

ACCIDENTS NUCLÉAIRES ET ÉVOLUTIONS DE LA SÛRETÉ ET DE LA RADIOPROTECTION

Comment la sûreté nucléaire et la radioprotection ont évolué après les accidents survenus en France et dans le monde.



1969 / 1980

Saint-Laurent-des-Eaux

1979

Three Mile Island

1986

Tchernobyl

2004 / 2005

Épinal

2011

Fukushima

Les Cahiers Histoire de l'ASN ont pour ambition de proposer un éclairage sur la sûreté nucléaire et la radioprotection par les acteurs d'hier et d'aujourd'hui. L'intention est de compléter le récit des faits, tels que l'histoire les retient, avec les témoignages des acteurs de l'époque.

Sommaire

INTRODUCTION

- La sûreté nucléaire et la radioprotection, un apprentissage permanent 2
- Exemples d'accidents et incidents nucléaires classés selon l'échelle INES 6

CINQ ÉVÉNEMENTS MARQUANTS

- **Saint-Laurent-des-Eaux** (1969 et 1980), deux accidents français 8
- **Three Mile Island** (1979), le premier accident à résonance mondiale 12
- **Tchernobyl** (1986), la catastrophe ultime 16
- **Épinal** (2005), les risques hors installations nucléaires 22
- **Fukushima** (2011), le scénario catastrophe inévitable 26

- GLOSSAIRE** 33



AVANT-PROPOS

Ce premier numéro des Cahiers Histoire de l'ASN est consacré au thème des « accidents nucléaires ». Si certains accidents nucléaires sont connus, au point d'ailleurs que leur nom propre est entré dans le langage courant, d'autres oscillent entre mémoire et oubli. C'est le cas pour deux accidents décrits dans ce numéro, ceux de Saint-Laurent-des-Eaux. Or, nous avons un devoir de construire une mémoire collective en capacité de servir pour demain.

Trois idées clés nous semblent devoir être retenues à ce stade.

D'abord, dans une société qui se veut sans risque, il est nécessaire de rappeler que le risque zéro n'existe pas et le nucléaire n'échappe pas à cette règle universelle. Comme le rappelle André-Claude Lacoste, président de l'ASN de 2006 à 2012, *« personne ne peut garantir qu'il n'y aura jamais un accident grave en France. Il convient de faire deux choses : essayer de réduire la probabilité que cela arrive, ainsi que les conséquences, si cela arrive. C'est toute la philosophie de la sûreté nucléaire ».*

Ensuite, vis-à-vis des accidents du passé, il est nécessaire d'aller au-delà du caractère unique de ceux-ci pour en explorer les causes profondes et en tirer les enseignements qui permettront d'anticiper le potentiel accident, de le gérer au mieux, ainsi que la phase post-accidentelle. Nombre d'évolutions en matière organisationnelle ou de doctrine de sûreté nucléaire et de radioprotection proviennent de ce travail de retour d'expérience. Nous avons choisi de décrire ce travail au travers de cinq événements marquants, qui ont chacun généré des avancées majeures en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection.

Enfin, une des conséquences des accidents majeurs est bien l'émergence d'une conscience internationale des risques liés au nucléaire. Le message selon lequel la sûreté nucléaire est un bien commun et ne doit pas faire l'objet d'une compétition ou bien encore de manipulations géostratégiques, demeure, au regard des événements récents, plus que jamais d'actualité.

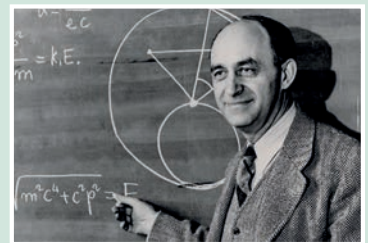
La sûreté nucléaire et la radioprotection, un apprentissage permanent

Les accidents, événements aléatoires, fortuits et non souhaités font partie de l'existence de toutes choses naturelles ou artificielles. Le nucléaire ne fait pas exception à la règle.

La naissance du nucléaire est marquée par le tragique dès le commencement. La première pile atomique à l'uranium, créée par Enrico Fermi en 1942 à Chicago, est très vite suivie par la conception, puis la réalisation de la bombe atomique. C'est d'ailleurs au cours des préparatifs de la bombe que le premier incident de criticité de l'histoire a lieu à Los Alamos aux États-Unis le 11 février 1945. Comme effet notable, un opérateur subit une perte significative de cheveux mais sans effet létal.

Dans les années 50, le nucléaire civil va redonner une caution morale au nucléaire: il ne fait pas que tuer, il peut aussi produire de la chaleur. Parmi les nombreux projets qui naissent à l'époque, la production d'électricité par des réacteurs vaporisant de l'eau pour faire tourner une turbine est un concept toujours d'actualité. Le 20 décembre 1951, à Idaho Falls aux États-Unis, le réacteur à neutrons rapides EBR-1, refroidi par du sodium liquide, produit suffisamment d'électricité pour éclairer le bâtiment qui contient le réacteur!

La voie à une production industrielle est ouverte.



Enrico Fermi (1901-1954)

Concepteur du premier réacteur nucléaire opérationnel de l'histoire, Fermi est considéré par ses pairs comme un géant de la physique moderne. Le physicien italien, prix Nobel en 1938, est devenu citoyen américain en 1945 et a participé intensivement au projet Manhattan de production de la bombe atomique.



« Personne ne peut garantir qu'il n'y aura jamais un accident grave en France. Il convient de faire deux choses: essayer de réduire la probabilité que cela arrive, ainsi que les conséquences, si cela arrive. C'est toute la philosophie de la sûreté nucléaire. »

André-Claude Lacoste
Président de l'ASN de 2006 à 2012

La conscience du risque est présente dès les débuts

Dès la première pile de Fermi, en 1942, la sûreté du réacteur est sujet à précautions et il est prévu de multiples moyens d'arrêt, rudimentaires, mais qui inspireront les systèmes actuels. Ainsi, un opérateur se tenait au-dessus de la pile armé d'une hache, prêt à couper la corde qui retenait une barre d'arrêt d'urgence enrobée de cadmium, un puissant absorbeur de neutrons, qui chuterait alors par gravité dans le cœur. Un deuxième opérateur, lui aussi au-dessus de la pile, armé d'un baquet rempli d'une solution de sulfate de cadmium, était prêt à en asperger le réacteur. La pile était pilotée par une barre de commande en cadmium horizontale manipulée à la main et le flux neutronique était surveillé par des appareils de mesure.

Octobre 1956, premier incident en France

En octobre 1956, dans le réacteur G1 de Marcoule, une cartouche de

combustible mal positionnée dans son canal s'échauffe et prend feu. Sept kilos de combustible nucléaire fondent. Grâce au système de détection de rupture de gaine, la pile est arrêtée, mais l'extraction quasi-manuelle de la cartouche s'avèrera complexe, faute de systèmes de maintenance adaptés. C'est le premier incident en France, resté méconnu du grand public.

Au commencement de l'encadrement de la sûreté nucléaire

Entre 1945 et 1955, les premières années du développement de l'énergie nucléaire en France ne sont assorties d'aucune règle spécifique de sûreté, sinon celles que les chercheurs, ingénieurs et techniciens s'imposent volontairement. Fin 1957, en France, le haut-commissaire à l'énergie atomique Francis Perrin commence une réflexion sur l'organisation de la sûreté nucléaire.

...

Criticité

Dans le domaine de l'ingénierie nucléaire, la criticité est une discipline visant à évaluer et prévenir les risques de réaction en chaîne non désirée dans les installations nucléaires. C'est une sous-discipline de la neutronique. Le risque de criticité est le risque de déclencher une réaction en chaîne de fission incontrôlée.

Aucun pays ne doit céder à l'autosatisfaction en matière de sûreté nucléaire. [...] La sûreté doit toujours venir en premier.

Yukiya Amano

Directeur général de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) de 2009 à 2019



« Tout accident est unique par définition.

Il faut aller au-delà, voir des causes plus profondes. Et c'est pour cela que l'on a fait ce que l'on a fait en France, et plus généralement en Europe, en post Fukushima, parce qu'il y avait une vraie nécessité de faire des choses au-delà des circonstances particulières rencontrées à Fukushima ou à Tchernobyl. »

Pierre-Franck Chevet

Président de l'ASN
de 2012 à 2018

...

Alimentée par les exemples américains, britanniques et canadiens, elle aboutit à la création, en janvier 1960, de la Commission de sûreté des installations atomiques (CSIA), chargée d'examiner la sûreté des installations actuelles et futures du CEA.

Sur le modèle anglo-saxon, les experts demandent pour la première fois la rédaction d'un rapport, qui sera analysé en 1962, lors de la conception de la centrale EDF de Chinon. Ce document, présenté par l'exploitant, décline une analyse des risques et des protections de l'installation dans le but d'obtenir, de la part des pouvoirs publics, une autorisation de construction, puis de mise en service. La décennie des années 1960 sera celle des réacteurs à uranium naturel-graphite-gaz (UNGG), conçus par le CEA. Ils seront officiellement abandonnés en 1969, année où se produit un accident de fusion du cœur sur le réacteur EDF de Saint-Laurent-des-Eaux.

Au milieu des années 1970 se met en place une organisation nationale de la sûreté nucléaire, avec la création d'un organisme de contrôle au sein du ministère de l'Industrie, le Service central de sûreté des installations nucléaires

(SCSIN), créé en 1973, et d'un organisme d'expertise, l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN), créé en 1976 au sein du CEA.

Au tournant des années 1980, ces organismes élaborent une réglementation technique, autour d'un nombre très restreint de guides de bonnes pratiques, d'arrêtés techniques ou encore de notes d'orientations ministérielles. À ces documents officiels s'ajoutent des documents de doctrine écrits par l'exploitant. L'ensemble constitue *de facto* la réglementation.

L'émergence d'un contrôle nucléaire indépendant et transparent

L'accident de Three Mile Island en 1979 (voir p. 12) a été un véritable choc pour les experts français du nucléaire et va contribuer directement à un certain nombre de modifications sur les installations. En parallèle des évolutions techniques liées à l'amélioration de la sûreté, l'organisation même du contrôle connaît des évolutions visant à encadrer la surveillance des centrales nucléaires. L'accident de Tchernobyl en 1986 (voir p. 16) a renforcé l'idée qu'un système de régulation plus transparent,

L'ASN est certainement la deuxième plus puissante autorité de sûreté nucléaire dans le monde. Et peu de gens savent le rôle qu'André-Claude Lacoste a joué dans la définition de règles de sûreté internationales en présidant la Commission des normes de sûreté nucléaire à l'AIEA.

Ann MacLachlan

Ancienne journaliste de Nucleonics week

plus indépendant des industriels et réglementairement plus solide était indispensable. En 2002 est créé l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), établissement public entièrement autonome du CEA, fusion de l'Office pour la protection des rayonnements ionisants (OPRI) – qui remplace le Service central de protection contre les rayonnements ionisants (SCPRI) en 1994 – et de l'IPSN.

De son côté, le SCSIN, après plusieurs élargissements successifs de son champ d'action, acquiert le statut d'autorité administrative indépendante en 2006 et devient l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). La même année, la loi sur la transparence et la sécurité nucléaire (TSN) est promulguée, puis une série de décrets, d'arrêtés, de décisions à caractère réglementaire, ainsi qu'une refonte du corpus des guides pratiques, remplacent progressivement l'ancienne réglementation. En 2011, à la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima (*voir p. 26*), la sûreté des centrales nucléaires françaises est réévaluée par l'intermédiaire de *stress tests* qui prennent le nom « d'évaluations complémentaires de sûreté ».

La sûreté nucléaire : un bien commun mondial

L'émergence d'une conscience internationale des risques liés au nucléaire est une des conséquences des accidents majeurs. Dans ses vœux à la presse en 2011, André-Claude Lacoste l'exprime avec force : « *L'ASN a une politique active de coopération internationale. Elle considère que la sûreté nucléaire ne doit pas être un objet de compétition, mais un bien commun* ». L'ASN considère qu'un des nouveaux défis pour la sûreté nucléaire mondiale, notamment dans le contexte du développement d'un programme électronucléaire dans les pays émergents, est de développer une culture partagée de la sûreté et de mettre en place une autorité de sûreté indépendante dans chaque pays. Parallèlement à ces autorités indépendantes, des associations citoyennes se sont créées et ont contribué, avec des positions critiques et expertes, à enrichir le débat sur les enjeux du nucléaire et les exigences liées à la sûreté. ■



« Je pense que la solidité de la filière nucléaire repose non seulement sur un exploitant solide et responsable, mais aussi sur une autorité de sûreté qui joue complètement son rôle. C'est aussi comme cela que le public a confiance, sinon cela ne fonctionne pas. »

Dominique Minière

Directeur exécutif du groupe EDF chargé de la Direction du parc nucléaire et thermique de 2015 à 2019

Exemples d'accidents et incidents nucléaires classés selon l'échelle INES

Niveau 7

1986 – Tchernobyl (Ukraine)

À la suite d'une série d'erreurs humaines et en raison de défauts de conception, le réacteur 4 subit une fusion du cœur, puis une explosion, provoquant la libération du combustible dans l'atmosphère. La contamination s'est étendue à toute l'Europe. [Détails p. 16](#)

2011 – Fukushima-Daichi (Japon)

Cet accident est la conséquence d'un tsunami, survenu à la suite d'un séisme de magnitude 9 sur l'échelle de Richter, ayant provoqué la perte totale des alimentations électriques et du refroidissement des réacteurs nucléaires et d'importants rejets radioactifs dans l'environnement. [Détails p. 26](#)

Niveau 6

1957 – Kyshtym (Russie-ex-URSS)

L'explosion d'un réservoir de déchets nucléaires liquides libère un nuage radioactif qui contamine une région entière autour de Kyshtym, sur 800 km². Plus de 200 personnes décèdent, 10 000 personnes sont évacuées et 470 000 personnes sont exposées aux radiations.

Niveau 5

1957 – Windscale, rebaptisé Sellafield (Royaume-Uni)

Le cœur en graphite du réacteur 1 s'enflamme au cours d'un recuit et des produits de fission, essentiellement de l'iode-131, sont rejetés à l'extérieur. Aucune mesure d'évacuation n'a été nécessaire, mais les autorités compétentes prennent des mesures telles que l'interdiction de consommer des denrées produites localement.

1979 – Three Mile Island (États-Unis)

À la suite d'une chaîne d'événements accidentels, le cœur du réacteur 2 de la centrale de Three Mile Island (TMI-2) fond en partie, entraînant le relâchement dans l'environnement d'une faible quantité de radioactivité. [Détails p. 12](#)

Niveau 4

1959 – Santa Susana (États-Unis)

Le réacteur expérimental au sodium subit une fusion partielle du cœur au Santa Susana Field Laboratory, près de Simi Valley, en Californie.

1969 – Centrale de Saint-Laurent-des-Eaux (Loir-et-Cher, France)

Quarante-sept kilogrammes de dioxyde d'uranium entrent en fusion au cœur du réacteur graphite-gaz 1 lors d'une opération de chargement. [Détails p. 8](#)

1969 – Lucens (Suisse)

L'éclatement d'un tube de force provoque une impulsion de courant et le réacteur (un petit appareil expérimental construit dans une caverne rocheuse) explose. Il est totalement détruit. Le cœur a partiellement fondu. La majeure partie des substances radioactives est contenue dans la caverne.

1971 – Centrale de Monticello (États-Unis)

Un réservoir d'eau déborde, relâchant 190 m³ d'eau contaminée dans le Mississippi. Des matières radioactives entrent plus tard dans le système d'arrivée d'eau de Saint-Paul (Minnesota).

1980 – Centrale de Saint-Laurent-des-Eaux (Loir-et-Cher, France)

Une fusion au cœur du réacteur se produit sur le réacteur graphite-gaz 2. Un morceau de tôle vient obstruer une partie du circuit de refroidissement. La température fait un bond, ce qui provoque la fusion de 20 kg d'uranium et entraîne l'arrêt d'urgence du réacteur. L'accident endommage gravement l'installation. [Détails p. 8](#)

1993 – Tomsk-7 (Russie)

Une réaction en chaîne se produit dans l'usine de retraitement des déchets de Tomsk-7, provoquant une forte explosion et un rejet important de matières radioactives dans l'atmosphère.

1999 – Tokaimura (Japon)

L'introduction dans une cuve de décantation, à la suite d'une erreur de manipulation, d'une quantité anormalement élevée d'uranium (16,6 kg) dépassant très largement la valeur de sécurité (2,3 kg), est à l'origine d'une réaction de criticité. Cet accident tue deux ouvriers.

2000 – Indian Point (États-Unis)

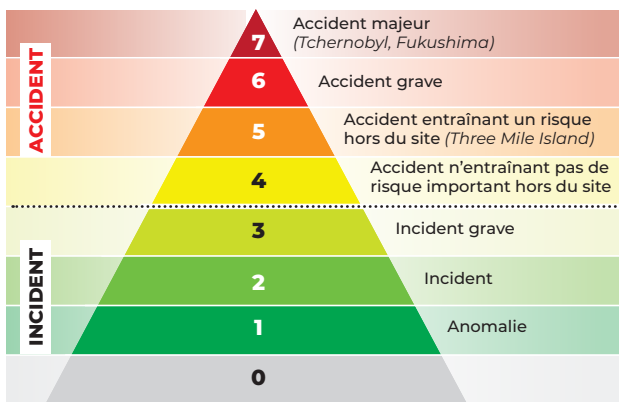
Le réacteur 2 de la centrale nucléaire d'Indian Point libère une petite quantité de vapeur radioactive. C'est un dysfonctionnement du générateur de vapeur qui en est la cause.

Niveau 3

1981 – La Hague (Manche, France)

Un incendie de déchets radioactifs se produit dans un silo de stockage non confiné de l'usine de retraitement.

Échelle INES (International Nuclear Event Scale) de classement des incidents et accidents nucléaires



La nécessité d'informer le public du niveau de gravité des événements nucléaires, notamment après l'accident de Tchernobyl en 1986, a conduit à développer des échelles de classement.

L'échelle internationale INES a été, à l'origine, mise en application à titre expérimental en France par le Conseil supérieur de la sûreté et de l'information nucléaire (CSSIN) à partir du printemps 1988. Elle a reçu notamment l'impulsion de Pierre Desgraupes, vice-président du CSSIN et a été adoptée en 1991 par l'AIEA.

En 2002, l'ASN a proposé une nouvelle version de cette échelle, pour prendre en compte les événements de radioprotection (irradiation, contamination), notamment ceux touchant les travailleurs, quel que soit le lieu de l'incident.

Par la suite, en juillet 2008, l'AIEA a publié une échelle INES révisée qui permet de mieux prendre en compte les événements survenant dans le domaine des transports ou entraînant l'exposition de personnes à des sources radioactives.

1989 – Vandellos (Espagne)

Un incendie se déclare dans la salle des turbines de la centrale nucléaire de Vandellos, en provoquant indirectement une inondation et endommageant différents systèmes, dont celui de réfrigération du réacteur. Le gouvernement espagnol décide de fermer définitivement le réacteur en novembre 1992.

1991 – Forbach (Moselle, France)

Trois employés intérimaires pénètrent dans un accélérateur industriel en fonctionnement et sont fortement irradiés.

2005 – Sellafield (Royaume-Uni)

Dans l'enceinte de l'usine de retraitement Thorp, 83 000 litres de combustible liquéfié fortement radioactif, contenant de l'uranium et de l'acide nitrique concentré, se répandent dans une cuve en acier inoxydable qui contient 200 kg de plutonium.

2007 – Kashiwazaki-Kariwa (Japon)

La centrale subit un tremblement de terre d'intensité 6,8 sur l'échelle de Richter, dont l'épicentre est éloigné d'environ 10 km. Le séisme entraîne un incendie, maîtrisé deux heures après le départ du feu, ainsi que des rejets d'eau contenant des éléments radioactifs dans la mer.

2008 – Toulouse (Haute-Garonne, France)

Un employé intérimaire est irradié par une source de cobalt-60 au centre français de recherche aérospatiale (Onera).

Niveau 2

1992 – Sosnovy Bor (Russie)

Sur le réacteur 3, un RBMK, une vanne d'arrivée d'eau d'un des 1660 tubes de force se ferme et entraîne la destruction de l'élément de combustible et du tube de force.

1999 – Blayais (Gironde, France)

Lors de la tempête qui frappe alors la France, les parties basses des réacteurs 1 et 2, et dans une moindre mesure les réacteurs 3 et 4 de la centrale nucléaire, sont inondés, forçant l'arrêt de trois de ses quatre réacteurs.

2006 – Atelier de technologie du plutonium de Cadarache (Bouches-du-Rhône, France)

La quantité de plutonium dans les enceintes de confinement a été sous-estimée, ce qui conduit à réduire fortement les marges de sécurité prévues à la conception pour prévenir un accident de criticité, dont les conséquences potentielles pour les travailleurs pourraient être importantes.

2006 – Forsmark (Suède)

Le système d'alimentation électrique de secours du réacteur 1 de la centrale de Forsmark subit une défaillance. La récupération de l'alimentation électrique au bout de quelques heures permet d'éviter le dénoyage du cœur.

2007 – Dijon (Côte d'Or, France)

Un manipulateur est irradié lors de la radiothérapie d'un patient.

2008 – Krško (Slovénie)

À la suite d'une fuite sur le circuit primaire du système de refroidissement du réacteur, celui-ci est mis à l'arrêt. La fuite est contenue dans l'enceinte de confinement.

2009 – Cruas-Meysses (Ardèche, France)

Une perte du refroidissement des systèmes, dangereuse pour la sûreté du réacteur 4, est constatée.

2011 – Fort Calhoun (États-Unis)

À la suite du débordement de la rivière Missouri, la centrale nucléaire de Fort Calhoun est inondée.

Niveau 1

Plus d'une centaine d'événements sont constatés chaque année en France.

Niveau 0

Plus d'un millier d'événements sont constatés chaque année en France.

Saint-Laurent-des-Eaux, deux accidents français

Les deux accidents de la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux sont les événements nucléaires les plus importants jamais recensés en France. Rétrospectivement classés par l'ASN au niveau 4 sur l'échelle INES, ils se sont produits sur des réacteurs de la filière UNGG, une technologie aujourd'hui abandonnée et en cours de démantèlement.

Les réacteurs UNGG

Les réacteurs UNGG constituent la première génération du nucléaire français. Ils utilisent un combustible d'uranium naturel (non enrichi), modéré au graphite, et avec du gaz CO₂ comme caloporteur. EDF avait annoncé la veille de l'accident de 1969 l'abandon de la filière, pour des raisons économiques plus que techniques, au profit de la filière des réacteurs à eau sous pression (REP).



L'accident nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux de 1969

Le 17 octobre 1969, fusion de cinq éléments combustibles

Une erreur se produit lors d'une opération de chargement du réacteur graphite-gaz A1. Cette erreur empêche la bonne circulation du dioxyde de carbone, lequel sert de réfrigérant. Elle a pour conséquence de réduire fortement le refroidissement des éléments combustibles présents dans un canal du cœur du réacteur. Une élévation de température des gaines, en alliage de magnésium et de zirconium, de cinq éléments combustibles se produit, entraînant leur dégradation. Le réacteur s'arrête automatiquement, du fait de la montée de radioactivité dans le caisson du réacteur.

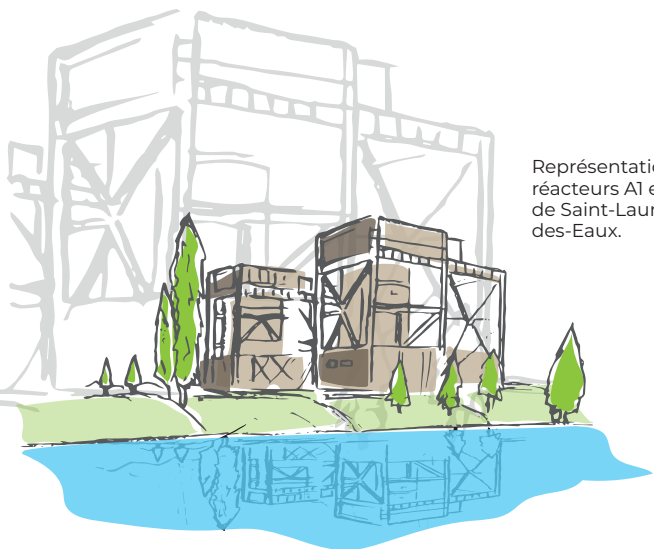
Les cinq éléments combustibles correspondent à une cinquantaine de kilogrammes d'uranium. Les conséquences radiologiques restent limitées : l'uranium est très faiblement irradié, dans la mesure où les éléments combustibles venaient d'être chargés dans le réacteur.

Le nettoyage

Une dizaine de jours après l'accident, le temps que le combustible nucléaire refroidisse, les opérations de nettoyage de l'uranium fondu commencent. À l'issue de ces opérations, 47 kg d'uranium sont récupérés, essentiellement à l'aide de moyens téléopérés. Des interventions humaines complémentaires ont été nécessaires pour récupérer certains débris. Dédiée à l'entraînement des opérateurs en charge du nettoyage, une maquette grandeur nature de l'ensemble à nettoyer a été construite.

L'arbitrage technologique

Deux technologies nucléaires sont alors en compétition : la filière graphite-gaz, considérée comme « nationale » et la filière à eau sous pression, celle des REP. Le président de la République Charles De Gaulle a une préférence pour la filière graphite-gaz, alors que Georges Pompidou, qui lui succède en 1969, favorise la filière à eau sous pression. Peu après l'accident, la filière graphite-gaz est abandonnée au profit de la filière à eau sous pression.



Représentation des réacteurs A1 et A2 de Saint-Laurent-des-Eaux.

La centrale nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux se situe sur la commune de Saint-Laurent-Nouan dans le Loir-et-Cher (41) en bord de Loire, entre Orléans (30 km en amont) et Blois (28 km en aval). Les accidents concernent uniquement les deux anciens réacteurs nucléaires A1 et A2 de la filière UNGG en phase de démantèlement et les deux silos d'entreposage de déchets (chemises de graphite) associés. Ces deux réacteurs, mis en service en 1969 et 1971, ont été arrêtés respectivement en avril 1990 et mai 1992.

Cette centrale nucléaire comprend aussi deux réacteurs REP, B1 et B2, qui sont en fonctionnement depuis 1983. Ils ont une puissance unitaire de 915 mégawatts.

L'accident nucléaire de Saint-Laurent-des-Eaux de 1980

Le 13 mars 1980, fusion de deux éléments combustibles

Une hausse brutale de la radioactivité dans le caisson du réacteur conduit à l'arrêt automatique de ce réacteur. Les alarmes retentissent, une fusion partielle du cœur se produit sur le réacteur A2. Cette fusion est déclenchée par le décrochage d'une tôle au sein du circuit de refroidissement qui vient boucher une partie de celui-ci puis fait augmenter localement la température du combustible. 20 kg d'uranium fondent après l'arrêt d'urgence du réacteur.

Le professeur Pierre Pellerin, responsable du SCPRI, expliquera à la commission de surveillance de la centrale « que la pression à l'intérieur du réacteur équivalait à trente fois la pression atmosphérique et qu'il fallait procéder à quelques rejets pour dégonfler le caisson ».

Les rejets d'effluents radioactifs gazeux cumulés sont restés faibles car un temps d'attente a été respecté pour dégonfler le caisson, sachant que le combustible était irradié. Ces rejets d'une faible quantité n'ont pas conduit à un dépassement des limites alors autorisées, encadrées par décret.

Dégâts et remise en service

La quantité de combustible fondu est plus faible qu'en 1969 (20 kg contre 50 kg), mais le combustible est plus radioactif puisqu'il a accumulé les produits de fission

et actinides mineurs lors de son utilisation pendant deux ans dans le réacteur.

Cinq cents salariés d'EDF et sous-traitants sont impliqués pendant les 29 mois que durent les opérations de nettoyage et de remise en état du réacteur. Les poussières d'uranium dispersées dans le bâtiment réacteur lors de l'accident ont constitué pendant longtemps un risque de contamination.

Plusieurs tonnes de plomb sont apportées dans le bâtiment réacteur pour servir de protection radiologique. Les travaux de nettoyage et de réparation ont duré jusqu'en 1982. L'installation a redémarré en octobre 1983.

Les deux réacteurs A1 et A2 de la filière UNGG ont été définitivement arrêtés respectivement en avril 1990 et mai 1992.

Bien plus tard, en 2015, une polémique éclate concernant des rejets de plutonium dans la Loire, à la suite de l'accident (voir page suivante).

L'année 1980 est aussi marquée par deux incidents notables sur la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux.

• Le 13 février 1980

À la suite d'une montée en puissance très rapide, liée à des insuffisances dans les consignes d'exploitation, des gaines de plusieurs éléments combustibles fondent sans que l'uranium ne subisse ce même phénomène.

• Le 21 avril 1980

Un conteneur explose dans une piscine dans laquelle étaient stockées des barres de combustibles « usées » retirées du réacteur et dont la gaine était endommagée (en attente de leur évacuation hors du site). Des produits de fission sont libérés dans l'eau de la piscine.

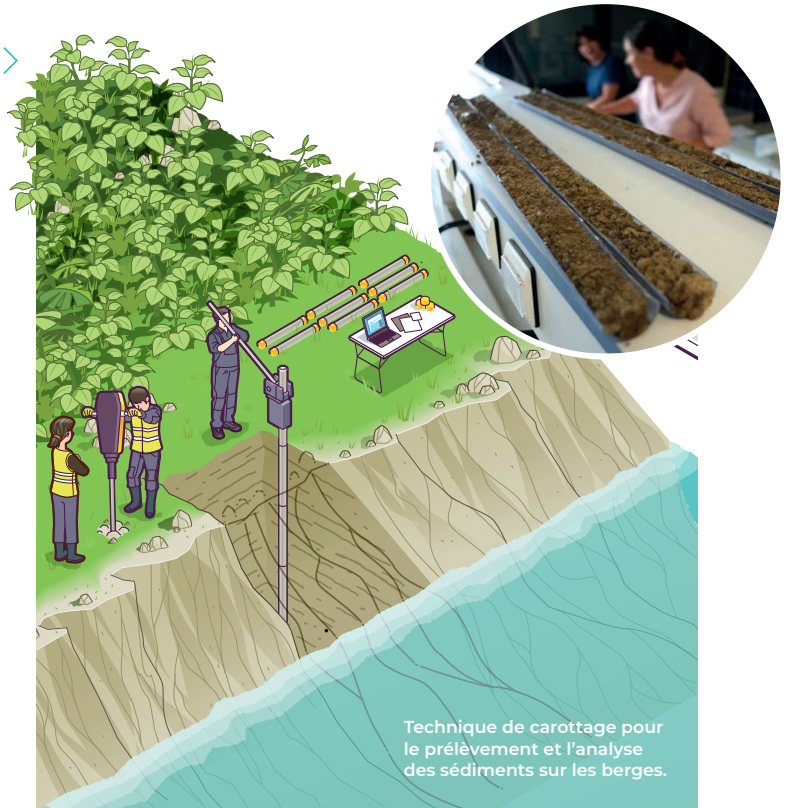
Une mission d'enquête diligente en 2015

Les deux événements ont été ultérieurement classés au niveau 4 (accident) de l'échelle INES (voir p.6), adoptée par l'AIEA en 1994 à la suite de l'accident de Tchernobyl. Une mission d'enquête, réalisée à la demande de la ministre de l'Écologie, conclut à des faibles rejets ne dépassant pas les normes en vigueur au moment des faits.



Étapes pour analyser un sédiment sur les berges de la Loire

- 1. Identification du meilleur site de carottage**, défini par une équipe pluridisciplinaire (géochimistes, hydrologues, etc.).
- 2. Prélèvement des sédiments**, tous les mètres, à deux profondeurs différentes.
- 3. Analyse des échantillons au laboratoire par spectrométrie gamma**. Les tubes sont découpés dans le sens longitudinal, puis ouverts. Le césium-137 et le plomb-210 en excès sont mesurés dans chaque tranche, pour établir une datation.
- 4. Analyse des radionucléides dans un laboratoire de l'IRSN**. Un expert recherche le plutonium, le carbone-14 et le tritium organiquement lié. L'analyse a montré des pics de plutonium pour les années 1969 et 1980, qui correspondent aux deux accidents survenus dans la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux.



Technique de carottage pour le prélèvement et l'analyse des sédiments sur les berges.



« Il ne faut pas laisser perdre la mémoire de ceux qui ont fondé l'autorité de sûreté et les divers organismes qui l'ont précédée. La marche vers toujours plus d'indépendance et toujours plus de transparence se poursuit encore aujourd'hui. »

Philippe Saint Raymond

Directeur adjoint de la sûreté des installations nucléaires (1993 – 2002), puis Directeur général adjoint de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (début 2002 à février 2004)

Rejets de plutonium dans la Loire

D'après le président de la commission de surveillance de la centrale: « *Quand tout a été refroidi, quelques kilos d'uranium avaient fondu et ils s'étaient déposés au fond du caisson. Ces matériaux étaient chargés en produits de fission, et en plutonium. Lors du nettoyage, il y a eu une opération de rinçage et des rejets liquides sont partis dans la Loire* ». La centrale indique « *avoir respecté les limites réglementaires d'autorisation de rejet de l'époque, fixées par l'arrêté ministériel de juin 1979* ».

Le 4 mai 2015, le documentaire *Nucléaire, la politique du mensonge ?*, diffusé par Canal+ avance qu'EDF, à la suite de cet accident, a procédé à des rejets de plutonium dans la Loire pendant au moins cinq ans, en toute illégalité.

Une campagne de prélèvements de sédiments dans la Loire, conduite

par un laboratoire universitaire, a établi la présence de traces de plutonium depuis Saint-Laurent-des-Eaux jusqu'à l'estuaire, dont l'origine serait à imputer soit à l'accident de 1980, soit à celui de 1969 (voir ci-dessus).

Pour l'IRSN, la majeure partie de ces traces ne sont pas liées à l'accident du 13 mars 1980, mais au traitement des eaux de la piscine du réacteur A2, contaminées lors de l'éclatement d'un conteneur renfermant un élément combustible non étanche, survenu le 21 avril 1980.

Sur la base des évaluations dosimétriques réalisées à partir de l'estimation de l'activité rejetée à l'époque, l'IRSN considère que les rejets en plutonium dans la Loire sont restés suffisamment faibles pour que les risques sanitaires et environnementaux en aval du site puissent être considérés comme négligeables.



Quels enseignements peut-on tirer des accidents nucléaires de Saint-Laurent-des-Eaux

Améliorations de gouvernance et techniques

L'accident du 17 octobre 1969 est considéré comme exceptionnel par les experts d'EDF et du CEA. L'analyse des causes conduit rapidement à diagnostiquer qu'une combinaison entre une erreur humaine et une erreur de l'automatisme qui assure le chargement a entraîné l'accident.

Cet événement conduira à améliorer le dispositif de détection de rupture de gaines des réacteurs UNGG et les dispositifs de manutention des combustibles. Il fera l'objet d'un suivi par un groupe d'experts (du CEA et d'EDF, mais aussi du ministère de l'Industrie) dans les mois suivant l'événement.

Sur le plan de la communication, l'accident n'est pas caché mais

reste discret. Le 31 octobre 1969, un article du Monde fait état de l'accident comme « incident ». Cela ne provoque aucune réaction particulière en France. Le déroulement de l'accident a, toutefois, fait l'objet d'une publication dans une revue spécialisée ainsi que d'un film, réalisé par la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux, montrant les différentes phases de remise en état.

Trois conférences internationales, à Londres, à Paris et en Allemagne, se sont tenues entre octobre et décembre 1970, témoignant d'une volonté de faire connaître aux spécialistes concernés, en France et à l'étranger, l'accident et ses méthodes de résolution.

Valorisation des retours d'expérience à l'échelle mondiale

L'accident du 13 mars 1980 fait l'objet d'une analyse plus formalisée que celui de 1969, étant donné l'existence d'un organisme de contrôle au sein du ministère de l'Industrie, le SCSIN, ancêtre de l'ASN, d'un expert public rattaché au CEA, l'IPSN, et d'un groupe permanent d'experts. L'IPSN rédige deux rapports, l'un consacré à l'accident du 13 février 1980, qui pointe des défaillances organisationnelles et humaines, et un autre à celui du 13 mars, qui précise qu'il s'agit d'un problème de conception.

Les experts de l'IPSN mentionnent également un manque de prise en compte du retour d'expérience

d'accidents survenus à l'étranger: un incident précurseur (arrachage de tôles) s'était déroulé dans la centrale nucléaire de Vandellos en Espagne en 1976, centrale vendue par la France et copie conforme de la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux (voir citation ci-contre).

Le rapport de l'IPSN sur l'accident du 13 mars 1980 précise: « cet incident a échappé à l'attention. » De même, le risque d'un projectile pouvant causer une perte de refroidissement, ce qui correspond au scénario de l'accident de 1980, n'avait pas été pris en compte alors qu'elle avait fait l'objet d'études au milieu des années 1970 en France.

Création du SCSIN

Créé par décret en 1973, à la suite du premier accident de la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux, le Service central de sûreté des installations nucléaires (SCSIN) avait la charge de préparer et de mettre en œuvre toutes les actions techniques relatives à la sûreté nucléaire: réglementation, coordination des études de sûreté, information nucléaire. C'est à cette structure légère, dépendante du ministère de l'Industrie, qu'incombait la mission d'instruire les dossiers d'autorisation relatifs aux installations nucléaires de base (INB). Le Service est devenu la Direction de la sûreté des installations nucléaires (DSIN) en 1991, puis la Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (DGSNR) en 2002. L'ASN en est directement issue en 2006.



«...une attention particulière doit être portée par Électricité de France au fonctionnement des divers réacteurs de la même filière en exploitation à l'étranger – notamment Vandellos en Espagne – afin de tirer tous les enseignements des événements précurseurs d'incidents.»

SCSIN

« Centrales nucléaires du type graphite-gaz, Enseignements des incidents de la deuxième tranche de Saint-Laurent-des-Eaux A », 13 janvier 1981

Three Mile Island, le premier accident à résonance mondiale

L'accident de fusion partielle du cœur du réacteur 2 de Three Mile Island (TMI) a démontré que des cumuls de défaillances humaines et techniques pouvaient conduire à un accident grave. Classé au niveau 5 sur l'échelle INES, l'accident a été un tournant majeur pour l'industrie nucléaire et a donné lieu à un réexamen global des risques et de l'approche de sûreté des réacteurs.

La fusion du cœur

La fusion du cœur d'un réacteur survient lorsque les crayons de combustible nucléaire qui contiennent l'uranium ou le plutonium ainsi que des produits de fission hautement radioactifs, commencent à surchauffer puis à fondre. Elle se produit en particulier lorsqu'un réacteur cesse d'être correctement refroidi. Elle est considérée comme un accident nucléaire grave car des matières fissiles peuvent alors polluer l'environnement avec une émission de nombreux radio-isotopes hautement radioactifs, hors de l'enceinte de confinement.



Un an après sa mise en service, le réacteur 2 de la centrale de TMI, implantée sur une île de la rivière Susquehanna, connaît une panne technique.

La centrale nucléaire de TMI, située en Pennsylvanie, dans l'Est des États-Unis, a été mise en service en 1974. En 1979, elle était équipée de REP distincts de 900 mégawatts électriques (MWe).

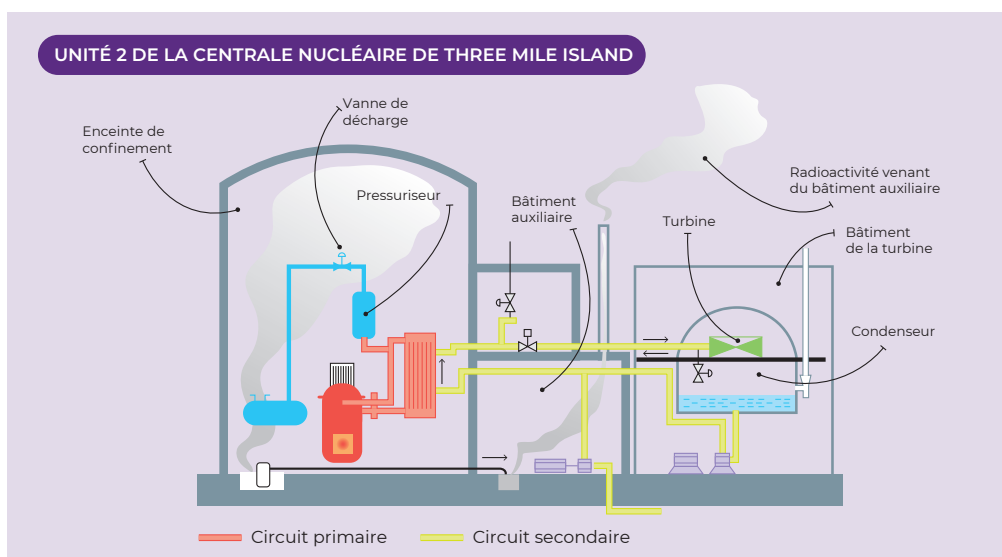
Mercredi 28 mars 1979, 04h00

L'accident débute par un simple incident d'exploitation, la défaillance des pompes principales d'alimentation en eau du système de refroidissement des générateurs de vapeur. Les automatismes de sûreté prévus – arrêt d'urgence par insertion des barres de commande dans le cœur et mise en service des pompes de secours d'alimentation en eau

du réacteur – fonctionnent parfaitement.

Succession de défaillances et de négligences

C'est alors que survient une deuxième défaillance: malgré la mise en service des pompes du système d'alimentation de secours, l'eau n'alimente pas les générateurs de vapeur car les vannes situées entre ces derniers et les pompes sont fermées au lieu d'être ouvertes, en raison d'un oubli de l'opérateur. Ces vannes seront rouvertes manuellement, huit minutes plus tard. Pendant ce laps de temps, le circuit primaire, insuffisamment refroidi, voit augmenter la pression



Lorsque l'unité 2 (TMI-2) a subi son accident en 1979, l'unité TMI-1 a été déconnectée du réseau. Elle a été remise en fonctionnement en octobre 1985, malgré l'opposition du public, plusieurs injonctions des tribunaux fédéraux et des complications techniques et réglementaires. En 2009, son autorisation d'exploitation a été prolongée de 20 ans, soit jusqu'au 19 avril 2034. Cependant, le site étant déficitaire depuis plusieurs années, l'exploitant – Exelon –, a décidé d'en arrêter l'exploitation le 20 septembre 2019.

de ce circuit jusqu'à déclencher l'ouverture de la vanne de décharge du pressuriseur, dont le rôle est d'évacuer l'excès de vapeur vers un réservoir et donc de diminuer la pression dans le circuit primaire.

Lorsque le refroidissement par les générateurs de vapeur est rétabli et que la pression du circuit primaire atteint le seuil de fermeture de la vanne de décharge du pressuriseur, **une troisième défaillance se produit** : la vanne de décharge du pressuriseur reçoit l'ordre de se fermer, mais reste coincée en position ouverte, d'où la perte de fluide primaire par cette vanne.

Les opérateurs qui vérifient l'indicateur de position de la vanne de décharge du pressuriseur, voient «vanne fermée». Cette information est fautive. En effet, l'indicateur transmis en salle de commande est l'ordre reçu par la vanne et non sa position réelle. Sous l'effet de la perte de fluide primaire, l'injection de sécurité démarre. Les opérateurs chargés de la conduite de la centrale concentrent leur attention sur le niveau d'eau dans le pressuriseur, afin d'éviter son remplissage.

Devant la montée rapide du niveau d'eau dans le pressuriseur, et croyant la vanne de décharge fermée, les opérateurs arrêtent manuellement l'injection de sécurité. La représentation mentale de la situation qu'ont les opérateurs

est fautive, ils manquent d'informations directes sur l'état du cœur du réacteur.

Fusion du combustible puis remise en service de l'injection de sécurité

Compte tenu de la vidange du circuit primaire, le refroidissement du combustible n'est plus assuré. Ceci conduit à sa dégradation, avec un fort relâchement de produits de fission du combustible dans le fluide primaire. Deux heures et 14 minutes après le début de l'accident, l'alarme de radioactivité élevée dans l'enceinte de confinement se déclenche. Les opérateurs ne peuvent dès lors plus ignorer que la situation est sérieuse. La vanne d'isolement du circuit de décharge est alors fermée, ce qui met fin à la vidange du circuit primaire. À ce stade de l'incident, de nouvelles alarmes de radioactivité se déclenchent, dont certaines hors du bâtiment du réacteur.

Neuf heures et cinquante minutes après le début de l'accident, une explosion localisée d'environ 320 kg d'hydrogène provoque un pic de pression de 2 bars environ dans le bâtiment du réacteur, sans provoquer de dégâts particuliers. Il faudra les douze heures suivantes pour évacuer du circuit primaire l'essentiel de l'hydrogène créé par l'oxydation du Zircaloy et des gaz de fission incondensables relâchés hors du combustible lors de l'accident.

Mercredi 28 mars 1979, 20h00

L'accident proprement dit est terminé. Plusieurs jours seront cependant nécessaires pour pouvoir éliminer l'hypothèse du risque d'une explosion d'hydrogène.

Les dégâts subis par les éléments combustibles sont très supérieurs à ceux imaginés pour l'accident le plus grave étudié dans le cadre de la dimensionnement de l'installation. On ne le constatera qu'en 1985, soit six ans plus tard, mais 45 % du combustible a fondu, entraînant avec lui des matériaux de gaines et de structures, formant ce qu'on appelle un « corium ». Une partie de ce corium, 20 tonnes environ, s'est écoulée sous forme liquide dans le fond de la cuve, sans heureusement la traverser, grâce peut-être à la formation d'un espace entre le corium et la cuve qui aurait permis la circulation de l'eau de refroidissement dans la cuve.

Des conséquences minimales sur l'environnement

Malgré la fusion partielle du cœur du réacteur et l'important relâchement de radioactivité dans l'enceinte de confinement, les conséquences radiologiques immédiates dans l'environnement ont été limitées. L'enceinte de confinement a en effet rempli son rôle. Les faibles rejets dans l'environnement ont été causés par le maintien en service d'un système de pompage des effluents du circuit primaire.

Comment la sûreté nucléaire et la radioprotection ont-elles évolué à la suite de l'accident de Three Mile Island ?

Des enseignements ont été tirés de l'accident de TMI pour le fonctionnement des réacteurs. La prise en compte de ces leçons a permis ainsi de réduire d'un facteur 10 la probabilité calculée de fusion de cœur pour les réacteurs REP de deuxième génération.

L'opinion publique internationale a pris conscience que les accidents nucléaires constituaient un risque réel pouvant se concrétiser à tout moment. L'accident a marqué l'élargissement du débat sur la sûreté nucléaire du domaine des scientifiques et des industriels à celui des citoyens et des politiques.



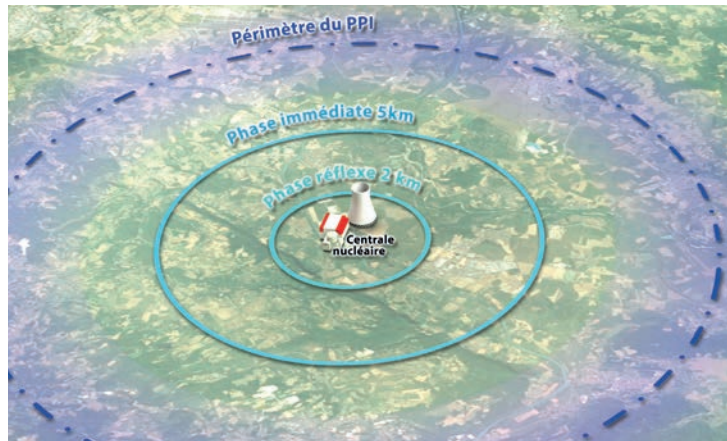
Protéger les populations en informant sur les risques et les mesures pour y faire face

Les acteurs de la sûreté nucléaire ont élaboré de vastes plans d'information auprès des habitants résidant autour des centrales nucléaires. Les autorités locales, le corps médical et les pharmaciens étaient également parties prenantes de ces actions.

Mise en place des plans d'urgence en France

L'accident de TMI est lié pour partie à une mauvaise compréhension de la situation par les opérateurs. Il a été établi qu'il était très difficile, pour une équipe, de remettre en cause son interprétation de la situation. Il est ainsi apparu que la mise en place d'une équipe de crise, à même de prendre un peu de recul sur la situation, pourrait être d'un apport majeur. De même, la meilleure définition du rôle des différents acteurs et l'organisation de la circulation de l'information en situation d'accident sont apparues nécessaires. Des plans d'urgence ont été développés sur ces bases. La nécessité d'un entraînement régulier a été également mise en évidence.

C'est au début des années 1980 que les plans d'urgence ont été mis en place en France. Des plans d'urgence interne (PUI) ont été développés par les exploitants d'installations nucléaires dans le but de maîtriser autant que possible un accident et d'en limiter ses conséquences, porter secours aux blessés sur le site et informer les pouvoirs publics et les médias. Les pouvoirs publics ont établi des plans particuliers d'intervention (PPI) répondant à l'objectif général de protection des populations en cas d'accident grave pouvant se produire dans ces installations. Dès 1980, un premier exercice de crise a été organisé à la centrale nucléaire de Fessenheim (Haut-Rhin, France).



Prise en compte des enseignements tirés du suivi du fonctionnement des centrales nucléaires

La détection des événements précurseurs est devenue une préoccupation importante des exploitants et des organismes de sûreté nucléaire.

L'organisation de l'exploitation et du retour d'expérience s'est donc développée autour de cette nouvelle priorité.

Modification de certains dispositifs techniques

Entre 1994 et 2008, l'ASN a sollicité l'avis de l'IRSN et du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires et a retenu les principales modifications suivantes :

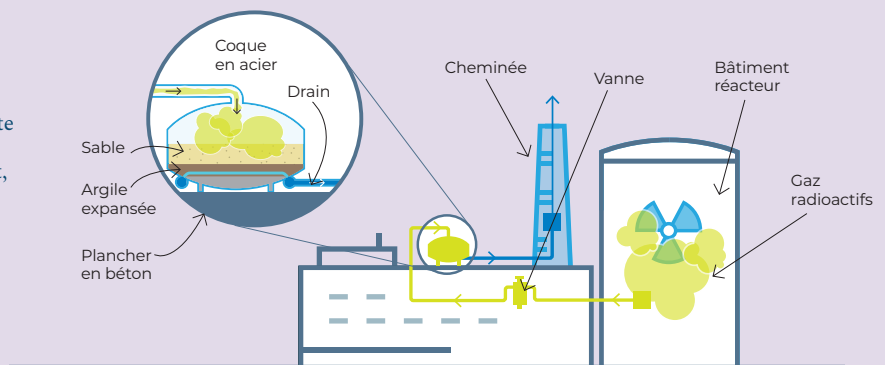
- la fiabilisation de l'ouverture commandée des soupapes de décharge du pressuriseur sur les réacteurs de 900 MWe: l'objectif de cette modification étant de limiter les risques de percement de la cuve en pression, notamment en cas de fusion du cœur consécutive à une perte totale des alimentations électriques;
- la mise en place de recombinaison auto-catalytiques passifs d'hydrogène sur tous les réacteurs (mise en place achevée en 2007);
- l'amélioration du système de fermeture du tampon d'accès du matériel (TAM) pour les réacteurs de 900 MWe dans le but d'assurer l'étanchéité du TAM, point faible du confinement, jusqu'à une pression de l'ordre de 8 bars;
- la mise en place, sur les réacteurs de 900 MWe, de capteurs de détection d'hydrogène et de percée de la cuve par le corium afin de disposer, en cas d'accident grave, d'informations quant à la progression de la situation.

Avancée majeure

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 les 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.


Dans la coque en acier inoxydable, les gaz passent par différentes couches, dont 80 cm de sable.



Tchernobyl, la catastrophe ultime

L'accident de Tchernobyl est une conjonction d'événements cumulant des erreurs humaines et des défauts de conception de la centrale nucléaire. Une séquence de test de l'alimentation électrique de secours du réacteur 4 va devenir une catastrophe majeure et faire prendre conscience au monde entier des risques liés au nucléaire.

Le réacteur RBMK



Il s'agit d'un réacteur de grande puissance de conception soviétique. Le graphite est utilisé comme modérateur et l'eau légère bouillante comme fluide caloporteur. Le combustible est de l'oxyde d'uranium enrichi en uranium-235. Chaque assemblage combustible est contenu dans un « tube de force » à l'intérieur duquel circule le fluide de refroidissement. La complexité du système de distribution et de collecte du fluide de refroidissement, la forte accumulation d'énergie thermique dans les structures métalliques et le graphite, l'absence d'enceinte de confinement, la difficulté de contrôle du cœur sont les inconvénients majeurs de ce type de réacteur. Il restait en 2023 11 réacteurs RBMK en exploitation, tous situés en Russie.

Que s'est-il passé le 25 avril 1986 dans le bâtiment du réacteur 4 (de type RBMK) de la centrale nucléaire V.I. Lénine, à 18 km de Tchernobyl, en Ukraine ?

Un essai doit être réalisé pour vérifier la possibilité, en cas de perte du réseau électrique, d'alimenter les pompes de recirculation du réacteur par un groupe turbo-alternateur. Cet essai devait être réalisé à une puissance de l'ordre de 20 % – 30 % de la puissance nominale.

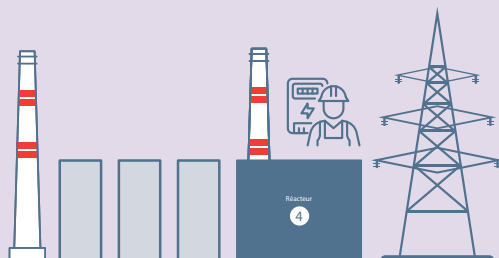
Le 25 avril 1986

Les opérateurs démarrent le processus de baisse de puissance pour se mettre dans les conditions de l'essai.

Toutefois, à la demande du centre de distribution électrique, le réacteur est maintenu durant la

journée à une puissance supérieure à celle requise par l'essai. À 23h00, les opérateurs engagent la réduction du niveau de puissance du réacteur pour atteindre les conditions d'essai mais ils ne réussissent pas à contrôler cette baisse de puissance. Ils décident donc d'extraire des grappes de contrôle, au-delà des limites autorisées, afin de remonter la puissance. À 01h00, le 26 avril, la puissance du réacteur est stabilisée à une puissance nettement inférieure à celle requise. L'équipe décide toutefois de réaliser l'essai.

L'ACCIDENT



25 avril 1986

Test lié à l'alimentation électrique sur le réacteur 4. Les conditions de sécurité ne sont pas respectées.



26 avril 1986

L'augmentation de puissance incontrôlée entraîne une explosion du réacteur et un incendie de graphite.



«**Tchernobyl a confirmé qu'un accident nucléaire pouvait être majeur** avec des conséquences affectant plusieurs pays : en l'occurrence, l'Ukraine, la Russie et la Biélorussie, mais aussi une grande partie de l'Europe. Il s'en est suivi une prise de conscience générale que les enjeux de sûreté nucléaire demandaient une approche internationale.»

Pierre-Franck Chevet
Président de l'ASN de 2012 à 2018

26 avril 1986, entre 1h03 et 1h07

Deux pompes supplémentaires du circuit de recirculation sont mises en service. Le débit supplémentaire entraîne une hausse de température dans les échangeurs de chaleur. À 01h19, pour stabiliser le débit d'eau arrivant dans les séparateurs de vapeur, la puissance des pompes est encore augmentée et dépasse la limite autorisée. Le système demande l'arrêt d'urgence mais les signaux sont bloqués et les opérateurs passent outre.

26 avril à 1h23'04"

L'essai débute : les vannes d'alimentation en vapeur de la turbine sont fermées. Les pompes de recirculation ralentissent, le débit diminue.

La température monte dans le cœur provoquant, du fait de la conception du réacteur, une augmentation de la réactivité. La puissance du réacteur augmente de manière incontrôlée.

26 avril à 1h23'40"

Le chef opérateur ordonne l'arrêt d'urgence. La totalité des barres commencent à descendre dans le cœur, mais l'effet produit est l'inverse de celui escompté. La puissance augmente à nouveau de façon incontrôlée.

26 avril à 1h23'44"

Le pic de puissance est atteint, dépassant de plus de 100 fois la puissance nominale du réacteur. Les fortes pressions atteintes dans les tubes de force provoquent leur

rupture. Une déflagration soulève la dalle supérieure du réacteur, d'un poids de 2 000 tonnes.

La partie supérieure du cœur du réacteur est à l'air libre. Le graphite prend feu, plusieurs foyers s'allument dans l'installation. Il faudra trois heures aux pompiers pour les éteindre. Le feu de graphite reprend. Il ne sera arrêté définitivement que le 9 mai.

Du 27 avril au 10 mai 1986

5 000 tonnes de matériaux (sable, bore, argile, plomb, etc.) sont déversées par hélicoptère pour recouvrir le réacteur, en vue de réduire le débit d'air alimentant le feu de graphite et le relâchement des émissions radioactives.

LES CONSÉQUENCES



L'explosion détruit une grande partie du réacteur 4, de la salle des turbines et des constructions intermédiaires.



Un nuage radioactif s'échappe. Poussé par les vents, il traverse une partie de l'Europe (voir encadré page 20).



4 000 personnes¹

pourraient à terme décéder des suites d'une radio-exposition consécutive à la catastrophe

116 000 personnes²

évacuées de la zone en 1986 (30 km autour de la centrale)

24 000 ans

Laps de temps nécessaire pour que des humains puissent vivre à nouveau à Tchernobyl

240 000 « liquidateurs »²,

civils et militaires, ont travaillé au premier sarcophage et à la décontamination des sols en 1986 et 1987

Les causes, de la conception de la centrale à la gestion post-accidentelle, sont multiples et toutes aussi graves.

- La conception de la centrale ne respectait pas les exigences de sûreté.
- Le réacteur RBMK est naturellement instable dans certaines situations. Ces situations ne sont pas mentionnées explicitement dans les documents d'exploitation. De surcroît, le système d'arrêt d'urgence a des effets pervers dans certaines situations.
- La conduite de l'essai qui a provoqué l'accident n'a pas respecté les conditions prévues et a délibérément violé les règles de sûreté.

L'absence de gestion post-accidentelle a aggravé la situation : minimisation de l'accident dans un premier temps, évacuation tardive des populations (116 000 personnes en 1986 puis 220 000 personnes les années suivantes), réquisition de pompiers et de liquidateurs sans protections, construction d'un sarcophage inopérant, etc.

Les conséquences humaines sont majeures.

Au-delà des 30 morts³ parmi les « liquidateurs » dans les premières semaines, des 6 000 cas¹ de cancers de la thyroïde chez les enfants et adolescents, des 340 000 personnes relogées², les conséquences humaines sont difficiles à évaluer précisément et ont fait l'objet de polémiques. Le bilan est très lourd, protéiforme et fait toujours l'objet de nombreuses études.

Cette catastrophe a mis en évidence la faiblesse du contrôle de la sûreté par les organismes de sûreté de l'Union Soviétique.

Il n'a pas été mis en évidence un excès de cancers en France dus aux retombées de l'accident.

1. Source : AIEA – Septembre 2005.

Certaines ONG dénoncent ce nombre qu'elles jugent en dessous de la réalité.

2. Source : IRSN

3. Source : UNSCEAR



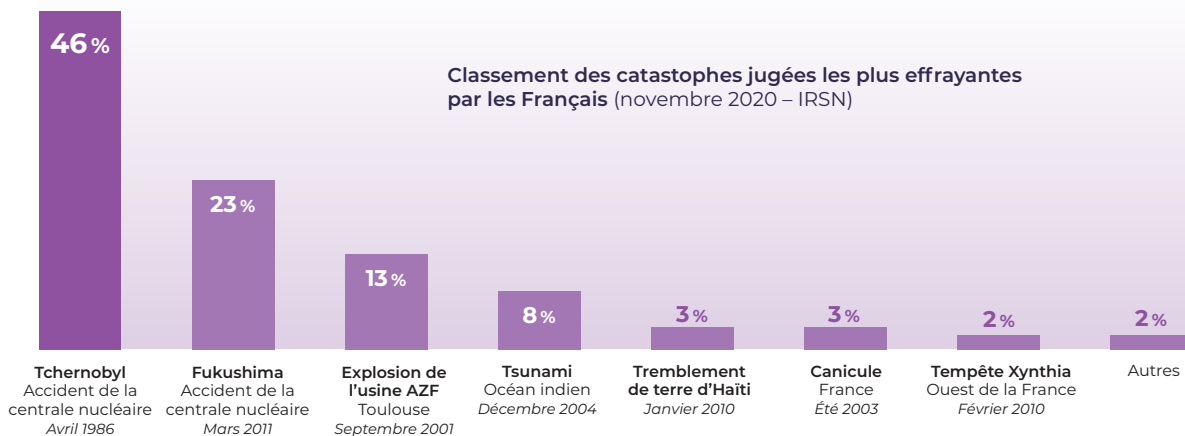
LES ACTIONS ENGAGÉES



26 avril – 5 mai 1986

Du sable, de l'argile et du plomb sont largués sur le réacteur pour contrôler l'incendie et une enceinte de confinement d'urgence (premier sarcophage) est installée.

Premier accident nucléaire évalué au niveau maximal sur l'échelle INES, Tchernobyl porte son titre de **catastrophe ultime**, non seulement parce qu'il a conduit à une prise de conscience internationale des conséquences d'un accident nucléaire, mais aussi parce que la mémoire collective, comme celle des Français, le classe comme l'événement le plus effrayant de tous les temps.



Un impact sans équivalent dans l'opinion publique⁴

Les deux catastrophes que les Français jugent les plus effrayantes sont les accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima. D'une part, à mesure des enquêtes, la prédominance de Tchernobyl se confirme.

D'autre part, depuis 2011, au fil des enquêtes, on constate qu'à mesure qu'on s'éloigne de l'événement de Fukushima, l'accident de Tchernobyl reprend de plus en plus de poids parmi les réponses.

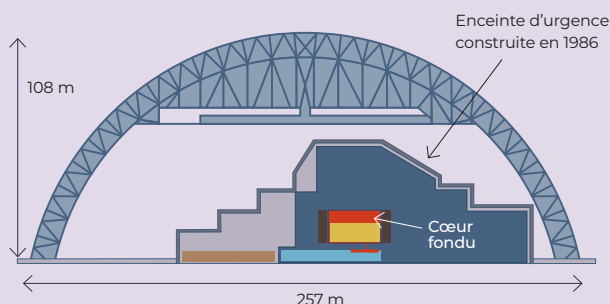
4. Source : Baromètre 2021 IRSN

En 1987, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST) publie un rapport sur les conséquences de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl. L'une des préconisations de ce rapport était la création d'une agence nationale de sûreté. La naissance du Conseil supérieur de la sûreté et de l'information nucléaires (CSSIN) est promulguée par décret le 2 mars 1987.



Jusqu'en janvier 2016

Des dizaines de milliers de « liquidateurs » se succèdent sur la zone.



Un coût global de plus de 2 milliards d'euros

2018 – 2019

Une arche de confinement est construite en retrait du réacteur, et officiellement mise en service sur son emplacement final en juillet 2019.

Comment la sûreté nucléaire et la radioprotection ont-elles évolué à la suite de l'accident de Tchernobyl



Les enseignements proprement techniques ont été limités, mais la catastrophe de Tchernobyl a fait naître le besoin de transparence de l'information, la culture de sûreté, la préparation à la gestion de crise et la concertation internationale.

Sur le plan international, adoption de la Convention sur la sûreté nucléaire

Adoptée le 17 juin 1994 à Vienne en Autriche, à la suite de l'accident de Tchernobyl, la Convention sur la sûreté nucléaire vise à engager les exploitants des centrales nucléaires à maintenir un niveau élevé de sûreté en établissant des principes fondamentaux

de sûreté auxquels les États sous-craient. La Convention oblige les parties à soumettre des rapports sur la mise en œuvre de leurs obligations pour un « examen par les pairs » lors de réunions qui se tiennent au siège de l'AIEA.

En France, amélioration de la coordination des pouvoirs publics

Au nombre des dispositions prises pour faire évoluer la sûreté nucléaire, une circulaire interministérielle de 1989⁵ organise la coordination des pouvoirs publics en cas d'incidents ou d'accidents; la création du réseau de télémessure et d'alerte Téléry par le SCPRI (1990); le développement des exercices de crise

nucléaire (1990) et la distribution préventive de comprimés d'iode pour les habitants vivant à proximité d'une centrale française (à partir de 1997), pour prévenir l'apparition de cancers de la thyroïde. Les PUI, PPI et leur validation par des exercices ont été encore renforcés.

Mise en évidence de la nécessité d'une communication publique transparente

En 1986, la possibilité d'un accident de l'ampleur de Tchernobyl n'est concevable ni par les autorités ni par le grand public. Le directeur de l'agence de presse soviétique Novosti, Valentin Faline, explique à l'époque que « la transparence ne s'établit pas du jour au lendemain. Quelque chose de très grave s'est produit. Nous n'avions aucune instruction concernant la prévention. Beaucoup de choses ont été improvisées, y compris dans le domaine de l'information ».

En France, le Gouvernement délégua la communication au Pr. Pellerin, chef du SCPRI. Sa communication fut maladroite et peu efficace. Ainsi, son communiqué de presse du 30 avril annonce bien l'arrivée des premières retombées en France, en proclamant que leur niveau n'était aucunement dangereux, mais ne put être repris le 1^{er} mai faute de médias et ne fut relayé que par quelques médias le 2 mai. Mais il n'évoque jamais un « nuage arrêté à la frontière ».

Une histoire de nuage

L'expression du « nuage qui s'arrête à la frontière » a largement marqué les esprits et donne toujours, 35 ans plus tard, un sentiment de défiance vis-à-vis de l'information liée au nucléaire. En vérité, aucun ministre, aucun scientifique, ni aucun journaliste n'a jamais déclaré ou écrit que le nuage « s'est arrêté à la frontière ». Le Pr. Pellerin, en charge de la stratégie de communication du Gouvernement, avait déclaré « on n'a pas nécessairement les mêmes mesures de part et d'autre de la frontière », et la phrase, assez ambiguë, a été mal interprétée.



5. Circulaire DGS/PGE/1B n°1561 du 16 octobre 1989 relative à l'information sur l'administration d'iode stable à la population en cas d'accident nucléaire.

Évolution des dispositifs d'information du public

L'accident de Tchernobyl a mis en évidence l'absence de dispositif de communication publique en France. Le citoyen français a dû attendre 13 jours pour apprendre que le nuage radioactif n'avait pas épargné la France. Pourtant, depuis 1973, des textes réglementaires ont été établis et des moyens ont été mis en place pour assurer l'information du public sur la sûreté nucléaire. Le SCSIN est ainsi chargé d'organiser l'information du public sur les problèmes de sûreté. Il met en place pour Tchernobyl un magazine télématique nucléaire (3614 MAGNUC) qui remplit cette mission avec une efficacité limitée. En 1980, l'IPSN du CEA a ouvert

un centre de documentation sur la sécurité nucléaire, avec pour objectif de faciliter l'accès du public aux informations disponibles sur ce sujet. Mais il faudra attendre 2010 pour l'ouverture du site Internet du réseau national de mesures de la radioactivité dans l'environnement (ASN/IRSN). Sur le plan international, l'AIEA a mis en place en 1991 l'échelle INES et, en France, la loi relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, dite « loi TSN », de 2006, a permis la création de l'ASN indépendante et du Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN).

Émergence d'associations citoyennes indépendantes de surveillance

• La Commission de recherche et d'information indépendantes sur la radioactivité (CRIIRAD)

Tchernobyl a eu pour conséquence la création, en mai 1986, de la CRIIRAD, commission d'expertise issue du mouvement anti-nucléaire agréée dans le cadre de la protection de l'environnement. L'association entend produire des

expertises et mesures de terrain indépendantes des pouvoirs publics, comme outil de lutte contre ce qu'elle considère comme de la non information ou de la désinformation sur le sujet de l'énergie nucléaire.

• L'Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'ouest (ACRO)

Créée à la suite de la catastrophe de Tchernobyl en 1986, l'ACRO est une association citoyenne d'information et de surveillance

de la radioactivité, dotée d'un laboratoire d'analyse et agréée, dans le cadre de la protection de l'environnement.

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 la logistique d'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.

Loi TSN, art. 19, I

Toute personne a le droit d'obtenir, auprès de l'exploitant d'une installation nucléaire de base ou, lorsque les quantités en sont supérieures à des seuils prévus par décret, du responsable d'un transport de substances radioactives ou du détenteur de telles substances, les informations détenues, qu'elles aient été reçues ou établies par eux, sur les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants pouvant résulter de cette activité et sur les mesures de sûreté et de radioprotection prises pour prévenir ou réduire ces risques ou expositions, dans les conditions définies aux articles L. 124-1 à L. 124-6 du code de l'environnement.



« Tchernobyl a été le point de départ de la création de la CRIIRAD et de l'ACRO.

C'est donc une évolution importante. Tchernobyl a apporté une forme de prise de conscience et d'évolution du débat sur les enjeux du nucléaire avec la montée des Verts... Pour moi c'est une évolution qui trouve son aboutissement en 2006 dans la loi TSN (*loi relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, n.dlr.*) »

Yves Marignac

Consultant sur le nucléaire et la transition énergétique au sein du groupe négaWatt

Hôpital d'Épinal, les risques hors installations nucléaires

En 2005, la France découvre le plus important accident de son histoire impliquant les rayonnements ionisants, avec le surdosage, au cours de leur traitement par radiothérapie, de patients atteints de cancer, et de lourdes conséquences cliniques. L'enquête mettra en évidence plusieurs dysfonctionnements dans la délivrance du traitement par radiothérapie. Le défaut de compréhension des protocoles de traitement a été mis en cause.

«L'ASN assure le contrôle des applications médicales des rayonnements ionisants depuis 2002. Après avoir mis en place une réglementation entièrement nouvelle dans le domaine de la radioprotection des patients, elle a su dès 2007 recentrer son programme d'inspections sur la sécurité des soins en radiothérapie.»

Jean-Christophe Niel

Ancien directeur général de l'ASN
Directeur général de l'IRSN

Qu'est-ce que la dosimétrie ?

Il s'agit du calcul des doses de rayons à appliquer sur la zone à traiter et de la durée du traitement lors d'une radiothérapie.

Des études scientifiques ont défini les doses de radiothérapie à administrer en fonction du type et du stade du cancer, de l'organe à traiter, de l'âge du patient et de ses traitements antérieurs. Ce sont les doses standards. L'oncologue radiothérapeute précise aussi les limites de doses acceptables par les organes à risque situés à proximité de la tumeur. Outre les types de rayons à utiliser, la dimension et l'orientation des faisceaux, l'étape de dosimétrie consiste à déterminer, par une étude informatisée, la distribution (autrement dit la répartition) de la dose de rayons à appliquer à la zone à traiter pour optimiser l'irradiation et traiter au mieux la tumeur tout en épargnant les tissus sains voisins.

Source : INCa

Début 2005, une fréquence inattendue de complications liées à des traitements par radiothérapie, réalisés au centre hospitalier Jean Monnet d'Épinal, est découverte et concerne en particulier 24 patients pris en charge pour des cancers de la prostate entre mai 2004 et août 2005.

L'accident grave, classé niveau 7 sur l'échelle de gravité de l'ASN-SFRO, est imputable à une mauvaise utilisation du logiciel de planification du traitement : en mai 2004, le protocole de radiothérapie pour le traitement des cancers de la prostate a été modifié pour exploiter au mieux les possibilités du logiciel de dosimétrie. Ce changement supposait de modifier également le paramétrage assurant le calcul d'intensité d'irradiation, ce qui ne sera pas fait pour certains patients. Devant la mise en évidence, dès janvier 2005, de complications plus fréquentes qu'attendues, l'utilisation de ce protocole est arrêtée en août 2005.

De lourdes conséquences humaines

Sur les 99 patients traités par ce protocole entre mai 2004 et août 2005, 24 ont reçu un surdosage de 20 à 30 % de la dose délivrée par rapport à la dose prescrite. Parmi eux, 12 patients ont présenté une complication radique sévère, notamment des douleurs intenses et des lésions de radionécrose occasionnant fistules, écoulements ou encore hémorragies nécessitant des transfusions répétées. Dix de ces patients sont décédés des

suites de ces complications. Les autres malades ont présenté une atteinte plus modérée. Les malades et leurs familles ont exprimé le sentiment d'avoir été abandonnés, faute d'avoir bénéficié d'un soutien social, économique et psychologique.

L'enquête réalisée permettra de mettre en évidence d'autres dysfonctionnements ayant pour conséquence des surdosages significatifs.

Entre 1989 et 2000, un dysfonctionnement du paramétrage d'un autre logiciel de planification du traitement, conçu et réalisé sur place, a conduit à des temps d'irradiation légèrement plus longs. Sur l'ensemble des cancers traités au centre hospitalier d'Épinal durant cette période – soit 5000 patients – environ 300 ont reçu un excès de dose supérieur à 7 %. Deux de ces patients sont décédés des suites de complications liées au traitement. Cette erreur de paramétrage est corrigée en 2000.

Entre octobre 2000 et octobre 2006, l'absence de prise en compte, dans le calcul dosimétrique, de l'irradiation délivrée pour la réalisation d'imagerie afin

« Les accidents d'Épinal ont joué un rôle majeur dans nos relations avec le secteur médical. Notre intervention rigoureuse nous a permis de nouer une collaboration de fond avec la Société française de radiothérapie oncologique (SFRO). Des gens sont morts à Épinal, mais parmi les survivants, beaucoup ont subi des préjudices atroces et souvent irréversibles. Et ce, alors que nous nous trouvions à Épinal, à peine à 60 km du grand centre de radiothérapie de Nancy. Un très grand centre dans lequel, s'ils étaient restés conscients et organisés, les radiothérapeutes d'Épinal auraient pu "se recaler". »

André-Claude Lacoste
Président de l'ASN de 2006 à 2012

de vérifier le bon positionnement a conduit à des surdosages de 8 à 10% par rapport à la dose prescrite, pour 409 patients. Deux de ces patients sont décédés de complications liées au traitement.

Une chaîne de dysfonctionnements

Les effets de l'accident ont été minimisés par les personnels hospitaliers concernés.

Les autorités n'ont pas été informées en temps voulu de la nature réelle des problèmes. De plus, il n'existait pas de barrières organisationnelles permettant de prévenir cet accident et de gérer ses conséquences sanitaires.

Échelle ASN-SFRO de classement des incidents et accidents nucléaires et des événements en radioprotection élaborée en juillet 2007 par l'ASN en concertation avec la Société française de radiothérapie oncologique (SFRO). Comme dans l'échelle INES, les critères de classement d'un événement portent non seulement sur les conséquences avérées mais aussi sur les effets potentiels des événements.

APPLICATION DE L'ÉCHELLE ASN-SFRO	ÉVÉNEMENTS (imprévu, inattendu)	CAUSES	CONSÉQUENCES (grades CTCAE V3.0)
Accident 5 à 7	Décès.	Dose (ou volume irradié) très supérieur(e) à la normale entraînant des complications ou séquelles non compatibles avec la vie.	Décès.
Accident 4	Événement grave mettant la vie en danger, complication ou séquelle invalidante.	Dose ou volume irradié très supérieur(e) aux doses ou volumes tolérables.	Effet aigu ou tardif grave, inattendu ou imprévisible, de grade 4.
Incident 3	Événement occasionnant une altération sévère d'un ou plusieurs organes ou fonctions.	Dose ou volume irradié supérieur(e) aux doses ou volumes tolérables.	Effet aigu ou tardif sévère, inattendu ou imprévisible, de grade 3.
Incident 2	Événement occasionnant ou susceptible d'occasionner une altération modérée d'un organe ou fonction.	Dose supérieure aux doses recommandées ou irradiation d'un volume pouvant entraîner des complications inattendues, restant modérées.	Effet aigu ou tardif modéré, inattendu ou imprévisible, de grade 2, altération minimale ou nulle de la qualité de la vie.
Événement 1	Événement avec conséquence dosimétrique, mais sans conséquence clinique attendue.	Erreur de dose ou de volume : par exemple, erreur de dose ou erreur de cible sur une séance non compensable sur la totalité du traitement.	Aucun symptôme attendu.
Événement 0	Événement sans aucune conséquence pour le patient.	Par exemple, erreur d'identification du patient traité pour une même pathologie (compensable).	

La radiothérapie met en œuvre les rayonnements ionisants pour la destruction des cellules cancéreuses.

Les rayonnements ionisants nécessaires pour la réalisation des traitements sont, soit produits par un générateur électrique, soit émis par des radionucléides sous forme scellée. On distingue la radiothérapie externe (la source de rayonnement est placée à l'extérieur du patient) et la curiethérapie (la source est positionnée au plus près de la zone à traiter).



409 patients

ont été concernés par le surdosage entre 2001 et 2006. Ils étaient tous traités pour un cancer de la prostate et 66 d'entre eux ont subi des complications sévères. C'est la cohorte des 24 patients de 2004 à 2005 qui a été particulièrement touchée avec dix morts.

En cas de décès de plusieurs patients :

- le niveau minimal 5 est porté à 6 si le nombre de patients est supérieur à 1, mais inférieur ou égal à 10 ;
- le niveau minimal 5 est porté à 7 si le nombre de patients est supérieur à 10.

Si le nombre de patients est supérieur à 1, il est ajouté un signe + au niveau retenu (exemple : 3 devient 3+).

Comment la radioprotection des patients et des personnels en milieu médical a-t-elle évolué à la suite de l'accident d'Épinal ?

Dans son rapport de 2006, l'ASN souligne que « l'importance du facteur organisation dans la prévention des risques est méconnue. Notre système de santé agrée les personnes et les structures, dès lors qu'elles satisfont, un jour donné, à des conditions de compétences et de moyens, mais ne se préoccupe plus du bon fonctionnement d'ensemble, une fois ce seuil franchi. Or les compétences ne sont pas acquises pour toujours, les équipements vieillissent et des méthodes approximatives peuvent rendre inefficients des moyens coûteux ».

Le ton était donné et les mesures qui furent prises ont changé radicalement cette situation.

« Épinal a été un événement catalyseur en radioprotection. C'est un peu le Tchernobyl de la radioprotection. »

Juste après l'affaire d'Épinal, j'étais étonné que la discussion au ministère de la Santé tourne autour des questions juridiques et de l'impact financier.

Les professionnels de santé, qui étaient opposés à tout ce qui ressemblait à de l'inspection, surtout venant de non-médecins, se sont assouplis. Ils se sont trouvés alors face à des patients inquiets.

Il faut savoir que nous enregistrons en moyenne 180 000 personnes par an qui suivent un traitement par radiothérapie et donc, statistiquement, le risque d'incident reste très faible.

Il y a eu un très beau travail réalisé au niveau international sur la déclaration des événements en radiothérapie. Nous sommes partis sur le modèle utilisé dans le nucléaire, l'échelle de gravité des installations, à savoir la défense en profondeur.

L'autre événement important, qui a succédé à l'accident d'Épinal, est le colloque organisé à Versailles en 2009 (voir encadré p. 25).

On avait réussi à faire intervenir sur une même table ronde des patients qui avaient été victimes et des professionnels. Ce dialogue rare a été un moment très fort. Cela a représenté un événement fondateur, en présence de Roselyne Bachelot, alors ministre de la Santé et des Sports. »

Jean-Christophe Niel

Ancien directeur général de l'ASN
Directeur général de l'IRSN

Après l'accident d'Épinal, le ministre de la Santé et des Sports a annoncé, en novembre 2007, des mesures nationales, destinées à garantir la sécurité et la qualité des actes de radiothérapie. Ces mesures ont permis de sortir d'une crise sanitaire et d'aborder la période de transition (2009-2010), avant la date limite de mise en conformité de l'ensemble des centres de radiothérapie (2011).

Les ressources humaines et la formation

- Poursuivre les efforts de formation et de recrutement des radiophysiciens engagés en radiothérapie.
- Former en nombre suffisant des manipulateurs en radiologie interventionnelle aux blocs opératoires pour les actes radioguidés.
- Rendre obligatoire la présence du radiophysicien du début à la fin du traitement.

La sécurité des installations

- Rendre obligatoire l'installation d'un dispositif indiquant la dose de rayonnements émis (faisabilité) pour les appareils de radiologie interventionnelle mis en service avant 2004.
- Évaluer la qualité des pratiques au niveau national, aussi bien en radiothérapie qu'en imagerie médicale ; dosimétrie *in vivo* (mesure de la dose en temps réel) ; double calcul d'unités moniteurs, renforcer les méthodes pour s'assurer que le faisceau délivre ce qui est attendu, et rendre cette précaution, qui existait déjà à l'époque d'Épinal, obligatoire.

La relation avec les patients et les publics

- Poursuivre les actions d'information, avec les associations de patients, sur la sécurité des soins en radiothérapie, à partir des conclusions de la conférence ASN de Versailles (2009).
- Informer et impliquer les patients sur les bénéfices de l'imagerie médicale et sur les risques associés.



«L'accident d'Épinal a été un coup de tonnerre dans le monde de la radiothérapie, qui était considéré jusque-là comme très sûr. La conférence internationale sur la radioprotection des patients que nous avons organisée en 2009 a permis de dresser un bilan des connaissances sur les risques liés à la radiothérapie. Elle s'est terminée par un moment d'émotion intense lorsque le président d'une association des victimes de l'accident d'Épinal est venu témoigner devant plus de 200 personnes sur les douleurs vécues par les victimes. Un débat sur l'information des patients a suivi, mettant en avant les lacunes en matière de dialogue médecin-patient. Le président de la Société française de radiothérapie oncologique (SFRO) s'est alors exprimé pour préciser que les médecins n'étaient malheureusement pas bien formés pour dialoguer avec le patient et que chacun faisait comme il pouvait.»

Jean-Luc Godet

Directeur de la direction des rayonnements ionisants et de la santé à l'ASN de 2006 à 2019

La déclaration des événements significatifs à l'ASN

La radiovigilance repose sur les signalements d'incidents qui sont adressés aux autorités par les professionnels de santé. Deux systèmes de vigilance cohabitent dans le domaine de la radiothérapie :

- la matériovigilance, qui relève de la mission de l'AFSSAPS, concerne les incidents ou risques d'incidents mettant en cause des dispositifs médicaux durant leur utilisation. Le code de la santé publique précise désormais que les responsables d'une « activité nucléaire » sont soumis à une obligation de déclaration à l'ASN et au représentant de l'État dans le département

de « *tout incident ou accident dans le domaine de la radioprotection susceptible de porter atteinte à la santé des personnes par exposition aux rayonnements ionisants* » ;

- l'obligation pour les professionnels de santé participant au traitement ou au suivi de patients exposés à des fins médicales à des rayonnements ionisants ayant connaissance d'un incident ou accident lié à cette exposition, d'en faire la déclaration sans délai à l'ASN et au directeur général de l'Agence régionale de santé (loi du 21 juillet 2009).

Les obligations d'assurance de la qualité

À Épinal, il y a eu parmi les erreurs commises un défaut de préparation des opérateurs au changement de logiciel et de protocole et un défaut d'information du public. L'ASN a depuis renforcé la réglementation en précisant les obligations en matière d'assurance de la qualité. Les exigences réglementaires ont pour objectif de développer la culture de sûreté et la prise en compte, dans l'organisation des services de radiothérapie, de la gestion des risques encourus par les patients. Pour les centres de radiothérapie, les principales obligations concernent l'instauration d'un système de management de la qualité (SMQ), un engagement de la

direction dans le cadre du SMQ ; l'engagement de la responsabilité du personnel ; l'analyse des risques encourus par les patients au cours du processus radiothérapeutique ; la tenue d'un recueil et le traitement des situations indésirables ou des dysfonctionnements, tant sur le plan organisationnel qu'humain et matériel.

Pour accompagner ces évolutions réglementaires, l'ASN a publié un *Guide de management de la sécurité et de la qualité des soins de radiothérapie*, ainsi qu'un *Guide d'auto-évaluation des risques encourus par les patients en radiothérapie externe* (disponibles en PDF sur le site de l'ASN).

Conférence internationale sur la radioprotection des patients dans le domaine de la radiothérapie

L'ASN a organisé à Versailles, du 2 au 4 décembre 2009, avec l'appui de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), de l'AIEA et de la Commission européenne et la participation des nombreux organismes, associations professionnelles et associations de patients, une première conférence internationale sur la radioprotection des patients dans le domaine de la radiothérapie.

Cette conférence a permis de dégager un certain nombre de recommandations, examinées au niveau national en 2010 avec l'ensemble des parties prenantes.

Parmi les grandes conclusions, la place primordiale occupée par la radiothérapie dans le traitement et la guérison des cancers a été réaffirmée ; la formation des opérateurs devait être renforcée et les premières utilisations de ces techniques devaient faire l'objet d'une évaluation indépendante par les professionnels. Des systèmes de déclaration des événements significatifs devaient être développés dans un but d'analyse et de retour d'expérience ; une implication des patients et de leurs associations est apparue souhaitable dans les domaines de l'évaluation de la qualité

et de la sécurité des traitements et dans celui de la gestion du risque et de la communication.



Un numéro spécial de la revue *Contrôle* est disponible en PDF sur le site asn.fr

Fukushima, le scénario catastrophe inévitable

La centrale nucléaire de Fukushima Daiichi était équipée de six réacteurs «à eau bouillante». Un séisme d'une intensité exceptionnelle va déclencher un effet domino conduisant à la destruction de quatre réacteurs nucléaires. Les enseignements de cette catastrophe classée au niveau 7, le plus élevé sur l'échelle internationale des événements nucléaires, seront autant de contributions majeures à l'amélioration des installations nucléaires en France et dans le monde.

Le réacteur REB

La centrale nucléaire de Fukushima Daiichi était équipée de six réacteurs nucléaires «à eau bouillante» (REB). Ces réacteurs doivent leur nom au fait que la chaleur dégagée par la fission fait bouillir l'eau qui baigne les gaines de combustibles dans le cœur du réacteur. Cette vapeur se détend dans les turbines qui produisent l'électricité. Au moment de l'accident, seuls les réacteurs 1, 2 et 3 étaient en fonctionnement (les autres étaient à l'arrêt).



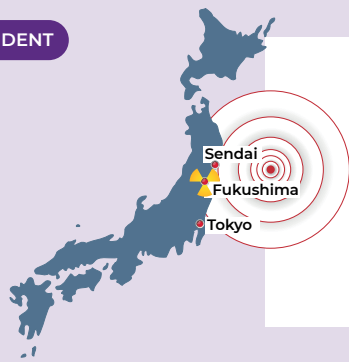
11 mars 2011, 14h46 – L'événement déclencheur de la catastrophe: un exceptionnel tremblement de terre

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 de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi est endommagée par le séisme et l'alimentation de secours prend le relais. Les trois réacteurs en fonctionnement sont immédiatement arrêtés par les systèmes automatiques de sécurité (arrêt automatique du réacteur, refroidissement de secours), la procédure de refroidissement débute normalement.

Moins d'une heure plus tard, à 15h41, le tsunami dû au tremblement de terre atteint la côte et le site de Fukushima

Provoquée par le séisme, la vague, dont la hauteur atteint jusqu'à 15 m, ravage 600 km de côtes et pénètre dans les terres, parcourant jusqu'à 10 km. L'installation, bâtie pour résister à un séisme de magnitude 8 et à un tsunami de 5,7 m de haut, est entièrement inondée. Le tsunami a eu pour conséquences l'endommagement des prises d'eau en mer, ce qui a conduit à la perte de la source froide et la perte des pompes de refroidissement privant les réacteurs et les piscines de désactivation de leurs sources normales de refroidissement. L'eau est ensuite

L'ACCIDENT



11 mars 2011

Un séisme, dont l'épicentre se situe à 130 km à l'est de Sendai, puis un tsunami se déclenchent au Japon, près de la centrale de Fukushima Daiichi.



« *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'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.

entrée dans les bâtiments abritant les diesels de secours et les tableaux électriques, entraînant aussi leur perte. À la suite de la perte des diesels et des batteries, les opérateurs ne disposent plus d'informations fiables des systèmes de refroidissement de secours. Ces systèmes deviennent au fil du temps indisponibles : il n'y a dès lors plus de moyens de refroidissement disponibles, ce qui conduit inéluctablement à la fusion des cœurs.

Cette fusion des cœurs va provoquer des explosions dues à la concentration en hydrogène dans les bâtiments des réacteurs. En effet, par défaut de refroidissement, l'eau de la cuve se transforme en vapeur, la température de la gaine de combustible monte à plus de 1200°C. Le zirconium de ces gaines s'oxyde alors et cette réaction produit de l'hydrogène. Au contact de l'air, cet hydrogène sous pression va provoquer de violentes explosions.

Les dépressurisations entreprises volontairement par l'exploitant pour limiter la pression dans les enceintes de confinement conduisent aux premiers rejets de produits radioactifs dans l'environnement. Les explosions d'hydrogène vont contribuer à relâcher des quantités massives d'effluents radioactifs gazeux. Ensuite, l'intégrité du confinement étant perdue, l'eau contaminée présente dans les bâtiments des réacteurs conduira à d'importantes masses d'effluents radioactifs liquides rejetés. La gestion des effluents et des rejets liquides radioactifs devient un enjeu majeur de la gestion du site.

12 mars 2011, explosion dans le bâtiment du réacteur 1

Le bâtiment qui abrite ce réacteur est soufflé à la suite d'une explosion d'hydrogène.

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, explosions dans le bâtiment du réacteur 2, puis du réacteur 4

L'explosion est une nouvelle fois due à l'hydrogène qui s'est accumulé dans le bâtiment du réacteur 2. Pour le réacteur 4, le toit de la piscine d'entreposage du combustible usé a été soufflé, probablement en raison d'une explosion d'hydrogène issu du réacteur 3.

Surchauffe des piscines de désactivation

Parallèlement, les piscines de désactivation des réacteurs 1 à 4, dans lesquelles le combustible usé est entreposé, ne sont plus refroidies, faute d'alimentation électrique. Ce combustible usé continuant à émettre de la chaleur, la température de l'eau des piscines des réacteurs 3 et 4 monte jusqu'à ébullition, entraînant une baisse de niveau d'eau. Malgré les explosions et la perte de refroidissement, la piscine et les combustibles n'ont pas subi de dégradation notable. Des appoints d'eau dans les piscines ont pu être assurés.

12, 14 et 15 mars 2011

Explosions successives dans les bâtiments 1, 3, 2 et 4, essentiellement à cause de l'accumulation d'hydrogène dans les réacteurs.



Fukushima : le bilan de l'accident nucléaire complexe à établir

Même si aucune conséquence sanitaire liée à la radioactivité n'a été directement observée, le bilan du tsunami s'élève à 18 000 morts et plus de 2 000 disparus. Les impacts psychologiques, environnementaux et financiers de l'accident industriel, quant à eux, font l'objet de rapports réguliers de l'UNSCEAR.

Comment la sûreté nucléaire et la radioprotection ont-elles évolué à la suite de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima ?

Quelques jours après l'accident, une mobilisation s'est enclenchée aux niveaux international, européen et national pour en tirer les enseignements. En France, dès l'annonce de la catastrophe de Fukushima, l'ASN a activé son centre d'urgence qui va alors fonctionner 24h sur 24 et 7 jours sur 7 pendant un mois. Son objectif est double : comprendre les causes de l'accident et informer en continu la population française.



1500
sollicitations
médiatiques

36
communiqués
de presse

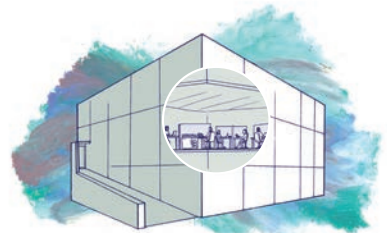
17
points presse
(entre le 12 mars et
le 4 avril 2011)

700 000
connexions au site
Internet de l'ASN

Mise en place d'un « noyau dur » opérationnel

Il s'agit de mettre en place de nouveaux équipements pour que les installations nucléaires puissent faire face à des situations dégradées et être autonome pendant plusieurs jours.

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 amé-



liorations 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.

«Je suis très fier de ce que l'ASN a fait sur Fukushima. Cela faisait des années que nous nous préparions à gérer une crise majeure, et nous avons été à la hauteur. D'autant plus que l'exploitant était géographiquement éloigné. J'ai tout de suite déclaré l'incident comme étant de niveau 6 sur l'échelle INES – alors que les Japonais le classaient encore à 3 ou à 4 – et mon expertise a été relayée dans les médias et a fait autorité au sein de mes collègues à l'étranger. La confiance que m'ont témoignée mes homologues en ce sens a vraiment été quelque chose de très satisfaisant.

J'ajoute que, pour moi, Fukushima est lié à un souvenir, la mission IRRS, qui permet d'évaluer l'infrastructure réglementaire d'un État en matière de sûreté, que j'ai menée pour l'AIEA au Japon en 2007. La mission s'est conclue par un rapport critique, mais pas autant que je ne l'aurais souhaité. Il demandait quand même une refonte en profondeur de l'autorité japonaise compétente en matière de sûreté nucléaire. Les Japonais n'ont jamais demandé la mission de *follow-up* (mission de suivi) des suites données au rapport. J'ai su que le gouvernement japonais lui-même avait décidé de ne pas donner suite au rapport.»

André-Claude Lacoste
Président de l'ASN de 2006 à 2012

Extension à toutes les installations nucléaires en France des avancées majeures en matière de sûreté

Le bilan des améliorations pour la sûreté des installations nucléaires en France doit beaucoup à Fukushima. Plus exigeante que le niveau requis au niveau européen, la France est restée dans une logique d'amélioration continue. Aujourd'hui, les dispositions prises pour l'ensemble des sites sensibles permettent de gagner trois jours à partir de l'accident. Ce gain est primordial.

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 des tuyauteries raccordées à la piscine, etc.

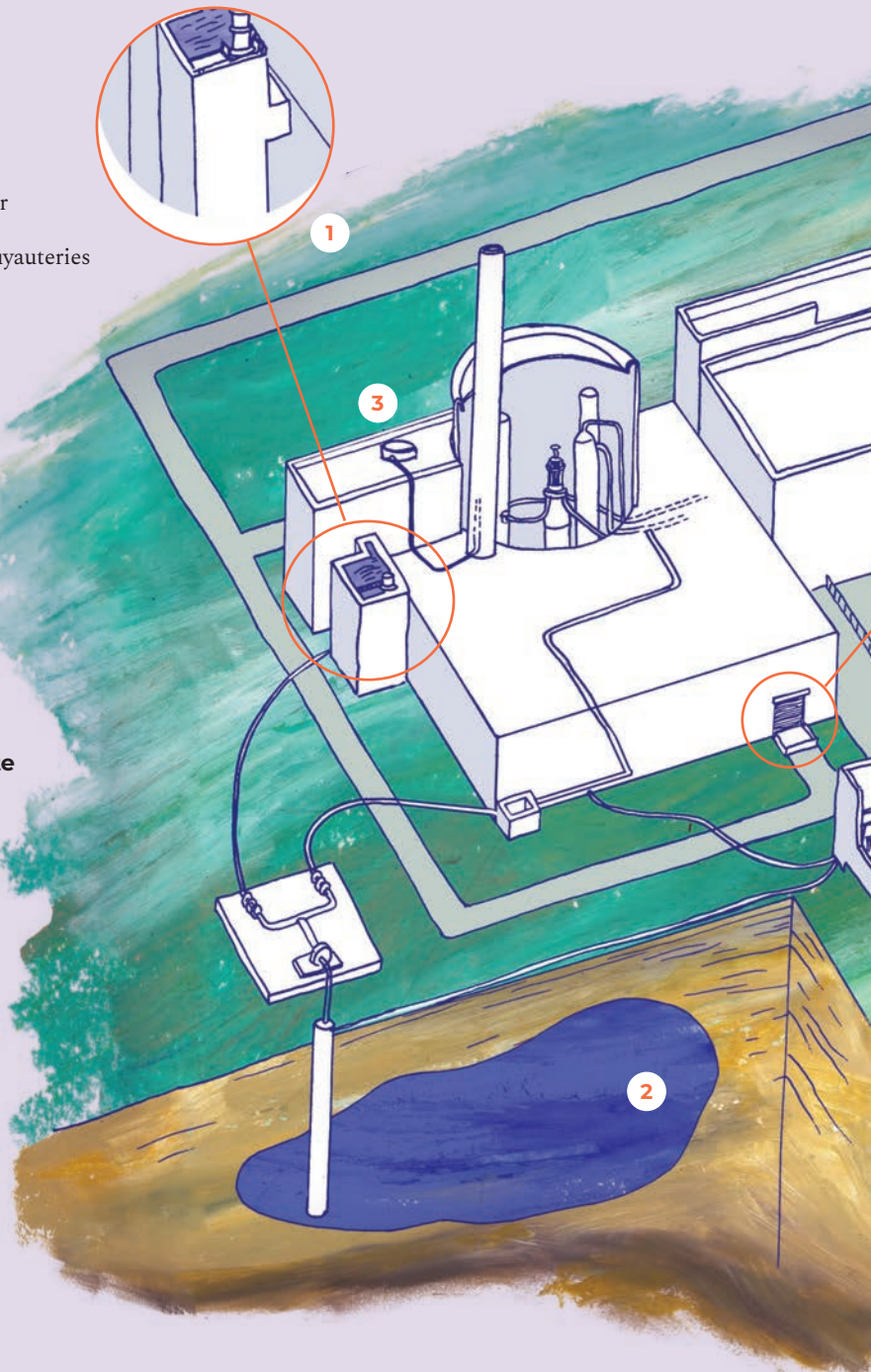
2 Source d'eau ultime

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 seront équipés d'une source d'eau ultime. Pour les derniers sites, des sources temporaires ont été mises en place.

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.



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

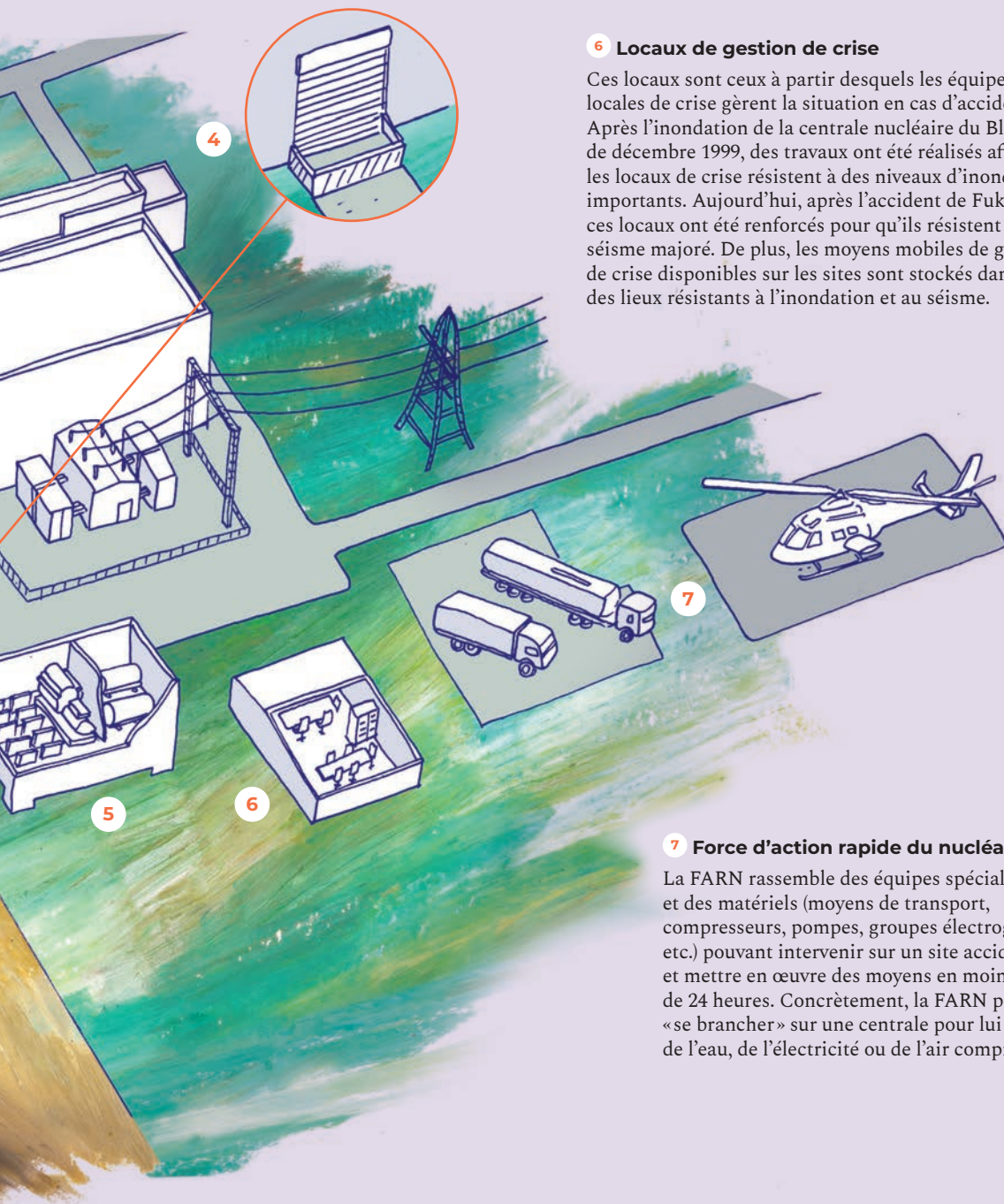
En cas de perte totale des moyens de secours électriques existants, le groupe électrogène d'ultime secours à moteur diesel peut rétablir l'alimentation électrique des équipements nécessaires à la sûreté du réacteur et de la piscine d'entreposage du combustible. Il alimente également les pompes des sources 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.



POSTFACE

Le plus mauvais des scénarios d'un accident nucléaire serait d'en subir les conséquences puis d'en négliger les causes. S'il est maintenant acquis, dans la conscience collective, que le risque zéro n'existe pas, la prévention et l'anticipation doivent permettre de mieux nous protéger face à de futurs sinistres, grands ou petits. Le renforcement et l'appropriation par l'ensemble des acteurs d'une culture de la sûreté nucléaire rigoureuse et proportionnée aux enjeux sont des prérequis.

Les cinq accidents décrits et commentés dans cet ouvrage sont autant de leçons dont les autorités de sûreté et les acteurs du nucléaire se sont emparés, sur le plan national comme international, pour créer des règles, inventer de nouvelles protections et innover dans la gestion post-accidentelle.

Il importe de ne pas s'en contenter, de chercher encore et toujours à réduire les risques et à mieux informer les populations sur les moyens de les prévenir et de s'en protéger. Il convient donc de faire mémoire avec rigueur et de rester en éveil. C'est l'ambition de ce premier ouvrage des Cahiers Histoire de l'ASN.

Le Comité d'histoire de l'ASN

Glossaire

ACRO (Association pour le contrôle de la radioactivité dans l'ouest) – Créée à la suite de la catastrophe de la centrale nucléaire de Tchernobyl (Ukraine) en 1986, l'ACRO est une association citoyenne d'information et de surveillance de la radioactivité, dotée d'un laboratoire d'analyse et agréée au titre de la protection de l'environnement.

AEC (*United States Atomic Energy Agency* / Commission de l'énergie atomique des États-Unis) – Organisme dissous en 1974. Les fonctions de régulation ont alors été attribuées à une nouvelle commission, la Commission de réglementation nucléaire des États-Unis (*Nuclear Regulatory Commission* / NRC).

AFSSAPS (Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé) – Établissement public, sous la tutelle du ministère de la Santé, créé en 1999, l'AFSSAPS a mis en place un dispositif de veille et de sécurité sanitaire. En 2012, l'AFSSAPS est devenue l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM).

AIEA (*International Atomic Energy Agency* / Agence internationale de l'énergie atomique) Organisation intergouvernementale créée en 1957, qui a la même structure juridique que l'Organisation des Nations unies (ONU), sa mission est de favoriser et de promouvoir l'utilisation sûre, sécurisée et pacifique des technologies nucléaires dans le monde entier. Avec 170 pays membres, l'AIEA représente le principal organisme de coopération dans le domaine des activités nucléaires. Outre son rôle dans le contrôle des engagements pris par les États au titre du traité de non-prolifération des armes nucléaires et dans l'assistance à ses pays membres pour l'utilisation de technologies nucléaires, l'AIEA élabore et maintient à jour un référentiel des normes de sûreté nucléaire, encourage leur mise en application dans les pays membres et s'attache à développer la coopération internationale, afin de maintenir un haut niveau de sûreté nucléaire et de protection des humains et de l'environnement contre les rayonnements ionisants au niveau mondial.

ASN (Autorité de sûreté nucléaire) Autorité administrative indépendante (et non un opérateur de l'État), créée par la loi n°2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sûreté en matière nucléaire (dite « loi TSN »), l'ASN assure, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour protéger les personnes et l'environnement des risques liés aux activités nucléaires civiles.

ASN-SFRO [échelle] – (Autorité de sûreté nucléaire/Société française de radiothérapie oncologique) – L'échelle ASN-SFRO vise à permettre une communication vers le public, en des termes accessibles et explicites, sur les événements de radioprotection conduisant à des effets inattendus ou imprévisibles affectant des patients dans le cadre d'une procédure médicale de radiothérapie externe.

ATPu (Atelier de technologie du plutonium) Exploité par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), l'ATPu avait pour activité principale la production de combustible dit « MOX » (mélanges d'oxydes d'uranium appauvri et de plutonium) pour les réacteurs nucléaires.

CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) – Anciennement Commissariat à l'énergie atomique, le CEA est un 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. Le CEA intervient dans quatre domaines : la défense et la sécurité, les énergies bas carbone (nucléaire et renouvelables), la recherche technologique pour l'industrie, la recherche fondamentale (sciences de la matière et sciences de la vie).

CLI (Commission locale d'information) Mise en place à proximité de chaque installation nucléaire française, la CLI est une instance locale pluraliste d'information et de concertation, qui rassemble l'exploitant de l'installation nucléaire de base (INB), l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), les représentants des municipalités proches de la centrale et les riverains, ainsi que des membres d'associations. Elle est en charge du suivi de l'impact et de la sûreté des centrales et installations nucléaires. Chaque CLI est regroupée au sein d'une fédération, l'Association nationale des comités et commissions locales d'information (Ancli).

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.

CRIIRAD (Commission de recherche et d'information indépendante sur la radioactivité) – Association loi de 1901 française agréée dans le cadre de la protection de l'environnement qui conduit des études et des analyses dans le domaine de la radioactivité.

CSIA (Commission de sûreté des installations atomiques) – Commission créée en janvier 1960 en charge d'examiner la sûreté des installations du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). La création de la CSIA en France est l'aboutissement d'une réflexion internationale (homologues existantes aux États-Unis, au Royaume-Uni et au Canada) sur l'organisation de la sûreté nucléaire.

Divergence – Démarrage du processus de réaction en chaîne dans un réacteur. Démarrage de l'activité d'un réacteur.

DGSNR (Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection) – Créée par le décret 2002-255 du 22 février 2002, la DGSNR reprend les activités de la Direction de la sûreté des installations nucléaires (DSIN), du bureau des rayonnements de la Direction générale de la Santé (DGS), d'une partie de l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI) et de la Commission interministérielle des radioéléments artificiels (CIREA). La DGSNR rapporte à trois ministères : Environnement, Industrie et Santé. Elle élabore, propose et met en œuvre la politique du gouvernement en matière de sûreté nucléaire, à l'exclusion de ce qui concerne les installations et activités nucléaires intéressant la défense et en matière de radioprotection.

DSIN (Direction de la sûreté des installations nucléaires) – Entité créée en 1971, en remplacement du Service central de sûreté des installations nucléaires (SCSIN), dans la continuité du processus de renforcement du contrôle de la sûreté nucléaire en France. La DSIN est remplacée par décret en 2002 par la Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection (DGSNR).

...

...

ECS (Évaluations complémentaires de sûreté) – Plan de contrôle décidé après l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (Japon) en 2011 pour les installations nucléaires françaises, constituant en un examen approfondi de chacune d'entre elles.

EDF (Électricité de France) – Exploitant du parc électronucléaire français, produisant de l'électricité, assurant l'exploitation et la maintenance de ses centrales, ainsi que la distribution de l'électricité.

EPR (*European Power Reactor* / Réacteur européen pressurisé) – Nouveau type de réacteur nucléaire incluant de nombreuses améliorations en matière de sûreté, d'utilisation des combustibles et d'économie d'exploitation.

FARN (Force d'action rapide du nucléaire) Dispositif mis en place à la suite du retour d'expérience de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (Japon) le 11 mars 2011. Elle est un appui externe à un site en difficulté. Son objectif est d'intervenir dans les domaines de la conduite, de la maintenance et de la logistique sur un site en situation d'accident grave pour retrouver une alimentation en eau et électricité en moins de 24 heures, avec un début d'intervention à 12 heures, permettant de :
– limiter la dégradation de la situation ;
– éviter si possible la fusion du cœur.

Fluide caloporteur – Fluide de refroidissement qui extrait la chaleur des assemblages de combustible et la transmet à la turbine sous forme d'énergie mécanique. Il s'agit d'eau dans les réacteurs REP ou RBMK, et de sodium dans les réacteurs à neutrons rapides.

HCTISN (Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire) – Instance indépendante créée par la loi du 13 juin 2006, le HCTISN constitue la pierre angulaire de la transparence due au public en matière de sécurité nucléaire. Instance pluraliste, le HCTISN est composé de l'ensemble des acteurs du monde nucléaire, dans toute sa diversité : exploitants d'installations nucléaires, Autorité de sûreté nucléaire (ASN), Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), services de l'État, commissions locales d'information (CLI), associations, syndicats, parlementaires et personnalités qualifiées.

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 la loi du 13 juin 2006 (dite « loi TSN ») et de l'arrêté du 7 février 2012. Les INB doivent être autorisées par décret pris, après enquête publique et avis de l'ASN. Leurs conception, construction, exploitation (en fonctionnement et à l'arrêt) et démantèlement sont réglementés.

INCa (Institut national du cancer) – Agence sanitaire et scientifique de l'État chargée de coordonner les actions de lutte contre le cancer. Créé par la loi de santé publique du 9 août 2004, l'INCa est placé sous la tutelle conjointe du ministère des Affaires sociales et de la Santé et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

INES [échelle] – (*International Nuclear and Radiological Event Scale*) – Après l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986 (Ukraine) et afin d'aider la population et les médias à comprendre immédiatement la gravité d'un incident ou d'un accident dans le domaine nucléaire, une échelle de gravité a été créée, semblable à l'échelle de Richter qui informe sur la puissance des tremblements de terre.

Utilisée sur le plan international depuis 1991, l'échelle INES comporte 8 niveaux, de 0 à 7. Les niveaux 1 à 3 correspondent à des « incidents », les niveaux 4 à 7 à des « accidents ».

L'échelle INES s'applique à tout événement se produisant dans les installations nucléaires de base (INB) civiles et militaires, ainsi que lors du transport des matières nucléaires.

L'application de l'échelle INES aux INB se fonde sur trois critères de classement :

- les conséquences de l'événement à l'extérieur du site, c'est-à-dire les rejets radioactifs qui peuvent toucher le public et l'environnement ;
- les conséquences de l'événement à l'intérieur du site, qui peuvent toucher les travailleurs et l'installation elle-même ;
- la dégradation des lignes de « défense en profondeur » de l'installation, c'est-à-dire des moyens successifs de protection (systèmes de sûreté, procédures, contrôles techniques, etc.) mis en place au sein de l'installation, afin de limiter les effets d'un incident ou d'un accident, et de garantir le confinement de la radioactivité.

IPSN (Institut de protection et de sûreté nucléaire) – Institut créé en 1976 (par l'association du département de contrôle des risques du CEA et du Service central de sûreté des installations nucléaires – SCSIN), l'IPSN est chargé des études en matière de sûreté nucléaire. Appui technique au SCSIN du ministère de l'Industrie, il deviendra en 2002 l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, à la suite de sa fusion avec l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI).

IRRS [missions] – (*Integrated Regulatory Review Service*) – Les missions IRRS de l'AIEA sont conçues pour améliorer et renforcer l'efficacité du cadre national réglementaire nucléaire, tout en reconnaissant la responsabilité finale de chaque État d'assurer la sûreté dans ce domaine. Ces missions prennent en compte les aspects réglementaires, techniques et stratégiques, réalisent des comparaisons aux normes de sûreté de l'AIEA et tiennent compte, le cas échéant, des bonnes pratiques constatées dans d'autres pays.

Ces audits s'inscrivent dans le cadre de la directive européenne sur la sûreté nucléaire prévoyant de recevoir une mission de revue par les pairs tous les dix ans.

IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) – Fondé en 2002 à la suite de la fusion de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) et de l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI), l'IRSN est un établissement public à caractères industriel et commercial qui fonctionne sous la tutelle conjointe des ministères chargés de la Défense, de l'Environnement, de l'Industrie, de la Recherche et de la Santé, et du Travail. L'Institut assume un rôle d'expertise technique pour l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

MWe (Mégawatt électrique) – Unité de puissance électrique.

NRC (*Nuclear Regulatory Commission* / Commission de réglementation nucléaire des États-Unis) – Agence fédérale indépendante du gouvernement des États-Unis, créée en 1974, qui est chargée de la réglementation de la sûreté nucléaire aux États-Unis et de son respect. Elle s'assure de l'utilisation en sécurité, de matières radioactives à des fins civiles, tout en protégeant les personnes et l'environnement. À ce titre, la NRC est chargée de la réglementation des centrales nucléaires commerciales et d'autres utilisations de matières nucléaires (par exemple, dans le domaine médical) par l'octroi de licences (conception, construction, exploitation), les inspections, et le respect de ses exigences.

OMS (Organisation mondiale de la santé) Agence spécialisée de l'Organisation des Nations unies (ONU) pour la santé publique créée en 1948. Elle dépend directement du Conseil économique et social des Nations unies.

OPECS (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques) Créé par la loi du 8 juillet 1983, il a pour mission d'informer le Parlement des conséquences des choix à caractère scientifique et technologique afin d'éclairer ses décisions. Il recueille des informations, met en œuvre des programmes d'études et procède à des évaluations.

OPRI (Office de protection contre les rayonnements ionisants) – Établissement public de l'État qui a pris la suite du Service de contrôle de protection contre les rayonnements ionisants en 1996, l'OPRI a fusionné avec l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN). Il fait désormais partie de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

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.

PUI (Plan d'urgence interne) – Ce plan est établi et mis en œuvre par l'industriel responsable d'une installation nucléaire. Le PUI a pour objet, d'une part de protéger le personnel travaillant sur le site nucléaire en cas d'incident ou d'accident, et d'autre part de limiter au maximum les conséquences de l'accident à l'extérieur du site nucléaire.

Radioprotection – La radioprotection vise à empêcher ou à réduire les risques sanitaires liés aux rayonnements ionisants, en s'appuyant sur trois grands principes : justification, optimisation et limitation des doses de rayonnements. Pour appliquer ces principes, la radioprotection met en œuvre des moyens réglementaires et techniques spécifiquement adaptés à trois catégories de personne : le public, les patients et les travailleurs.

RBMK [réacteur] – (*Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalnyy* / Réacteur de grande puissance à tubes de force) – Réacteur nucléaire de conception soviétique, utilisé notamment à la centrale nucléaire de Tchernobyl (Ukraine).

Réacteur à neutrons rapides – Conçu pour utiliser la matière fissile (l'uranium et le plutonium) comme combustible nucléaire, plus complètement que dans les réacteurs à neutrons thermiques. Le fluide caloporteur peut être un métal liquide, tel que le sodium ou l'hélium. Il présente les avantages de pouvoir fabriquer de la matière fissile (surgénérateur) ou, au contraire, incinérer des déchets (actinides) à vie longue.

REP [réacteur] – (Réacteur à eau sous pression) – Réacteur utilisant de l'eau légère à la fois comme modérateur (pour abaisser l'énergie des neutrons à un niveau qui augmente le rendement de la fission) et comme caloporteur (pour transférer la chaleur du cœur vers le générateur de vapeur). Le programme électronucléaire français repose essentiellement sur le développement de cette filière (avec des réacteurs de 900 MWe, 1300 MWe et 1450 MWe) qui compte le plus grand nombre d'unités en service dans le monde.

RHWG (*Reactor Harmonization Working Group* / Groupe de travail sur l'harmonisation des réacteurs) – Mandaté par WENRA pour développer une approche harmonisée de la sûreté nucléaire des centrales nucléaires en exploitation, le RHWG a développé des niveaux de référence de sûreté de WENRA pour les centrales existantes. Ces référentiels sont approuvés par les membres de l'association. Ils reflètent les pratiques attendues qui doivent être mises en œuvre dans les pays membres de WENRA.

SCPRI (Service central de protection contre les rayonnements ionisants) – Ancien organisme public français, créé en 1956 et dépendant du ministère de la Santé, le SCPRI a pour mission de protéger les populations et les travailleurs de l'industrie nucléaire des dangers des rayonnements ionisants. Le 19 juillet 1994, il est remplacé par l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI).

SCSIN (Service central de sûreté des installations nucléaires) – Créé au sein du ministère de l'Industrie par décret en 1973, le SCSIN a la charge de préparer et de mettre en œuvre toutes les actions techniques relatives à la sûreté nucléaire : réglementation, coordination des études de sûreté, information nucléaire. Sa mission est aussi d'instruire les dossiers d'autorisation relatifs aux installations nucléaires de base. Il est remplacé par la Direction de la sûreté des installations nucléaires (DSIN) en 1991.

Sécurité nucléaire – La sécurité nucléaire recouvre la sécurité civile en cas d'accident, la protection des installations contre les actes de malveillance, la sûreté nucléaire, c'est-à-dire le fonctionnement sécurisé de l'installation et la radioprotection qui vise à protéger les personnes et l'environnement contre les effets de rayonnements ionisants (« loi TSN » du 13 juin 2006).

SFRO (Société française de radiothérapie oncologique) – Créée en 1990, la SFRO répond au besoin de regrouper les professionnels de radiothérapie oncologique dont l'enseignement, les diplômes, les intérêts et les conditions d'exercice diffèrent de ceux de leurs confrères radiologues.

SMQ (Système de management de la qualité) Inspiré des standards internationaux de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et de l'Organisation internationale de normalisation (*International Organization of Standardization* – ISO), ce système est fondé sur :

- un manuel d'organisation regroupant des notes d'organisation et des procédures qui définissent des règles pour réaliser chacune des missions ;
- des audits internes et externes pour veiller à l'application rigoureuse des exigences du système ;
- l'écoute des parties prenantes ;
- les indicateurs de performance qui permettent de surveiller l'efficacité de l'action ;
- une revue périodique du système dans un effort d'amélioration continue.

...

...

Socatri (Société auxiliaire du Tricastin)
Société exploitant une installation d'assainissement et de récupération d'uranium, à Bollène dans le Vaucluse.

Stress tests – Deux semaines après le déclenchement de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (Japon), le Conseil européen des 24 et 25 mars 2011 a décidé la réalisation de *stress tests* des centrales nucléaires européennes afin de prendre en compte les premiers enseignements de l'accident survenu au Japon. En France, les *stress tests* ont pris la forme d'évaluations complémentaires de sûreté (ECS) des installations nucléaires au regard de la catastrophe de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi. Par rapport au cadre européen, l'exercice français a été étendu à l'ensemble des installations nucléaires et enrichi par la prise en compte des facteurs sociaux, organisationnels et humains (FSOH).

Sûreté nucléaire – Ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets. Elles concernent la conception, la construction, le fonctionnement, l'arrêt et le démantèlement des installations nucléaires de base, ainsi que le transport des substances radioactives. La sûreté nucléaire est une composante de la sécurité nucléaire qui comprend la radioprotection, la prévention et la lutte contre les actions de malveillance, ainsi que les actions de sécurité civile en cas d'accident.

TAM (Tampon d'accès du matériel)
Traversée de grand diamètre dans l'enceinte de confinement du réacteur qui permet, lors des arrêts de réacteur, de faire pénétrer les équipements et matériels nécessaires.

TMI (Three Mile Island) – Centrale nucléaire située dans l'est des États-Unis définitivement arrêtée le 20 septembre 2019. Mise en service en 1974, la centrale nucléaire de Three Mile Island a subi un accident le 28 mars 1979. Cet accident a été classé au niveau 5 de l'Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques (échelle INES). Elle est composée de deux unités distinctes TMI-1 et TMI-2. C'est dans cette seconde unité qu'eut lieu l'accident nucléaire de Three Mile Island en 1979.

TSN [loi] – (Loi sur la Transparence et la Sécurité nucléaire) – Loi du 13 juin 2006 relative à la Transparence et à la Sécurité en matière nucléaire, qui pose les bases législatives du système de sûreté nucléaire par la mise en œuvre dans le domaine nucléaire du principe «de précaution». La «loi TSN » met en place en même temps les procédures garantissant l'information du public sur les activités nucléaires et les structures de concertation et de débat sur le sujet. Elle définit l'ensemble des actes juridiques applicables à ces activités, depuis les autorisations de création jusqu'au démantèlement, en passant par les contrôles réalisés par les inspecteurs et les sanctions pénales.

UNGG [réacteur] – (Uranium naturel-graphite-gaz) – Type de réacteur nucléaire de première génération d'EDF, fonctionnant avec de l'uranium naturel. Le premier réacteur UNGG a été mis en service en 1963 à Chinon (Indre-et-Loire). Au total, six réacteurs de ce type ont été construits en France. Ces réacteurs ont été arrêtés entre 1973 et 1994, à la suite de l'abandon de cette filière pour celle des réacteurs à eau sous pression (REP).

UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*) – Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants). Ce comité, créé en 1955, rassemble des experts de 27 pays et rend compte devant l'Assemblée générale des Nations unies. C'est un organisme à caractère scientifique qui valide et cautionne les résultats d'études nationales ou internationales relatives aux effets des rayonnements ionisants sur l'homme.

WENRA (*Western European Nuclear Regulators' Association*) – Association des autorités de sûreté nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest, créée en 1999 à l'initiative d'André-Claude Lacoste, qui dirigeait alors la DSIN et qui fut le premier président de l'association. WENRA rassemble les responsables des autorités de sûreté nucléaire des 18 pays européens : Allemagne, Belgique, Bulgarie, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Italie, Lituanie, Pays-Bas, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Ukraine.

Zircaloy – Groupe d'alliages de zirconium. Le Zircaloy est principalement utilisé dans l'industrie nucléaire pour ses caractéristiques neutroniques, comme matériau de gainage du combustible (première barrière de confinement).

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

Directeur de la publication: Olivier Gupta, directeur général de l'Autorité de sûreté nucléaire
Rédactrice en chef: Marie-Christine Bardet

Ce numéro a été conçu et réalisé en collaboration avec les membres du Comité d'histoire de l'ASN : Pierre-Franck Chevet, Marie-Pierre Comets, Daniel Delalande, Alain Delmestre, Jean-Luc Godet, Olivier Gupta, André-Claude Lacoste, Jean-Christophe Niel, Philippe Saint Raymond

Ont également contribué à ce numéro : Sylvie Cadet-Mercier et Géraldine Pina, commissaires

Remerciements au Dr Jean-Marc Simon, Chef de service Oncologie Radiothérapie de l'Hôpital Pitié-Salpêtrière, Professeur associé des universités, Expert près la Cour d'appel de Paris, pour sa contribution à cet ouvrage

Conception et réalisation: BRIEF

Photos et illustrations: Reda Bentayeb / BRIEF (*couv. et p. 1*), Emilio Segrè (*p. 2*), Jonathan Shalev (*p. 8*), IRSN (*p. 10*), BRIEF (*p. 12, 14 à 19, 26 à 28, 30-31*), ASN (*p. 14*), Christophe Guibbaud / EDF (*p. 15*), Igor Kostine / Corbis / IRSN (*p. 18*), Arnaud Tetelin (*p. 28, 30-31*), AdobeStock (*p. 23*), DR

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

Date de parution: novembre 2023

