

Three Mile Island : Un accident riche d'enseignements !

Alors que nous approchons du trentième anniversaire de l'accident survenu à la tranche 2 de la centrale américaine de Three Mile Island, il peut être intéressant de faire le bilan de cet événement qui a constitué un tournant majeur dans l'évolution de l'énergie nucléaire dans le monde.

Abusés par une instrumentation ambiguë, les opérateurs de TMI2 ont mal interprété ce qui se passait dans le réacteur et ont, deux heures durant, pris des mesures aggravantes qui ont transformé un incident banal en accident sérieux et conduit à la destruction du cœur du réacteur, dont un tiers a fondu.

Si la centrale – presque neuve - a dû être définitivement arrêtée, l'accident n'a pourtant causé aucune victime et n'a eu aucun impact significatif sur l'environnement, ce qui démontre spectaculairement la robustesse de la conception des réacteurs à eau ordinaire en matière de sûreté.

L'accident a été riche d'enseignements : importance de la défense en profondeur, importance du facteur humain, dispositifs d'aide à l'opérateur, hiérarchisation des alarmes, et rôle essentiel, en dernier ressort, de l'enclume de confinement, barrière ultime entre la radioactivité du cœur et le monde extérieur. Tous les réacteurs du monde ont profité des enseignements tirés de l'accident de TMI2. On a pu estimer que la prise en compte de ces leçons a réduit d'un facteur 10 le risque de fusion de cœur dans les réacteurs occidentaux « de deuxième génération ».

Le bâtiment réacteur a été complètement nettoyé, ce qui constitue également une « première » à valeur démonstrative.

La centrale de Three Mile Island

Three Mile Island est une île au milieu de la rivière Susquehanna, en Pennsylvanie, à 15 km d'Harrisburg, 60 000 habitants, la grande ville la plus proche et centre d'une région urbaine avoisinant les 500 000. La centrale nucléaire implantée sur cette île comportait deux tranches REP de 800 et 900 MWe, toutes deux de conception Babcock & Wilcox mais qui présentaient entre elles des différences sensibles, notamment au niveau de l'îlot conventionnel et de la salle de commande. Les deux seules différences significatives entre l'îlot nucléaire Babcock & Wilcox et l'îlot nucléaire Westinghouse des REP construits en France à cette époque sont le nombre de boucles primaires (2 pour B&W et 3 pour W) et le choix d'un générateur de vapeur à tubes droits à circulation simple au lieu de tubes en U à recirculation. En cas d'interruption de son alimentation en eau, un GV à tubes droits s'assèche en deux minutes alors que l'assèchement d'un GV à tubes en U prend dix minutes, mais cette différence n'a pas été importante dans le déroulement de l'accident. La tranche TMI1, toujours en fonctionnement en 2009, avait été mise en service en 1974 tandis que TMI2 avait été mise en service industriel le 30 décembre 1978 : l'inventaire en produits de fission à vie longue du cœur de TMI2 était donc encore assez faible à l'heure de l'accident.

Le déroulement de l'accident [1]

L'accident est survenu le 28 mars 1979, alors que TMI1 était en fin d'arrêt pour rechargement et que TMI2 fonctionnait à 97% de sa puissance nominale. A 4 heures du matin, une série de

petits incidents ont provoqué l'arrêt des pompes qui alimentent en eau les générateurs de vapeur. En soi, cette panne n'avait rien de catastrophique : elle entraîne automatiquement le déclenchement de la turbine, l'envoi de la vapeur directement au condenseur et le démarrage des pompes qui alimentent les GV en secours. Cette séquence automatique a parfaitement fonctionné jusque là. Il se trouve que les vannes d'isolement de l'alimentation de secours étaient en position fermées, par erreur de maintenance. Ce n'est qu'au bout de 8 minutes que les opérateurs s'en sont aperçu et ont rétabli l'alimentation du circuit secondaire, mais ce n'est qu'un à-côté de l'accident (sauf que cela a contribué à les perturber).

La baisse temporaire de refroidissement a provoqué (comme prévu) un pic de pression dans le circuit primaire et déclenché d'autres actions automatiques : ouverture de la vanne de décharge du pressuriseur pour faire baisser la pression et chute des barres d'arrêt du réacteur pour arrêter la réaction en chaîne et faire baisser la température. Jusqu'ici, pas de problème. La pression redevenue normale, la vanne du pressuriseur était censée se refermer et arrêter la fuite volontaire du circuit primaire. On sait que, du fait de la radioactivité des produits de fission, l'arrêt de la réaction en chaîne ne réduit pas à zéro le dégagement de chaleur : la puissance « résiduelle » tombe immédiatement à 7% de la puissance nominale, puis décroît rapidement – 1% au bout de deux heures – mais nécessite cependant de continuer à refroidir le cœur après arrêt, opération de routine.

C'est ici qu'intervient la défaillance matérielle : la vanne de décharge du pressuriseur reste coincée en position ouverte, et l'eau du circuit primaire a continué de s'échapper vers un réservoir de décharge situé à l'intérieur de l'enceinte de confinement du réacteur. Du coup, la pression a continué à baisser dans le circuit primaire et a atteint au bout de deux minutes le seuil de 110 bars qui déclenche le système d'injection de secours (IS), qui envoie de l'eau froide dans le circuit primaire. Ici encore, les automatismes ont fonctionné et le circuit IS a démarré comme prévu. ***Mais l'opérateur ne savait pas que la vanne de décharge était restée ouverte***, car il avait en salle de contrôle un voyant qui lui indiquait que l'ordre de fermeture avait été envoyé. N'ayant pas d'indicateur de position réelle, il a interprété le voyant comme signalant : « la vanne est refermée ».

En revanche, l'opérateur s'est focalisé sur un autre indicateur, le niveau de l'eau dans le pressuriseur. Il avait été formé pour s'assurer qu'il restait toujours en haut du pressuriseur un « matelas » de vapeur suffisant pour réguler la pression : si tout le circuit primaire était rempli d'eau liquide incompressible, tout transitoire entraînerait de brutales variations de pression qui risqueraient d'endommager le circuit et ses composants. Or la mesure du niveau dans le pressuriseur n'avait plus aucun sens dès que celui-ci fut rempli d'un mélange, d'une émulsion eau-vapeur sans séparation des deux phases. Persuadé que son circuit était en train de « devenir solide », ***l'opérateur a interrompu manuellement l'arrivée d'eau de secours*** : dès lors, le réacteur avait une brèche ouverte dans sa deuxième barrière, et ses systèmes de refroidissement de secours désarmés.

Passons rapidement sur les deux heures suivantes : au bout de 5 minutes, ébullition dans le circuit primaire, et les pompes font circuler un mélange eau-vapeur avec de plus en plus de vapeur. Au bout d'une heure, les pompes ont des difficultés, vibrations et cavitation et l'opérateur, toujours inconscient de la perte inexorable de son fluide primaire, les arrête successivement à 1h30 et 1h40, comptant sur la convection naturelle. En fait, les phases se séparent, la vapeur dans les parties hautes du circuit et l'eau liquide vers le bas, et ***le haut du cœur est découvert***. Mal refroidi par la vapeur, le combustible surchauffe, le zirconium de sa gaine dépasse 1500°C et réagit chimiquement avec l'eau pour former de l'oxyde de zirconium et de l'hydrogène (qui s'accumule en haut de la cuve), réaction exothermique qui accélère encore l'augmentation de température jusqu'à fusion de l'oxyde d'uranium des pastilles combustibles.

Depuis longtemps, toutes les alarmes de la salle de commande étaient au rouge – effet « arbre de Noël » - et ne servaient plus à rien.

Ce n'est que 3 heures 20 après le déclenchement de l'accident que l'opérateur isolera la fuite au pressuriseur et rétablira l'injection de secours, permettant de rétablir un certain refroidissement du cœur fortement endommagé. Vers 4 heures, le cœur est à peu près refroidi, mais le mal est fait

L'impact de l'accident et ses conséquences

Les dégâts internes ont été considérables : Le tiers du combustible a fondu, la moitié des produits de fission gazeux et volatils (krypton, xénon, iode et césium) est passée dans l'eau primaire dont la radioactivité atteint 800 000 curies par m³. Plus de 2000 m³ de cette eau radioactive se sont répandus dans l'enceinte par la brèche du circuit primaire et quelques bouffées de gaz rares se sont échappées dans l'atmosphère en début d'accident mais l'enceinte a été isolée et est restée étanche par la suite. La défaillance de la deuxième barrière a entraîné la perte de la première. La deuxième barrière a cependant confiné le cœur partiellement fondu et, heureusement, l'enceinte de confinement, troisième barrière entre la radioactivité et l'environnement, a tenu son rôle et toute la radioactivité est restée contenue à l'intérieur du bâtiment réacteur. Néanmoins...

L'accident de Three Mile Island a terrorisé l'Amérique. Walter Cronkite, « anchorman » de CBS, plus respecté que le Président lui-même, a persuadé les téléspectateurs que l'on venait de vivre l'accident le plus grave de l'histoire humaine. Pendant toute une semaine, on s'est demandé quel était le vrai degré de gravité de l'accident et s'il fallait procéder à une évacuation partielle ou totale des habitants du voisinage. Plus de 200 000 personnes ont fui la région. Il faut dire que les explications embrouillées de la NRC (au sujet notamment de la bulle d'hydrogène, prétendument capable de faire exploser la cuve du réacteur) n'ont rien fait pour rassurer. La centrale toute neuve a été rendue inutilisable et la compagnie Metropolitan Edison, décrédibilisée, a dû être reprise par sa maison mère GPU qui a assuré le nettoyage et le démantèlement.

Ce n'est pas l'accident de TMI2 qui a enrayé l'expansion du programme nucléaire américain, déjà stoppée par le premier choc pétrolier, mais il a durablement empêché une reprise qui se manifeste tout juste. C'est aussi TMI2 qui est directement responsable du résultat du referendum, organisé en Suède en 1980, qui stipulait la fermeture en 2010 du dernier réacteur suédois.

Et pourtant, cet accident n'a causé aucune victime (bien que la panique ait incité une cinquantaine de femmes du voisinage à avorter) et le seul relâchement de radioactivité dans l'environnement n'a consisté qu'en une émission de gaz rares sans activité biologique.

Les enseignements tirés

La maîtrise ultime des conséquences de l'accident a démontré la robustesse de la « défense en profondeur » dans son principe, mais TMI2 a révélé que des accidents plus graves que ceux pris en compte à la conception (rupture brutale d'une grosse tuyauterie primaire, par exemple) pouvaient survenir du fait de la conjonction de défaillances plus mineure et d'erreurs humaines. Le rôle de l'erreur de représentation des opérateurs qui se sont « trompés d'accident » pendant plusieurs heures a mis en exergue *l'importance du facteur humain* dans

la sûreté des installations complexes, nucléaires, aéronautiques ou autres. Voici quelques-unes des mesures prises en fonction des enseignements tirés de TMI-2 :

Un examen systématique des causes potentielles de brèche de la seconde barrière (circuit primaire) a été effectué, conduisant à son renforcement notamment au niveau des soupapes du pressuriseur.

Des dispositions de contrôle commande (capteurs de position) ont été ajoutées pour que les opérateurs disposent des indications de position, et non simplement de l'ordre qui leur était donné (ouverture ou fermeture). L'ambiguïté des indications a été éliminée.

Les procédures à suivre en cas de séquence accidentelle ont été repensées. Elles ne sont plus fondées sur la compréhension par l'opérateur de la séquence d'évènements qu'a subis le réacteur (procédures par évènements), mais par son état effectif (caractérisé par des paramètres physiques : puissance résiduelle ; inventaire en eau, etc.). Un élément clef des procédures par état a été l'adjonction dans tous les réacteurs d'un « niveau cuve », qui permet à l'opérateur (contrairement à sa situation à TMI) de savoir si le cœur est correctement couvert d'eau.

Des « procédures ultimes » ont été mises en place, pour traiter les situations potentielles de perte de systèmes redondants (ce qui a accru la diversification, et donc la fiabilité, des fonctions de sûreté) et pour protéger l'enclaustrage de confinement contre d'éventuelles surpressions.

Un panneau de sûreté a été intégré dans toutes les salles de commande, qui rassemble toutes les informations pertinentes à la sûreté, et guident l'opérateur dans la mise en œuvre des procédures accidentelles. En fait, la conception des salles de commande a été complètement repensée dans les modèles suivants (en France, le N4) pour en améliorer l'ergonomie et la convivialité.

L'utilisation de simulateurs pour la formation des opérateurs a été systématisée.

Après chaque incident, on analyse s'il ne pourrait pas être le précurseur d'un incident plus sérieux ou d'un accident.

Création aux Etats-Unis de l'INPO, institut de formation des opérateurs et au niveau mondial de WANO, association où les opérateurs du monde entier peuvent partager leur retour d'expérience.

L'homme a toujours un rôle-clé pour dénouer heureusement des situations complexes s'il a une formation suffisante, des informations fiables... et le temps de réfléchir avant de prendre des décisions non planifiées. En revanche, toute action de sécurité d'une urgence immédiate doit être automatisée et toute action intempestive doit être interdite par des verrouillages irréversibles pendant des délais suffisants.

En recalculant a posteriori les risques d'accident grave dans un REP, erreurs humaines comprises, avant l'accident de TMI-2, on les estime à 10^{-3} par an et par réacteur. En revanche, la prise en compte des leçons tirées de l'accident a permis, au prix de modifications mineures du système, de réduire ce risque d'un facteur 10 et les « procédures ultimes » d'en limiter les conséquences !

Une crise de communication

Sitôt l'accident connu, la centrale a été sous le feu des médias et a subi sans préparation une invasion de journalistes sans précédent dans cette industrie. Des échanges téléphoniques entre la NRC et la centrale ont été rendus publics alors même que les experts de part et d'autre « pataugeaient » encore. Les informations contradictoires émanant de la presse, du bureau du

Gouverneur et de la NRC ont stressé le public. On a appris alors qu'il ne suffisait pas de gérer l'accident « techniquement », mais qu'il fallait être prêt à en gérer la communication.

Et dans les leçons moins souvent citées de TMI2, il faudrait ajouter les cellules de crise, les exercices de crise (avec journalistes, vrais ou simulés) et le début de la réflexion qui devait aboutir en 1987 à l'échelle médiatique de gravité, devenue échelle INES en 1991.

Pour en savoir plus

L'accident de TMI est l'un des plus documentés du monde. Nous conseillons surtout l'ouvrage suivant, dont cette fiche est fortement inspirée :

[1] La sûreté nucléaire en France et dans le monde.
J Bourgeois, P Tanguy, F Cogné et J Petit. Polytechnica 1996

Et, pour les anglophones, le fameux Rapport Kemeny :

[2] **President's Commission: The Need For Change: The Legacy Of TMI** Author: Kemeny, John G., Chairman <http://www.threemileisland.org/downloads/188.pdf>

