

Annexe 5

Amélioration de la sûreté des centrales nucléaires EDF depuis leur mise en service

Yves Bamberger

Introduction

Depuis leur mise en service les centrales du parc nucléaire d'EDF ont été et sont l'objet de nombreuses évolutions et modifications destinées à améliorer leur niveau de sûreté. Ces évolutions sont apportées selon un principe d'amélioration continue du niveau de sûreté des installations reposant d'une part, sur le retour d'expérience des événements mondiaux et nationaux porteurs d'enseignements et d'autre part sur les réexamens périodiques de sûreté.

Les accidents de Three Mile Island aux USA en 1979 et de Tchernobyl en Union Soviétique en 1986, sont les événements les plus importants avant l'accident de Fukushima en mars 2011, à avoir conduit les exploitants à travers le monde et notamment EDF à mettre en œuvre des programmes d'actions majeurs d'amélioration de la sûreté des réacteurs. À ce titre, les enseignements qui seront tirés de l'accident de Fukushima devraient avoir un impact industriel aussi important que TMI et Tchernobyl.

D'autres événements moins connus du public mais exploités dans le cadre du retour d'expérience international ou du parc français ont aussi conduit EDF à réévaluer ses référentiels de sûreté et à mettre en œuvre des modifications adaptées.

D'autre part, EDF procède, selon les termes de la loi TSN de juin 2006 et à l'occasion des visites décennales, à un réexamen périodique de la sûreté de ses tranches en prenant en compte la meilleure pratique internationale. L'objectif de ces réexamens est d'établir la conformité de l'installation par rapport aux référentiels existants (RFS : Règles Fondamentales de Sûreté de l'ASN) mais aussi d'améliorer leur niveau de sûreté en prenant en compte l'expérience acquise au cours de l'exploitation ainsi que l'évolution des connaissances et les règles applicables aux installations similaires.

Le texte qui suit présente sur le plan des installations, de la culture de sûreté et de l'organisation :

1. Les leçons tirées des accidents de Three Mile Island et de Tchernobyl
2. Les leçons tirées des autres grands événements en France et à l'international (sans être exhaustif)
3. Les principes des réexamens de sûreté
4. Les grandes améliorations de sûreté apportées par l'EPR

1. Leçons tirées des accidents de Three Mile Island et de Tchernobyl

1.1 Three Mile Island

L'accident de Three Mile Island a été porteur de très nombreux enseignements. Un transitoire de perte du système d'eau alimentaire, pris en compte à la conception, a entraîné une petite brèche primaire qui, mal diagnostiquée, a abouti à la fusion du cœur en moins de trois heures et à l'arrêt du nucléaire aux États Unis pendant trente ans. Cet accident a conduit à travers le monde nucléaire à de nombreuses actions d'amélioration de la sûreté des tranches. En France,

EDF a mis en œuvre un plan d'action dit post TMI contenant 46 actions. Ces actions ont porté essentiellement sur :

- la défense en profondeur – c'est-à-dire avec plusieurs barrières successives – des tranches vis-à-vis de situations non prises en compte à la conception avec un certain nombre de modifications matérielles ;
- des améliorations technologiques telles que celles apportées aux soupapes de protection du pressuriseur ;
- le renforcement de l'organisation de crise ;
- la prise en compte plus complète du facteur humain ;
- et enfin une meilleure utilisation du retour d'expérience.

Introduction de l'approche hors dimensionnement et accident grave

L'accident de type TMI, non pris en compte initialement à la conception, a fait prendre conscience de la nécessité de mettre en place des dispositifs plus efficaces pour la gestion de situations non prises en compte à la conception (« hors dimensionnement » et « ultimes ») et pouvant mener jusqu'à un début de dégradation du cœur. EDF a développé pour pallier au mieux à ces situations des procédures spécifiques : les « procédures H » ou « procédures hors dimensionnement » et les « procédures U » ou « procédures ultimes ».

La mise en œuvre de ces procédures a été accompagnée de modifications matérielles avec la mise en place de systèmes et matériels dédiés pour répondre à ces situations de cumuls de défaillances matérielles et/ou humaines :

- un turboalternateur de secours (LLS) a été installé sur l'ensemble des tranches pour permettre en cas de situation de perte totale des alimentations électriques secourues (H3) le maintien de l'injection aux joints des pompes primaires et l'alimentation de l'instrumentation et des commandes nécessaires à la conduite ;
- un filtre à sable a été installé sur l'ensemble des tranches permettant en cas de situation d'accident grave avec perte de la fonction aspersion enceinte (U5) de détendre l'atmosphère de l'enceinte en cas de pression interne trop importante tout en filtrant les rejets à l'atmosphère.

Modification de la décharge du pressuriseur

L'accident de TMI a mis en évidence l'importance des soupapes de sûreté et de décharge du pressuriseur pour la sûreté des PWR.

Il a conduit les Autorités de Sûreté américaines et françaises à recommander de vérifier par essais l'opérabilité de ces soupapes. Aux États-Unis, un programme important d'essais en vraie grandeur a été conduit par l'EPRI¹. En France, EDF a mené des essais de validation sur boucle et sur site des soupapes et entrepris, avec Framatome, une analyse approfondie des incidents ayant affecté ces organes.

Les résultats de ces investigations ont conduit en France au développement d'un nouveau système de protection contre les surpressions plus fiable que le système d'origine et répondant à des exigences de sûreté accrues, en particulier en termes de qualification pour un fonctionnement en situation accidentelle.

L'ensemble des tranches en exploitation en France a été doté de ce système de protection amélioré

¹ L'Electric Power Research Institute est un organisme de recherche coopératif des électriciens américains, qui coopèrent d'ailleurs depuis longtemps avec EDF R et D notamment sur le nucléaire.

Renforcement de l'organisation de crise

L'accident de TMI a conduit à l'établissement des premiers Plans d'Urgence qui ont été mis en œuvre au début des années 1980 (avec le premier exercice sur la centrale de Fessenheim en 1980). Ces Plans d'Urgence prévoient dans le cadre de l'Organisation Nationale de Crise (ONC) :

- un support technique des équipes de conduite par des équipes de concepteurs ;
- des outils pour mieux évaluer la situation, les rejets, les délais avant découverte du cœur, avant fusion du cœur ;
- des guides pour identifier des lignages permettant de substituer des fonctions d'injection défaillantes.

De plus, des exercices d'entraînement des équipes de crise sont réalisés sur des scénarios préparés et joués sur simulateur et un système de transmission d'informations en situation de crise permet aux équipes de crise d'avoir accès à tous les paramètres importants et à leur évolution en temps réel.

Il a été mis en place des dispositions réflexes dans les Plans Particuliers d'Intervention au début des années 2000 pour les situations susceptibles de conduire à des rejets radioactifs à court terme.

Toutes ces dispositions concourent à une amélioration de la capacité à gérer des situations complexes, en minimisant le risque de fusion du cœur et en maîtrisant mieux les conséquences dans le cas très peu probable d'une fusion du cœur.

Renforcement continu de la conduite et de la prise en compte du facteur humain

Ergonomie et Salle de Commande

Les constatations faites à la centrale de TMI, essentielles pour la conception des salles de conduite des réacteurs, ont conduit à la réalisation de modifications des tranches en fonctionnement. Une meilleure fiabilité des informations a été recherchée en remplaçant la majorité des indicateurs d'ordre par des indicateurs d'état.

Certaines gammes de mesure ont été élargies. Des informations nouvelles ont été ajoutées sur l'état du cœur (ce qui avait manqué à TMI), comme l'indication de la marge à la saturation (écart entre la température effective du fluide primaire et la température d'ébullition à la pression du circuit primaire) et la mesure du niveau d'eau dans la cuve. De plus, les alarmes ont été hiérarchisées et les informations essentielles regroupées sur un panneau de sûreté.

Dans le cadre de l'amélioration en continue de la sûreté, l'exploitant a continué de travailler sur la prise en compte du facteur humain en salle de commande.

Procédures et instrumentation

À l'époque de TMI, les documents opérationnels pour faire face à un accident étaient basés sur une approche événementielle. Celle-ci consiste à déterminer les actions à effectuer en fonction du diagnostic initial de l'accident. L'opérateur est ainsi placé sur des rails depuis le diagnostic initial jusqu'à la fin prédéterminée de la conduite pour revenir en situation normale.

Comme l'a montré l'accident de TMI, cette approche ne tient pas compte de situations imprévues ou plus complexes résultant d'aléas matériels ou d'erreurs humaines pouvant survenir au cours de la conduite.

Pour répondre à ce défi, EDF et FRAMATOME à l'époque ont développé une approche qui rend la conduite indépendante des causes initiales de l'accident : l'approche par états. Elle se base sur une connaissance fine du comportement thermo-hydraulique et neutronique de la chaudière durant un accident. À partir d'un nombre limité de paramètres physiques, elle permet de déterminer les actions les plus pertinentes pour stabiliser ou améliorer l'état de l'installation. Un nouveau diagnostic peut alors être réalisé. Le processus est ainsi périodique.



Salle de commande des tranches N4.

L'approche par états inclut aussi la surveillance de l'efficacité des équipements nécessaires à la réalisation de ces actions, pour proposer des substitutions si nécessaire.

Ainsi, en cas d'aléa, l'opérateur est amené à utiliser un moyen en substitution ou à se réorienter si l'état thermo-hydraulique qu'il observe le nécessite. Le processus est auto adaptatif.

Cette approche nécessite néanmoins d'appréhender les paramètres physiques avec une confiance certaine. C'est la raison pour laquelle une instrumentation dédiée a été installée et que des efforts ont été réalisés pour fiabiliser l'instrumentation existante.

Ainsi, pour évaluer l'inventaire en eau dans la cuve, les tranches françaises ont été équipées d'une mesure de « niveau » d'eau dans la cuve qui mesure le « taux de plein » du liquide qui entoure le cœur. Ce paramètre, associé à la marge à la saturation, permet d'évaluer la capacité du cœur à être refroidi durablement.

La documentation de conduite a fait l'objet également d'études approfondies pour prendre en compte l'utilisateur. L'approche de la conduite n'est pas seulement technique, mais elle est aussi et surtout humaine. L'accident de TMI a montré l'importance de la compréhension par l'équipe des différents phénomènes qui apparaissent au cours d'un accident. La connaissance nécessaire à cette compréhension doit s'acquérir avant l'accident. De même, il est essentiel que les utilisateurs aient confiance dans la conduite qui leur est prescrite. Cette confiance s'acquiert, elle aussi, avant événement.

Une fois la compréhension et la confiance dans la documentation acquise, il est important que la documentation utilisée ne génère pas d'erreurs et que les opérateurs réalisent les actions prescrites.

Là encore, des spécialistes en sciences humaines et en ergonomie ont été mis à contribution afin de proposer aux utilisateurs des documents facilitant leur application en situation de stress. L'ergonomie de ces documents a donc été étudiée, la répartition des activités pensées pour perturber le moins possible le fonctionnement naturel de l'équipe ; la communication a été formalisée.

La conception des documents ne suffit pas à éviter les erreurs, il est encore nécessaire de travailler sur l'action elle-même. Comment éviter le mauvais geste ? Des techniques de fiabilisation des activités sont mises en œuvre pour que les opérateurs n'agissent pas par réflexe ou routine, mais prennent conscience de l'action qu'ils vont réaliser.

En complément, les acteurs mettent en œuvre lors de la réalisation de leurs actions des pratiques de fiabilisation, comme la communication sécurisée entre les acteurs, le contrôle croisé et l'auto contrôle avant l'exécution des actions.

TMI a montré aussi que l'opérateur ou l'équipe pouvait se focaliser sur une activité, la résolution d'un problème ou une mauvaise représentation : c'est la raison pour laquelle plusieurs lignes de défenses ont été mises en place sur le plan organisationnel. Tout d'abord, le superviseur qui coordonne et contrôle les activités des deux opérateurs dispose des objectifs de la conduite à mener et des principaux points clefs à vérifier.

Ensuite, l'ingénieur sûreté qui vérifie l'état physique de l'installation, indépendamment de la conduite en cours.

Enfin, si la situation le nécessite, des équipes d'appui locales et nationales sont mobilisées pour apporter leur concours notamment sur les aspects prospectifs et la protection des populations, dans le cadre des plans d'urgence.

Formation du personnel

TMI a montré qu'une erreur de représentation, d'interprétation des phénomènes physiques pouvait conduire l'équipe à arrêter un système de sauvegarde. Des efforts importants sont donc menés pour que tous les acteurs concernés aient une bonne connaissance des phénomènes physiques qui peuvent apparaître lors d'un accident.

La gestion d'un incident ou d'un accident n'est pas, et fort heureusement, une pratique courante d'exploitation. C'est pourquoi des passages réguliers sur simulateurs sont organisés pour entraîner les équipes à la gestion de ces situations (3 semaines par an). Le contenu de ces semaines est élaboré à la fois :

- nationalement sur la base du REX et d'un programme quadriennal qui permet de balayer toutes les familles de transitoires et d'accidents ;
- localement sur la base du REX du site ;
- par l'équipe elle-même qui souhaite travailler des points techniques particuliers.

Pour garantir un tel volume de formation, EDF a construit un centre de formation par site, avec une équipe d'instructeurs dédiée et les moyens pédagogiques associés, dont un simulateur pleine échelle.

Renforcement de l'utilisation du retour d'expérience

L'accident de TMI avait été précédé de plusieurs incidents précurseurs, dont le plus important était survenu dans le réacteur de la centrale nucléaire américaine de Davis Besse (Ohio) en 1977 : lors de cet incident survenu environ un an et demi avant TMI, les opérateurs se trompèrent sur l'interprétation du niveau pressuriseur. Le rapport rédigé suite à cet événement stipulait clairement que dans certaines circonstances, le niveau du pressuriseur perdait toute signification. Si les exploitants (opérateurs, managers, formateurs et

concepteurs) de TMI avaient lu ce rapport avant le 28 avril 1979 et en avaient tenu compte en intégrant ce REX dans leurs consignes d'exploitation, l'accident de TMI ne se serait probablement pas produit.

Ainsi, ces incidents n'avaient attiré l'attention ni des exploitants d'installations nucléaires, ni de l'autorité de sûreté, et les procédures accidentelles et la formation du personnel n'avaient pas été améliorées. Les autres centrales n'en avaient pas été informées.

L'accident de TMI a conduit à reconsidérer cette situation et à mettre en place une organisation de REX permettant de détecter les précurseurs d'incidents ou d'accidents.

Cette organisation s'appuie sur :

- une détection des événements encadrée par des critères qui ont été précisés compte tenu de l'expérience pour mieux détecter les événements à composante facteurs humains (FH). Ces événements sont également déclarés à l'Autorité de sûreté nucléaire ;
- une méthode d'analyse rigoureuse permettant d'identifier les causes profondes des événements et d'évaluer leurs conséquences potentielles ;
- une hiérarchisation des événements afin de s'assurer que les mesures correctives des événements associés à une probabilité de fusion du cœur plus élevée sont adaptées ;
- des dispositifs d'échange d'information internationaux sur les événements et les enseignements à en tirer à travers l'AIEA, mais aussi l'AEN/OCDE pour les pouvoirs publics et WANO pour les exploitants.

1.2. Tchernobyl

L'accident de Tchernobyl, tout comme l'accident de Three Mile Island, a été porteur de très nombreux enseignements. Au cours d'un essai à bas régime, le réacteur de type RBMK a été l'objet d'une excursion de puissance qui a atteint en quelques secondes de l'ordre de 100 fois sa valeur nominale ; le fluide caloporteur (de l'eau légère) ne suffisant plus à évacuer cette énorme quantité de chaleur se vaporisait en une fraction de seconde conduisant à une explosion de vapeur.

Cet accident qui est le plus grave de l'histoire du nucléaire civil se distingue de celui de TMI par les conséquences sanitaires qui s'en sont suivies et par la mise en évidence de faiblesses de conception de ce type de réacteur. Les causes de l'explosion ont été des caractéristiques de conception insuffisantes pour assurer la sûreté du réacteur dans ses différents états et d'autre part une série d'erreurs humaines et de violations des consignes, avec à l'origine un défaut de management. À l'évidence le personnel, insuffisamment formé, n'avait pas conscience du caractère dangereux de ses actions. De plus, les consignes d'exploitation -que ce soit les consignes permanentes ou les consignes spécifiques de l'essai à conduire- étaient incomplètes et imprécises.

L'accident de Tchernobyl a conduit en France l'Autorité de sûreté et EDF à entreprendre des actions d'une part pour mieux appréhender les accidents plausibles de criticité prompte et à mettre en œuvre des parades adaptées, et d'autre part pour mieux évaluer le mode de transport des produits de fission et leur dissémination dans les chaînes alimentaires.

Au-delà de ces actions techniques, l'accident de Tchernobyl a été aussi et surtout à l'origine du développement de la culture de sûreté et le point de départ des réflexions sur la conception des futurs réacteurs dits de Génération 3 et aux exigences de sûreté à leur appliquer (voir § 5 « L'EPR : des améliorations de sûreté à la conception »)

Prévention des risques de criticité

À la lumière de l'accident de Tchernobyl, les scénarios conduisant à des risques de criticité ont été réexaminés sous l'angle théorique mais aussi à la lumière du retour d'expérience.

EDF a procédé à des analyses approfondies des accidents de réactivité (accidents d'éjection de grappe, transitoires de dilution...) et a renforcé les lignes de défense en particulier vis à vis des risques de dilution hétérogène (l'introduction d'eau non borée et/ou froide dans le circuit primaire pouvant conduire à un retour en criticité) avec des dispositions matérielles (protection anti-dilution après un fonctionnement en thermosiphon) et des dispositions d'exploitation.

Des actions de R&D ont été menées à l'aide de maquettes pour évaluer les tailles des « bouchons d'eau claire » (non borée) qui injectées dans le cœur conduiraient à un retour en criticité.

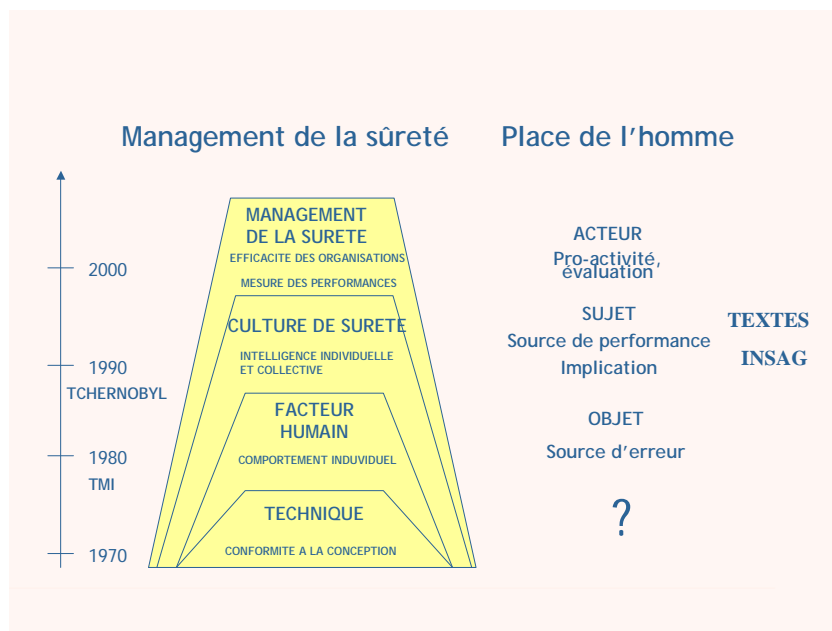
Management de la sûreté

L'accident de TMI avait déjà mis en lumière l'importance du rôle de l'homme dans la gestion des situations accidentelles, et il avait été décidé dans le début des années 1980, en France, d'appliquer le principe de défense en profondeur aux aspects humains par la mise en place d'un ingénieur sûreté chargé d'assurer une forme de « redondance humaine », en situation accidentelle, des opérateurs, comme on l'a dit précédemment.

Après la mise en place des Ingénieurs Sûreté, l'organisation des équipes de conduite a été encore améliorée dans les années 1990 par la mise en place d'un Chef d'Exploitation, aux compétences renforcées, responsable de la sûreté en temps réel. Plus globalement, le principe de vérification indépendante de la sûreté (filière indépendante de sûreté) a été étendu pour couvrir les différents niveaux de l'entreprise du terrain à la direction générale.

Suite à l'accident de Tchernobyl, la « culture sûreté » s'est développée dans les organisations : pour qu'un bon niveau de sûreté soit atteint, les individus et les dirigeants quelque soit leur niveau doivent s'engager. Les individus, en adoptant des attitudes interrogatives, des démarches rigoureuses et prudentes, et en communiquant de manière adaptée. Les dirigeants en créant toutes les conditions d'une « bonne sûreté : politique, responsabilités claires, formation du personnel, contrôle... L'INSAG 13 décrit les conditions à remplir par les systèmes de management pour encourager une solide culture sûreté, pour que chacun soit acteur de la sûreté, à son niveau et dans l'exercice de son métier et pour obtenir de bons résultats de sûreté.

Management de la sûreté – INSAG 13



2. Leçons des autres grands événements en France et à l'international

2.1. En France

3.1.1 L'inondation au Blayais

L'inondation du CNPE de Blayais suite à la tempête du 27 décembre 1999 a mis en évidence la non prise en compte de certains phénomènes naturels, et l'insuffisance de la réglementation associée (RFS I.2.e datant de 1984). Cet événement a affecté l'ensemble du site. EDF en a tiré tous les enseignements.

La méthodologie de conception des protections des sites a été réévaluée et validée par l'ASN (GP 2001-2007) avec la prise en compte des phénomènes suivants :

- crue fluviale ; crue marine : marée + surcote marine + houle ; crue d'estuaire ; influence du vent (clapot) ;
- rupture de barrage en amont d'un site fluvial ;
- tsunami ;
- dégradation d'un ouvrage de canalisation des eaux (digues, talus) ;
- pluies brèves et intenses, ou pluies régulières et continues ; remontée de la nappe phréatique ;
- rupture de circuits et composants sur site (réservoirs, bassins, circuits d'eau).

EDF a vérifié la résistance à ces phénomènes de ses 19 sites.

Pour un certain nombre de sites, des actions complémentaires de conception et d'exploitation ont été définies et réalisées site par site principalement :

- rehaussement et/ou installation de digues et levées de terre ;
- mise en place de moyens mobiles (batardeaux, murets mobiles, blocs de béton, etc.) ;
- instauration d'une « protection volumétrique » : les locaux abritant les matériels IPS (Importants Pour la Sûreté) sont rendus étanches, avec prise en compte des possibles contournements de cette protection,
- installation de murets fixes sur la plateforme du site,
- installation de systèmes de détection et d'alerte,

- mise en œuvre de procédures de veille, d'alerte et de gestion d'une inondation

Cas particulier des tsunamis

Le phénomène de tsunami est bien pris en compte dans la méthodologie (déjà dans la RFS)

L'analyse identifie deux types de tsunami auxquels les côtes de l'Atlantique, de la Manche et de la Mer du Nord pourraient être exposées: les tsunamis sismiques et ceux provoqués par des glissements de terrains.

Le risque associé aux sources sismiques est écarté sur la base de la faible activité sismique des zones proches du littoral français.

Pour ce qui concerne les tsunamis engendrés par des glissements de terrains, leur amplitude « possible » a été considérée comme inférieure à la conjonction des aléas « surcote marine millénaire » et « houle centennale » pour laquelle les protections sont vérifiées.

L'analyse de l'IRSN a identifié les effets du tsunami généré par le séisme de Lisbonne de 1755, avec des témoignages montrant une surélévation associée de 2 à 3 m pour les côtes sud-ouest de l'Angleterre. A titre de comparaison, le cumul de la surcote marine et de la houle prises en compte à Blayais est de l'ordre de 3 à 4 m.

Dans le projet de Guide ASN, il est indiqué : « ... le risque de tsunami est a priori couvert par les situations de niveau marin et de vagues de référence ».

2.1.2. La canicule de 2003

L'épisode caniculaire de l'été 2003 a constitué un événement climatique majeur, avec des dépassements significatifs des températures prises en compte à la conception:

- de plus de 3,5 °C pour les températures d'eau, dans le cas des sites en bord de Loire (32,5 °C mesurés sur un site) ;
- de plus de 10 °C pour les températures d'air, dans le cas des sites de la vallée du Rhône (42,5 °C mesurés sur un site).

Malgré ces dépassements, aucune tranche nucléaire n'a franchi une limite de sûreté du fait des conditions climatiques.

À court terme EDF a pris des dispositions pour renforcer la robustesse des installations lors des étés suivants (moyens mobiles, location de groupes froids, procédures particulières d'exploitation, système de veille, d'alerte et de mobilisation...)

À plus long terme, un nouveau référentiel de sûreté a été établi. Les températures ainsi réévaluées sont notablement supérieures à celles observées en 2003. Par exemple :

- 37 °C maximum pour la température de la Loire, (32,5 °C observé en 2003) ;
- 46 °C maximum pour la température de l'air en vallée du Rhône, (42,5 °C observé en 2003).

Travaux associés

Des travaux ont été réalisés rapidement sur les sites et les systèmes disposant de moins de marge, en mobilisant les capacités industrielles (amélioration de la robustesse):

- « dopage » des pompes de refroidissement des auxiliaires de sauvegarde de Chinon en 2007 et Blayais en 2010 ;
- ajout et remplacement de plaques sur les échangeurs des circuits de refroidissement à Chinon, Dampierre, St Laurent et Chooz de 2007 à 2009 ;
- 1^{er} remplacement des groupes frigorifiques (production d'eau glacée) à Chinon en 2010 ;
- amélioration de la tenue de certains matériels (graissage pompes de charge RCV et moteurs des pompes de refroidissement RRI 900) ;
- dispositions de conduite ...

Les principales modifications en cours sur l'ensemble des tranches du Parc EDF sont les suivantes :

- Climatisation renforcée de locaux (électriques, diesels, instrumentation...);
- remplacement et augmentation de puissance de groupes frigorifiques ;
- Renforcement, secours électrique et classement sismique de matériels ;
- Référentiel documentaire associé (règles générales d'exploitation...).

Depuis l'épisode caniculaire de 2003, EDF met en place chaque été un plan d'action pour renforcer la robustesse des tranches nucléaires et assurer la sécurité du système électrique vis-à-vis du risque de canicule.

Les dispositions prises dès l'été 2004 sont les suivantes :

- installation de moyens mobiles de réfrigération pour refroidir des locaux sensibles ;
- négociation de contrats d'effacement avec les « gros consommateurs » ;
- contractualisation d'achat d'électricité anticipé avant chaque été ;
- consolidation des conventions et coordination des soutiens de débit avec les gestionnaires fluviaux ;
- maintien en production des réacteurs situés en bord de mer, moins impactés par la canicule ;
- prise en compte dans les arrêtés de rejet de situation exceptionnelle mettant en cause la sûreté du réseau.

Un événement comparable à celui de l'été 2003 devrait rester un événement très exceptionnel au mois jusqu'en 2050 selon les scénarios d'évolution climatique de Météo France. En tout état de cause, compte tenu des dispositions prises, les tranches nucléaires sont robustes pour faire face à un épisode caniculaire de type de l'été 2003.

2.1.3 *Autres événements en France*

De manière générale la totalité des événements significatifs pour la sûreté et classés suivant l'échelle INES font l'objet de déclaration à l'Autorité de sûreté. Ces événements font l'objet d'analyse afin de les caractériser. Des mesures palliatives sont mises en œuvre sans délai si nécessaire pour permettre de poursuivre l'exploitation des tranches en toute sûreté. Puis, EDF sur la base du retour d'expérience de ces événements propose à l'Autorité de sûreté les améliorations de sûreté qu'il juge nécessaire avec un déploiement des modifications associées à l'occasion des réexamens périodiques ou de manière anticipée en fonction des enjeux de sûreté.

Un certain nombre d'incidents, sans commune mesure avec les accidents de TMI et de Tchernobyl, ont été porteurs d'enseignements vis-à-vis de la conception ou de l'exploitation des réacteurs EDF. Quelques événements illustratifs des principales problématiques des vingt dernières années et ayant conduit à des améliorations de sûreté des tranches du parc EDF sont à mentionner :

1. La dégradation lente des niveaux tensions des alimentations en courant continu à Bugey en 1984. Cet incident a conduit à étendre les analyses de sûreté au-delà du domaine des accidents neutroniques et thermo-hydrauliques et à considérer les pertes des sources électriques internes à l'installation.
2. La perte du système de refroidissement à l'arrêt du réacteur (RRA) par vortex en plage très basse de fonctionnement à Bugey en 1984.
EDF, suite à cet événement illustratif des risques en état d'arrêt, a pris un certain nombre de mesures :
 - diminution du nombre de passages en plage très basse de fonctionnement ;
 - fiabilisation des niveaux primaires (mise en place de niveaux à Ultra Sons) ;
 - mise en place d'un appoint automatique en cas de détection de VORTEX.
3. La fuite sur le circuit du refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) à Civaux en 1998. Cet incident matériel (fissure traversante due à la fatigue thermique) rappelle la nécessité de la

maîtrise des conditions d'exploitation pour la conception de l'installation. EDF a mis en œuvre un important programme de contrôle et de remplacement ainsi que des mesures d'exploitation pour limiter les temps d'utilisation de ce circuit dans des conditions pénalisantes.

4. La constitution d'un « massif critique » suite à une erreur de chargement du combustible à Dampierre en 2001. Cet incident qui concrétise le risque de criticité a conduit à modifier les procédures de chargement.
5. La perte de la source froide de Cruas en décembre 2009. Cet incident qui a affecté plusieurs tranches d'un même site a révélé une veille environnementale insuffisante, un défaut dans l'élaboration de l'alarme de perte du système de refroidissement, une rédaction de consigne inadaptée.
EDF, suite à cet incident, a conduit une revue de robustesse de l'ensemble des sources froides et a décidé de renforcer la surveillance opérationnelle et programmé des travaux sur les prises d'eau de certains sites ainsi qu'une révision de procédures.

2.2. À l'international

Les événements du retour d'expérience international sont exploités par EDF et les programmes d'actions adéquates et d'améliorations lorsque nécessaires sont mis en œuvre sur les tranches du parc nucléaire.

Sont mentionnés ci-après des événements qui ont conduit à des modifications matérielles importantes (incident de Barseback en Suède en 1992) ou à des analyses approfondies sur la robustesse des tranches EDF vis-à-vis de tels événements (incident de Forsmark en Suède en 2006 et de Kashiwasaki Kariwa au Japon en 2007).

L'incident survenu sur un réacteur de la tranche de Barseback lors de l'ouverture intempestive d'une soupape vapeur a eu pour conséquence la production de débris importants de calorifuge (créés par le jet de vapeur) qui ont colmaté l'aspiration du circuit d'aspersion de l'enceinte du réacteur (drywell). Cet incident a mis en évidence le risque de colmatage, dans des circonstances analogues, des filtres des puisards des réacteurs à eau pressurisée.

EDF a entrepris, sur la base d'analyses et d'essais, un programme important de modifications des filtres des puisards de l'ensemble des tranches de son parc consistant à augmenter leur surface de filtration d'un facteur de l'ordre de 10. De plus, un programme est toujours en cours pour évaluer les éventuels effets chimiques pouvant affecter le transport des débris et le colmatage des filtres ainsi que les effets aval liés au colmatage éventuel par des microfibrilles des organes des circuits de sauvegarde ou des assemblages combustible.

L'incident de Forsmark suite à un court circuit réseau et à la défaillance d'automatismes s'est traduit par une surtension dans les circuits d'alimentation électrique des automates de protection de la tranche.

Cet incident a été analysé par l'ensemble de la communauté internationale et si EDF a pu démontrer que le même scénario était improbable en France, les risques de surtension n'étaient pas exclus et a entrepris des modifications pour recalibrer les seuils de protection des systèmes d'alimentation des automates de protection.

De même le séisme ayant affecté la centrale de Kashiwasaki-Kariwa a été analysé et EDF a réalisé des modifications sur ses tranches pour renforcer la tenue au séisme de certains circuits dont notamment les circuits incendie.

3. Les réévaluations périodiques de sûreté

Ce sujet important se trouve dans une annexe rédigée par l'ASN.

4. L'EPR : des améliorations de sûreté à la conception

Le premier accident grave survenant sur un réacteur de la filière PWR fut celui de Three Mile Island en 1979. Le retour d'expérience sur nos réacteurs qui utilisaient le même type de composant fautif responsable de l'accident conduisit notamment à remplacer les soupapes de décharge des pressuriseurs.

La catastrophe de Tchernobyl, bien que survenant sur un réacteur d'une famille totalement différente (RBMK), a provoqué, en plus des effets de santé sur les populations, un violent choc émotionnel. Les autorités de sûreté ont imposé à la suite de cet accident, pour critère de sûreté « enveloppe » d'un futur réacteur de génération 3, qu'un accident ne conduirait, en aucun cas, à une évacuation définitive des populations environnantes. Les diverses dispositions adoptées dans la conception de l'EPR sont destinées à converger vers cet objectif.

L'EPR (European Pressurized Reactor) est un réacteur « évolutionnaire » par rapport aux réacteurs du parc nucléaire français actuel. C'est à dire que le réacteur EPR s'inscrit dans la continuité des réacteurs à eau sous pression (REP) actuels, tout en présentant un certain nombre d'améliorations en termes de sûreté, de rendement, de radioprotection et d'environnement.

La continuité technologique représente un atout pour l'exploitant et est considérée comme tel par l'Autorité de sûreté. L'exploitant peut ainsi s'appuyer sur plus de 20 ans d'expérience dans l'exploitation des 58 réacteurs français actuels, pour préparer, puis exploiter, ce nouveau modèle. De plus, les réacteurs à eau sous pression sont les réacteurs les plus utilisés dans le monde, ce qui permet de disposer en continu, d'un vaste retour d'expérience au niveau international.

C'est ainsi que les concepteurs (les industriels Areva et Siemens, associés aux électriciens et exploitants nucléaires français et allemands) avaient d'emblée conçu le projet de nouveau réacteur, en s'appuyant sur les dernières technologies allemandes (concept Konvoy) et françaises (concept de réacteur le plus récent dit N4), mais en allant bien au-delà.

En 1993, les Autorités de sûreté nucléaire allemande et française ont fixé conjointement, pour le projet de réacteur EPR, des objectifs de sûreté renforcés, dans le cadre d'une conception évolutionnaire tirant bénéfice du retour d'expérience de l'ensemble des réacteurs en exploitation :

- le nombre des incidents d'exploitation doit diminuer ;
- le risque de fusion du cœur doit être réduit ;
- les rejets radioactifs pouvant résulter de tous les accidents concevables doivent être minimisés, en particulier, ceux qui conduiraient à des rejets précoces doivent être « pratiquement éliminés ».

Diminuer le nombre d'incidents

La sûreté est une démarche d'amélioration permanente et l'EPR intègre de nouvelles dispositions en vue de réduire le risque d'accident. Cette recherche concerne aussi la diminution du nombre d'incidents, notamment par la conception et par l'amélioration de la fiabilité des systèmes et par une meilleure prise en compte des aspects liés aux facteurs humains.

Concernant précisément la prise en compte du facteur humain dans la gestion des incidents et des accidents, la conception des systèmes et des composants devrait donner des délais plus importants aux opérateurs avant que leur intervention ne devienne nécessaire. S'agissant de la maîtrise des transitoires accidentels, la conception et les automatismes en place prévoient qu'aucune action des opérateurs n'est requise avant 30 minutes.

Diminuer le risque de fusion du cœur

Pour l'EPR, l'objectif assigné est de réduire encore la probabilité de fusion du cœur par réacteur et par an à une valeur inférieure à 1 pour 100 000, toutes familles d'agressions prises en compte et

toutes incertitudes comprises. Cette probabilité est déjà extrêmement faible pour les autres réacteurs du parc français (inférieure à 1 pour 10 000 par réacteur et par an).

Pour l'EPR, les dispositions suivantes sont prises en vue d'atteindre cet objectif :

- architecture avec 4 trains indépendants de systèmes de sauvegarde et des systèmes supports associés ;
- diversification des systèmes et/ou des matériels devant assurer des fonctions de sûreté
- dimensionnement et installation des matériels leur permettant de résister à des niveaux d'agressions externes élevés (séisme, explosion, ...)
- séparation géographique et physique des différents trains de systèmes de sauvegarde permettant de garantir leurs fonctions en cas d'agression interne (incendie, inondation).

Réduire les conséquences des accidents graves

Même si la probabilité d'un accident grave est très faible (voir paragraphe précédent), des dispositions sont prises pour le gérer, et en réduire l'impact sur l'environnement. Pour l'accident hypothétique le plus grave pris en compte (c'est-à-dire la fusion du cœur avec percement de la cuve qui le contient), l'évacuation des populations « au-delà du voisinage immédiat » de la centrale ne doit pas être nécessaire et les mesures sanitaires préventives relatives à la commercialisation des produits destinés à la consommation doivent être limitées.

Pour atteindre cet objectif, plusieurs dispositions sont prises, en particulier :

- un récupérateur de combustible fondu, installé sous la cuve du réacteur, permet son refroidissement ;
- l'enceinte de confinement est double ; elle est en outre munie d'une peau métallique interne d'étanchéité.

Enfin, du fait de l'expérience d'exploitation acquise sur les réacteurs en service, l'ASN a également demandé que les contraintes d'exploitation soient prises en compte dès la conception pour contribuer à l'amélioration de la radioprotection des travailleurs, et limiter les rejets radioactifs et l'activité des déchets produits.

Conclusion

EDF sait, comme l'a rappelé son Président récemment, que l'humilité s'impose. C'est pourquoi elle s'est toujours efforcée d'améliorer de manière continue la sûreté de ses installations en tirant les leçons des grands événements mondiaux (TMI et Tchernobyl) et des incidents survenus en France et à l'international. Cette amélioration se poursuit à l'occasion des réexamens périodiques de sûreté et se poursuivra tout au long de la durée de fonctionnement des tranches.

L'accident de Fukushima sera porteur de nombreux enseignements et les revues d'évaluation des marges de sûreté qui seront réalisés d'ici le 15 septembre 2011 pour l'ensemble des sites du parc nucléaire d'EDF permettront d'identifier les améliorations éventuelles à apporter pour faire face à de tels événements.

Le processus d'analyse et de prise en compte du retour d'expérience de manière continue tel que décrit précédemment a permis d'anticiper un certain nombre de parades déjà déployées sur les tranches et utiles à la gestion d'un événement de type Fukushima.