

# SOMMAIRE

1

p. 294

## Généralités sur les centrales nucléaires

- 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

p. 298

## Le contrôle de la sûreté nucléaire des réacteurs en fonctionnement

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

3

p. 318

## La poursuite du fonctionnement des centrales nucléaires

- 3.1 L'âge des centrales nucléaires
- 3.2 Le réexamen périodique
- 3.3 Les réexamens périodiques en cours des centrales nucléaires

4

p. 321

## Le contrôle de la sûreté du réacteur EPR de Flamanville

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

5

p. 323

## Le contrôle du projet de réacteurs EPR 2



# Les centrales nucléaires d'EDF



# 10

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

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

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

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

## 1 Généralités sur les centrales nucléaires

### 1.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE D'UN RÉACTEUR À EAU SOUS PRESSION

Toute centrale électrique thermique produit, en faisant passer de la chaleur d'une source chaude vers une source froide, de l'énergie mécanique qu'elle transforme en électricité. Les centrales thermiques classiques utilisent la chaleur dégagée par la combustion de combustibles fossiles (fioul, charbon, gaz). Les centrales nucléaires utilisent celle dégagée par la fission d'atomes d'uranium ou de plutonium. La chaleur produite dans un réacteur à eau sous pression (REP) permet la formation de vapeur d'eau qui n'entre pas en contact avec le combustible nucléaire. La vapeur est ensuite détendue dans une turbine qui entraîne un alternateur générant un courant électrique triphasé dont la tension est élevée à 400 000 volts (V) par un transformateur. La vapeur, après détente, est refroidie dans un condenseur au contact de tubes dans lesquels circule de l'eau froide provenant de la mer, d'un cours d'eau (fleuve, rivière) ou d'un circuit de réfrigération atmosphérique. L'eau condensée est réutilisée dans le cycle de production de vapeur.

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

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

également associés des circuits et systèmes assurant des fonctions support: contrôle et traitement des effluents primaires, alimentation en eau, ventilation et climatisation, alimentation électrique de sauvegarde (groupes électrogènes à moteur diesel).

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

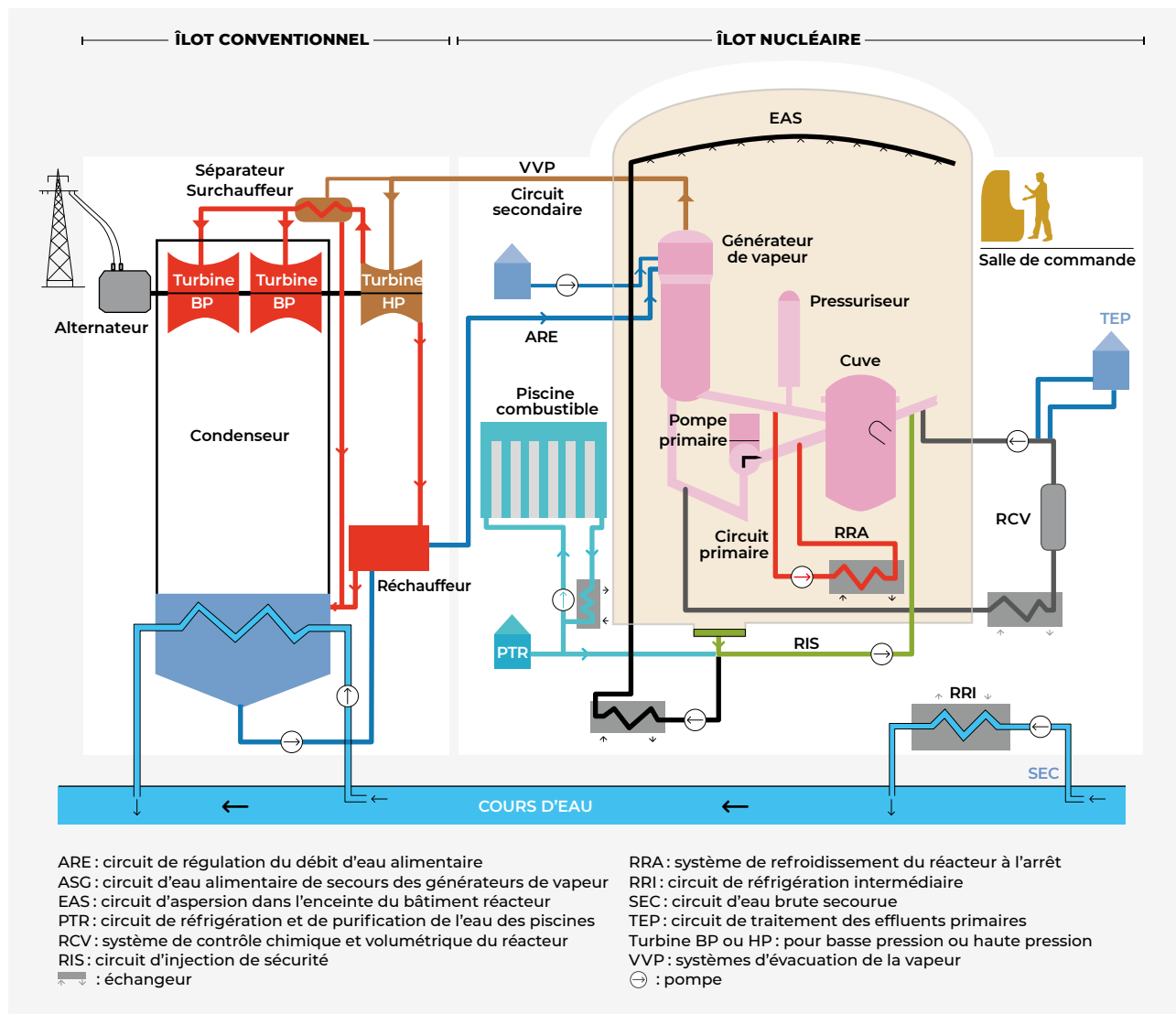
L'îlot conventionnel comprend notamment la turbine, l'alternateur et le condenseur. Certains composants de ces matériels participent à la sûreté du réacteur. Le circuit secondaire appartient pour partie à l'îlot nucléaire et pour partie à l'îlot conventionnel.

### 1.2 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.

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



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 défectueuses ;
- 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<sub>2</sub>) enrichi en uranium-235, à 4,2% 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<sub>2</sub> enrichi à 3,7% en uranium-235. Ce combustible peut être utilisé dans les 24 réacteurs de 900 mégawatts électriques (MWe) dont les décrets d'autorisation de création (DAC) autorisent l'utilisation de combustible au plutonium. EDF prépare actuellement l'introduction de combustible MOX dans quelques réacteurs de 1300 MWe.

#### 1.4 LE CIRCUIT PRIMAIRE ET LES CIRCUITS SECONDAIRES

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

Le circuit primaire est composé de boucles de refroidissement, au nombre de trois pour un réacteur de 900 MWe, 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 GV.

L'eau primaire, chauffée à plus de 300°C, est maintenue à une pression de 155 bars par le pressuriseur pour éviter l'ébullition. Le circuit primaire est contenu en totalité dans l'enceinte de confinement.

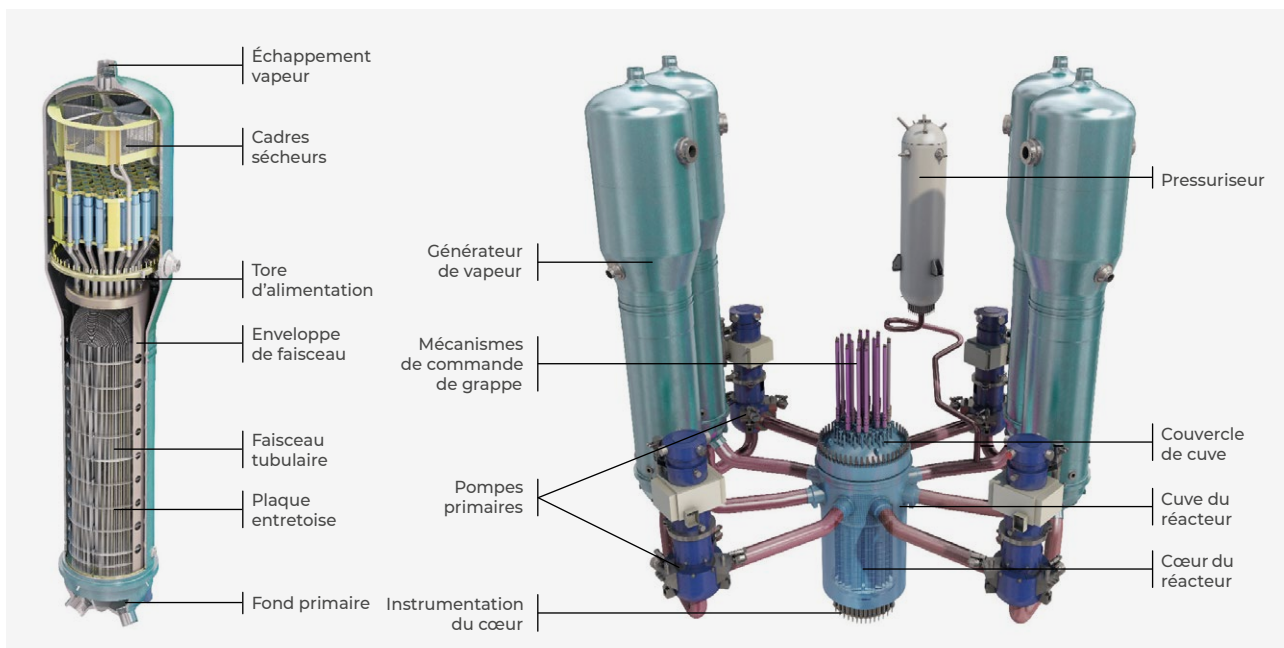
L'eau du circuit primaire cède sa chaleur à l'eau des circuits secondaires dans les GV. Les GV sont des échangeurs de chaleur qui contiennent, selon le modèle, de 3500 à 6000 tubes dans lesquels circule l'eau primaire. Ces tubes baignent dans l'eau du circuit secondaire, qui est ainsi portée à ébullition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

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

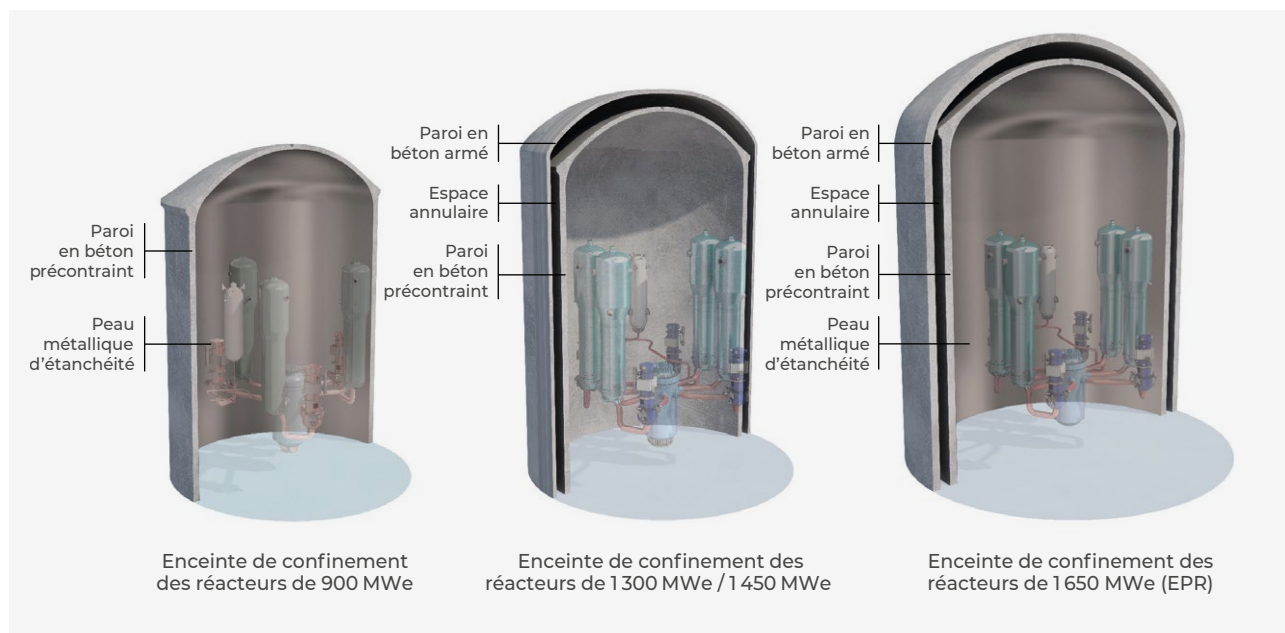
#### 1.5 LE CIRCUIT DE REFOUILLISSEMENT DU CIRCUIT SECONDAIRE

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).

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



## Enceintes de confinement des réacteurs



Les circuits de refroidissement sont des milieux favorables au développement de micro-organismes pathogènes. Le remplacement du laiton par du titane ou des aciers inoxydables comme matériau des condenseurs des réacteurs en bord de rivière, pour réduire les rejets métalliques dans le milieu naturel, impose la mise en œuvre de moyens de désinfection, principalement par traitement biocide. Le cuivre contenu dans le laiton a en effet des propriétés bactéricides que n'ont pas le titane et les aciers inoxydables. Les tours 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 réacteurs nucléaires assure deux fonctions :

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

Ces enceintes ont été conçues selon trois modèles :

- celles des réacteurs de 900 MWe sont constituées d'une seule paroi en béton précontraint (béton comportant des câbles d'acier tendus de manière à assurer la compression de l'ouvrage dans l'objectif d'augmenter la résistance à la traction de celui-ci). Cette paroi assure la résistance mécanique à la pression, ainsi que l'intégrité de la structure vis-à-vis d'une agression externe. L'étanchéité est assurée par un revêtement métallique recouvrant l'ensemble de la face interne de la paroi en béton ;
- celles des réacteurs de 1300 et 1450 MWe sont constituées de deux parois : la paroi interne en béton précontraint et la paroi externe en béton armé. L'étanchéité est assurée par la paroi interne et par un système de ventilation qui assure, entre les deux parois, la collecte et la filtration des fuites résiduelles de la paroi interne avant leur rejet. La résistance aux agressions externes est principalement assurée par la paroi externe ;
- celle 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](#) (Japon), il a été décidé de mettre en place une source d'eau diversifiée, appelée source d'eau ultime, qui peut être utilisée en situation extrême pour alimenter en eau les GV lorsque les réserves d'eau du système ASG sont vides et que les différentes solutions pour les réalimenter ne sont plus disponibles.

### 1.8 LES AUTRES SYSTÈMES IMPORTANTS POUR LA SÛRETÉ

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

- le circuit de réfrigération intermédiaire (RRI), qui assure le refroidissement d'un certain nombre d'équipements nucléaires. Ce circuit fonctionne en boucle fermée entre, d'une part, les circuits auxiliaires et de sauvegarde ; d'autre part, les circuits véhiculant l'eau provenant de la rivière ou de la mer (source froide) ;

- le circuit d'eau brute secourue (SEC), qui assure le refroidissement du circuit RRI au moyen de l'eau provenant de la rivière ou de la mer (source froide). C'est un circuit de sauvegarde constitué de deux lignes redondantes. Chacune de ses lignes est capable d'assurer seule, dans certaines situations, l'évacuation de la chaleur du réacteur vers la source froide ;
- le circuit de réfrigération et de purification de l'eau des piscines (PTR), qui permet en particulier d'évacuer la chaleur résiduelle des éléments de combustible entreposés dans la piscine du bâtiment du combustible. La 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 ultime, dont la nature varie selon la centrale considérée. Enfin, ces moyens ont été complétés, après l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima, d'un groupe électrogène de secours à moteur diesel par réacteur dit « d'ultime secours » (DUS).

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

### 2.1 LE COMBUSTIBLE

#### 2.1.1 Le combustible en réacteur

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

En fonctionnement normal, l'étanchéité est suivie par EDF par la mesure permanente de l'activité des radioéléments contenus dans le circuit primaire. L'augmentation notable de l'activité est le signe d'une perte d'étanchéité 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 en réacteur

En 2023, l'intégrité de la première barrière, constituée par la gaine des crayons de combustible, a été gérée de manière satisfaisante dans l'ensemble des centrales nucléaires.

Trois réacteurs ont présenté des défauts d'étanchéité du combustible. Ce chiffre reste très bas, notamment grâce à l'intégration progressive d'assemblages de combustible fabriqués par Framatome bénéficiant d'un traitement thermique des ressorts de leurs grilles de mélange, qui améliore leur résistance.

Les échanges techniques menés avec EDF au sujet de la corrosion généralisée de certaines gaines de combustible en alliage M5 ont permis, après justification, de lever pour tous les réacteurs les mesures compensatoires d'exploitation qui avaient été mises en place depuis plusieurs années. Dans l'attente de la généralisation, dans les cœurs de réacteurs, de gaines à teneur en fer augmentée permettant de prévenir la survenue de cette corrosion, EDF maintient des mesures de surveillance du combustible à chaque déchargement et de sélection des assemblages pour les cycles suivants.

Par ailleurs, des erreurs de calibrage ou d'implantation de paramètres dans des applications informatiques de surveillance du cœur ont été mises en évidence en 2023. Ces erreurs sont pour la plupart attribuées au facteur humain (oubli, utilisation d'une mauvaise procédure). Elles n'ont pas eu de conséquences sur les personnes et l'environnement.

### 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 compte de leur importance pour la sûreté de l'installation. Le fabricant doit définir et appliquer des dispositions qui lui permettent de justifier le respect de ces exigences.

Les industriels, en particulier EDF et Framatome, ont engagé depuis 2015 des évolutions importantes de leurs processus industriels afin de les mettre en conformité avec les exigences réglementaires. La plus grande partie de ces actions a été réalisée dans le cadre du « Programme ESPN » 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. Les travaux réalisés ont conduit l'AFCEN à publier des guides méthodologiques et plusieurs révisions du code RCC-M (règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires des

REP), sur lesquels l'ASN a pris position. En particulier, l'ASN a reconnu le caractère globalement approprié de l'édition 2018 du code RCC-M. Cette position sera prochainement mise à jour et complétée par une position sur l'édition 2020.

Les travaux de l'AFCEN ont également conduit à définir un processus d'intégration du REX au code RCC-M, qui est en cours de revue par l'ASN. Il s'agit d'un axe de travail essentiel pour la profession, dans la mesure où ce code doit servir de base à la conception et la fabrication de l'ensemble des ESPN du programme EPR 2.

## 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 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 Exploitation France, 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 2023, environ 5 000 actions de contrôle pour les ESPN destinés au réacteur EPR de Flamanville et environ 5 200 actions de contrôle pour les ESPN de remplacement destinés aux réacteurs électronucléaires en fonctionnement. Ces actions de contrôle ont été réalisées sous la surveillance de l'ASN.

En 2023, Framatome a renforcé ses actions d'amélioration de la qualité au sein de ses trois usines dans le contexte de l'engagement du programme EPR 2. Framatome et EDF ont poursuivi le déploiement d'une démarche de mise sous contrôle des procédés industriels les plus sensibles, tels que les procédés de soudage et de traitement thermique, ainsi qu'une démarche d'agrément, d'évaluation et de surveillance des fournisseurs. L'ASN a évalué, au travers de ses inspections, les résultats de ces actions. Elle souligne l'ampleur des programmes mis en place.

De la même façon, Westinghouse a poursuivi la déclinaison de son plan d'amélioration du système qualité et de la surveillance interne dans son usine de fabrication de GV en Italie. À la suite des progrès réalisés, l'ASN considère que la surveillance particulière qui était en place sur cette usine peut être levée.

L'ASN constate également que les organismes habilités, les fabricants et les exploitants déploient actuellement au sein de leurs structures des organisations et des moyens destinés à la prévention et à la détection des fraudes. Bien que des avancées soient observées en ce sens, la déclinaison effective de ces plans d'action est encore à poursuivre au sein de tous les acteurs de la filière.

## 2.2.3 L'exploitation des équipements sous pression nucléaires

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

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

Ces circuits sont soumis à une requalification périodique réalisée tous les dix ans, qui comprend une visite complète des circuits impliquant des examens non destructifs, 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, aussi souvent que nécessaire et au moment des requalifications périodiques, les dossiers portant sur la conception, la fabrication, la protection contre les surpressions, les matériaux, les constatations faites au cours de l'exploitation et, le cas échéant, le traitement des [écarts](#).

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

### Les cuves des réacteurs

La cuve, composant essentiel d'un REP, contient le cœur du réacteur, ainsi 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 liés à leur fabrication sous leur revêtement en acier inoxydable.

### Les coudes moulés

Le circuit primaire de certains réacteurs du parc français comporte plusieurs coudes en acier inoxydable austéno-ferritique, fabriqués par moulage. La phase ferritique de cet acier subit un vieillissement en fonctionnement sous l'effet de la température. Certains éléments d'alliage présents dans le matériau favorisent cette sensibilité au vieillissement, notamment pour les réacteurs de 900 MWe et les premiers réacteurs de 1 300 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 diminuent les marges de résistance à la rupture brutale en présence de défauts.



## ANOMALIES LIÉES AUX SÉGRÉGATIONS DU CARBONE DANS CERTAINS FONDS PRIMAIRES DE GÉNÉRATEURS DE VAPEUR

L'anomalie de ségrégation du carbone de la cuve du réacteur EPR de Flamanville a permis de mettre en évidence en 2016 que des fonds primaires de GV équipant 17 réacteurs d'EDF étaient également concernés par la problématique. Ces fonds primaires ont été fabriqués par [l'usine Creusot Forge](#) et Japan Casting and Forging Corporation (JCFC).

À la suite de cette découverte, EDF a mené des contrôles non destructifs sur les fonds primaires concernés, notamment ceux prescrits par l'ASN le 18 octobre 2016. Ces contrôles ont été achevés début 2017. Ils ont permis de

justifier le maintien en fonctionnement des réacteurs concernés.

En complément, un vaste programme d'essais a été mené entre 2017 et 2021 sur des fonds primaires représentatifs des composants exploités sur les réacteurs français, afin de confirmer les hypothèses de calcul. L'ASN a réuni le Groupe permanent d'experts pour les ESPN ([GPESPN](#)) le 17 novembre 2023 pour se prononcer sur les conclusions d'EDF, les résultats des analyses thermohydrauliques, chimiques et métallurgiques et les essais mécaniques réalisés.

Ces éléments permettent de considérer que les propriétés mécaniques de l'acier ne sont pas affectées par la ségrégation du carbone des fonds fabriqués par JCFC. Pour ce qui concerne les fonds fabriqués par l'usine Creusot Forge, les hypothèses de réduction des propriétés mécaniques retenues par EDF pour tenir compte de la présence de ségrégation ont été jugées suffisamment pénalisantes. Ces calculs ont permis de confirmer l'aptitude au service de ces fonds.

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 alliages à base de nickel, en raison de leur résistance à la corrosion généralisée ou par piqûre. 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](#) (CSC). 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 EDF à réparer les zones concernées ou à isoler la partie concernée du circuit.

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 surveillance, défini et mis à jour annuellement par EDF, est examiné par l'ASN qui vérifie que les performances et la fréquence des contrôles mis en place sont satisfaisantes pour détecter les dégradations redoutées.

### Les générateurs de vapeur

Les GV sont composés de deux parties, l'une appartenant au circuit primaire et l'autre au circuit secondaire. L'intégrité des principaux éléments constitutifs des GV est surveillée, tout particulièrement celle des tubes qui constituent le faisceau tubulaire. En effet, une dégradation du faisceau tubulaire (corrosion, usure, fissure, etc.) peut créer une fuite du circuit primaire vers le circuit secondaire. 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 entretoises, 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 cet encrassement, diverses solutions peuvent être mises en œuvre pour 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 de 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 car elles impliquent des rejets de certains produits mis en œuvre.

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

Le risque de rupture brutale de la cuve d'un réacteur découle de la présence conjointe de trois facteurs : la présence d'un défaut (comme une fissure), une sollicitation thermomécanique et une résistance mécanique du matériau insuffisante.

L'analyse du risque de rupture brutale des cuves des réacteurs comporte donc les étapes suivantes :

- la détermination des dimensions des défauts à étudier ;
- l'évaluation des caractéristiques du matériau en prenant en compte la fragilisation de l'acier sous l'effet de l'irradiation ;
- l'évaluation des chargements susceptibles d'amorcer le défaut, dans toutes les situations de fonctionnement du réacteur (normal ou accidentel).

La démarche d'analyse du risque de rupture brutale consiste en la comparaison de la sollicitation en pointe de défaut avec la résistance mécanique du matériau irradié. Des coefficients de sécurité sont pris en compte à cette étape. Cette démarche est appliquée en considérant à la fois les défauts existants détectés et un défaut hypothétique, correspondant à la plus grande fissure non détectable par les essais non destructifs réalisés et positionné à l'endroit où le matériau est le plus fragilisé par l'irradiation.

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 est achevée. Elle se poursuit par le remplacement des GV des réacteurs dont le faisceau est en alliage Inconel 600 traité thermiquement (22 réacteurs sont encore concernés).

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

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

L'ASN considère que la surveillance menée par EDF de l'exploitation des CPP et CSP, qui constituent la deuxième barrière de confinement des réacteurs, reste un point de vigilance. L'année 2023 a été à nouveau particulièrement marquée par le phénomène de CSC affectant des tuyauteries auxiliaires de ces circuits (voir encadré ci-dessous). Ce phénomène illustre la possibilité que des modes de dégradation non redoutés apparaissent sur ces circuits, y compris en l'absence de REX international sur des phénomènes similaires.

La déclinaison des programmes de surveillance en exploitation de ces circuits, ainsi que leur adaptation pour tenir compte de l'évolution du REX et des connaissances des modes de dégradation, font donc l'objet d'une attention particulière de la part de l'ASN. À ce titre, l'ASN est attentive à ce qu'EDF ait recours à des moyens de contrôle non destructifs adaptés et dont les performances sont qualifiées et à ce qu'elle déploie de manière réactive des contrôles, éventuellement non qualifiés, pour approfondir les connaissances vis-à-vis de risques particuliers.

### Les cuves des réacteurs

Dans le cadre des [réexamens périodiques](#), l'ASN examine tous les dix ans la justification de la résistance en service des cuves. La démarche générique mise en place par EDF consiste à vérifier,

suisant une approche enveloppe, que toutes les cuves d'un type de réacteurs présentent une résistance à la rupture brutale suffisante en tenant compte des chargements auxquelles elles sont soumises en exploitation (que ce soit lors des situations d'exploitation courantes, incidentelles ou accidentelles) et de leur fragilisation sous irradiation. Lors de cette phase, il est tenu compte des propriétés mécaniques de chaque cuve et de la présence d'un défaut hypothétique positionné de manière pénalisante. Pour les cuves présentant des défauts particuliers, EDF vérifie également la résistance mécanique de ces défauts.

Au terme de son instruction, l'ASN a conclu favorablement sur la capacité des cuves des réacteurs de 900 MWe à fonctionner jusqu'à leur cinquième visite décennale. Elle instruit actuellement les justifications apportées par EDF pour les cuves des réacteurs de 1300 MWe.

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

L'ASN émet des procès-verbaux à la suite des contrôles effectués lors de chaque visite décennale sur le circuit primaire, et en particulier les cuves. En 2023, les résultats des contrôles menés ont été satisfaisants.

### Les coudes moulés

Les dossiers établis par EDF en vue de la justification du maintien en service des coudes et piquages moulés du circuit primaire au-delà de la quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe ont fait l'objet d'une instruction par l'ASN. Afin d'asseoir sa position sur cette démarche, l'ASN a réuni le GPESPN à deux reprises. L'instruction a conclu que la quasi-totalité des coudes peut être maintenue en service au moins jusqu'à la cinquième visite décennale. Elle s'est notamment focalisée sur le cas de quelques



## BILAN DES EXPERTISES ET RÉPARATIONS D'EDF ET DES CONTRÔLES APPROFONDIS DE L'ASN DEPUIS LA DÉCOUVERTE DE FISSURES DE CORROSION SOUS CONTRAINTE

EDF a poursuivi en 2023 le déploiement du plan d'action défini à la suite de la découverte de fissures de CSC à la fin de l'année 2021. EDF a continué à mobiliser d'importants moyens pour en identifier les causes et procéder aux contrôles des réacteurs et aux réparations des tuyauteries affectées.

Ainsi, EDF a poursuivi la mise en œuvre du programme approfondi de contrôle et d'expertise qui avait été engagé en 2022 sur les différents types de réacteur. Une partie de ce programme est dédiée aux soudures qui ont été réparées lors de leur fabrication et qui sont susceptibles de présenter des risques plus importants. Ainsi, 301 soudures ont fait l'objet d'un contrôle en 2023, dont 170 soudures réparées. Les contrôles de ces soudures ont mis en évidence quatre fissures de grande taille qui auraient pu conduire à un risque de fuite en cas de sollicitation mécanique importante.

En parallèle de ce programme de contrôle, les tuyauteries jugées les

plus sensibles au phénomène de CSC ont fait l'objet de remplacements. Ainsi, les lignes d'injection de sécurité en branche froide des réacteurs de type P4 ont fait l'objet de ces travaux en 2023.

En 2023, le programme de contrôle a également mis en évidence la présence de quelques fissures de fatigue thermique sur les mêmes types de tuyauteries. EDF a élaboré un programme d'investigation, afin d'améliorer la compréhension du phénomène de CSC en lui-même, mais également la compétition entre ce phénomène et la fatigue thermique. Le programme de contrôle est adapté pour la détection des deux phénomènes. L'ASN a poursuivi son contrôle des actions menées par EDF. Fin 2023, elle a mené plus de 65 inspections dédiées à cette problématique depuis fin 2021. Ces inspections ont notamment eu lieu dans les services d'ingénierie d'EDF, dans les centrales nucléaires et chez les sous-traitants d'EDF, dans le cadre

des opérations de contrôle ou de remplacement de tuyauteries.

L'ASN a également poursuivi les échanges avec ses homologues étrangères, dont plusieurs ont réalisé des contrôles sur ce sujet.

D'ici fin 2025, EDF procèdera à des contrôles des tuyauteries des systèmes RIS et RRA de l'ensemble de ses réacteurs. Elle étendra en 2024 ses contrôles aux soudures réparées des autres lignes connectées au CPP.

L'ASN restera mobilisée, avec l'appui technique de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), sur cette problématique en 2024, et suivra avec attention les résultats des contrôles mis en œuvre par EDF. Elle instruira les évolutions de la stratégie d'EDF qui pourraient en découler.

Les dernières informations sur le sujet sont disponibles sur [asn.fr](https://asn.fr).

coudes, difficilement remplaçables. Seul le cas d'un coude du réacteur 2 de la [centrale nucléaire de Paluel](#) reste à approfondir. EDF doit proposer une stratégie pour la justification de la poursuite d'exploitation de ce coude.

À l'issue de cette analyse, l'ASN a demandé à EDF de poursuivre ses investigations sur les possibilités de dépose, de réparation et de contrôle non destructif des coudes les plus sensibles, dans l'objectif de définir une stratégie suffisamment en amont des cinquièmes visites décennales pour les coudes qui ne pourraient pas être justifiés au-delà.

#### Les générateurs de vapeur

La situation des GV est restée un point de vigilance pour l'ASN en 2023. Les constats de niveaux d'encrassement importants dans certains GV susceptibles d'altérer la sûreté de leur fonctionnement, amènent la programmation de nettoyages préventifs. La maintenance en vue de garantir un état de propreté satisfaisant a été insuffisante par le passé et doit être maintenant 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.

Des opérations de remplacement de GV sont planifiées au rythme d'un réacteur par an dans les années à venir à partir de 2024.

#### Les tuyauteries auxiliaires du circuit primaire principal

De nombreuses fissures liées à de la CSC ont été découvertes, en particulier sur les tuyauteries des circuits RIS et RRA des réacteurs de 1450 MWe et de 1300 MWe de type P'4, à proximité immédiate de certaines soudures. Elles ont conduit à de très nombreuses expertises destructives et réparations (voir encadré page précédente).

## 2.3 LES ENCEINTES DE CONFINEMENT

### 2.3.1 Les enceintes de confinement

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

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

### 2.3.2 L'évaluation des enceintes de confinement

#### Gestion globale de la fonction de confinement

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

EDF a engagé depuis 2014 un plan d'action afin de garantir, 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 des matériels et des gaines. EDF procède, le cas échéant, à des mises en état et à des améliorations ainsi qu'au réglage des débits de ventilation. La dernière phase de ce plan d'action national intègre un programme visant à s'assurer de la pérennité des réglages réalisés. L'ASN prendra position en 2024 sur 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 2019 dans le cadre de leur quatrième visite décennale n'ont pas mis en lumière de problème générique susceptible de remettre en cause leur exploitation.

En 2023, cinq réacteurs avec enceinte à simple paroi ont réalisé leur épreuve enceinte, dont les résultats ont été satisfaisants.

#### Les enceintes à double paroi

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

EDF a alors engagé d'importants travaux consistant à recouvrir localement, par un revêtement d'étanchéité en résine, l'intrados et l'extrados de la paroi interne des enceintes des réacteurs de 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.

Sur le réacteur 1 de la [centrale nucléaire de Civaux](#), un revêtement d'étanchéité a été appliqué sur une partie importante de l'enceinte interne. Malgré ces travaux, le taux de fuite constaté lors de l'épreuve réalisée lors de la deuxième visite décennale est resté élevé, même s'il est inférieur au critère à respecter. Pour cette raison, l'ASN restera vigilante sur l'évolution de la situation de cette enceinte et, plus largement, à l'évolution de l'étanchéité de l'ensemble des enceintes et au maintien de l'efficacité des revêtements sur le long terme.

## 2.4 L'ORGANISATION POUR L'EXPLOITATION DES RÉACTEURS

### 2.4.1 L'exploitation des réacteurs

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

#### Le fonctionnement normal

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

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

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

#### La conduite en cas d'incident ou d'accident

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

En complément des stratégies de conduite, un plan d'urgence interne (PUI), mis en œuvre par les équipes de crise, est déclenché pour aider les équipes de conduite dans les situations d'incident ou d'accident qui présentent un risque de conséquences à l'extérieur du site.

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

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

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

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

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

#### L'organisation générale

L'organisation mise en place par EDF pour assurer la maîtrise des risques est satisfaisante dans son ensemble mais reste perfectible dans quelques centrales nucléaires. En particulier, l'ASN constate régulièrement une prise en compte insuffisante du REX et des analyses de risques préalables aux activités qui doivent être améliorées. Des évolutions sont ainsi attendues en matière de préparation des activités. L'implication de la ligne managériale sur ce sujet est nécessaire pour l'atteinte de résultats concrets et satisfaisants.

Les fragilités identifiées ces dernières années en matière de coordination entre les métiers et les projets ou au sein de services de maintenance ont perduré en 2023. Les défauts observés sont souvent liés à des organisations complexes, au nombre important d'interlocuteurs, aux interfaces non définies ou non formalisées entre les entités (relèves, relations entre les équipes de quart et les équipes hors quart ou entre l'exploitant et les prestataires), à l'éloignement géographique et à la non-anticipation des coactivités.

#### Le fonctionnement normal

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

### LES RÈGLES GÉNÉRALES D'EXPLOITATION

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

Les spécifications techniques d'exploitation qui figurent dans les RGE définissent les paramètres à respecter en fonctionnement normal. Elles identifient les systèmes essentiels au maintien des fonctions de sûreté et prescrivent les conduites à tenir en cas

d'indisponibilité momentanée d'un système requis ou de dépassement d'une limite.

En matière d'essais périodiques, les RGE détaillent les contrôles à effectuer, leur fréquence et les critères d'acceptation des résultats. Des essais sont notamment prévus pour vérifier que le cœur du réacteur est conforme au référentiel de conception et à la démonstration de sûreté, ainsi que pour calibrer les systèmes de régulation et de protection automatique.

Les procédures de conduite en situation incidentelle ou accidentelle, qui figurent dans les RGE, détaillent les actions à entreprendre par les équipes de conduite dans ces situations pour rétablir un fonctionnement normal

ou, dans le cas d'un accident, pour ramener l'installation dans un état sûr et limiter ses conséquences.

EDF met régulièrement à jour ces documents pour intégrer le REX et pour prendre en compte les modifications apportées aux réacteurs. Des amendements temporaires peuvent également être apportés. Ils nécessitent une justification et la définition de mesures compensatoires pour maîtriser les risques associés. Les modifications notables des RGE qui sont de nature à affecter la sûreté de l'installation 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.

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

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

Sur le plan de l'exploitation et de la conduite des réacteurs, l'ASN considère que les performances se sont améliorées en 2023. Les plans d'action sur la rigueur d'exploitation lancés par les centrales nucléaires ces dernières années semblent efficaces. Le nombre de situations pour lesquelles les réacteurs ont été exploités en dehors des limites prévues est resté stable en 2023, bien que l'activité industrielle ait été plus chargée que celle de l'année 2022 (allégée en raison de la gestion de la CSC pour de nombreux réacteurs). Toutefois, l'ASN constate que la qualité de la surveillance en salle de commande s'est à nouveau dégradée en 2023. L'ASN a renforcé ses inspections sur les thématiques de maîtrise de configuration des circuits (voir encadré page suivante). Même si elle a constaté en 2023 la diminution du nombre d'événements significatifs pour la sûreté (ESS) liés aux défauts de configuration de circuits, l'ASN considère que la maîtrise des configurations de circuits doit être améliorée.

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

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

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 gestion des compétences

L'ASN avait mené en 2022 une campagne d'inspection sur la gestion des compétences des équipes chargées de la conduite des installations. Elle a à nouveau mené en 2023 des inspections sur les sites qu'elle avait jugés les plus en difficulté et a pu constater des améliorations dans le fonctionnement des services de formation (renforcement des équipes, relances des comités de formation et compétences, clarté et ancrage des processus, augmentation des équipements de formation). Des fragilités persistantes dans le processus d'acquisition des compétences des personnels de la conduite ont cependant encore été constatées lors de certaines inspections ou lors de l'analyse de certains événements significatifs, ce qui peut questionner l'efficacité et le périmètre des formations. L'ASN constate un recours fréquent à l'autoformation par apprentissage en ligne (*e-learning*) ou par questionnaire pour les recyclages. La mise en pratique sur le terrain est limitée ou manquante avec ce type de dispositif. Des défauts dans le compagnonnage des nouveaux arrivants sont aussi constatés.

L'ASN constate par ailleurs la persistance en 2023 d'un déficit d'accompagnement et de formation en ce qui concerne les modifications matérielles des installations. Ce déficit est imputable à des défaillances organisationnelles diverses (manque de ressources, anticipation insuffisante du besoin de formation, manque de coordination entre les métiers lors de la phase finale du déploiement d'une modification, etc.).

#### La maîtrise de la documentation opérationnelle

En 2023, comme les années précédentes, les comptes-rendus d'événements significatifs mettent régulièrement en cause la qualité insuffisante de la documentation. Il s'agit d'un problème de fond depuis plusieurs années. Les difficultés identifiées sont de natures diverses (documentation pas assez synthétique, non explicite, incomplète ou inexistante). Cette situation a 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). Les défauts de documentation opérationnelle réduisent l'efficacité du rôle de la ligne de défense du support documentaire.

Ces écarts récurrents sur la documentation opérationnelle restent en bonne partie liés à des dysfonctionnements organisationnels. Des défaillances dans la maîtrise du processus de gestion documentaire sont présentes à toutes les étapes du cycle de vie des documents, de l'identification du besoin à l'archivage du document.

#### La filière indépendante de sûreté

L'ASN examine lors de ses inspections les actions menées par la FIS (voir encadré ci-dessous) et vérifie la bonne prise en compte de ses avis par les services opérationnels. Les inspecteurs ont relevé la compétence, le bon fonctionnement et l'indépendance de la FIS des différents sites inspectés en 2023. Certains sites rencontrent encore des problèmes de ressources, le nombre d'ingénieurs sûreté étant parfois inférieur au nombre requis pendant de longues périodes. EDF a pris des mesures pour disposer à l'avenir d'effectifs supplémentaires d'ingénieurs sûreté, afin que ceux-ci puissent effectuer sereinement leur vérification indépendante de la sûreté des réacteurs.

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

L'ASN contrôle les processus d'élaboration et de validation des procédures de conduite en cas d'incident ou d'accident, leur pertinence et leurs modalités de mise en œuvre. Dans ce cadre, l'ASN a mené en 2023 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



#### LA FILIÈRE INDÉPENDANTE DE SÛRETÉ

Au sein d'EDF, la filière indépendante de sûreté (FIS) assure la vérification, en matière de sûreté, des actions et décisions prises par les services chargés de l'exploitation des installations. Au sein de chaque centrale nucléaire, la FIS est composée d'ingénieurs sûreté et d'auditeurs, qui réalisent 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.

## CAMPAGNE D'INSPECTIONS SUR LA MAÎTRISE DES CONFIGURATIONS DE CIRCUITS

La maîtrise de la bonne configuration des circuits hydrauliques et électriques des réacteurs nucléaires concourt à la sûreté des installations. La maîtrise de la configuration des circuits couvre les activités de lignage (mise en configuration d'un ensemble d'organes permettant à un circuit de fonctionner conformément à ce pourquoi il a été conçu ou de répondre à un objectif d'exploitation particulier), de consignation (mise en configuration d'un ensemble d'organes dans des positions définies et condamnées afin de garantir les conditions de sécurité requises pour une intervention de maintenance) et de condamnation administrative (immobilisation physique d'un ensemble d'organes dont le maintien en position est essentiel à la sûreté de l'installation).

L'ASN a constaté fin 2022 une augmentation des défauts de lignage et de consignation qui fragilisent la sûreté des installations ou induisent des risques d'accident des personnels. Elle a donc décidé de mener une campagne d'inspections dédiée au contrôle des mesures prises par les exploitants pour assurer la maîtrise de la configuration des circuits des installations.

En 2023, l'ASN a ainsi réalisé dix inspections dédiées. Sur chaque centrale nucléaire inspectée, l'ASN a examiné le pilotage de l'ensemble des processus qui contribuent à la maîtrise de la configuration des circuits. Les inspecteurs ont également procédé à des contrôles de la conformité des configurations des installations et ont pu observer la réalisation de certaines activités. Les inspecteurs ont enfin procédé à des entretiens d'explicitation avec des personnels chargés de ces activités.

Ces inspections ont mis en lumière la qualité du suivi des processus liés à ces thématiques par les instances concernées des centrales nucléaires. Toutefois, les inspecteurs ont pointé plusieurs sujets qui méritent des améliorations de la part d'EDF.

Les défauts de préparation et la rigueur dans l'appropriation et la réalisation des activités sont les contributeurs majeurs aux défauts de mise en configuration des circuits. Certains intervenants rencontrent par ailleurs des difficultés à percevoir l'impact sur la sûreté que pourrait avoir la mauvaise réalisation de certaines interventions sur les matériels.

L'ASN a noté favorablement la réactivité de certains sites qui, conscients de leurs difficultés, ont mis en place des plans d'action visant notamment à sacrifier le temps de préparation et de réalisation des activités.

Par ailleurs, cette campagne d'inspections a permis d'identifier des manques de coordination entre les équipes chargées de la maintenance de l'installation et celles chargées de son exploitation. Les équipes d'exploitation sont régulièrement amenées à configurer des circuits pour que les équipes de maintenance puissent réaliser en sécurité leurs opérations. Dans certains cas, ces opérations de maintenance ne sont finalement pas réalisées. Dans une telle situation, des équipements sont rendus indisponibles inutilement alors qu'ils pourraient être utiles à la gestion d'un incident ou d'un accident.

Chacune des inspections a conduit l'ASN à formuler à l'attention d'EDF des demandes d'amélioration. Cette campagne sera poursuivie en 2024 pour couvrir l'ensemble des centrales nucléaires.

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. L'ASN a aussi mené en 2023 des inspections réactives sur les sites où la conduite des installations a été perturbée par des aléas d'exploitation ; ces inspections visaient à vérifier le respect des procédures applicables lors de la gestion de ces aléas.

À l'issue de ces inspections, l'ASN a jugé satisfaisante la mise en œuvre des dispositions de conduite en cas d'incident ou d'accident. Néanmoins, l'ASN a constaté lors des mises en situation que des erreurs et imprécisions entachent encore les documents opératoires alors que des vérifications régulières sont normalement prévues pour éviter ces anomalies. L'ASN reste donc attentive à la bonne mise en œuvre des processus de vérification des documents opératoires et au traitement des anomalies constatées. Par ailleurs, l'ASN a constaté des écarts d'application de procédures lors de certains transitoires incidentels. EDF doit analyser l'origine de ces défauts d'application et faire évoluer si besoin la documentation, l'organisation ou la formation des intervenants afin qu'ils ne se reproduisent pas.

### 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 2023, quatre centrales nucléaires ont déclenché leur organisation de crise, décrite dans le PUI :

- pour un incendie en zone contrôlée à la [centrale nucléaire de Cattenom](#) le 3 mars ;
- pour un incendie hors zone contrôlée, c'est-à-dire dans un bâtiment industriel ne contenant pas de substances radioactives,

à trois reprises : le 14 avril à la [centrale nucléaire de Flamanville](#), le 30 juillet à la [centrale nucléaire du Bugey](#) et le 17 octobre à la [centrale nucléaire du Blayais](#).

Ces quatre situations ont eu un impact limité au sein de l'installation et n'ont pas nécessité d'action de protection des populations.

En 2023, afin d'éprouver l'organisation de crise d'EDF et des pouvoirs publics, l'ASN a participé à des [exercices nationaux](#). Quatre exercices de ce type ont eu lieu sur des centrales nucléaires (Saint-Laurent-des-Eaux, Golfech, Chooz et Nogent-sur-Seine) et ont permis de tester l'organisation de crise de ces sites et les échanges avec les autorités.

L'ASN a également procédé à plusieurs inspections sur l'organisation et les moyens de crise d'EDF. Ces inspections, dont certaines reposent sur une mise en situation inopinée induisant le déclenchement de l'organisation de crise du site, ont également été l'occasion de tester l'opérationnalité du dispositif sur des sujets spécifiques (résilience de l'organisation, matériels locaux de crise, documentation, formation, etc.). Dans l'ensemble, ces exercices et inspections ont permis de s'assurer que les sites d'EDF disposent d'un niveau d'appropriation des principes d'organisation, de préparation et de gestion des situations d'urgence leur permettant d'assurer les actions requises en cas de crise. L'ASN souligne en outre le professionnalisme et la motivation des équipiers d'astreinte mobilisés. Toutefois, EDF doit poursuivre ses efforts pour maintenir en condition opérationnelle certains moyens mobilisables en situation d'urgence et doit accroître sa vigilance sur les travaux réalisés dans les locaux de crise ou à proximité de matériels nécessaires à la crise. Enfin, EDF doit poursuivre ses efforts sur la préparation des situations d'urgence d'origine non radiologique.

### 2.4.3 Le processus de retour d'expérience

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

Les événements significatifs sont analysés individuellement. Cette analyse vise à identifier leurs causes profondes et les évolutions à apporter pour éviter leur reproduction. Des analyses de tendances et des signaux faibles sont régulièrement réalisées par EDF pour identifier le plus en amont possible des dégradations du niveau de sûreté des installations.

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

### 2.4.4 L'évaluation du processus de retour d'expérience

#### Le processus de retour d'expérience

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

La qualité et la disponibilité des ressources affectées à l'analyse approfondie des événements significatifs sont satisfaisantes sur l'ensemble des sites, ce qui constitue un point positif. Pour les aspects techniques, les analyses révèlent que les causes apparentes et les causes profondes sont correctement identifiées et traitées par des mesures adéquates. L'ASN estime qu'EDF doit encore progresser sur l'évaluation de l'efficacité des actions correctives et sur les conditions de clôture de ces actions. La capitalisation des enseignements et le partage du REX restent des points à surveiller.

Pour ce qui est de l'investigation des causes en matière de FOH, l'ASN estime que les analyses se limitent encore trop souvent aux défaillances humaines sans suffisamment investiguer les déterminants de la situation de travail ou les processus organisationnels impliqués. Même si des améliorations sont observées depuis 2022 dans les analyses des ESS, l'implication des spécialistes des FOH reste hétérogène et insuffisante sur plusieurs sites.

#### 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 2023, 714 déclarations d'événements significatifs au titre de la sûreté (ESS), 140 au titre de la radioprotection (ESR) et 46 au titre de la protection de l'environnement (ESE). Le nombre d'événements significatifs a augmenté de 2,4% en 2023 par rapport à l'année précédente, en particulier les ESS (740 en 2020, 762 en 2021, 687 en 2022).

Le graphique 1 présente l'évolution du nombre d'événements significatifs déclarés par EDF et classés sur l'[échelle INES](#) (*International Nuclear and Radiological Event Scale* – Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques, graduée de 0 à 7 par ordre croissant de gravité) depuis 2013.

Le graphique 2 présente l'évolution depuis 2013 du nombre d'événements significatifs en fonction du domaine de déclaration. 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 2023, 16 événements de ce type dans le domaine de la sûreté nucléaire (26 en 2020, 31 en 2021, 21 en 2022).

En 2023, deux événements significatifs de niveau 2 ont été déclarés par EDF. Le premier événement est lié à la [découverte de fissures importantes de CSC](#). Le second événement concerne la contamination externe d'un intervenant à la centrale nucléaire de Cattenom (voir encadré page 317).

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

Les centrales nucléaires doivent pouvoir faire face à des agressions de natures variées, qui trouvent leur origine à l'intérieur ou à l'extérieur des installations. Les principales agressions présentant un enjeu pour la sûreté sont détaillées ci-dessous.

#### Les risques liés aux incendies

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

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

La prise en compte du risque 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, ainsi que la détection et la lutte contre l'incendie.

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

#### Les risques liés aux explosions

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

#### Les risques liés aux inondations internes

Une inondation interne, c'est-à-dire provenant de l'intérieur de l'installation, peut entraîner des défaillances d'équipements nécessaires à la maîtrise des fonctions fondamentales de sûreté. L'inondation peut 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 séismes

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

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

Cette RFS est complétée par le [Guide 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.

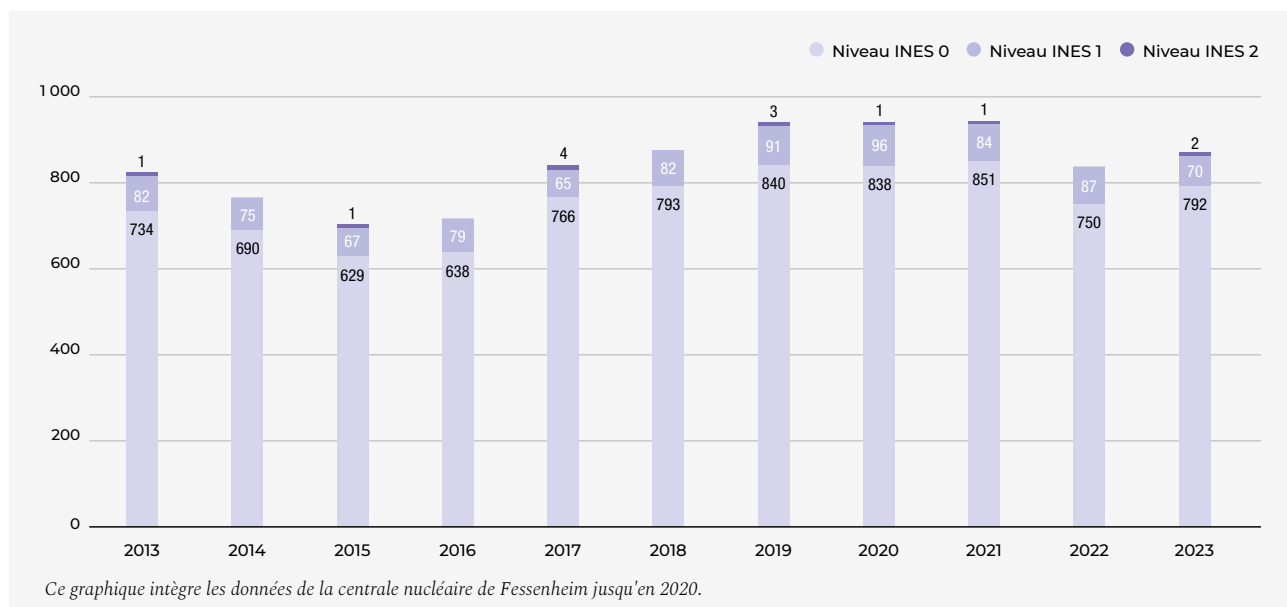
La conception des bâtiments et matériels importants pour la sûreté des centrales nucléaires doit ainsi leur permettre de résister à des séismes d'intensité supérieure aux plus forts séismes connus survenus dans la région. Les centrales nucléaires d'EDF doivent donc pouvoir faire face à des niveaux de 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 en matière de 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. Les réévaluations sismiques conduisent régulièrement EDF à renforcer la résistance de ses installations.

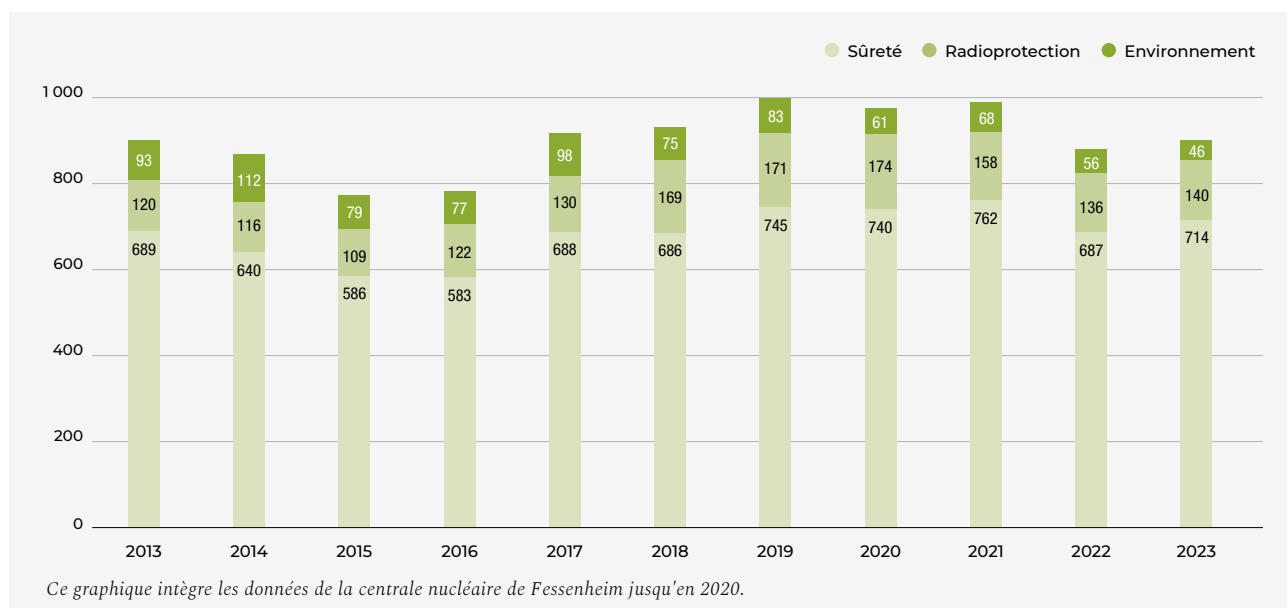
**Les risques liés aux canicules et aux sécheresses**

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

**GRAPHIQUE 1** Évolution du nombre d'événements significatifs classés sur l'échelle INES dans les centrales nucléaires d'EDF de 2013 à 2023



**GRAPHIQUE 2** Évolution du nombre d'événements significatifs par domaine dans les centrales nucléaires d'EDF de 2013 à 2023





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

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

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

#### **La prise en compte des agressions naturelles d'intensité extrême**

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

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

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

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

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

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

#### **Les risques liés aux incendies**

L'ASN ne constate pas d'évolution notable concernant la maîtrise des risques liés aux incendies au sein des centrales nucléaires. Si des progrès sont notés sur certains sites, la majorité reste stable, avec un niveau de performance global en deçà des attentes. Le nombre de départs de feu en 2023 est similaire à celui de 2022. Quatre départs de feu survenus en 2023, dont un en zone contrôlée, ont conduit au déclenchement du PUI sur le site concerné.

L'ASN a constaté certaines améliorations dans le pilotage de la gestion du risque d'incendie dans les centrales nucléaires, notamment dans la gestion de la détection et dans la formation des personnels. Toutefois, l'ASN a également noté la nécessité d'améliorer certains domaines, tels que le contrôle des éléments de sectorisation et le traitement des anomalies les concernant ou l'entreposage temporaire des matières combustibles lors des chantiers et des opérations de maintenance. EDF a également poursuivi ses actions visant à améliorer la maîtrise des risques liés à l'incendie dans les locaux identifiés comme étant particulièrement sensibles à cette agression au regard des conséquences potentielles pour la sûreté.

Enfin, l'ASN note qu'EDF travaille au déploiement d'une nouvelle organisation de lutte contre l'incendie sur ses sites afin de pouvoir attaquer plus efficacement les feux et éviter leur propagation. Des évolutions sont ainsi prévues en matière d'équipements de protection individuelle des personnels, de formation et d'organisation avec les services départementaux d'incendie et de secours (SDIS), qui doivent être déployées à partir de 2024 sur les centrales nucléaires. Cela se traduira sur plusieurs sites par une amélioration des capacités d'intervention en lien avec les SDIS.

#### **Les risques liés aux explosions**

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

L'ASN considère que le niveau de maîtrise des risques liés aux explosions n'est pas encore à l'attendu pour l'ensemble des sites. L'application de la doctrine de maintenance et de contrôle par EDF n'est pas satisfaisante, notamment en ce qui concerne les risques liés à la présence d'hydrogène sur les installations. L'ASN note toutefois les efforts entrepris par EDF pour réduire les écarts constatés, notamment par la mise en place d'un suivi renforcé et le déploiement de plans d'action spécifiques. L'ASN considère qu'EDF doit continuer à porter une attention toute particulière sur ce sujet, afin qu'il soit traité avec la rigueur nécessaire sur l'ensemble des sites.

#### **Les risques liés aux inondations internes**

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

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

## LE CONTRÔLE DES FOURNISSEURS DE MATÉRIELS IMPORTANTS POUR LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ASN a réalisé, en 2023, 53 inspections de la chaîne d'approvisionnement des matériels importants pour la sûreté destinés aux centrales nucléaires.

Elles ont permis d'évaluer la maîtrise des fabrications par ces fournisseurs, ainsi que la surveillance exercée par EDF.

Parmi ces inspections, 38 étaient en lien avec la fabrication d'ESPN et l'approvisionnement des gros composants forgés à destination des premiers réacteurs EPR 2 et des réacteurs en fonctionnement d'EDF. Ces inspections se sont déroulées en France, en Espagne, en Italie et au Japon, principalement dans les usines de fabrication. L'ASN a ainsi pu contrôler la qualité des fabrications et vérifier comment étaient exercées les responsabilités des fabricants d'ESPN, des organismes habilités pour l'évaluation de la conformité des ESPN et d'EDF dans le cadre de la surveillance de l'approvisionnement des ESPN.

Ces inspections ont permis de relever certaines bonnes pratiques dans l'exécution des activités confiées aux fournisseurs. Cependant, elles ont également pu mettre en évidence un manque de connaissance et de diffusion au sein de la chaîne de sous-traitance de certaines exigences réglementaires, un manque de maîtrise de certains procédés spéciaux, ainsi que la nécessité d'améliorer la qualité de la surveillance exercée par EDF sur ses fournisseurs.

Lors de ces inspections, l'ASN a pu évaluer les dispositions prises pour limiter le risque de falsification et de contrefaçon pendant la fabrication des matériels. L'ASN constate que le nombre de cas d'irrégularités identifiés augmente.

Ces constats ont été partagés avec EDF, afin qu'ils donnent lieu à la mise en œuvre d'actions d'amélioration.

L'ASN poursuivra en 2024 son engagement à l'international sur le contrôle des fournisseurs, dans le cadre du Comité sur les activités nucléaires réglementaires (*Committee on Nuclear Regulatory Activities* – CNRA) de l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN). Cet engagement se traduit par une participation active au groupe de travail sur la chaîne d'approvisionnement (*Working Group on Supply Chain* – WGSUP) regroupant des autorités de sûreté nucléaire.

Au sein de ce groupe de travail, l'ASN partage avec ses homologues les conclusions des inspections réalisées et participe à des actions d'inspection communes, à l'image d'une inspection internationale pilotée par l'autorité de sûreté nucléaire britannique (*Office for Nuclear Regulation* – ONR) en 2023 chez un fournisseur d'équipements nucléaires au Japon.

Enfin, dans le cadre des quatrièmes réexamens périodiques des réacteurs de 900 MWe et de 1300 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 aux séismes

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. Il a conduit EDF à mettre en œuvre, sur la [centrale nucléaire de Cruas-Meysses](#), 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-Meysses. Après des investigations de terrain, EDF a défini un nouveau spectre de dimensionnement pour le site de Cruas-Meysses. Ce spectre sera utilisé afin de lancer les études de réévaluation sismique associées au quatrième réexamen périodique de ce site.

Par ailleurs, l'ASN a demandé à EDF de poursuivre ses investigations afin d'obtenir une meilleure caractérisation des failles existantes autour des centrales nucléaires du Tricastin et de Cruas-Meysses.

Le 16 juin 2023, un séisme s'est produit au niveau de la commune de La Laigne, entre La Rochelle et Niort. Ce séisme a été ressenti sur les centrales de Civaux, du Blayais et de Chinon. L'intensité de ce séisme n'a pas entraîné le déclenchement des alarmes liées à l'ébranlement des bâtiments réacteurs. Cependant, par précaution, des rondes de sécurité sur les installations ont permis de vérifier l'absence d'anomalie au niveau du génie civil.

### Les risques liés aux températures extrêmes

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

Le REX mené par EDF à la suite des épisodes caniculaires de l'été 2022 n'a pas conduit à identifier la nécessité de faire évoluer les mesures déjà en place.

## 2.5 LA CONFORMITÉ ET LA MAINTENANCE DES INSTALLATIONS

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

#### La maintenance des installations

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

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

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

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

#### La maîtrise des activités sous-traitées

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

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

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

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

#### La maintenance des installations

La maintenance fait l'objet de contrôles réguliers par l'ASN lors de ses inspections au sein des centrales nucléaires. L'organisation des centrales nucléaires pour mener à bien les opérations de maintenance conséquentes a été assez satisfaisante en 2023.

À cet égard, l'ASN constate 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. Toutefois, l'ASN relève que la charge industrielle importante de certains sites est parfois un frein à la mise en place de ces évolutions. De plus, des axes d'amélioration demeurent, concernant par exemple la prise en compte des différents risques, la préparation des activités et l'exécution de la surveillance des activités confiées à des prestataires.

La gestion des pièces de rechange demeure également en 2023 une source de défauts de maîtrise des activités. Des documents nationaux d'EDF mal appliqués ou des documents opérationnels incorrects sont aussi à l'origine d'opérations de maintenance inadéquates ou de défauts de qualité de maintenance.

En 2022, l'ASN avait constaté plusieurs anomalies concernant des programmes de contrôle réalisés au titre de la maintenance de certains matériels (dispositifs autobloquants, ancrages). Ces anomalies avaient parfois conduit EDF à engager des programmes complets de nouveaux contrôles sur certains réacteurs. Après le retard pris initialement dans la mise en œuvre de ces programmes, il est à noter que, en 2023, des améliorations ont été observées dans leur mise en œuvre même si des difficultés persistent.

Enfin, 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. À cet égard,

## 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](#), s'effectue par sondage. Il porte principalement sur les activités présentant le plus d'enjeux pour la sûreté, ainsi que sur le traitement des éventuels aléas. Il se compose d'inspections sur site et de contrôles documentaires, tout au long de l'arrêt et particulièrement avant le redémarrage du réacteur. C'est à l'issue de ce contrôle que l'ASN donne ou non son accord au redémarrage du réacteur.

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 modifications.

L'ASN considère important qu'EDF maintienne les efforts engagés pour remédier aux difficultés rencontrées et améliorer la qualité de ses activités de maintenance.

#### L'organisation pour la réalisation de la maintenance

L'ASN note que des problèmes de coordination avec les autres métiers et les équipes portant des projets subsistent. Concernant les activités de maintenance, des problèmes de coordination entre les différents services ont été relevés sur quelques sites, avec des organisations peu performantes pour la gestion de plusieurs activités en parallèle.

#### La maîtrise des activités sous-traitées

L'ASN contrôle les conditions de préparation (calendrier, ressources requises, etc.) et d'exercice des activités sous-traitées (relations avec l'exploitant, surveillance par l'exploitant, etc.). Elle vérifie aussi que les intervenants disposent des moyens nécessaires (outils, documents opératoires, etc.) à l'accomplissement de leur activité, notamment lorsque ces moyens sont mis à disposition par EDF.

Quelques améliorations ont été notées en 2023 dans la maîtrise de la qualité des activités sous-traitées. Des difficultés persistent cependant sur la qualité de la surveillance exercée (plans de surveillance inadaptés, surveillance trop axée sur l'assurance qualité et les règles de sécurité au détriment du geste technique, prestataires intervenant sans certaines compétences requises, etc.).

Les inspections de l'ASN montrent également une dynamique très positive au sein des centrales nucléaires pour améliorer la compétence des prestataires. EDF met en place des actions concrètes, comme la mise à disposition croissante d'espaces permettant une préparation sur maquette.

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

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

#### L'identification et le traitement des écarts

Les contrôles engagés par EDF dans le cadre de son référentiel d'exploitation et les vérifications additionnelles demandées par l'ASN au titre, notamment, du 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 de réacteur, l'ASN demande à EDF de lister les écarts non résorbés, de mettre en œuvre des dispositions compensatoires adaptées et de justifier l'acceptabilité de ces écarts au regard de la protection des personnes et de l'environnement pour le cycle de production à venir.

#### Les vérifications décennales : les examens de conformité

EDF réalise des [réexamens périodiques](#) de la sûreté des réacteurs nucléaires tous les dix ans, conformément à la réglementation (voir point 3.2). EDF réalise alors une revue approfondie de l'état réel des installations par rapport aux exigences de sûreté qui leur sont applicables, notamment à partir du suivi en exploitation qu'elle a réalisé jusqu'alors, et répertorie les éventuels écarts. Ces vérifications sont complétées par un programme d'investigations complémentaires dont le but est de contrôler des parties de l'installation vis-à-vis de modes de dégradation qui ne font pas l'objet de contrôles dans le cadre du programme de maintenance préventive.

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

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

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

L'ASN a publié 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 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.

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

#### État des matériels et conformité

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

Des événements significatifs portant sur plusieurs réacteurs ont à nouveau été déclarés en 2023 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 2024, et poursuivra en conséquence les inspections sur l'état des matériels et des systèmes.

## 2.6 LA PRÉVENTION ET LA MAÎTRISE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES ET DES RISQUES NON RADIOLOGIQUES

### 2.6.1 Les rejets, la gestion des déchets et les impacts sanitaires

#### La limitation des prélèvements et des rejets dans l'environnement

Les centrales nucléaires sont à l'origine de 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 circuit primaire, 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, en tenant compte des meilleures techniques disponibles dans des conditions techniquement et économiquement acceptables retenues par l'exploitant et en prenant en considération les caractéristiques de l'installation, son implantation et les conditions locales du milieu naturel. Elle vérifie que ces limites ont des impacts environnemental et sanitaire acceptables.

L'ASN fixe également les règles relatives à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des réacteurs. Ces 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.

En 2023, l'ASN a mis à jour les décisions encadrant les modalités de prélèvement, de consommation d'eau et de rejet dans l'environnement et les limites de rejet d'effluents des centrales nucléaires du Blayais et du Tricastin.

Enfin, l'exploitant de chaque centrale nucléaire transmet chaque année à l'ASN un rapport annuel dédié à l'environnement qui contient notamment un bilan des prélèvements et des rejets dans l'environnement, de leurs impacts éventuels et des événements marquants survenus.

#### **L'impact des rejets thermiques des centrales nucléaires**

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

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

#### **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.

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

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

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

### **2.6.2 La prévention et la maîtrise des risques non radiologiques**

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

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

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

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

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

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

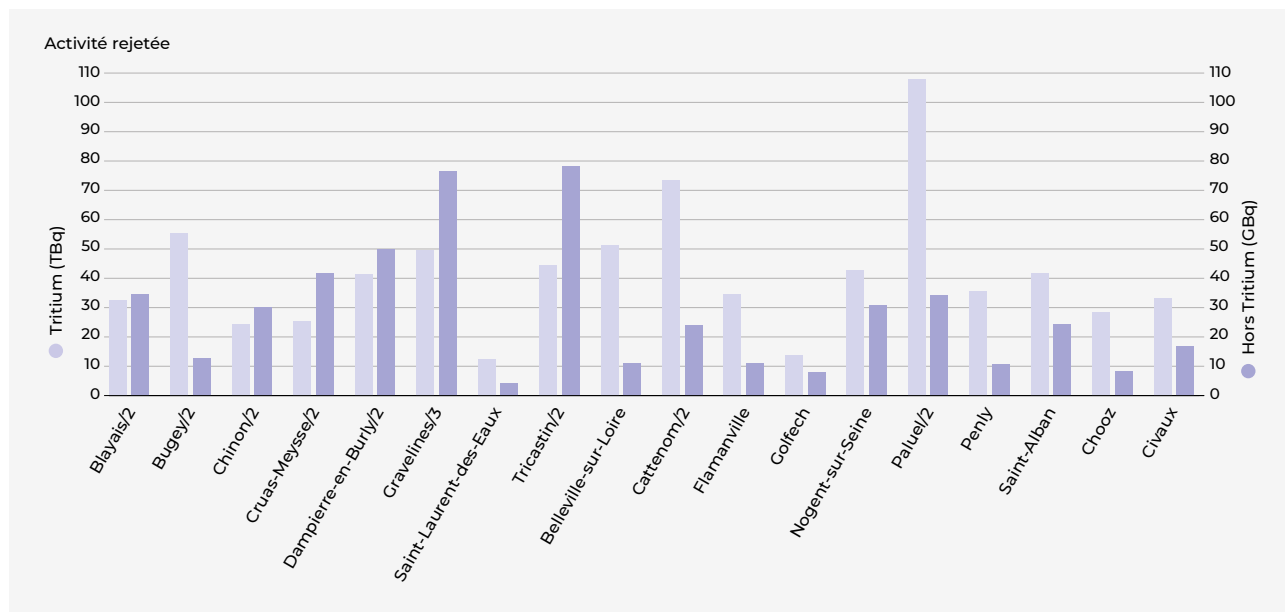
Par ailleurs, les centrales nucléaires doivent mettre en œuvre une organisation et des moyens pour prévenir la pollution du milieu naturel (nappe, fleuve, sol).

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.

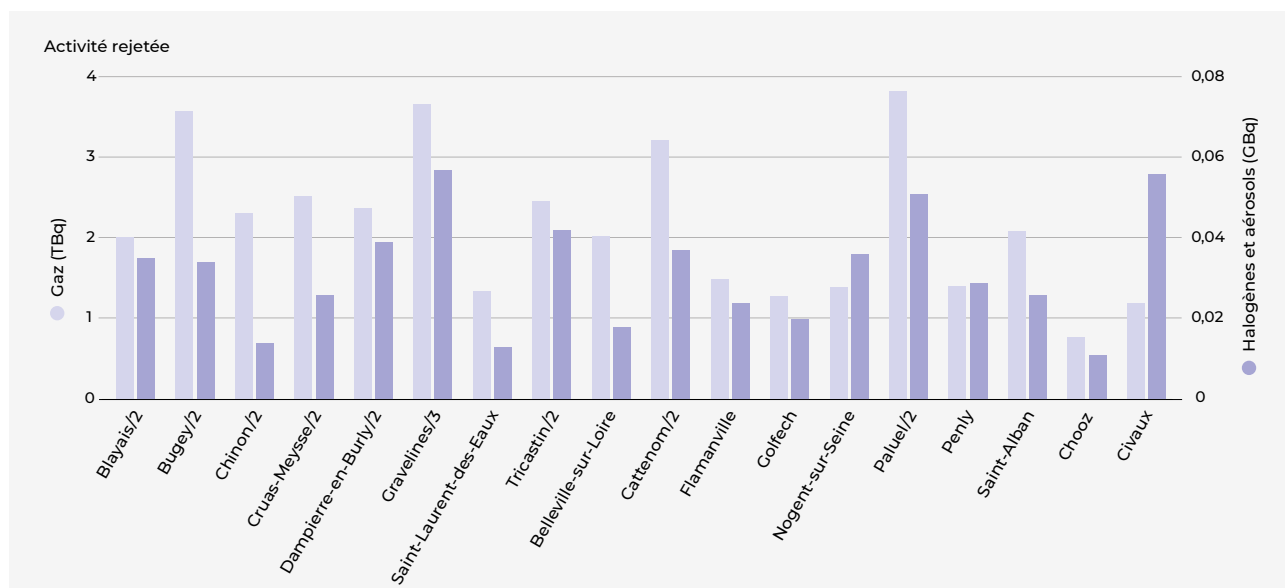
### 2.6.3 L'évaluation de la maîtrise des impacts environnementaux et sanitaires et des risques non radiologiques

L'ASN contrôle les dispositions organisationnelles et matérielles mises en place par EDF pour prévenir les risques non radiologiques et les pollutions liquides pouvant être induits par les substances dangereuses présentes dans ses installations. Elle contrôle également celles destinées à garantir la maîtrise des inconvénients issus de l'exploitation des installations tels que les prélèvements en eau, les rejets d'effluents dans le milieu naturel et les risques pathogènes. Comme chaque année, l'ASN a mené en 2023 des inspections sur ces dispositions.

GRAPHIQUE 3 Rejets radioactifs liquides pour les centrales nucléaires en 2023 (par paire de réacteurs)



GRAPHIQUE 4 Rejets radioactifs gazeux pour les centrales nucléaires en 2023 (par paire de réacteurs)



Chaque site pouvant avoir un nombre de réacteurs différent, pour permettre la comparaison d'un site à l'autre, les résultats sont ramenés par « paire de réacteurs ». Cela revient par exemple à : conserver les résultats en l'état pour le site de Golfech, qui a deux réacteurs ; diviser par deux ceux de Chinon, qui a quatre réacteurs (Chinon/2) ; diviser par trois ceux de Gravelines, qui a six réacteurs (Gravelines/3). Par ailleurs, les données de rejets de chaque site, transmises par EDF à l'ASN, ne sont pas représentatives du temps de fonctionnement des installations ou des activités.



## LE FONCTIONNEMENT DES CENTRALES NUCLÉAIRES EN PÉRIODE DE CANICULE

Une période de canicule et de sécheresse a trois conséquences principales sur le fonctionnement des réacteurs nucléaires.

### Le fonctionnement des équipements participant à la sûreté du réacteur en période de canicule

Les fortes chaleurs entraînent des températures élevées de l'air, provoquant une augmentation de la température dans les locaux des centrales nucléaires. Au sein de ces locaux, le bon fonctionnement des équipements contribuant à la sûreté des réacteurs nucléaires est assuré jusqu'à une certaine température ambiante. Des équipements de ventilation et de climatisation permettent que cette température ne soit pas dépassée. Les températures auxquelles doivent faire face les réacteurs sont régulièrement réévaluées, notamment à l'occasion des réexamens périodiques. Ces réévaluations prennent en compte les évolutions climatiques.

### L'évacuation de la chaleur produite par les réacteurs en situation de température élevée des cours d'eau

Pour contribuer au refroidissement de ses réacteurs, une centrale nucléaire prélève de l'eau dans un cours d'eau ou dans la mer. Cette eau est ensuite restituée au cours d'eau ou à la mer à une température plus élevée, soit directement (réacteur dit « en circuit ouvert »), soit après refroidissement dans des tours aéroréfrigérantes (réacteur dit « en circuit fermé ») qui

permettent une évacuation partielle de la chaleur dans l'atmosphère.

Cette eau rejetée par la centrale nucléaire entraîne une élévation de la température du cours d'eau entre l'amont et l'aval du rejet. Cette élévation peut aller, suivant les réacteurs, de quelques dixièmes de degrés (en cas de circuit fermé) à plusieurs degrés (en cas de circuit ouvert). Afin d'en maîtriser les conséquences sur l'environnement, les conditions thermiques de ces rejets sont encadrées par des décisions de l'ASN, propres à chaque centrale nucléaire. Les prescriptions fixées imposent des valeurs limites concernant la température de rejet des eaux de refroidissement dans le milieu naturel et l'échauffement en aval de la centrale nucléaire, ainsi que des modalités de surveillance de l'environnement. Ainsi, quand la température du cours d'eau à l'amont de la centrale est trop élevée, EDF doit réduire la puissance produite par les réacteurs, voire les arrêter, afin de respecter les valeurs limites associées à la température en aval.

Depuis 2006, l'ASN a intégré dans les décisions encadrant les rejets des centrales nucléaires des dispositions visant à définir à l'avance les modalités de fonctionnement des centrales nucléaires dans des conditions

climatiques exceptionnelles conduisant à un échauffement significatif des cours d'eau. Ces dispositions particulières sont applicables si la sécurité du réseau électrique est en jeu. Un assouplissement temporaire des valeurs limites des rejets thermiques peut aussi être autorisé par l'ASN, à la demande d'EDF, en cas de besoin du réseau électrique, comme cela a été le cas durant les épisodes caniculaires des étés 2003, 2006 et 2022. Dans ce cas, la surveillance de l'environnement est renforcée.

### La gestion des effluents radioactifs en période de sécheresse

Le débit du cours d'eau peut également empêcher EDF de rejeter les effluents liquides issus des réacteurs nucléaires. Afin de limiter l'impact de ces rejets sur le milieu récepteur, l'ASN a fixé, pour chaque centrale implantée en bord de rivière, une valeur minimale du débit du cours d'eau en deçà de laquelle les rejets d'effluents radioactifs ne peuvent être réalisés. En deçà de ces valeurs, EDF doit entreposer ces effluents dans l'attente de conditions de débit favorables. Les centrales nucléaires disposent de réservoirs de secours offrant des capacités d'entreposage d'effluents supplémentaires pour faire face à des situations exceptionnelles, dont l'utilisation doit faire l'objet d'un accord préalable de l'ASN.

En particulier, l'ASN a mené une campagne d'inspections renforcées au sein des centrales nucléaires de [Dampierre-en-Burly](#), de [Belleville-sur-Loire](#) et de [Gravelines](#) sur ces thèmes. Lors de ces inspections, les inspecteurs ont procédé à des contrôles sur le terrain, à des exercices de mises en situation ainsi qu'à l'examen de l'organisation des centrales.

Concernant la maîtrise des risques non radiologiques, bien que quelques points d'amélioration aient été identifiés, en particulier au sujet de la préparation au risque de dégagement de substances dangereuses pour protéger les personnes à l'intérieur et à l'extérieur du site, les inspecteurs ont relevé l'investissement marqué des équipes EDF dans ce domaine. Ce point, confirmé par d'autres inspections spécifiques sur ce thème, constitue une avancée par rapport aux constats réalisés par l'ASN en 2022. En 2024, l'ASN maintiendra sa vigilance sur ce sujet.

Dans le domaine de la maîtrise des prélèvements et rejets, les inspecteurs ont constaté le vieillissement de certains matériels participant à la gestion des effluents radioactifs et chimiques, tels que les équipements contribuant au traitement des effluents, à la production d'eau déminéralisée et au traitement des boues issues de cette production. Ce vieillissement et les dysfonctionnements associés de certains matériels peuvent avoir des conséquences en matière de disponibilité, d'efficacité des traitements, de qualité des effluents rejetés, de consommation d'eau et de mobilisation des réservoirs de stockage des effluents avant rejet dans l'environnement. Par ailleurs, plusieurs incidents survenus en 2023 liés à des fuites de produits chimiques à l'intérieur des installations de quelques centrales nucléaires trouvent également leur origine dans le vieillissement des matériels.

Enfin, s'agissant de l'adaptation au changement climatique des centrales nucléaires, la campagne d'inspections renforcées a mis en évidence la nécessité d'élaborer, à l'échelle de chaque site, une stratégie de moyen et long terme prenant en compte leurs enjeux spécifiques (état des matériels participant aux effluents, dimensionnement et disponibilité des réservoirs d'entreposage des effluents avant rejet, contraintes associées aux prélèvements d'eau pendant les périodes d'étiage, etc.). Cette stratégie doit également aborder, au regard du REX de certaines centrales nucléaires, les enjeux de consommation d'eaux souterraines en veillant notamment à mieux identifier et prévenir les fuites pouvant affecter les réseaux enterrés.

Cette campagne d'inspections renforcées sera reconduite en 2024 sur trois autres centrales nucléaires sur les thématiques de la maîtrise du confinement des pollutions liquides incidentelles. En effet, plusieurs incidents de ce type sont survenus en 2023.

D'une manière plus générale, l'ASN a constaté en 2023, dans la continuité des années précédentes, que la gestion des rejets reste maîtrisée par la plupart des sites. Cependant, certains événements traduisent des fragilités révélatrices de défauts de fonctionnement de certains matériels tels que les déshuileurs ou les installations de traitement antitartre à l'acide sulfurique des tours aéroréfrigérantes.

En matière de gestion des déchets, les contrôles menés par l'ASN font apparaître que leur gestion opérationnelle doit encore être améliorée, même si la tendance à l'amélioration observée en 2022 s'est poursuivie en 2023. L'ASN constate encore lors de ses inspections des cas de non-respects des référentiels d'exploitation, en particulier concernant les durées d'entreposage et la tenue des inventaires, ainsi que des entreposages non-conformes.

## 2.7 LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS

### 2.7.1 L'exposition des travailleurs 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 rayonnement sont présents (neutrons,  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$ ), avec un risque d'expositions externe et interne. Dans la pratique, les doses reçues proviennent majoritairement des expositions externes aux rayonnements  $\beta$  et  $\gamma$  et sont principalement liées aux opérations de maintenance lors des arrêts de réacteur.

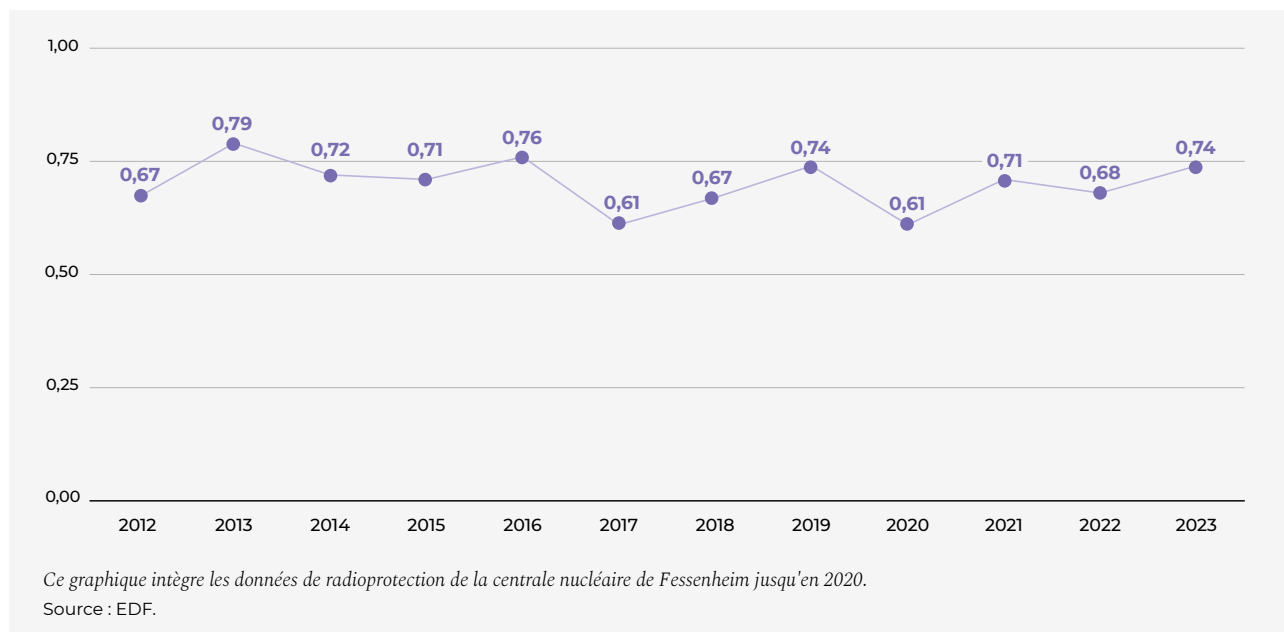
Au cours de l'année 2023, les travaux de maintenance en lien avec la problématique de CSC de lignes auxiliaires au circuit primaire se sont poursuivis sur plusieurs réacteurs et ont contribué à l'augmentation de la dosimétrie collective moyenne

(voir graphique 5 ci-dessous), ainsi que de la dose moyenne reçue par les travailleurs pour une heure de travail en zone contrôlée (voir graphique 6 ci-dessous) par rapport à l'année 2022.

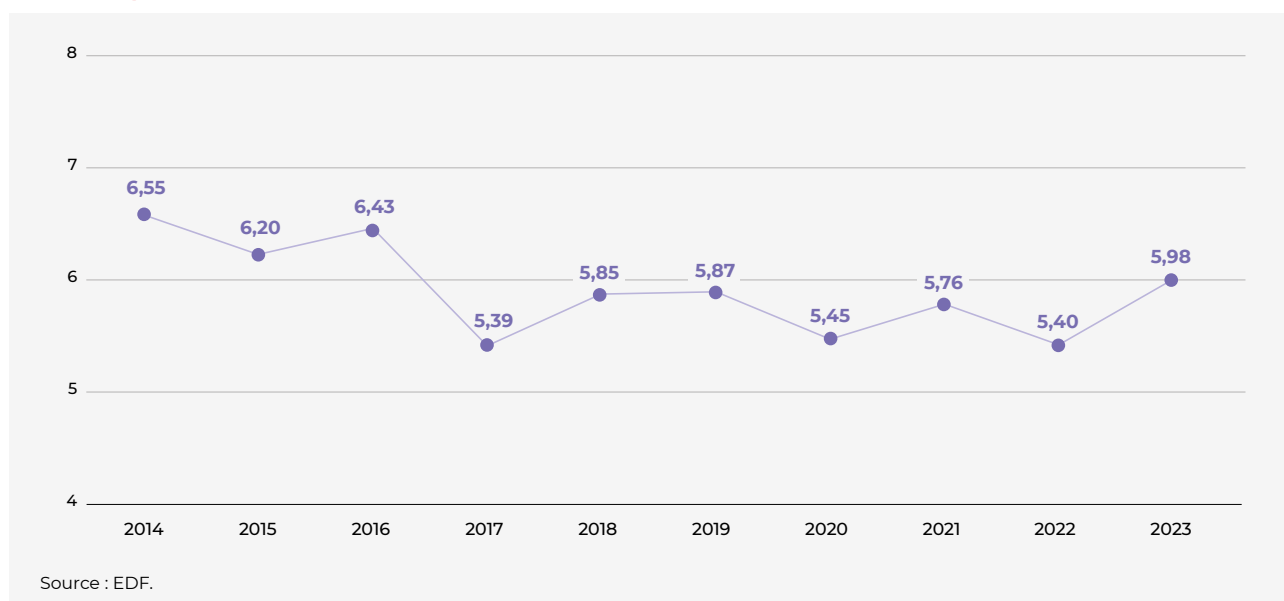
Le graphique 7 (voir page suivante) présente la répartition des intervenants en fonction de la dosimétrie externe pour le corps entier. En 2023, 76% des travailleurs ont été exposés à une dose inférieure à un millisievert (mSv), ce qui est comparable aux années précédentes. Aucun dépassement de la limite réglementaire annuelle relative à la dosimétrie externe pour le corps entier (20 mSv) n'a été relevé en 2023.

Le graphique 8 (voir page suivante) présente l'évolution de la dosimétrie individuelle moyenne pour le corps entier en fonction des catégories de métiers des travailleurs intervenant dans les centrales nucléaires. Comme les années précédentes, les travailleurs les plus exposés sont les personnels chargés du calorifugeage.

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



GRAPHIQUE 6 Dose collective pour une heure de travail en zone contrôlée (en  $\mu$ Sv)





Les autres catégories de métiers les plus exposés demeurent également inchangées : soudeurs, personnels chargés des activités de contrôles non destructifs, de la mécanique et des servitudes. Pour ces dernières catégories de métier, la dose individuelle moyenne a augmenté en 2023, en particulier pour les travailleurs chargés des contrôles non destructifs (augmentation de 33% de la dose individuelle moyenne par rapport à 2022) et les soudeurs (augmentation de 13%), qui ont particulièrement été sollicités dans le cadre des travaux en lien avec la problématique de CSC.

**Les événements significatifs de contamination**

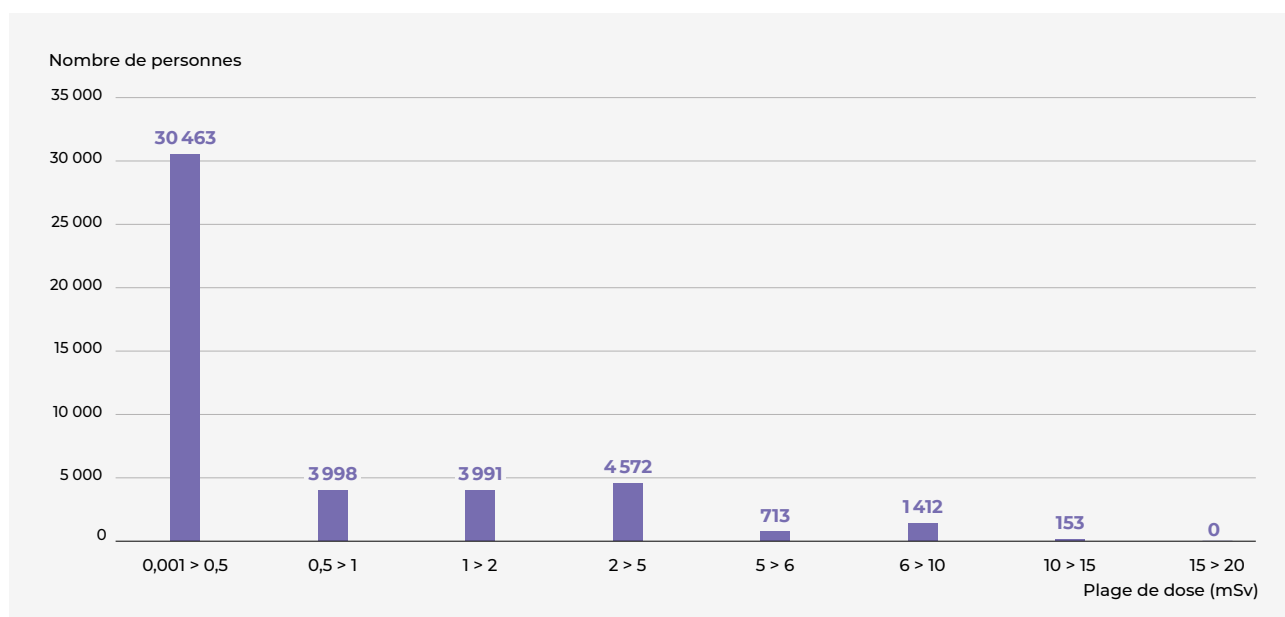
EDF a déclaré en 2023 deux événements de contamination significative des travailleurs dans les centrales nucléaires, contre six en 2022. Le premier a entraîné une exposition supérieure au quart de la limite réglementaire annuelle pour la peau et a été classé au

niveau 1 sur l'échelle INES. Le second a concerné une exposition supérieure à la limite réglementaire annuelle pour la peau et a été classé au niveau 2 sur l'échelle INES (voir encadré page suivante). Dans les deux situations, les travailleurs concernés par ces événements ont été pris en charge et les particules radioactives responsables de leur contamination ont été retirées.

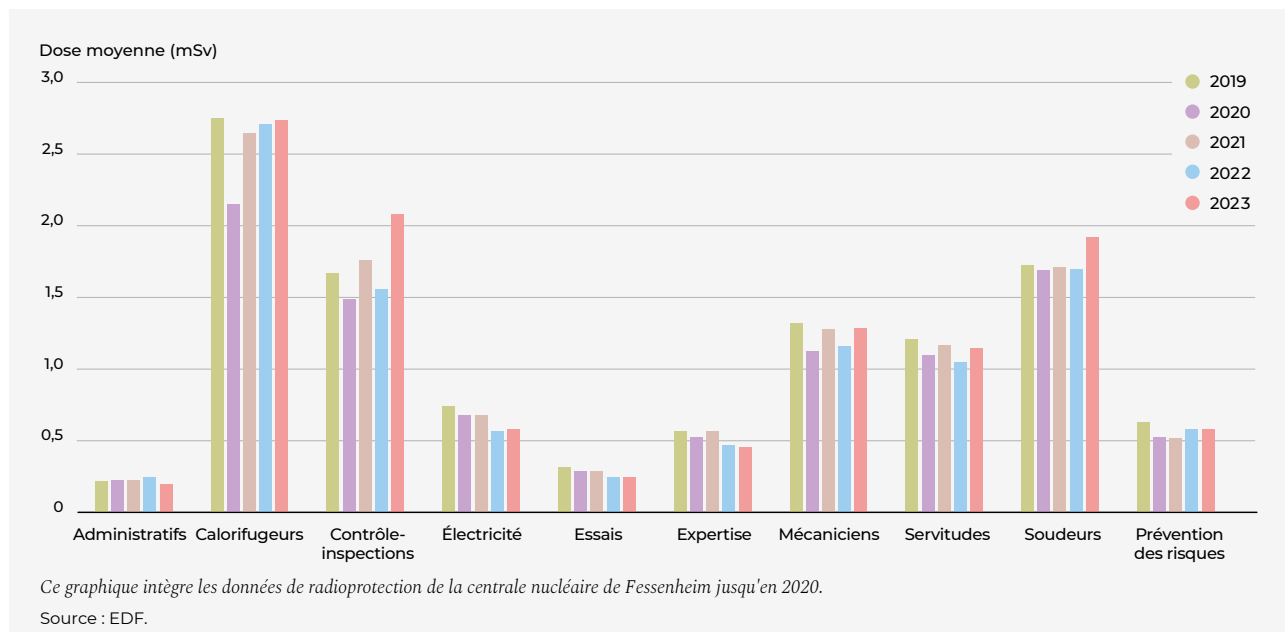
**2.7.2 L'évaluation de la radioprotection des travailleurs**

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

**GRAPHIQUE 7** Nombre d'intervenants par plage de dose (en mSv) sur l'année 2023



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



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

Au cours des inspections menées en 2023, en particulier lors d'inspections renforcées réalisées sur les centrales nucléaires du [Tricastin](#), de [Cruas-Meysses](#) et du [Bugey](#), l'ASN a constaté un fonctionnement globalement satisfaisant des pôles de compétence en radioprotection approuvés fin 2022 sur l'ensemble des centrales nucléaires. La démarche de préparation des interventions et d'optimisation des doses est également considérée comme satisfaisante sur la plupart des centrales nucléaires.

Néanmoins, l'ASN a relevé sur plusieurs centrales nucléaires des écarts concernant le respect des règles particulières de prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants applicables pour les travailleurs les plus vulnérables (jeunes travailleurs de moins de 18 ans, personnel en contrat à durée déterminée) et sera vigilante à leur traitement.

L'ASN note que les difficultés sur les interventions de radiographie industrielle relevées en 2022 persistent, au regard du nombre d'événements significatifs déclarés en lien avec ces chantiers, malgré les actions engagées par EDF dans ce domaine.

Par ailleurs, les inspections ont permis d'identifier des points sur lesquels des améliorations sont attendues dans la maîtrise du risque de dispersion de la contamination au sein et hors des installations, dont en particulier les locaux dits « annexes » (tels que les bâtiments de conditionnement des déchets, les ateliers dédiés aux matériels contaminés ou les bâtiments de contrôle ultime des colis avant expédition).

À l'occasion des inspections programmées en 2024, dans le cadre notamment d'une nouvelle campagne d'inspections renforcées, l'ASN sera particulièrement vigilante sur l'ensemble de ces points.

## 2.8 LE DROIT DU TRAVAIL DANS LES CENTRALES NUCLÉAIRES

### 2.8.1 Le contrôle 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 23 000 salariés d'EDF et 11 000 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

Dans la continuité des actions engagées en 2022, les inspecteurs du travail ont mené dans l'ensemble des centrales nucléaires des contrôles sur les vérifications des installations électriques qu'EDF est tenue de faire réaliser au titre du code du travail.

### CONTAMINATION EXTERNE D'UN INTERVENANT À LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE CATTENOM

Le 2 février 2023, une [contamination d'un intervenant prestataire d'EDF](#) a été détectée lors du contrôle réalisé à la sortie de la zone contrôlée du bâtiment du réacteur 3 de la [centrale nucléaire de Cattenom](#). La personne a été prise en charge par le service médical, qui a localisé la particule radioactive à l'origine de cette contamination au niveau de la joue. La particule a été retirée.

L'intervenant concerné réalisait une activité de pose de calorifuge sur des robinets de différents circuits dans le bâtiment du réacteur, qui était à l'arrêt dans le cadre des activités de contrôle et de réparation en lien avec le phénomène de CSC.

L'évaluation de la dose reçue par l'intervenant dépasse la limite réglementaire pour la dose équivalente à la peau fixée à 500 millisieverts (mSv) pour une surface de 1 cm<sup>2</sup> de peau.

EDF a déclaré un ESR. 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.

À la suite de la déclaration de cet événement, l'ASN a mené une inspection de la centrale nucléaire de Cattenom, afin de vérifier qu'EDF avait pris toutes les mesures nécessaires pour gérer l'événement de manière adéquate et pour en analyser les causes.

Le précédent ESR de niveau 2 déclaré par une centrale nucléaire d'EDF remonte à 2021.

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 de ces vérifications ou pour coordonner celles-ci entre les différentes entités d'EDF.

Ils ont aussi réalisé des contrôles dans le cadre de deux campagnes visant l'ensemble des centrales nucléaires sur le thème de la prévention des risques liés aux travaux effectués par une entreprise extérieure, ainsi que sur les équipements de travail mobiles et de levage.

Parallèlement, les inspecteurs du travail ont poursuivi leurs actions de contrôle lors des opérations de maintenance présentant des risques liés à la non-conformité des équipements de travail et plus spécialement des appareils de levage.

Enfin, les inspecteurs du travail ont suivi tous les événements mettant en cause la sécurité des travailleurs survenus sur les sites, engageant systématiquement des enquêtes en cas d'accident ou de presque accident graves. Ils ont aussi été sollicités pour traiter des dossiers en lien avec les risques psychosociaux et la durée du travail.

### 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

L'ASN relève que, selon les données d'EDF portant sur les neuf premiers mois de 2023 comparés à la même période de 2022, l'accidentologie globale est en hausse de 10% (+17% pour les accidents avec arrêts de travail, +3% pour les accidents sans arrêt de travail) avec un nombre d'heures travaillées plus important en 2023.

Ces accidents de travail concernent principalement les chutes de plain-pied (44%), la manipulation d'objets ou d'outils (22%), la manutention manuelle (9%) et les malaises (7%). Cette accidentologie sur site, portée à 54% par les prestataires en 2023, est en baisse (63% en 2022).

Concernant les presque accidents, plus de la moitié portent sur les risques critiques (portée respectivement à 33% par le levage, 18% par les risques électriques, 12% par les chutes de hauteur). Certains contextes de risques professionnels, tels que ceux liés aux équipements de travail, notamment de levage, à l'amiante, ou aux risques électriques doivent encore être améliorés. L'ASN poursuivra en 2024 des actions de contrôle dans ces domaines.

En 2023, le climat social s'est dégradé, notamment dans les entreprises prestataires, conduisant l'inspection du travail à intervenir dans le règlement de situations litigieuses, individuelles ou collectives. Les centrales nucléaires ont aussi fait l'objet de mouvements sociaux, en début d'année, dans le cadre de la réforme des retraites.

Des rappels ont également été faits par les inspecteurs du travail sur les conditions de travail en cas de fortes chaleurs, le travail du 1<sup>er</sup> mai et le respect des durées maximales du travail.

## 3 La poursuite du fonctionnement des centrales nucléaires

### 3.1 L'ÂGE DES CENTRALES NUCLÉAIRES

Les centrales nucléaires actuellement en fonctionnement en France ont été construites sur une période de temps assez courte : [45 réacteurs électronucléaires](#) représentant près de 50 000 MWe, soit les trois quarts de la puissance délivrée par l'ensemble des réacteurs électronucléaires français, ont été mis en service entre 1980 et 1990, et sept réacteurs, représentant 10 000 MWe, entre 1991 et 2000. En décembre 2023, la moyenne d'âge des 56 réacteurs en fonctionnement, calculée à partir des dates de première divergence, se répartit comme suit :

- 41 ans pour les 32 réacteurs électronucléaires de 900 MWe ;
- 36 ans pour les 20 réacteurs électronucléaires de 1 300 MWe ;
- 26 ans pour les quatre réacteurs électronucléaires de 1 450 MWe.

### 3.2 LE RÉEXAMEN PÉRIODIQUE

#### Le principe du réexamen périodique

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

- la vérification de l'état de l'installation et de sa conformité : cette première étape vise à évaluer la situation de l'installation au regard des règles qui lui sont applicables. Elle s'appuie sur un ensemble de contrôles et d'essais complémentaires à ceux réalisés au fil de l'eau. Ces vérifications peuvent comprendre des revues de conception, ainsi que des contrôles sur le terrain de matériels ou encore des essais décennaux comme les épreuves des enceintes de confinement. Les éventuels écarts détectés lors de ces investigations font ensuite l'objet de remises en conformité dans des délais adaptés aux enjeux. La maîtrise du vieillissement est également intégrée à ce volet du réexamen ;
- la réévaluation de sûreté : cette seconde étape vise à améliorer le niveau de sûreté en tenant compte notamment de l'expérience acquise au cours de l'exploitation, de l'évolution des connaissances, des exigences applicables aux installations les plus récentes, ainsi que des meilleures pratiques internationales. À l'issue des études de réévaluation, EDF identifie les modifications de ses installations qu'elle compte mettre en œuvre pour en renforcer la sûreté.

#### Le processus de réexamen des réacteurs électronucléaires d'EDF

Afin de tirer bénéfice de la standardisation de ses réacteurs électronucléaires, EDF met en œuvre tout d'abord un programme d'études génériques pour un type de réacteur donné (réacteurs de 900 MWe, de 1 300 MWe ou de 1 450 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 le GPE. Cette position clôt la phase générique du réexamen, commune à tous les réacteurs.

Cet examen générique ne tenant pas compte d'éventuelles spécificités individuelles, l'ASN prend position sur l'aptitude à la poursuite du fonctionnement de chaque réacteur électronucléaire en s'appuyant notamment sur les résultats des contrôles de conformité et sur l'évaluation du rapport de conclusion du réexamen périodique du réacteur remis par EDF. À la suite de l'instruction 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.

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

### 3.3 LES RÉEXAMENS PÉRIODIQUES EN COURS DES CENTRALES NUCLÉAIRES

#### Les réacteurs de 900 MWe

##### Le quatrième réexamen périodique

Les 32 réacteurs de 900 MWe d'EDF en fonctionnement ont été mis en service entre 1978 et 1987. 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

## Chronologie de première divergence des réacteurs électronucléaires français

Date de 1 <sup>re</sup> 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.

de sûreté des réacteurs de nouvelle génération, comme l'EPR, dont la conception répond à des exigences de sûreté significativement renforcées.

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

### Position de l'ASN sur la phase générique du réexamen

EDF a proposé en 2013 à l'ASN des objectifs pour ce réexamen périodique, 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. L'ASN a considéré que l'ensemble des dispositions prévues par EDF et celles qu'elle a prescrites ouvrent la perspective d'une poursuite de fonctionnement de ces réacteurs pour les dix ans qui suivent leur quatrième réexamen périodique.

En octobre 2023, EDF a sollicité auprès de l'ASN un report des échéances de certaines des prescriptions de la décision adoptée en février 2021. La survenue d'aléas techniques lors de la mise en œuvre de certaines dispositions, les évolutions de la programmation des arrêts pour renouvellement du combustible liées notamment à la découverte de CSC des lignes auxiliaires, à des arrêts fortuits de longue durée ou aux besoins du réseau électrique durant la période hivernale, ainsi que la concomitance

des autres réexamens périodiques, entraînant une tension sur ses capacités d'ingénierie, ont conduit EDF à revoir sa capacité à réaliser dans les délais les activités nécessaires au respect des prescriptions. L'ASN a considéré la demande d'EDF acceptable au vu des justifications apportées.

### Le déploiement du réexamen périodique sur les sites

EDF a réalisé la première des quatrièmes visites décennales en 2019 (réacteur 1 de la [centrale nucléaire du Tricastin](#)). Fin 2023, EDF a réalisé ou engagé 17 de ces visites décennales. Ces visites constituent une étape majeure des quatrièmes réexamens périodiques. Pendant ces arrêts, EDF réalise les contrôles attendus et déploie la majeure partie des améliorations de sûreté associées au réexamen.

Par ailleurs, en 2023, les enquêtes publiques liées au quatrième réexamen périodique des réacteurs 2, 4 et 5 de la [centrale nucléaire du Bugey](#) et des réacteurs 1 et 2 de la [centrale nucléaire de Dampierre-en-Burly](#) ont été organisées.

Enfin, le 29 juin 2023, l'ASN a [pris position](#) sur la poursuite de fonctionnement du réacteur 1 de la centrale nucléaire du Tricastin. Il s'agissait de la première prise de position de l'ASN sur un réacteur au vu des conclusions de son quatrième réexamen périodique.

### Le cinquième réexamen périodique

EDF a transmis à l'ASN en 2023 les orientations envisagées pour le programme d'études de la phase générique du cinquième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe.

L'ASN prendra position en 2024 sur ces orientations après consultation du Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR). La position de l'ASN sera également soumise à la consultation du public à l'automne 2024.

## 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 2.2.4).

Le processus de maîtrise du vieillissement mis en place par EDF

s'appuie sur trois axes principaux : l'anticipation des effets du vieillissement dès la conception, la surveillance de l'état réel de l'installation et la réparation ou le remplacement des matériels dégradés par les effets du vieillissement. En particulier, les équipements importants pour la sûreté font l'objet, avant d'être installés, d'un processus de qualification visant à s'assurer de leur capacité à remplir leurs fonctions dans les conditions correspondant aux situations dans lesquels ils seront nécessaires, en particulier les situations d'accident.

La maîtrise du vieillissement des matériels, ainsi que celle du risque d'obsolescence – qui désigne les

difficultés liées au maintien dans le temps de l'approvisionnement en pièces de rechange – sont essentielles au maintien d'un niveau de sûreté satisfaisant. Elles contribuent également au maintien dans le temps de la conformité des réacteurs aux règles qui leur sont applicables.

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

### Les réacteurs de 1 300 MWe

#### Le troisième réexamen périodique

L'ASN a [pris position](#) début 2015 sur les aspects génériques de la poursuite du fonctionnement des réacteurs de 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 1 300 MWe, visant à renforcer leur sûreté.

Les troisièmes visites décennales des réacteurs de 1300 MWe se dérouleront jusqu'en 2024.

#### Le quatrième réexamen périodique

En juillet 2017, EDF a établi 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 : l'ASN a jugé les objectifs généraux retenus par EDF pour ce réexamen 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. Par ailleurs, les modifications associées à ce réexamen périodique intégreront celles liées au déploiement du « noyau dur » (voir point 2.4.5).

### L'ASSOCIATION DU PUBLIC AU 4<sup>E</sup> RÉEXAMEN PÉRIODIQUE DES RÉACTEURS DE 1300 MWE

L'ASN a renforcé l'association du public aux différentes étapes du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe. Elle en fait de même actuellement pour la phase générique du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe.

Après avoir consulté le public en 2019 sur les orientations de ce réexamen, l'ASN a organisé en 2023 avec l'IRSN et l'Association nationale des comités et des commissions locales d'information ([Anccli](#)) des [journées de dialogue technique](#) sur les principaux enjeux du réexamen. Ainsi quatre réunions ont permis d'échanger avec des représentants des commissions locales d'information ([CLI](#)) et d'associations environnementales sur les accidents avec et sans fusion du cœur, les agressions auxquelles peuvent être soumis les réacteurs, le vieillissement des matériels, la protection de l'environnement, la résistance des cuves et les FOH.

Par ailleurs, l'ASN a également participé en 2023 à la préparation de la concertation nationale qui se tiendra sous l'égide du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire ([HCTISN](#)) au premier semestre 2024. Cette concertation portera sur les dispositions proposées par EDF dans le cadre de la phase générique du réexamen périodique. Elle s'appuiera notamment sur un site internet, des réunions publiques et des webinaires. L'ASN prendra en compte ses conclusions pour préparer sa position sur la phase générique de ce réexamen périodique prévue en 2025.

En 2023, l'ASN a poursuivi les instructions réalisées dans le cadre de la phase générique de ce réexamen périodique. Après avoir porté principalement sur les méthodes, les instructions ont concerné en 2023 les études d'application, en particulier concernant les enceintes de confinement, les études d'accident avec ou sans fusion du cœur, l'évaluation de la robustesse des installations aux agressions et les modalités de mise en œuvre de certains systèmes mis en œuvre dans le cadre du « noyau dur ». EDF a également poursuivi les études nécessaires à la mise à jour des dossiers de référence réglementaires des CPP et 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. L'ASN prendra position sur la phase générique de ce réexamen périodique six mois avant.

### Les réacteurs de 1 450 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 1 450 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 matière de prévention et de limitation des conséquences des accidents graves.

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

Les quatre réacteurs de 1 450 MWe ont remis leurs rapports de conclusion de réexamen entre 2020 et 2023.

#### Le troisième réexamen périodique

L'ASN a [pris position](#), après consultation du public et avis du GPR, en juillet 2023 sur les orientations proposées par EDF pour son programme d'études de la phase générique du troisième réexamen périodique des réacteurs de 1 450 MWe. Ce réexamen permettra de définir les conditions de la poursuite de fonctionnement de ces réacteurs jusqu'à leurs 40 ans. L'ASN a considéré que les objectifs généraux retenus par EDF pour ce réexamen étaient acceptables dans leur principe. Ces objectifs sont cohérents avec ceux retenus pour les quatrième réexamens périodiques des réacteurs de 900 MWe et de 1 300 MWe. Toutefois, l'ASN a demandé à EDF de compléter ou de préciser certains de ces objectifs généraux, de la même façon qu'elle l'avait fait pour les réacteurs de 900 MWe et de 1 300 MWe. La réévaluation de la sûreté de ces réacteurs et les améliorations qui en découlent seront réalisées au regard des objectifs de sûreté des réacteurs de nouvelle génération, comme l'EPR, dont la conception répond à des exigences de sûreté significativement renforcées. De plus, les modifications associées à ce réexamen périodique intégreront celles liées au déploiement du « noyau dur ».

## 4 Le contrôle de la sûreté du réacteur EPR de Flamanville

L'EPR est un REP dont la conception comporte plusieurs évolutions par rapport à celle des réacteurs actuellement en fonctionnement en France. Il répond à des objectifs de sûreté renforcés : réduction 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 de DAC 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 avant la mise en service du réacteur.

Après la délivrance de ce DAC 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.

Le chargement du combustible est prévu au premier semestre 2024.

### 4.1 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 une première demande d'autorisation de mise en service de l'installation, comprenant l'ensemble des pièces exigées par la réglementation. Cette demande a été renouvelée en juin 2021 et les pièces du dossier ont fait l'objet de plusieurs compléments et mises à jour.

Au cours de l'instruction, l'ASN a recueilli l'avis du GPR sur plusieurs thèmes et une séance a été consacrée à l'examen de la démonstration de sûreté. L'instruction de l'ASN prend également en compte les résultats des essais réalisés sur le site et le REX

des réacteurs EPR mis en service à l'étranger. À cette fin, l'ASN a entretenu des relations régulières avec les autorités de sûreté nucléaire finlandaise, chinoise et anglaise afin de bénéficier de leur expérience en matière d'essais de démarrage, de préparation à l'exploitation et de fonctionnement des réacteurs EPR.

Le dossier de demande d'autorisation de mise en service a fait l'objet d'une consultation du public.

### 4.2 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 la sûreté de l'installation ;
- 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.), afin d'améliorer la maîtrise de ces activités importantes pour la sûreté ;
- 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 portant sur la conception, la construction, les essais de démarrage du réacteur EPR de Flamanville et l'exploitation des réacteurs 1 et 2 existant 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 de la chaudière nucléaire.

En 2023, 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. Elle a en particulier achevé la remise à niveau des soudures des circuits secondaires. EDF a mis en œuvre un programme de contrôles complémentaires dans le cadre de la revue de qualité demandée par l'ASN du fait de lacunes importantes constatées dans la surveillance exercée sur ses prestataires. Enfin, EDF a également poursuivi la réalisation du programme d'essais de démarrage du réacteur et a terminé, en fin d'année 2023, la phase de requalification à chaud des équipements préalable à la mise en service du réacteur. Depuis décembre 2023, le site est entré dans une phase de préparation au chargement du combustible dans le réacteur.

#### 4.3 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 2023 les instructions liées à la demande d'autorisation de mise en service et a conclu favorablement sur plusieurs sujets techniques à enjeux. C'est en particulier le cas de la conception des soupapes de sécurité du circuit primaire, des performances du système de filtration du réservoir d'eau interne à l'enceinte de confinement et de la prise en compte des enseignements de la mise en service des premiers réacteurs EPR à l'étranger, notamment des différentes anomalies constatées sur les cœurs des réacteurs EPR de Taishan (Chine), dont les percements de gaines de combustible observés en 2021.

Les dernières instructions en cours permettront de prendre en compte les résultats des essais de requalification d'ensemble afin de vérifier que le réacteur tel que construit et exploité est conforme à son référentiel de sûreté.

##### L'évaluation de la conformité des équipements sous pression nucléaires

Les ESPN du réacteur de Flamanville comprennent à la fois ceux constituant le CPP et les CSP présentés aux points 1.4 et 1.5 (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 2023, l'ASN a poursuivi l'évaluation de la conformité de la conception des ESPN. Les principales thématiques soulevées par ces évaluations ainsi que leurs conclusions ont été présentées lors des séances du GPESPN des 20 et 21 juin 2023. Les sujets associés aux réparations des soudures des [tuyauteries principales d'évacuation de la vapeur](#) (soumises au référentiel d'exclusion de rupture), ainsi que les opérations réalisées sur les autres tuyauteries non soumises à ce référentiel, au traitement thermique de détensionnement des soudures, ou à la prévention des risques de CSC, ont été présentés lors de ces séances. L'ASN a considéré que ces différents sujets ont été traités, *in fine*, d'une manière lui permettant de statuer sur la conformité des

#### SOUDES DES CIRCUITS SECONDAIRES DU RÉACTEUR EPR DE FLAMANVILLE

Les soudures des tuyauteries des CSP du réacteur EPR de Flamanville ont nécessité d'importantes réparations. La majorité de ces soudures sont situées sur les tuyauteries de vapeur principales, qui 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.

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.

En parallèle, EDF a analysé la qualité des autres soudures, en particulier celles des tuyauteries d'eau alimentaire des GV. Ce travail l'a conduite à décider de réparer une dizaine de soudures supplémentaires.

Les travaux réalisés sur l'ensemble de ces soudures se sont achevés en 2023 par les activités de traitement thermique de détensionnement et de contrôle non destructif, et la réalisation des épreuves hydrauliques. Cette dernière étape constitue l'étape clé de la vérification finale de ces activités de réparation.

L'ASN a procédé à des contrôles à chacune des étapes de ces réparations, avec l'appui d'un organisme habilité.

équipements concernés. Sur certains sujets tels que la CSC ou le revêtement de certains robinets, des actions de suivi devront néanmoins être déployées par EDF lors des premières années d'exploitation.

Par ailleurs, plusieurs cas d'irrégularités intervenues lors de la fabrication d'équipements ont été signalés à l'ASN. L'ASN analyse systématiquement leurs conséquences potentielles pour la sûreté de l'installation.

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

En 2023, l'ASN a mené une campagne d'inspections, portant sur EDF, Framatome, ainsi que sur l'organisme qu'elle a mandaté pour réaliser des actions de contrôle, centrée sur la remise à niveau des soudures des circuits secondaires. L'ASN considère que ces travaux ont été menés avec rigueur, avec une bonne surveillance de la part d'EDF, permettant ainsi d'apporter une confiance dans l'atteinte d'un haut niveau de qualité de réalisation.

Le contrôle de la construction a mis en évidence, à plusieurs reprises, des défauts de qualité de réalisation, qui ont nécessité des actions correctives. À la demande de l'ASN, EDF a réalisé des vérifications complémentaires dans le cadre d'une revue de qualité des matériels. En 2023, l'ASN a instruit les résultats qui ont conclu à la qualité de réalisation des matériels et ont permis d'identifier des axes d'amélioration à mettre en œuvre dans le cadre du projet EPR 2.

Au vu des nombreux décalages de planning, EDF a mis en œuvre une stratégie de conservation des matériels dans l'attente de la mise en service. Les activités de conservation ont fait l'objet d'une inspection sur site par l'ASN en 2023, qui a permis de constater que la stratégie d'EDF s'est avérée satisfaisante au vu des actes de maintenance complémentaires mis en œuvre et des vérifications menées sur les équipements à la fin de la phase de conservation.

Depuis 2022, l'ASN a également engagé une campagne d'inspections portant sur l'achèvement de l'installation, afin de contrôler la prise en compte par EDF des activités restant à mener (fin de montage, modifications, essais, traitement des écarts, etc.) et de la planification de leur réalisation avant la mise en service du réacteur. L'ASN considère qu'un travail important a été mené depuis plusieurs années permettant d'obtenir un état de finition satisfaisant. Elle restera néanmoins vigilante au solde des activités avant la mise en service.

L'ASN a poursuivi l'instruction du bilan des essais de démarrage de l'installation, afin de vérifier que l'installation telle que réalisée respecte les hypothèses retenues dans la démonstration de sûreté. Cette instruction se poursuivra en 2024, notamment sur la base des résultats des essais de préparation au chargement et des essais de démarrage du réacteur.

L'ASN a poursuivi son contrôle de la préparation à l'exploitation et a notamment mené en mai 2023 une inspection de revue de

cinq jours ayant mobilisé 15 inspecteurs et 11 experts de l'IRSN. Lors de cette inspection, l'ASN a relevé que les organisations d'exploitation étaient définies et pour la plupart déjà mises en œuvre et que les agents avaient une bonne connaissance de l'installation. Néanmoins, l'ASN a noté qu'un travail important restait à mener sur l'élaboration de la documentation opérationnelle pour la conduite et la maintenance de l'installation. L'ASN procédera en 2024 à une inspection de récolement avant la mise en service pour s'assurer que les actions définies en réponse à ses demandes ont bien été mises en œuvre et répondent aux objectifs fixés.

[Au global sur l'année 2023](#), l'ASN a réalisé 10 inspections d'EDF sur le site de Flamanville, dont une inspection de revue sur la préparation à l'exploitation et une inspection renforcée sur les essais de requalification à chaud, et trois inspections dans les services d'ingénierie. L'ASN a également procédé à des inspections au titre du code du travail. Les conclusions de ces inspections sont présentées dans le panorama régional en introduction de ce rapport.

## 5 Le contrôle du projet de réacteurs EPR 2

EDF a engagé un programme de construction de réacteurs de type [EPR 2](#) en France. Une première paire de réacteurs est prévue sur le site de [Penly](#) en Seine-Maritime, une deuxième sur le site de [Gravelines](#) dans le Nord et une troisième sur le site du [Bugey](#) dans l'Ain. EDF a pour objectif de mettre en service les réacteurs EPR 2 du site de Penly à l'horizon de 2035-2037. Dans cette perspective, un [débat public](#) a été organisé du 27 octobre 2022 au 27 février 2023, à la suite duquel EDF a déposé une demande de DAC auprès de la ministre chargée de la sûreté nucléaire fin juin 2023. Cette demande est en cours d'instruction par l'ASN, avec l'appui technique de l'IRSN. Cette instruction s'inscrit dans la continuité de l'évaluation des options de sûreté du réacteur EPR 2.

### Options de sûreté des réacteurs EPR 2

L'EPR 2 est un nouveau réacteur qui 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 actuellement en service. Comme les réacteurs EPR, il vise à répondre aux objectifs généraux de sûreté des réacteurs de troisième génération. Par ailleurs, il a vocation à intégrer, dès sa conception, l'ensemble des 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 de ce projet de réacteur avec l'appui de l'IRSN, en tenant compte des recommandations du [Guide n° 22](#) relatif à la conception des réacteurs à eau sous pression. L'ASN a ainsi [publié le 16 juillet 2019 son avis](#) sur les options de sûreté proposées. L'ASN a considéré que les objectifs généraux de sûreté, le référentiel de sûreté et les principales options de conception sont globalement satisfaisants et a identifié, dans son avis et dans un courrier transmis à EDF en [juillet 2021](#) qui le complète, les sujets à approfondir en vue d'une future demande de DAC.

### Instructions techniques menées en 2023

À la suite de l'instruction des options de sûreté de l'EPR 2, l'ASN a poursuivi, avec l'appui de l'IRSN, l'évaluation technique de ce modèle de réacteur, sur la base notamment d'une version préliminaire du rapport de sûreté qu'EDF lui a transmise en février 2021. En 2023, l'ASN a fait part à EDF de ses demandes sur la démarche d'étude des accidents, avec ou sans fusion de combustible, qui y est présentée. Les éléments qu'EDF apportera en réponse à ces demandes seront examinés au cours de l'instruction de la demande de DAC.

En janvier 2023, l'ASN a réuni le [GPESPN](#) sur le référentiel d'application de la démarche d'exclusion de rupture aux composants non ruptibles, aux tuyauteries principales des circuits primaire et secondaires des réacteurs EPR 2 et sur la définition des situations et charges des ESPN du CPP et des CSP. La démarche d'exclusion de rupture faisait en effet partie des sujets pour lesquels l'ASN avait demandé des compléments dans son avis de 2019.

L'ASN considère que, compte tenu des dispositions et justifications complémentaires apportées par EDF, le référentiel d'application de la démarche d'exclusion de rupture aux composants non ruptibles et aux tuyauteries principales des circuits primaire et secondaires du projet de réacteur EPR 2 est acceptable. Cette position reste encore à confirmer par l'aboutissement de certaines études et la validation du choix de certains matériaux.

Par ailleurs, l'ASN a examiné les dossiers d'options des principaux ESPN des réacteurs EPR 2. L'ASN a rendu des avis concernant la cuve en 2021, les GV en 2022 et le pressuriseur et les tuyauteries de vapeur principales en 2023.

En réponse à une sollicitation d'EDF, l'ASN a également exprimé, en juin 2023, ses attentes sur la prise en compte des spécificités liées au site du Tricastin, dans l'éventualité où ce site serait retenu pour l'implantation de réacteurs EPR 2.