

1 Généralités sur les centrales nucléaires P. 286

- 1.1 Présentation générale d'un réacteur à eau sous pression
- 1.2 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

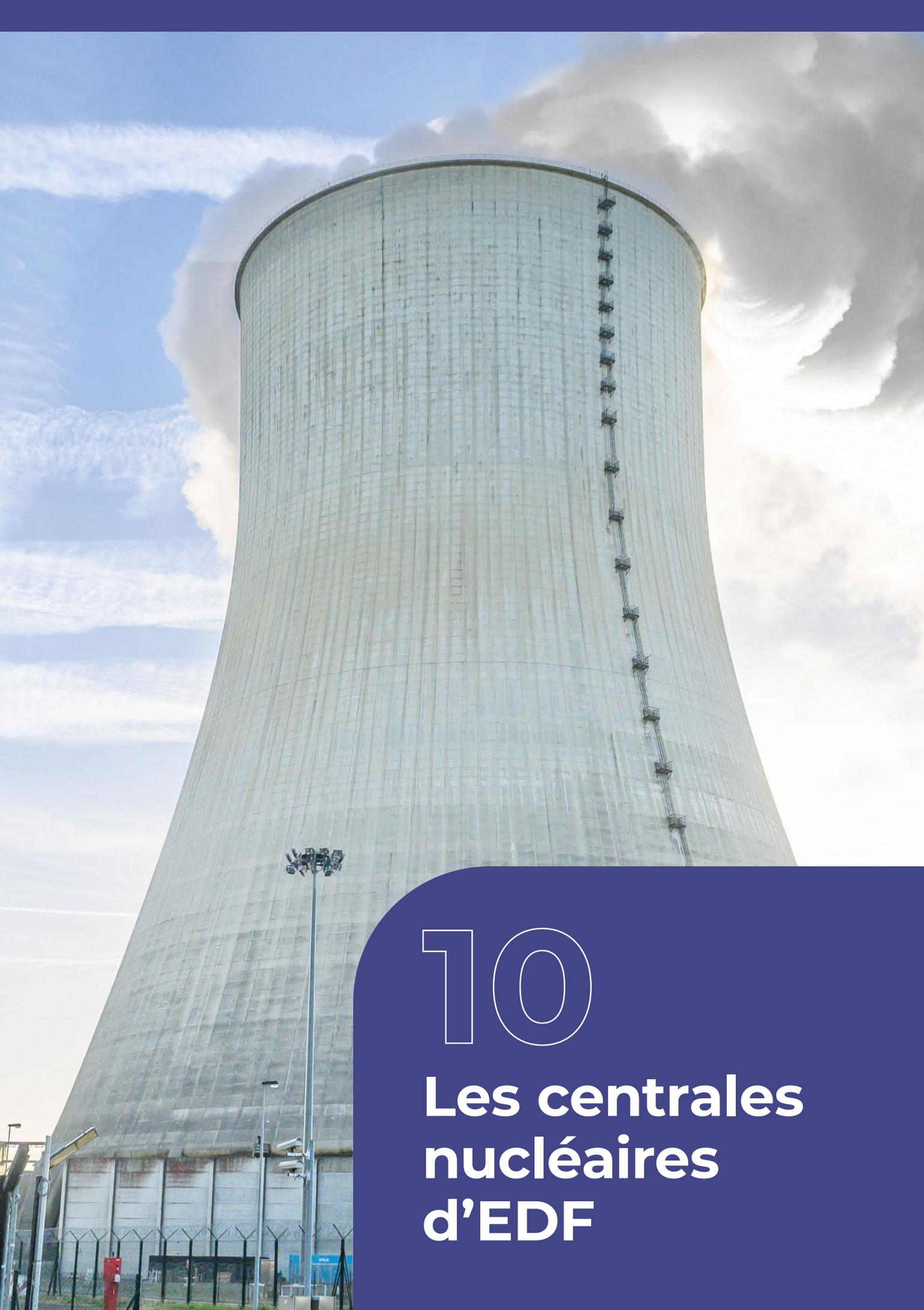
2 Le contrôle de la sûreté nucléaire des réacteurs en fonctionnement P. 290

- 2.1 Le combustible
 - 2.1.1 Le combustible et sa gestion en réacteur
 - 2.1.2 L'évaluation de l'état du combustible et de sa gestion en réacteur
- 2.2 Les équipements sous pression nucléaires
 - 2.2.1 La conception de 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
 - 2.2.4 L'évaluation des équipements sous pression en exploitation
- 2.3 Les enceintes de confinement
 - 2.3.1 Les enceintes de confinement
 - 2.3.2 L'évaluation des enceintes de confinement
- 2.4 La prévention et la maîtrise des risques
 - 2.4.1 Les règles générales d'exploitation
 - 2.4.2 L'évaluation de l'exploitation des réacteurs
 - 2.4.3 La maintenance des installations
 - 2.4.4 L'évaluation de la maintenance
 - 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
 - 2.4.7 Le contrôle de la conformité des installations aux exigences
 - 2.4.8 L'évaluation de la conformité des installations aux exigences qui leur sont applicables
- 2.5 La prévention et la maîtrise de l'impact environnemental et sanitaire
 - 2.5.1 Les rejets et la gestion des déchets
 - 2.5.2 La prévention des pollutions des sols et des impacts sanitaires
 - 2.5.3 L'évaluation de la maîtrise des nuisances et de l'impact sur l'environnement
- 2.6 La contribution de l'homme et des organisations à la sûreté
 - 2.6.1 Le fonctionnement des organisations
 - 2.6.2 L'évaluation du fonctionnement des organisations et de la maîtrise des activités
- 2.7 La radioprotection des personnels
 - 2.7.1 L'exposition des personnels aux rayonnements ionisants
 - 2.7.2 L'évaluation de la radioprotection des personnels
- 2.8 Le droit du travail dans les centrales nucléaires
 - 2.8.1 Le contrôle du droit 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
- 2.9 La poursuite du fonctionnement des centrales nucléaires
 - 2.9.1 L'âge des centrales nucléaires
 - 2.9.2 Le réexamen périodique
 - 2.9.3 Les réexamens périodiques en cours des centrales nucléaires

3 Le contrôle de la sûreté du réacteur EPR de Flamanville P. 314

- 3.1 L'instruction des demandes d'autorisation
- 3.2 La construction, les essais de démarrage et la préparation au fonctionnement
- 3.3 L'évaluation de la conception, de la construction, des essais de démarrage et de la préparation au fonctionnement du réacteur EPR de Flamanville

4 Le contrôle des projets de réacteur P. 316



10

**Les centrales
nucléaires
d'EDF**

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, stockent 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'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 très 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 (REX). Pour [contrôler la sûreté des réacteurs en fonctionnement](#), en construction et en projet, l'ASN mobilise quotidiennement près de 200 agents au sein de la Direction des centrales nucléaires (DCN), de la Direction des équipements sous pression nucléaires (DEP) et de ses [divisions territoriales](#), et s'appuie sur près de 200 experts de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

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.

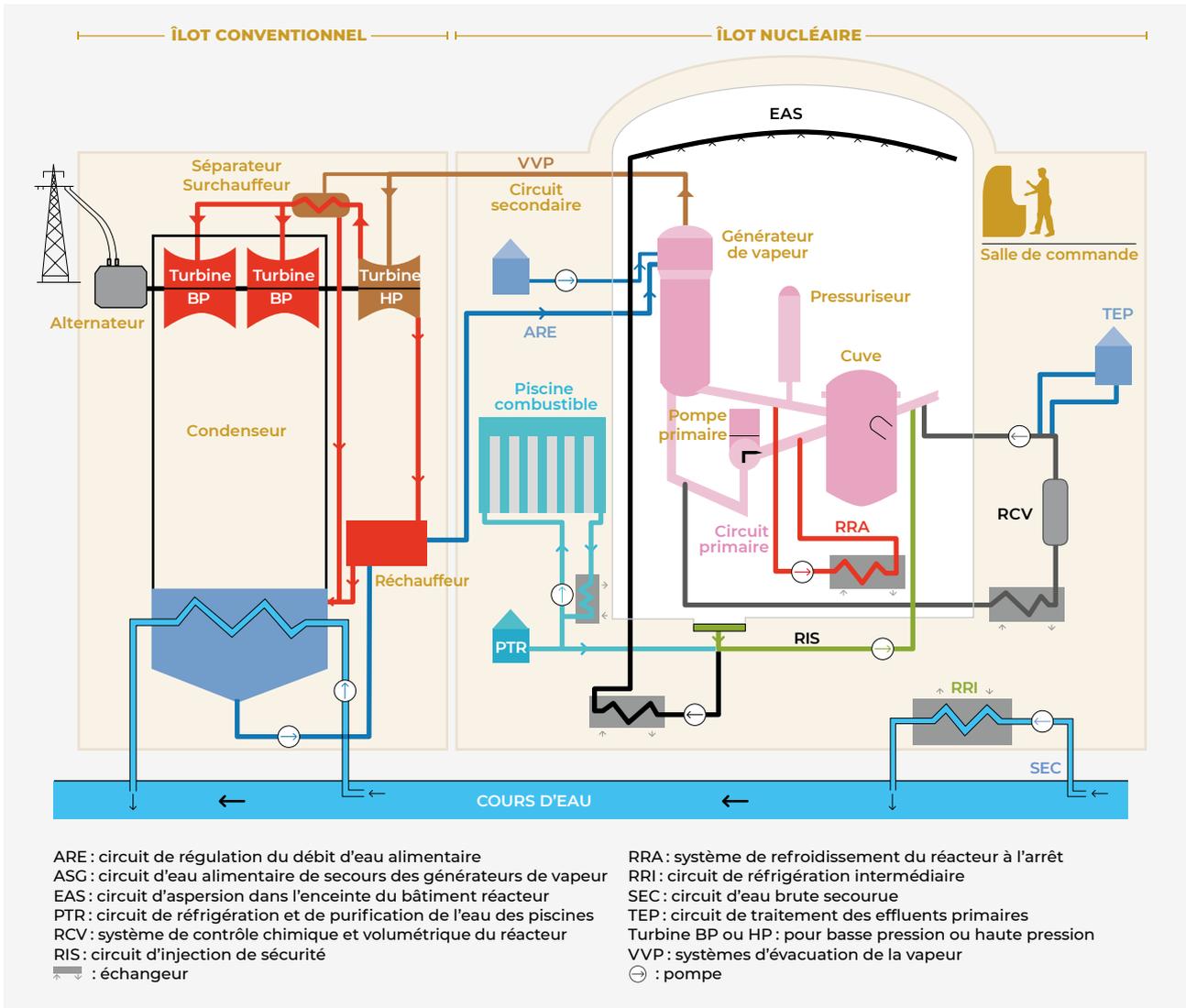
Chaque [réacteur](#) comporte un îlot nucléaire, un îlot conventionnel, des ouvrages de prise et de rejet d'eau et éventuellement un aéroréfrigérant.

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.

LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN RÉACTEUR À EAU SOUS PRESSION



1.2 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 de trois barrières de confinement entre ces substances et le milieu extérieur :

- la gaine qui enveloppe les crayons 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 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 pendant le cycle en fonction de l'épuisement progressif du combustible en éléments fissiles ;
- 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 (UO_2) 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 UO_2 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 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

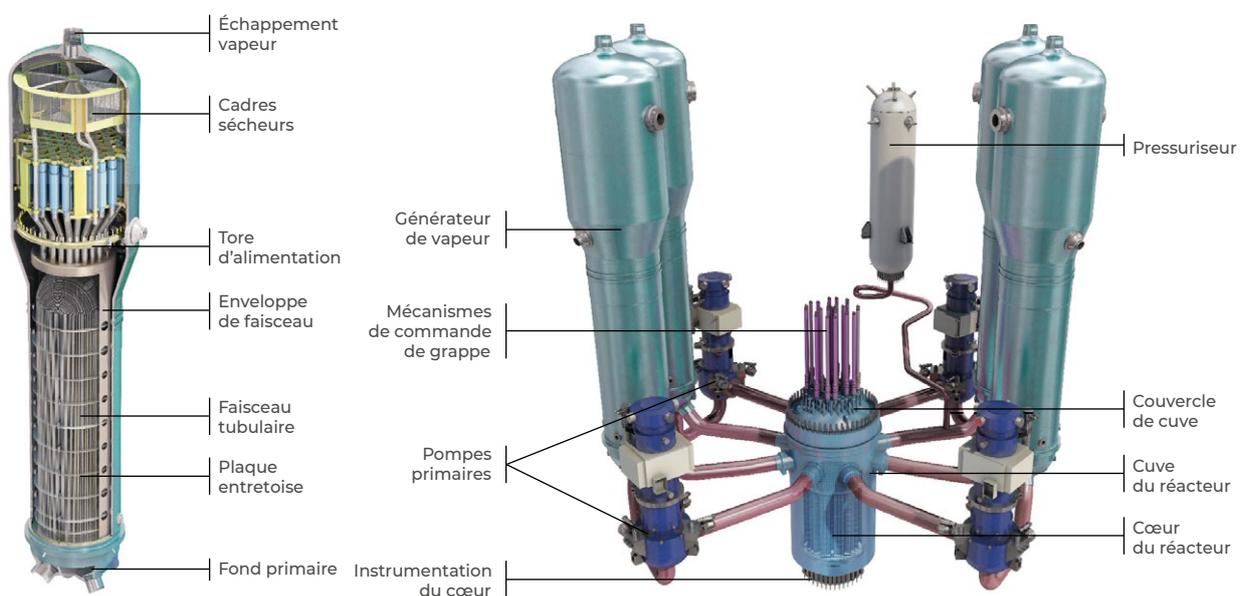
Le circuit primaire et les [circuits secondaires](#) permettent de transporter l'énergie dégagée par le cœur sous forme de chaleur jusqu'au groupe turbo-alternateur qui assure la production d'électricité.

Le circuit primaire est composé de boucles de refroidissement, au nombre de trois pour un réacteur de 900 MWe, et de quatre pour les réacteurs de 1300 MWe, de 1450 MWe ou de 1650 MWe de type EPR. 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 générateur de vapeur. 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.

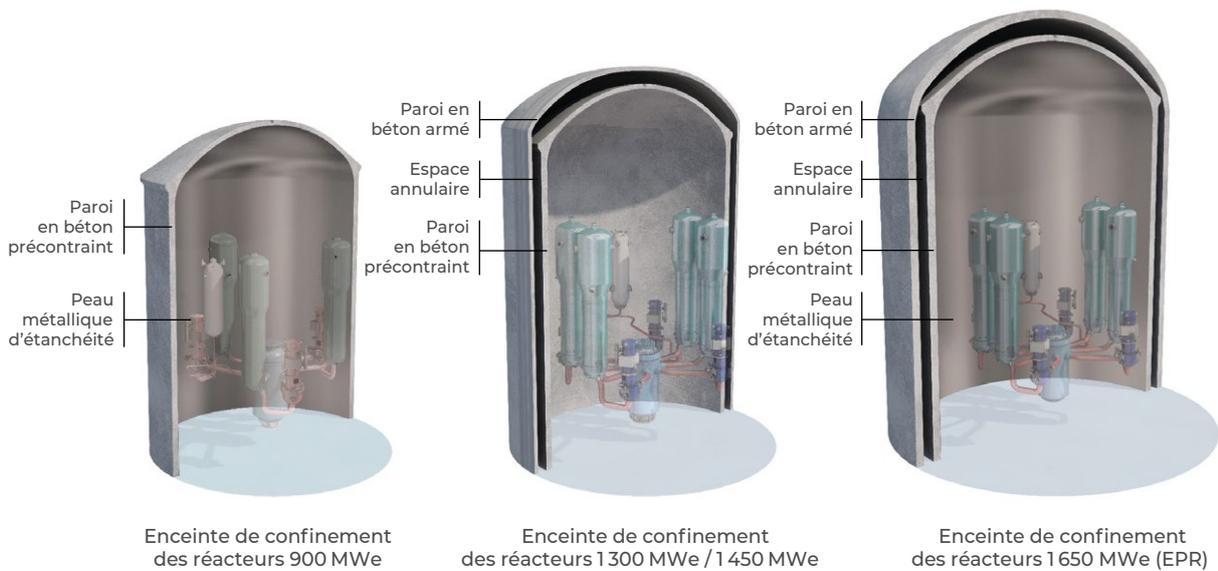
L'eau du circuit primaire cède sa chaleur à l'eau des circuits secondaires dans les GV. Les GV sont des échangeurs de chaleur qui contiennent, selon le modèle, de 3500 à 6000 tubes dans lesquels circule l'eau primaire. Ces tubes baignent dans l'eau du circuit secondaire, qui est ainsi portée à ébullition 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 sècheurs 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.

UN GÉNÉRATEUR DE VAPEUR ET UN CIRCUIT PRIMAIRE PRINCIPAL D'UN RÉACTEUR DE 1300 MWE



ENCEINTES DE CONFINEMENT DES RÉACTEURS



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, lorsque le débit de la rivière est trop faible ou l'échauffement trop important par rapport à la sensibilité du milieu, refroidie par une tour aéroréfrigérante (circuit fermé ou semi-fermé).

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 aéroréfrigérantes 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 REP 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 de l'EPR de Flamanville est constituée de deux parois en béton et d'un revêtement métallique qui recouvre l'ensemble de la face interne de la paroi interne.

1.7 Les principaux circuits auxiliaires et de sauvegarde

Les circuits auxiliaires assurent en fonctionnement normal, en puissance ou dans les états d'arrêt du réacteur, la maîtrise des réactions nucléaires, l'évacuation de la chaleur du circuit primaire et de la puissance résiduelle du combustible dans les états d'arrêt, et le 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, 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 et, 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 conception de 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 d'ultime secours, 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 dit « d'ultime secours » (DUS) par réacteur.

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

2.1 Le combustible

2.1.1 Le combustible et sa gestion 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 des 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 et de sa gestion en réacteur

EDF a assuré, pour l'ensemble de ses centrales nucléaires, une gestion globalement satisfaisante de l'intégrité de la première barrière, constituée par la gaine des crayons de combustible.

L'ASN note des progrès dans la déclinaison de la démarche de prévention du risque d'introduction de corps étrangers dans le circuit primaire, pouvant par la suite détériorer la première barrière. Ces progrès sont toutefois inégaux selon les sites.

En 2021, sept réacteurs ont présenté des défauts de gainage. Ce nombre est similaire à l'année précédente. L'ASN restera attentive aux investigations réalisées par EDF sur les assemblages de combustible concernés dans le but de déterminer l'origine de ces défauts et d'identifier les actions correctives nécessaires.

Tout comme en 2020, peu d'événements ont été signalés lors des opérations de manutention du combustible.

En ce qui concerne la fabrication des pastilles du combustible, les anomalies portant sur le MOX rencontrées en 2017 et 2019 (présence aléatoire d'ilots enrichis en plutonium de grande taille dans certaines pastilles de combustible) ont notamment conduit EDF à mettre en place des mesures compensatoires portant sur les plans de chargement. Par ailleurs, la mise en évidence d'un phénomène de remontée de flux neutronique en bas et en haut de colonne fissile des assemblages de combustible MOX a conduit l'ASN à demander à EDF en 2018 l'application de mesures compensatoires dans l'attente du déploiement de modifications

CORROSION DES ASSEMBLAGES DE COMBUSTIBLE À GAINAGE « M5 »

En février 2021, lors du déchargement du combustible du réacteur 2 de la centrale nucléaire de Chooz B, EDF a détecté des traces de corrosion blanches sur plusieurs assemblages de combustible. Cette corrosion a provoqué la desquamation de plusieurs gaines de crayons de combustible, qui n'ont toutefois pas été percées.

Par la suite, EDF a observé le même phénomène de corrosion sur d'autres réacteurs. Il ne concerne que des assemblages de combustible fabriqués par Framatome dont les gaines sont en alliage « M5 ».

Les analyses réalisées ont mis en évidence plusieurs paramètres susceptibles d'expliquer ce phénomène, notamment la teneur en fer des gaines et la puissance de fonctionnement du réacteur.

EDF a révisé ses exigences sur la teneur en fer du matériau M5. Dans l'attente du déploiement de cette modification sur l'ensemble de ses réacteurs, EDF peut continuer à utiliser les assemblages de combustible à basse teneur en fer, sous réserve de montrer qu'ils ne subiront pas de desquamation lors de leur irradiation et d'appliquer des mesures compensatoires graduées (réduction de puissance, modalités particulières d'exploitation des cœurs ou du réacteur). Cette stratégie a conduit EDF à écarter de la constitution des cœurs plusieurs assemblages de combustible pour lesquels la teneur en fer de l'alliage M5 était trop faible.

Les analyses visant à mieux caractériser le phénomène se poursuivront en 2022.

de la conception de ces assemblages. Ces mesures particulières d'exploitation sont en place depuis 2020 dans l'attente du renouvellement complet des assemblages de combustible MOX présent dans les réacteurs par des assemblages modifiés. Les assemblages MOX chargés en cœur depuis 2021 sont équipés d'une nouvelle cale visant à atténuer la remontée de flux en bas de colonne fissile. EDF proposera une conception optimisée en 2022, qui sera totalement déployée en 2025. EDF travaille également à une modification du haut de la colonne fissile des crayons.

En 2021, les difficultés de production rencontrées à l'usine Melox ont conduit EDF à utiliser de nombreuses recharges spécifiques dans ses réacteurs. L'ASN a notamment autorisé en 2021 l'enchaînement, sur un même réacteur, de trois ou quatre recharges sans assemblage de combustible neuf de type MOX.

2.2 Les équipements sous pression nucléaires

2.2.1 La conception et la fabrication des équipements sous pression nucléaires

Le fabricant d'un équipement sous pression nucléaire (ESPN) est responsable de la conformité de cet équipement aux exigences de sécurité qui lui sont applicables pour garantir l'absence de défaillance durant son exploitation. Ces exigences sont définies par une directive européenne portant sur les équipements sous pression (ESP) et sont complétées par des exigences spécifiques aux ESPN, tenant également compte de leur importance pour la sûreté de l'installation. Le fabricant définit et applique des règles qui lui permettent de justifier le respect de ces exigences.

Les industriels, en particulier EDF et Framatome, ont mis en place, à partir de 2015, des actions structurantes afin de faire évoluer leurs règles et de les mettre en conformité avec les exigences réglementaires. La plus grande partie de ces actions a été

réalisée dans le cadre de l'Association française pour les règles de conception, de construction et de surveillance en exploitation des matériels des chaudières électronucléaires (AFCEN), qui implique la majorité de la profession. Cette démarche a été reconduite pour les années 2019 à 2022 afin de continuer à faire progresser la profession sur certaines thématiques et pour tirer le REX des premières applications des guides et méthodes développées et des écarts relevés lors des fabrications.

L'usine Framatome Le Creusot a repris progressivement son activité en 2021 avec la fabrication de plusieurs viroles destinées au programme de remplacement des GV.

Dans le cadre des investigations que Framatome a menées à la suite de la mise en évidence en 2019 d'un écart portant sur la mise en œuvre des traitements thermiques de détensionnement, le fabricant a mis en évidence en 2021 une nouvelle problématique liée à des contraintes résiduelles élevées générées lors du refroidissement de ces traitements thermiques de détensionnement (voir encadré).

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

L'ASN évalue la conformité aux exigences réglementaires 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.

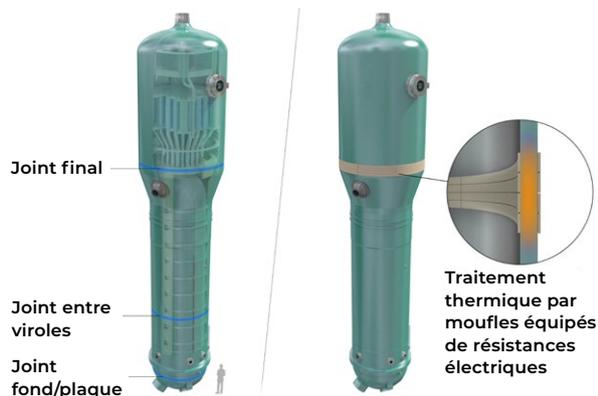
Cette évaluation de la conformité concerne les équipements destinés aux nouvelles installations nucléaires (plus de 200 équipements sont concernés pour le [réacteur EPR de Flamanville](#)) et les équipements de rechange destinés aux installations nucléaires en fonctionnement (GV de remplacement notamment). L'ASN peut s'appuyer pour cette mission sur des organismes qu'elle habilite. Ces derniers peuvent être mandatés par l'ASN pour réaliser une partie des inspections portant sur les équipements dits de « niveau N1 » et sont chargés de l'évaluation de la conformité aux exigences réglementaires des ESPN moins importants pour la sûreté, dits de « niveau N2 ou N3 ». Le contrôle de l'ASN et des organismes habilités s'exerce aux différents stades de la conception et de la fabrication des ESPN. Il 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. [Quatre organismes](#) ou organes d'inspection sont actuellement habilités par l'ASN pour l'évaluation de la conformité des ESPN : Apave SA, Bureau Veritas Exploitation, Vinçotte International et l'organe d'inspection des utilisateurs d'EDF.

En ce qui concerne la conception et la fabrication des ESPN, les organismes habilités ont réalisé, en 2021, environ 3 100 actions de contrôle pour les ESPN destinés au réacteur EPR de Flamanville et environ 4 700 actions de contrôle pour les ESPN de remplacement destinés aux réacteurs électronucléaires en fonctionnement. Ces actions de contrôle sont réalisées sous la surveillance de l'ASN.

L'ASN note les actions mises en œuvre par les industriels pour traiter les problématiques identifiées par ses constats ainsi que le caractère approprié des publications de l'AFCEN. L'ASN a demandé à ce que le programme 2019-2022 de l'AFCEN traite de la gestion des écarts et du REX acquis en matière de soudage.

L'ASN, avec l'implication des organismes habilités et l'IRSN, a examiné le programme de travail mis en œuvre par Framatome pour caractériser l'impact des contraintes résiduelles générées lors du détensionnement thermique. Des dispositions relatives

ÉCART DANS LA MISE EN ŒUVRE PAR FRAMATOME DE PROCÉDÉS DE TRAITEMENT THERMIQUE DE DÉTENSIONNEMENT LORS DE LA FABRICATION D'ÉQUIPEMENTS SOUS PRESSION NUCLÉAIRES



L'assemblage de composants par soudage crée des contraintes mécaniques au niveau des zones soudées. Pour réduire ces contraintes, le fabricant met en œuvre un traitement thermique de détensionnement (TTD) qui consiste à chauffer le matériau pendant plusieurs heures à des températures de quelques centaines de degrés. Ce chauffage peut être réalisé dans un four sur l'ensemble de l'équipement lorsque sa dimension le permet, ou localement par l'utilisation de dispositifs chauffants tels que des résistances électriques. La température et la durée de traitement doivent être maîtrisées afin de résorber les contraintes résultant du soudage sans altérer les propriétés mécaniques du matériau.

En 2019, le fabricant Framatome a mis en évidence que certains procédés, mis en œuvre au sein de son usine de Saint-Marcel ou dans les centrales nucléaires pour l'assemblage de GV, avaient conduit à une maîtrise insuffisante des températures sur les circonférences des soudures traitées.

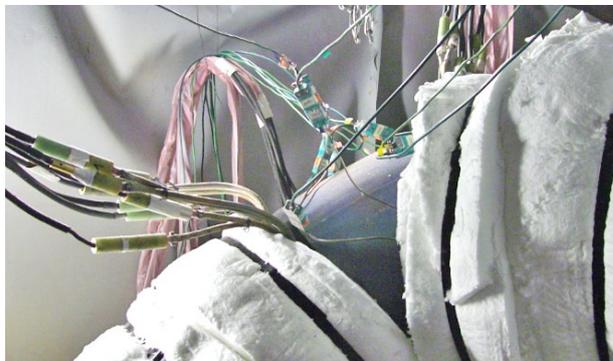
Sont concernés par cet écart 177 des 192 GV installés dans les réacteurs en fonctionnement d'EDF. EDF a justifié le maintien de l'intégrité des équipements concernés, en s'appuyant sur des résultats d'essais réalisés sur maquettes représentatives, sur des coupons de matière et sur des modèles numériques de prédiction des températures.

Les équipements en cours de fabrication sont également concernés par cet écart. Il s'agit de 22 GV destinés aux

réacteurs en fonctionnement, ainsi que les GV, le pressuriseur et des tuyauteries du circuit secondaire du réacteur EPR de Flamanville. Framatome définit des stratégies de traitement adaptées à chacun des équipements concernés. Elles comprennent des études de remise en conformité, des maquettes d'essais et des études de simulation numérique permettant d'évaluer l'impact des écarts sur les propriétés mécaniques attendues lorsque la remise en conformité ne peut être réalisée.

En 2021, les investigations complémentaires menées par Framatome l'ont conduit à mettre en évidence des contraintes résiduelles, dont l'ampleur n'était pas attendue, générées lors de la mise en œuvre, même conforme, de ces traitements thermiques. Pour les équipements en service, Framatome a déployé un programme de caractérisation permettant, sur la base de mesures expérimentales et de simulation numérique, d'évaluer le niveau de ces contraintes et leur impact sur la tenue mécanique des équipements. L'ASN examine les justifications spécifiques apportées par EDF pour les soudures concernées par l'écart. L'ASN a de plus demandé à EDF, pour l'ensemble des soudures détensionnées, d'effectuer une analyse des risques potentiels.

L'ASN examine également les justifications apportées par Framatome pour les équipements en cours de fabrication. Elle a également interrogé les autres fabricants de gros équipements (Westinghouse et MHI), afin qu'ils examinent si les procédés de traitement thermique de détensionnement qu'ils utilisent génèrent également de tels effets.



au suivi en service des équipements pourraient être nécessaires pour s'assurer du maintien du niveau de sécurité des équipements. L'ASN a également demandé aux autres fabricants d'évaluer cet impact et examine les actions qu'ils entreprennent.

Framatome a poursuivi ses actions d'amélioration de la qualité au sein de ses trois usines. Cela se traduit par une démarche de mise sous contrôle des procédés industriels les plus sensibles affectés par des écarts significatifs. L'ASN évalue, au travers de ses inspections, les résultats de ces actions. Elle souligne ainsi la qualité et la pertinence des actions menées, qui devront se traduire dans l'amélioration de la qualité de réalisation. En particulier, l'ASN a maintenu son implication dans le contrôle des dispositions définies pour pérenniser au sein de l'usine Framatome Le Creusot une organisation robuste, performante et adaptée aux enjeux de sûreté.

Le fabricant Westinghouse a poursuivi la déclinaison de son plan d'amélioration dans son usine de fabrication de GV en Italie en matière de système qualité de surveillance interne. Les conditions

pour la levée de la surveillance renforcée en place ont été définies mais n'ont pas été réunies en 2021.

Les organismes habilités, les fabricants et les exploitants développent au sein de leurs structures une organisation et des moyens associés à la prévention et à la détection des risques de fraude. Bien que des avancées soient observées, la déclinaison des modalités techniques définies reste encore à parfaire, comme en 2020. Le traitement des [irrégularités](#) déclarées fin 2018 par le fournisseur d'alliages et d'aciers spéciaux Aubert & Duval se poursuit également. Les investigations menées n'ont pas conduit à identifier à ce stade de conséquences sur la sûreté des installations.

2.2.3 L'exploitation des équipements sous pression

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.

PHÉNOMÈNE DE CORROSION SOUS CONTRAINTE DÉTECTÉ SUR LES TUYAUTERIES DE PLUSIEURS RÉACTEURS

Lors de contrôles par ultrasons réalisés au cours de la deuxième visite décennale du réacteur 1 de la centrale nucléaire de Civaux, des indications¹⁾ ont été mises en évidence sur des soudures de coudes de la tuyauterie raccordant le système d'injection de sécurité au circuit primaire principal du réacteur.

EDF a pris la décision d'arrêter le réacteur 2 de la centrale de Civaux pour réaliser, de manière anticipée, des contrôles des zones concernées, les précédents contrôles datant de 2012. Les résultats de ces contrôles ont confirmé la présence d'indications similaires à celles du réacteur 1.

Les parties de tuyauteries concernées du réacteur 1 ont été découpées pour expertise métallurgique en laboratoire et ont mis en évidence la présence de fissuration résultant d'un phénomène de corrosion sous contrainte.

Au regard de l'origine inattendue des fissurations constatées, EDF a pris la décision de mettre à l'arrêt

les réacteurs de conception similaire de la centrale nucléaire de Chooz afin de réaliser des contrôles complémentaires à ceux réalisés en 2019 et 2020 lors de leur visite décennale. Ces examens ont mis en évidence des indications. Par ailleurs, des indications ont également été détectées lors de la troisième visite décennale du réacteur 1 de Penly.

Début 2022, EDF poursuit ses investigations pour caractériser les facteurs à l'origine de ce phénomène et identifier les réacteurs et les zones possiblement concernés.

L'ASN, avec l'appui technique de l'IRSN, suit avec attention ces investigations et les conclusions qui en seront tirées.

Pour disposer des dernières informations sur le sujet : asn.fr, rubriques « L'ASN informe », « Actualités ».

1. Une indication est un signal (typiquement un écho pour des contrôles par ultrason) mettant en évidence la possible présence d'un défaut dans le matériau contrôlé.

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.

Ces circuits sont soumis à une requalification périodique réalisée tous les 10 ans, qui comprend une visite complète des circuits impliquant des examens non destructifs, une épreuve hydraulique sous pression et une vérification du bon état et du bon fonctionnement des accessoires de protection contre les surpressions.

L'exploitant est tenu de conserver et de mettre à jour les dossiers de référence réglementaires qui sont exigés par l'arrêté du 10 novembre 1999 précité relatif à la surveillance du CPP et des CSP. Ces dossiers sont constitués des dossiers de conception, de fabrication, de protection contre les surpressions, des dossiers relatifs aux matériaux, des constatations faites en exploitation et, le cas échéant, des dossiers de traitement des [écarts](#). L'exploitant doit mettre à jour ces dossiers aussi souvent que nécessaire et au moment des requalifications périodiques. En raison du caractère standardisé des réacteurs électronucléaires français, EDF a la possibilité de réaliser une mise à jour générique de ces dossiers.

Sont détaillés ci-dessous les enjeux de sûreté de certains 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 que 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 deux raisons :

- la cuve est un composant dont le remplacement n'est pas envisagé, pour des raisons à la fois de faisabilité technique et de coût ;
- le contrôle contribue 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 dus à la fabrication sous leur revêtement en acier inoxydable.

Les coudes moulés

Le CPP d'un réacteur comporte plusieurs coudes en acier inoxydable austéno-ferritique, fabriqués par moulage. La phase ferritique subit un vieillissement en fonctionnement sous l'effet de la température. Certains éléments d'alliage présents dans le matériau favorisent cette sensibilité au vieillissement, notamment sur 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.

Par ailleurs, ces coudes comportent des défauts inhérents au mode de fabrication par moulage statique. Les effets du vieillissement thermique amoindrissent les caractéristiques de cet acier moulé et 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.

Les zones en alliage à base de nickel

Plusieurs parties des REP sont fabriquées en alliage à base de nickel, en raison de sa résistance à la corrosion généralisée ou par piqûres. Cependant, dans les conditions de fonctionnement des réacteurs, l'un des alliages retenus, l'Inconel 600, s'est révélé sensible au phénomène de corrosion sous contrainte. Ce phénomène particulier se produit en présence de contraintes mécaniques importantes. Il peut conduire à l'apparition de fissures, comme observé sur certains tubes de GV au début des années 1980 ou, plus récemment en 2011, sur une pénétration de fond de cuve du réacteur 1 de la centrale nucléaire de [Gravelines](#) et, en 2016, sur une pénétration de fond de cuve du réacteur 3 de la centrale nucléaire de [Cattenom](#). Ces fissures ont conduit l'exploitant à réparer les zones concernées ou à isoler la partie concernée du circuit.

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

11

12

13

14

AN

À la demande de l'ASN, EDF a adopté une approche globale de surveillance et de maintenance pour les zones concernées. Plusieurs zones du circuit primaire en alliage Inconel 600 font ainsi l'objet d'un contrôle particulier. Pour chacune d'elles, le programme de contrôle en service, défini et mis à jour annuellement par l'exploitant, est soumis à l'ASN qui vérifie que les performances et la fréquence des contrôles mis en place par EDF sont satisfaisantes pour détecter les dégradations redoutées.

Les générateurs de vapeur

Les GV sont composés de deux parties, l'une appartenant au CPP et l'autre au CSP. 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. 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 par EDF, révisé périodiquement 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 cours 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 entretroises, les dépôts empêchent la libre circulation du mélange eau-vapeur (colmatage), ce qui crée un risque d'endommagement des tubes et des structures internes et peut dégrader le fonctionnement global du GV.

Pour minimiser l'encrassement décrit, diverses solutions peuvent être mises en œuvre et permettent de limiter les dépôts métalliques : nettoyages chimiques préventifs ou nettoyages mécaniques curatifs (lançages à l'aide de jets hydrauliques), remplacement du matériau (laiton par acier inoxydable ou alliage de titane, plus résistants à la corrosion) de certains faisceaux tubulaires d'échangeurs du circuit secondaire, modification des produits chimiques de conditionnement des circuits et augmentation du pH du circuit secondaire. Certaines de ces opérations nécessitent l'obtention d'une autorisation de rejet de certains produits mis en œuvre.

Certains procédés de nettoyage chimique font encore l'objet d'essais visant à confirmer l'innocuité des produits chimiques employés.

Depuis les années 1990, EDF conduit un [programme de remplacement des GV](#) constitués des faisceaux tubulaires les plus dégradés.

La campagne de remplacement des GV de 26 réacteurs dont le faisceau tubulaire est en alliage Inconel 600 non traité thermiquement s'est achevée. Elle se poursuit par les remplacements des GV des 26 réacteurs dont le faisceau est en alliage Inconel 600 traité thermiquement.

2.2.4 L'évaluation des équipements sous pression en exploitation

Les cuves des réacteurs

L'ASN émet des procès-verbaux à la suite des contrôles effectués à chaque visite décennale sur les circuits primaires, et en particulier les cuves, qui sont soumis lors de ces arrêts à de nombreux contrôles et à une épreuve hydraulique.

Pour les réacteurs de 900 MWe et dans le cadre de la préparation des quatrièmes réexamens périodiques (voir point 2.9.3 et « Faits marquants » en introduction de ce rapport), EDF a transmis à l'ASN, en 2017, un dossier justifiant la résistance en service des cuves de ces réacteurs jusqu'à leur cinquième réexamen. La démarche générique mise en place par EDF consiste à considérer,

LES PRINCIPES DE LA DÉMONSTRATION DE LA RÉSISTANCE EN SERVICE DES CUVES

La réglementation en vigueur impose notamment à l'exploitant :

- d'identifier les situations de fonctionnement ayant un impact sur la cuve ;
- de prendre des mesures afin de connaître l'effet du vieillissement sur les propriétés des matériaux ;
- de mettre en œuvre les moyens lui permettant de détecter suffisamment tôt les défauts préjudiciables à l'intégrité de la structure ;
- d'éliminer toute fissure détectée ou, en cas d'impossibilité, d'apporter une justification spécifique appropriée au maintien en l'état d'un tel type de défaut.

suivant une approche enveloppe, les propriétés mécaniques issues de la cuve présentant la fragilisation sous irradiation la plus pénalisante des réacteurs de 900 MWe. EDF a réalisé des études de résistance à la rupture brutale en tenant compte de l'évolution des caractéristiques des matériaux et mènera des contrôles pour s'assurer de l'absence de défaut préjudiciable dans l'acier lors de la visite décennale de chaque réacteur.

Cette démarche générique a été soumise à l'avis du Groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GPESPN) le [20 novembre 2018](#), le [15 octobre 2019](#) et le [8 septembre 2020](#). L'examen a porté sur les défauts analysés, l'estimation du vieillissement sous irradiation du métal de la cuve, les analyses thermomécaniques, les études d'évaluation des marges vis-à-vis du risque de rupture brutale, le classement des transitoires de petites brèches primaires et la justification du niveau de contraintes résiduelles dans les soudures circulaires des viroles de cœur.

Les études réalisées ainsi que les compléments apportés à la demande du GPESPN permettent de conclure favorablement sur la capacité des cuves à fonctionner dix années supplémentaires, sous réserve du résultat des examens réalisés à l'occasion des quatrièmes visites décennales des réacteurs concernés.

Les coudes moulés

Le dossier établi par EDF a fait l'objet d'une instruction par l'ASN et d'un [avis du GPESPN le 23 mai 2019](#). À l'issue de cette analyse, l'ASN a formulé des demandes de justifications complémentaires à EDF sur la prévision du comportement du matériau vieilli, la connaissance des défauts présents dans les coudes, les analyses des marges vis-à-vis de la rupture brutale et le suivi en service de ces composants.

EDF a fourni en 2020 des notes de justification pour certaines typologies de coudes et la stratégie de remplacement envisagée pour d'autres. La situation de certains coudes difficilement remplaçables fait l'objet de développements techniques en matière d'essais non destructifs et de régénération thermique.

Les zones en alliage à base de nickel

EDF a actualisé en 2018 son analyse des zones en alliage à base de nickel en réalisant un état des lieux de la conception, une évaluation du risque d'amorçage de la corrosion sous contrainte, une analyse du REX aux niveaux national et international, un bilan des analyses mécaniques et des études de sûreté, un inventaire des procédés de réparation et de contrôle disponibles, ainsi qu'une mise à jour de sa stratégie de maintenance.

Ce dossier a été examiné conjointement par l'ASN et l'IRSN, puis présenté au GPESPN lors de sa séance du 26 novembre 2020.

Le travail d'actualisation mené par EDF est satisfaisant. Toutefois, EDF doit apporter davantage de garanties sur la capacité des

examens non destructifs à permettre une détection précoce des éventuelles dégradations, en particulier en ce qui concerne les pénétrations de fond de cuve.

Les générateurs de vapeur

La situation de la deuxième barrière de confinement est restée un point de vigilance pour l'ASN en 2021. Les constats de niveaux d'encrassement importants dans certains GV, susceptibles d'altérer la sûreté de leur fonctionnement, amènent une programmation d'interventions de nettoyages préventifs en 2022 et dans les années qui suivent. La maintenance en vue de garantir un état de propreté satisfaisant a été insuffisante et doit être une priorité. La stratégie de contrôle de la partie secondaire des GV déployée par EDF a été revue mi-2020 afin de mieux prévenir ces situations.

L'ASN note que les opérations de remplacement des GV ont pu reprendre après une année sans intervention de ce type. Ces interventions continueront au rythme d'une intervention par an dans les années à venir.

Le percement régulier de tubes de GV, qui fait l'objet d'une stratégie pluriannuelle de contrôle et de bouchage de tubes par EDF, et la détection d'un effet chaudière dans un tube «doigt de gant» d'un GV du réacteur 1 de Nogent-sur-Seine réparé en 2021, illustrent le risque de nouvelles dégradations associées au vieillissement des installations et confirment la nécessité d'adapter en conséquence le niveau d'exigence du suivi en service et l'anticipation du développement des procédés de réparation.

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 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 accès 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 ou le circuit de ventilation de la salle de commande. EDF a engagé depuis 2016 un plan d'action afin de garantir, compte tenu des évolutions des réacteurs depuis leur construction, que les débits des systèmes de ventilation répondent aux exigences de sûreté requises à la fois 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 de l'état des matériels et des gaines. EDF procède, le cas échéant, à des remises en état et des améliorations ainsi qu'au réglage des débits de ventilation.

2.3.2 L'évaluation des enceintes de confinement

Gestion globale de la fonction de confinement

L'ASN constate des indisponibilités ponctuelles mais répétées affectant certains matériels participant à la fonction de confinement. Ces indisponibilités, déjà identifiées en 2020, ont fait l'objet d'échanges avec EDF, qui se poursuivront en 2022 afin de vérifier la pertinence des actions envisagées par EDF pour réduire ces indisponibilités.

L'ASN a conduit en 2021 une campagne d'inspection dédiée sur le plan d'action relatif aux systèmes de ventilation. L'ASN a constaté qu'il est correctement mis en œuvre sur les réacteurs et que les exigences de sûreté associées sont atteintes. En 2022, EDF mettra en œuvre un programme visant à s'assurer de la pérennité des réglages nécessaires au bon fonctionnement des systèmes de ventilation établis dans le cadre de ce plan d'action. L'ASN examinera la pertinence de ce programme.

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 2009 dans le cadre de leur troisième visite décennale n'ont pas mis en lumière de problème générique susceptible de remettre en cause leur exploitation.

L'enceinte du réacteur 5 de la centrale nucléaire du Bugey a toutefois dû faire l'objet d'une réparation, à la suite de la dégradation constatée en 2015 de l'étanchéité de son revêtement métallique au niveau de la partie basse du bâtiment du réacteur. EDF a par la suite mis en place une surveillance spécifique de cette enceinte. L'étanchéité de cette enceinte de confinement a également fait l'objet d'une attention particulière lors de la quatrième visite décennale de ce réacteur en 2021. L'épreuve de cette enceinte qui s'est déroulée en 2021 a donné des résultats satisfaisants.

Les résultats des épreuves réalisées dans le cadre des quatrième visites décennales ont jusqu'à présent également été satisfaisants.

Les enceintes à double paroi

Les épreuves des enceintes à double paroi réalisées lors des premières visites décennales des réacteurs de 1300 MWe avaient permis de détecter une augmentation des taux de fuite de la paroi interne de certaines d'entre elles sous l'effet combiné de déformations du béton et de pertes de la précontrainte de certains câbles plus importantes qu'anticipées lors de la conception.

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 1300 MWe les plus affectés, ainsi que des réacteurs de 1450 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.

L'ASN reste vigilante à l'évolution de l'étanchéité de ces enceintes et au maintien de l'efficacité des revêtements sur le long terme.

2.4 La prévention et la maîtrise des risques

2.4.1 Les règles générales d'exploitation

Les règles générales d'exploitation (RGE) encadrent le fonctionnement des réacteurs électronucléaires. Celles-ci sont établies par l'exploitant et déclinent de manière opérationnelle les hypothèses et conclusions des études de sûreté qui constituent la démonstration de sûreté nucléaire. Elles fixent les limites et conditions d'exploitation de l'installation.

Les modifications des RGE de nature à affecter la sûreté 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.

Le fonctionnement normal

Les spécifications techniques d'exploitation

Au sein des RGE, les spécifications techniques d'exploitation (STE) définissent les domaines de fonctionnement normal fondés sur les hypothèses de conception et de dimensionnement de l'installation et identifient les systèmes requis pour le maintien des fonctions de sûreté, notamment l'intégrité des barrières de confinement des substances radioactives et la surveillance de ces fonctions en cas d'incident ou d'accident. Elles prescrivent

également les conduites à tenir en cas de défaillance momentanée d'un système requis ou de dépassement d'une limite, ces situations relevant d'un fonctionnement dit en « mode dégradé ».

EDF fait régulièrement évoluer les STE pour intégrer le [REX](#) de leur application et les modifications apportées aux réacteurs. De manière ponctuelle, l'exploitant peut les amender temporairement, par exemple pour réaliser une intervention dans des conditions différentes de celles initialement prises en compte dans la démonstration de sûreté nucléaire. Il doit alors justifier la pertinence de cette modification temporaire et définir les mesures compensatoires adéquates pour maîtriser les risques associés.

Les essais périodiques

Les éléments importants pour la protection ([EIP](#)) des personnes et de l'environnement font l'objet d'une qualification visant à garantir leur capacité à assurer leurs fonctions dans les situations où ils sont nécessaires. Ils doivent faire l'objet d'essais qui participent à la vérification de la pérennité de leur qualification. Les règles des essais périodiques des matériels importants pour la sûreté sont intégrées dans les RGE. Elles fixent la nature des contrôles techniques à réaliser, leur fréquence et les critères qui permettent de statuer sur le caractère satisfaisant des contrôles.

Les essais physiques du cœur

Les essais physiques du cœur ont pour objectif, d'une part, de confirmer que le cœur en cours d'exploitation est conforme au référentiel de conception et à la démonstration de sûreté, d'autre part, de calibrer les systèmes de régulation et de protection automatiques. Ces essais prescrits dans les RGE sont réalisés périodiquement.

Les essais physiques au redémarrage sont assimilables à des essais de requalification à la suite du rechargement du cœur. Les essais physiques en cours et lors d'une prolongation de cycle permettent de garantir la disponibilité et la représentativité de l'instrumentation et de vérifier les caractéristiques du cœur en exploitation.

Les règles de conduite en cas d'incident ou d'accident

La conduite en cas d'incident ou d'accident

Les RGE traitent également des procédures de conduite du réacteur en [situation d'incident ou d'accident](#). Elles prescrivent les opérations à réaliser par l'équipe de conduite lorsque le réacteur subit une situation d'incident ou d'accident ; ces opérations visent à retrouver un fonctionnement normal du réacteur ou, pour les situations accidentelles, à en limiter les conséquences. Les équipes de conduite sont régulièrement formées à l'utilisation de ces procédures.

EDF fait évoluer ces procédures pour intégrer le REX des incidents et accidents, résorber les écarts détectés lors de leur application ou prendre en compte les modifications apportées aux installations, notamment celles issues des réexamens périodiques.

La conduite en cas d'accident grave

À la suite d'un incident ou 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, peu probables, 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. Ces équipes s'appuient sur le plan d'urgence interne ([PUI](#)), complété notamment du guide d'intervention en cas d'accident grave et des guides d'action des équipes de crise.

2.4.2 L'évaluation de l'exploitation des réacteurs

L'ASN assure le contrôle du contenu des RGE lors de leur instruction avant leur mise en œuvre, ainsi que le contrôle de l'application des RGE lors des inspections.

Le fonctionnement normal

Lors de ses inspections dans les centrales nucléaires, l'ASN vérifie que l'exploitant respecte les STE et, le cas échéant, les mesures compensatoires associées aux modifications temporaires. Elle contrôle également la cohérence entre les modifications des installations mises en œuvre et celles apportées aux documents utilisés par les équipes de conduite des réacteurs, tels que les consignes de conduite et les fiches d'alarme. Elle s'assure aussi que les procédures utilisées pour configurer les circuits ou consigner les matériels prennent bien en compte les exigences issues des STE. 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, souvent à l'origine d'écarts.

Les non-respects des STE 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.

En 2021, l'ASN constate que la qualité de la surveillance de la salle de commande est restée à un niveau satisfaisant, comme en 2020, même si certains écarts trouvent cette année encore leur origine dans une défaillance de cette surveillance. Le nombre d'écarts de configuration des circuits est aussi resté à un niveau équivalent à celui de l'an passé.

En revanche, en 2021, les situations pour lesquelles le réacteur a été exploité en dehors des limites prévues ont été bien plus nombreuses qu'en 2020 et sont revenues au niveau de ce qui avait été observé en 2019. L'activité industrielle de l'année 2021, plus chargée que celle de l'année 2020 (allégée en raison de la crise sanitaire), explique sans doute une partie de cette évolution, mais des dispositions doivent être prises pour limiter ces écarts et plus largement améliorer la rigueur d'exploitation des installations.

La pandémie de Covid-19 a perturbé la formation des équipes de conduite en 2020 et en 2021. L'ASN considère que les conséquences de ces perturbations sur les performances en matière de sûreté méritent d'être analysées. Elle mènera en 2022 une campagne d'inspection portant spécifiquement sur cette thématique.

L'ASN vérifie que les essais périodiques des matériels importants pour la sûreté permettent bien de contrôler leur bon fonctionnement et leur niveau de performance. Elle exerce cette vérification lors 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.

En 2021, les essais périodiques ont été à l'origine de plusieurs événements significatifs, à cause de modifications incorrectes des règles d'essais, d'incohérence des règles d'essais avec le reste des RGE ou de déclinaisons inadaptées des règles d'essais dans les documents opératoires. Dans le cadre du REX de ces événements, EDF adapte ses organisations pour assurer un meilleur partage d'informations entre les différents acteurs responsables de la définition des essais, de leur programmation et de leur réalisation.

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

L'ASN contrôle le 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 2021 plusieurs inspections sur les dispositions

organisationnelles et techniques prévues par EDF en situation d'incident ou d'accident. Ces inspections intègrent quasi systématiquement une mise en situation des équipes de conduite de l'installation en salle ou sur simulateur, pour contrôler les modalités d'application des consignes et les pratiques d'intervention et de communication au sein de ces équipes. À l'issue de ces inspections, l'ASN a jugé satisfaisante la gestion des situations de conduite en cas d'incident ou d'accident par les équipes de conduite.

Par ailleurs, l'ASN a constaté en 2021 que les équipes d'ingénierie nationales d'EDF avaient mené un travail conséquent de résorption des erreurs et imprécisions qui entachent les documents opératoires de conduite en cas d'incident ou d'accident et qui avaient été détectées ces dernières années. L'ASN sera attentive à ce que le nouveau processus de traitement des écarts mis en œuvre par EDF permette leur traitement rapide, afin que des écarts ne perdurent pas sur de longues durées dans les documents opératoires.

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 2021, EDF a activé son PUI pour un incendie sur un transformateur situé dans la partie non nucléaire de la centrale nucléaire de Paluel. La situation n'a pas entraîné de rejets radioactifs et n'a pas nécessité d'action de protection des populations.

L'ASN a mené en 2021 des inspections sur l'organisation et les moyens de crise d'EDF. Dans l'ensemble, ces inspections ont permis de s'assurer que les centrales nucléaires 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 grande motivation des équipiers d'astreinte mobilisés. Toutefois, à la suite d'un changement dans le dispositif d'alerte, EDF doit poursuivre ses efforts de formation pour garantir l'appropriation par les équipiers de crise des dispositifs d'alerte et progresser sur les temps de mobilisation de toutes les parties prenantes. Enfin, le maintien en condition opérationnelle d'un certain nombre de moyens mobilisables en situation d'urgence doit également être renforcé.

2.4.3 La maintenance des installations

La maintenance préventive constitue une ligne de défense essentielle pour maintenir 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 une nouvelle 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 sur la mise en œuvre du suivi des performances et sur l'augmentation des tâches de maintenance générée par les programmes de maintenance AP913. EDF a ainsi défini en 2017 des orientations stratégiques en

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 pour renouvellement du combustible peuvent être de plusieurs types :

- arrêt pour simple rechargement et arrêt pour visite partielle : d'une durée de quelques semaines, 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, porte principalement :

- en phase de préparation de l'arrêt, sur le contenu du programme d'arrêt établi par l'exploitant. L'ASN peut demander, le cas échéant, des compléments à ce programme ;
- pendant l'arrêt, à l'occasion d'inspections et de points d'information réguliers, sur la mise en œuvre du programme et sur le traitement des aléas rencontrés ;
- en fin d'arrêt, sur l'état du réacteur et son aptitude à être remis en service. C'est à l'issue de ce contrôle que l'ASN donne ou non son accord au redémarrage du réacteur ;
- après le redémarrage du réacteur, sur les résultats des essais réalisés au cours de l'arrêt et en phase de redémarrage.

Depuis 2020, l'ASN a réduit le volume de ses instructions documentaires réalisées dans le cadre des arrêts de réacteur et a renforcé ses contrôles de terrain. Ces nouvelles modalités de contrôle permettent de diriger les ressources de l'ASN vers les activités présentant le plus d'enjeu et de rendre le contrôle plus efficace.

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.

Par ailleurs, en réponse à la demande de l'ASN formulée en 2019, EDF a déposé fin 2021 une demande d'autorisation pour ajouter aux RGE un nouveau chapitre consacré à la maintenance.

2.4.4 L'évaluation de la maintenance

La maintenance est une thématique importante qui fait l'objet de contrôles réguliers par l'ASN lors de ses inspections dans les centrales nucléaires.

L'organisation des centrales nucléaires pour mener à bien les opérations de maintenance conséquentes a été assez satisfaisante en 2021. Toutefois, l'ASN relève encore régulièrement des points à améliorer, comme la prise en compte des différents risques ou la préparation des activités. L'approvisionnement de pièces de rechange non conformes a encore généré en 2021 des défauts de maîtrise des activités. Des documents nationaux d'EDF mal appliqués ou des documents opérationnels incorrects sont également à l'origine d'opérations de maintenance inadaptées ou de défauts de qualité de maintenance. Enfin, l'ASN constate que les essais de requalification ne permettent pas toujours de détecter les défauts des matériels à la suite d'activités de maintenance ou de modification.

Malgré une amélioration constatée en 2019 et 2020 des actions de contrôle technique des interventions et de surveillance des prestataires, grâce notamment à l'utilisation d'outils informatiques récemment déployés dans les centrales, les événements significatifs ayant pour cause des non-qualités de maintenance non détectées par la surveillance ou par les analyses de premier niveau sont restés nombreux.

Dans le cadre de la poursuite du fonctionnement des réacteurs, du programme « grand carénage » et de l'intégration de l'ensemble des modifications qui découlent des enseignements de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima, l'ASN considère important qu'EDF maintienne les efforts engagés pour remédier aux difficultés rencontrées et améliorer la qualité de ses activités de maintenance.

En 2021, l'ASN a constaté au travers de ses inspections que les différents sites ont, dans l'ensemble, déployé les évolutions de la politique de maintenance engagées par EDF à partir de 2016.

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

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 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 en charge de l'exploitation des installations. Sur chaque centrale nucléaire, la FIS est composée d'ingénieurs sûreté et d'auditeurs, qui assurent notamment chaque jour 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 rattaché au président du groupe EDF, assisté d'une équipe d'inspecteurs, constituent le plus haut niveau de vérification indépendante de la sûreté nucléaire au sein du groupe EDF.

La prise en compte du risque d'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 et la lutte contre l'incendie.

Les règles de conception visent à empêcher l'extension d'un incendie et 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 conçus 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. Elle a notamment pour objectif d'éviter la transmission d'un incendie à deux matériels assurant de manière redondante une fonction fondamentale de sûreté.

La prévention consiste principalement à :

- veiller à ce que la nature et la quantité de matières combustibles dans les locaux restent en deçà des hypothèses retenues pour la sectorisation ;
- identifier et analyser les risques d'incendie pour prendre les mesures permettant de les éviter. En particulier, pour tous les travaux susceptibles de générer un incendie, un « permis de feu » doit être établi et des dispositions de protection mises en œuvre.

Enfin, la détection des départs de feu et la lutte contre un incendie doivent permettre l'attaque d'un feu et sa maîtrise en vue de son extinction dans des délais compatibles avec la durée de résistance au feu des éléments de sectorisation.

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 contre l'explosion.

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 être notamment 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 inondations externes

L'inondation partielle de la centrale nucléaire du [Blayais](#) en décembre 1999 a amené les exploitants, sous le contrôle de l'ASN, à réévaluer la sûreté de leurs installations face à ce risque dans des conditions plus sévères qu'auparavant et à effectuer de nombreuses améliorations de la sûreté, selon un échéancier défini au regard des enjeux. Conformément aux prescriptions de l'ASN, EDF a achevé en 2014 les travaux requis sur l'ensemble de ses réacteurs électronucléaires.

En parallèle, pour s'assurer d'une prise en compte plus exhaustive et plus robuste du risque d'inondation, dès la conception des installations, l'ASN a publié en 2013 le [Guide n° 13](#) relatif à la protection des INB contre les inondations externes.

À l'issue des évaluations complémentaires de sûreté (ECS) réalisées après l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima, l'ASN a considéré qu'en matière de protection contre les inondations, les exigences résultant de la réévaluation complète conduite à la suite de l'inondation de la centrale nucléaire du Blayais en 1999 permettaient de conférer aux centrales nucléaires un haut niveau de protection contre le risque d'inondation externe. Toutefois, l'ASN a pris plusieurs [décisions en juin 2012](#) pour demander aux exploitants :

- de renforcer la protection des centrales nucléaires face à certains aléas comme les pluies de forte intensité et les inondations sismo-induites ;
- de définir et de mettre en place un « [noyau dur](#) » de dispositions matérielles et organisationnelles permettant de maîtriser les fonctions fondamentales de sûreté dans des situations extrêmes, notamment en cas d'inondation au-delà du référentiel de dimensionnement.

Les risques liés aux séismes

Bien que la sismicité soit modérée, voire faible, 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 et de la réglementation, à l'occasion des réexamens périodiques.

La [règle fondamentale de sûreté n° 2001-01 du 31 mai 2001](#) définit la méthodologie relative à la détermination du risque sismique pour les INB de surface (à l'exception des installations de stockage à long terme de déchets radioactifs).

Cette règle fondamentale de sûreté est complétée par le [Guide de l'ASN 2/01](#) de mai 2006, 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 de chacune d'entre elles.

Dans le cadre des réexamens périodiques, la réévaluation sismique consiste à vérifier la pertinence du dimensionnement sismique de l'installation en tenant compte du progrès des connaissances relatives à la sismicité de la région du site ou aux méthodes d'évaluation du comportement sismique des éléments de l'installation. Les enseignements tirés du REX international sont également analysés et intégrés dans ce cadre.

À la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima, l'ASN a prescrit à EDF de définir et de mettre en œuvre un « noyau dur » de dispositions matérielles et organisationnelles permettant de maîtriser les fonctions fondamentales de sûreté dans des situations extrêmes comparables, dans le contexte français, à celle survenue le 11 mars 2011 au Japon. Ce « noyau dur » doit notamment être dimensionné pour résister à un séisme d'une ampleur exceptionnelle dépassant les niveaux retenus lors de la conception ou du réexamen périodique des installations.

Dans le cadre de la définition de ce niveau de séisme exceptionnel, l'ASN a demandé à EDF de compléter la démarche déterministe de définition de l'aléa sismique par une approche probabiliste, afin de tenir compte des meilleures pratiques connues au niveau international.

Les risques liés à la canicule et à la sécheresse

Au cours des événements caniculaires de ces dernières décennies, certains cours d'eau nécessaires au refroidissement de centrales nucléaires ont connu une réduction de leur débit et un échauffement significatifs. 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 REX](#) et a engagé des études de réévaluation du 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 relatif aux situations dites de « grands chauds », EDF a engagé le déploiement de modifications prioritaires (telles que l'augmentation de 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 du réexamen périodique des réacteurs, EDF a engagé un programme de modification de ses installations visant 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.

L'ASN a demandé à EDF de prendre en compte le REX des événements caniculaires de 2015, 2016 et 2019, ainsi que leurs effets sur les installations.

Autres agressions

La démonstration de sûreté des centrales nucléaires d'EDF prend également en compte d'autres agressions comme les grands vents, la neige, les tornades, la foudre, les températures froides de l'air, les agressions d'origine anthropique (transport de matières dangereuses, installations industrielles, chute d'aéronefs, etc.) et les agressions de la source froide.

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. Les dispositions permettant de limiter les risques liés aux agressions font l'objet de contrôles réguliers par l'ASN.

L'accident de la centrale nucléaire de Fukushima a conduit EDF à renforcer son organisation pour la maîtrise des risques liés aux agressions extrêmes. En particulier, des réseaux de référents ont été constitués pour l'ensemble des centrales 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.

Les risques liés aux incendies

Les risques liés à l'incendie sont importants. En conséquence, l'ASN a indiqué à EDF en 2016 qu'elle attendait, dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe, une démonstration structurée et robuste fondée sur une approche de défense en profondeur. L'ASN a instruit les méthodes de justification produites par EDF et les modifications associées, en recueillant l'avis du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) en 2019. Il ressort de cette instruction que les évolutions proposées par EDF constituent des améliorations notables de la démonstration (par exemple, études relatives à la tenue de la sectorisation, prise en compte de l'effet des fumées). Par ailleurs, les nouvelles méthodes mises en œuvre ont permis l'identification des éléments de sectorisation dont le bon fonctionnement est particulièrement important. Par exemple, les portes coupe-feu dont la position fermée est indispensable ont été identifiées et feront l'objet de mesures de surveillance spécifiques.

Sur les sites, l'ASN ne constate pas d'évolution notable concernant la maîtrise des risques liés à l'incendie, avec un nombre de départs de feu pour l'année 2021 comparable à celui constaté en 2020, et un nombre d'événements significatifs en lien avec l'incendie sensiblement supérieur.

En 2021, l'ASN a mené une campagne d'inspections renforcées portant sur la maîtrise des risques liés à l'incendie sur sept centrales nucléaires et a demandé la mise en œuvre d'actions correctives visant à remédier aux constats formulés à l'issue de ces inspections, notamment :

- la gestion des entreposages et des stockages de matériels, qui représentent des potentiels calorifiques importants, doit être améliorée. EDF doit en particulier justifier que la sectorisation incendie est suffisante en tenant compte de ces entreposages, tenir des inventaires exhaustifs et garantir le respect des conditions prévues pour ces activités ;
- la maîtrise de la sectorisation doit aussi être améliorée au sein de certaines centrales nucléaires : l'ASN relève parfois des contrôles incomplets, des informations inexacts communiquées aux équipes de conduite et des anomalies qui ne sont pas détectées ou traitées.

L'ASN a constaté certaines améliorations dans le suivi des permis de feu en lien avec le déploiement d'une nouvelle application informatique. La gestion de la détection incendie, la maintenance des matériels et la formation des personnels sont en général satisfaisantes et l'ASN note que, depuis fin 2021, les agents de levée de doute de toutes les centrales nucléaires interviennent en binôme. EDF a aussi poursuivi, en 2021, ses actions visant à mieux maîtriser les risques liés à l'incendie dans les locaux identifiés comme étant particulièrement sensibles à cette agression au regard des conséquences potentielles pour la sûreté.

Ainsi, l'ASN considère que les efforts entrepris par les centrales nucléaires pour mener les actions correctives, notamment le déploiement d'outils et de plans d'action, doivent se poursuivre et faire l'objet d'un meilleur accompagnement auprès du personnel, qui doit disposer des moyens nécessaires pour réaliser les actions attendues.

Enfin, à la suite d'une demande de l'ASN formulée en 2019, EDF a présenté à l'ASN en 2021 ses orientations pour l'amélioration de son organisation en matière de lutte contre l'incendie, notamment en renforçant la capacité de ses moyens d'intervention

pour faire face à un feu développé. EDF définira en 2022 le plan de déploiement de sa nouvelle organisation pour l'ensemble des centrales nucléaires.

Les risques liés aux explosions

L'ASN contrôle les mesures de prévention et de surveillance du risque d'explosion et veille particulièrement à sa prise en compte dans le référentiel et l'organisation d'EDF. L'ASN s'assure également du respect de la réglementation relative aux « atmosphères explosives » (ATEX) pour la protection des travailleurs.

La maîtrise des risques liés aux explosions n'est pas encore satisfaisante pour l'ensemble des réacteurs nucléaires. Certaines actions de maintenance et de contrôle demandées par la doctrine interne d'EDF ne sont pas mises en œuvre de manière satisfaisante. De plus, l'ASN constate que l'intégration du REX, le traitement de certains écarts et le déploiement de certaines modifications font parfois l'objet de reports qui ne sont pas toujours justifiés au regard des conséquences potentielles pour la sûreté. Lors des inspections, l'ASN est particulièrement vigilante aux contrôles et aux actions correctives menés par EDF pour garantir la compatibilité des matériels électriques avec une utilisation dans des locaux où une atmosphère explosive est susceptible de se former.

L'ASN note les efforts entrepris par EDF pour réduire ces écarts, par la mise en place d'un suivi renforcé et le déploiement de plans d'action conduisant à des remplacements de matériels. De plus, en 2021, EDF a poursuivi la mise à jour des documents relatifs à la protection contre les explosions, requis par la réglementation relative aux risques liés à la formation d'ATEX et a réalisé des audits de conformité des matériels concernés. EDF a également fait évoluer le programme de formation de son personnel sur les risques liés à l'explosion et l'a intégré aux exercices réalisés régulièrement sur la thématique de l'explosion. L'ASN considère qu'EDF doit continuer à porter une attention toute particulière sur ce sujet et s'assurer que la démarche de prévention des risques d'explosion est déclinée avec toute la rigueur nécessaire sur l'ensemble des sites.

Les risques liés aux inondations internes

Des efforts importants sont attendus sur la majorité des sites pour améliorer la maîtrise du risque d'inondation interne, en particulier sur :

- la maintenance des équipements nécessaires (tuyauteries, siphons de sol, etc.) ;
- les analyses de risque lors des opérations de maintenance et en cas de détection d'un dysfonctionnement d'un équipement nécessaire ;
- le respect des échéances des actions correctives identifiées lors des revues annuelles ;
- la formation des référents et la sensibilisation du personnel EDF et des prestataires.

En 2019, l'ASN a donc formulé à EDF des demandes afin qu'elle complète la démarche mise en œuvre pour mieux maîtriser le risque d'inondation interne, s'assure du bon fonctionnement des siphons de sol, renforce la maintenance des tuyauteries susceptibles de conduire à une inondation interne et assure une meilleure maîtrise de leur vieillissement. En réponse à ces demandes, EDF a mis en place des actions d'amélioration.

Par ailleurs, EDF a engagé des 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.

Enfin, dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe, EDF a fait évoluer sa démonstration de sûreté relative aux risques d'inondation interne, en considérant notamment plusieurs possibilités de cheminement de l'eau et a défini des dispositions complémentaires pour limiter les risques.

Les risques liés au séisme

Les programmes d'inspection mis en œuvre par EDF conduisent à déclarer régulièrement des événements significatifs pour la sûreté 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. Ce séisme a conduit EDF à mettre en œuvre, sur la centrale nucléaire de [Cruas-Meysse](#), la procédure de conduite prévue en cas de séisme. En effet, les mouvements sismiques détectés sur ce site ont atteint le niveau nécessitant la mise à l'arrêt des réacteurs afin de procéder à des vérifications. Un programme d'inspection a ensuite été défini et réalisé avant le redémarrage des réacteurs. 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-Meysse. Selon EDF, le séisme du Teil est sans impact sur le niveau de séisme retenu pour la protection du site du Tricastin, mais celui du site de Cruas est susceptible d'être réévalué. Cette réévaluation nécessite des investigations de terrain complémentaires et devrait être achevée pour 2022. Dans l'attente des résultats de ces investigations, EDF a défini un nouveau spectre de dimensionnement temporaire. Ce spectre sera utilisé afin de lancer les études de réévaluation sismique associées au quatrième réexamen périodique de ce site. L'ASN prendra position sur ce sujet en 2022.

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 pour la préparation de la mise de l'installation en configuration estivale ou hivernale, ce qui a conduit à des demandes d'actions correctives.

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

Les risques liés à la foudre

Les inspections portant sur les risques liés à la foudre mettent en évidence la nécessité de disposer, sur l'ensemble des sites, d'une organisation et d'un pilotage renforcés afin d'améliorer la prise en compte des exigences réglementaires associées à la maîtrise de cette agression. Des actions correctives ont été demandées.

L'ASN constate toujours des lacunes dans la démarche de maîtrise du risque lié à la foudre, notamment dans les analyses des risques dédiées, qui contiennent régulièrement des informations erronées sur l'état des installations. L'ASN constate également des retards notables dans la réalisation des travaux identifiés dans les études techniques. Par ailleurs, les échéances de réalisation des vérifications périodiques des systèmes de protection contre la foudre par des organismes de contrôle compétents ne sont pas toujours respectées. Ces éléments ont fait l'objet de demandes d'actions correctives. EDF a défini un programme de travail pour améliorer la situation.

2.4.7 Le contrôle de la conformité des installations aux exigences

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 aux exigences issues de cette démonstration.

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 REX 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 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 du 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 la sûreté des réacteurs nucléaires tous les 10 ans, conformément à la réglementation (voir point 2.9.2). 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 peuvent être complétées par un programme d'investigations complémentaires dont le but est de contrôler des parties de l'installation qui ne bénéficient pas d'un 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 REX d'événements survenus sur d'autres installations, à la suite d'inspections, ou à l'issue de l'examen des dispositions proposées par l'exploitant dans le cadre des réexamens périodiques.

LES EXIGENCES DÉFINIES

L'arrêté du 7 février 2012 dispose qu'une exigence définie est une « exigence assignée à un équipement important pour la protection (des personnes et de l'environnement), afin qu'il remplisse, avec les caractéristiques attendues, la fonction prévue dans la démonstration [de sûreté] ou à une activité importante pour la protection (des personnes et de l'environnement) afin qu'elle réponde à ses objectifs vis-à-vis de cette démonstration ».

Pour les équipements, ces exigences peuvent notamment porter sur :

- les caractéristiques des matériaux constitutifs ;
- les procédés de fabrication, d'assemblage, de montage et de réparation ;
- les grandeurs physiques et critères caractéristiques de la performance de l'équipement.

Pour les activités, les exigences peuvent notamment porter sur :

- les compétences nécessaires pour l'accomplissement de l'activité ;
- les habilitations nécessaires, le cas échéant ;
- les contrôles et points d'arrêt ;
- les équipements et matériels requis pour permettre l'exécution de l'activité dans le respect des exigences réglementaires, voire contractuelles, de façon à garantir le respect de la démonstration de sûreté.

LE TRAITEMENT DES ÉCARTS

Un écart est un non-respect d'une exigence définie ou d'une exigence fixée par le système de gestion intégrée de l'exploitant. Un écart peut ainsi affecter une structure, un système ou un composant de l'installation. Il peut aussi porter sur le respect d'un document d'exploitation ou sur le fonctionnement d'une organisation.

La réglementation impose à l'exploitant d'identifier l'ensemble des écarts affectant ses installations et de procéder à leur traitement. Les activités attachées au traitement des écarts sont des activités importantes pour la protection des personnes et de l'environnement. Elles sont donc soumises à des exigences de contrôle et de surveillance dont la mise en œuvre est régulièrement contrôlée par l'ASN.

Les modalités d'information de l'ASN et du public

Lorsqu'un écart est détecté, EDF, comme tout exploitant d'INB, est tenu d'en évaluer les impacts sur la sûreté nucléaire, la radioprotection et la protection de l'environnement. S'il y a lieu, EDF transmet alors à l'ASN une déclaration d'événement significatif. De plus, EDF informe le public lors de la survenue des événements significatifs les plus notables, en publiant des notes sur le site Internet des centrales nucléaires concernées ou dans sa lettre d'information externe. De son côté, l'ASN informe le public sur *asn.fr* des événements significatifs de niveau 1 ou plus sur l'échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques (*International Nuclear Event Scale* – échelle INES).

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

L'ASN a publié le 6 janvier 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

RENFORCEMENT DU CONTRÔLE DES FOURNISSEURS DE MATÉRIELS IMPORTANTS POUR LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE

En 2021, l'ASN a renforcé son contrôle de la chaîne d'approvisionnement d'EDF pour les matériels importants pour la sûreté destinés aux centrales nucléaires. L'ASN a ainsi réalisé, en 2021, 42 inspections, la plupart dans les usines de fabrication.

Dans le cadre de ces contrôles, l'ASN a examiné le respect des exigences réglementaires lors des opérations de fabrication, la capacité des fournisseurs à fabriquer des équipements répondant aux exigences de sûreté et la prise en compte du risque de fraude. Lors de ces inspections, l'ASN a également contrôlé la surveillance, réalisée par EDF, de ses fournisseurs et de leurs sous-traitants.

En particulier, l'ASN a participé à des inspections multinationales avec ses homologues étrangers dans le cadre du *Multinational Design Evaluation Programme* (MDEP) dans les usines de Framatome à Saint-Marcel (Saône-et-Loire), de Flowserve à Raleigh (Etats-Unis) et de Fairbanks à Beloit (États-Unis).

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.

2.4.8 L'évaluation de la conformité des installations aux exigences qui leur sont applicables

L'ASN a constaté par le passé que les dispositions organisationnelles prises 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 pour la sûreté. L'ASN a constaté en 2021 une amélioration notable de la situation. Les efforts entrepris par EDF devront se poursuivre dans les années à venir.

Des événements significatifs portant sur plusieurs réacteurs ont à nouveau été déclarés en 2021 à la suite de la détection d'écarts 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'actions de maintenance des installations.

L'ASN continuera à être particulièrement attentive à la conformité des installations en 2022, et poursuivra à cet égard les inspections sur l'état des matériels et des systèmes.

Enfin, l'ASN constate que certains systèmes rattachés aux fonctions de sûreté « support », « maîtrise de la réactivité » et « refroidissement » présentent des indisponibilités fortuites répétées. Il s'agit notamment des systèmes de refroidissement intermédiaire, de surveillance post-accidentelle, de mesure de la puissance nucléaire et de commande des grappes. Ces indisponibilités, déjà identifiées en 2020, ont fait l'objet d'échanges avec EDF, qui seront poursuivis en 2022 afin de vérifier la pertinence des actions engagées par EDF.

Les déclarations d'événements significatifs par EDF

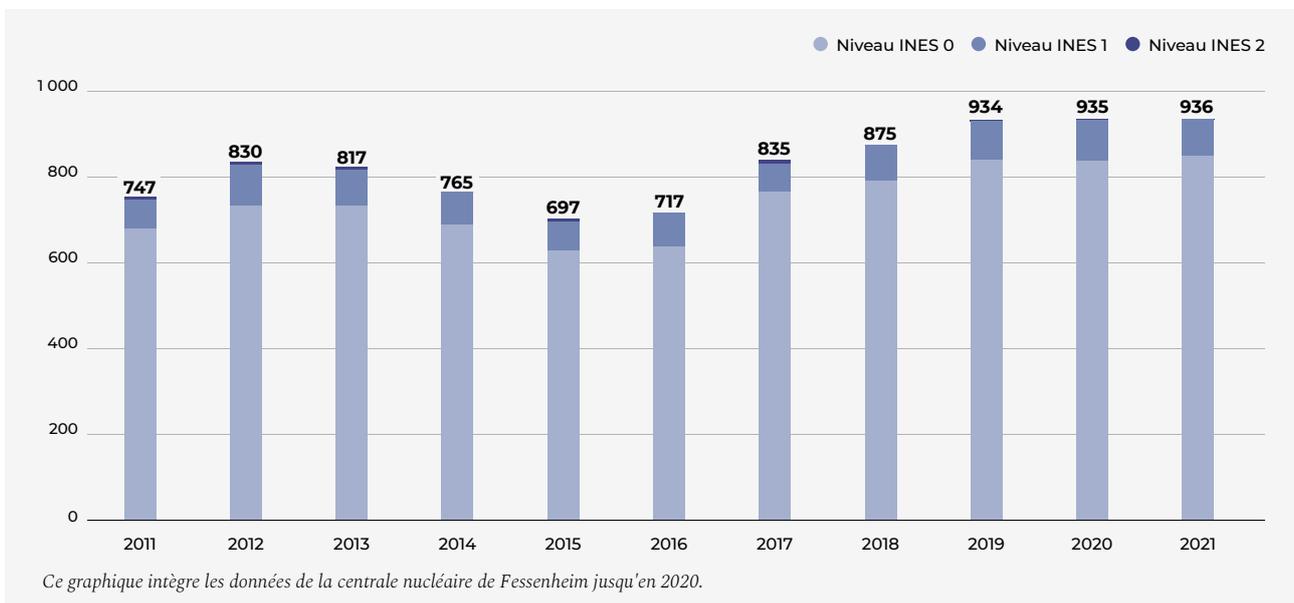
En application des [règles relatives à la déclaration des événements significatifs](#) (voir chapitre 3, point 3.3), l'ASN a reçu de la part d'EDF, en 2021, 762 déclarations d'événements significatifs au titre de la sûreté (ESS), 158 au titre de la radioprotection (ESR) et 68 au titre de la protection de l'environnement (ESE). Le nombre d'événements significatifs a légèrement augmenté en 2021 par rapport à l'année précédente, en particulier les ESS (746 en 2019, 740 en 2020). Il faut par ailleurs noter que, pour la première fois en 2021, les événements déclarés par le site de Fessenheim ne sont pas intégrés à ce bilan.

Le graphique 1 présente l'évolution du nombre d'événements significatifs déclarés par EDF et classés sur l'échelle INES depuis 2011.

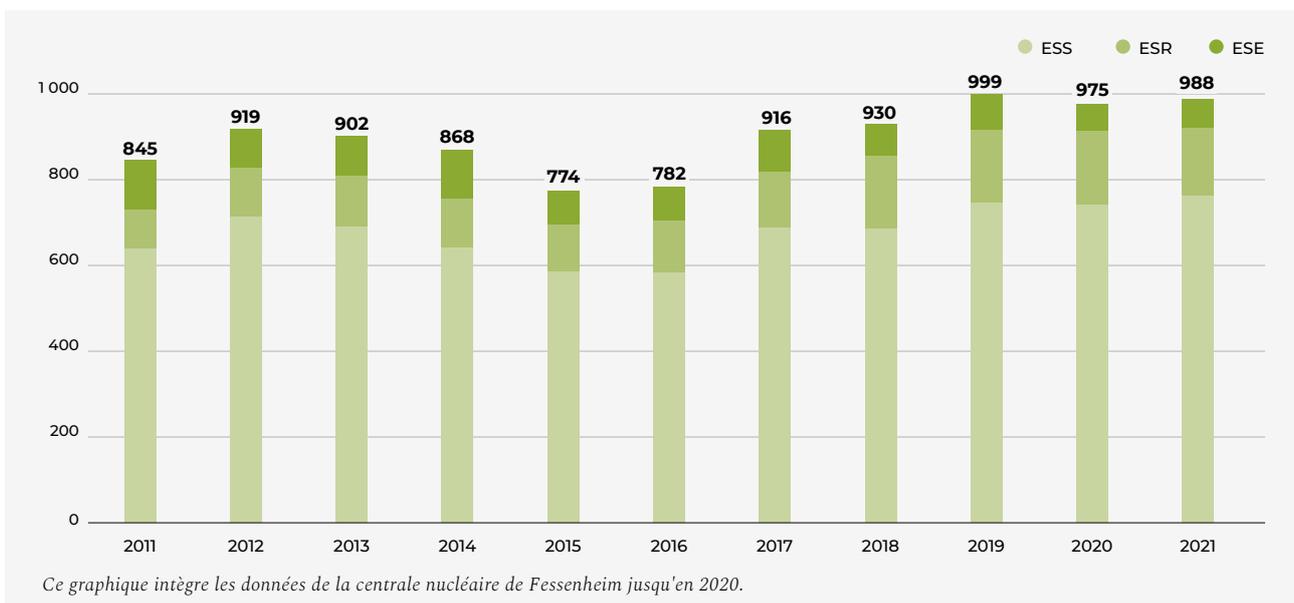
Le graphique 2 présente l'évolution depuis 2011 du nombre d'événements significatifs en fonction du domaine de déclaration: ESS, ESR et ESE. Les événements hors échelle INES sont également pris en compte.

Les événements significatifs affectant plusieurs réacteurs nucléaires sont regroupés sous l'appellation d'événements significatifs à caractère générique. Ont été déclarés en 2021 31 événements de ce type dans le domaine de la sûreté nucléaire.

GRAPHIQUE 1 Évolution du nombre d'événements significatifs classés sur l'échelle INES dans les centrales nucléaires d'EDF de 2011 à 2021



GRAPHIQUE 2 Évolution du nombre d'événements significatifs par domaine dans les centrales nucléaires d'EDF de 2011 à 2021



2.5 La prévention et la maîtrise de l'impact environnemental et sanitaire

2.5.1 Les rejets et la gestion des déchets

La limitation des prélèvements et des rejets dans l'environnement

Les centrales nucléaires sont à l'origine de rejets d'effluents liquides et gazeux. Ces effluents, qui peuvent être radioactifs ou chimiques, ont pour origine le fonctionnement même du réacteur, dont principalement les opérations visant à assurer la qualité radiochimique du CPP, le conditionnement chimique des circuits afin de contribuer à leur bon état, la production d'eau déminéralisée pour l'alimentation de certains circuits, les traitements biocides et les effluents de la station d'épuration des eaux usées du site.

Pour chaque site, l'ASN fixe les valeurs limites de prélèvement d'eau et de rejet d'effluents sur la base des meilleures techniques disponibles dans des conditions techniques et économiquement acceptables, en prenant en considération les caractéristiques de l'installation, son implantation et les conditions locales de l'environnement.

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 prescriptions 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).

Pour fixer ces prescriptions, l'ASN se fonde sur le REX de l'ensemble des réacteurs, tout en prenant en compte les évolutions de l'exploitation (changement du conditionnement des circuits, traitement antitartre, traitement biocide, etc.) et de la réglementation générale.

Enfin, les exploitants de chaque centrale nucléaire transmettent 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 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 passage dans des aérorefrigérants permettant une évacuation partielle de la chaleur dans l'atmosphère. Les rejets thermiques des centrales nucléaires conduisent à une élévation de la température 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.

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 avec un échauffement significatif des cours d'eau. Ces dispositions particulières ne sont néanmoins applicables que si la sécurité du réseau électrique est en jeu.

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 envoie 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.

2.5.2 La prévention des pollutions des sols et des impacts sanitaires

La prévention des pollutions 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 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 sont tenus d'être étiquetés en conformité avec le règlement européen CLP (*Classification, Labelling, Packaging*) et de 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, sol).

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

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 de refroidissement des réacteurs nucléaires équipés d'une tour aérorefrigérante constituent des milieux favorables au développement des légionelles et des amibes (voir point 1.4). EDF assure la surveillance des concentrations en légionelles et 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 (légionelles et amibes) par les installations de refroidissement du circuit.

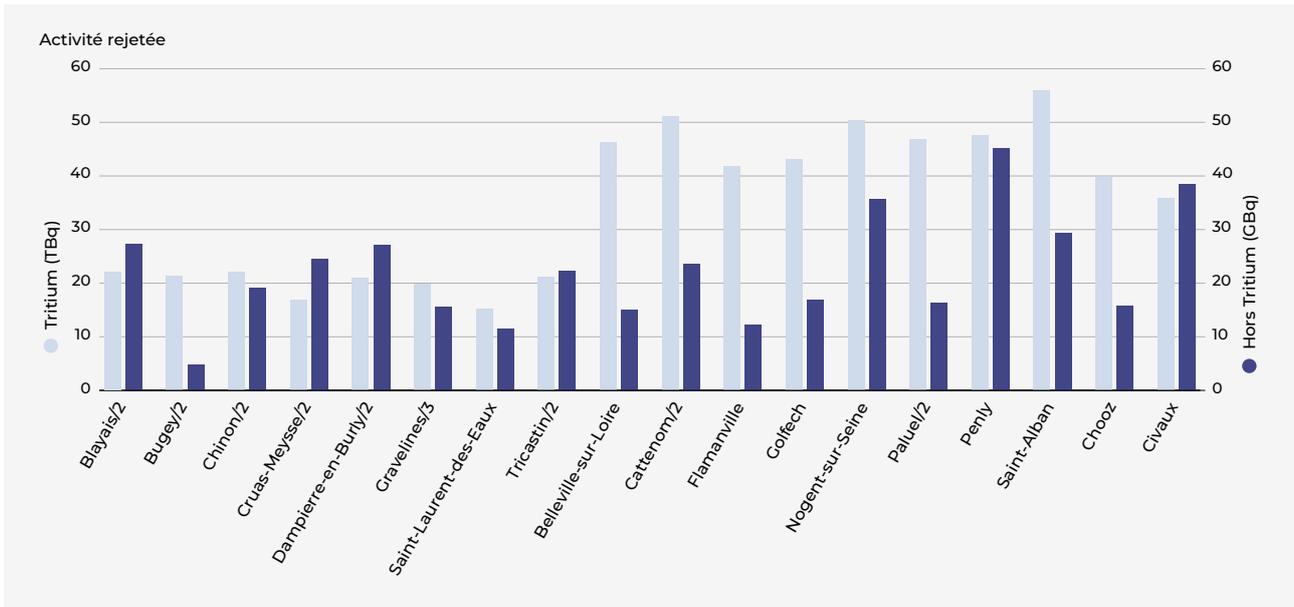
Pour la plupart de ces réacteurs, les actions préventives et curatives, visant à limiter le développement des légionelles et amibes, reposent sur l'injection d'un biocide (la monochloramine) dans le circuit de refroidissement.

2.5.3 L'évaluation de la maîtrise des nuisances et de l'impact sur l'environnement

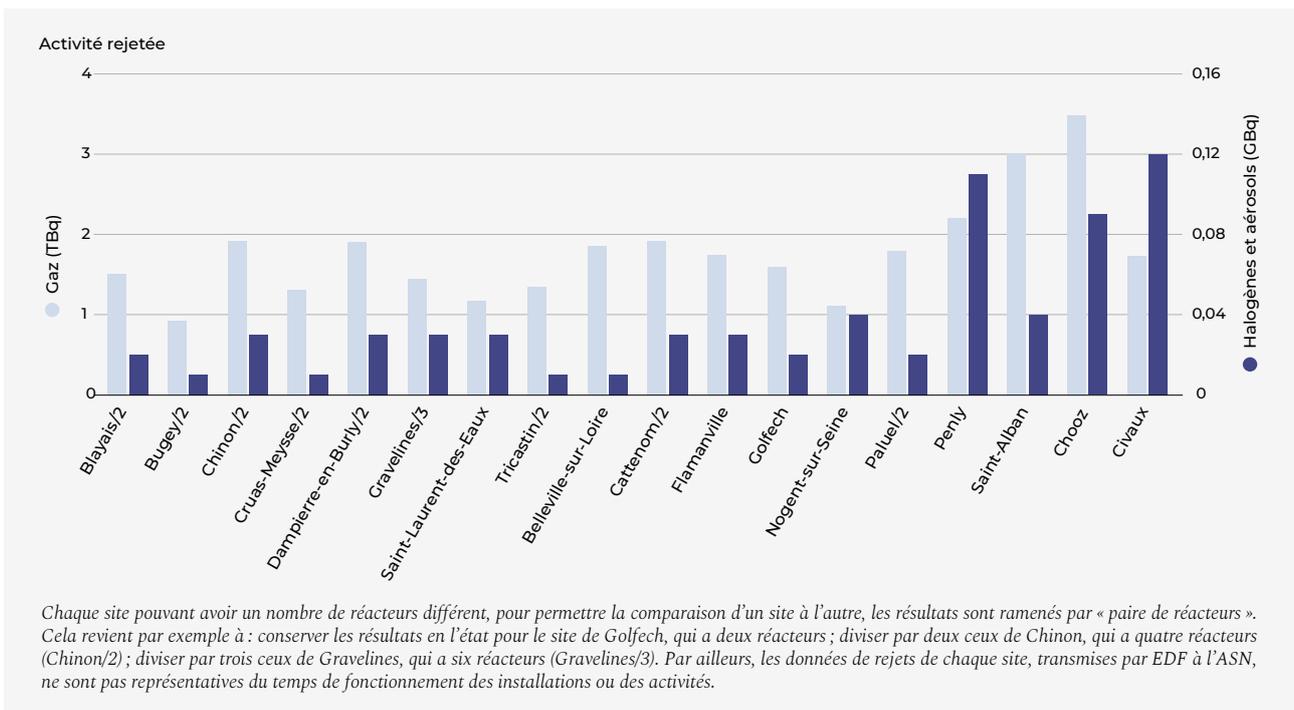
L'ASN contrôle les dispositions organisationnelles et matérielles mises en place par EDF pour gérer les substances dangereuses présentes dans ses installations et pour faire face à une éventuelle pollution.

En 2021, l'ASN a mené une campagne d'inspections de l'organisation de 11 centrales nucléaires et de leur capacité à confiner des

GRAPHIQUE 3 Rejets radioactifs liquides pour les centrales nucléaires en 2021 (par paire de réacteurs)



GRAPHIQUE 4 Rejets radioactifs gazeux pour les centrales nucléaires en 2021 (par paire de réacteurs)



substances dangereuses dans le cadre d'un scénario de déversement accidentel. Ces inspections, essentiellement orientées sur des contrôles de terrain, ont consisté en un exercice inopiné de mise en situation, identique pour toutes les centrales nucléaires. La plupart des centrales nucléaires inspectées disposent d'une organisation et de moyens qui leur permettent de confiner un volume important de pollution. Ces inspections ont permis d'identifier des actions correctives à mettre en œuvre rapidement dans chaque installation. Par ailleurs, EDF doit poursuivre les travaux conséquents qu'elle a entrepris pour renforcer les capacités de confinement sur certains sites.

L'ASN a également mené une campagne d'inspections auprès des centrales nucléaires qui sont les plus émettrices d'hexafluorure de soufre (SF_6) qui est un gaz à fort effet de serre. Ce gaz est

utilisé dans les centrales nucléaires comme isolant électrique dans les équipements de distribution d'électricité. Dans le cadre de cette campagne de contrôle, l'ASN s'est assurée qu'EDF avait mis en œuvre un plan d'action visant à traiter les sources de fuite. L'organisation et le plan de résorption, reposant sur des moyens de prévention, de détection et de réparation réactive, mis en place par les centrales nucléaires sont satisfaisants. L'ASN considère qu'EDF doit rester pleinement mobilisée sur la mise en œuvre de ce plan d'action.

L'ASN a constaté en 2021, dans la continuité des années précédentes, que la gestion des rejets reste maîtrisée par la plupart des sites. Cependant, certains événements traduisent des fragilités ponctuelles.

Enfin, en matière de gestion des déchets, les contrôles menés par l'ASN font apparaître que la gestion opérationnelle des déchets doit encore être améliorée. L'ASN constate encore lors de ses inspections des signalétiques manquantes, des non-respects des référentiels d'exploitation, notamment sur les aires extérieures, et des entreposages de déchets sur des espaces non autorisés.

2.6 La contribution de l'homme et des organisations à la sûreté

La contribution de l'homme et des organisations à la sûreté des centrales nucléaires est déterminante au cours de toutes les étapes du cycle de vie des installations (conception, construction, mise en service, fonctionnement, démantèlement).

2.6.1 Le fonctionnement des organisations

Le système de gestion intégrée

L'[arrêté du 7 février 2012](#) prévoit que l'exploitant dispose des compétences techniques pour assurer la maîtrise des activités d'exploitation. Parmi celles-ci, le traitement des événements significatifs requiert la réalisation d'une analyse approfondie des causes organisationnelles et humaines, en sus des causes techniques.

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 protection des intérêts 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.

La maîtrise des activités sous-traitées

Les activités de maintenance et de modification des réacteurs français sont en grande partie sous-traitées 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.

2.6.2 L'évaluation du fonctionnement des organisations et de la maîtrise des activités

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 vont avoir une influence sur l'activité de travail des opérateurs.

Le contrôle de l'ASN sur le fonctionnement des organisations mises en place par EDF vise les modalités de mise en œuvre du SGI. En particulier, l'ASN s'assure que les démarches de

conception ou de modification mises en œuvre par les centres d'ingénierie au moment de la conception d'une nouvelle installation ou de la modification d'une installation existante prennent en compte le besoin des utilisateurs et les organisations qui vont l'exploiter.

Plus largement, l'ASN contrôle l'organisation mise en œuvre par EDF pour gérer les ressources nécessaires à la réalisation de ces activités.

Les remarques exprimées lors d'inspections font l'objet de demandes d'actions correctives.

L'organisation globale

EDF a été en mesure d'adapter de manière satisfaisante ses organisations ainsi que certaines pratiques professionnelles afin de faire face aux conséquences de la pandémie de Covid-19. Les principales difficultés identifiées ont concerné des reports de programmes de formation.

L'ASN a poursuivi en 2021 sa campagne d'entretiens dits « d'explicitation » amorcée en 2020, pour inviter les personnels à s'exprimer sur leur vécu et leurs conditions de travail au quotidien. L'ASN a pu noter au travers de ces échanges que les personnels étaient plutôt satisfaits de leurs conditions de travail mais a aussi relevé, notamment pour les métiers de la conduite et de la maintenance, des difficultés opérationnelles récurrentes concernant plus particulièrement les phases de préparation des activités (modifications des plannings accentuant la pression temporelle, problèmes de logistique et de mise à disposition des outils et des pièces de rechange, documentation opérationnelle inadaptée ou trop volumineuse). Ces difficultés ont pour conséquence la dégradation de la préparation des activités (insuffisance de la qualité des analyses de risque et de la prise en compte du REX, manque d'appropriation de la documentation) qui se répercute directement sur la qualité des activités en salle de commande ou sur le terrain.

La gestion des compétences

Malgré les difficultés liées à la pandémie de Covid-19 et le retard à rattraper en ce qui concerne certaines formations (opérateurs de la conduite, ingénieurs sûreté), l'organisation mise en place par les sites pour gérer les compétences, les habilitations et la formation est restée globalement satisfaisante.

La bonne dynamique dans la déclinaison et l'appropriation des référentiels métiers (référentiels identifiant les missions de chaque métier et le parcours de formation associé) au niveau des sites s'est confirmée en 2021, ainsi que le bon fonctionnement des instances dédiées à la programmation et au suivi des formations (service commun de formation, comités de formation à plusieurs niveaux de l'organisation).

Même si le bilan global en matière de compétences est plutôt positif, l'ASN a relevé régulièrement en 2021 des fragilités dans le domaine des compétences, notamment en ce qui concerne la conduite des installations. Certaines lacunes sont persistantes depuis plusieurs années (maîtrise des processus, connaissances des équipements et des modifications matérielles) sur une grande majorité des sites. Des fragilités, notamment en lien avec les activités de lignage et de consignation, ont même tendance à s'aggraver.

La surveillance 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.

La surveillance des activités sous-traitées a été plutôt satisfaisante en 2021, notamment grâce au bon déploiement de l'outil d'aide à l'établissement des programmes de surveillance et à la réalisation des actions de surveillance. Toutefois, les inspections relèvent toujours des fragilités sur certains sites (surveillance trop axée sur l'assurance qualité et les règles de sécurité et pas assez sur le geste technique et la spécificité des activités, plans de surveillance inadaptés ou réalisés qu'en partie). Ces difficultés conduisent à ce que la surveillance ne constitue pas toujours une ligne de défense efficace vis-à-vis des défaillances potentielles des prestataires.

La maîtrise de la documentation opérationnelle

L'ASN considère que la documentation opérationnelle n'est toujours pas à l'attendu en 2021. Il s'agit d'un problème de fond qui est récurrent depuis plusieurs années. Les inspections ont encore relevé en 2021 de nombreux événements comptant parmi leurs causes profondes des problèmes documentaires. Les fragilités identifiées sont de natures diverses (documentation pas assez synthétique, non explicite, incomplète ou inexistante) et ont des conséquences sur un large éventail d'activités, dont les activités de conduite (essais périodiques, consignations et condamnations administratives, lignages) et de maintenance (contrôles techniques, interventions sur équipements, requalifications, manœuvres en local).

Ces fragilités restent en bonne partie liées à des dysfonctionnements organisationnels dans le processus de création et de mise à jour de la documentation, et compromettent potentiellement le rôle de ligne de défense du support documentaire.

Le processus de retour d'expérience

Toutes les centrales nucléaires ont mis en place une organisation formelle et des outils dédiés pour piloter et animer le REX interne et externe. Les inspections ciblées sur la gestion du REX ont souligné de manière générale l'engagement des directions des centrales nucléaires sur ce sujet. L'ensemble des personnes rencontrées, y compris les entreprises extérieures, a montré une bonne implication dans le processus. Des fragilités persistent cependant sur certains points clés de ce processus, comme la prise en compte du REX dans les phases de préparation des activités ou la remontée des difficultés rencontrées sur le terrain (qualité des débriefings trop inégales en fonction des métiers).

Par ailleurs, l'ASN constate que les revues annuelles de processus menées par les sites sont très pertinentes, avec de bonnes capacités de la part des acteurs à identifier les faiblesses dans la gestion du REX. Toutefois, le suivi des actions correctives issues des différents diagnostics en lien avec les faiblesses identifiées et leur récurrence est à améliorer.

Les examens par l'ASN de rapports d'événements déclarés en 2021 n'ont pas mis en évidence de fragilité particulière quant à la compétence des équipes en charge de l'analyse approfondie des événements significatifs. La qualité et la disponibilité des ressources affectées aux analyses sont satisfaisantes sur l'ensemble des sites, que ce soit en matière d'effectif ou de compétence. L'implication des compétences en matière de FOH dans la phase d'analyse est satisfaisante pour la majorité des sites.

2.7 La radioprotection des personnels

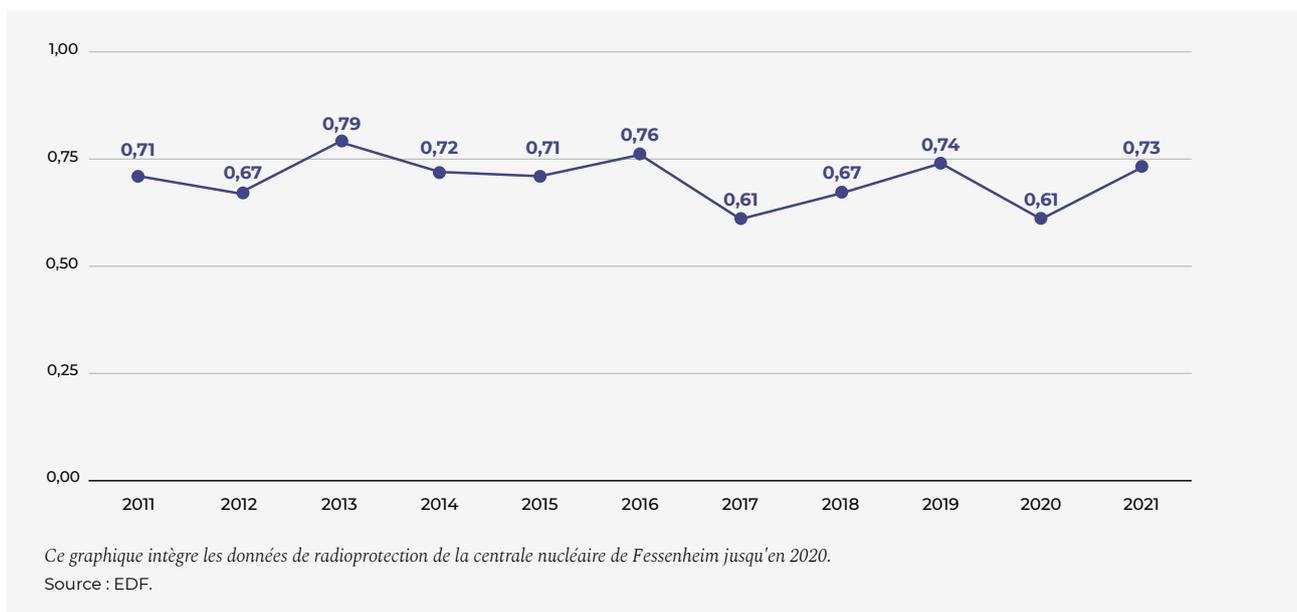
2.7.1 L'exposition des personnels aux rayonnements ionisants

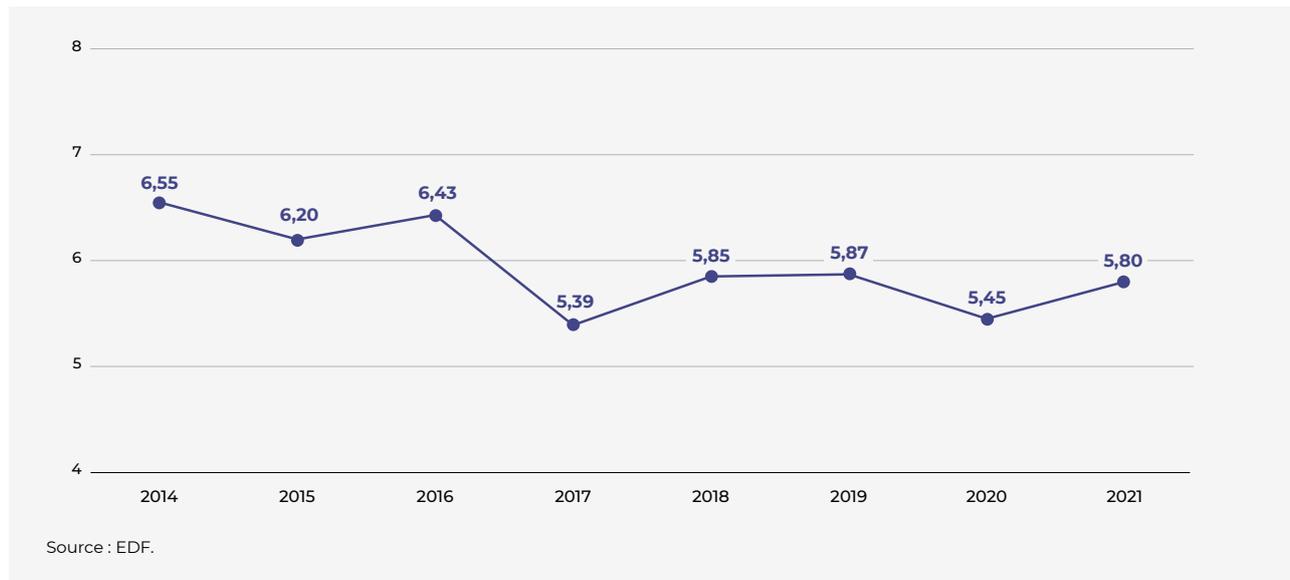
L'exposition aux [rayonnements ionisants](#) dans un réacteur électro-nucléaire provient majoritairement de l'activation des produits de corrosion du circuit primaire et des produits de fission du combustible. Tous les types de rayonnements sont présents (neutrons, α , β et γ), avec un risque d'exposition externe et interne. Dans la pratique, plus de 90% des doses reçues proviennent des expositions externes aux rayonnements β et γ . Les expositions sont principalement liées aux opérations de maintenance lors des arrêts de réacteur.

La dosimétrie collective moyenne sur l'ensemble des réacteurs (graphique 5), ainsi que la dose moyenne reçue par les travailleurs pour une heure de travail en zone contrôlée (graphique 6) ont augmenté en 2021 par rapport à l'année 2020, qui avait été marquée par plusieurs reports d'arrêts de réacteurs. Ces valeurs atteignent un niveau comparable à 2019, avant la pandémie.

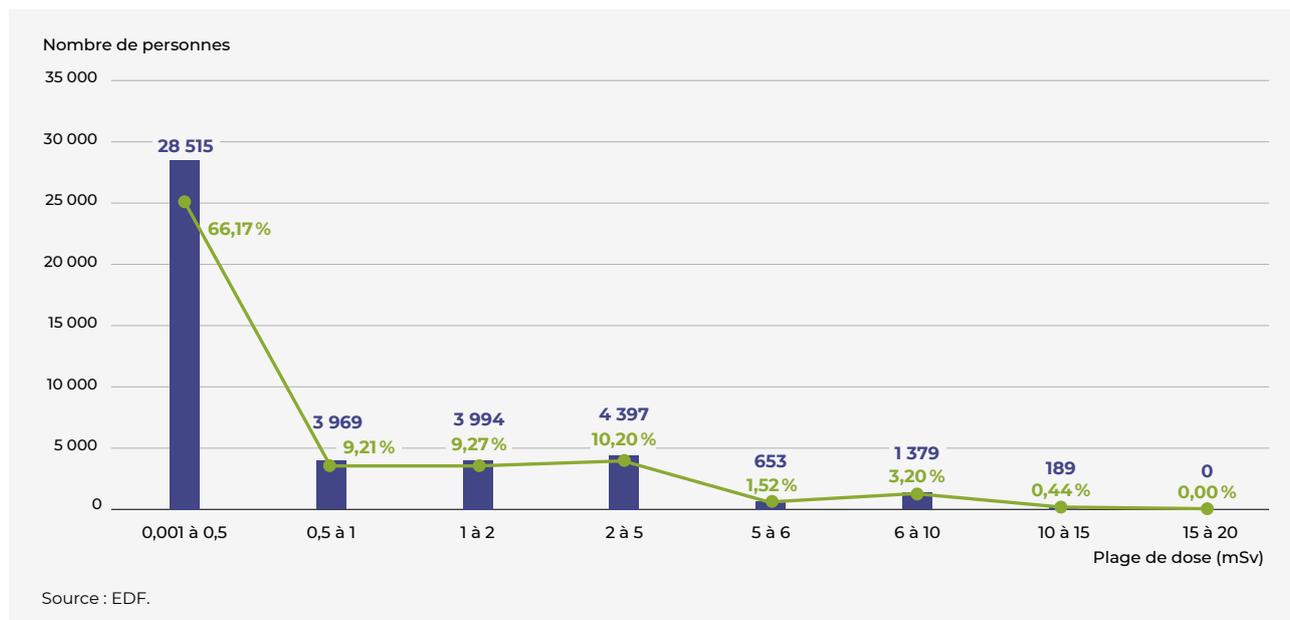
Les doses reçues par les travailleurs sont réparties selon une distribution illustrée ci-après par les graphiques 7 et 8.

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



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

GRAPHIQUE 7 Nombre et pourcentage d'intervenants par plage de dose (en mSv) sur l'année 2021



Le graphique 8 présente la répartition des intervenants en fonction de la dosimétrie externe pour le corps entier. Comme en 2020, la dosimétrie de 75 % des travailleurs exposés a été inférieure à un millisievert (mSv) en 2021, ce qui correspond à la limite réglementaire annuelle pour le public. Aucun dépassement de la limite réglementaire annuelle relative à la dosimétrie externe pour le corps entier (20 mSv) n'a été relevé en 2021.

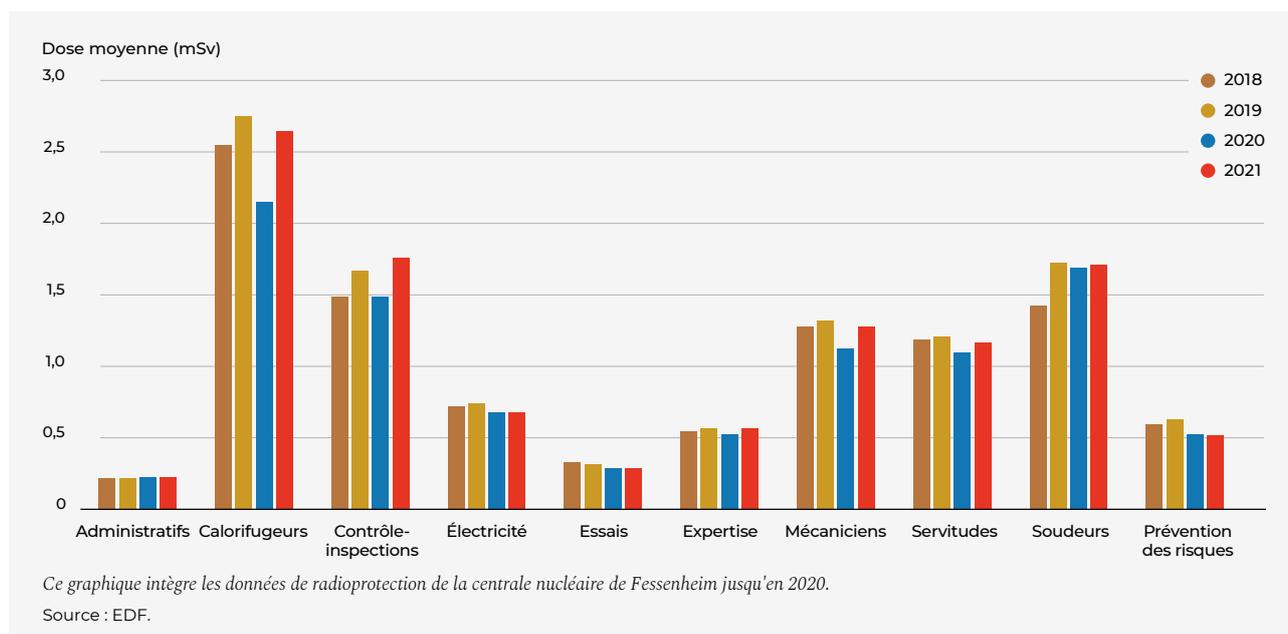
Le graphique 8 présente l'évolution de la dosimétrie individuelle moyenne pour le corps entier en fonction des catégories de métiers des travailleurs intervenant dans les centrales nucléaires. Comme les années précédentes, les catégories de travailleurs les plus exposés sont les personnels chargés du calorifugeage, du soudage, du contrôle, de la mécanique et des servitudes. Les doses enregistrées par les travailleurs les plus exposés sont en augmentation par rapport à l'année 2020.

Les événements de contamination significative

Le nombre d'événements de contamination significative des travailleurs dans les centrales nucléaires a diminué en 2021 : quatre événements ont été déclarés en 2021, contre huit au cours de l'année 2020 et sept au cours de l'année 2019. Parmi ces événements, trois ont entraîné une exposition supérieure au quart de la limite réglementaire annuelle par centimètre carré de peau et ont été classés au niveau 1 sur l'échelle INES. Le quatrième événement a concerné une exposition supérieure à la limite réglementaire pour la peau et a été classé au niveau 2 sur l'échelle INES (voir encadré).

Les travailleurs concernés par ces événements ont été pris en charge, les particules radioactives responsables de leur contamination ont été retirées, conformément à la procédure prévue par EDF.

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



CONTAMINATION EXTERNE D'UN INTERVENANT À LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE CRUAS-MEYSSE

Le 24 août 2021, lors du contrôle réalisé à la sortie de la zone contrôlée du bâtiment du réacteur 2 de la centrale nucléaire de Cruas-Meyssse, une contamination d'un intervenant a été détectée. Il a été immédiatement pris en charge par le service médical, qui a localisé la particule radioactive à l'origine de cette contamination au niveau de la nuque. La particule a été retirée.

Malgré les investigations menées sur le parcours suivi par l'intervenant, les zones ou les points de contamination qui ont pu être à l'origine de cette contamination n'ont pas pu être déterminés.

En conséquence, EDF a procédé à une évaluation de la dose reçue en considérant que la particule était présente dès l'entrée de l'intervenant dans le bâtiment réacteur jusqu'à son retrait. Cette évaluation atteint, au niveau de la nuque de l'intervenant, une valeur supérieure à la limite réglementaire fixée pour la dose équivalente peau (500 mSv pour une surface de 1 cm² de peau).

L'ASN a mené une inspection sur le site le 31 août 2021. Les inspecteurs ont vérifié qu'EDF avait pris toutes les mesures nécessaires pour gérer l'événement de manière adéquate et pour en analyser les causes.

En raison du dépassement d'une limite réglementaire d'exposition d'un travailleur, cet événement a été classé au niveau 2 de l'échelle INES (graduée de 0 à 7 par ordre croissant de gravité). Le précédent événement significatif pour la radioprotection (ESR) de niveau 2 déclaré par une centrale nucléaire d'EDF remontait à 2015.

2.7.2 L'évaluation de la radioprotection des personnels

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.

Ce contrôle est réalisé lors d'inspections une à deux fois par an et par centrale nucléaire spécifiquement sur le thème de la radioprotection, et lors des arrêts des réacteurs ainsi qu'à la suite d'événements significatifs ou plus ponctuellement dans les services centraux et centres d'ingénierie d'EDF. Il est aussi réalisé à l'occasion de l'instruction de dossiers relatifs à 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 2021, l'ASN a constaté des améliorations de la prise en compte de la radioprotection sur plusieurs centrales nucléaires. Des progrès sont notamment à noter en ce qui concerne la démarche d'optimisation des doses. La gestion des accès et de la délimitation des zones contrôlées rouges, processus sensible au regard des débits d'équivalent de dose élevés susceptibles d'y être reçus (supérieur à 100 mSv/h), s'est également améliorée.

Néanmoins, lors des inspections menées sur les chantiers en zone contrôlée, les inspecteurs de l'ASN ont constaté de manière récurrente l'absence de matériels de contrôle radiologique et des moyens de confinement non conformes aux règles en vigueur et ont formulé des demandes d'actions correctives. Des écarts aux règles de radioprotection, en particulier en matière de respect du contrôle de la contamination en sortie de zone contrôlée ou contaminée, continuent d'être observés. La mise en œuvre d'actions de la part d'EDF visant à résorber ces écarts doit être poursuivie. La situation demeure préoccupante sur certaines centrales nucléaires, pour lesquelles l'ASN maintiendra sa vigilance.

Compte tenu des événements de contamination significative de travailleurs survenus en 2021 et des écarts constatés sur le terrain, l'ASN poursuivra en 2022 ses contrôles sur la prévention de la dissémination de la contamination radioactive, ainsi que sur les procédures de prise en charge des contaminés afin de vérifier que les temps de prise en charge permettent de diminuer le temps d'exposition des travailleurs.

2.8 Le droit du travail dans les centrales nucléaires

2.8.1 Le contrôle du droit du travail dans les centrales nucléaires

L'ASN exerce les [missions d'inspection du travail](#) dans les 18 centrales nucléaires, le réacteur EPR en construction à Flamanville et 11 autres installations, pour la plupart des réacteurs en démantèlement. 800 à 2 000 personnes travaillent dans chaque centrale nucléaire. Environ 24 000 salariés d'EDF et 23 000 salariés des entreprises prestataires sont ainsi affectés sur ces sites 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.

Le contrôle de la réglementation en matière de santé et de sécurité au travail

Tout au long de l'année 2021, les inspecteurs du travail de l'ASN ont été sollicités à la fois par les employeurs, les salariés, les représentants du personnel d'EDF et des entreprises prestataires sur les protections à mettre en place sur les lieux de travail et les conditions de continuité de leurs activités sur les sites. L'appui de l'inspection du travail aux employeurs et aux commissions santé, sécurité et conditions de travail des comités sociaux et économiques pour l'information et l'explication des mesures gouvernementales en lien avec la pandémie de Covid-19 a été important.

Parallèlement, les actions se sont poursuivies concernant les chantiers présentant des risques liés à la présence d'amiante, la conformité des équipements de travail et plus spécialement les appareils de levage, les risques d'incendie et d'explosion et l'amélioration des conditions d'aération et de ventilation des locaux de travail.

Enfin, les inspecteurs du travail engagent systématiquement des enquêtes en cas d'accident grave ou de presque accident grave.

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

Certaines situations de risques professionnels, tels que les risques liés aux équipements de travail et particulièrement aux appareils de levage, les risques d'explosion et d'incendie et les risques électriques, doivent encore s'améliorer.

Un focus particulier a été porté cette année sur les vérifications des installations électriques qu'EDF est tenue de faire réaliser au titre du code du travail, avec la réalisation d'inspections sur ce thème sur l'ensemble des centrales nucléaires. Les différents contrôles menés par les inspecteurs du travail ont permis de mettre en évidence des faiblesses dans l'organisation des sites pour permettre le bon déroulement des vérifications électriques ou pour coordonner ces vérifications entre les différentes entités d'EDF.

L'inspection du travail constate par ailleurs encore des situations ponctuelles de non-prise en compte du risque lié à la présence d'amiante avant travaux pour éviter les expositions accidentelles.

Des progrès sont encore attendus en 2022 dans le domaine de la gestion de la coactivité (qualité des plans de prévention notamment), du recours à la sous-traitance et des situations de détachement de salariés étrangers.

L'ASN relève une dégradation au second semestre 2021 de la situation en matière de santé et de la sécurité au travail, dans un contexte de charge industrielle importante. Cette dégradation s'est traduite par un nombre d'accidents en hausse et parmi eux de nombreux événements « à haut potentiel sécurité » ou « presque accidents » dont les conséquences auraient pu être importantes. Des défauts d'évaluation des risques liés aux activités, des comportements individuels inappropriés vis-à-vis des règles élémentaires de sécurité et des manques de maîtrise des consignations électriques d'équipements sont les principales causes relevées.

Des rappels ont été faits par les inspecteurs du travail sur le respect des durées maximales du travail et sur le fait que les dérogations ne pouvaient être accordées que pour des motifs fondés et de façon relativement exceptionnelle.

Des actions ont été menées en 2021 en matière de contrôle des déclarations et des conditions de détachement des salariés d'entreprises étrangères. Plusieurs enquêtes relatives au transfert de contrats de travail ont par ailleurs été conduites lors du changement de prestataires sur les sites.

En 2021, trois procédures de sanctions administratives ont été initiées par les inspecteurs du travail et transmises aux directions régionales de l'économie, de l'emploi, du travail et des solidarités, qui ont le pouvoir de prononcer les sanctions en ce domaine :

- deux procédures de sanctions pour non-respect des durées maximales de travail et absence de système de décompte fiable de la durée du travail ;
- une procédure de sanctions pour manquements en matière de détachement de travailleurs étrangers.

2.9 La poursuite du fonctionnement des centrales nucléaires

2.9.1 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 2021, la moyenne d'âge des 56 réacteurs en fonctionnement, calculée à partir des dates de première divergence, se répartit comme suit :

- 39 ans pour les 32 réacteurs électronucléaires de 900 MWe ;
- 34 ans pour les 20 réacteurs électronucléaires de 1 300 MWe ;
- 24 ans pour les quatre réacteurs électronucléaires de 1 450 MWe.

2.9.2 Le réexamen périodique

Le principe du réexamen périodique

Tous les 10 ans, EDF doit procéder au réexamen périodique de ses installations. Les réexamens périodiques des réacteurs électronucléaires comportent les deux volets suivants :

- la vérification de l'état de l'installation et de sa conformité : cette 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, ainsi que des contrôles sur le terrain de matériels ou encore des essais décennaux comme les épreuves des

CHRONOLOGIE DE PREMIÈRE DIVERGENCE DES RÉACTEURS ÉLECTRONUCLÉAIRES FRANÇAIS

Date de 1 ^{re} divergence									Puissance totale
1978	Bugey 2	Bugey 3							1800 MWe
1979	Bugey 4	Bugey 5							1800 MWe
1980	Tricastin 1	Gravelines 1	Tricastin 2	Tricastin 3	Gravelines 2	Dampierre 1	Gravelines 3	Saint-Laurent B1	7200 MWe
1981	Dampierre 2	Saint-Laurent B2	Blayais 1	Dampierre 3	Tricastin 4	Gravelines 4	Dampierre 4		6300 MWe
1982	Blayais 2	Chinon B1							1800 MWe
1983	Cruas 1	Blayais 4	Blayais 3	Chinon B2					3600 MWe
1984	Cruas 3	Paluel 1	Cruas 2	Paluel 2	Gravelines 5	Cruas 4			6200 MWe
1985	Saint-Alban 1	Paluel 3	Gravelines 6	Flamanville 1					4800 MWe
1986	Paluel 4	Saint-Alban 2	Flamanville 2	Chinon B3	Cattenom 1				6100 MWe
1987	Cattenom 2	Nogent 1	Belleville 1	Chinon B4					4800 MWe
1988	Belleville 2	Nogent 2							2600 MWe
1990	Cattenom 3	Penly 1	Golfech 1						3900 MWe
1991	Cattenom 4								1300 MWe
1992	Penly 2								1300 MWe
1993	Golfech 2								1300 MWe
1996	Chooz B1								1450 MWe
1997	Chooz B2	Civaux 1							2900 MWe
1999	Civaux 2								1450 MWe

● 900 MWe ● 1300 MWe ● 1450 MWe
Source: ASN.

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 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 met en œuvre tout d'abord un programme d'études génériques pour un type de réacteur donné (réacteurs de 900 MWe, de 1300 MWe ou de 1450 MWe). Les résultats de ce programme sont ensuite déclinés sur chacun des réacteurs électronucléaires 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 génériques de vérification de l'état de l'installation et de la réévaluation de la sûreté proposée 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.

Cette appréciation générique ne tenant pas compte d'éventuelles spécificités individuelles, l'ASN se prononce 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 du rapport de conclusion du réexamen périodique de chaque réacteur, 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.

La loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte a complété le cadre applicable aux réexamens périodiques des réacteurs électronucléaires. Elle a notamment soumis à autorisation de l'ASN, après enquête publique, les dispositions proposées par l'exploitant lors des réexamens périodiques au-delà de la 35^e année de fonctionnement

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 (voir point 2.2.3).

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 lesquelles 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.

Dans le cadre de la poursuite du fonctionnement des réacteurs de 900 MWe au-delà de leur quatrième réexamen périodique, la maîtrise du vieillissement a fait l'objet d'une attention particulière de la part de l'ASN. Les dispositions mises en œuvre ou prévues par EDF pour assurer la maîtrise du vieillissement et de l'obsolescence sont satisfaisantes. Toutefois, l'ASN a demandé que, sans retarder leur démantèlement, l'arrêt définitif des réacteurs de la centrale nucléaire de Fessenheim soit mis à profit pour vérifier l'absence de phénomènes de dégradation ou de vieillissement non prévus, en particulier sur des parties difficilement accessibles.

d'un réacteur électronucléaire. Cinq ans après la remise du rapport de réexamen, l'exploitant remet également un rapport intermédiaire sur l'état des équipements, au vu duquel l'ASN complète éventuellement ses prescriptions.

2.9.3 Les réexamens périodiques en cours des centrales nucléaires

Les réacteurs de 900 MWe

Le troisième réexamen périodique

En juillet 2009, l'[ASN a pris position](#) sur les aspects génériques de la [poursuite du fonctionnement](#) des réacteurs de 900 MWe au-delà de leur troisième réexamen périodique. L'ASN n'a pas identifié d'élément générique remettant en cause la capacité d'EDF à maîtriser la sûreté des réacteurs de 900 MWe jusqu'au prochain réexamen périodique. Elle considère que le nouveau référentiel de sûreté présenté dans le rapport de sûreté générique des réacteurs de 900 MWe et les modifications de l'installation envisagées par EDF sont de nature à maintenir et à améliorer le niveau de sûreté global de ses réacteurs électronucléaires.

EDF a achevé en 2021 les troisièmes visites décennales et a remis les rapports de conclusion de réexamen de l'ensemble de ses réacteurs de 900 MWe.

Le quatrième réexamen périodique (voir « Faits marquants » en introduction de ce rapport)

Un réexamen aux enjeux importants

Les 32 réacteurs de 900 MWe d'EDF en fonctionnement ont été mis en service entre 1978 et 1987. Les premiers d'entre eux 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 ;
- 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 intégreront celles liées au déploiement du « noyau dur » (voir encadré en page suivante).

Position de l'ASN sur la phase générique du réexamen

EDF a proposé en 2013 à l'ASN des objectifs pour ce réexamen périodique, c'est-à-dire 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.

Le déploiement du réexamen périodique sur les sites

EDF a réalisé la première des quatrième visites décennales en 2019 (réacteur 1 de la [centrale nucléaire du Tricastin](#)). Fin 2021, EDF a réalisé ou engagé sept de ces visites décennales. Ces visites constituent une étape majeure des quatrième réexamens périodiques. Pendant ces arrêts, EDF réalise les contrôles attendus et déploie la majeure partie des améliorations de sûreté associées au réexamen.

L'association du public à chaque étape

Pour ce réexamen, l'ASN a associé le public dès 2016 pour l'élaboration de sa position sur les objectifs proposés par EDF. Cette démarche s'est poursuivie en 2018, sous l'égide du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire ([HCTISN](#)), sous la forme d'une concertation sur les dispositions prévues par EDF pour répondre à ces objectifs. L'ASN a consulté également le public fin 2020 sur son projet de décision prescrivant les conditions de la poursuite de fonctionnement de ces réacteurs. Conformément à la loi, une enquête publique sera ensuite effectuée, réacteur par réacteur, après la remise du rapport de conclusion du réexamen de chacun d'eux.

Ainsi, l'ASN prendra position sur la poursuite de fonctionnement du réacteur 1 de la centrale nucléaire du Tricastin après la réalisation en 2022 de cette enquête publique.

MISE EN PLACE D'UN « NOYAU DUR » DE DISPOSITIONS MATÉRIELLES ET ORGANISATIONNELLES POUR LA GESTION DES SITUATIONS EXTRÊMES

Les dispositions déployées dans le cadre du REX de l'[accident de la centrale nucléaire de Fukushima](#), en particulier les DUS et les sources d'eau ultimes, sont complétées lors des réexamens périodiques par la mise en œuvre d'un « noyau dur » de dispositions matérielles et organisationnelles.

Ce « noyau dur » vise, en cas de situation extrême, à :

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

Les mesures les plus importantes sont :

- l'ajout d'une nouvelle pompe d'appoint au circuit primaire ;
- l'ajout d'un nouveau moyen d'injecter de l'eau borée dans le circuit primaire lorsque ce dernier est à haute pression ;
- l'achèvement des raccordements par des circuits fixes de l'alimentation ultime en eau des GV et de l'appoint ultime en eau à la piscine d'entreposage du combustible ;

- l'ajout d'un système de refroidissement complémentaire de la piscine d'entreposage du combustible, qui s'appuie en partie sur des moyens mobiles ;
- la mise en place d'une disposition ultime de refroidissement de l'enceinte de confinement, qui s'appuie en partie sur des moyens mobiles, afin d'éviter l'ouverture de l'évent filtré de cette enceinte en cas d'accident grave ;
- la mise en place d'une disposition visant à stabiliser le corium sur le radier, en cas d'accident avec fusion du cœur et percée de la cuve ;
- la mise en place d'un système de contrôle-commande ultime et de l'instrumentation nécessaire.

Depuis 2019, ces dispositions sont en cours de déploiement dans le cadre des quatrièmes réexamens périodiques des réacteurs de 900 MWe. En particulier, la disposition ultime de refroidissement de l'enceinte de confinement, la disposition visant à stabiliser le corium sur le radier, en cas d'accident avec fusion du cœur, et le système de refroidissement complémentaire de la piscine d'entreposage du combustible sont installés dès les quatrièmes visites décennales.

Les réacteurs de 1300 MWe

Le troisième réexamen périodique

L'[ASN a pris position](#) début 2015 sur les aspects génériques de la poursuite du fonctionnement des réacteurs de 1300 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.

En 2021, le réacteur 1 de la centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire ainsi que le réacteur 3 de la centrale nucléaire de Cattenom ont réalisé leur troisième visite décennale. Les troisièmes visites décennales des autres réacteurs de 1300 MWe se dérouleront jusqu'en 2024.

Le quatrième réexamen périodique

En juillet 2017, EDF a présenté un dossier présentant les orientations envisagées 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](#) le 22 mai 2019. L'ASN considère que les objectifs généraux retenus par EDF pour ce réexamen sont acceptables dans leur principe. Ils visent notamment l'absence de mise en œuvre de mesure de protection de la population pour les accidents de dimensionnement, et pour les accidents graves à tendre vers des mesures de protection des populations limitées dans l'espace

et dans le temps. Concernant la sûreté de la piscine d'entreposage du combustible, l'ASN a demandé à EDF de retenir comme objectif l'absence de découverture 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.

En 2021, l'ASN a poursuivi les expertises réalisées dans le cadre de la phase générique de ce réexamen périodique. Elles ont notamment porté sur les méthodes qui seront employées lors de ce réexamen pour les études de certains accidents et l'évaluation de la robustesse des installations aux agressions. EDF a par ailleurs débuté les études nécessaires à la mise à jour des dossiers de référence réglementaires du CPP et des CSP ; cette mise à jour revêt un caractère particulier dans la mesure où les hypothèses de conception étaient établies initialement pour un fonctionnement de 40 ans.

EDF engagera la première visite décennale associée à ce réexamen fin 2025.

Les réacteurs de 1450 MWe

Le deuxième réexamen périodique

EDF a transmis en 2011 les orientations envisagées pour le programme générique d'études du deuxième réexamen périodique des réacteurs de 1450 MWe, qui portent 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 termes de prévention et de limitation des conséquences des accidents graves.

L'instruction de la phase générique de ce réexamen périodique s'est terminée en 2021 et l'ASN prévoit de prendre position sur cette phase générique en 2022.

Les réacteurs B1 et B2 de la [centrale nucléaire de Chooz](#) ont réalisé leur deuxième visite décennale en 2019 et 2020. La visite décennale du réacteur 1 de la centrale nucléaire de Civaux a été engagée en 2021. Celle du réacteur 2 est programmée en 2022.

3 // Le contrôle de la sûreté du réacteur EPR de Flamanville

L'EPR est un REP qui s'appuie sur une conception en évolution par rapport à celle des réacteurs actuellement en fonctionnement en France. Il répond à des objectifs de sûreté renforcés : réduction du nombre d'événements significatifs, 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.

EDF a déposé en mai 2006, auprès des ministres chargés de la sûreté nucléaire et de la radioprotection, une demande d'autorisation de création d'un réacteur de type EPR, d'une puissance de 1 650 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 à la mise en service du réacteur.

Après la délivrance de ce décret d'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 du béton pour les bâtiments de l'îlot nucléaire ont eu lieu en décembre 2007.

EDF prévoit le chargement du combustible et le démarrage du réacteur d'ici mi-2023. Ce délai prend en compte le temps nécessaire, d'une part, aux réparations de certaines soudures des CSP ; d'autre part, à la fin des opérations de montage et d'essai.

3.1 L'instruction des demandes d'autorisation

L'instruction de la demande d'autorisation de mise en service

EDF a adressé en mars 2015 à l'ASN sa demande d'autorisation de mise en service de l'installation, comprenant le rapport de sûreté, les RGE, une étude sur la gestion des déchets de l'installation, le PUI, le plan de démantèlement et une mise à jour de l'étude d'impact de l'installation. À l'issue d'un examen préliminaire, l'ASN a considéré que l'ensemble des pièces exigées par la réglementation était formellement présent, mais a estimé que des justifications supplémentaires devaient être apportées pour que l'ASN puisse statuer sur la demande d'autorisation de mise en service. L'ASN a engagé l'instruction technique des sujets pour lesquels l'essentiel des éléments était disponible, en formulant des demandes sur certains points.

En juin 2017, l'ASN a reçu des versions mises à jour des dossiers de demande d'autorisation de mise en service et a formulé en 2018 des demandes de compléments, notamment sur les RGE.

L'ASN a recueilli l'avis du GPR les 4 et 5 juillet 2018 sur le rapport de sûreté du réacteur EPR de Flamanville. Cette réunion a été notamment consacrée aux suites données aux précédentes séances du GPR dédiées à ce réacteur depuis 2015. Le groupe permanent a considéré que la démonstration de sûreté du réacteur est globalement satisfaisante et souligne que quelques compléments sont attendus concernant la prise en compte du risque d'incendie et le comportement des crayons de combustible ayant subi une crise d'ébullition. Le GPR a considéré également que la conception et le dimensionnement des systèmes de sauvegarde et des systèmes auxiliaires de sûreté sont globalement satisfaisants et noté que des compléments devaient être apportés concernant les brèches susceptibles d'affecter le système de refroidissement

de la piscine d'entreposage du combustible. En 2019 et 2020, au vu de cet avis et des conclusions de ses instructions techniques, l'ASN a formulé des demandes de compléments de démonstration de sûreté nécessaires pour qu'elle puisse se prononcer sur la demande d'autorisation de mise en service.

En juin 2021, EDF a transmis à l'ASN une nouvelle demande d'autorisation de mise en service. Cette demande se substitue à la demande initiale de mars 2015 et comporte une mise à jour complète du dossier annexé à la demande initiale, intégrant certains compléments demandés ainsi que ceux résultant des conclusions des instructions menées depuis 2015.

L'autorisation de mise en service partielle pour l'arrivée du combustible

L'ASN a autorisé le 8 octobre 2020 la mise en service partielle de l'installation pour l'arrivée du combustible sur site. Cette autorisation a permis à EDF de réceptionner et entreposer dans la piscine d'entreposage du combustible les assemblages de combustible qui seront utilisés pour le premier chargement du réacteur. Cette mise en service partielle est l'une des étapes préalables à la mise en service du réacteur EPR de Flamanville, mais ne préjuge pas de cette dernière, qui fait l'objet d'une instruction distincte.

3.2 La construction, les essais de démarrage et la préparation au fonctionnement

Les enjeux du contrôle de la construction, des essais de démarrage et de la préparation au fonctionnement du réacteur EPR de Flamanville sont multiples pour l'ASN. Il s'agit :

- de contrôler de manière proportionnée aux enjeux la qualité d'exécution des activités de fabrication des équipements et de construction de l'installation afin de pouvoir prendre position sur l'aptitude de l'installation à répondre aux exigences définies ;
- de s'assurer que le programme des essais de démarrage est satisfaisant, que les essais sont correctement mis en œuvre et que les résultats sont conformes à l'attendu ;
- de veiller à ce que les différents acteurs tirent le REX de la phase de construction et de réalisation des essais de démarrage, y compris les phases amont (choix et surveillance des prestataires, construction, approvisionnements, etc.), qui permettent à l'installation telle que construite d'être conforme à la démonstration de sûreté tout au long du projet ;
- de veiller à ce que l'exploitant prenne les mesures nécessaires à la bonne préparation des équipes qui seront chargées du fonctionnement de l'installation après sa mise en service.

Pour cela, l'ASN a fixé des prescriptions relatives à la conception, à la construction et aux essais de démarrage du réacteur EPR de Flamanville et à l'exploitation des réacteurs 1 et 2 existants à proximité du chantier.

S'agissant d'un réacteur électronucléaire, l'ASN est également chargée de l'inspection du travail sur le chantier de la construction. Enfin, l'ASN assure le contrôle de la fabrication des ESPN qui feront partie des CPP et CSP de la chaudière nucléaire.

En 2021, EDF a poursuivi les travaux d'achèvement de l'installation, l'intégration de modifications des équipements et l'élaboration des différents documents nécessaires à l'exploitation. EDF a également poursuivi l'analyse et la résorption d'écarts, notamment ceux affectant les soudures des CSP (voir encadré en page suivante), ainsi que trois piquages du CPP. EDF a mis en œuvre un programme de contrôles complémentaires mené dans le cadre de la revue de qualité demandée par l'ASN du fait de lacunes importantes dans la surveillance exercée sur ses

prestataires. EDF a également déployé sa stratégie de conservation et de maintenance des équipements et élaboré le programme des essais de requalification des équipements en vue de la mise en service du réacteur.

3.3 L'évaluation de la conception, de la construction, des essais de démarrage et de la préparation au fonctionnement du réacteur EPR de Flamanville

Les instructions en cours

L'ASN considère que la conception du réacteur EPR de Flamanville devrait permettre d'atteindre les objectifs de sûreté ambitieux fixés pour les réacteurs de troisième génération. Elle devrait ainsi permettre une réduction significative de la probabilité de fusion du cœur et des rejets radioactifs en cas d'accident par rapport aux réacteurs de deuxième génération. En particulier, la conception du réacteur EPR inclut des systèmes de gestion des accidents graves et est résistante à des niveaux extrêmes d'agression externe. Cette conception n'a nécessité que des évolutions marginales pour prendre en compte les enseignements de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima.

L'ASN a poursuivi en 2021 les instructions liées à la demande d'autorisation de mise en service. L'ASN a notamment recueilli l'avis de l'Autorité environnementale. Plusieurs sujets techniques importants sont encore en cours d'instruction. C'est en particulier le cas de la conception des soupapes de sécurité du circuit primaire, des évolutions du contrôle-commande, des performances du système de filtration du réservoir d'eau interne à l'enceinte de confinement, des RGE qui seront applicables à partir de la mise en service et de la prise en compte des enseignements de la mise en service des premiers réacteurs EPR à l'étranger, notamment les différentes anomalies constatées sur les cœurs des réacteurs EPR de Taishan (Chine), dont les percements de gaines de combustible observés en 2021.

L'évaluation de la conformité des ESPN

Les ESPN du réacteur de Flamanville comprennent à la fois ceux constituant le CPP et les CSP présentés au point 2.2 (cuve, GV, pressuriseur, groupes motopompes primaires, tuyauteries, vannes et soupapes de sûreté) mais également ceux faisant partie des autres éléments de la chaudière.

Au cours de l'année 2021, l'ASN a poursuivi l'évaluation de la conformité de la conception des ESPN des CPP et CSP et a en particulier contrôlé, comme en 2020, la préparation et la réalisation des opérations de réparation des [lignes de vapeur principales](#) soumises au référentiel d'exclusion de rupture.

L'ASN a également poursuivi l'analyse des écarts ayant affecté la réalisation du traitement thermique de détensionnement de soudures de raccordement de composants des GV et du pressuriseur réalisés dans l'[usine de Saint-Marcel de Framatome](#) ainsi que des tuyauteries des CSP réalisées sur le site de Flamanville. EDF et Framatome prévoient des opérations de remise en état lorsque celles-ci sont envisageables ou, à défaut, la justification de la non-remise en cause de la conformité des équipements.

En 2021, l'ASN a également poursuivi l'évaluation de la conformité des tuyauteries primaires principales au référentiel d'exclusion de rupture. Compte tenu de l'écart affectant trois piquages du circuit primaire, EDF a proposé d'installer un collier de maintien autour de chaque piquage concerné. Ce collier vise, en cas de rupture de la soudure d'implantation du piquage, à limiter la taille de la brèche qui en résulterait. Les conséquences de cette brèche seraient alors couvertes par les études de sûreté actuelles du réacteur. L'ASN considère que la solution proposée par EDF est acceptable dans son principe. L'ASN se prononcera sur cette modification lorsqu'EDF aura apporté les éléments attendus concernant la démonstration de l'efficacité du dispositif, les exigences de conception, de fabrication et d'exploitation applicables aux colliers et la qualité des soudures d'implantation autour desquelles ces colliers seront montés.

SOUDURES DES TUYAUTERIES SECONDAIRES PRINCIPALES DU RÉACTEUR EPR DE FLAMANVILLE



Mise en œuvre du procédé TIG orbital – soudure sur le circuit secondaire principal

Les soudures des tuyauteries secondaires principales du réacteur EPR de Flamanville nécessitent d'importantes réparations. La majorité de ces soudures sont situées sur les tuyauteries de vapeur principales et font l'objet d'une démarche dite « d'exclusion de rupture » : à ce titre, elles requièrent des propriétés mécaniques et un niveau de qualité de fabrication particulièrement élevés.

Huit de ces soudures sont situées au niveau de l'espace entre les deux parois de l'enceinte de confinement du bâtiment du réacteur. Les conditions d'accès difficiles ont nécessité le développement de moyens particuliers d'intervention et la qualification de procédés spécifiques de soudage, de contrôle et de traitement thermique. Après avoir examiné en 2020 ces moyens d'intervention et la qualification des procédés, l'ASN a contrôlé en 2021 la réalisation de ces huit soudures.

La majorité des autres soudures des tuyauteries de vapeur principales à réparer, une cinquantaine, est située dans un environnement ne présentant pas de difficulté d'accès. L'ASN a poursuivi en 2021 l'évaluation des conditions de leur réparation et la surveillance des opérations de réparation des soudures. L'ASN a été attentive à ce que le nombre de réparations réalisées en même temps soit compatible avec l'organisation de la surveillance du chantier. Ces travaux devraient se poursuivre jusqu'à l'été 2022.

En parallèle, EDF a analysé la qualité des autres soudures, en particulier celles des tuyauteries d'eau alimentaire des GV. Ce travail a conduit EDF à décider de réparer une dizaine de soudures supplémentaires. L'ASN prendra position sur le périmètre des soudures à réparer lorsqu'elle disposera de l'ensemble des justifications d'EDF.

Le contrôle de la construction, des essais de démarrage et de la préparation au fonctionnement

Le contrôle de la construction a mis en évidence à plusieurs reprises des défauts de qualité de réalisation, qui ont nécessité des actions correctives et ont conduit EDF à réaliser des vérifications complémentaires qui font l'objet d'échanges avec l'ASN dans le cadre de la revue de qualité. L'ASN a contrôlé en 2021 l'établissement du programme de contrôles complémentaires et sa mise en œuvre au travers de réunions périodiques et deux inspections sur site. EDF devra établir en 2022 un bilan de ces actions et dresser les conclusions qu'elle en tire.

L'ASN considère que la stratégie d'EDF de conservation des équipements est satisfaisante, sous réserve qu'EDF réalise des actes de maintenance complémentaires pour prévenir le vieillissement des équipements et mette en place un programme de contrôle des équipements à la fin de la phase de conservation pour vérifier l'efficacité des dispositions prises et détecter d'éventuels défauts latents.

4 // Le contrôle des projets de réacteur

Le réacteur EPR 2

EDF développe un nouveau réacteur, appelé EPR 2. Il a pour ambition d'intégrer le REX de conception, de construction et de mise en service des réacteurs EPR ainsi que le REX d'exploitation des réacteurs existants. Comme pour les réacteurs EPR, ce projet 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 leçons 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 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 (DOS) de ce projet de réacteur, alors appelé EPR NM, avec l'appui de l'IRSN, en tenant compte des recommandations du Guide n° 22 relatif à la conception des REP. L'ASN a ainsi publié le 16 juillet 2019 son avis sur les options de sûreté proposées. L'ASN considère que les objectifs généraux de sûreté, le référentiel de sûreté et les principales options de conception sont globalement satisfaisants. L'avis de l'ASN identifie les sujets à approfondir en vue d'une éventuelle demande d'autorisation de création d'un réacteur. Des justifications complémentaires étaient en particulier attendues sur la démarche d'exclusion de rupture des tuyauteries primaires et secondaires principales, la démarche de prise en compte des agressions, notamment l'incendie et l'explosion, et les choix de conception de certains systèmes de sûreté. Les justifications attendues ont été précisées par l'ASN dans un courrier transmis à EDF en juillet 2021.

À la suite de l'avis de l'ASN, EDF a fait évoluer sa démarche concernant l'exclusion de rupture des tuyauteries primaires et secondaires principales. EDF prévoit plusieurs évolutions favorables pour la sûreté en matière de conception, de fabrication et d'organisation. Ces évolutions portent notamment sur le choix des matériaux et les techniques de fabrication et de contrôle. De plus, bien qu'EDF applique une démarche d'exclusion de rupture, elle prévoit également d'ajouter certains dispositifs de limitation des conséquences d'une rupture, tels que des parois de séparation, des dispositifs anti-fouettement et des événements d'évacuation de la vapeur.

L'ASN considère que, compte tenu des dispositions complémentaires, le recours à une démarche d'exclusion de rupture pour les tuyauteries principales des circuits primaire et secondaires du projet de réacteur EPR 2 est acceptable. Cette position, rendue en

EDF avait réalisé, en 2019, la majeure partie des essais de démarrage de l'installation. En juin 2020, EDF a communiqué à l'ASN une première version du bilan de ces essais. Ce bilan est mis à jour au fur et à mesure de la réalisation des essais restants. L'ASN a engagé l'instruction de ce document, afin de vérifier que l'installation telle que réalisée respecte les hypothèses retenues dans la démonstration de sûreté. Cette instruction se poursuivra en 2022. En complément, l'ASN s'assure, lors d'inspections, qu'EDF a mis en place des dispositions suffisantes pour garantir que les interventions réalisées postérieurement aux essais de démarrage ne remettent pas en cause les résultats obtenus lors de ces essais.

En 2021, l'ASN a réalisé 14 inspections sur le site de Flamanville et deux inspections dans les services d'ingénierie. L'ASN a également procédé à des inspections du travail. Les conclusions de ces inspections sont présentées dans le Panorama régional en introduction de ce rapport.

septembre 2021, complète l'avis de l'ASN de 2019 sur les options de sûreté de ce projet de réacteur. L'instruction du référentiel d'exclusion de rupture se poursuivra en 2022.

L'ASN a également pris position, en avril 2021, sur les compléments apportés par EDF en ce qui concerne la chute accidentelle d'un avion militaire. L'ASN considère que la démarche d'EDF est de nature à permettre l'atteinte d'objectifs de sûreté suffisants, identiques à ceux du réacteur EPR de Flamanville, pour le réacteur EPR 2.

En février 2021, EDF a transmis à l'ASN une version préliminaire du rapport de sûreté en vue d'une instruction anticipée dans l'éventualité du lancement d'un programme de construction de nouveaux réacteurs. Un programme d'instruction du dossier a été établi conjointement avec l'IRSN.

Enfin, Framatome a déposé auprès de l'ASN des demandes d'évaluation de la conformité de cuves et GV pour deux réacteurs. Les approvisionnements des premiers composants sont prévus dès 2022 sur le site du Creusot.

Les petits réacteurs modulaires

Plusieurs projets de « petits réacteurs modulaires » (*Small Modular Reactors – SMR*) sont en cours de développement dans le monde. Il s'agit de réacteurs d'une puissance inférieure à 300 MWe, principalement fabriqués en usine. Ils utilisent des technologies variées : celle des REP ou des technologies avancées (réacteurs à haute température, à sels fondus, à neutrons rapides, etc.).

Les caractéristiques des SMR, en particulier leur faible puissance et leur compacité, constituent des facteurs favorables pour la sûreté. L'ASN considère que ces caractéristiques doivent être mises à profit par les concepteurs pour proposer des réacteurs visant des objectifs de sûreté plus ambitieux que les réacteurs de forte puissance actuels.

Un projet de SMR français, Nuward, porté par un consortium réunissant EDF, Technicatome, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives et Naval Group est actuellement au stade des études préliminaires. L'ASN a engagé des échanges techniques avec le projet Nuward, qui prévoit de remettre à la fin de l'année 2022 un DOS.

De plus, l'ASN participe à des groupes de travail internationaux relatifs aux SMR. Dans ce cadre, elle échange avec ses homologues étrangères dans l'objectif de promouvoir l'établissement de référentiels internationaux ambitieux, de partager ses pratiques et de bénéficier du retour d'expérience de ses homologues.

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

11

12

13

14

AN