

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LE POINT DE VUE DE L'IRSN SUR LA SURETE ET LA RADIOPROTECTION DU PARC ELECTRONUCLEAIRE FRANÇAIS EN 2007

RAPPORT DSR N° 271

DIRECTION DE LA SURETE DES REACTEURS



Systeme de management
de la qualite RSN certifie

SOMMAIRE

INTRODUCTION ET SYNTHÈSE	1
EVALUATION GLOBALE DE LA SÛRETÉ DU PARC EN EXPLOITATION	3
LES TENDANCES 2007 SOULIGNÉES PAR L'IRSN	4
DES OUTILS DÉVELOPPÉS PAR L'IRSN	10
ÉVÉNEMENTS ET INCIDENTS	13
INHIBITION PARTIELLE D'UNE FONCTION DE SAUVEGARDE	14
PERTE D'ALIMENTATIONS ÉLECTRIQUES.....	17
LES ÉVÉNEMENTS EN RADIOPROTECTION	21
LES ENSEIGNEMENTS TIRES DU SEISME DE KASHIWAZAKI-KARIWA	27
ANOMALIES GÉNÉRIQUES SUR LE PARC	30
TEMPÉRATURES AMBIANTES ÉLEVÉES POUR LES POMPES D'INJECTION DE SÛRETÉ.....	31
LE COLMATAGE DES GÉNÉRATEURS DE VAPEUR	34
INCIDENCES DE L'ENVIRONNEMENT SUR LES STATIONS DE POMPAGE	36
UNE NOUVELLE CONCEPTION DES FILTRES DES PUISARDS DE RECIRCULATION	39
LES ÉVOLUTIONS SIGNIFICATIVES.....	43
LA PROTECTION DES CENTRALES NUCLEAIRES CONTRE LES INONDATIONS EXTERNES.....	44
MISE EN ŒUVRE DE DEUX NOUVELLES GESTIONS DE COMBUSTIBLE EN 2007	47
MISE EN PLACE DE RECOMBINEURS D'HYDROGÈNE.....	50
LA GESTION DES COMPÉTENCES.....	53
LE PROJET « HOMOGENÉISATION DES PRATIQUES ET DES MÉTHODES »	56
DEFINITIONS ET ABREVIATIONS	59

Les mots écrits en [bleu et soulignés](#) renvoient à des liens. Ces liens sont actifs sur le rapport disponible sur www.irsn.fr

LES EVOLUTIONS SIGNIFICATIVES

Des avancées dans l'état des connaissances techniques et scientifiques, des faiblesses identifiées ou des leçons tirées du retour d'expérience, un environnement ou une réglementation qui évoluent, des impératifs économiques... de multiples raisons conduisent à faire évoluer une installation ou les dispositions pour l'exploiter. Les réexamens de sûreté, réalisés périodiquement tous les 10 ans, sont un des cadres essentiels pour promouvoir et mettre en œuvre ces évolutions.

Des études à leurs mises en place, les évolutions ou modifications les plus importantes nécessitent plusieurs années, durant lesquelles l'IRSN analyse les dossiers associés aux différentes étapes de leurs mises en œuvre. Durant l'année 2007, plusieurs sujets ont mobilisé les experts de l'IRSN, parmi lesquels ceux exposés dans ce chapitre.

L'inondation partielle de la centrale du Blayais lors de la tempête de 1999 a conduit au réexamen de la situation de l'ensemble des centrales nucléaires à l'égard des risques liés aux inondations externes. L'IRSN a présenté en 2007 les conclusions de ses analyses sur la pertinence des modifications prévues ou réalisées par EDF dans le cadre de ce réexamen.

En vue d'améliorer les performances des réacteurs grâce à une meilleure utilisation du combustible, EDF fait évoluer le combustible et sa gestion. L'IRSN engage d'importants moyens d'expertise pour analyser les dossiers associés à chaque nouvelle gestion. Deux nouvelles gestions ont été mises en place sur le parc en 2007.

Lors d'une situation d'accident grave sur un réacteur, la combustion de l'hydrogène émis pourrait conduire à une perte d'intégrité de l'enceinte de confinement et entraîner le relâchement de produits radioactifs dans l'environnement. Des études et expérimentations auxquelles l'IRSN a participé ont été menées sur ce sujet, au niveau national et international. Fin 2007, tous les réacteurs sont équipés de recombineurs d'hydrogène.

Les hommes occupent une place primordiale dans l'exploitation sûre des centrales. Bien gérer les compétences constitue donc un enjeu majeur. L'IRSN a procédé en 2007 à un examen approfondi de l'organisation et des outils de gestion des compétences mis en place par EDF. L'IRSN a également examiné le projet EDF « homogénéisation des pratiques et des méthodes » visant à standardiser la documentation opérationnelle et à améliorer son adaptation aux besoins des utilisateurs.

La protection des centrales nucléaires contre les inondations externes

Les risques liés aux inondations d'origine externe aux centrales nucléaires sont pris en compte à la conception. Cependant certains événements, en particulier l'inondation partielle de la centrale du Blayais lors de la tempête de décembre 1999, ont conduit à renforcer les protections. Pour cela, EDF a défini et mis en œuvre un plan d'actions visant à réexaminer, lorsque nécessaire, les dispositions de protection des centrales nucléaires. L'IRSN, fortement mobilisé pour évaluer ce plan d'actions, a rendu ses conclusions en 2007.

Les inondations externes induisent des risques pour les centrales nucléaires

Les phénomènes générateurs d'inondations, notamment ceux d'origine naturelle (crue d'un fleuve, pluies...), induisent plusieurs types de risques pour les centrales nucléaires. Le premier risque étudié est la submersion de la plateforme supportant les installations, notamment les bâtiments de l'îlot nucléaire, qui peut conduire à des infiltrations d'eau dans les locaux, en particulier dans les zones basses des bâtiments. Cette situation peut, suivant son étendue, dégrader la sûreté de la centrale si l'eau pénètre dans des locaux abritant des équipements importants pour la sûreté des réacteurs (moteurs de pompes assurant le refroidissement du cœur...).

Certaines inondations (crues, ruptures de barrage) peuvent s'accompagner d'un transport de débris de toutes sortes (branches, feuilles...) susceptibles de s'accumuler devant la prise d'eau d'une centrale et dégrader ainsi la capacité de celle-ci à pomper l'eau dont elle a besoin pour ses circuits de refroidissement. Par ailleurs, une inondation est de nature à perturber ou interrompre l'alimentation électrique d'une centrale par submersion de postes électriques ou chute de lignes et/ou pylônes électriques, notamment si l'inondation s'accompagne de vents violents (tempête). De plus, une inondation peut couper les voies d'accès à une centrale et compromettre l'acheminement de moyens de secours, humains ou matériels, et affecter les moyens de communication. Enfin, une inondation externe se caractérise par un impact potentiel sur l'ensemble des réacteurs situés sur un même site.

Une attention particulière a été portée ces dernières années à la protection contre les inondations

Les risques liés aux inondations externes sont pris en compte à la conception des centrales nucléaires. Le niveau de protection des installations est ensuite réexaminé périodiquement notamment pour intégrer l'évolution des connaissances et des données dans le domaine de l'hydrométéorologie.

Lors de la tempête de décembre 1999, la concomitance, non prévue à la conception, d'un niveau d'eau extrêmement haut et de très fortes vagues dans l'estuaire de la Gironde a entraîné [l'inondation partielle de la centrale nucléaire du Blayais](#) située au bord de cet estuaire. Les protections existantes, notamment les digues, s'étant révélées insuffisantes pour faire face à cette situation, plusieurs locaux des îlots nucléaires des réacteurs 1 et 2 ont été inondés.

Il importait de tirer de cet incident d'inondation partielle de la centrale

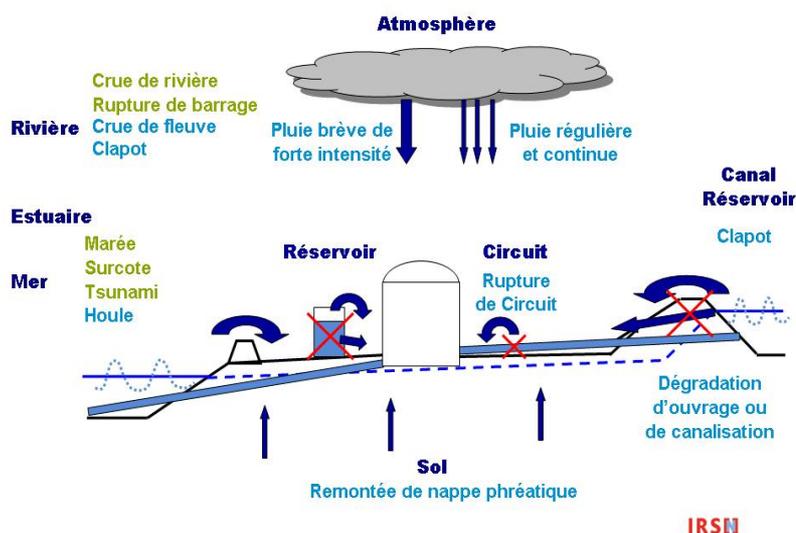
du Blayais tous les enseignements permettant d'éviter qu'il ne se répète, sur ce site ou sur d'autres sites nucléaires. C'est pourquoi, outre les mesures d'urgence prises sur la centrale du Blayais, il a été demandé à EDF de définir et de mettre en œuvre un plan d'actions visant à réexaminer et renforcer, lorsque nécessaire, les dispositions de protection contre les inondations externes des 19 Centres Nucléaires de Production d'Electricité (CNPE). L'IRSN a été fortement mobilisé depuis l'année 2000 pour évaluer ce plan d'actions.

L'Institut a ainsi analysé les nouveaux principes de protection des centrales contre les inondations externes proposés par EDF après le réexamen de la démarche retenue jusqu'alors. Dans ce cadre, il a notamment contribué à identifier et quantifier les niveaux d'eau, résultant de phénomènes d'inondation (crue, remontée de la nappe phréatique, houle...) ou de leurs conjonctions, à l'égard desquels les centrales nucléaires doivent être protégées. Fin 2001, sur la base de l'analyse menée par l'IRSN, l'ASN a estimé la nouvelle démarche de protection contre les inondations externes d'EDF satisfaisante, sous réserve de quelques améliorations et compléments.

L'état des lieux en 2007 de la protection des centrales nucléaires contre les inondations externes

L'application de la nouvelle démarche de protection des centrales contre les inondations externes a conduit EDF à réaliser d'importants travaux et études, proportionnés aux vulnérabilités des 19 centrales, qui sont très variables. Il s'agit en premier lieu de modifications d'ouvrages de génie civil telles que la construction, le renforcement ou la rehausse de protections périphériques (digues, murets), ou encore de travaux permettant d'assurer l'étanchéité des locaux à protéger (colmatage de voies d'eau...). Il s'agit ensuite de la mise en place de systèmes d'alerte d'inondation couplés à des procédures opérationnelles permettant, lorsque nécessaire, de réaliser des actions préventives avant l'inondation des voies d'accès d'une centrale, voire de la centrale elle-même. D'autres mesures telles que la mise en place de moyens de pompage additionnels sont également prévues. Enfin, des modifications matérielles ou de stratégie de conduite de l'installation sont définies sur certaines centrales pour limiter les risques de perte de leurs alimentations électriques externes ou de colmatage de leur prise d'eau par des débris en situation d'inondation.

Les sources et les phénomènes



L'IRSN a analysé la pertinence et la suffisance de ces modifications et a présenté ses conclusions devant le groupe permanent d'experts lors d'une réunion en mars 2007. Cette réunion a été l'occasion pour l'IRSN de présenter le bilan des actions menées depuis 2000 et d'examiner le niveau de protection actuel des 19 CNPE contre les inondations externes. L'IRSN considère en 2007 que les dispositions mises en œuvre ou prévues sur les CNPE, à l'issue des études et travaux réalisés par EDF, représentent un progrès significatif en matière de sûreté et devraient leur conférer un niveau de protection satisfaisant contre les risques d'inondation externe. Il estime cependant qu'EDF doit encore réaliser quelques compléments d'études.

Des actions et des instructions cependant à poursuivre

L'IRSN a souligné que des études complémentaires sont encore attendues de la part d'EDF, en particulier celles des CNPE de la Vallée du Rhône qui se révèlent complexes. Par exemple, une difficulté notable vient du fait que des ouvrages extérieurs aux CNPE (digues et ouvrages hydrauliques de régulation), qui ne sont pas exploités par EDF, peuvent être amenés à jouer un rôle dans l'étendue de l'inondation et in fine modifier les dispositions nécessaires de protection d'un CNPE contre les inondations externes. Des propositions faites par EDF concernant des modifications de conception ou d'exploitation de tels ouvrages (rehausse et renforcement de digues par exemple), font l'objet de discussion avec l'entreprise concessionnaire de ces ouvrages.

Par ailleurs, l'IRSN a constaté que, pour certains CNPE, des modifications contribuant à leur protection contre les inondations externes ont été définies par EDF mais restent à implanter.

De manière générale, pour que la protection prévue sur les centrales nucléaires contre les inondations externes reste pérenne et suffisante, notamment à l'égard d'événements hydroclimatiques futurs, le niveau de protection des installations sera réévalué périodiquement notamment à l'occasion de leurs réexamens de sûreté.

Vers une homogénéisation des pratiques de protection des installations nucléaires contre les inondations

En parallèle de son expertise concernant la réévaluation de la protection contre les inondations externes des CNPE, l'IRSN a examiné les dispositions de protection contre les inondations d'autres installations nucléaires (réacteurs de recherche, laboratoires et usines situées sur les mêmes sites que les CNPE). Sur la base de cette expertise, présentée également devant le groupe d'experts en mars 2007, l'ASN a estimé que l'ensemble des exploitants nucléaires devraient adopter une démarche de prise en compte des risques d'inondation externe cohérente avec celle mise en œuvre par EDF.

A ce titre, un groupe de travail piloté par l'ASN et l'IRSN et comprenant divers exploitants nucléaires et experts dans le domaine des inondations a été créé en 2006. Il a pour mission de rédiger un guide de prise en compte des risques d'inondation externe pour les installations nucléaires (réacteurs de production d'électricité ou de recherche, laboratoires, usines, installations de stockage de déchets) et d'harmoniser les pratiques dans ce domaine. Les travaux de ce groupe ont notamment permis, en 2007, de dresser la liste des phénomènes générateurs d'inondation et d'entreprendre un état des lieux des méthodes de caractérisation des événements rares ou extrêmes pouvant résulter de ces phénomènes.

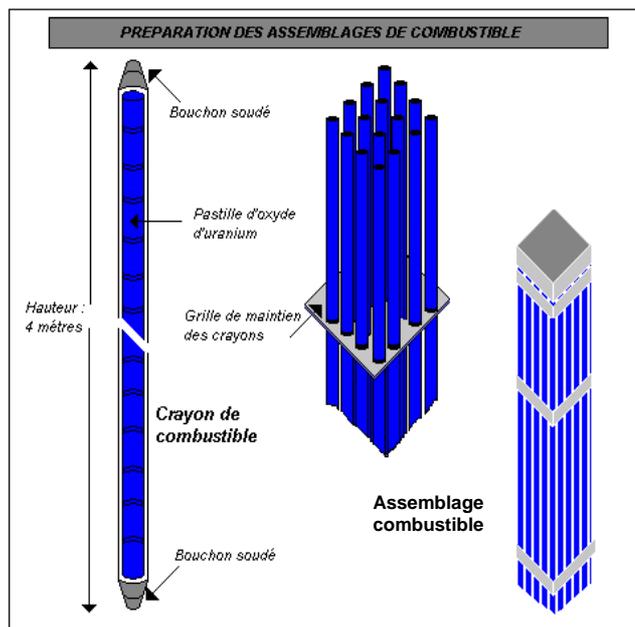
Mise en œuvre de deux nouvelles gestions de combustible en 2007

La gestion du combustible dans les réacteurs à eau sous pression fait l'objet d'enjeux industriels importants. C'est dans ce contexte qu'EDF a demandé, ces dernières années, l'autorisation de mettre en œuvre de nouvelles gestions sur la majorité de ses réacteurs. En conséquence, l'IRSN a engagé d'importants moyens d'expertise depuis 2003 pour analyser les dossiers de sûreté associés.

Le combustible nucléaire dans le cœur du réacteur

L'énergie des centrales nucléaires est générée par la fission du combustible (uranium et plutonium). Dans les cœurs des réacteurs à eau sous pression, le combustible est conditionné sous forme de pastilles, empilées dans des gaines étanches. L'ensemble pastilles-gaine constitue un crayon de combustible. Les crayons de combustible sont maintenus par des grilles dans un réseau de 17x17 crayons, constituant ainsi un assemblage combustible. Les assemblages combustibles sont placés dans la cuve du réacteur et en forment le cœur.

Le nombre d'assemblages neufs rechargés à chaque arrêt du réacteur, en remplacement des assemblages irradiés, ainsi que l'enrichissement des pastilles combustibles caractérisent une gestion du combustible.



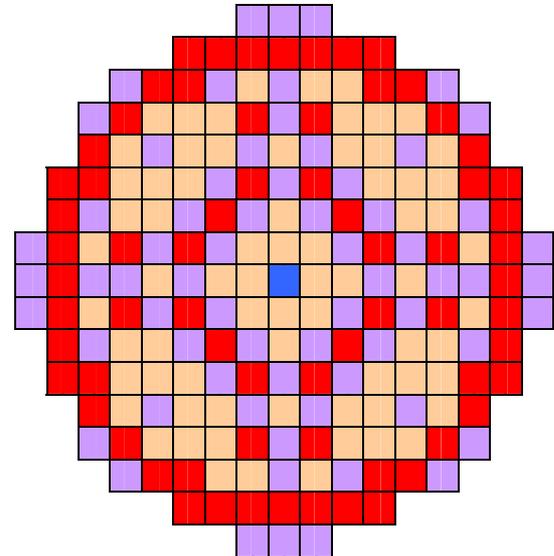
EDF cherche à améliorer les performances de ses réacteurs

EDF recherche une amélioration des performances de ses réacteurs à eau sous pression grâce à une meilleure utilisation du combustible. Dans cet objectif, EDF fait évoluer la gestion du combustible de ses réacteurs en agissant sur les deux paramètres suivants :

- la fraction du cœur (c'est-à-dire le nombre d'assemblages combustibles) renouvelée à chaque arrêt pour rechargement (1/3 ou 1/4) ;
- le taux d'enrichissement en matière fissile (uranium 235 pour l'oxyde d'uranium ou UO_2 , plutonium 239 issu du retraitement de l' UO_2 irradié pour l'oxyde mixte UO_2 - PuO_2 ou MOX).

Ceci permet de modifier le délai entre deux arrêts pour rechargement (ou longueur de cycle) et/ou le taux de combustion maximal atteint par les assemblages après leur séjour en réacteur, afin d'optimiser l'exploitation de ses réacteurs.

Plan de chargement d'un cœur



Assemblage neuf	Assemblage 3 ^{ème} cycle
Assemblage 2 ^{ème} cycle	Assemblage 4 ^{ème} cycle

EDF a ainsi proposé, ces dernières années, les évolutions de gestions de combustible pour les divers paliers :

- sur les réacteurs de puissance de 900 MWe, la gestion Parité MOX comprend des assemblages UO_2 d'enrichissement 3,7 % en U^{235} et des assemblages MOX de teneur moyenne 8,65 % en Pu^{239} rechargés par 1/4 de cœur. L'épuisement spécifique maximal des assemblages MOX est de 52 GWj/t, à parité de celui des assemblages UO_2 . Cette gestion a été mise en œuvre en 2007 ;
- sur les réacteurs de puissance de 1450 MWe, la gestion ALCADÉ (ALLonger les Campagnes pour Améliorer Durablement l'Exploitation) comprend des assemblages UO_2 d'enrichissement 4 % en U^{235} rechargés par 1/3 de cœur. L'épuisement spécifique maximal des assemblages UO_2 pour cette gestion est 52 GWj/t. Cette gestion a été mise en œuvre en 2007 ;
- sur les réacteurs de puissance de 1300 MWe, la gestion GALICE (Gestion avec Augmentation Limitée de l'Irradiation pour le Combustible en Exploitation) comprend des assemblages UO_2 d'enrichissement 4,5 % en U^{235} rechargés par 1/3 ou 1/4 de cœur. L'épuisement spécifique maximal des assemblages UO_2 pour cette gestion est 62 GWj/t. Cette gestion sera mise en œuvre en 2009.

L'épuisement spécifique est l'énergie totale libérée par unité de masse d'un combustible nucléaire.

Ces nouvelles gestions utilisent des enrichissements plus élevés pour permettre des taux d'irradiation plus importants. Elles sollicitent donc de façon accrue les assemblages combustibles sous les aspects neutronique, thermique, mécanique. De ce fait, leur mise en œuvre a dû s'accompagner d'une évolution du « produit combustible » (évolution de la conception de l'assemblage ou utilisation de nouveaux matériaux de structure ou de pastilles). Par ailleurs, ces nouvelles gestions nécessitent souvent des évolutions des méthodes d'étude des situations accidentelles pour justifier le bon comportement du combustible.

L'IRSN au cœur des évolutions de gestion de combustible

Chaque évolution de gestion nécessite une reprise complète des études du rapport de sûreté afin de démontrer le respect des critères de sûreté relatifs au fonctionnement normal et aux situations accidentelles. A la demande de l'ASN, l'IRSN a donc engagé d'importants moyens d'expertise pour analyser les différents dossiers de sûreté relatifs à ces nouvelles gestions de combustible.

L'IRSN s'est notamment attaché à examiner :

- le comportement du combustible. A titre d'exemple, dans le cadre de la gestion Parité MOX, l'analyse de l'IRSN a conduit EDF à charger en réacteur un autre « produit combustible » que celui retenu initialement. Cette modification porte, d'une part sur le matériau de gainage (limitation de la corrosion de la gaine), d'autre part sur la fabrication des pastilles MOX (limitation de la pression interne dans le crayon combustible), favorisant ainsi une meilleure tenue du combustible en fonctionnement normal et accidentel ;
- l'acceptabilité des méthodes d'étude mises en œuvre pour démontrer le bon comportement du combustible. La gestion ALCADÉ a notamment nécessité le recours à de nouvelles méthodes d'études pour la démonstration de sûreté, en particulier pour l'accident de perte de réfrigérant primaire et l'accident d'éjection d'une grappe de régulation. L'IRSN a estimé que la nouvelle méthode d'étude des accidents de perte de réfrigérant primaire était acceptable pour la vérification des performances du système d'injection de sécurité. En revanche, après l'examen de l'IRSN, EDF a rénové la méthodologie retenue pour l'accident d'éjection d'une grappe puis a révisé son étude ;
- l'acceptabilité des études des accidents prévus à la conception. L'IRSN a préconisé des compléments d'études pour vérifier la conception des systèmes de surveillance et de protection des réacteurs de puissance de 1450 MWe, avant la mise en œuvre de la gestion ALCADÉ ([cf décision ASN n° 2007-DC-0066 du 19 juillet 2007](#)) ;
- la méthode de vérification de la sûreté du cœur rechargé. L'IRSN a noté avec satisfaction que, dans le cadre des nouvelles gestions, EDF a formalisé dans son référentiel les principes retenus pour la démonstration de la sûreté du cœur rechargé en détaillant les hypothèses de calcul des différents paramètres.

Mise en place de recombineurs d'hydrogène

L'implantation de recombineurs autocatalytiques passifs d'hydrogène sur l'ensemble des réacteurs du parc en exploitation s'est achevée en 2007, permettant ainsi de réduire de manière significative le « risque hydrogène » en situation hypothétique d'accident grave.

Le risque hydrogène

Lors d'une situation hypothétique d'accident grave survenant sur un réacteur, la combustion de l'hydrogène émis pourrait amener à la perte de l'intégrité de l'enceinte de confinement, avec des relâchements importants de produits radioactifs dans l'environnement : c'est le « risque hydrogène ».

Un accident « grave » est un accident au cours duquel le combustible est significativement dégradé par une fusion plus ou moins complète du cœur du réacteur

Le « risque hydrogène » a été identifié aux USA dans les années 70 (voir en particulier le rapport WASH 1400). Sa réalité a été également vérifiée lors de l'accident survenu sur le réacteur Three Mile Island (TMI-2) en 1979 où, dix heures après le début de l'accident, un pic de pression d'environ 0,2 MPa a été atteint dans l'enceinte de confinement. Celui-ci a été attribué à une déflagration provenant d'une combustion d'hydrogène amorcée par une étincelle électrique.

Plusieurs phénomènes concourent à l'émission d'hydrogène au cours de l'accident. Lors de la phase de dégradation du cœur en cuve, la production d'hydrogène est due principalement à l'oxydation du zirconium des gaines et des structures des éléments combustibles et, dans une moindre mesure, à l'oxydation des autres métaux présents dans la cuve. Si le cœur ne peut pas être maintenu dans la cuve, l'oxydation du zirconium résiduel et d'autres métaux par la vapeur d'eau, particulièrement lors de l'attaque du radier (fondations en béton du réacteur) par le cœur fondu, contribue également à la production d'hydrogène. Enfin, la radiolyse de l'eau est une autre source

potentielle d'hydrogène mais elle est peu importante et intervient à long terme.

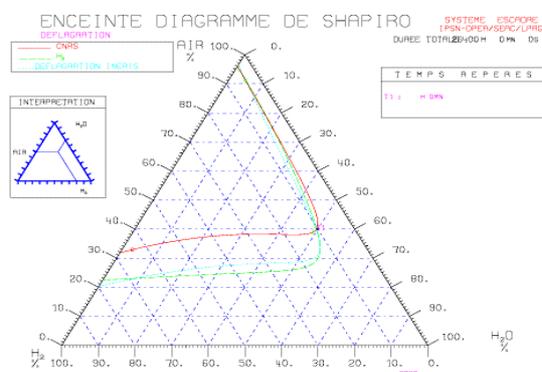


Diagramme de Shapiro pour les mélanges hydrogène-air-vapeur d'eau

L'hydrogène une fois émis se retrouve dans l'atmosphère de l'enceinte de confinement, composée d'air et de vapeur d'eau. L'inflammabilité du mélange gazeux contenu dans l'enceinte dépend de la température, de la pression et de la composition du mélange et du mode d'allumage. La position du point représentatif de la composition du mélange (hydrogène, air, vapeur d'eau) sur le diagramme de Shapiro permet de déterminer si le mélange est inflammable. Plusieurs modes de combustion sont

possibles.

Ainsi, la combustion peut être démarrée dans un mélange, réputé inflammable, à l'aide d'une source d'énergie de quelques millijoules (une détonation directe est pratiquement exclue, compte tenu de l'énergie nécessaire). Sous l'effet des instabilités hydrodynamiques et de la turbulence, la combustion, qui a initialement les caractéristiques d'une déflagration laminaire (vitesse de l'ordre du mètre par seconde) est susceptible de s'accélérer. Des régimes de combustion rapide peuvent ainsi être atteints allant du régime des déflagrations rapides (la vitesse de la flamme est l'ordre de centaines de mètres par seconde) à celui de la détonation (la vitesse de la flamme est supérieure à mille mètres par seconde) : ces phénomènes explosifs sont les plus menaçants pour la tenue mécanique des murs de l'enceinte de confinement, car ils peuvent occasionner des chargements dynamiques locaux très importants, [réf. 1] dus à la compression des gaz.

Après l'accident survenu sur la centrale de TMI-2, un important programme de travail sur le risque hydrogène, composé d'études et d'expérimentations, a été engagé afin d'améliorer les connaissances sur le sujet et de juger de la nécessité de mettre en place des dispositions complémentaires.

L'évaluation du « risque hydrogène » a essentiellement consisté à estimer les conséquences d'une combustion « lente » et complète de l'hydrogène présent dans l'enceinte, conduisant à un chargement quasi statique sur l'enceinte de confinement, généré essentiellement par l'énergie ainsi dégagée. Ce phénomène est considéré comme inéluctable en cas d'accident grave alors que l'occurrence d'une déflagration rapide ou d'une détonation dans une enceinte de confinement d'un REP demeure incertaine.

Les études d'évaluation du risque hydrogène dans les enceintes 1450, 1300 ou encore 900 MWe ont montré que l'occurrence d'une déflagration rapide est inéluctable en l'absence de recombineurs catalytiques. Dans certaines situations accidentelles, les pics de pression générés par la combustion d'hydrogène peuvent être dommageables pour la structure de l'enceinte de confinement et entraîner la perte de son étanchéité. D'où l'intérêt de mettre en place des moyens pour limiter les conséquences d'une telle situation.

Des recombineurs autocatalytiques pour maîtriser ce risque

Les recombineurs autocatalytiques (RAP) sont des appareils qui transforment l'hydrogène en eau par recombinaison avec l'oxygène de l'air et évitent ainsi son accumulation. Ainsi, leur implantation dans l'enceinte de confinement permet de réduire la concentration d'hydrogène.

En 1996, EDF a pris l'engagement d'implanter des recombineurs autocatalytiques sur les réacteurs les plus sensibles au risque de concentration d'hydrogène (1300 MWe/P4 et 1450 MWe).

En parallèle aux études menées par EDF, les risques induits par une production d'hydrogène en situation d'accident grave ont fait l'objet d'études approfondies de la part de l'IRSN. Sur la base des conclusions des études menées par l'IRSN, l'autorité de sûreté nucléaire a demandé dès 1997 à EDF d'étendre l'implantation de recombineurs catalytiques à l'ensemble des réacteurs de puissance. La date limite pour leur implantation a été fixée par l'ASN à 2007.



Recombineur de type AREVA-NP, équipant les réacteurs de 900 MWe

R&D et études réalisées par l'IRSN sur le risque hydrogène

L'IRSN a lancé en 1996, avec le soutien d'EDF, un programme expérimental visant à étudier les performances des recombineurs d'hydrogène dans une atmosphère accidentelle représentative, et en particulier leur résistance à l'empoisonnement par les produits de fission relâchés d'un cœur de réacteur endommagé. Ce programme s'appuyait sur une maquette d'enclume de confinement au 1/22^{ème} (l'installation H2-PAR implantée à Cadarache), permettant de reproduire l'essentiel des paramètres physico-chimiques d'une atmosphère accidentelle. Trois types de recombineurs industriels y ont été testés, pour un ensemble de conditions susceptibles d'être présentes dans l'enclume d'un REP en cas d'accident grave. De manière générale, ces essais ont montré un comportement satisfaisant des recombineurs et ont permis de déterminer les fractions molaires d'hydrogène à partir desquelles il y a auto inflammation du mélange gazeux par les plaques du recombineur.

Par ailleurs, les mécanismes d'accélération de flamme ont fait l'objet de programmes de recherche menés par l'IRSN dans le cadre de projets nationaux et internationaux. Ainsi, des critères permettant d'exclure les risques d'accélération de flamme et de transition vers la détonation ont été élaborés.

Il faut également souligner que des logiciels de calcul dédiés, tels que [TONUS](#) et [ASTECC](#), ont été développés ou co-développés par l'IRSN et sont utilisés pour l'évaluation du « risque hydrogène », que ce soit pour les réacteurs (REP en exploitation, EPR) ou les installations expérimentales de l'IRSN.

Bilan et perspectives

Les recherches et développements entrepris par EDF et par l'IRSN ont permis de conforter la décision d'implanter des moyens de limitation des conséquences du « risque hydrogène » sur l'ensemble des tranches du parc électronucléaire français. Néanmoins, l'IRSN estime que des études doivent être poursuivies afin notamment de valider les performances attendues des recombineurs et de mieux évaluer les concentrations locales et les risques associés. EDF a ainsi engagé un programme pluriannuel sur le sujet.

Référence :

[1] : Pour d'avantage d'information sur le risque hydrogène ou les phénomènes susceptibles de survenir en situation d'accident grave, se reporter au rapport [R&D relative aux accidents graves dans les réacteurs à eau pressurisée : bilan et perspectives](#)

Un recombineur se compose d'un matériau catalytique (platine et palladium sur alumine), disposé dans un bâti métallique dont la fonction est d'optimiser la circulation des gaz au contact du catalyseur (lit de billes ou rangée de plaques verticales). Cette circulation est assurée par convection naturelle des gaz chauffés par la réaction exothermique $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ établie au contact du catalyseur ; elle est auto-entretenu (d'où le nom de recombineur "passif"), mais limitée par la diffusion des réactifs (H_2 et O_2) et des produits (H_2O) dans le recombineur

Le système de recombineurs implanté sur les REP a été conçu de telle sorte que le risque de perte d'intégrité du confinement suite à une déflagration soit pratiquement éliminé et que les concentrations locales en hydrogène restent limitées.

La gestion des compétences

La gestion des compétences constitue un sujet important pour la sûreté compte tenu du renouvellement de la population des agents EDF qui exploitent les centrales nucléaires et du recours important à la sous-traitance pour la réalisation des opérations de maintenance.

Des compétences au cœur de l'exploitation des centrales

Les hommes occupent une place primordiale dans l'exploitation sûre des centrales nucléaires. Ils interviennent dans la conduite du réacteur, surveillent l'évolution des paramètres, effectuent les opérations de maintenance, etc. De plus, ils savent souvent s'adapter aux situations imprévues et résolvent certains dysfonctionnements.

Pour ce faire, les agents mobilisent de nombreuses compétences. Elles sont liées aux connaissances acquises en formation, mais dépendent également des capacités d'action offertes par la situation de travail : procédures et modes opératoires, co-équipiers et managers, dispositifs techniques et organisationnels, environnement de travail. La compétence est ce qui permet d'agir correctement.

La gestion des compétences représente un sujet majeur

La gestion des compétences constitue un sujet important pour la sûreté compte tenu de deux évolutions que connaît EDF.

Premièrement, l'entreprise doit relever le défi du renouvellement de la population qui exploite les centrales nucléaires, lié à de nombreux départs en retraite jusqu'en 2015. Ceci pose la question de la pérennité des compétences internes.

Deuxièmement, dans un contexte concurrentiel, EDF cherche à accroître sa rentabilité ce qui l'a conduit, entre autres choses, à externaliser un grand nombre d'opérations de maintenance. Le recours à la sous-traitance est important puisque la maintenance des 58 réacteurs est réalisée par des agents d'EDF, avec l'appui de près de 17000 intervenants prestataires appartenant à d'environ 400 entreprises sous-traitantes. La maîtrise par EDF des compétences des prestataires représente donc un sujet central.

En 2005 puis en 2007, l'IRSN a procédé à un examen approfondi de l'organisation et des outils de gestion des compétences mis en place par EDF. Cet examen a été mené dans plusieurs centrales, auprès de centres de formation, de services d'ingénierie et de services chargés des achats (dont les achats de prestations).

Prévoir l'évolution des emplois et des compétences

Afin de faire face à l'important renouvellement de la population travaillant dans les centrales, EDF a prévu de déployer une gestion prévisionnelle des emplois et des compétences (GPEC) dans l'ensemble des services de chaque centrale nucléaire. La GPEC permet de prévoir sur les 5 ans à venir, les remplacements de personnels à effectuer compte tenu de la mobilité interne et des départs en retraite. La période concernée par cette prévision couvre la durée de la plupart des parcours de professionnalisation et permet de « préparer » des successeurs.

Au-delà de cette prévision quantitative concernant les qualifications dont les services auront besoin, la GPEC a également pour objectif de permettre une prévision des besoins en compétences. A cet effet, elle s'appuie sur des « cartographies de compétences » qui identifient et recensent les compétences clés nécessaires et disponibles dans chaque service.

Pour apporter un soutien aux responsables des services, EDF a mis en place des « animateurs métier ». Ils sont chargés d'établir des « prospectives métiers » à 5 et 10 ans, intégrant les évolutions de la politique industrielle et de la politique de l'emploi d'EDF. Ils contribuent également à la rédaction de référentiels nationaux de compétences pour les différents métiers.

L'évaluation réalisée par l'IRSN a montré qu'EDF s'est doté d'outils et de moyens organisationnels permettant de développer une réelle prévision des besoins en compétences auxquels les services sont et seront confrontés. Elle a également fait apparaître la nécessité d'améliorer la gestion des compétences des agents détachés auprès d'un projet. Le chef du service d'origine peut en effet éprouver des difficultés pour déterminer les compétences nécessaires à l'activité réalisée dans le cadre du projet et pour en évaluer la maîtrise par les agents. L'IRSN a de plus souligné que la constitution des équipes d'intervenants par les managers participe à la gestion des compétences (mixité des expériences, habitude à travailler ensemble, etc.).

Développer des parcours de professionnalisation personnalisés

Pour assurer la pérennité des compétences, EDF a fait évoluer son système de formation.

D'une part, EDF a élargi les moyens d'acquisition des compétences. Des formations en salle sont toujours dispensées, mais une place plus importante est donnée au compagnonnage qui est assuré par des agents expérimentés et permet la transmission de savoir-faire et de gestes professionnels dans le cadre même des situations de travail. EDF a également procédé à l'implantation d'un simulateur de conduite sur chaque site, ce qui permet, outre les entraînements périodiques à la conduite des situations accidentelles déjà assurés antérieurement, de réaliser des entraînements en préalable à des situations de conduite normale peu fréquentes. De même, des « chantiers écoles » ont été développés pour la formation dans le domaine de la maintenance.

D'autre part, EDF a opté pour une individualisation des parcours de professionnalisation des agents pour répondre au mieux aux exigences de compétence. Ce sont les managers qui sont chargés d'évaluer les compétences acquises et à acquérir par les différents agents. Afin d'appréhender les compétences réellement mises en œuvre dans les situations de travail, les managers doivent réaliser des observations au cours des activités de travail. A cet égard, des compétences en ingénierie de la formation ont été implantées sur chaque centrale, afin d'aider les services à mettre en place des actions de professionnalisation adaptées aux besoins des agents. EDF développe ainsi une offre locale de formation qui vient compléter les cursus nationaux.

Le passage d'une logique de formation à une logique de professionnalisation et l'individualisation des parcours de professionnalisation ont été considérés par l'IRSN comme des améliorations notables de la politique d'EDF en matière de gestion des compétences. L'évaluation des compétences acquises joue un rôle central dans cette nouvelle approche de la professionnalisation. Il convient selon l'IRSN d'approfondir l'examen de l'organisation et des moyens mis en œuvre pour que cette évaluation soit réalisée. En effet, les managers ne disposent pas toujours de temps et de méthode pour réaliser les observations du travail nécessaires à cette évaluation.

Maintenir et développer la maîtrise de la compétence de réalisation des opérations de maintenance sous-traitées

Le recours important à la sous-traitance dans le domaine de la maintenance a conduit EDF à faire évoluer son organisation pour gérer la relation de sous-traitance et conserver la maîtrise des compétences de réalisation des opérations.

A cet effet, EDF a depuis 2004 organisé les achats de prestations par marchés nationaux et régionaux sous le pilotage conjoint de la direction des achats, de la division de la production nucléaire et de la division de l'ingénierie nucléaire. Dans ce cadre, des orientations globales sont définies par segment d'activité, en matière de « faire » et de « faire faire », puis celles-ci sont déclinées par service dans chaque centrale. EDF sélectionne ensuite les entreprises qui seront qualifiées pour répondre aux appels d'offres. Les panels d'entreprises sont constitués de manière à maintenir un équilibre entre une globalisation des achats visant à obtenir des effets de volume, un maintien de la concurrence pour éviter la dépendance et une maîtrise des risques, notamment en matière de compétences. La méthode de constitution des panels permet à EDF de qualifier les entreprises, la qualification des intervenants restant de la responsabilité de ces entreprises. Des critères de qualification des entreprises concernent la stabilité des emplois, les niveaux de formation des intervenants. Plus récemment, EDF a introduit des critères relatifs au cursus d'intégration des nouveaux recrutés et à l'organisation de la formation par compagnonnage.

EDF a également adapté son organisation afin de surveiller l'adéquation des prestations réalisées par rapport aux exigences notifiées à l'entreprise prestataire. Les résultats de cette surveillance sont formalisés dans une « fiche d'évaluation de la prestation ». En cas d'évaluation négative, EDF peut décider de la mise sous surveillance renforcée du prestataire, voire, de la suspension de la qualification.

Par ailleurs, pour stimuler la mise en place de systèmes de gestion des compétences chez les prestataires, EDF a engagé des relations partenariales avec certains d'entre eux. Dans ce cadre, des parcours de professionnalisation croisés ont pu être mis en place : l'agent recruté par l'entreprise prestataire va être formé en partie au sein d'EDF où il interviendra ensuite. En outre, les relations avec certaines entreprises s'inscrivent sur des durées suffisamment longues pour qu'elles puissent anticiper plus finement leurs besoins en compétences.

Il ressort de l'évaluation réalisée par l'IRSN que le système de qualification des entreprises prestataires mis en place par EDF est relativement robuste. Néanmoins, la logique contractuelle sur laquelle reposent les relations de sous-traitance impose au prestataire une obligation de résultats mais pas une obligation de moyens. Ceci a tendance à mettre les compétences des intervenants, qui relèvent des moyens, hors de portée de l'évaluation du donneur d'ordre. La politique partenariale développée par EDF pour progresser en tenant compte de cette contrainte montre d'ores et déjà une certaine efficacité. Cependant, l'IRSN estime nécessaire de compléter les évaluations réalisées auprès des agents EDF en tenant compte du point de vue des sous-traitants.

Le projet « homogénéisation des pratiques et des méthodes »

Avec la mise en œuvre du projet « Homogénéisation des Pratiques et des Méthodes » (PHPM), EDF vise à standardiser la documentation et à améliorer la qualité ergonomique des documents émis.

Une base documentaire de plus en plus développée

La qualité des actions réalisées sur les centrales nucléaires est une des composantes fondamentales de leur sûreté. Elle repose en partie sur une formalisation des actions à réaliser. Ainsi il existe un grand nombre de procédures écrites qui présentent aux intervenants les séquences d'opérations à réaliser et les valeurs numériques (réglages, points de consigne ou seuils) à respecter. Ces procédures ou gammes servent également à relever les paramètres-clés et à garder la trace de la réalisation des actions importantes, ce qui permet de démontrer la qualité de l'exploitation par un contrôle a posteriori. La logique d'élaboration des documents répond globalement au principe suivant : « écrire ce que l'on fait et faire ce que l'on écrit ».

Depuis la mise en service des premiers réacteurs jusqu'à aujourd'hui, les documents opératoires se sont considérablement enrichis. La prise en compte du retour d'expérience a conduit à décrire de manière plus précise les conditions de réalisation de certaines opérations. De plus, de nouvelles exigences d'exploitation ont progressivement été intégrées par EDF, non seulement pour améliorer la sûreté, la protection des travailleurs et de l'environnement, mais aussi pour accroître les performances économiques des installations. Enfin, la rédaction des procédures a été prise en charge de manière décentralisée par chaque site, entraînant une adaptation des modes opératoires aux spécificités locales.

Quels enjeux de sûreté ?

Devant l'augmentation de la quantité de documents et d'exigences, la gestion des procédures est devenue de plus en plus complexe. Ainsi, lors de la mise à jour d'un mode opératoire de maintenance, il est nécessaire de s'assurer que la modification introduite est compatible avec les indications du constructeur concernant l'utilisation ou la maintenance des matériels concernés, avec les exigences réglementaires en vigueur, et avec le contenu des autres documents qui font référence au document modifié. Cette complexité peut engendrer des difficultés de mise à jour des documents, source d'erreurs et de retards. Le coût global des mises à jour pourrait ainsi conduire certains acteurs à renoncer à des demandes de corrections qu'ils jugent mineures, mais qui en fait ne le seraient pas.

De même, le développement du nombre et de la précision des documents opératoires peut avoir des effets divers sur le comportement des intervenants. Certains peuvent être amenés à privilégier le strict respect des procédures,

jusque dans leurs moindres détails, au détriment de l'attention qu'ils portent aux caractéristiques réelles des situations auxquelles ils sont confrontés, entraînant une perte de réactivité ou l'absence de détection de certains problèmes. D'autres intervenants peuvent souhaiter s'affranchir du suivi rigoureux de certaines procédures, pensant maîtriser suffisamment les détails des interventions à réaliser. Des omissions ou des dérives préjudiciables à la sûreté peuvent alors apparaître.

Enfin, l'adaptation locale des modes opératoires peut être source de difficultés pour les salariés des entreprises sous-traitantes qui assurent la majorité des opérations de maintenance. Ces salariés peuvent être amenés à réaliser une même opération sur plusieurs sites, avec des documents opératoires dont la structure et le contenu différent d'un site à l'autre.

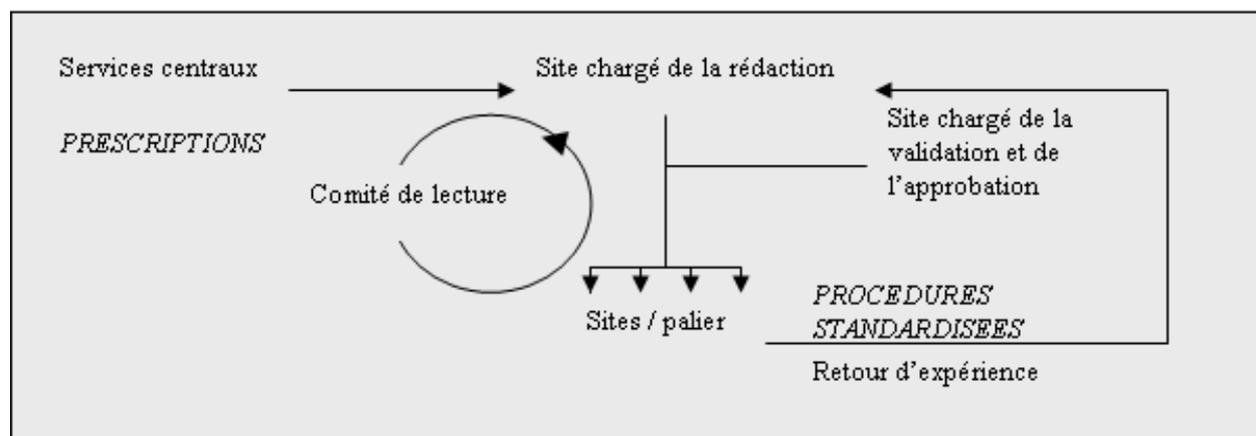
Le Projet Homogénéisation des Pratiques et des Méthodes

Dans ce contexte, EDF a mis en place, à partir de 2006, le projet « Homogénéisation des Pratiques et des Méthodes » (PHPM). Ce projet vise à standardiser la documentation et à améliorer son adaptation aux besoins des utilisateurs.

Pour atteindre cet objectif, EDF a décidé de remplacer progressivement les documents opératoires spécifiques à chaque site par des modes opératoires standardisés communs à l'ensemble des sites dotés de réacteurs de même type.

Ainsi, la rédaction et la mise à jour des procédures relevant de la démarche PHPM sont confiées à un « site rédacteur » qui est chargé de recueillir les avis des autres sites et de les prendre en compte. Le document est ensuite transmis à un « site valideur », chargé de s'assurer que le document est conforme aux exigences de contenu et de forme, définies dans des guides nationaux. De plus, en fonction des enjeux de sûreté ou de sécurité, la procédure nouvellement créée ou modifiée pourra être testée sur un site pilote, avant de généraliser sa mise en application. Ces dispositions permettent en principe de détecter un défaut dans un document avant qu'il ne soit diffusé sur l'ensemble des sites. Dans le même temps, il convient de veiller que le processus de gestion documentaire reste réactif aux demandes de modifications que les sites utilisateurs seront amenés à formuler.

Schéma simplifié du processus de rédaction d'un document de maintenance standardisé



Les guides nationaux élaborés par EDF donnent la trame et les exigences rédactionnelles à respecter pour chaque type de document. En particulier, il est recommandé de structurer les procédures de manière à permettre une lecture réduite aux grands objectifs et une lecture étendue aux détails de chaque séquence opératoire. L'IRSN a estimé que ces dispositions étaient positives, tout en soulignant que la qualité ergonomique d'un document ne pouvait pas résulter de la simple application de guides de rédaction et que la mise en œuvre des procédures sur un site pilote devait être l'occasion de réaliser de véritables essais de validation ergonomique.

Un projet à suivre avec attention

L'homogénéisation des pratiques et des méthodes ne concerne qu'un nombre limité de documents au stade actuel de déploiement de la démarche. Il est donc nécessaire d'assurer un suivi des effets de cette démarche à moyen terme, afin de savoir si sa mise en œuvre permet d'atteindre les objectifs fixés. L'IRSN portera une attention particulière aux effets que l'homogénéisation des documents est susceptible d'avoir sur les pratiques des intervenants sur sites. Si la disparition de certaines pratiques locales peut être bénéfique, d'autres pratiques peuvent répondre à des exigences spécifiques qui méritent d'être maintenues.

Définitions et abréviations

1300 MWe : Réacteur nucléaire français de 1300 MWe.

900 MWe : Réacteur nucléaire français de 900 MWe.

ASN : Autorité de sûreté nucléaire.

BAN : Bâtiment des auxiliaires nucléaires

Becquerel : (Bq) Unité de mesure, légale et internationale, utilisée pour la radioactivité. Un Becquerel est égal à une désintégration par seconde.

Bore : Le bore est un élément chimique de symbole B et de numéro atomique 5. Il a la propriété d'absorber les neutrons, ce qui permet le contrôle de la réaction en chaîne.

DVH : Système de ventilation du local des pompes d'injection de sécurité haute pression

DVN : Système de ventilation du bâtiment des auxiliaires nucléaires

EAS : Système (de sauvegarde) d'aspersion du bâtiment abritant le réacteur.

[INES](#) : International Nuclear Event Scale, échelle internationale des événements nucléaires servant à mesurer la gravité d'un accident nucléaire.

MWe : Le mégawatt électrique est l'unité de la puissance fournie au réseau électrique par une centrale nucléaire.

Réaction en chaîne : Dans le domaine du nucléaire, une réaction en chaîne se produit lorsqu'un neutron cause la fission d'un atome fissile produisant un plus grand nombre de neutrons qui à leur tour causent d'autres fissions.

REP : Réacteur à eau pressurisée.

Réservoir PTR : Réservoir d'eau borée de grande capacité qui alimente les circuits d'injection de sécurité (RIS) et d'aspersion de l'enceinte (EAS).

RIS : Système d'injection de sécurité d'eau borée dans le cœur.

RRI : Système de réfrigération intermédiaire

Sievert : Unité légale d'équivalent de dose (ou dose efficace) qui permet de rendre compte de l'effet biologique produit par une dose absorbée donnée sur un organisme vivant. L'équivalent de dose n'est pas une quantité physique mesurable mais obtenue par le calcul. Elle dépend de l'énergie transmise aux tissus, du type de rayonnement et du tissu traversé.

SEC : Système d'alimentation en eau brute secourue (assure le refroidissement de l'eau du système RRI)

VD3 : 3ème visite décennale d'un réacteur nucléaire.

Crédits photo :

EDF CNPE de Chinon / Serge COIFFARD : page 37 - Médiathèque EDF : page 3, 38 (haut), 36 (haut) - EDF R&D : page 19

copyright AREVA page 51

IRSN : page 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 17, 18, 21, 22, 24, 27, 28, 32, 34, 36 (bas), 38 (bas), 39, 40, 45, 47, 48, 50, 57