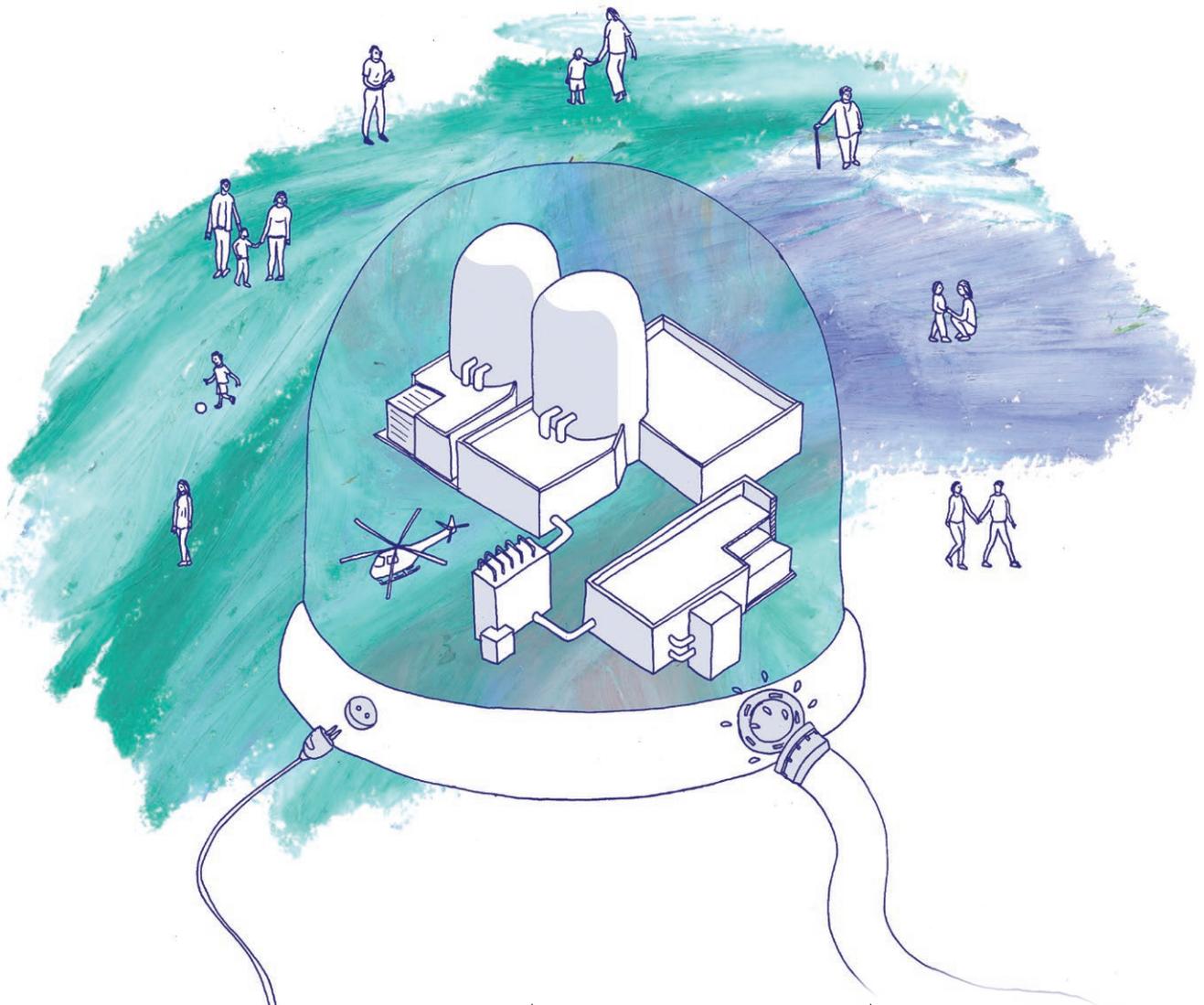


10 ANS APRÈS FUKUSHIMA

Quelles améliorations pour la sûreté des installations nucléaires en France ?



L'accident nucléaire de Fukushima

Le renforcement de la sûreté en France

La gestion de crise et post-accidentelle en France

Les enseignements d'autres accidents nucléaires

Sommaire

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE DE FUKUSHIMA

- Scénario catastrophe pour accident nucléaire majeur 2
- Échanger, analyser, informer en continu 4
- Mobilisation mondiale pour un événement capital 6

LE RENFORCEMENT DE LA SÛRETÉ EN FRANCE

- Fukushima: un accélérateur pour la sûreté nucléaire 8
- Visite guidée des améliorations de sûreté en place aujourd'hui dans les centrales nucléaires 10
- Des centrales plus sûres, aujourd'hui... et demain 12
- Des enjeux spécifiques pour les autres installations nucléaires 14

LA GESTION DE CRISE ET POST-ACCIDENTELLE EN FRANCE

- Faire face à un accident nucléaire 16
- Anticiper les conséquences d'un accident nucléaire 20

LES ENSEIGNEMENTS D'AUTRES ACCIDENTS NUCLÉAIRES

- Retour sur deux accidents marquants 22

GLOSSAIRE

24



Classé au niveau 7, le plus élevé sur l'échelle internationale des événements nucléaires (INES), **l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi** a eu des conséquences humaines et environnementales considérables.

*«Aucun pays ne doit céder à l'autosatisfaction en matière de sûreté nucléaire. Certains des facteurs qui ont contribué à l'accident de Fukushima Daiichi ne sont pas propres au Japon. **L'exercice permanent de l'esprit critique et de l'aptitude à apprendre de l'expérience est à la base de la culture de sûreté** et indispensable pour quiconque travaille dans le secteur de l'énergie nucléaire. La sûreté doit toujours venir en premier.»*

Ces propos de Yukiya Amano, directeur général de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) de 2009 à 2019, illustrent ce qui a inspiré **la réflexion et les décisions de l'ASN** pour améliorer la sûreté des installations nucléaires en France.



Scénario catastrophe pour accident nucléaire majeur

Un enchaînement de phénomènes naturels d'une ampleur exceptionnelle conduisant à un effet domino : les ingrédients sont réunis pour un accident majeur à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. En quatre jours, l'une des plus grandes centrales nucléaires du monde a été dévastée.



11 mars 2011

14h46

TREMBLEMENT DE TERRE

Le Japon enregistre le plus fort séisme de son histoire. D'une magnitude de 9,1 sur l'échelle de Richter, l'épicentre se situe en mer, à 130 km de la côte nord-est.

L'alimentation électrique est endommagée par le séisme mais l'alimentation de secours prend le relais. Les trois réacteurs en fonctionnement sont immédiatement arrêtés par les systèmes automatiques de sécurité, la procédure de refroidissement débute normalement.



15h41

TSUNAMI

Provoqué par le séisme, la vague, dont la hauteur atteint jusqu'à 30 m, ravage 600 km de côtes et pénètre dans les terres, parcourant jusqu'à 10 km.

La source électrique de secours est noyée par le tsunami et les pompes d'alimentation en eau sont alors mises hors service. Parallèlement, les prises d'eau en mer sont obstruées par des déchets dus au tsunami. Le refroidissement des cœurs des réacteurs ne repose plus que sur un seul système dont la défaillance conduira inéluctablement à la fusion des cœurs.



12 mars 2011

EXPLOSION DANS LE BÂTIMENT DU RÉACTEUR 1

Le bâtiment qui abrite ce réacteur s'effondre à la suite d'une explosion d'hydrogène.



Un tremblement de terre majeur, suivi d'un tsunami exceptionnel, ont conduit à la défaillance ou à la perte de tous les systèmes de secours.



L'épicentre du séisme est situé à 130 km du port de Sendai, dans l'océan Pacifique, à 25 km de profondeur sous la mer.



La centrale nucléaire de Fukushima Daiichi était équipée de six réacteurs « à eau bouillante » (REB). Le fluide qui traverse le cœur est de l'eau déminéralisée qui, portée à ébullition au contact des barres de combustible, se transforme en vapeur et actionne des turbo-alternateurs pour produire de l'électricité. Au moment de l'accident, seuls les réacteurs 1, 2 et 3 étaient en fonctionnement (les autres étaient à l'arrêt pour maintenance).

14 mars 2011

EXPLOSION DANS LE BÂTIMENT DU RÉACTEUR 3

Le toit du bâtiment du réacteur 3 est soufflé par une explosion d'hydrogène.



15 mars 2011

EXPLOSION DANS LE BÂTIMENT DU RÉACTEUR 2

L'explosion est une nouvelle fois due à l'hydrogène qui s'est accumulé dans le bâtiment réacteur.



EXPLOSION DANS LE BÂTIMENT DU RÉACTEUR 4

Le toit de la piscine d'entreposage de combustible usé a été soufflé, probablement en raison d'une explosion d'hydrogène issu du réacteur 3.



Les explosions successives des bâtiments sont imputables aux conséquences de la fusion des cœurs. Par défaut de refroidissement, l'eau de la cuve se transforme en vapeur, la température monte à plus de 1200°C. Le zirconium* qui constitue la gaine du combustible s'oxyde alors et cette réaction produit de l'hydrogène. Au contact de l'air, cet hydrogène sous pression va provoquer de violentes explosions.



Depuis l'accident, la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi devra être démantelée. La durée de ce démantèlement a été initialement évaluée à 40 ans mais, compte tenu des difficultés rencontrées, cette échéance est repoussée.

Échanger, analyser, informer en continu

Dès l'annonce de la catastrophe de Fukushima, l'ASN a activé son centre d'urgence qui va fonctionner 24 h sur 24 et 7 jours sur 7 pendant un mois. Son objectif est double : comprendre les causes de l'accident ; informer en continu la population française.



Avec 8 heures de décalage horaire, un éloignement de 10 000 km et la barrière linguistique, les conditions de l'information et de la compréhension sont rendues complexes. La cellule parisienne de l'ASN a la responsabilité d'un véritable centre d'information qui doit produire des informations fiables sur l'accident en lui-même et sur des éventuelles retombées atmosphériques en provenance du Japon, sans conséquence sanitaire sur le territoire français, pour ensuite les diffuser à différents publics.

« La crise nucléaire de Fukushima nous rappelle que nous ne pouvons en aucun cas nous nourrir de certitudes tranquilles. »

André-Claude Lacoste,
président de l'ASN de 2006 à 2012

Un réseau international d'information

L'ASN va produire ses analyses de la situation avec le concours de l'IRSN* – qui a sa propre cellule de crise –, et des liaisons quotidiennes avec l'ambassade de France au Japon. Parallèlement, elle collecte les communiqués des autorités japonaises et décrypte

les informations diffusées par les médias locaux. Enfin, elle complète sa compréhension de la situation par des conférences téléphoniques quotidiennes avec l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA*) et avec d'autres autorités de sûreté occidentales, comme celles des États-Unis, du Canada et de Grande-Bretagne.

1 500

sollicitations
médiatiques

36

communiqués
de presse

17

points presse
(entre le 12 mars
et le 14 avril 2011)

700 000

connexions au site Internet
de l'ASN

Informer et conseiller les autorités

Les informations majeures que rassemble l'ASN intéressent au premier chef l'État qui doit, le cas échéant, prendre des décisions rapides concernant le parc nucléaire national. Par ailleurs, s'agissant de la contamination des importations en provenance du Japon, l'ASN a émis des recommandations concernant les produits non-alimentaires. Les denrées alimentaires ont fait l'objet d'une réglementation européenne applicable de plein droit à la France. L'ASN a conseillé le Gouvernement et a tenu informé le Parlement et le HCTISN*.



CE QUE DIT LA LOI

Lorsque survient une situation d'urgence radiologique, l'ASN assiste le Gouvernement pour toutes les questions de sa compétence. Elle adresse aux autorités compétentes ses recommandations sur les mesures à prendre sur le plan médical et sanitaire ou au titre de la sécurité civile. Elle informe le public de l'état de l'installation à l'origine de la situation d'urgence, lorsque celle-ci est soumise à son contrôle, et des éventuels rejets dans l'environnement et de leurs risques pour la santé des personnes et pour l'environnement.

En matière de communication aussi, il y a un avant et un après Fukushima

Depuis 2011, l'ASN est devenue un acteur référent de l'information sur le nucléaire en France. La notoriété de l'ASN, la connaissance et la crédibilité de ses interventions ont connu une forte hausse à l'occasion de cette crise.

40%

des Français déclarent connaître l'ASN après la crise de Fukushima (contre 24% en 2010).

Baromètre TNS SOFRES
(aujourd'hui Kantar Public)

Des moyens de communication diversifiés

Parallèlement, pour remplir sa mission d'informer la population française, l'ASN a publié des communiqués de presse quotidiens et a tenu 17 conférences de presse pour répondre aux sollicitations des journalistes.

Par ailleurs, elle a mis en ligne un site Internet consacré à l'accident et a fait un usage massif de la vidéo pour toucher le public. Autre vecteur d'information, un centre d'appel téléphonique a été proposé à la population pour répondre au mieux aux nombreuses interrogations nées de l'accident.



Mobilisation mondiale pour un événement capital

L'accident de Fukushima a secoué le monde comme une onde de choc, soulevant des interrogations sur la robustesse des installations nucléaires. Quelques jours après l'accident, une mobilisation s'est enclenchée aux niveaux international, européen et national pour en tirer les enseignements. Dix ans après, panorama des avancées qui ont fait progresser la sûreté des installations nucléaires en France et dans le monde.

En Europe, on lance les tests de résistance pour les centrales nucléaires

Moins de quinze jours après la catastrophe, le **Conseil européen** a demandé que des tests de résistance soient réalisés pour évaluer la robustesse des centrales nucléaires européennes face à des conditions extrêmes auxquelles elles pourraient être soumises : séisme, inondation, perte des alimentations électriques, perte des sources de refroidissement, combinaison de ces événements, fusion du cœur du réacteur. Dans les semaines qui ont suivi, **WENRA*** a élaboré un projet de cahier des charges pour répondre à cette demande et permettre à chaque État membre d'engager, au plan national, une revue de la robustesse de ses installations avec un référentiel identique.

Sur la base de ces éléments, l'**ENSREG*** et la Commission européenne ont alors demandé, en avril 2012, la mise en place de plans d'action nationaux pour que ces tests soient suivis d'améliorations concrètes de la sûreté. En décembre 2012, l'**ASN** a élaboré le plan d'action national identifiant les améliorations nécessaires. Celles-ci portaient sur :

- la protection contre les agressions internes et externes ;
- les moyens d'alimentation électrique et d'appoint en eau ;
- les moyens de prévention des accidents avec fusion du cœur ;
- les moyens de prévention du découvrtement des assemblages de combustible en piscine ;
- la gestion des accidents avec fusion du cœur ;
- la gestion de crise ;

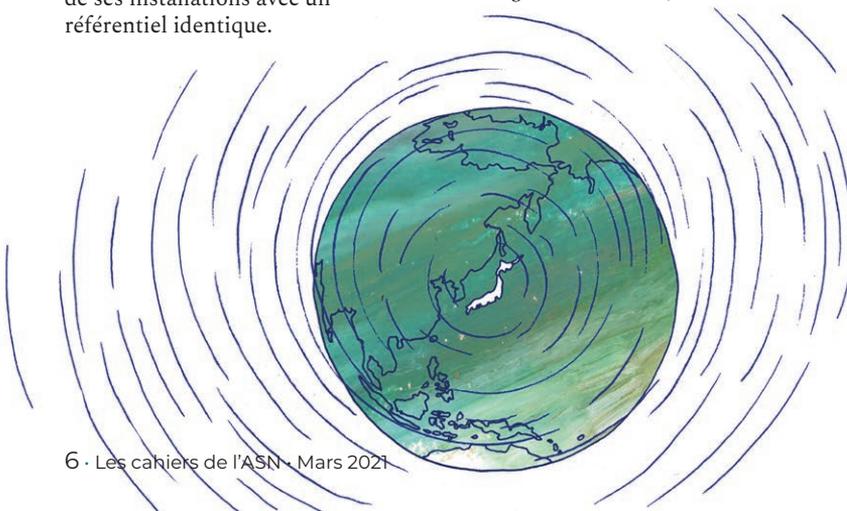
• les moyens d'intervention sur les sites par la mise en œuvre d'une force d'action rapide du nucléaire (FARN*).

En France, on étend les tests de résistance à l'ensemble des installations nucléaires

Parallèlement, le **Premier ministre** a demandé à l'**ASN**, le 23 mars 2011, de réaliser un audit sur la sûreté des installations nucléaires au regard de l'accident de Fukushima. La démarche française des évaluations complémentaires de sûreté (ECS*) s'est insérée dans l'approche européenne des tests de résistance, mais avec un périmètre plus large, en intégrant l'ensemble des installations nucléaires (installations de recherche, du « cycle », de gestion des déchets et en démantèlement).

Des questions concernant les facteurs sociaux, organisationnels et humains ont également été soulevées et travaillées de manière plus approfondie.

Une démarche innovante en France : le concept de « **noyau dur** »*, un dispositif de sûreté ultime pour faire face aux situations extrêmes, a été élaboré et prescrit (voir page 8).



Les démarches française, européenne et internationale en matière de sûreté nucléaire à la suite de l'accident de Fukushima

INTERNATIONAL

L'AIEA établit un plan d'action en 12 points

EUROPE

Le Conseil européen demande de tester la résistance des centrales nucléaires. WENRA rédige le cahier des charges

EUROPE

HERCA et WENRA préconisent une meilleure coordination transfrontalière des actions de protection des populations

FRANCE

L'ASN prescrit des évaluations complémentaires de sûreté pour l'ensemble des installations nucléaires françaises

FRANCE

L'ASN prescrit un ensemble de moyens capables de faire face à des situations extrêmes, dit « noyau dur »

Au niveau international et en Europe, on fait évoluer des doctrines de sûreté

L'AIEA*, dont l'une des missions est l'élaboration et la promotion de normes de sûreté élevées au plan international, a réagi à l'accident de Fukushima en mettant en œuvre, dès la fin de l'année 2011, un plan d'action en 12 points visant à renforcer la sûreté nucléaire. Les travaux réalisés pour mettre en œuvre ce plan d'action figurent dans le rapport du directeur général de l'AIEA sur l'accident de Fukushima et dans les cinq volumes techniques qui l'accompagnent. Ces publications, qui sont parues lors de la Conférence générale de l'AIEA en 2015, examinent les causes et les conséquences de l'accident.

En février 2015, la **Déclaration de Vienne** des parties contractantes à la Convention sur la sûreté nucléaire

ira plus loin, en affirmant les principes visant à prévenir les accidents ayant des conséquences radiologiques et à atténuer leurs conséquences si de tels accidents advenaient.

S'agissant de l'**Union européenne**, la Directive Euratom* du 8 juillet 2014 vise à établir un cadre permettant d'assurer la sûreté nucléaire en Europe en tirant les leçons de l'accident de Fukushima. Elle a été transposée en droit français en 2016 et renforce les pouvoirs de contrôle et de sanction de l'ASN. Elle impose à l'État d'organiser tous les 10 ans au moins une évaluation de sa réglementation et de son autorité de contrôle, et établit un processus de revue thématique par les pairs tous les 6 ans.

Pour sa part, **WENRA** a engagé en 2014 une mise à jour de ses niveaux de sûreté de référence pour prendre en compte le retour d'expérience de l'accident. Chaque membre s'est

ensuite engagé à décliner ces niveaux dans sa réglementation, renforçant ainsi les exigences en matière de sûreté et leur harmonisation parmi les pays membres de l'association.

Dans le domaine de la protection de la population, des recommandations ont été publiées en 2014 sous le nom d'**approche HERCA*-WENRA**, pour anticiper les conséquences en Europe d'un accident de l'ampleur de celui de Fukushima, avec une meilleure coordination transfrontalière des actions de protection durant la première phase d'un accident nucléaire. Elles préconisent notamment une préparation de l'évacuation jusqu'à 5 km autour des centrales nucléaires, et une préparation de la mise à l'abri et la prise de comprimés d'iode jusqu'à 20 km, ainsi que la possibilité d'extension de ces mesures, respectivement jusqu'à 20 et 100 km.

Fukushima : un accélérateur pour la sûreté nucléaire

L'accident de Fukushima a mis en évidence la nécessité de renforcer la résilience des installations nucléaires et des organisations face à des situations extrêmes. Cet accident a fait progresser significativement la sûreté nucléaire.

Les améliorations pour la sûreté des installations nucléaires en France doivent beaucoup à l'accident de Fukushima. Le plus grand enseignement est sans doute que, malgré les précautions prises dans la conception, la construction et l'exploitation des installations nucléaires, un accident est toujours possible. Après une période d'audit et de réflexions, l'ASN a pris, dès le mois de juin 2012, 32 décisions fixant chacune une trentaine de prescriptions qui demandaient notamment aux exploitants nucléaires des 80 installations nucléaires présentant le plus d'enjeux (CEA*, EDF*, Framatome*, Institut Laue-Langevin* et Orano*)

de définir des dispositifs pour faire face à des situations extrêmes :

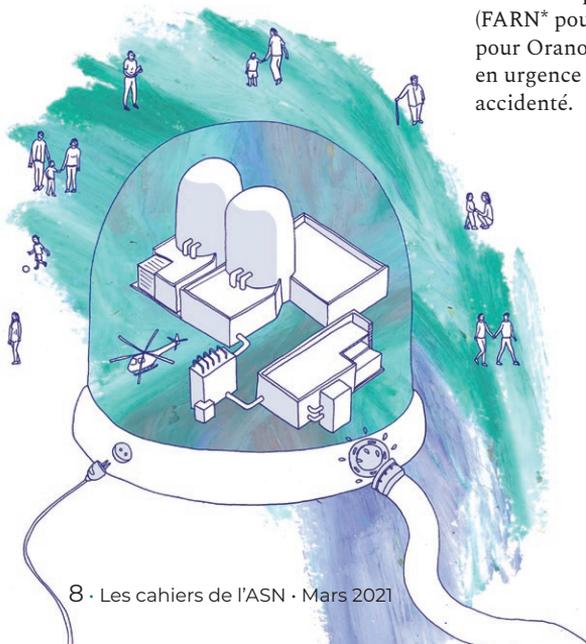
- **la mise en œuvre de dispositifs (appoint en eau, en électricité, instrumentation)** pour améliorer la gestion des situations de perte des alimentations électriques ou perte de refroidissement affectant l'ensemble du site ;
- **la définition d'un « noyau dur »*** de dispositions matérielles et organisationnelles visant, en cas de conditions extrêmes, à prévenir un accident avec fusion du combustible ou à en limiter la progression, ainsi qu'à limiter les rejets massifs ;
- **le renforcement des moyens de gestion de crise sur chacun des sites ;**
- **la mise en œuvre d'une force d'action rapide du nucléaire** (FARN* pour CEA et EDF, FINA* pour Orano), permettant d'intervenir en urgence sur un site nucléaire accidenté.

La démarche de l'ASN vise à anticiper des situations très au-delà des situations habituellement retenues dans la démonstration de sûreté. Ses demandes, qui se distinguent au niveau international par leur niveau d'exigence, s'inscrivent dans une démarche dite de « défense en profondeur ». La philosophie de cette démarche repose sur des couches multiples de dispositifs de sécurité (équipements, organisations, équipes) qui se superposent, pour permettre, en cas de défaillance d'une des couches, un relais par la couche suivante.

Dix ans après Fukushima, le bilan des améliorations de la sûreté des installations nucléaires en France est positif.

Demain, avec l'achèvement du « noyau dur », les installations seront plus résilientes face à des situations extrêmes.

124 installations nucléaires de base
sont soumises au contrôle de l'ASN
(au 31 décembre 2020)





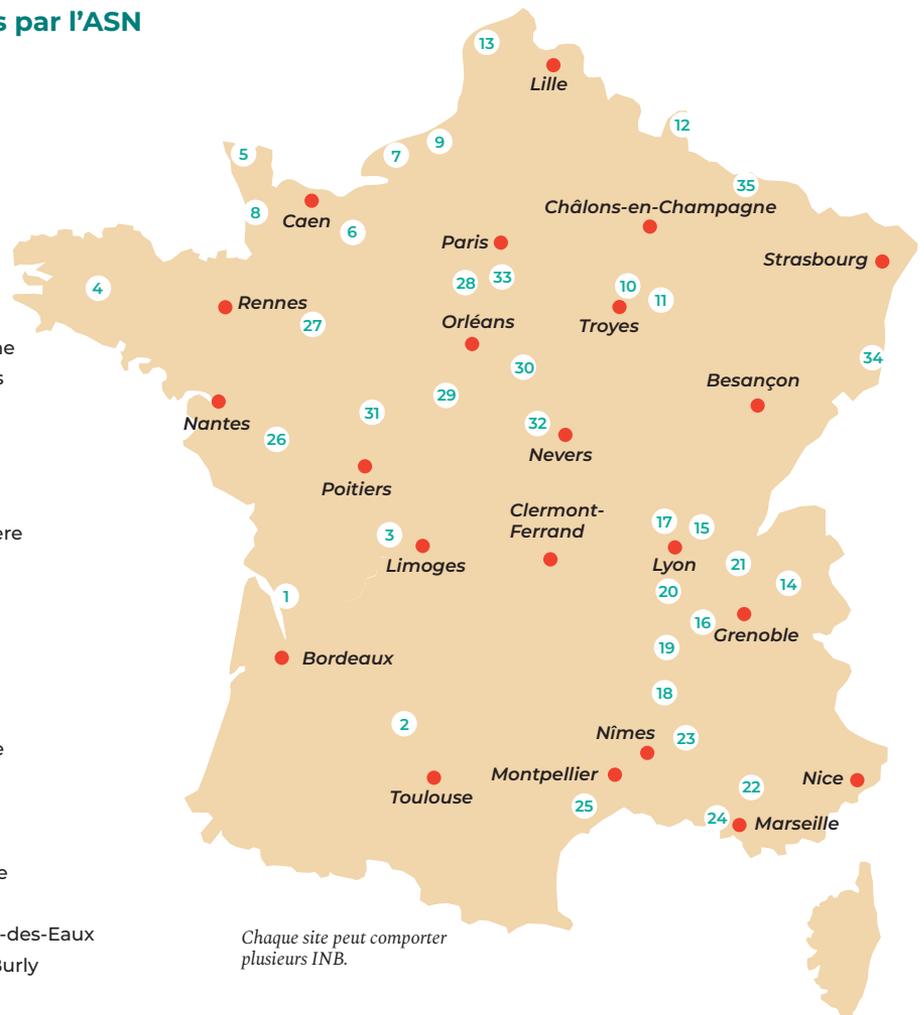
Vous avez dit INB ?

Est qualifiée d'installation nucléaire de base (INB*), une installation qui, par sa nature, ou en raison de la quantité ou de l'activité des substances radioactives qu'elle contient, est soumise à un régime spécifique de contrôle défini par le code de l'environnement. Sa conception, sa construction, son exploitation et son démantèlement sont réglementés.

Sont concernés: les réacteurs nucléaires · les installations de préparation, d'enrichissement, de fabrication, de traitement ou d'entreposage de combustibles nucléaires ou de traitement, d'entreposage ou de stockage de déchets radioactifs · les installations contenant des substances radioactives ou fissiles · les grands accélérateurs de particules · les centres de stockage des déchets les plus radioactifs.

Sites contrôlés par l'ASN

- 1 ▲ Blayais
- 2 ▲ Golfech
- 3 ▲ Civaux
- 4 ▲ Brennilis
- 5 ■ La Hague
- 6 ● Caen
- 7 ▲ Paluel
- 8 ▲ Flamanville
- 9 ▲ Penly
- 10 ▲ Nogent-sur-Seine
- 11 ■ Soulaines-Dhuys
- 12 ▲ Chooz
- 13 ▲ Gravelines
- 14 ○ Grenoble
- 15 ▲ Bugey
- 16 ■ Romans-sur-Isère
- 17 ○ Dagneux
- 18 ▲ Tricastin
- 19 ▲ Cruas-Meyssse
- 20 ▲ Saint-Alban
- 21 ○ ▲ Creys-Malville
- 22 ○ ● Cadarache
- 23 ▲ ■ ● Marcoule
- 24 ○ Marseille
- 25 ○ Malvési
- 26 ○ Pouzauges
- 27 ○ Sablé-sur-Sarthe
- 28 ● Saclay
- 29 ○ ▲ Saint-Laurent-des-Eaux
- 30 ▲ Dampierre-en-Burly
- 31 ▲ ● Chinon
- 32 ▲ Belleville-sur-Loire
- 33 ● Fontenay-aux-Roses
- 34 ▲ Fessenheim
- 35 ▲ Cattenom



Chaque site peut comporter plusieurs INB.

TYPES D'INSTALLATIONS	
▲ Centrales nucléaires	■ Stockages de déchets
■ Usines	○ Autres
● Installations de recherche	

Visite guidée des améliorations de sûreté en place aujourd'hui dans les centrales nucléaires

1 Renforcement de la sûreté de la piscine d'entreposage du combustible

Plusieurs améliorations ont permis de renforcer la sûreté de cette piscine : renforcement de l'instrumentation pour qu'elle résiste à un séisme, isolement automatique des fuites au niveau de tuyauteries raccordées à la piscine, etc.



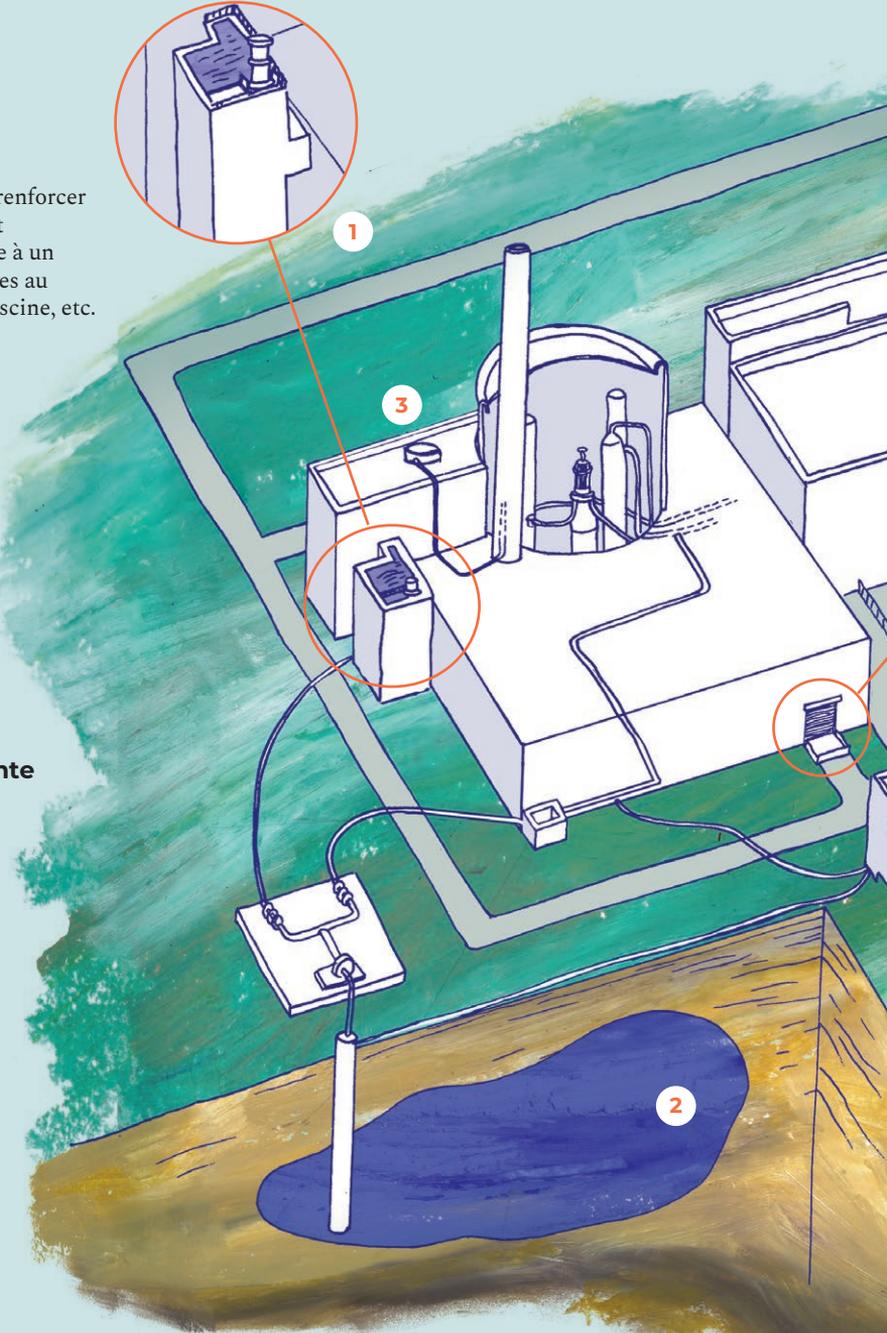
2 Source d'eau ultime

Il s'agit de nouveaux puits, bassins ou réservoirs, selon les sites, permettant de disposer d'eau pour alimenter les générateurs de vapeur et la piscine d'entreposage du combustible en complément des moyens existants. Tous les réacteurs devraient en être équipés d'ici 2023. En attendant, des sources temporaires seront mises en place en 2021.

3 Dépressurisation de l'enceinte de confinement

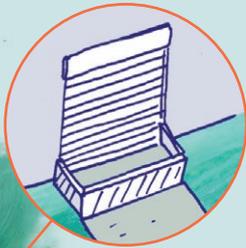
Ce dispositif permet, en cas de situation accidentelle conduisant à une augmentation de la pression dans l'enceinte de confinement, de dépressuriser et de filtrer, avant rejet, l'air qu'elle contient afin d'éviter sa détérioration.

L'objectif est de rendre le filtre plus robuste afin qu'il reste opérationnel en cas de séisme. Fin 2020, la modification est effective sur 10 réacteurs ; elle devrait couvrir la totalité des réacteurs d'EDF* en exploitation fin 2022.



4 Amélioration de la protection du site contre les inondations

L'objectif est d'éviter l'entrée d'eau dans les bâtiments de la plateforme nucléaire en cas d'inondation d'intensité extrême. Cela consiste par exemple à mettre en place des protections devant les portes d'accès extérieures, des murets en béton armé, à calfeutrer des ouvertures situées en partie basse des bâtiments. Depuis 2017, ces travaux ont été réalisés sur tous les sites qui le nécessitaient.

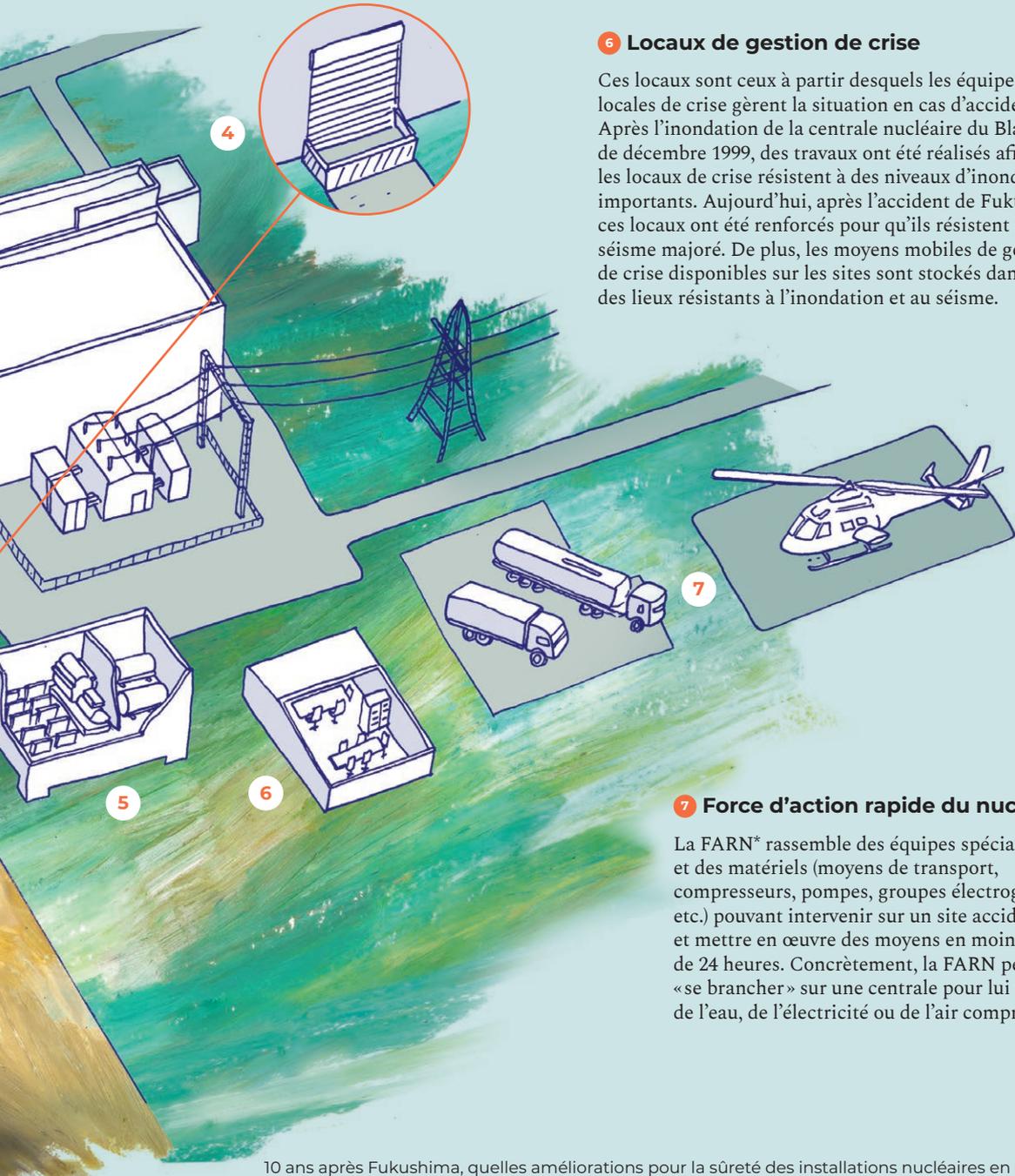


5 Groupe électrogène d'ultime secours

En cas de perte totale des moyens de secours électriques existants, le groupe électrogène d'ultime secours à moteur diesel peut rétablir l'alimentation électrique des équipements nécessaires à la sûreté du réacteur et de la piscine d'entreposage du combustible. Il alimente également les pompes des sources d'eau ultimes. Le bâtiment abritant ce matériel est conçu pour le protéger d'agressions (séisme, inondation, tornade) d'intensité extrême. Aujourd'hui, un groupe électrogène d'ultime secours équipe chaque réacteur d'EDF en fonctionnement.

6 Locaux de gestion de crise

Ces locaux sont ceux à partir desquels les équipes locales de crise gèrent la situation en cas d'accident. Après l'inondation de la centrale nucléaire du Blayais de décembre 1999, des travaux ont été réalisés afin que les locaux de crise résistent à des niveaux d'inondation importants. Aujourd'hui, après l'accident de Fukushima, ces locaux ont été renforcés pour qu'ils résistent à un séisme majoré. De plus, les moyens mobiles de gestion de crise disponibles sur les sites sont stockés dans des lieux résistants à l'inondation et au séisme.



7 Force d'action rapide du nucléaire

La FARN* rassemble des équipes spécialisées et des matériels (moyens de transport, compresseurs, pompes, groupes électrogènes, etc.) pouvant intervenir sur un site accidenté et mettre en œuvre des moyens en moins de 24 heures. Concrètement, la FARN peut «se brancher» sur une centrale pour lui fournir de l'eau, de l'électricité ou de l'air comprimé.

Des centrales plus sûres, aujourd'hui...

L'ASN a imposé à EDF*, dès 2012, de renforcer les marges de sûreté dont disposaient ses centrales nucléaires. Partant du constat simple que des moyens en eau et en électricité avaient manqué pendant l'accident de la centrale de Fukushima pour refroidir le combustible, de nouveaux équipements ont été implantés pour que les installations nucléaires puissent faire face à des situations dégradées et être autonomes pendant plusieurs jours.

Gagner des jours pour agir

Les améliorations mises en place (voir la visite guidée pages 10 et 11) permettent de renforcer la robustesse des installations face à des situations de perte totale des alimentations électriques ou de perte totale du refroidissement par le fleuve ou la mer. Elles permettent de rendre l'installation autonome pendant plusieurs jours en cas d'accident, et ainsi gagner du temps pour pouvoir réparer les moyens initialement

perdus ou pour organiser les interventions des équipes de crise. Les améliorations apportées permettent également de **faciliter la gestion de crise**, par des moyens humains et matériels supplémentaires et le renforcement de moyens existants.

L'ASN a demandé d'aller encore plus loin...

Certains des nouveaux équipements installés sont conçus pour faire face à des agressions naturelles d'intensité extrême. Toutefois, ils sont aujourd'hui connectés à des parties de l'installation dont le fonctionnement n'est pas garanti lors de telles agressions.

Ainsi, l'ASN a demandé à EDF* de **renforcer encore la sûreté des centrales nucléaires, pour disposer d'un «noyau dur»*** complet de moyens résistant à des situations extrêmes.

18 centrales nucléaires
en fonctionnement
sont soumises au
contrôle de l'ASN



...et demain

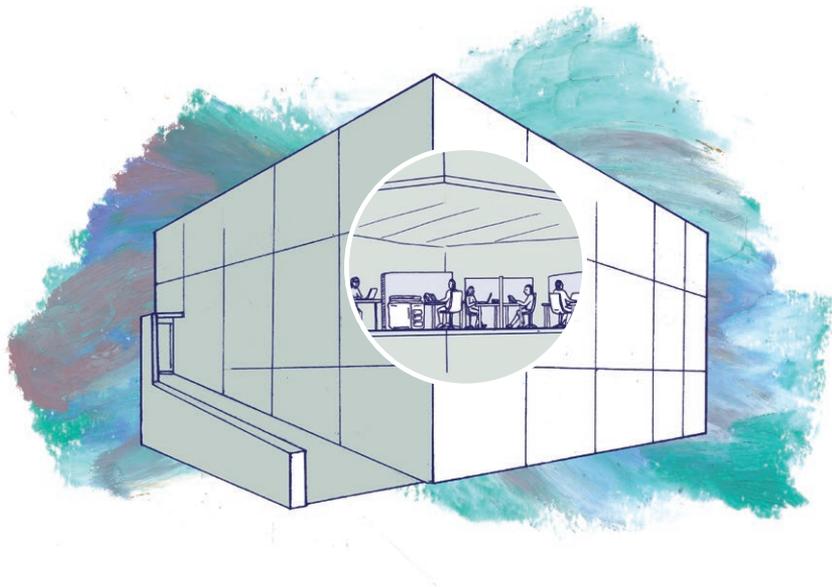
Un noyau dur opérationnel

Le «noyau dur» est une avancée notable, spécifiquement française, qui doit permettre d'assurer les fonctions essentielles de sûreté des réacteurs et des piscines d'entreposage du combustible, en cas d'agression extrême supérieure à celle prise en compte lors de la conception de la centrale: séisme, inondation (dont les pluies de forte intensité), vents, foudre, grêle et tornades.

Ce «noyau dur», qui a pour objectif de **prévenir un accident avec fusion du combustible et de limiter les rejets** massifs et les effets durables dans l'environnement, sera mis en service dans le cadre des améliorations de la sûreté liées à la poursuite de fonctionnement au-delà de 40 ans des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe et au-delà de 30 ans des réacteurs de 1450 MWe. Certains de ces dispositifs sont déjà en place, tel le groupe électrogène d'ultime secours.

PLUS D'EAU POUR LA PISCINE

Des moyens supplémentaires pour refroidir l'eau de la piscine d'entreposage du combustible, et en rajouter, seront mis en place. Ils seront composés d'éléments fixes (tuyauteries et systèmes de connexion à l'extérieur du bâtiment du combustible) et d'éléments mobiles apportés et déployés sur le site par la FARN* (pompe et échangeur de chaleur, groupe électrogène, dispositif de pompage d'eau dans le fleuve ou la mer).



UN BUNKER POUR LA CELLULE DE CRISE

Résistant aux agressions extrêmes, un nouveau centre pour gérer la crise sur chaque centrale sera créé. Il permettra aux équipes locales de gérer dans la durée une crise nucléaire majeure. Le premier a été mis en service en octobre 2020 à Flamanville. EDF a pour objectif d'achever la construction de ces centres en 2026 pour toutes ses centrales en fonctionnement.

DOUCHE FROIDE POUR CŒUR EN FUSION

De nouveaux systèmes de refroidissement ultime de l'enceinte de confinement et de stabilisation du corium* en cas de fusion du cœur seront ajoutés.

L'enjeu est de pouvoir évacuer, en dehors de l'enceinte de confinement, la chaleur d'un réacteur accidenté, grâce notamment à un nouvel échangeur thermique. Par ailleurs, du corium (magma de combustibles et d'éléments du réacteur fondu) pourrait percer la cuve du réacteur. Des modifications seront apportées pour que le corium puisse s'étaler, puis être recouvert d'eau et refroidi.

Ces dispositions permettront de limiter fortement les rejets de radioactivité dans l'air et dans les eaux souterraines, en cas d'accident avec fusion du cœur.

Des enjeux spécifiques pour les autres installations nucléaires

Les centrales ne sont pas les seules installations nucléaires qui ont bénéficié d'améliorations à la suite de l'accident de Fukushima. Les autres installations nucléaires, notamment celles qui produisent ou entreposent le combustible, celles qui traitent ou entreposent les déchets radioactifs sont concernées et ont fait l'objet de prescriptions de l'ASN.

Les installations du « cycle du combustible » en fonctionnement*

Il s'agit des installations de conversion, d'enrichissement et de fabrication du combustible, ainsi que des installations de retraitement des combustibles usagés. Elles mettent toutes en œuvre des substances dangereuses, dans des quantités industrielles.

Les exploitants de ces installations sont Orano* et Framatome*. À la suite de l'accident de Fukushima, l'ASN leur a demandé des évaluations complémentaires de sûreté (ECS*),

qui ont conduit à prescrire des dispositifs d'amélioration de sûreté. Il s'agit notamment de la **définition d'un « noyau dur »***, de la **mise en oeuvre de centres de gestion de crise robustes** et, si le contexte l'exige, de la constitution de réserves d'eau importantes utilisables en cas de situation extrême. Par ailleurs, l'usine Comurhex 1 du Tricastin qui ne pouvait pas être renforcée pour répondre aux exigences post-Fukushima a été fermée. L'ASN considère que l'avancement des travaux post-Fukushima et les dispositions organisationnelles mises en place sont satisfaisants.

Les avancées majeures

Renforcement des moyens électriques avec le raccordement des groupes électrogènes en 2016

Appoint en eau avec des moyens mobiles en 2016 et le remplacement des vannes en 2018 à La Hague

Gestion de crise avec la construction de bunker pour les cellules de crise et la mise en place d'une aide matérielle et humaine à un site accidenté

Renforcement de la sûreté des piscines avec la mise en place de pompes sous les piscines pour éviter leur vidange (et la déconstruction d'ateliers anciens susceptibles de s'effondrer à leur proximité) en cas de séisme extrême à La Hague

85 installations nucléaires
(en plus des centrales nucléaires)
sont soumises au contrôle de l'ASN



À savoir

À la différence des centrales nucléaires, qui constituent un parc homogène d'installations géré par un seul exploitant, les autres installations nucléaires sont de nature variée et gérées par des exploitants différents tels le CEA, Framatome, l'Institut Laue-Langevin, ITER Organization* et Orano.

Les installations de recherche

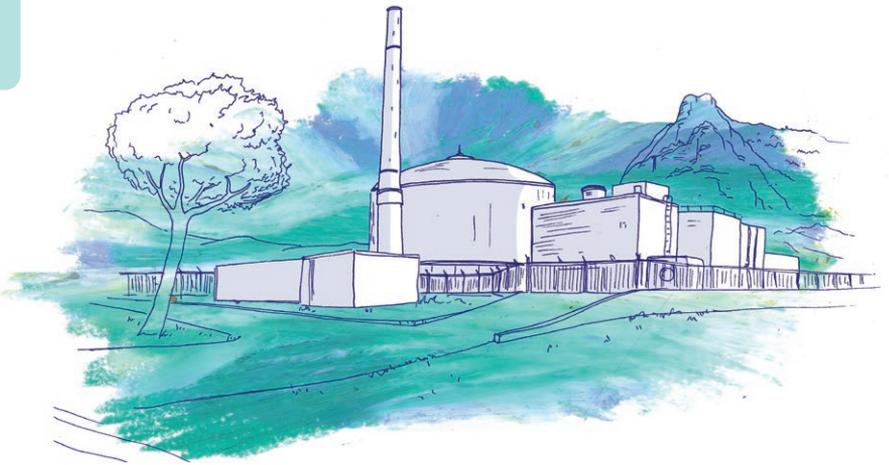
Des installations nucléaires sont affectées à la recherche scientifique et technologique. **En France, ces installations sont principalement exploitées par le CEA***.

Il exploite également des installations de soutien à ses recherches (entrepôts de matières et de déchets, installations de traitement d'effluents, etc.).

Pour le CEA, les ECS ont confirmé un certain nombre de fragilités sur des installations anciennes, comme les réacteurs Masurca, Osiris ou l'entreposage MCMF, qui étaient en fonctionnement en 2011. **Les ECS ont conduit à leur arrêt définitif et à l'évacuation de plusieurs tonnes de matières fissiles** vers des entrepôts plus robustes, pour réduire significativement les risques. Entre 2013 et 2014, ce sont plusieurs tonnes de matières fissiles issues du réacteur de recherche Masurca qui ont été évacuées, soit 38 000 objets!

Les ECS ont permis la réorganisation des entrepôts pour plus de sûreté et les installations pérennes ont achevé les travaux nécessaires (notamment, l'amélioration du maintien de la ventilation, la résistance au séisme et la mise en place de capteurs de détection de séisme). Il reste encore à construire des locaux de gestion de crise et à reprendre et conditionner les déchets anciens.

Adapter le cahier des charges des ECS à l'ensemble des installations, au regard des situations conduisant à des rejets massifs, et prioriser les installations en fonction de leurs enjeux de sûreté ont été un véritable défi et une spécificité française !



De son côté, l'**Institut Laue-Langevin*** a respecté un **calendrier ambitieux**, entre 2013 et 2018, pour réaliser un ensemble de renforcement post-Fukushima exemplaire pour le réacteur de recherche à haut flux (RHF*). Les travaux, très significatifs, sont terminés depuis 2018, avec notamment la construction de nouveaux locaux de gestion de crise robustes, un renforcement de l'étanchéité du bâtiment réacteur en cas d'inondation extrême et la mise en service de circuits de sauvegarde permettant de réalimenter en eau le réacteur et les combustibles usés, en cas d'accident.

Les installations présentant des enjeux plus limités

Pour ces installations, l'ASN a prescrit un calendrier de remise des ECS qui s'étendait jusqu'en 2020. L'étude des conséquences d'un accident majeur sur un site

présentant plusieurs installations à enjeux plus limités a été pris en compte dans le renforcement des dispositions de gestion de crise. Toutefois, ces évaluations montrent qu'il n'est pas nécessaire de mettre en place des dispositions de type « noyau dur ».

Les entrepôts de déchets anciens et les réacteurs en démantèlement

Les ECS ont confirmé qu'un certain nombre d'entrepôts de déchets anciens présentent un niveau de sûreté insuffisant et qu'il convenait d'**accélérer les opérations de reprise et de conditionnement**.

Les exploitants (CEA, EDF et Orano) rencontrent un certain nombre de difficultés techniques pour mettre en œuvre ces opérations. L'ASN estime que la gestion de ces projets doit être rendue plus robuste.



Faire face à un accident nucléaire

Au-delà du renforcement des installations, l'accident de Fukushima a montré qu'il était également utile de mieux se préparer à gérer des crises d'origine plurifactorielle. L'objectif est de disposer d'une organisation suffisamment robuste et agile pour s'adapter à tous les types de situations nouvelles. Gros plan sur quelques réalisations remarquables.



alerte nucléaire
je sais quoi faire !

Vous entendez le signal d'alerte de la sirène, vous recevez une alerte sur votre téléphone

6 RÉFLEXES POUR BIEN RÉAGIR

- 1** Je me mets rapidement à l'abri dans un bâtiment
- 2** Je me tiens informé(e)
- 3** Je ne vais pas chercher mes enfants à l'école
- 4** Je limite mes communications téléphoniques
- 5** Je prends de l'iode dès que j'en reçois l'instruction
- 6** Je me prépare à une éventuelle évacuation

www.distribution-iode.com
0 800 86 00 20 www.surva.gov.fr

ASN - République Française - EDF

L'élargissement des plans d'urgence

L'accident de Fukushima a conduit la France à réviser ses dispositifs de protection de la population, en cohérence avec les recommandations des autorités européennes (voir *approche HERCA*-WENRA** p. 7). L'élargissement des plans particuliers d'intervention (PPI*) de 10 à 20 km autour des centrales nucléaires, décidé en 2016, n'est pas lié à un accroissement du risque nucléaire sur notre sol mais permet d'améliorer l'information et la protection des personnes ainsi que la réactivité des acteurs de la gestion de crise.



La création de forces d'intervention rapide

Chacun des grands exploitants a mis en place des unités capables d'apporter en urgence une aide matérielle et humaine à un site nucléaire accidenté: la force d'intervention nationale (FINA*) d'Orano*, les forces d'action rapide du nucléaire (FARN*) d'EDF* et du CEA*.



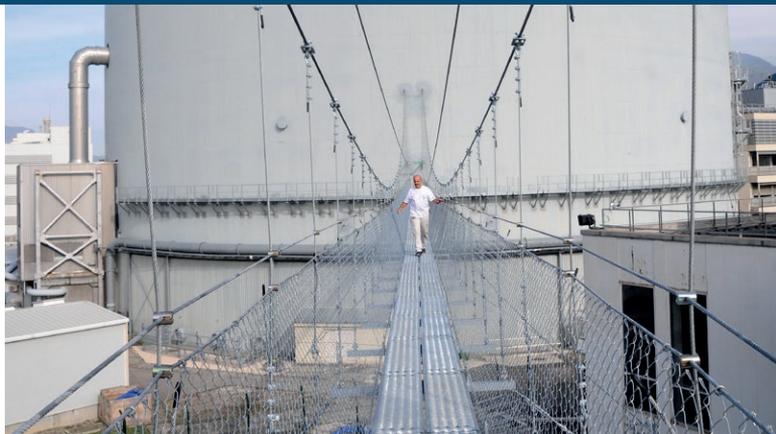
Une organisation de crise plus résiliente

En 2017, l'ASN a précisé des exigences spécifiques à la gestion des situations d'urgence, en matière de formation et d'entraînement du personnel. Ainsi, les équipiers de crise des exploitants doivent s'entraîner à tenir leur rôle au moins une fois par an lors d'un exercice ou d'une mise en situation.

L'accident de Fukushima a montré que les équipiers de crise devant normalement rejoindre leur poste en moins d'une heure peuvent être dans l'incapacité de le faire en raison de contraintes extérieures (routes coupées par exemple). Aussi EDF* a-t-elle prévu une organisation permettant de remplir les missions essentielles de gestion de crise avec une équipe réduite. Seize des 18 centrales en fonctionnement ont à ce jour mis en place cette disposition.

L'ASN dispose également d'un système d'astreinte 24 h sur 24, composé d'une vingtaine d'équipiers au siège et en régions. L'organisation de crise de l'ASN est testée une dizaine de fois par an lors d'exercices nationaux avec les préfetures, l'IRSN* et les exploitants.





Des bâtiments de gestion de crise renforcés

Les locaux de gestion de crise doivent être accessibles, disponibles et habitables dans les situations extrêmes, y compris en cas de rejets de longue durée de substances radioactives ou chimiques. Ils doivent avoir une autonomie en ce qui concerne l'alimentation électrique, le conditionnement thermique, la filtration d'air et l'approvisionnement en nourriture et en eau.

Les sites Orano* de La Hague et du Tricastin sont aujourd'hui dotés d'un bâtiment de gestion de crise renforcé. La mise en service de celui d'Orano Melox est envisagée pour 2023. Le bâtiment de crise du CEA* de Cadarache est, quant à lui, encore en phase de conception.

Le réacteur de recherche à haut flux, situé à Grenoble et exploité par l'Institut Laue-Langevin*, est doté depuis fin 2016 d'un nouveau poste de contrôle de secours capable de résister aux agressions extrêmes.

EDF a construit un nouveau bâtiment à Flamanville de gestion de crise résistant aux agressions extrêmes et prévoit d'en doter l'ensemble de ses sites électronucléaires d'ici 2026. En attendant, ses locaux de crise existants sont capables de résister à des inondations et à des séismes majeurs.

Des exercices de crise renouvelés

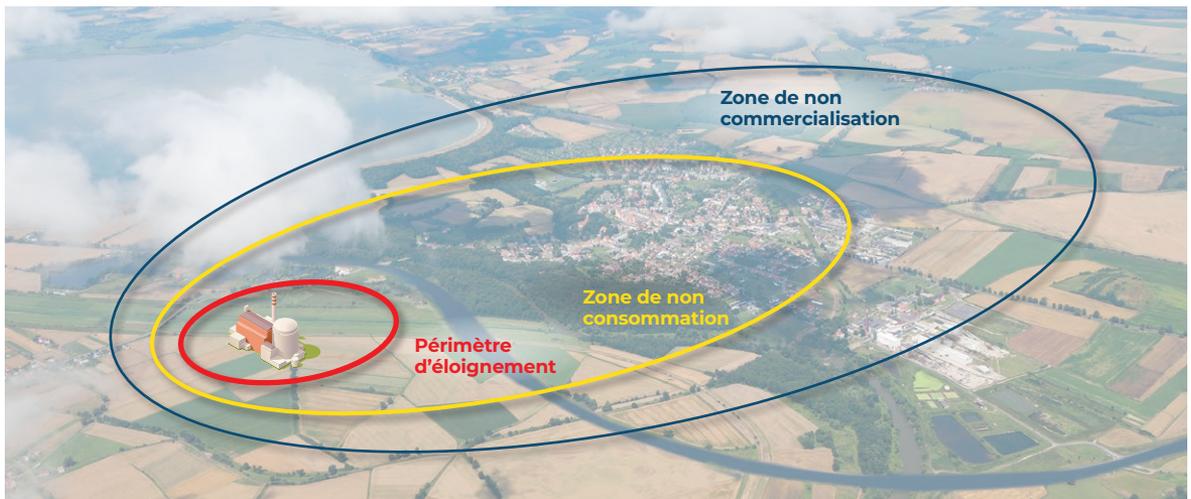
Les travaux réalisés dans le cadre des tests de résistance ont pris en compte des scénarios qui n'avaient pas été testés par le passé. Cela a eu des conséquences sur les scénarios d'exercice, qui impliquent désormais des séismes et des accidents affectant les piscines d'entreposage du combustible.

* Voir glossaire page 24



Anticiper les conséquences d'un accident nucléaire

Postulant qu'un accident entraînant des rejets radioactifs est possible en France ou ailleurs en Europe, l'ASN a créé, en 2005, le Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire (Codirpa*) qui a publié, en 2012, des premiers éléments de doctrine. À l'épreuve de l'accident de Fukushima, la doctrine française a connu des aménagements en 2019. État des lieux.



L'accident de Fukushima a conduit à des rejets dans l'environnement pendant une période de trois semaines. Le Codirpa* avait jusqu'alors travaillé sur l'hypothèse d'un rejet de courte durée et de faible intensité. Il a donc choisi de travailler sur l'hypothèse d'un rejet important et de longue durée, plus proche de ce qui s'est passé à Fukushima.

Cela a des conséquences sur de nombreux aspects de la gestion post-accidentelle, comme le dimensionnement des zones de protection de la population par exemple. Ces travaux ont conduit

le Codirpa à proposer en 2019 des évolutions de la doctrine post-accidentelle qui ont depuis été acceptées par le gouvernement.

Déterminer des stratégies de décontamination et de gestion des déchets à la suite d'un accident

Les autorités japonaises ont choisi de mener des actions de décontamination de l'environnement de très grande ampleur. Ces opérations ont eu pour conséquence d'engendrer un grand volume de déchets radioactifs, avec

des niveaux de contamination très variables, et il leur a fallu mettre en place progressivement une stratégie de gestion de ces déchets. **En effet, décontamination et gestion des déchets sont étroitement liées.**

Le Codirpa a donc lancé un nouveau groupe de travail chargé de définir une stratégie globale pour cet enjeu.

Gérer les conséquences sur les milieux aquatiques

L'accident de Fukushima a provoqué des rejets radioactifs très importants dans le milieu marin, avec des conséquences sur les activités de pêche et de loisirs

3

OBJECTIFS FONDAMENTAUX DE LA GESTION POST-ACCIDENTELLE

- **Protéger la population** contre les dangers des rayonnements ionisants
- **Apporter un appui à la population** affectée par les conséquences de l'accident
- **Assurer une reconquête économique et sociale** des territoires affectés

nautiques. Désormais, la gestion des conséquences d'un accident nucléaire sur les milieux aquatiques fait partie des sujets traités par le Codirpa. Un groupe de travail sera chargé de **réfléchir aux spécificités des milieux aquatiques** et de proposer des modes de gestion spécifiques pour les risques associés.

Informer et associer la population et les parties prenantes

Les difficultés de communication et le manque de coordination des actions de protection ont conduit, dans un premier temps, à une perte de confiance de la population envers les autorités. La restauration de la confiance des citoyens est l'un des facteurs permettant d'améliorer la résilience de la population affectée. Le dialogue mis en place à l'initiative de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR*) en est un bon exemple: il a permis d'**identifier des citoyens éclairés ou experts, à même d'établir un lien entre les autorités et la population.**

Dès sa création, le Codirpa a affiché une volonté d'ouverture, avec la participation de personnes de la société civile aux différents groupes de travail, aux côtés des experts institutionnels et des représentants des services de l'État. **Ce processus**



de co-expertise permet d'améliorer la sensibilisation de la population autour des sites nucléaires.

Avec les parties prenantes ont été créés le site Internet post-accident-nucleaire.fr, consacré à l'information du public, ainsi qu'un guide destiné à la population résidant dans un territoire affecté par un accident nucléaire. Un guide pour les professionnels de santé sera publié à la fin de l'année 2021.

Pour aller plus loin, le Codirpa a instauré une nouvelle méthode de travail pour tous les groupes qui le constituent. Il s'agit de **soumettre les propositions d'action de protection définies par les experts à des panels de citoyens**, afin de recueillir leur avis et d'adapter ces actions. Des panels, organisés dès 2021, traiteront des

moyens de se protéger contre la contamination par l'alimentation.

Le Codirpa a également lancé deux autres groupes de travail, l'un chargé de réfléchir aux moyens de **promouvoir la « culture de sécurité et de radioprotection »** parmi la population riveraine des installations nucléaires, et l'autre chargé de **réfléchir aux moyens d'associer la population** affectée par un accident nucléaire à la gestion des territoires contaminés.

Ces démarches participatives s'inspirent des bonnes pratiques relevées au Japon.

Retour sur deux accidents marquants

Les accidents nucléaires de Three Mile Island aux États-Unis et de Tchernobyl en Ukraine ont été, en leur temps, analysés par l'ASN et son expert technique l'IRSN* et débattus au sein d'instances internationales, comme l'AIEA*. Les enseignements tirés ont conduit à réaliser des progrès significatifs en matière de sûreté des installations nucléaires.

28 mars 1979

THREE MILE ISLAND

ÉTAT DU RÉACTEUR AU DÉBUT DE L'ACCIDENT

Mise à l'arrêt automatique du réacteur à eau sous pression (REP) n°2 due à une défaillance de l'alimentation normale en eau des générateurs de vapeur.

CAUSES PRINCIPALES DE L'ACCIDENT

Cumul de défaillances (système d'alimentation normale des générateurs de vapeur et du système qui devait le suppléer compte tenu de sa mauvaise configuration après un essai).

Information non disponible sur l'état d'équipements de sûreté (position de la vanne de décharge du pressuriseur).

Perte de refroidissement du cœur du réacteur (arrêt de l'injection d'eau) due à un diagnostic erroné, ce qui a conduit à un échauffement du cœur, à son dénoyage puis à sa fusion partielle.

LEÇONS TIRÉES

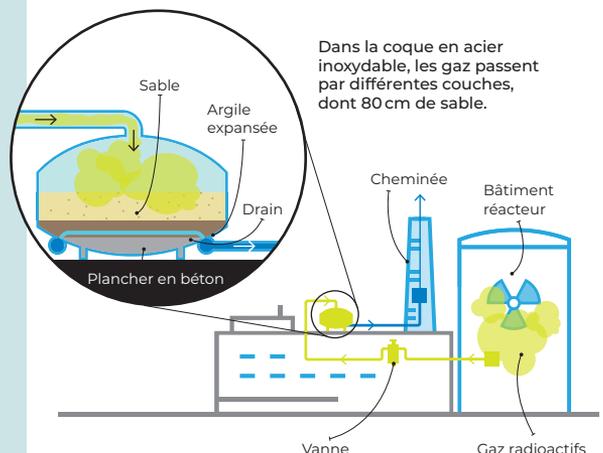
Cet accident a montré que des cumuls de défaillances pouvaient conduire à la fusion du cœur et combien il était important que les équipes de conduite disposent d'informations sur l'état de l'installation. Les facteurs humain et organisationnel n'avaient pas été assez pris en compte. **L'homme est pourtant un maillon essentiel de la sûreté.** À la suite de cet accident, des modifications sur les installations ont été mises en œuvre, notamment des mesures complémentaires pour gérer les cumuls de défaillances, des moyens pour limiter les relâchements de produits radioactifs à l'extérieur de l'enceinte de confinement (voir schéma) et la création de plans d'urgence et d'exercices de crise permettant de les tester.



AVANCÉE MARQUANTE

Filtration de l'air de l'enceinte de confinement

En cas d'accident, si une augmentation de la pression menaçait de détériorer l'enceinte de confinement, le dispositif de dépressurisation permettrait, en dernier recours, de rejeter en filtrant les gaz contenus dans l'enceinte. Ce filtre est capable de retenir une partie de la radioactivité et donc d'atténuer les conséquences environnementales de l'accident.



26 avril 1986

TCHERNOBYL

ÉTAT DU RÉACTEUR AU DÉBUT DE L'ACCIDENT

Réacteur 4, de type RBMK* (réacteur de grande puissance à tube de force), fonctionnant à faible puissance.

CAUSES PRINCIPALES DE L'ACCIDENT

Essai de fonctionnement à basse puissance réalisé dans des conditions instables du réacteur : plusieurs dispositifs de sécurité sont volontairement désactivés, ce qui entraîne un accident de réactivité, avec explosion et incendie du cœur du réacteur.

LEÇONS TIRÉES

Nécessité de renforcer les fondamentaux de la sûreté : responsabilité première de l'exploitant, indépendance de l'autorité de contrôle, établissement d'une réglementation, développement d'une culture de sûreté.

Nécessité d'améliorer l'information du public, avec pour conséquence la mise en place de l'échelle INES* (*voir schéma*) et la nécessité d'informer les pays transfrontaliers en notifiant rapidement l'accident nucléaire.

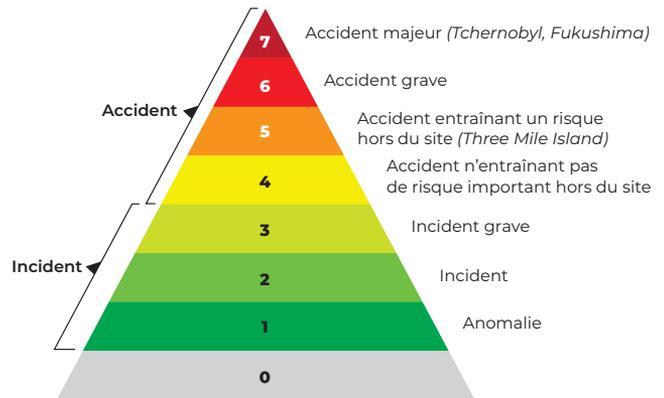


AVANCÉE MARQUANTE

Gestion des phases d'urgence et post-accidentelle

À la suite de l'accident de Tchernobyl, l'organisation des secours tant au niveau de l'installation que de son environnement a été renforcée. Des exercices de crise internationaux sont régulièrement organisés. Sous l'égide de l'AIEA*, des conventions internationales ont été mises en place en vue d'informer rapidement les pays de tout accident nucléaire et d'améliorer l'assistance. Enfin, la gestion des conséquences à long terme d'un accident nucléaire (décontamination de l'environnement, limitation de l'exposition des personnes) a progressé.

L'échelle INES, créée après l'accident de la centrale de Tchernobyl, permet d'informer de la gravité d'un incident ou d'un accident dans le domaine nucléaire.



Glossaire

AIEA – Agence internationale de l'énergie atomique (*International Atomic Energy Agency*), organisation intergouvernementale créée en 1957, qui fait partie de l'Organisation des Nations unies. Sa mission est de favoriser et de promouvoir l'utilisation sûre, sécurisée et pacifique des technologies nucléaires dans le monde entier.

CEA – Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives. Acteur de la recherche, du développement et de l'innovation en matière d'énergie, de défense, de technologies de l'information, ainsi que de santé.

CIPR – La Commission internationale de protection radiologique est une organisation non-gouvernementale qui émet des recommandations concernant la mesure de l'exposition aux rayonnements ionisants et les dispositions de radioprotection.

Codirpa – Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire ou d'une situation d'urgence radiologique.

Corium – Amas de combustibles et d'éléments de structure du cœur d'un réacteur nucléaire fondus et mélangés, pouvant se former en cas d'accident grave.

«**Cycle du combustible**» – Débute avec l'extraction du minerai d'uranium et s'achève avec le conditionnement, en vue de leur stockage, des déchets radioactifs provenant des combustibles usés.

ECS – Évaluations complémentaires de sûreté, plan de contrôle décidé après l'accident de Fukushima en 2011 pour les installations nucléaires françaises.

EDF – Électricité de France – exploitant du parc électronucléaire français.

Framatome – Chaudiériste nucléaire, fournisseur d'équipements, de services et de combustible.

ENSREG – *European Nuclear Safety Regulators Group* (groupe à haut niveau de l'Union européenne sur la sûreté nucléaire et la gestion des déchets – anciennement GHN).

Euratom – Communauté européenne de l'énergie atomique, créée en 1957.

FARN – Force d'action rapide du nucléaire (CEA ; EDF).

FINA – Force d'intervention nationale de l'exploitant Orano.

HCTISN – Haut comité pour la transparence et l'information sur la sûreté nucléaire (créé par la loi du 13 juin 2006).

HERCA – *Heads of European Radiation Control Authorities*: association créée en 2007 à l'initiative de l'ASN, elle réunit l'ensemble des Autorités européennes de contrôle de la radioprotection.

INB – Installation nucléaire de base. Installation soumise, de par sa nature ou en raison de la quantité ou de l'activité des substances radioactives qu'elle contient, à un régime de contrôle particulier, défini par le code de l'environnement et l'arrêté du 7 février 2012.

INES – *International nuclear event scale*: échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques, graduée de 0 à 7 par ordre croissant de gravité.

Institut Laue-Langevin – Organisme de recherche internationale spécialisé en sciences et technologies neutroniques, situé à Grenoble.

IRSN – Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire. L'IRSN est un établissement public à caractère industriel et commercial. L'IRSN assume notamment un rôle d'expertise technique pour l'ASN.

ITER Organization – Organisation internationale pour l'énergie de fusion nucléaire exploitant le réacteur ITER situé dans les Bouches-du-Rhône en cours de construction.

Noyau dur – Dispositions matérielles et organisationnelles visant, malgré des conditions très dégradées, à prévenir un accident avec fusion du combustible ou à en limiter la progression.

Orano (ex-Areva NP) – Acteur de l'ensemble du «cycle du combustible», des matières premières jusqu'au traitement des déchets.

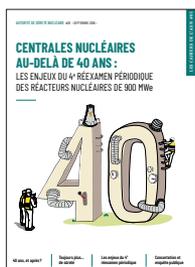
PPI – Plan particulier d'intervention: dispositif local défini en France pour protéger la population, les biens et l'environnement, pour faire face aux risques particuliers liés à l'existence d'une installation industrielle.

RBMK – Réacteur nucléaire de grande puissance à tubes de force, de conception soviétique utilisé à la centrale de Tchernobyl.

RHF – Réacteur à haut flux situé à Grenoble, exploité par l'Institut Laue-Langevin, est un réacteur à haut flux neutronique de 58 MW, à eau lourde, qui produit des faisceaux de neutrons thermiques très intenses destinés à la recherche fondamentale, notamment dans les domaines de la physique du solide, de la physique neutronique et de la biologie moléculaire.

WENRA – *Western European Nuclear Regulators' Association*: association créée en 1999, elle rassemble les responsables des Autorités de sûreté nucléaire des 18 pays européens dotés de réacteurs électronucléaires.

Zirconium – Le zirconium est un métal très résistant à la corrosion à hautes températures. Il est donc utilisé sous forme d'alliage pour fabriquer les assemblages de combustibles nucléaires (grilles, tubes, guides, etc.).



Les cahiers de l'ASN sont disponibles en téléchargement sur [asn.fr](https://www.asn.fr)

Éditeur : Autorité de sûreté nucléaire (ASN)
15-21, rue Louis Lejeune, 92120 Montrouge

Directeur de la publication : Bernard Doroszczuk, Président de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN)
Rédactrice en chef : Marie-Christine Bardet
Rédacteur en chef adjoint : Emmanuel Bouchot
Secrétaire de rédaction : Fabienne Covard

Conception et réalisation : BRIEF

Illustrations : Arnaud Tetelin/BRIEF

Crédit photos : p. 2 : EyePress News / EyePress via AFP – p. 3 : Tepco – p. 16 : FINA : Orano/C. DELESTRADÉ ; Campagne iode : ASN/Sipa/P. MAGNE – p. 17 : FARN : EDF/Juan ROBERT ; Sapeurs pompiers : CEA Cadarache/DR ; FINA : Orano/Cyril CRESPEAU ; Radioprotection : A. Houard/CEA – p. 18 : CEA Sécurité : CEA Cadarache/DR ; Orano : Orano/DR – p. 19 : FINA : Orano/C. DELESTRADÉ ; Passerelle métallique : ILL/Serge CLAISSE ; Hélicoptère : EDF/DR ; FARN : EDF/Gaëtan BOUVIER – p. 22 : Three Mile Island : Shutterstock – p. 23 : Tchernobyl : Atomically speaking

Impression : Imprimerie Fabrègue, 87500 Saint-Yrieix-la-Perche
ISSN : 2647-8005 (version imprimée)
2648-7683 (version en ligne)

Date de parution : 11 mars 2021

