nucléaires, notamment dans la gestion de la détection et dans la formation des personnels. Toutefois, l'ASN considère nécessaire qu'EDF améliore sur l'ensemble des centrales nucléaires la gestion des entreposages temporaires de matières combustibles lors des chantiers et des opérations de maintenance. L'ASN a également noté la nécessité d'améliorer sur certains sites le contrôle des éléments de sectorisation et du traitement des anomalies les concernant.

L'ASN a constaté qu'EDF poursuit ses actions visant à améliorer la maîtrise des risques liés à l'incendie dans les locaux identifiés comme étant particulièrement sensibles à cette agression au regard des conséquences potentielles pour la sûreté.

Enfin, EDF travaille au déploiement d'une nouvelle organisation de lutte contre l'incendie sur ses sites afin de pouvoir attaquer plus efficacement les feux et éviter leur propagation. Des évolutions sont ainsi prévues en matière d'équipements de protection individuelle des personnels, de formation et d'organisation avec les services départementaux d'incendie et de secours (SDIS). L'objectif d'EDF est d'achever le déploiement de ces évolutions en 2025. Cela se traduira sur plusieurs sites par une amélioration des capacités d'intervention en lien avec les SDIS.

Les risques liés aux explosions

L'ASN contrôle les mesures de prévention et de surveillance du risque d'explosion mises en œuvre par EDF. L'ASN s'assure également, en lien avec ses missions d'inspection du travail, du respect de la réglementation relative aux « atmosphères explosives » (ATEX) pour la protection des travailleurs.

L'ASN considère que, pour l'ensemble des centrales nucléaires, le niveau de maîtrise des risques liés aux explosions n'est pas encore à l'attendu. L'application de la doctrine de maintenance et de contrôle ainsi que, sur certains sites, le respect des mesures de prévention ne sont pas satisfaisants, notamment en ce qui concerne les risques liés à la présence d'hydrogène sur les installations. L'ASN note toutefois les efforts entrepris par EDF pour réduire les écarts constatés. L'ASN considère qu'EDF doit continuer à porter une attention toute particulière sur ce sujet, afin qu'il soit traité avec la rigueur nécessaire sur l'ensemble des sites.

Les risques liés aux inondations internes

En 2019, l'ASN a demandé à EDF de compléter sa démarche de maîtrise du risque d'inondation interne, notamment pour s'assurer du bon fonctionnement des siphons de sol, renforcer la maintenance des tuyauteries susceptibles de conduire à une inondation interne et assurer une meilleure maîtrise de leur vieillissement. En réponse à ces demandes, EDF a mis en place des actions d'amélioration.

Par ailleurs, EDF poursuit ses visites sur le terrain visant à recenser les tuyauteries pouvant être à l'origine d'une inondation interne dans les bâtiments électriques, qui sont particulièrement sensibles à ce risque, afin d'évaluer la nécessité de renforcer leur maintenance. Conformément aux demandes de l'ASN, EDF étendra ces recensements aux autres bâtiments. L'ASN constate de façon positive qu'EDF a engagé une rénovation des circuits de certains systèmes de réfrigération particulièrement sensibles à la corrosion.

Les risques liés aux séismes

Les programmes d'inspection mis en œuvre par EDF conduisent à déclarer régulièrement des ESS pour défaut de résistance au séisme de certains matériels. Ces événements résultent d'actions de contrôle ciblées, progressivement déployées par EDF. Ces non-conformités peuvent avoir, en cas de séisme, des conséquences importantes, qui sont alors systématiquement analysées.

[Le 11 novembre 2019, un séisme s'est produit](#) au niveau de la commune du Teil. Il a conduit EDF à mettre à l'arrêt les réacteurs de la [centrale nucléaire de Cruas-Meyssse](#) afin de procéder à

Les arrêts de réacteur

Les réacteurs électronucléaires doivent être arrêtés périodiquement pour renouveler leur combustible, qui s'épuise pendant le cycle de production d'électricité. Un tiers ou un quart du combustible est ainsi renouvelé à chaque arrêt.

Ces arrêts rendent momentanément accessibles certaines parties de l'installation qui ne le sont pas en phase de production. Ils sont donc mis à profit par EDF pour réaliser des opérations de contrôle, d'essais et de maintenance, ainsi que pour réaliser des travaux sur l'installation.

Ces arrêts peuvent être de plusieurs types :

- arrêt pour simple rechargement et arrêt pour visite partielle : d'une durée de quelques semaines à quelques mois, ces arrêts sont consacrés au renouvellement d'une partie du combustible et à la réalisation d'un programme de vérification et de maintenance, plus important lors d'une visite partielle que lors d'un arrêt pour simple rechargement ;
- arrêt pour visite décennale : il s'agit d'un arrêt faisant l'objet d'un programme de vérification et de maintenance approfondi. Ce type d'arrêt, qui dure plusieurs mois et

intervient tous les dix ans, permet à l'exploitant de procéder à des opérations lourdes telles que la visite complète et l'épreuve hydraulique du circuit primaire, l'épreuve de l'enceinte de confinement ou l'intégration des évolutions de conception résultant des réexamens périodiques.

Ces arrêts sont planifiés et préparés par l'exploitant plusieurs mois à l'avance. L'ASN contrôle les dispositions prises par l'exploitant pour assurer la sûreté de l'installation, la protection de l'environnement et la radioprotection des travailleurs pendant l'arrêt, ainsi que la sûreté du réacteur pour le cycle de production à venir.

Le contrôle réalisé par l'ASN, au regard des dispositions de la [décision n° 2014-DC-0444 du 15 juillet 2014](#) relative aux arrêts et aux redémarrages des REP, s'effectue par sondage. Il porte principalement sur les activités présentant le plus d'enjeux pour la sûreté, ainsi que sur le traitement des éventuels aléas. Il se compose d'inspections sur site et de contrôles documentaires, tout au long de l'arrêt et particulièrement avant le redémarrage du réacteur. C'est à l'issue de ce contrôle que l'ASN donne ou non son accord au redémarrage du réacteur.

des vérifications, qui n'ont pas révélé d'anomalie. L'ASN a demandé à EDF dès novembre 2019 de déterminer si ce séisme devait conduire à revoir les niveaux de séisme à retenir pour la protection des sites des centrales nucléaires du Tricastin et de Cruas-Meyssse. Après des investigations de terrain, EDF a défini un nouveau niveau d'aléa qui est utilisé dans les études de réévaluation sismique associées au quatrième réexamen périodique du site de Cruas-Meyssse.

Par ailleurs, l'ASN a demandé à EDF de poursuivre ses investigations afin d'obtenir une meilleure caractérisation des failles existantes autour des centrales nucléaires du Tricastin et de Cruas-Meyssse. EDF a entrepris un important programme d'investigations de terrain qui s'est poursuivi en 2024 et dont les conclusions ont vocation à être prises en compte lors du cinquième réexamen périodique des réacteurs des sites concernés.

Les risques liés aux températures extrêmes

Les inspections portant sur les risques associés aux températures extrêmes mettent en évidence que l'organisation d'EDF doit être améliorée sur une majorité de sites. En particulier, l'ASN constate sur plusieurs sites un manque d'anticipation de la préparation de la mise en configuration estivale et hivernale de l'installation ou une déclinaison opérationnelle parfois perfectible des préconisations des règles particulières de conduite.

À la demande de l'ASN, EDF a mené lors des derniers étés des essais de fonctionnement des groupes électrogènes de secours à moteur diesel en période de température élevée. Ces essais, qui se sont poursuivis en 2024, permettent de conforter la démonstration de la qualification de ces matériels en situation de canicule.

2.5 La conformité et la maintenance des installations

2.5.1 La maintenance des installations et la maîtrise des activités sous-traitées

La maintenance des installations

La maintenance préventive constitue une ligne de défense essentielle pour assurer la conformité d'une installation à son référentiel de sûreté.

Afin d'améliorer la fiabilité des équipements importants pour la sûreté, mais aussi la performance industrielle, EDF optimise ses activités de maintenance en s'inspirant des pratiques de l'industrie conventionnelle et des exploitants de centrales nucléaires à l'étranger. EDF a décidé en 2008 de déployer la méthodologie de maintenance dénommée « AP913 », développée par les exploitants nucléaires américains et reposant sur deux axes principaux : l'évolution des organisations pour développer le suivi de la fiabilité des matériels et des systèmes et la mise en œuvre d'un nouveau type de programmes de maintenance préventive.

Le diagnostic de la mise en œuvre de l'AP913 réalisé par EDF mi-2016 a fait apparaître des difficultés liées à la mise en œuvre du suivi des performances et à l'augmentation des tâches de maintenance générée par les programmes de maintenance AP913.

EDF a ainsi défini en 2017 de nouvelles orientations stratégiques en matière de maintenance et de fiabilité. Elle a précisé les rôles des différents services et métiers liés à la réalisation de la maintenance, en réaffirmant que les services de maintenance sont responsables de la maîtrise d'ouvrage des matériels qu'ils entretiennent, en particulier dans un contexte de poursuite du fonctionnement des réacteurs au-delà de 40 ans. EDF a également mis en place des bilans de fonction pour obtenir une vision intégrée des matériels et systèmes participant à chaque fonction, ainsi qu'une nouvelle phase de son projet de maîtrise des volumes de maintenance.

La maîtrise des activités sous-traitées

La réalisation des opérations de maintenance des réacteurs est en grande partie sous-traitée par EDF à des entreprises extérieures. EDF motive le recours à la sous-traitance par le besoin de faire appel à des compétences pointues ou rares et par la forte saisonnalité des arrêts de réacteur et donc le besoin d'absorber les pics de charge.

Le choix d'EDF de recourir à la sous-traitance ne doit pas remettre en cause les compétences techniques qu'elle doit conserver pour exercer sa responsabilité d'exploitant en matière de protection des personnes et de l'environnement, et être en mesure de surveiller effectivement la qualité des travaux effectués par les sous-traitants. Une sous-traitance mal maîtrisée est en effet susceptible de conduire à une mauvaise qualité du travail réalisé et d'avoir un impact négatif sur la sûreté de l'installation et la radioprotection des intervenants.

EDF met en place les dispositions nécessaires pour maîtriser les risques associés aux activités sous-traitées et les actualise régulièrement. EDF a ainsi renforcé la préparation des arrêts de réacteur afin, notamment, de sécuriser la disponibilité des ressources humaines et matérielles.

2.5.2 L'évaluation de la maintenance et des activités sous-traitées

La maintenance des installations

La maintenance des centrales nucléaires fait l'objet de contrôles réguliers par l'ASN lors de ses inspections. En 2024, l'ASN considère que la maîtrise de la qualité des activités de maintenance des centrales nucléaires a été assez satisfaisante.

À cet égard, l'ASN constate que les différents sites ont déployé les évolutions de la politique de maintenance engagées par EDF et que leur organisation leur permet de mener à bien les activités de maintenance à réaliser. Néanmoins, l'ASN relève que la charge industrielle conséquente de certains sites est un frein à la mise en place de ces évolutions et les met parfois en difficulté.

L'ASN note positivement que le nombre d'événements significatifs ayant pour origine une anomalie lors d'une opération de maintenance est en diminution depuis 2022. Toutefois, l'ASN constate que, lors de la réalisation de certaines activités de maintenance, la surveillance, les analyses de premier niveau et les essais de requalification n'ont pas été suffisants, car ces leviers n'ont pas systématiquement permis de détecter les anomalies matérielles.

EDF doit poursuivre ses démarches de fond sur la compétence des intervenants et pour améliorer la préparation des activités de maintenance, la prise en compte du retour d'expérience et la qualité des analyses de risques, dans un contexte de forte charge industrielle liée à la poursuite du fonctionnement des réacteurs et au programme « Grand carénage ».

Enfin, la gestion des pièces de rechange demeure une source de défauts de maîtrise des activités de maintenance déjà identifiée en 2022 et en 2023. Plusieurs déprogrammations d'activités de maintenance faute de pièces de rechange ont été constatées en 2024, aussi bien pour des raisons d'indisponibilité des pièces de rechange ou de délais d'approvisionnement que pour des raisons de non-conformité de la pièce de rechange réceptionnée. L'ASN considère important qu'EDF maintienne les efforts engagés pour remédier aux difficultés rencontrées.

L'organisation pour la réalisation de la maintenance

L'ASN note que la planification des activités de maintenance est en nette amélioration sur la majorité des centrales nucléaires, même si des problèmes de coordination avec les autres métiers et les équipes portant des projets subsistent. Par ailleurs, l'examen des programmes de maintenance des équipements des circuits primaire et secondaires par l'ASN révèle régulièrement des erreurs et omissions qu'EDF doit corriger avant mise en application.

La maîtrise des activités sous-traitées

L'ASN contrôle les conditions de préparation (calendrier, ressources requises, etc.) et d'exercice des activités sous-traitées (relations avec l'exploitant, surveillance par l'exploitant, etc.). Elle vérifie aussi que les intervenants disposent des

moyens nécessaires (outils, documents opératoires, etc.) à l'accomplissement de leur activité, notamment lorsque ces moyens sont mis à disposition par EDF.

Quelques améliorations ont été notées depuis 2023 dans la maîtrise de la qualité des activités sous-traitées. L'ASN constate également une dynamique positive au sein des centrales nucléaires pour améliorer la compétence des prestataires. EDF met en place des actions concrètes, comme la mise à disposition croissante d'espaces permettant une préparation sur maquette.

Des difficultés persistent cependant sur la qualité de la surveillance exercée (plans de surveillance inadaptés, surveillance trop axée sur l'assurance qualité et les règles de sécurité au détriment du geste technique, prestataires intervenant sans certaines compétences requises, etc.). EDF a également engagé une démarche de réinternalisation de certaines compétences afin d'assurer une meilleure surveillance. Celle-ci reste disparate selon les sites.

2.5.3 Le contrôle de la conformité des installations aux exigences qui leur sont applicables

Le maintien de la conformité des installations à leurs exigences de conception, de réalisation et d'exploitation est un enjeu majeur dans la mesure où cette conformité est essentielle pour s'assurer du respect de la démonstration de sûreté. Les processus mis en œuvre par l'exploitant, notamment lors des arrêts des réacteurs, contribuent au maintien de la conformité des installations.

L'identification et le traitement des écarts

Les contrôles engagés par EDF dans le cadre de son référentiel d'exploitation et les vérifications additionnelles demandées par l'ASN au titre, notamment, du retour d'expérience peuvent conduire à la détection d'écarts par rapport aux exigences définies, qui doivent alors être traités. Ces écarts peuvent avoir diverses origines : problèmes de conception, défauts de réalisation lors de la construction, maîtrise insuffisante des opérations de maintenance, dégradations dues au vieillissement, défaillances organisationnelles, etc.

Les actions de détection et de correction des écarts, prescrites par l'[arrêté du 7 février 2012](#), jouent un rôle essentiel dans le maintien du niveau de sûreté des installations.

Les vérifications « au fil de l'eau »

La réalisation des programmes d'essais périodiques et de maintenance préventive sur les matériels et les systèmes contribue à identifier les écarts. Les visites de routine

Le contrôle des fournisseurs de matériels importants pour la sûreté nucléaire

En 2024, l'ASN a réalisé 68 inspections de la chaîne d'approvisionnement des matériels importants pour la sûreté destinés aux centrales nucléaires. Ces inspections ont permis de contrôler les processus de fabrication mis en œuvre par les fournisseurs, leurs dispositions organisationnelles, ainsi que la surveillance exercée par EDF.

Parmi ces inspections, 45 étaient en lien avec la fabrication d'ESPN et l'approvisionnement des composants à destination des premiers réacteurs EPR 2 et des réacteurs en fonctionnement d'EDF. Ces inspections se sont déroulées en France, en Espagne, en Italie et au Japon, dans les usines des fabricants d'ESPN et de leurs sous-traitants (forge et fonderie). L'ASN a ainsi pu contrôler la qualité des fabrications et l'exercice de leurs responsabilités par les fabricants, les organismes habilités pour l'évaluation de la conformité des équipements et EDF au titre de la surveillance des approvisionnements.

Les inspecteurs ont relevé des bonnes pratiques dans l'exécution des activités confiées aux intervenants extérieurs ainsi

que des progrès dans la diffusion de la culture de sûreté, notamment grâce au déploiement de la norme ISO 19443 au sein des entreprises. Ces inspections ont cependant également mis en évidence des manques de connaissance et de diffusion au sein de la chaîne de sous-traitance de certaines exigences réglementaires ou techniques, des manques de maîtrise dans la mise en œuvre des procédés ainsi que la nécessité d'améliorer la qualité de la surveillance exercée par EDF. Dans certains cas, les inspections ont également montré que les dispositions organisationnelles des fournisseurs étaient à renforcer, de même que leur culture de sûreté.

En 2024, l'ASN a publié, en français et en anglais, un [guide pratique](#) destiné aux fournisseurs de matériels et à leurs sous-traitants. Ce guide a vocation à rendre plus accessibles la réglementation et ses objectifs. Il explicite les exigences de conception et de fabrication des matériels importants pour la sûreté, ainsi que les pratiques industrielles que l'ASN juge satisfaisantes. Les principes décrits sont illustrés d'exemples industriels dans une approche résolument pratique.

sur le terrain et les activités de contrôle technique et de vérification des activités considérées comme importantes pour la protection des personnes et de l'environnement constituent également des moyens efficaces pour détecter des écarts.

Les vérifications lors des arrêts de réacteur

EDF met à profit les arrêts des réacteurs nucléaires pour réaliser les travaux de maintenance et les contrôles qui ne peuvent pas être accomplis lorsque le réacteur est en production. Ces opérations permettent notamment de résorber les écarts déjà connus, mais peuvent également conduire à en détecter de nouveaux. Avant chaque redémarrage de réacteur, l'ASN demande à EDF de lister les écarts non résorbés, de mettre en œuvre des dispositions compensatoires adaptées et de justifier l'acceptabilité de ces écarts au regard de la protection des personnes et de l'environnement pour le cycle de production à venir.

Les vérifications décennales : les examens de conformité

EDF réalise des [réexamens périodiques](#) de ses réacteurs nucléaires tous les dix ans, conformément à la réglementation (*voir point 3.2*). EDF réalise alors une revue approfondie de l'état réel des installations par rapport aux exigences de sûreté qui leur sont applicables, notamment à partir du suivi en exploitation qu'elle a réalisé jusqu'alors, et répertorie les éventuels écarts. Ces vérifications sont complétées par un programme d'investigations

complémentaires dont le but est de contrôler des parties de l'installation vis-à-vis de modes de dégradation qui ne font pas l'objet de contrôles dans le cadre du programme de maintenance préventive.

Les vérifications additionnelles en réponse à des demandes de l'ASN

En complément des actions menées par EDF dans le cadre de son référentiel d'exploitation, des vérifications complémentaires sont réalisées à la demande de l'ASN, que ce soit, par exemple, au titre du retour d'expérience d'événements survenus sur d'autres installations, à la suite d'inspections ou à l'issue de l'examen des dispositions proposées dans le cadre des réexamens périodiques.

Les exigences de l'ASN en matière de remise en conformité

L'ASN a publié en 2015 le [Guide n° 21](#) relatif au traitement des écarts de conformité. Ce guide précise les attentes de l'ASN en matière de résorption des écarts de conformité et présente la démarche attendue de l'exploitant en application du principe de proportionnalité. Celle-ci s'appuie notamment sur une évaluation des conséquences potentielles ou avérées de tout écart identifié et sur la capacité de l'exploitant à assurer la sûreté du réacteur en cas d'accident par la mise en œuvre de dispositions compensatoires adaptées. Le guide rappelle par ailleurs le principe d'une résorption dès que possible des écarts de conformité, et définit en tout état de cause des délais maximaux.

Contrefaçons, falsifications et suspicions de fraude dans le domaine nucléaire

À la suite de la détection de nouveaux cas de suspicions de fraudes dans le secteur du nucléaire, le collège de l'ASN a [auditionné, le 26 février 2024](#), le président-directeur général d'EDF.

Dans un contexte de lancement de nouveaux projets et au vu des constats de ces dernières années, la lutte contre les fraudes à tous les niveaux de la chaîne de sous-traitance et d'approvisionnement doit constituer un point de vigilance pour l'ensemble de la filière nucléaire. Ainsi, il appartient en premier lieu aux exploitants, responsables de la sûreté nucléaire, de prévenir les fraudes, de les détecter et de prendre les dispositions pour traiter les cas avérés.

L'ASN a ainsi demandé à EDF de renforcer significativement son organisation, ainsi que les actions qu'elle comptait mettre en œuvre pour intensifier la lutte contre les fraudes dans sa chaîne de sous-traitance et d'approvisionnement, que ce soit pour ses réacteurs en exploitation ou ceux en construction ou en projet. L'ASN a insisté sur l'importance d'appuyer ce plan d'action sur une identification des causes profondes amenant un intervenant ou une organisation à frauder.

Le [plan d'action](#) défini par EDF est en cours de déclinaison opérationnelle. En 2025, l'ASN poursuivra le suivi de cette déclinaison et en contrôlera la mise en application.

2.5.4 L'évaluation du contrôle de la conformité des installations aux exigences qui leur sont applicables

État des matériels et conformité

L'ASN a constaté par le passé que les dispositions organisationnelles prises par EDF pour traiter les écarts présentaient des fragilités et que les délais de caractérisation, de contrôle et de traitement des écarts n'étaient pas toujours conformes aux exigences de l'arrêté du 7 février 2012. En conséquence, EDF a révisé en 2019 son référentiel interne relatif à la gestion des écarts afin d'améliorer leur traitement et d'assurer une information de l'ASN réactive et proportionnée aux enjeux de sûreté. Depuis l'application de ce nouveau référentiel interne, l'ASN constate qu'EDF résorbe, dans la majorité des situations, les écarts dans les délais requis. Ces efforts devront se poursuivre dans les années à venir, notamment à l'occasion des visites décennales.

Les rejets thermiques des centrales nucléaires pendant les périodes de canicule ou de sécheresse

Pour contribuer au refroidissement de ses réacteurs, une centrale nucléaire prélève de l'eau dans un cours d'eau ou dans la mer. L'eau qui est restituée au cours d'eau est à une température plus élevée, ce qui induit un échauffement du cours d'eau à l'aval de la centrale. Il est de quelques degrés pour les centrales sans tour aéroréfrigérante et de quelques dixièmes de degrés pour les centrales équipées de tours aéroréfrigérantes.

Ces rejets d'eau chaude, dits rejets thermiques, sont susceptibles d'avoir une incidence sur l'environnement aquatique. Ils sont donc encadrés par des [décisions de l'ASN](#) propres à chaque centrale nucléaire. Celles-ci fixent des limites d'échauffement du cours d'eau entre l'amont et l'aval de la centrale et de température maximale à l'aval de celle-ci. Lorsque ces limites sont susceptibles de ne pas être respectées, l'exploitant abaisse la puissance des réacteurs et peut aller jusqu'à les mettre à l'arrêt complet. Ces baisses de puissance se produisent notamment lors des périodes de canicule ou de sécheresse.

L'ASN a défini un second niveau de limite, plus élevé, applicable lorsque le gestionnaire du Réseau de transport d'électricité (RTE) exprime le besoin de maintenir une puissance minimale pour assurer la sécurité du système électrique. Il s'applique sans intervention de l'ASN, qui en est informée, ainsi que les autres administrations concernées et la commission locale d'information (CLI). Il est associé à un programme de surveillance renforcée de l'environnement.

En cas de situation exceptionnelle et de nécessité publique, l'ASN peut également modifier temporairement les limites qu'elle a définies. Cela a été le cas au cours de l'été 2022.

Face à la hausse continue des effets du changement climatique, l'ASN considère nécessaire de développer une vision à moyen et long terme sur la prise en compte des rejets thermiques en période de canicule au regard de leurs enjeux à l'échelle de chaque territoire et des effets cumulés potentiels liés à la présence de plusieurs centrales nucléaires sur un même bassin versant.

Des événements significatifs portant sur plusieurs réacteurs ont à nouveau été déclarés en 2024 à la suite de la détection d'écart de conformité; certains écarts remontent à l'origine de la construction des réacteurs, d'autres ont été générés lors de la mise en œuvre de modifications ou d'opérations de maintenance des installations.

L'ASN continuera à être particulièrement attentive à la conformité des installations en 2025, et poursuivra en conséquence les inspections sur l'état des matériels et des systèmes.

2.6 La prévention et la maîtrise des impacts environnementaux et sanitaires et des risques non radiologiques

2.6.1 Les prélèvements d'eau, les rejets, la gestion des déchets et les impacts sanitaires

La limitation des prélèvements et des rejets dans l'environnement

Les centrales nucléaires sont à l'origine de prélèvements d'eau et de rejets d'effluents liquides et gazeux dans le milieu naturel. Les prélèvements d'eau sont réalisés principalement pour le refroidissement des circuits associés au réacteur et dans une moindre mesure pour des usages industriels tels que la production d'eau déminéralisée ou l'alimentation des circuits de lutte contre l'incendie. Les effluents, qui peuvent être radioactifs ou chimiques, ont

pour origine le conditionnement chimique des circuits, qui contribue à leur préservation, la production d'eau déminéralisée, les traitements biocides et les effluents de la station d'épuration des eaux usées.

Pour chaque site, l'ASN fixe les valeurs limites de prélèvement d'eau et de rejet d'effluents, en tenant compte des meilleures techniques disponibles dans des conditions techniquement et économiquement acceptables et en prenant en considération les caractéristiques de l'installation, son implantation et les conditions locales de la ressource en eau. Elle vérifie que ces limites ont des impacts environnemental et sanitaire acceptables.

L'ASN fixe également les règles relatives à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des réacteurs. Ces règles concernent notamment la gestion et la surveillance des prélèvements d'eau et des rejets d'effluents, la surveillance de l'environnement et l'information du public et des autorités (voir [chapitre 3, point 4.1](#)).

En 2024, l'ASN a mis à jour les décisions encadrant les modalités de prélèvement et de consommation d'eau ainsi que les modalités et limites de rejet dans l'environnement de la [centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire](#). Cette mise à jour porte principalement sur la mise en œuvre d'un traitement biocide et d'un traitement antitartre de l'eau refroidie par les tours aéroréfrigérantes du site.

Enfin, l'exploitant de chaque centrale nucléaire transmet chaque année à l'ASN

un rapport annuel dédié à l'environnement, qui contient notamment un bilan des prélèvements et des rejets dans l'environnement, de leurs impacts éventuels et des événements marquants survenus.

L'impact des rejets thermiques des centrales nucléaires

Les centrales nucléaires sont à l'origine de rejets d'effluents liquides chauds dans les cours d'eau ou dans la mer, soit de manière directe pour les centrales nucléaires fonctionnant en circuit dit « ouvert », soit après refroidissement de ces effluents par circulation dans des tours aéroréfrigérantes permettant une évacuation partielle de la chaleur dans l'atmosphère. Ces rejets thermiques conduisent à une élévation de la température du milieu naturel entre l'amont et l'aval du rejet qui peut aller, suivant les réacteurs, de quelques dixièmes de degrés à plusieurs degrés. Ces rejets thermiques sont réglementés par des décisions de l'ASN propres à chaque centrale nucléaire.

Depuis 2006, des dispositions sont intégrées aux décisions de l'ASN pour définir à l'avance les modalités de fonctionnement des centrales nucléaires dans des conditions climatiques exceptionnelles conduisant à un échauffement significatif des cours d'eau à l'amont des centrales nucléaires. Ces dispositions particulières ne sont néanmoins applicables que si la sécurité du réseau électrique est en jeu (voir [encadré page ci-dessus](#)).

La gestion des déchets

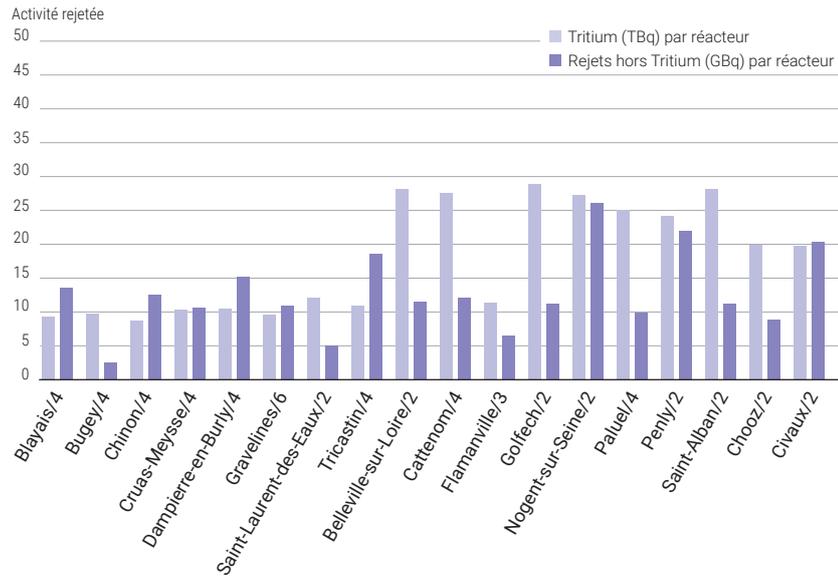
Conformément aux dispositions du code de l'environnement, EDF procède à un tri à la source des déchets, en distinguant notamment les déchets issus de zones nucléaires des autres déchets. EDF réalise pour chaque installation une synthèse de la gestion de ces déchets, présentant en particulier le descriptif des opérations à l'origine de la production des déchets, les caractéristiques des déchets produits ou à produire, une estimation des flux de production et un plan de zonage des déchets.

Par ailleurs, chaque site transmet annuellement à l'ASN le bilan de sa production de déchets et des filières d'élimination associées, une comparaison avec les résultats des années précédentes, un bilan de l'organisation du site et des différences constatées par rapport aux modalités de gestion prévues dans l'étude sur la gestion des déchets et la liste des faits marquants survenus et des perspectives.

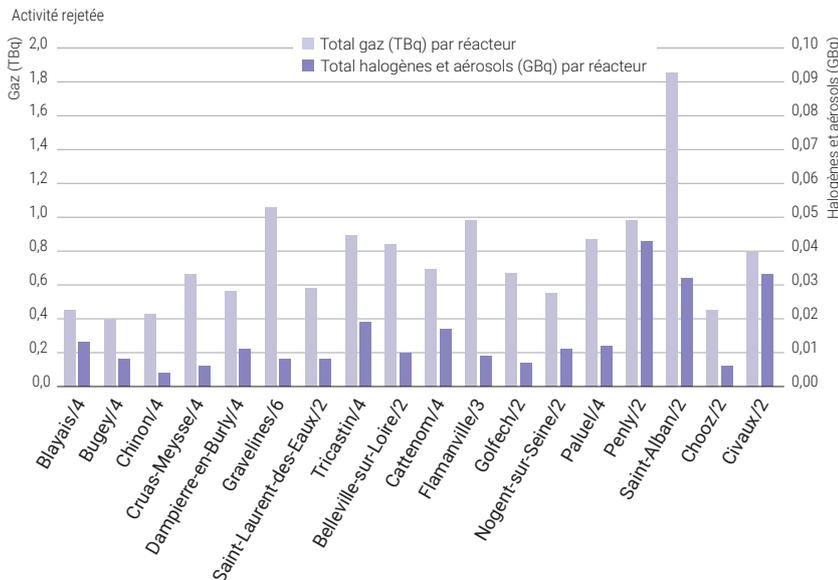
La prévention des impacts sanitaires induits par le développement des légionelles et des amibes dans certains circuits de refroidissement des circuits secondaires des centrales nucléaires

Les circuits secondaires de refroidissement des réacteurs nucléaires équipés d'une tour aéroréfrigérante constituent des milieux favorables au développement des légionelles et des amibes. EDF assure la surveillance des concentrations en légionelles et

GRAPHIQUE 3 Rejets radioactifs liquides pour les centrales nucléaires en 2024 (par réacteurs)



GRAPHIQUE 4 Rejets radioactifs gazeux pour les centrales nucléaires en 2024 (par réacteurs)



Chaque site pouvant avoir un nombre de réacteurs différent, pour permettre la comparaison d'un site à l'autre, les résultats sont ramenés par réacteur. Cela revient donc à diviser les rejets du site par le nombre de réacteurs, par exemple pour le site de Golfech qui a deux réacteurs, les rejets sont divisés par deux ; pour le site de Chinon qui a quatre réacteurs, les rejets sont divisés par quatre ; pour le site de Gravelines qui a six réacteurs, les rejets sont divisés par six.

amibes et engage des actions préventives et, le cas échéant, curatives conformément aux dispositions de la [décision n° 2016-DC-0578 de l'ASN du 6 décembre 2016](#) relative à la prévention des risques résultant de la dispersion de micro-organismes pathogènes (légiionelles et amibes) par les installations de refroidissement des circuits.

Pour la plupart de ces réacteurs, les actions préventives et curatives, visant à limiter le développement des légionelles et amibes, reposent sur l'injection d'un biocide (la monochloramine) dans le circuit de refroidissement.

2.6.2 La prévention et la maîtrise des risques non radiologiques

La prévention des risques non radiologiques ayant des effets par voie aérienne

Les accidents dont les effets sont dits « non radiologiques » sont des accidents pouvant être induits par la libération de potentiels de danger non spécifiques à l'activité nucléaire, dans la mesure où ils ne concernent pas des substances radioactives. Ces potentiels de danger, qui peuvent être également présents dans d'autres industries relevant du régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), sont associés aux entreposages et

aux procédés mettant en œuvre des substances chimiques gazeuses ou liquides.

La prise en compte de ces accidents de nature non radiologique figure dans la démonstration de sûreté nucléaire selon les dispositions du titre III de l'[arrêté du 7 février 2012](#), au travers d'une étude spécifique dite étude des risques non radiologiques. Cette étude est établie avec la méthodologie applicable aux ICPE. L'objectif de cette étude est de justifier que les effets thermiques et toxiques, les projectiles ou les surpressions générés par la libération des potentiels de danger présents n'entraînent pas d'effets en dehors des limites du site. Cette justification repose, d'une part, sur l'identification des potentiels de dangers (entreposages ou procédés) et de leurs agresseurs potentiels ; d'autre part, sur la caractérisation des phénomènes dangereux possibles et les mesures de prévention propres à en réduire la probabilité et les effets.

Chaque centrale dispose ainsi d'une étude des risques non radiologiques qui analyse et identifie, le cas échéant, les phénomènes dangereux possibles, ainsi que les dispositions matérielles et organisationnelles propres à prévenir ces phénomènes ou à en limiter les effets.

La prévention des pollutions liquides induites par les déversements accidentels de substances dangereuses

L'exploitation d'une centrale nucléaire induit, tout comme de nombreuses activités industrielles, la manipulation et l'entreposage de substances liquides chimiques dangereuses. La gestion de ces substances et la prévention des pollutions, qui relèvent de la responsabilité de l'exploitant, sont encadrées par l'[arrêté du 7 février 2012](#) et la [décision n° 2013-DC-0360 de l'ASN du 16 juillet 2013](#) et doivent répondre par ailleurs aux exigences des textes européens. L'exploitant a des obligations en matière de gestion opérationnelle de ces substances et d'identification des dangers potentiels associés. Il doit également pouvoir prendre les mesures nécessaires en cas de situation incidentelle ou accidentelle qui donnerait lieu à une pollution.

Ainsi, l'exploitant doit, par exemple, identifier précisément la localisation de chaque substance dangereuse sur son site, ainsi que les quantités associées. Les fûts et réservoirs doivent être étiquetés en conformité avec le règlement européen CLP (*Classification, Labelling, Packaging*) et disposer de rétentions conçues pour pouvoir recueillir les éventuels déversements.

Par ailleurs, les centrales nucléaires doivent mettre en œuvre une organisation et des moyens pour prévenir la pollution du milieu naturel (nappe, fleuve, estuaire, mer, sol).

Depuis quelques années et à la demande de l'ASN, EDF mène des actions pour accroître sa maîtrise du risque de pollution en travaillant à améliorer le confinement des substances liquides dangereuses sur ses sites.

2.6.3 L'évaluation de la maîtrise des impacts environnementaux et sanitaires et des risques non radiologiques

L'ASN contrôle les dispositions organisationnelles et matérielles mises en place par EDF pour prévenir les risques non radiologiques et les pollutions liquides pouvant être induits par les substances

dangereuses présentes dans ses installations. Elle contrôle également celles destinées à garantir la maîtrise des inconvénients issus de l'exploitation des installations tels que les prélèvements en eau, les rejets d'effluents dans le milieu naturel et les risques pathogènes.

Comme chaque année, l'ASN a mené en 2024 des inspections sur ces dispositions. En particulier, l'ASN a mené une campagne d'inspections renforcées au sein des centrales nucléaires de [Golfech](#), du [Blayais](#) et de [Civaux](#) sur les thèmes de la maîtrise du confinement liquide en cas de déversement d'une substance liquide dangereuse ou radioactive, ainsi

que de la conformité réglementaire et des performances environnementales.

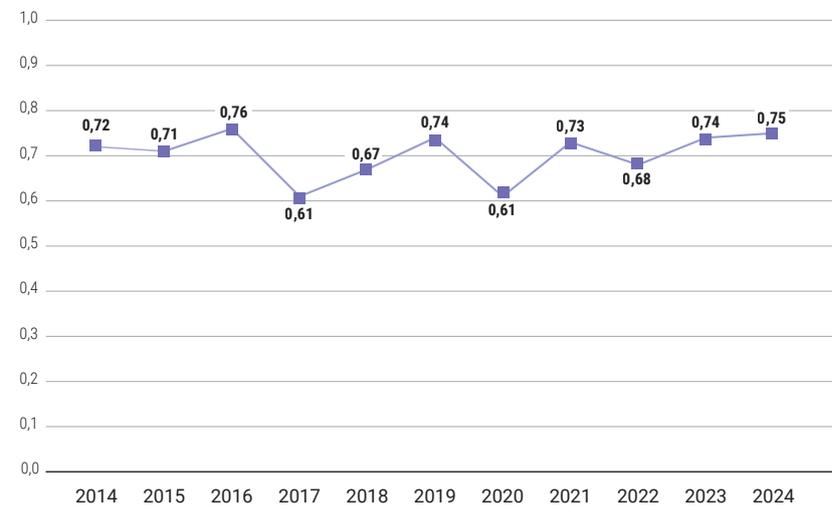
Concernant la maîtrise du confinement liquide, l'ASN considère que les sites doivent encore progresser dans la mise en œuvre des actions associées aux contrôles préalables des moyens et ouvrages de confinement qui sont actuellement utilisés, à la déclinaison de la documentation opérationnelle en cas de crise, ainsi qu'à la sensibilisation et à la formation des acteurs concernés. Par ailleurs, les inspecteurs ont souligné, pour chacune des centrales concernées, la nécessité de vérifier sur le terrain les hypothèses prises en compte pour le dimensionnement des dispositions pérennes de confinement liquide mises en œuvre pour répondre aux exigences fixées par la [décision n° 2013-DC-0360 de l'ASN du 16 juillet 2013](#).

Enfin, l'ASN a relevé que certaines installations en lien avec le traitement de l'eau ou des effluents font l'objet de programmes de rénovation ou de diagnostics visant à identifier à court terme les améliorations à apporter. À cet égard, les inspecteurs considèrent qu'EDF doit intégrer davantage, dans ses diagnostics et programmes de rénovation, les objectifs de réduction de consommation d'eau et de rejet d'effluents. Plus généralement, l'ASN souligne l'importance que chaque site associe, aux choix d'exploitation ou de maintenance de ses installations, une vision prospective prenant en compte les évolutions hydro-climatiques et la sensibilité de la ressource en eau, afin d'identifier les mesures d'atténuation possibles des impacts sur cette ressource.

D'une manière plus générale, l'ASN a constaté en 2024 que, si la gestion des rejets reste globalement maîtrisée, la situation dans ce domaine est plus contrastée qu'en 2023. En effet, les écarts portant sur le non-respect des modalités de contrôles et de surveillance des effluents ou de l'environnement fixées par l'ASN ont augmenté en 2024. Par exemple, le nombre d'événements associés au contournement des voies normales de rejet des effluents a plus que doublé entre 2023 et 2024. L'ASN sera particulièrement vigilante aux actions mises en œuvre par EDF pour corriger ces écarts et les prévenir à l'avenir.

En matière de gestion des déchets, la tendance générale à l'amélioration observée depuis 2022 se poursuit en 2024. Toutefois, les contrôles menés par l'ASN relèvent encore des cas de non-respect des référentiels d'exploitation, en particulier concernant les durées d'entreposage et la tenue des inventaires, ainsi que des entreposages non-conformes. Plus largement, l'ASN relève sur de nombreux sites une saturation des espaces d'entreposage des déchets à conditionner dans les bâtiments prévus à cet effet, rendant plus complexe leur gestion.

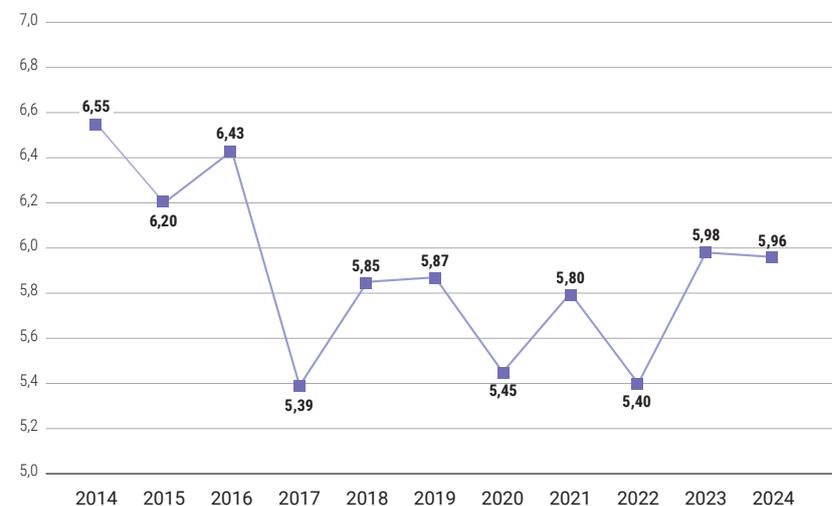
GRAPHIQUE 5 Dose collective moyenne par réacteur (Homme.Sv/réacteur)



Ce graphique intègre les données de la centrale nucléaire de Fessenheim jusqu'en 2020 et n'intègre pas les données du réacteur EPR de la centrale nucléaire de Flamanville en 2024.

Source : EDF

GRAPHIQUE 6 Dose collective pour une heure de travail en zone contrôlée (en µSv)



Ce graphique intègre les données de la centrale nucléaire de Fessenheim jusqu'en 2020 et n'intègre pas les données du réacteur EPR de la centrale nucléaire de Flamanville en 2024.

Source : EDF

Contamination externe de deux travailleurs dans les centrales nucléaires du Tricastin et de Saint-Laurent-des-Eaux

En 2024, deux situations de contamination significative d'un travailleur, chacune détectée lors du contrôle radiologique réalisé en sortie du bâtiment réacteur, ont conduit à la déclaration de deux ESR classés au niveau 2 de l'échelle INES^(*).

Le **premier événement** est survenu le 6 juin 2024 à la centrale nucléaire du Tricastin. Il concerne la contamination au niveau du pied d'un travailleur ayant réalisé dans le bâtiment du réacteur 4 une opération de repose de calorifuges.

Le **second événement** est survenu le 25 octobre 2024 à la centrale nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux. Il concerne la contamination à la tête d'un travailleur ayant supervisé la décontamination de la piscine du bâtiment du réacteur 2.

Dans les deux cas, les travailleurs ont été pris en charge par le service médical, qui a retiré la particule radioactive à l'origine de la contamination. Malgré les investigations

menées sur leur parcours, les zones à l'origine de leur contamination n'ont pas pu être déterminées. Les doses susceptibles d'avoir été reçues ont donc été estimées sur la base d'hypothèses pénalisantes en termes de durée d'exposition. Elles ont ainsi été évaluées supérieures à la limite réglementaire annuelle pour la dose équivalente à la peau, fixée à 500 mSv pour une surface de 1 cm² de peau.

EDF a déclaré un ESR pour ces deux situations. En raison du dépassement d'une limite réglementaire d'exposition d'un travailleur, ces événements ont été classés au niveau 2.

À la suite de la déclaration de ces événements, l'ASN a mené une inspection dans les centrales nucléaires du Tricastin et de Saint-Laurent-des-Eaux afin de vérifier qu'EDF avait pris toutes les mesures nécessaires pour gérer ces événements de manière adéquate et pour en analyser les causes.

* Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques, graduée de 0 à 7 par ordre croissant de gravité.

travail en zone contrôlée (voir graphique 6 page précédente) sont comparables aux valeurs relevées pour l'année 2023.

Le graphique 7 (voir ci-contre) présente la répartition des intervenants en fonction de la dosimétrie externe pour le corps entier. En 2024, la part des travailleurs exposés à une dose inférieure à un millisievert (mSv) reste comparable aux années précédentes (environ 76 %). Aucun dépassement de la limite réglementaire annuelle relative à la dosimétrie externe pour le corps entier (20 mSv) n'a été relevé en 2024.

Le graphique 8 (voir page suivante) présente l'évolution de la dosimétrie individuelle moyenne pour le corps entier en fonction des catégories de métiers des travailleurs intervenant dans les centrales nucléaires. Comme les années précédentes, les travailleurs les plus exposés sont les personnels chargés du calorifugeage. La dosimétrie individuelle moyenne a augmenté pour cette catégorie de métiers en 2024 (+15 % par rapport à 2023). Les autres catégories de métiers les plus exposés demeurent inchangées : soudeurs, personnels chargés des activités de contrôles non destructifs, de la mécanique et des servitudes. Néanmoins, pour ces dernières catégories de métiers, la dose individuelle moyenne a diminué en 2024 par rapport à 2023.

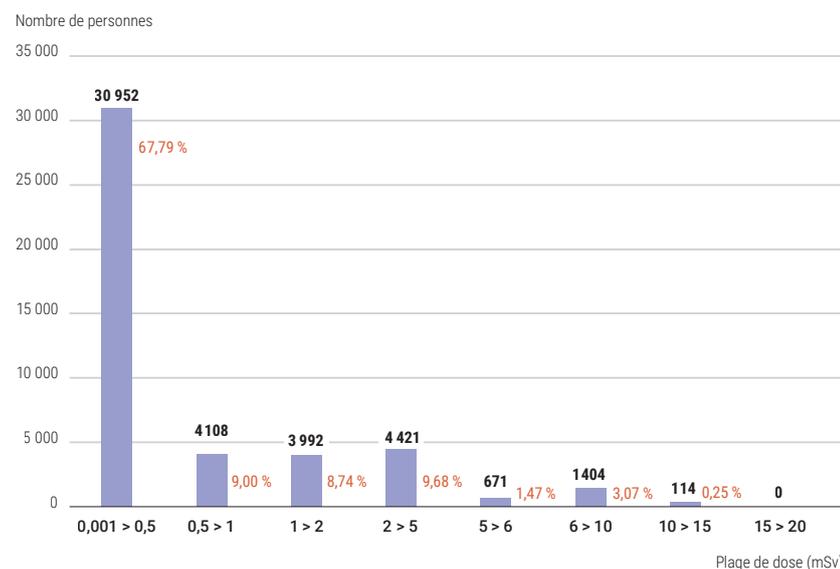
Les événements significatifs de contamination

EDF a déclaré en 2024 sept événements de contamination significative de travailleurs dans les centrales nucléaires, contre deux en 2023. Cinq de ces événements (classés au niveau 1 sur l'échelle INES) ont entraîné pour les travailleurs concernés une exposition supérieure au quart de la limite réglementaire annuelle pour la peau, et deux d'entre eux (classés au niveau 2 sur l'échelle INES) ont entraîné une exposition supérieure à la limite réglementaire annuelle pour la peau (voir encadré ci-dessus). Si les travailleurs concernés par ces événements ont bien été pris en charge pour le retrait des particules radioactives responsables de leur contamination, l'ASN considère que la hausse du nombre d'événements déclarés, survenus dans des situations de travail variées, doit conduire EDF à se réinterroger quant à la prise en compte du risque de contamination dans la préparation des chantiers.

2.7.2 L'évaluation de la radioprotection des travailleurs

L'ASN contrôle le respect de la réglementation relative à la **protection des travailleurs** susceptibles d'être exposés aux rayonnements ionisants dans les centrales nucléaires. À ce titre, l'ASN s'intéresse à l'ensemble des travailleurs évoluant sur les sites, tant le personnel d'EDF que celui des entreprises prestataires.

GRAPHIQUE 7 Nombre et pourcentage de travailleurs par plage de dose en 2024



Ce graphique n'intègre pas les données du réacteur EPR de la centrale nucléaire de Flamanville en 2024. Source : EDF

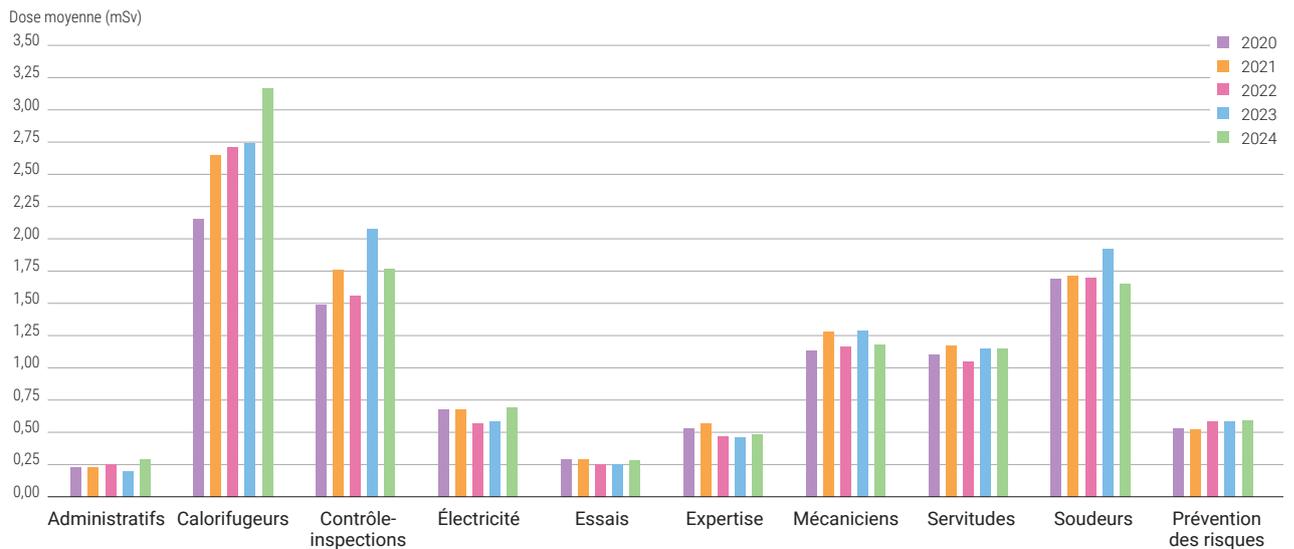
2.7 La radioprotection des travailleurs

2.7.1 L'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants

L'exposition aux **rayonnements ionisants** dans un réacteur électronucléaire provient majoritairement de l'activation des produits de corrosion du circuit primaire et des produits de fission du combustible. Tous les types de rayonnement

sont présents (neutrons, α , β et γ), avec un risque d'exposition externe et interne. Les doses reçues proviennent majoritairement des expositions externes aux rayonnements β et γ et sont principalement liées aux opérations de maintenance lors des arrêts de réacteur.

En 2024, la dosimétrie collective moyenne par réacteur (voir graphique 5 page précédente), ainsi que de la dose moyenne reçue par les travailleurs pour une heure de

GRAPHIQUE 8 Évolution de la dose individuelle moyenne en fonction des catégories de métiers des travailleurs intervenant dans les centrales nucléaires

Ce graphique intègre les données de la centrale nucléaire de Fessenheim jusqu'en 2020 et n'intègre pas les données du réacteur EPR de la centrale nucléaire de Flamanville en 2024.
Source : EDF

Ce contrôle est réalisé dans chaque centrale nucléaire lors d'inspections, soit spécifiquement sur le thème de la radioprotection, soit sur les activités réalisées pendant les arrêts de réacteur, ou encore à la suite d'événements spécifiques. Ce contrôle est aussi réalisé à l'occasion de l'examen de dossiers abordant la radioprotection des travailleurs (rapports d'événement significatif, dossiers de conception, de maintenance ou de modification, documents d'application de la réglementation élaborés par EDF, etc.).

Au cours des inspections menées en 2024, en particulier lors des inspections renforcées sur le thème de la radioprotection dans les centrales nucléaires de Saint-Alban, Nogent-sur Seine, Chooz et Cattenom, les inspecteurs ont constaté une démarche volontariste d'EDF pour maîtriser les sources d'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants *via* les programmes de suivi et d'élimination des points chauds.

En 2024, l'ASN a de nouveau relevé dans plusieurs centrales nucléaires des écarts concernant la prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants pour les travailleurs les plus vulnérables (alternants en contrat à durée déterminée). En 2025, l'ASN poursuivra ses actions de contrôle sur ce sujet. Concernant les chantiers de radiographie industrielle, l'ASN relève que le nombre d'événements significatifs déclarés dans ce domaine a nettement diminué par rapport à 2023. Cependant, au regard des conséquences potentielles sur l'exposition des travailleurs de certains de ces événements, EDF doit encore progresser en matière de coordination de la prévention des risques.

Enfin, l'ASN a encore constaté sur le terrain des points sur lesquels des améliorations sont attendues dans la maîtrise du risque de dispersion de la contamination au sein des installations. L'ASN constate parfois des chantiers à risque de dispersion de contamination dont les dispositions de confinement ne sont pas à l'attendu, ou des contrôles insuffisants de la propreté radiologique des voiries sur lesquelles peuvent circuler des matériels contaminés. Ces constats, que les inspecteurs relèvent depuis plusieurs années, doivent conduire EDF à se réinterroger sur les actions engagées dans ce cadre, afin qu'elles se traduisent désormais par des améliorations effectives sur le terrain pour l'ensemble des centrales nucléaires. À l'occasion des inspections programmées en 2025, l'ASN sera particulièrement vigilante sur ce point.

2.8 Le droit du travail dans les centrales nucléaires

2.8.1 L'inspection du travail dans les centrales nucléaires

L'ASN exerce les missions d'inspection du travail dans les installations des 57 réacteurs de production d'électricité, dont le réacteur EPR mis en service en 2024 et 11 autres installations, pour la plupart des réacteurs en démantèlement. Entre 800 et 2 000 personnes travaillent dans chaque centrale nucléaire selon le nombre de réacteurs. Environ 23 000 salariés d'EDF et 11 000 salariés des entreprises prestataires sont ainsi affectés sur ces installations nucléaires.

L'inspection du travail a pour mission de veiller à l'application de l'ensemble du code du travail par les employeurs, qu'il s'agisse d'EDF ou des entreprises prestataires.

L'inspection du travail, qui contribue à la vision intégrée du contrôle recherchée par l'ASN, mène ses actions de contrôle en lien avec les autres activités de contrôle de la sûreté des installations et de la radioprotection.

2.8.2 L'évaluation de la santé et de la sécurité, des relations professionnelles et de la qualité de l'emploi dans les centrales nucléaires

En 2024, les inspecteurs du travail de l'ASN ont notamment réalisé trois campagnes de contrôle sur les équipements de travail mobiles et de levage, la circulation sur les sites et l'aération et la ventilation des locaux à pollution spécifique.

Globalement, les contrôles réalisés par les inspecteurs du travail mettent en évidence que la préparation des chantiers doit être améliorée, afin de limiter notamment les risques d'exposition à l'amiante et au plomb. Les opérations de levage et les règles de circulation sur sites restent également des points d'attention pour les inspecteurs. L'ASN sera vigilante au déploiement effectif des plans d'action définis en réponse par EDF.

Les inspecteurs du travail ont également procédé à des rappels concernant les exigences de sécurité lors des situations de travail isolé et la prévention des risques lors des épisodes de canicule. De plus, les protections collectives contre les chutes de hauteur (maintien en état des garde-corps, caillebotis et des échelles à crinoline) ont fait l'objet de plusieurs demandes.

Enfin, les inspecteurs du travail ont suivi les événements mettant en cause la sécurité des travailleurs survenus sur les sites, engageant des enquêtes en cas d'accident

grave ou mortel ou de presque accident grave. Ils ont aussi été sollicités pour traiter des dossiers en lien avec les risques psychosociaux et la durée du travail.

L'ASN relève que, selon les données d'EDF, l'accidentologie globale en 2024 a été en hausse de 12,7% par rapport à 2023 (+11,5% pour les accidents avec arrêt de travail et

+13,9% pour les accidents sans arrêt de travail). Ces accidents de travail concernent principalement les risques de chute de plain-pied, de manutention manuelle et de la manipulation d'objets ou d'outils.

En 2024, le climat social a présenté ponctuellement quelques tensions, notamment à l'occasion de la révision des notes

d'organisation, ou au sujet de l'organisation des métiers de maintenance. En 2024, les centrales nucléaires se sont engagées dans la modification de leurs règlements intérieurs pour y intégrer une démarche concernant l'addictologie.

3 — La poursuite du fonctionnement des centrales nucléaires

3.1 L'âge des centrales nucléaires

Les centrales nucléaires actuellement en fonctionnement en France ont été construites sur une période de temps assez courte : [45 réacteurs électronucléaires](#) représentant près de 50 000 MWe, soit les trois quarts de la puissance délivrée par l'ensemble des réacteurs électronucléaires français, ont été mis en service entre 1980 et 1990, et sept réacteurs, représentant 10 000 MWe, entre 1991 et 2000. En décembre 2024, la moyenne d'âge des 56 réacteurs en fonctionnement (hors réacteur EPR), calculée à partir des dates de première divergence, se répartit comme suit :

- 42 ans pour les 32 réacteurs électronucléaires de 900 MWe ;
- 37 ans pour les 20 réacteurs électronucléaires de 1 300 MWe ;
- 27 ans pour les quatre réacteurs électronucléaires de 1 450 MWe.

3.2 Le réexamen périodique

Le principe du réexamen périodique

Tous les dix ans, EDF doit procéder au [réexamen périodique](#) de ses installations. Les réexamens périodiques des réacteurs électronucléaires comportent les deux étapes suivantes :

- la vérification de l'état de l'installation et de sa conformité : cette première étape vise à évaluer la situation de l'installation au regard des règles qui lui sont applicables. Elle s'appuie sur un ensemble de contrôles et d'essais complémentaires à ceux réalisés au fil de l'eau. Ces vérifications peuvent comprendre des revues de conception, des contrôles sur le terrain de matériels ou encore des essais décennaux comme les épreuves des enceintes de confinement. Les éventuels écarts détectés lors de ces investigations font ensuite l'objet de remises en conformité dans des délais adaptés aux enjeux. La maîtrise du vieillissement est également intégrée à ce volet du réexamen ;
- la réévaluation de sûreté : cette seconde étape vise à améliorer le niveau de sûreté

en tenant compte notamment de l'expérience acquise au cours de l'exploitation, de l'évolution des connaissances, des exigences applicables aux installations les plus récentes, ainsi que des meilleures pratiques internationales. À l'issue des études de réévaluation, EDF identifie les modifications de ses installations qu'elle compte mettre en œuvre pour en renforcer la sûreté.

Le processus de réexamen des réacteurs électronucléaires d'EDF

Afin de tirer bénéfice de la standardisation de ses réacteurs électronucléaires, EDF procède tout d'abord au réexamen des dispositions communes à l'ensemble des réacteurs d'un même type (réacteurs de 900 MWe, de 1 300 MWe ou de 1 450 MWe). Les résultats de ce programme sont ensuite déclinés pour chacun d'eux à l'occasion de leur réexamen périodique. En particulier, EDF réalise une partie importante des contrôles et des modifications liés aux réexamens périodiques lors des visites décennales de ses réacteurs. Conformément aux dispositions de [l'article L. 593-19 du code de l'environnement](#), à l'issue de ce réexamen, l'exploitant adresse à l'ASN un rapport de conclusion du réexamen périodique. Dans ce rapport, l'exploitant prend position sur la conformité de son installation et détaille les modifications réalisées visant à remédier aux écarts constatés ou à améliorer la sûreté de l'installation et précise, le cas échéant, les améliorations complémentaires qu'il mettra en œuvre.

L'analyse de l'ASN

L'ASN instruit les réexamens périodiques en plusieurs étapes. Elle prend tout d'abord position sur les objectifs du réexamen et les orientations des programmes généraux de vérification de l'état de l'installation et de la réévaluation de la sûreté proposés par EDF, après avoir recueilli l'avis des groupes permanents d'experts (GPE).

Sur cette base, EDF réalise les études de réévaluation de la sûreté et définit les modifications à mettre en œuvre. L'ASN prend ensuite position sur les résultats de ces études et sur ces modifications, après

avoir consulté à nouveau les GPE. Cette position clôt la phase générique du réexamen, commune à tous les réacteurs.

Cet examen générique ne tenant pas compte d'éventuelles spécificités individuelles, l'ASN prend position sur l'aptitude à la poursuite du fonctionnement de chaque réacteur électronucléaire en s'appuyant notamment sur les résultats des contrôles de conformité et sur l'évaluation du rapport de conclusion du réexamen périodique du réacteur remis par EDF. À la suite de l'instruction de ce rapport, l'ASN communique son analyse au ministre chargé de la sûreté nucléaire. Elle peut édicter de nouvelles prescriptions pour encadrer la poursuite de son fonctionnement.

Le rapport de conclusion des réexamens périodiques au-delà de la 35^e année de fonctionnement d'un réacteur électronucléaire fait l'objet d'une enquête publique. Cinq ans après la remise de ce rapport, l'exploitant remet à l'ASN un rapport intermédiaire rendant compte de la mise en œuvre des prescriptions prises à l'occasion du réexamen, au vu duquel l'ASN peut compléter ses prescriptions.

3.3 Les réexamens périodiques en cours des centrales nucléaires

3.3.1 Les réacteurs de 900 MWe

Le quatrième réexamen périodique

Les 32 réacteurs de 900 MWe d'EDF en fonctionnement ont été mis en service entre 1978 et 1987. Plus de la moitié ont atteint l'échéance de leur [quatrième réexamen périodique](#).

Ce quatrième réexamen périodique présente des enjeux particuliers :

- certains matériels atteignent la durée de vie prise en compte pour leur conception. Les études portant sur la conformité des installations et la maîtrise du vieillissement des matériels doivent donc être réexaminées en prenant en compte les mécanismes de dégradation réellement constatés et les stratégies de maintenance et de remplacement mises en œuvre par EDF ;

Le vieillissement des équipements des centrales nucléaires

Comme dans toute installation industrielle, les équipements des centrales nucléaires sont sujets au vieillissement. Ce vieillissement résulte de phénomènes physiques (corrosion des métaux, durcissement des polymères, durcissement de certains aciers sous l'effet de l'irradiation ou de la température, gonflement de certains bétons, etc.) qui peuvent dégrader leurs caractéristiques en fonction de leur âge ou de leurs conditions d'exploitation. Ces dégradations obligent l'exploitant à réparer ou remplacer des matériels ou à limiter la durée de vie des équipements irremplaçables, tels que la cuve du réacteur (voir point 2.2.4).

Le processus de maîtrise du vieillissement mis en place par EDF s'appuie sur trois axes principaux : l'anticipation des effets du vieillissement dès la conception, la surveillance de l'état réel de l'installation et la réparation ou le remplacement des matériels dégradés par les effets du vieillissement. En particulier, les équipements importants pour la sûreté font l'objet, avant d'être installés, d'un processus de qualification visant à

s'assurer de leur capacité à remplir leurs fonctions dans les conditions correspondant aux situations dans lesquels ils seront nécessaires, en particulier les situations d'accident.

La maîtrise du vieillissement des matériels, ainsi que celle du risque d'obsolescence – qui désigne les difficultés liées au maintien dans le temps de l'approvisionnement en pièces de rechange – sont essentielles au maintien d'un niveau de sûreté satisfaisant. Elles contribuent également au maintien dans le temps de la conformité des réacteurs aux règles qui leur sont applicables.

L'ASN est particulièrement attentive à la maîtrise du vieillissement dans le cadre des quatrièmes réexamens périodiques. Les dispositions mises en œuvre ou prévues par EDF font l'objet d'instructions et d'inspections, afin de s'assurer que les risques associés au vieillissement et à l'obsolescence sont maîtrisés de façon satisfaisante. EDF prévoit de reconduire une démarche similaire pour le cinquième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe.

- la réévaluation de la sûreté de ces réacteurs et les améliorations qui en découlent doivent être réalisées au regard des objectifs de sûreté des réacteurs de nouvelle génération, comme l'EPR, dont la conception répond à des exigences de sûreté significativement renforcées.

Les modifications associées à ce réexamen périodique intègrent celles liées au déploiement du « [noyau dur](#) ».

Position de l'ASN sur la phase générique du réexamen

EDF a proposé en 2013 à l'ASN des objectifs pour ce réexamen périodique, notamment le niveau de sûreté à atteindre pour poursuivre le fonctionnement des réacteurs.

Après instruction, avec l'appui de l'IRSN, des objectifs proposés par EDF et consultation de ses GPE, l'ASN a pris position sur ces objectifs et a formulé des demandes complémentaires en avril 2016. EDF a complété son programme de travail et présenté en 2018 à l'ASN les mesures qu'elle envisage pour répondre à ces demandes.

L'ASN a finalisé en 2020, avec l'appui de l'IRSN, l'instruction des études génériques liées à ce réexamen. Elle a [pris position](#), au début de l'année 2021, sur les conditions de la poursuite de fonctionnement des réacteurs. L'ASN a considéré que l'ensemble des dispositions prévues par EDF et celles qu'elle a prescrites ouvrent la perspective d'une poursuite de fonctionnement de ces réacteurs pour les dix ans qui suivent leur quatrième réexamen périodique.

En octobre 2023, EDF a sollicité auprès de l'ASN un report des échéances de certaines des prescriptions de la décision adoptée

en février 2021. La survenue d'aléas techniques lors de la mise en œuvre de certaines dispositions, les évolutions de la programmation des arrêts pour renouvellement du combustible liées notamment à la découverte de corrosion sous contrainte des lignes auxiliaires, à des arrêts fortuits de longue durée ou aux besoins du réseau électrique durant la période hivernale, ainsi que la concomitance des autres réexamens périodiques, entraînant une tension sur ses capacités d'ingénierie, ont conduit EDF à revoir sa capacité à réaliser dans les délais les activités nécessaires au respect des prescriptions. L'ASN a considéré la demande d'EDF comme acceptable au vu des justifications apportées.

Le déploiement du réexamen périodique sur les sites

EDF a réalisé la première des quatrièmes visites décennales en 2019 (réacteur 1 de la [centrale nucléaire du Tricastin](#)). Fin 2024, EDF a réalisé ou engagé 22 de ces visites décennales. Ces visites constituent une étape majeure des quatrièmes réexamens périodiques. Pendant ces arrêts, EDF réalise les contrôles attendus et déploie la majeure partie des améliorations de sûreté associées au réexamen. Les quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe se poursuivront jusqu'en 2031.

En 2024, les enquêtes publiques liées au quatrième réexamen périodique des réacteurs 1 et 3 de la centrale nucléaire de Gravelines ont eu lieu.

Le cinquième réexamen périodique

EDF a transmis à l'ASN en 2023 les orientations envisagées pour le programme d'études de la phase générique du

cinquième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe.

Compte tenu des modifications importantes mises en œuvre dans le cadre du quatrième réexamen périodique, dont la réalisation se poursuivra jusqu'en 2036 pour le dernier réacteur, EDF prévoit d'axer le cinquième réexamen :

- sur la vérification de la conformité des installations à leurs exigences applicables, le maintien de la qualification des matériels et la maîtrise du vieillissement pour un fonctionnement jusqu'à 60 ans ;
- sur la réévaluation de la maîtrise des risques et inconvénients, en anticipant les effets du changement climatique (agressions externes, ressource en eau, etc.).

L'ASN a [pris position](#), après consultation du public et avis du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires ([GPR](#)), en décembre 2024 sur ces orientations (voir [fait marquant page 20](#)). Ce réexamen périodique permettra de définir les conditions de la poursuite de fonctionnement des réacteurs au-delà de leurs 50 ans.

L'ASN considère que les orientations générales retenues par EDF pour ce réexamen sont pertinentes et cohérentes avec l'état actuel des connaissances. Ce cinquième réexamen périodique doit permettre de consolider les améliorations importantes en matière de sûreté apportées aux réacteurs lors de leur quatrième réexamen périodique et de renforcer la prise en compte des effets du changement climatique. Toutefois, l'ASN demande à EDF de compléter ou de préciser certains de ces objectifs généraux.

3.3.2 Les réacteurs de 1 300 MWe

Le troisième réexamen périodique

L'ASN a [pris position](#) début 2015 sur les aspects génériques de la poursuite du fonctionnement des réacteurs de 1 300 MWe au-delà de 30 années de fonctionnement. À cette occasion, l'ASN a souligné l'importance des modifications apportées par EDF à l'issue de leur troisième réexamen périodique. EDF déploie notamment dans le cadre de ce réexamen des modifications matérielles et de conduite en vue de limiter les conséquences des accidents de rupture d'un tube de GV, de prévenir l'occurrence des accidents graves avec perte précoce du confinement, et de réduire le risque de dénoyage des assemblages de combustible présents dans la piscine d'entreposage. Concernant les agressions, EDF modifie ses installations afin de garantir le fonctionnement des équipements nécessaires à la sûreté de ses réacteurs en cas de canicule, de protéger les matériels importants pour la sûreté à l'encontre des projectiles induits par des vents violents et de prévenir les risques d'explosion induits en cas de séisme.

Dans le cadre de la conclusion de la phase générique de ce réexamen, l'ASN a formulé en 2021 des demandes complémentaires applicables à tous les réacteurs de 1300 MWe, visant à renforcer leur sûreté.

Les troisièmes visites décennales des réacteurs de 1300 MWe se dérouleront jusqu'en 2025.

Le quatrième réexamen périodique

En juillet 2017, EDF a transmis à l'ASN les orientations qu'elle envisageait pour la phase générique du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe. En 2019, l'ASN a pris position sur ces orientations, après avoir associé le public et consulté le GPR: l'ASN a jugé les objectifs généraux retenus par EDF pour ce réexamen acceptables dans leur principe. Similaires à ceux retenus pour le quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe, ces objectifs visent à montrer qu'en cas d'accident de dimensionnement il ne serait pas nécessaire de mettre en œuvre des mesures de protection

de la population et, en cas d'accident grave, seules des mesures de protection de population limitées dans l'espace et le temps seraient requises. Concernant la sûreté de la piscine d'entreposage du combustible, l'ASN a demandé à EDF de retenir comme objectif l'absence de découvrement des assemblages et de ramener à terme et de maintenir durablement l'installation dans un état correspondant à une absence d'ébullition de l'eau de la piscine. Par ailleurs, les modifications associées à ce réexamen périodique intégreront celles liées au déploiement du « noyau dur ».

En 2024, l'ASN a poursuivi les instructions réalisées dans le cadre de la phase générique de ce réexamen périodique. L'ASN a réuni à quatre reprises ses GPE sur les agressions, les accidents sans fusion du cœur, les accidents graves et la tenue en service des cuves des réacteurs et les évolutions des méthodes de calcul utilisées pour justifier la tenue mécanique des équipements des CPP et CSP. Sur la base des conclusions de ces

expertises, l'ASN prendra position en 2025 sur la phase générique de ce réexamen périodique. EDF engagera la première visite décennale associée à ce réexamen début 2026.

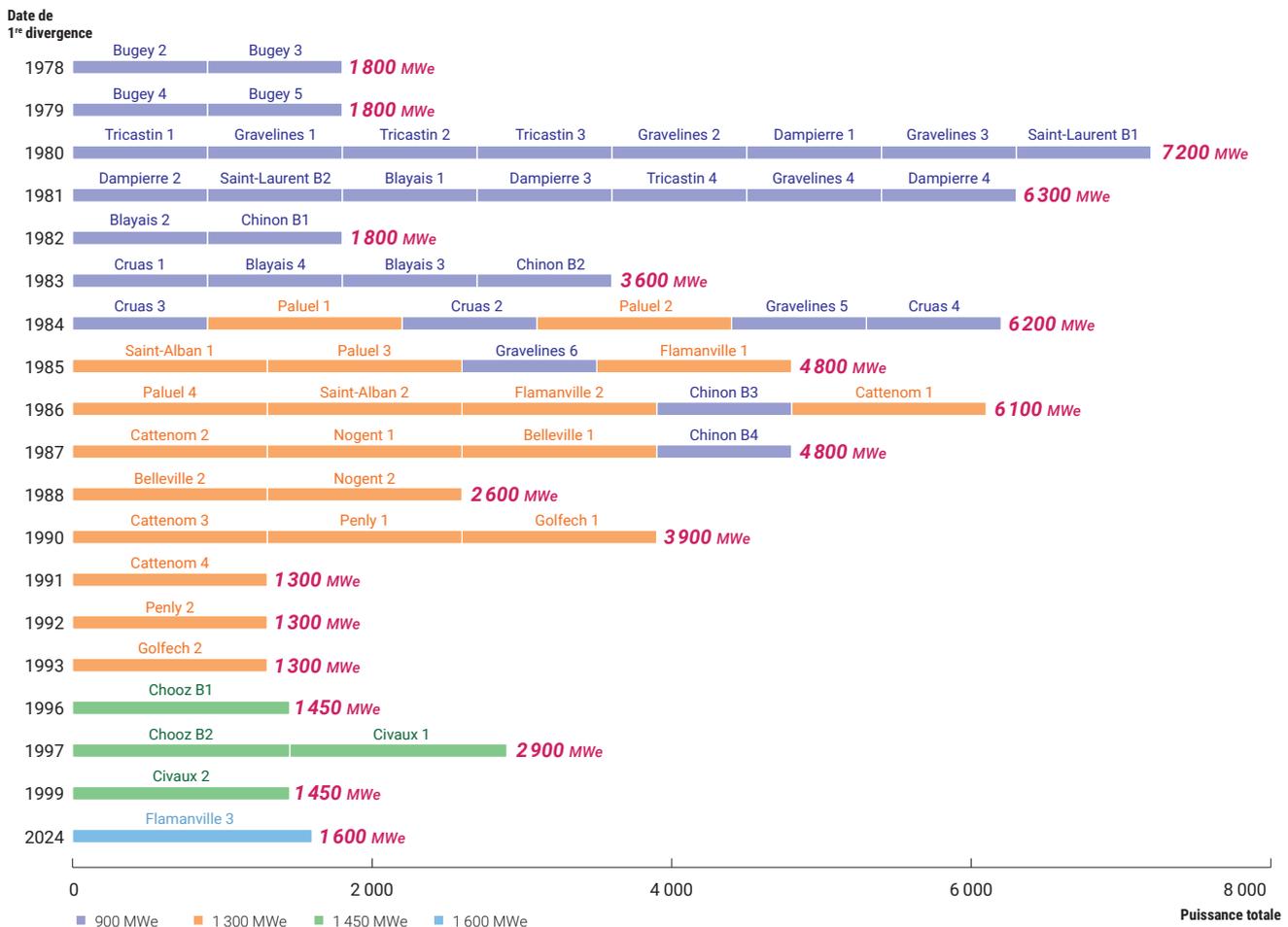
3.3.3 Les réacteurs de 1 450 MWe

Le deuxième réexamen périodique

EDF a transmis en 2011 les orientations qu'elle envisageait pour le programme générique d'études du deuxième réexamen périodique des réacteurs de 1450 MWe, qui porte notamment sur la prévention de la fusion du cœur et la limitation des conséquences des accidents graves.

L'ASN a pris position en février 2015 sur les orientations de ce deuxième réexamen périodique. Elle a notamment demandé à EDF de rechercher des dispositions visant à limiter les conséquences radiologiques des accidents de dimensionnement et des dispositions à fort impact en matière de prévention et de limitation des conséquences des accidents graves.

Chronologie de première divergence des réacteurs électronucléaires français



L'association du public au quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1 300 MWe



L'ASN a [pris position en 2022](#) sur cette phase générique. Elle a souligné les améliorations significatives de sûreté apportées aux réacteurs à l'occasion de ce réexamen périodique.

Les rapports de conclusions de réexamen des quatre réacteurs de 1 450 MWe ont été remis entre 2020 et 2023.

Le troisième réexamen périodique

L'ASN a [pris position](#), après consultation du public et avis du GPR, en juillet 2023 sur les orientations envisagées par EDF pour son programme d'études de la phase générique du troisième réexamen périodique des réacteurs de 1 450 MWe. Ce réexamen permettra de définir les conditions de la poursuite de fonctionnement de ces réacteurs jusqu'à leurs 40 ans. L'ASN a considéré que les objectifs généraux retenus par EDF pour ce réexamen étaient acceptables dans leur principe. Ces objectifs sont cohérents avec ceux retenus pour les quatrième réexamens périodiques des réacteurs de 900 MWe et de 1 300 MWe. L'ASN a demandé à EDF de compléter

Après avoir organisé en 2023 avec l'IRSN et l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (Anccli) des journées de dialogue technique portant sur les enjeux du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1 300 MWe, l'ASN a participé en 2024 à la concertation nationale tenue sous l'égide du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) sur les dispositions proposées par EDF dans le cadre de la phase générique de ce réexamen périodique.

Cette concertation nationale s'est déroulée du 18 janvier au 30 septembre 2024 sur un [site Internet dédié](#) et au travers de réunions publiques organisées à proximité de chaque centrale nucléaire de 1 300 MWe, avec le concours des CLI, et lors de webinaires.

Cette concertation nationale a permis d'aborder différentes thématiques techniques, telles que le vieillissement des installations, l'adaptation au changement climatique ou la prévention et la limitation des conséquences des accidents.

L'ASN prendra en compte les conclusions de cette concertation préalable pour préparer sa position sur la phase générique de ce réexamen périodique, prévue en 2025. Cette position fera elle-même l'objet d'une consultation du public sur le site de l'ASN.

ou de préciser certains de ces objectifs généraux, de la même façon qu'elle l'avait fait pour les réacteurs de 900 MWe et de 1 300 MWe. La réévaluation de la sûreté de ces réacteurs et les améliorations qui en découlent seront réalisées au regard des objectifs de sûreté des réacteurs de

nouvelle génération, comme l'EPR, dont la conception répond à des exigences de sûreté significativement renforcées. De plus, les modifications associées à ce réexamen périodique intégreront celles liées au déploiement du « noyau dur ».

4 — Le contrôle du réacteur EPR de Flamanville

L'EPR est un REP dont la conception comporte plusieurs évolutions par rapport à celle des réacteurs actuellement en fonctionnement en France. Il répond à des objectifs de sûreté renforcés : réduction de la fréquence des incidents ou accidents, limitation des rejets, réduction du volume et de l'activité des déchets, réduction des doses individuelles et collectives reçues par les travailleurs (en fonctionnement normal et en situation d'incident), réduction de la fréquence globale de fusion du cœur, en tenant compte de tous les types de défaillances et d'agressions, et réduction des conséquences radiologiques des accidents, en particulier en cas de fusion du cœur.

EDF a déposé en mai 2006, auprès des ministres chargés de la sûreté nucléaire et de la radioprotection, une demande d'autorisation d'un réacteur de type EPR d'une puissance de 1 600 MWe sur le site de Flamanville, déjà équipé de deux réacteurs de 1 300 MWe.

Le Gouvernement en a autorisé la création par le [décret n° 2007-534 du 10 avril 2007](#), après un avis favorable rendu par l'ASN à l'issue de l'instruction. Ce décret a été modifié en 2017 et en 2020 pour prolonger le délai alloué avant la mise en service du réacteur.

Après la délivrance de l'autorisation de création et du permis de construire, la construction du réacteur EPR de Flamanville a débuté au mois de

septembre 2007. Les premiers coulages de béton pour les bâtiments de l'îlot nucléaire ont eu lieu en décembre 2007.

Les gros composants nucléaires que sont la cuve et les GV ont été introduits dans le bâtiment réacteur en 2014 et 2015. Les principaux essais d'ensemble de l'installation ont débuté en 2017.

Le combustible a été entreposé sur site à partir de 2020, puis chargé dans la cuve du réacteur en mai 2024 après l'autorisation de mise en service délivrée par l'ASN. EDF a depuis engagé les essais de démarrage avec le cœur chargé. EDF a en particulier procédé à la première divergence du réacteur en septembre 2024.

4.1 L'autorisation de mise en service

Par [décision du 7 mai 2024](#), l'ASN a autorisé la mise en service du réacteur EPR de Flamanville. Cette autorisation a permis à EDF de charger le combustible nucléaire dans le réacteur et de procéder aux essais de démarrage puis à l'exploitation du réacteur.

Cette autorisation a conclu l'instruction menée par l'ASN, avec l'appui de l'IRSN, de la demande d'autorisation d'EDF. L'ASN a également contrôlé la construction du réacteur et a ainsi mené près de 600 inspections au cours de celle-ci. En particulier, au début de l'année 2024, l'ASN a

procédé à des inspections des essais de démarrage préalables à la mise en service, de l'achèvement de l'installation, de la conformité des équipements sous pression nucléaires et de la préparation des équipes appelées à exploiter le réacteur.

L'autorisation délivrée par l'ASN est accompagnée de prescriptions techniques qui :

- encadrent la réalisation et le suivi des essais de démarrage de l'installation après le chargement du combustible nucléaire dans le réacteur ;
- précisent les modalités de prise en compte du retour d'expérience de l'exploitation des autres réacteurs de type EPR dans le monde ;
- définissent l'échéance de remplacement des échangeurs entre les circuits RRI et SEC afin d'assurer, sur l'ensemble de la durée de vie de l'installation, un niveau de performance suffisant ;
- définissent l'échéance du remplacement des corps de deux soupapes de protection des CSP.

Par ailleurs, l'ASN avait déjà prescrit le remplacement du couvercle de la cuve, qui interviendra durant le premier arrêt pour rechargement du réacteur.

Au cours de son instruction, l'ASN a [consulté le public](#) sur le dossier d'EDF et le projet d'autorisation de mise en service. L'ASN a également recueilli les avis de l'Autorité environnementale et des

collectivités territoriales intéressées par le projet. Elle a enfin auditionné la CLI constituée autour de la centrale nucléaire de Flamanville.

L'ASN a publié un rapport synthétisant les conclusions de son instruction, ainsi qu'une synthèse des consultations du public réalisées dans le cadre de cette instruction. Ces consultations ont conduit l'ASN à compléter les prescriptions techniques annexées à la décision d'autorisation de mise en service afin qu'EDF informe régulièrement la CLI et le public sur le déroulement des essais de démarrage.

4.2 Le contrôle du démarrage et des débuts du fonctionnement du réacteur

L'autorisation de mise en service a permis à EDF d'engager les opérations de chargement des 241 assemblages de combustible nucléaire dans le réacteur; ces opérations se sont terminées le 15 mai 2024. Elles ont fait l'objet d'une inspection dédiée le 10 mai 2024. L'ASN considère qu'elles ont été bien préparées et réalisées.

La fermeture de la cuve du réacteur a été réalisée fin mai 2024: cette étape a permis à EDF de débiter les essais précritiques à froid puis à chaud qui ne pouvaient être réalisés qu'une fois le cœur du réacteur chargé en cuve.

L'avancement des activités d'exploitation et d'essais fait l'objet d'une information périodique de l'exploitant, qui permet notamment à l'ASN d'effectuer son contrôle.

La décision de mise en service a fixé plusieurs jalons nécessitant un accord de l'ASN lors des opérations de démarrage du réacteur :

- avant la mise en service du CPP et des CSP, EDF a transmis un dossier à l'ASN listant notamment les interventions et les contrôles réalisés par EDF sur ces circuits. L'ASN a instruit ce dossier et procédé à une inspection;
- avant la première divergence du réacteur, EDF a transmis un dossier à l'ASN présentant le bilan des essais de démarrage et la conformité de la constitution du cœur du réacteur. L'ASN a également instruit ce dossier et a mené une campagne de cinq inspections inopinées. Par [décision du 2 septembre 2024](#), l'ASN a autorisé EDF à procéder aux premières opérations de recherche de criticité et de première divergence du réacteur.

À l'automne 2024, EDF a poursuivi les essais de démarrage avec notamment les essais du cœur à puissance nulle puis à 10% de la puissance nominale du réacteur, ainsi que de nombreux essais sur la partie non nucléaire de l'installation utilisant de la vapeur (turbine notamment). L'ASN a contrôlé ces activités et a par ailleurs procédé à plusieurs inspections thématiques, comme elle le fait périodiquement pour les autres réacteurs en fonctionnement d'EDF.

Depuis la mise en service du réacteur, EDF a **déclaré un nombre important d'ESS**, dont un tiers environ ont été classés au niveau 1 de l'échelle INES. L'ASN est particulièrement vigilante quant à l'analyse des causes profondes de ces événements et aux actions menées par EDF pour en tirer pleinement le retour d'expérience et

sécuriser les activités de démarrage à venir et la future exploitation du réacteur. Le nombre important d'événements déclarés est notamment lié à la montée en compétence des agents dans la mise en œuvre des premiers gestes d'exploitation du réacteur et au passage d'une culture de chantier à une culture d'exploitation. En effet, la grande majorité des événements ont des causes organisationnelles et humaines et peu sont liés à des défaillances matérielles. Par ailleurs, une part importante des événements est liée à des erreurs humaines immédiatement détectées et aboutissant à une remise en conformité rapide de l'installation. L'ASN considère que les mesures mises en place par EDF à la suite de ces constats sont pertinentes et adaptées aux difficultés rencontrées durant cette phase.

Retour d'expérience international

L'ASN participe au forum des autorités contrôlant la sûreté des réacteurs EPR dans le monde. Elle rencontre ainsi régulièrement les Autorités de sûreté nucléaire finlandaise, chinoise et anglaise afin de bénéficier de leur expérience en matière d'essais de démarrage, de préparation à l'exploitation et de fonctionnement des réacteurs EPR.

L'ASN examine avec attention les enseignements du retour d'expérience des réacteurs EPR en exploitation et contrôle régulièrement leur prise en compte par EDF à Flamanville. En particulier, plusieurs phénomènes liés au comportement physique du cœur constatés lors du démarrage des premiers EPR ont été pris en compte avant la mise en service.



Vue du réacteur EPR de Flamanville.

5 — Le contrôle du projet de réacteurs EPR 2

EDF a engagé un programme de construction de réacteurs de type [EPR 2](#) en France. Une première paire de réacteurs est prévue sur le site de [Penly](#) en Seine-Maritime, une deuxième sur le site de [Gravelines](#) dans le Nord et une troisième sur le site du [Bugey](#) dans l'Ain.

Pour le site de Penly, un [débat public](#) a été organisé du 27 octobre 2022 au 27 février 2023, à la suite duquel EDF a déposé, fin juin 2023, une demande d'autorisation de création d'INB auprès de la ministre chargée de la sûreté nucléaire. Les travaux préparatoires nécessaires à l'implantation des réacteurs ont été autorisés par un [décret du 3 juin 2024](#). La construction de l'îlot nucléaire ne pourra être entreprise qu'après la délivrance de l'autorisation de création.

Pour le site de Gravelines, un [débat public](#) a été organisé du 17 septembre 2024 au 17 janvier 2025.

Options de sûreté des réacteurs EPR 2
L'EPR 2 est un nouveau modèle de REP, qui a pour ambition d'intégrer le retour d'expérience issu de la conception, de la construction et de la mise en service des réacteurs EPR, ainsi que le retour d'expérience issu de l'exploitation des réacteurs existants. Comme les réacteurs EPR, il vise à répondre aux objectifs généraux de sûreté des réacteurs de troisième génération. Par ailleurs, il a vocation à intégrer, dès sa conception, l'ensemble des enseignements tirés de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima. Cela se traduit, en particulier, par un renforcement de la conception vis-à-vis des agressions naturelles externes et par une consolidation de l'autonomie de l'installation et du site en situation accidentelle (avec ou sans fusion du cœur) avant l'intervention de moyens extérieurs au site.

L'ASN a mené l'instruction du dossier d'options de sûreté de ce projet de réacteur avec l'appui de l'IRSN, en tenant compte des recommandations du [Guide n° 22](#) relatif à la conception des REP. Dans son [avis publié le 16 juillet 2019](#), l'ASN a considéré que les objectifs généraux de sûreté, le référentiel de sûreté et les principales options de conception étaient globalement satisfaisants et a identifié, dans son avis puis dans un [courrier](#) transmis à EDF en juillet 2021 qui le complète, les sujets à approfondir en vue d'une future demande d'autorisation de création d'INB.

Instructions techniques menées en 2024

Comme le prévoit l'[article L. 592-29 du code de l'environnement](#), la ministre chargée de la sûreté nucléaire a saisi l'ASN pour qu'elle procède à l'instruction technique de la demande d'autorisation de création des deux réacteurs EPR 2 du site de Penly. Cette instruction est en cours. Elle s'inscrit dans la continuité de l'instruction des options de sûreté des réacteurs EPR 2. En 2024, l'ASN a notamment fait part à EDF de ses demandes sur les référentiels de prise en compte des agressions d'origine interne et sur la démarche de classement retenue pour déterminer les exigences applicables aux éléments assurant une fonction nécessaire à la démonstration de sûreté nucléaire.

En complément de l'instruction technique du dossier de demande d'autorisation de création, l'ASN a engagé une démarche de contrôle de l'organisation mise en place par EDF pour conduire son projet. L'objectif de cette démarche est de vérifier que les exigences liées à la protection des personnes et de l'environnement auxquelles doivent répondre les réacteurs EPR 2 sont prises en compte de manière appropriée au cours des phases de conception puis de construction de ces réacteurs.

S'agissant des équipements destinés à constituer la chaudière de ces réacteurs, l'ASN a poursuivi en 2024 les instructions relatives au contrôle de leur conception et de leur fabrication. Entre 2021 et 2024, l'ASN a pris position sur les options de conception des principaux équipements destinés aux CPP et CSP de ces réacteurs, tels que la cuve et les GV.

Par ailleurs, l'ASN a donné son accord au démarrage de la fabrication de certains équipements, comme la cuve et les GV.

En parallèle de l'évaluation de la documentation de conception, les approvisionnements des composants destinés à ces équipements font l'objet de contrôles, en particulier pour les gros composants forgés. L'objectif de ces contrôles est de vérifier que les procédés de fabrication retenus présentent des garanties suffisantes pour produire des matériaux répondant au niveau de qualité visé.

L'ASN a également engagé le contrôle de la chaîne d'approvisionnement des autres matériels importants pour la sûreté nucléaire destinés aux réacteurs EPR 2, afin d'évaluer la maîtrise des activités de fabrication par les fournisseurs et la surveillance exercée par EDF sur ces derniers.

01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15
AN