

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

Un sondage d'octobre 2012 réalisé par Harris Interactive¹ concernant la transition énergétique et le nucléaire donnait les résultats suivants en France :

Priorités de la politique énergétique : le coût – 50 % ; la sûreté des installations – 39 % ; l'environnement – 37 %.
La transition énergétique doit être entamée : à condition que cela n'impacte pas les prix – 65 % ; oui sans condition – 35 %.

Opinion sur le maintien du nucléaire en France : une bonne chose – 64 % ; une mauvaise chose – 34 %.

On voit que l'accident de Fukushima fit peu évoluer l'opinion en faveur du nucléaire en France, mais que la préoccupation de sûreté arrive en deuxième position après le coût de l'énergie. Dans le contexte du débat sur la transition énergétique, il est donc important de rappeler l'expérience que notre pays a tirée des trois accidents majeurs de réacteurs électrogènes : Three Mile Island, Tchernobyl, et Fukushima.

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

(voir [fiche GAENA N°45](#))

1.1. 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.

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.

1.2. 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. De façon plus générale, la gestion des indications en situation accidentelle a été revue pour prioriser les informations, afin que l'opérateur ne soit pas noyé sous une avalanche de signaux ('interface homme-machine', ergonomie de la salle de commande)

¹ www.harrisinteractive.fr/news/2012/Results_HIFR_Genshagen_08112012

- 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.
Des vérifications systématiques doivent être faites en fin de chantier, avant le redémarrage, selon des procédures d'assurance de la qualité.
- 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.
A 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 avec une 'approche par états' différente des procédures de conduite normale du réacteur.
- non prise en compte à la conception de la possibilité de formation d'hydrogène en cas de dénoyage du cœur.
A 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 radio-césiums, 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 REP²) 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.
- l'enceinte de confinement joue un rôle important.
A 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.

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).

A 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

(voir [fiche GAENA N°46](#))

Encore un accident qui se produit de nuit, sur un réacteur mis récemment en service (1983).

Le type de réacteur (RBMK) est trop éloigné de nos REP² 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.

² Réacteur à eau pressurisé, le type de réacteurs électrogènes le plus répandu dans le monde (60 %)

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

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 partagée³.

En France, la gestion médiatique de l'accident a été pitoyable : un nouveau gouvernement venait d'être nommé, et le Professeur Pellerin⁴, 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.

A la suite de l'accident, la notion de « culture de sûreté » a pris une valeur particulière, 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 TSN⁵ 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 HCTISN⁶.

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

(voir [fiche GAENA N°47](#))

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.

Rappelons que le tsunami, dans cette plaine fertile et très peuplée, a causé la mort ou la disparition de quelque 19 000 victimes⁷ 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 à 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 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).

³ Par exemple, l'INSAG-4 concerne la Culture de sûreté

⁴ Voir la fiche d'actualité N°2

⁵ Loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire

⁶ Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire

⁷ 15861 morts, 3018 disparus, 6107 blessés (http://wiki.answers.com/Q/How_many_people_died_during_the_tsunami_in_Japan_2011)

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.

Suite à l'accident de TMI, les REP² français ont tous été munis de recombineurs d'hydrogène. Cette mise à niveau 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 [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'extérieur⁸.

Sans tarder, des évaluations de résistance aux catastrophes naturelles ont été organisées en Europe par l'association ENSREG⁹. 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 HCTISN¹⁰. 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 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.

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, ceci 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 [1].

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 proposée et commence à déployer.

⁸ 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

⁹ European Nuclear Safety Regulators, à laquelle s'est jointe l'Ukraine

¹⁰ Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire

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 [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.

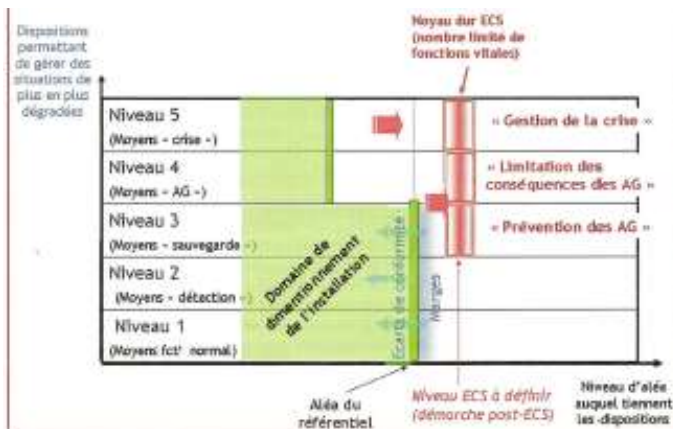


Fig. 1 - Amélioration de la prise en compte des agressions externes dans la démarche de défense en profondeur

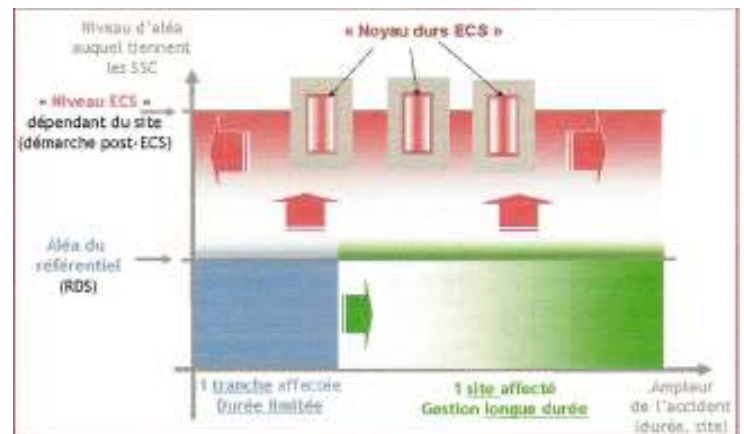


Fig. 2 - L'intégration des ECS dans l'approche de sûreté française

4. RÉFÉRENCES

[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

[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