

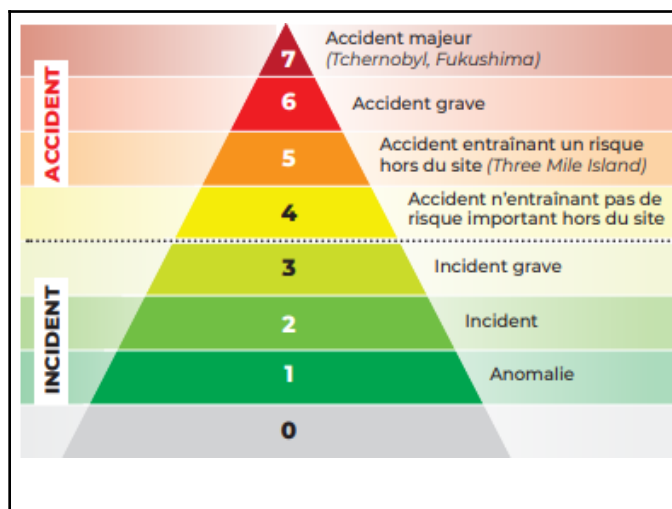
QU'AVONS-NOUS APPRIS EN FRANCE DES ACCIDENTS DE RÉACTEURS NUCLÉAIRES DANS LE MONDE ?

RÉSUMÉ

Suite aux accidents nucléaires les autorités internationales et nationales ont mis en place des systèmes de recensement et d'analyse des retours d'expérience. La prévention et l'anticipation étant les meilleures défenses contre un accident nucléaire, les autorités ont également recensé les types d'accidents et lancé des recherches pour mieux les comprendre et pouvoir mieux les maîtriser.

Dans le monde, trois accidents nucléaires majeurs ont marqué l'histoire du nucléaire civil (**Three Mile Island, Tchernobyl et Fukushima**). Ils ont des origines et des conséquences diverses, mais leur point commun est l'enseignement que les exploitants nucléaires en ont tiré pour toujours mieux assurer la sûreté des installations.

Ces accidents ont été respectivement classés en **niveau 5** et en **niveau 7** sur l'échelle INES (voir figure ci-contre). Les accidents graves (niveau 6 et 7, avec fusion du cœur) ont provoqué des déplacements de population en raison de la forte dispersion de radioactivité dans l'environnement de la centrale. De telles conséquences sont exclues par conception dans les réacteurs de génération 3, qui sont désormais construits dans le monde.



REX ACCIDENT DE TMI

En France, les modifications techniques suivantes ont été opérées sur le parc français : mise en place de recombineurs auto-catalytiques passifs d'hydrogène sur tous les réacteurs et de capteurs de détecteurs d'hydrogène, filtration de l'air de l'enceinte de confinement en vue de filtrer les rejets gazeux accidentels.

Au plan organisationnel, des plans d'urgence internes (PUI) ont été définis au sein des installations nucléaires de base (INB) dans le but de maîtriser autant que possible un accident et d'en limiter ses conséquences. 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. D'autres pays étrangers ont adopté des mesures similaires.

REX ACCIDENT DE TCHERNOBYL

Dans les pays de l'ex-URSS, les réacteurs de type RBMK ont subi des transformations pour en améliorer la sûreté et permettre la poursuite de leur exploitation (ajout de barres absorbantes fixes, réduction de l'effet de vide par l'augmentation de l'enrichissement du combustible, modification du système d'arrêt d'urgence protection de la dalle supérieure contre les accidents de surpression, amélioration de la capacité de dépressurisation du système de confinement).

Au plan organisationnel, instauration de l'échelle INES des accidents nucléaires, adoption de la Convention de Vienne qui vise à engager les exploitants des centrales nucléaires à maintenir un niveau élevé de sûreté en établissant des principes fondamentaux non négociables, mise en place de moyens de coordination des pouvoirs publics en cas de situation d'accident et dans certains états (dont la France), distribution préventive de comprimés d'iode pour les riverains, afin de prévenir l'apparition de cancers de la thyroïde.

REX ACCIDENT DE FUKUSHIMA

Au niveau mondial, on a pris conscience qu'il fallait appliquer l'approche de défense en profondeur, et la combinaison d'agressions externes (séisme/incendie/inondation) à l'échelle d'un site. L'accident de Fukushima montre qu'il faut assurer une autonomie en alimentation électrique et en source froide d'autant que, lors d'un cataclysme naturel, on ne peut guère compter sur une réponse rapide de l'extérieur. En France, des évaluations complémentaires de sûreté (ECS) ont été imposées à tous les exploitants nucléaires.

1. L'ACCIDENT DE THREE MILE ISLAND-2 (USA, PENNSYLVANIE), 28 MARS 1979

Cet accident est détaillé dans la [fiche argumentaire GAENA "Accident de TMI"](#).

2.1. LE DÉROULEMENT DE L'ACCIDENT

Après un incident sur le circuit secondaire, le réacteur est arrêté automatiquement. Mais la vanne de décharge du pressuriseur ne s'est pas refermée, alors que l'ordre en avait été donné, et qu'elle apparaissait fermée sur le panneau de contrôle (temps H).

Par ailleurs, l'indication de niveau du pressuriseur se trouve perturbée par un mélange eau vapeur et, pour conserver la bulle de vapeur au pressuriseur, l'opérateur décide d'arrêter l'injection de secours qui s'était mise en marche automatiquement : à H+6 min, les conditions d'ébullition de l'eau au primaire sont atteintes.

En outre, l'extraction de la chaleur par les générateurs de vapeur est entravée par l'oubli de vannes en position fermée, en raison de travaux de maintenance effectués quelques jours auparavant, en violation de la consigne qu'elles doivent être placées en position ouverte en fin d'opération. A H+15 min, les disques destinés à protéger le circuit primaire d'une montée excessive en pression éclatent, et le circuit primaire est mis en communication avec l'atmosphère de l'enceinte du réacteur. Puis, en raison de leur cavitation due au mélange eau-vapeur, l'opérateur arrête successivement les deux pompes primaires, à H+30 et H+40 min, ce qui entraîne le dénoyage rapide du cœur, la fusion des gaines de combustible, en zirconium, et la formation d'hydrogène.

Ce n'est qu'à H+3h30 min que l'opérateur se rendra compte de la fuite du pressuriseur et qu'il reprendra l'injection d'eau dans le circuit primaire. Mais un tiers du combustible a fondu, l'activité du circuit primaire est très importante, 2400 m3 de liquide radioactif ont été déversés dans l'enceinte de confinement, et des gaz radioactifs ont été rejetés dans l'atmosphère au travers du bâtiment auxiliaire.

2.2. RETOUR D'EXPÉRIENCE

La combinaison des diverses causes qui ont conduit à faire d'un incident banal un accident grave (avec fusion partielle du cœur) est devenu un cas d'école donnant lieu à de nombreux enseignements :

- Mauvaise information (sur l'état de la vanne du pressuriseur). *Les indications doivent correspondre non pas aux ordres, mais au résultat de leur exécution.*
- Mauvaise connaissance de l'état de l'installation : l'opérateur ne savait pas que l'indication du niveau d'eau du pressuriseur pouvait être erronée en conditions anormales.
Outre la redondance des mesures, cela pose la question de la formation du personnel à la conduite en situation accidentelle, et de la rédaction des consignes correspondantes. Après TMI, la formation à la conduite accidentelle sur simulateur s'est fortement développée.
- Non respect des procédures : les vannes d'injection d'eau au secondaire des générateurs de vapeur auraient dû être replacées en position ouverte.
- Mauvaise réaction de l'opérateur : il a arrêté les pompes primaires pour les protéger de la cavitation, alors qu'il était hors du domaine normal de fonctionnement, et que le thermosiphon était inopérant.
À partir d'un état défini pouvant conduire à un accident grave, ce n'est plus la préservation de l'équipement qui est prioritaire, mais la protection des populations et de l'environnement. La contre-mesure prise par EDF a été de mettre en place des Ingénieurs de Sécurité et de Radioprotection (ISR), hors conduite, et qui interviennent en cas d'accident.
- Non prise en compte à la conception de la possibilité de formation d'hydrogène en cas de dénoyage du cœur. *À la suite de TMI, tous les réacteurs français ont été équipés de recombineurs d'hydrogène, pour contrôler ce risque.*
- Non prise en compte à la conception de la nécessité de faire tomber la pression dans l'enceinte étanche, en cas d'accident, en contrôlant les rejets radioactifs à l'atmosphère.
A la suite de TMI, tous les réacteurs français ont été équipés de filtres à sable destinés à piéger principalement des radiocésiums, et à réduire – selon leur taux d'humidité – les rejets d'iodes.
- Gestion de crise non préparée : les journalistes s'entretenaient directement avec les ingénieurs de la salle de commande, alors qu'ils avaient eux-mêmes du mal à comprendre et gérer l'accident.
La gestion de crise ne s'improvise pas, des exercices ont lieu désormais régulièrement au plan national et international, et la communication est gérée par une cellule particulière.
Même si cet accident n'a pas eu de conséquence humaine (autres que les accidents de la circulation lors de l'évacuation des riverains) – preuve de l'efficacité de l'approche de sûreté par la « défense en profondeur », elle a conduit à une réflexion complémentaire sur les barrières de sûreté.

- La cuve (acier d'une vingtaine de cm d'épaisseur dans le cas des REP¹) a joué son rôle de barrière vis-à-vis du corium. *Néanmoins, pour faire face à l'éventualité d'accidents plus sévères, un récupérateur de corium est mis en place sur les réacteurs de 3^{ème} génération en France.*
- L'enceinte de confinement joue un rôle important.
À partir du palier P4 (1300 MWe), les réacteurs français sont dotés d'une double enceinte, ce qui permet de découpler les parades vis-à-vis des agressions internes et externes, et de faciliter la vérification de leur étanchéité. Cette exigence a été abandonnée pour l'EPR2 ; l'enceinte du bâtiment réacteur redevenant une simple paroi épaisse en béton précontraint, doublée d'un liner métallique.

En matière de sûreté, TMI a conduit EDF à prendre en compte des situations de cumuls de défaillances, matérielles et humaines (procédures H – accident hypothétique) et à introduire une approche d'accidents graves (procédures U – sauvegarde ultime).

À noter que l'accident s'est produit à 4h du matin sur un réacteur tout récent (il a été connecté au réseau un an avant, en avril 1978).

2. L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL 4, UNION SOVIÉTIQUE, 26 AVRIL 1986

Des détails complets sur cet accident figurent dans la [fiche argumentaire GAENA "Accident de Tchernobyl"](#). Il s'est également produit de nuit, sur un réacteur mis récemment en service (1983).

Le type de réacteur (RBMK) est trop éloigné des REP-2 pour tirer des leçons sur la conception de nos réacteurs. La gestion du traumatisme post-accidentel de populations nombreuses est un enseignement majeur de cette catastrophe.

Contrairement à l'accident de TMI, dont les conséquences ont été très locales, les conséquences de la catastrophe de Tchernobyl ont été européennes.

Le panache radioactif s'étant déplacé vers le nord-ouest puis vers l'ouest, outre la Biélorussie, l'Ukraine et la Russie, ce sont les pays d'Europe qui ont été touchés ; l'Asie, l'Océanie et l'Amérique n'ont pas été impactées.

Au niveau mondial, des associations se sont mises en place pour partager le retour d'expérience : au niveau des exploitants (WANO : World Association of Nuclear Operators) et au niveau des autorités de sûreté (WENRA : Western European Nuclear Regulators Association) ; une échelle médiatique INES (International Nuclear Events Scale) a été créée, et la notification d'un accident nucléaire, d'un pays à l'autre, accélérée ; l'AIEA a créé des groupes consultatifs (INSAG : International Nuclear Safety Advisory Group) qui a rédigé une doctrine de sûreté partagée².

En France, la gestion médiatique de l'accident a été pitoyable : un nouveau gouvernement venait d'être nommé, et le Professeur Pellerin³, chef du SCPRI qui dépendait du ministère de la santé, s'est retrouvé face aux journalistes, sans y avoir été préparé. Alors qu'il tenait le discours administratif « il n'y aura pas de conséquences sanitaires pour la population », les Italiens interdisaient à leurs enfants de jouer dans les bacs à sable, et les Allemands devaient laver leurs salades avant de les consommer.

En France notamment, la préparation des crises et la communication ont été améliorées ; les exercices de crise mettant en jeu les Plans particuliers d'intervention (PPI) ont été multipliés, en incluant des observateurs étrangers.

À la suite de l'accident, la notion de « culture de sûreté » été institutionnalisée au sein du document INSAG-4 de l'AIEA, tant au niveau du personnel que des services administratifs : une administration de la sûreté a vu le jour après l'effondrement du régime soviétique (Administration de la réglementation nucléaire en Ukraine, au sein du Ministère de l'environnement, Service fédéral pour la surveillance de l'écologie, de la technologie, et du nucléaire – en Fédération de Russie).

En France, la loi TSN⁴ a été votée vingt ans après l'accident. Elle définit notamment la « transparence », établit l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) indépendante du gouvernement et des ministères (www.asn.fr), et crée le HCTISN⁵.

¹ Réacteur à eau pressurisé, le type de réacteurs électrogènes le plus répandu dans le monde (60 %).

² Par exemple, l'INSAG-4 concerne la Culture de sûreté.

³ Voir la fiche d'actualité GAENA N°2.

⁴ Loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire.

⁵ Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire.

3. L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA, JAPON, 11 MARS 2011

Des détails complets sur cet accident sont donnés dans la [fiche argumentaire GAENA "Accident de Fukushima"](#).

Contrairement aux deux autres, cet accident n'est pas initié par l'opérateur : c'est un raz-de-marée de 14 m de hauteur provoqué par un séisme sous-marin de magnitude 8,9 qui inonde les moteurs diesels de secours des quatre premiers réacteurs de la centrale, après que le tremblement de terre ait détérioré l'alimentation électrique normale, empêchant tout refroidissement des réacteurs à l'arrêt du fait de l'étanchéité totale des enceintes de confinement, et que l'opérateur n'a pas voulu utiliser d'eau de mer.

Rappelons que le tsunami, dans cette plaine fertile et très peuplée, a causé la mort ou la disparition de quelque 19 000 victimes⁶ et blessé 6 000 personnes, alors que l'accident nucléaire lui-même n'a causé aucune perte humaine.

Soulignons tout d'abord la bonne résistance des réacteurs à un séisme de magnitude 9 sur l'échelle de Richter, alors qu'ils avaient été dimensionnés pour une magnitude 7 : les marges prises pour les calculs ont montré là toute leur pertinence. Par contre, le fait d'équiper chaque réacteur d'une piscine de stockage du combustible en partie supérieure en vue de faciliter l'exploitation de la centrale a gravement compliqué la gestion de l'accident. Leur perte d'étanchéité est attribuée au tremblement de terre. Un an après l'accident, alors que le refroidissement des réacteurs est parfaitement maîtrisé, la piscine du réacteur N°4 représente encore un risque élevé de fuite pendant les 2 ans nécessaires pour l'évacuation de tout le combustible.

Par contre, l'importance des tsunamis a été fortement sous-évaluée : il s'en est produit 10 historiques au Japon entre 1605 et 1933, totalisant 95 000 victimes, les plus meurtriers étant ceux de 1707 (30 000 victimes) et de 1896 (25 000 victimes). Manifestement, l'agence de sûreté (NISA) qui dépendait du ministère de l'industrie (METI) ne disposait pas d'une indépendance suffisante pour imposer ses exigences à l'opérateur TEPCO, surtout après l'avertissement qu'a constitué le tsunami du 26 décembre 2004 dans l'Océan Indien.

Elle est depuis le 19 septembre 2012 transformée en autorité de sûreté (Nuclear Regulation Authority) relevant du ministère de l'environnement. La culture de la sûreté ne faisait pas partie des pratiques japonaises. (En France, le niveau de sûreté des installations est réévalué tous les 10 ans, selon une démarche d'amélioration continue de la sûreté, au-delà du simple maintien de conformité [Réf.1]).

En France, les leçons de Tchernobyl en matière de transparence et d'information du public se sont montrées efficaces : l'accident de Fukushima s'étant produit un vendredi, dès le lundi suivant l'IRSN mettait en place une information en ligne sur internet, avec des points d'information journaliers jusqu'à fin mars 2011. Une fois la crise passée, les points d'information ont été hebdomadaires puis mensuels. Des dossiers sont désormais régulièrement tenus à jour sur le site www.irsn.fr.

Au niveau mondial, en matière d'agression naturelle, il apparaît qu'on n'a pas appliqué l'approche de défense en profondeur, ni prévu de combinaison d'agressions (séisme / incendie / inondation) à l'échelle d'un site. L'accident de Fukushima montre qu'il faut – en toute circonstance – assurer une autonomie en alimentation électrique et en source froide d'autant que, lors d'un cataclysme naturel, on ne peut guère compter sur une réponse rapide de l'extérieur⁷.

Sans tarder, des évaluations de résistance aux catastrophes naturelles ont été organisées en Europe par l'association ENSREG⁸. En France, elles ont pris la forme des évaluations complémentaires de sûreté (ECS), dont le cahier des charges a été prescrit aux différents exploitants dès le 5 mai 2011, après avis favorable du HCTISN⁹. Les exploitants des 79 installations d'EDF (principalement les réacteurs nucléaires), d'AREVA (usines du site de La Hague), et du CEA (réacteurs expérimentaux), prioritaires en matière d'ECS, ont remis leurs rapports le 15 septembre : le 4 novembre, l'IRSN remettait à l'ASN son analyse, rendue publique sur internet, et le 3 janvier 2012 l'ASN remettait ses conclusions au Premier ministre, qui les transmet à la Commission européenne.

Le but de la démarche innovante « ECS » est de faire prendre conscience aux exploitants nucléaires des risques liés à une catastrophe touchant tout un site, avec fusion de tous les cœurs (même si on n'a pas pu mettre en évidence de scénario réaliste y conduisant) : robustesse aux agressions (séisme, inondation) ; robustesse aux

⁶ 15861 morts, 3018 disparus, 6107 blessés

(http://wiki.answers.com/Q/How_many_people_died_during_the_tsunami_in_Japan_2011)

⁷ Il a fallu 2 jours pour amener du matériel lourd de Tokyo, distante de 250 km, à la centrale de Fukushima Dai-ichi, compte tenu des dégâts sur les voies de circulation causés par le séisme et le tsunami.

⁸ European Nuclear Safety Regulators, à laquelle s'est jointe l'Ukraine.

⁹ Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire.

pertes totales d'alimentation électrique ou de refroidissement ; robustesse des moyens pour gérer un accident grave à l'échelle d'un site, et la situation de crise qui en résulte (voir figures 1 et 2 ci-dessous)

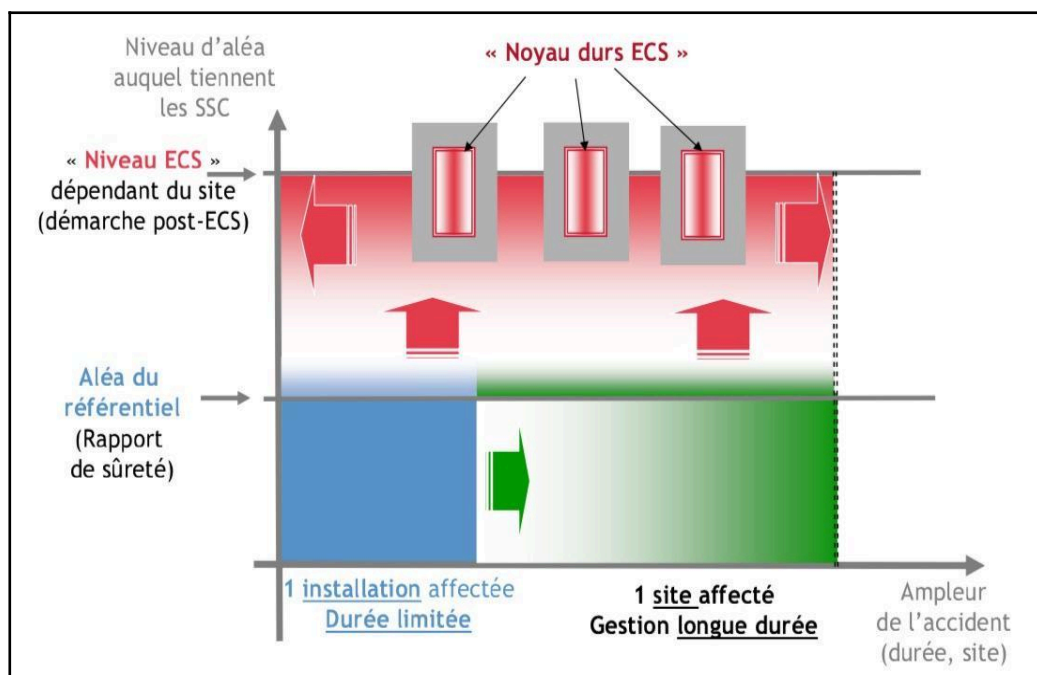


Figure 1 : L'intégration des ECS dans la démarche de sûreté française

L'idée n'est pas de traiter les non conformités, telles qu'elles apparaissent dans les inspections habituelles, ni même les remises à niveau de sûreté, telles qu'elles sont réalisées lors des visites décennales (VD), mais bien d'identifier un « **noyau dur** » (organisationnel et matériel), incluant des équipements indispensables pour faire face à des aléas de niveau supérieur à ceux pris en compte dans les référentiels de sûreté existants, afin d'empêcher tout accident de devenir « grave », c'est-à-dire d'avoir des conséquences au-delà du site pouvant entraîner une évacuation – même momentanée – de la population avoisinante :

- *prévenir un accident avec fusion du combustible ou en limiter la progression*
 - *limiter les rejets radioactifs massifs*
 - *permettre à l'exploitant d'assurer les missions qui lui incombent dans la gestion d'une crise*
- [Réf.1].

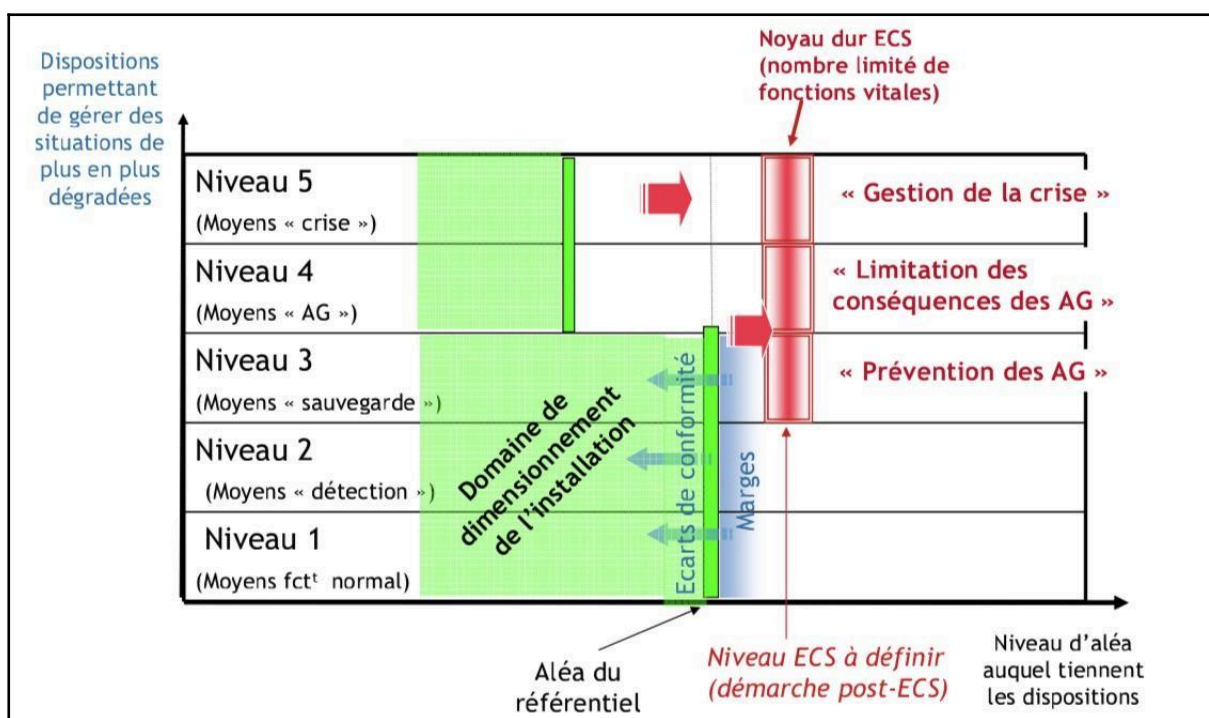


Figure 2 : Amélioration de la prise en compte des agressions externes dans la démarche de défense en profondeur

EDF a notamment identifié comme points faibles à renforcer : les réserves d'eau et les circuits de secours des générateurs de vapeur (« ASG ») ; l'autonomie de production d'énergie avec, pour chaque tranche, un diesel d'ultime secours (DUS) robuste vis-à-vis de l'inondation et du séisme ; la tenue au séisme des filtres à sable utilisés en cas de dépressurisation de l'enceinte ; les locaux de crise (bloc de sécurité « BDS »).

Ces équipements devront se trouver sur chaque site, pour faire face aux premières 24 heures, et hors site, entre les mains de la FARN (force d'action rapide nucléaire), que EDF a commencé à déployer.

La FARN a pour objectif d'acheminer sous 24 h sur le site accidenté des moyens pour réinjecter de l'eau dans les générateurs de vapeur, dans le circuit primaire, ou dans la piscine, et prendre le relais de l'opérateur local pour gérer la crise.

Pour gérer une crise dans la durée, EDF étudie un bâtiment de gestion de crise à proximité des sites (ce que le BDS, même renforcé, ne permet pas) et une base arrière à quelques kilomètres du site permettant à la FARN d'organiser sa logistique d'intervention.

En mars 2014, la FARN est déjà largement constituée, et les différents éléments des noyaux durs sont en cours d'installation, par phases successives :

- 2012-2015 : couvrir à court terme des situations de pertes d'eau et d'électricité plus sévères qu'aujourd'hui (multi-tranches, longue durée), par des moyens de crise et des moyens provisoires de conception
- 2016-2019 : couvrir à moyen terme des situations de pertes eau et électricité plus sévères qu'aujourd'hui, par des moyens de conception définitifs (Éléments du Noyau Dur)
- 2020-2023 : filet ultime "noyau dur" permettant, dans les situations déterministes les plus extrêmes, très au-delà des référentiels, d'éviter des rejets massifs et durables [Réf. 2].

Au total, l'ASN estime à une dizaine d'années, comme pour Tchernobyl, le temps nécessaire pour tirer tout le retour d'expérience de Fukushima. Les évaluations complémentaires de sûreté ne sont donc que la première étape visant à renforcer la sûreté des réacteurs vis-à-vis de phénomènes naturels exceptionnels, de combinaisons d'aléas (pertes d'alimentation électrique et de refroidissement), et pour assurer la gestion de la crise dans des conditions extrêmement dégradées.

Les diagrammes de l'IRSN représentés ci-dessous illustrent la prise en compte de catastrophes naturelles dans la démarche de défense en profondeur, et l'intégration des ECS dans la démarche de sûreté française, ajoutant une nouvelle dimension à la sûreté : gestion de la crise en étendue (tout un site) et dans la durée, le but étant de ne pas recourir à une évacuation – même temporaire – de la population.

En ce sens, on peut affirmer que les réacteurs, même les plus anciens comme ceux de Fessenheim, sont plus sûrs que lors de leur mise en service.

5. FICHES GAÉNA LIÉES

Fiche argumentaire GAENA : "[Accident de TMI](#)". Index de classement : BBC 01

Fiche argumentaire GAENA : "[Accident de Tchernobyl](#)". Index de classement : BBD 01

Fiche argumentaire GAENA : "[Accident de Fukushima](#)". Index de classement : BBE 01

6. AUTRES RÉFÉRENCES

- [Réf.1] : Accident nucléaire de FUKUSHIMA Dai-ichi ; Les enseignements pour la sûreté, de l'expertise à la recherche (mars 2014)
http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-2014/Documents/irsn_fukushima_suites_surete_201403.pdf
- [Réf. 2] : Fukushima 2014 : état des lieux et perspectives, en 10 questions ; RGN N°1 Janvier-Février 2014, p. 84-95 ; http://www.sfen.org/IMG/pdf/fukushima_3_2014_150.pdf
- [Réf. 3] : L'accident de Three Mile Island : un accident riche d'enseignements ! B. Barré, SFEN/GR21, Février 2009.
- [Réf. 4] : 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. Les cahiers historiques de l'ASN - Novembre 2023.
- [Réf. 5] : Retour d'expérience sur les accidents nucléaires [Encyclopédie de l'énergie](#).

Annexe 1 : Historique d'accidents de réacteurs nucléaires, classés selon l'échelle INES

– **12 décembre 1952** : fusion partielle du cœur du réacteur national expérimental (NRX) de **Chalk River** (Canada) provoquée par une erreur de l'opérateur et des problèmes mécaniques dans les systèmes d'arrêt. Des gaines de combustible explosèrent, entraînant le rejet de matières radioactives. Le cœur du réacteur a été retiré pour en installer un nouveau. Dans les deux années qui ont suivi, le réacteur a été réparé et remis à en marche jusqu'en 1992. Cet accident serait aujourd'hui classé en niveau 5.

– **10 octobre 1957** : incendie de l'empilement de graphite du réacteur plutonigène de **Windscale** (Royaume Uni) qui était refroidi à l'air, provoque la fusion de dix tonnes de combustible en uranium métallique et le relâchement d'iode radioactif dans l'environnement. Il n'a pas fait de victimes. Le démantèlement du réacteur, commencé dans les années 1980, n'est pas terminé. L'accident, que l'on classerait sans doute aujourd'hui au niveau 5, n'a guère soulevé d'émotion en dehors du Royaume Uni et du Danemark.

– **28 juillet 1959** : le réacteur expérimental de Santa Susana (États-Unis) refroidi au sodium subit une fusion partielle du cœur au Santa Susana Field Laboratory, près de Simi Valley, en Californie. Selon les experts « les mesures d'iode-131 ont été environ 80 à 100 fois plus importantes que les relevés provenant de Three Mile Island. L'accident serait aujourd'hui classé en niveau 5.

– **24 Mai 1958** : moins d'un an après son démarrage, le réacteur canadien universel (**NRU**), successeur de NRX, a subi un accident de niveau 4 : un élément combustible en uranium, endommagé, a pris feu lors de son déchargement, contaminant le bâtiment et ses environs par des produits de fission. Le réacteur NRU a redémarré en août 1958.

– **21 janvier 1969** : un arrêt d'urgence automatique interrompt la première montée à pleine puissance du réacteur expérimental de **Lucens**, en Suisse. La radioactivité monte rapidement dans la caverne qui abrite le réacteur, signe d'une dégradation du combustible. Suite à cet accident, de niveau 4 ou 5, sans conséquence sanitaire, le réacteur n'a jamais redémarré. Cet accident est peu connu en dehors de la Suisse.

– **15 octobre 1969** : un opérateur de la centrale Uranium Naturel Graphite Gaz (UNGG) de **Saint-Laurent**, en France charge par erreur une fausse cartouche au lieu d'un élément combustible, obstruant ainsi un des canaux de refroidissement ; plusieurs éléments (50 kg) encore peu irradiés fondent. Cet accident de niveau 4 n'a pas fait de victime, ni causé de relâchement significatif de radioactivité, mais le réacteur a été arrêté 1 an pour nettoyage. L'accident est passé presque inaperçu du public.

– **13 mars 1980** : **Saint-Laurent** encore, mais réacteur 2. Arrachée de l'isolation du caisson, une plaque métallique vient obturer six canaux : plusieurs éléments très irradiés (20 kg) fondent. Cet accident de niveau 4 est le plus grave survenu en France à nos jours. Pas de victime, pas de relâchement significatif, mais deux ans et demi-d'arrêt.

– **19 octobre 1989** : un incendie se déclare dans la salle des turbines de la centrale nucléaire de **Vandellòs** (Espagne) en provoquant indirectement une inondation et endommageant différents systèmes, notamment la réfrigération du réacteur. Cet incident est classé au niveau 3 de l'échelle INES.

– **15 février 2000** : le réacteur 2 de la centrale nucléaire d'Indian Point (Etats-Unis) libère une petite quantité de vapeur radioactive. C'est un dysfonctionnement du générateur de vapeur qui en est la cause et dont l'origine serait due à de la corrosion sous contrainte de l'alliage inconel 600.

– **16 juillet 2007** : incident sur la centrale nucléaire de Kashiwazaki-Kariwa (Japon) qui regroupe sept réacteurs nucléaires, et elle est la plus puissante au monde avec une puissance installée totale de 8 200 MW. 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. À la suite de ce séisme les réacteurs de la centrale ont été arrêtés le 18 juillet.