

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

LE POINT DE VUE DE L'IRSN SUR LA SURETE ET LA RADIOPROTECTION DU PARC ELECTRONUCLEAIRE FRANÇAIS EN 2012

RAPPORT IRSN/DG/2013-00005

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION ET SYNTHÈSE | 6 |
| EVALUATION GLOBALE DE LA SÛRETÉ ET DE LA RADIOPROTECTION DU PARC EN EXPLOITATION | 8 |
| La sûreté de l'exploitation en 2012 : les tendances | 9 |
| La radioprotection en exploitation : les tendances | 17 |
| ÉVÉNEMENTS, INCIDENTS, ANOMALIES | 22 |
| Présence de corps migrants dans les circuits | 24 |
| Dégradations de vis de fixation des pompes primaires des réacteurs de 1450 MWe | 29 |
| Absence de casse-siphon dans les tuyauteries de refroidissement des piscines d'entreposage des assemblages combustibles irradiés | 33 |
| Faiblesse dans les moyens de surveillance des cœurs des réacteurs | 36 |
| Départs de feu dans le local d'un groupe motopompe primaire à Penly 2 | 39 |
| Déversement d'eau du circuit primaire dans le bâtiment du réacteur de Cruas 4 | 45 |
| Défauts découverts dans les parois des cuves des réacteurs belges de Doel 3 et Tihange 2 | 49 |
| ÉVOLUTIONS SIGNIFICATIVES..... | 54 |
| Renforcement des installations nucléaires à la suite de l'accident de Fukushima | 56 |
| Renforcement des radiers des réacteurs de la centrale de Fessenheim | 60 |
| Guide sur la protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes..... | 64 |
| Protection des centrales nucléaires en cas de températures extrêmes..... | 67 |
| Traitement des écarts de conformité | 71 |
| Contribution des hommes et des organisations à la fiabilité des matériels | 78 |

Les mots écrits en [bleu et soulignés](#) renvoient à des liens hypertexte. Ces liens sont actifs sur www.irsn.org.

EVOLUTIONS SIGNIFICATIVES

Les réacteurs nucléaires français font l'objet de modifications ou d'évolutions tout au long de leur exploitation avec notamment un objectif d'amélioration continue de la sûreté. Ces évolutions peuvent, par exemple, trouver leur origine dans des avancées des connaissances scientifiques et techniques, corriger des faiblesses détectées ou faire suite à des leçons tirées du retour d'expérience, prendre en considération un environnement ou une réglementation qui évoluent. Certaines modifications ou évolutions peuvent nécessiter plusieurs années d'études avant leur définition précise et leur mise en place.

A la suite de l'accident de Fukushima le 11 mars 2011, de nombreuses actions ont été entreprises pour s'assurer de la robustesse des réacteurs électronucléaires et des organisations en place pour faire face à des situations extrêmes non prises en compte dans le dimensionnement de ces réacteurs. En France, les analyses effectuées dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté ont permis de confirmer que les installations françaises étaient globalement robustes pour les agressions naturelles envisagées sur les différents sites. Toutefois, l'analyse de l'IRSN a montré l'intérêt de compléter les dispositions de protection des installations existantes par un ensemble de moyens permettant de faire face à des agressions naturelles d'ampleurs supérieures à celles considérées jusqu'à présent : ces moyens, appelés « noyau dur post-Fukushima », ont été analysés par l'IRSN fin 2012 sur la base du dossier transmis par EDF.

Une modification importante concerne le renforcement des radiers des réacteurs de Fessenheim dont l'épaisseur a été jugée trop faible pour faire face à un accident de fusion du combustible conduisant à une percée de la cuve.

D'une manière générale, la plupart des modifications sont mises en œuvre lors des arrêts des réacteurs avec visite décennale.

Les réacteurs nucléaires sont conçus pour faire face aux phénomènes climatiques, tels que, par exemple, les grands vents ou la canicule. La tempête qui a traversé la France en décembre 1999 et provoqué l'inondation partielle de la centrale nucléaire du Blayais a conduit à réexaminer la situation de l'ensemble des centrales nucléaires à l'égard des risques liés aux inondations d'origine externe ; dans ce cadre, un guide de protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes a été élaboré. De même, les épisodes caniculaires de 2003 et 2006 ont montré la nécessité de renforcer la protection des centrales à l'égard des risques de canicule et ont conduit EDF à définir une démarche que l'IRSN a analysée en 2012 pour les tranches de 900 MWe.

A la conception, lors de la construction ou lors de l'exploitation d'un réacteur, des écarts peuvent survenir par rapport à l'état de référence de l'installation. Ces écarts, appelés « écarts de conformité », peuvent invalider la démonstration de la sûreté de l'installation présentée dans le rapport de sûreté. Leur détection, leur caractérisation et leur traitement font l'objet d'un processus particulier que l'IRSN a examiné en 2010. Dans ce chapitre, sont présentés trois exemples d'écarts de conformité génériques : un défaut de sectorisation « incendie » au niveau des traversées électriques de l'enceinte de confinement, une anomalie des moteurs diesel des groupes électrogènes de secours et d'ultime secours des réacteurs de 900 MWe et un défaut de tenue au séisme de robinets à commande pneumatique.

Les événements déclarés par EDF, lors desquels la disponibilité de matériels importants pour la sûreté a été mise en cause, ont de multiples origines, certaines de nature technique, d'autres liées à des interventions humaines. En 2012, l'IRSN a analysé un échantillon de ces événements en se focalisant plus particulièrement sur ceux liés à des activités de maintenance ou à des manœuvres d'exploitation. La prise en compte, à la conception des matériels ou à la conception des modifications, des activités des hommes qui auront à les exploiter et à en assurer la maintenance, apparaît comme une voie d'amélioration de la fiabilité de ces matériels.

Renforcement des installations nucléaires à la suite de l'accident de Fukushima

A la suite de la catastrophe qui a frappé les réacteurs de la centrale japonaise de Fukushima-Daiichi le 11 mars 2011, de nombreuses actions ont été entreprises de par le monde pour s'assurer de la robustesse des installations nucléaires et des organisations en place pour faire face à des situations extrêmes non prises en compte dans le dimensionnement de ces installations. En France, les études effectuées par les exploitants dès le printemps 2011 dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté ont permis de confirmer que les installations françaises étaient globalement robustes pour les agressions naturelles envisagées pour les différents sites. Toutefois, l'analyse de l'IRSN a montré l'intérêt de compléter les dispositions de protection des installations existantes par un ensemble de moyens permettant de faire face à des agressions naturelles d'ampleur supérieure à celles considérées jusqu'à présent : ces moyens constitueront le « noyau dur » post-Fukushima. Une première proposition d'EDF concernant le noyau dur des centrales électronucléaires a été analysée par l'IRSN fin 2012.

La prise en compte des agressions naturelles à la conception des réacteurs

Les centrales électronucléaires françaises sont conçues pour résister à différentes agressions d'origine naturelle (neige, vent, températures extrêmes, inondations, séismes...) associées à des « niveaux » (vitesse du vent, par exemple). La liste des agressions et les niveaux associés sont revus périodiquement pour les différents sites, au moins tous les 10 ans lors des réexamens de sûreté, de façon à prendre en compte le retour d'expérience et les éventuelles évolutions des connaissances ou de la doctrine sur les agressions.

Pour pouvoir assurer la protection d'une installation à l'égard d'une agression d'origine naturelle, les équipements de l'installation participant aux fonctions fondamentales de sûreté doivent rester disponibles et opérationnels lorsqu'ils sont soumis aux niveaux d'agression retenus ; à cette fin, ces équipements sont :

- protégés par des dispositions qui empêchent l'agression de les affecter,
- conçus pour rester opérationnels en cas d'agression.

☞ L'accident de Fukushima

Le 11 mars 2011, un séisme d'une intensité supérieure à celles envisagées pour le site a entraîné un tsunami d'une hauteur supérieure à celle des digues de protection mises en place : l'eau qui a envahi les bâtiments a entraîné, pour les réacteurs 1 à 4, la perte des sources d'alimentation électrique, puis progressivement la perte des moyens de refroidissement des cœurs et des piscines de désactivation du combustible usé. La température des cœurs des réacteurs 1 à 3 (le cœur du réacteur 4 étant déchargé) s'est élevée jusqu'à conduire à la fusion du combustible et à la dégradation des structures. Les produits radioactifs contenus dans les assemblages combustibles ont alors été relâchés dans les enceintes de confinement des réacteurs. De par leur conception, celles-ci n'ont pas été en mesure de contenir ces produits et des rejets radioactifs très importants ont eu lieu dans l'environnement, exposant les travailleurs et les personnes du public et contaminant de larges zones de territoires japonais.

Dans le cas de l'accident survenu à Fukushima, les niveaux d'agression retenus à la conception se sont avérés insuffisants.

Les évaluations complémentaires de sûreté et les « stress tests »

Dès le 23 mars 2011, le Premier ministre français a saisi l'ASN pour réaliser un audit de la sûreté des installations nucléaires françaises ; ses premières conclusions, qui devaient en priorité porter sur les centrales nucléaires, devaient être présentées à la fin de l'année 2011. Cet audit devait examiner les risques d'inondation, de séisme, de perte des alimentations électriques et de perte du refroidissement ainsi que la gestion opérationnelle des situations accidentelles. Par une décision en date du 5 mai 2011, l'ASN a alors prescrit aux responsables de centrales nucléaires françaises de procéder à des évaluations complémentaires de sûreté (ECS) sur le comportement de leurs installations au regard de l'accident de la centrale japonaise de Fukushima.

Dans le même temps, le Conseil européen réuni les 24 et 25 mars 2011 a décidé que seraient réalisés des tests de résistance (ou « stress tests ») pour les réacteurs électronucléaires implantés sur le territoire des Etats membres.

En septembre 2011, les exploitants des principales installations nucléaires françaises (EDF, AREVA, CEA et l'ILL) ont transmis à l'autorité de sûreté nucléaire leurs rapports traitant de la robustesse de leurs installations à l'égard des différentes situations évoquées ci-dessus. Pour EDF, ce sont 19 rapports d'autoévaluation, un par site, qui ont été transmis.

L'examen de ces rapports a mobilisé l'IRSN dans des domaines techniques très variés pour développer une appréciation globale et complète de la robustesse des installations ; les résultats ont été présentés aux groupes permanents d'experts, placés auprès du directeur général de l'ASN, chargés respectivement des réacteurs nucléaires (GPR) et des laboratoires et usines (GPU).

L'analyse de l'IRSN a tout d'abord confirmé que les réacteurs électronucléaires étaient globalement en mesure de faire face aux agressions d'origine naturelle envisagées pour les différents sites ; cette conclusion supposait toutefois la conformité des centrales à leurs référentiels de sûreté (voir l'article sur le traitement des écarts de conformité page 71 du présent rapport).

De plus, l'IRSN a préconisé qu'EDF définisse un ensemble d'exigences et de dispositions complémentaires permettant d'assurer les fonctions fondamentales de sûreté, y compris en cas d'aléas notablement supérieurs à ceux retenus pour le dimensionnement des installations. Ces dispositions constitueraient un « noyau dur ECS ».

Dans leur avis transmis à l'ASN, les groupes permanents ont confirmé qu'il leur paraissait nécessaire que les exploitants disposent de moyens robustes à ces aléas, en vue de prévenir la fusion du cœur dans les situations de perte totale de la source froide ou de perte totale des alimentations électriques qui pourraient affecter plusieurs installations d'un même site pour de longues durées. Ils ont également souligné l'importance de définir en complément un ensemble de moyens permettant de limiter les rejets après un accident grave en cas d'aléas de niveau supérieur à ceux retenus dans le référentiel actuel.

Pour ce qui concerne les piscines d'entreposage du combustible usé, les groupes permanents ont estimé essentiel qu'EDF définisse et mette en place au plus tôt des dispositions renforcées de prévention du dénoyage de ces assemblages en entreposage ou en cours de manutention.

Enfin, l'IRSN a souligné que l'organisation et les moyens de crise devaient rester opérationnels pour des niveaux d'agressions très supérieurs à ceux retenus pour le dimensionnement des installations et pour des conditions d'ambiance radiologique ou toxique résultant d'un accident grave affectant plusieurs installations d'un même site.

Dans le cadre des « stress tests » européens, la robustesse des centrales françaises a également fait l'objet d'une revue par des pairs européens (experts en nombre limité désignés par les autorités de sûreté des différents pays européens ou leurs appuis techniques). L'IRSN a participé au cours du premier trimestre 2012 à l'examen

des rapports des « stress tests » réalisés dans les centrales d'autres pays européens et a apporté un soutien technique à l'autorité de sûreté nucléaire française pour fournir des réponses aux questions posées à la France.

Cet exercice a conduit à la diffusion, en mai 2012, d'un rapport de l'ENSREG (European Nuclear Safety Regulators Group) qui, pour les différents pays, pointe les bonnes pratiques mises en œuvre et formule un certain nombre de préconisations. Dans ce cadre, la définition et le déploiement d'un « noyau dur » pour les centrales françaises ont été considérés comme une « bonne pratique ». Le rapport de l'ENSREG est consultable à l'adresse suivante : <http://www.ensreg.eu/sites/default/files/Country%20Report%20FR%20Final.pdf>.

Le contenu des « noyaux durs »

A la suite de l'avis des groupes permanents d'experts élaboré sur la base des dossiers des exploitants et de leur analyse par l'IRSN (le rapport de l'IRSN est disponible sur http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/gp-reacteurs/Pages/Rapport-IRSN-ECS.aspx), l'ASN a prescrit à EDF de définir, d'ici le 30 juin 2012, le contenu des noyaux durs pour ses centrales nucléaires, ainsi que les niveaux d'agressions d'origine naturelle servant à dimensionner ces noyaux durs (matériels nouveaux) ou en vérifier la robustesse (matériels existants).

A la fin du mois de juin 2012, EDF a présenté un dossier précisant ses propositions en matière d'équipements des noyaux durs des réacteurs en exploitation ; l'IRSN en a présenté son analyse au groupe permanent d'experts chargé des réacteurs nucléaires (GPR) en décembre 2012.

A l'été 2012, les exploitants des autres installations nucléaires (AREVA, CEA et l'ILL) ont également transmis à l'autorité de sûreté nucléaire leurs propositions de noyaux durs avec les exigences associées, qui ont fait l'objet d'une instruction technique par l'IRSN et d'un avis du groupe permanent d'experts chargé des laboratoires et des usines (GPU) en avril 2013 (Cf. le rapport public LUDD + RR consultable avec le lien suivant : <http://www.irsn.fr/Ludd-2011-2012/>).

Pour l'IRSN, les propositions d'EDF en matière de niveaux d'inondation à retenir, répondent correctement à la prescription de l'ASN.

Par ailleurs, l'IRSN a estimé satisfaisant le principe d'une Force d'Action Rapide Nucléaire sur un site accidenté.

Concernant les risques associés au dénoyage des assemblages dans les piscines du bâtiment du réacteur lorsqu'il est ouvert et du bâtiment du combustible, l'absence actuelle de dispositions techniques permettant de limiter les rejets radioactifs en cas de dénoyage des assemblages combustibles a été soulignée. L'IRSN a estimé que les propositions de noyaux durs faites par EDF pour les piscines étaient globalement satisfaisantes, mais

que les démonstrations de la résistance structurelle aux agressions extrêmes de la fosse d'entreposage de ces assemblages ainsi que d'arrêt d'une vidange par siphonage devraient être particulièrement robustes.

Enfin, EDF s'est engagé à mettre en place des systèmes de contrôle-commande et de distribution électrique dédiés aux noyaux durs, autant que possible indépendants des moyens existants ; l'IRSN estime que ceci devrait contribuer fortement à la robustesse des noyaux durs.

↳ FARN ou Force d'Action Rapide Nucléaire

Dans le cadre du retour d'expérience de l'accident de Fukushima, EDF a décidé le principe d'une Force d'Action Rapide Nucléaire (FARN) conçue pour assister les sites pour la gestion d'une situation accidentelle grave qui surviendrait au sein du parc nucléaire français.

La FARN a pour mission de venir en aide à tout site qui connaîtrait un accident en lui fournissant, dans un délai de 24 à 48 heures, des moyens humains, des matériels (éclairages, compresseurs d'air, pompes...) et des ressources (fioul, eau...).

Toutefois, dans les conclusions de son analyse, l'IRSN a estimé nécessaire qu'EDF complète ses propositions, notamment :

- en associant aux noyaux durs un objectif de limitation des rejets de produits de fission à « court terme », en complément de l'objectif de sûreté retenu par EDF concernant la contamination des territoires à « long terme » ;
- en retenant, dans les noyaux durs, des dispositions permettant d'éviter la fusion du cœur en situation d'agression naturelle extrême et de limiter les conséquences d'une fusion partielle ou totale du cœur le cas échéant ; à ces dispositions doivent s'ajouter les moyens nécessaires pour gérer la crise qui devront également faire partie du noyau dur ;
- en prenant en compte, pour les noyaux durs, des niveaux de séismes significativement supérieurs à ceux utilisés pour le dimensionnement des installations ;
- en définissant des exigences (de conception, de fabrication, de suivi en service) permettant de garantir un bon niveau de confiance dans la capacité des noyaux durs à remplir leurs missions.

Le GPR a estimé que la proposition d'EDF relative aux noyaux durs et aux exigences associées ne répondait pas totalement à son avis de fin 2011. Il a recommandé que cette proposition soit complétée, d'une part par des dispositions permettant de prévenir avec un bon niveau de confiance la fusion du cœur, d'autre part par des dispositions permettant de réduire significativement les conséquences radiologiques en cas d'accident grave, et que le dossier présenté par EDF soit mis à jour en conséquence. Il a estimé que les exigences permettant de garantir la capacité du noyau dur à assurer ses fonctions dans les situations d'agression extrême devaient être précisées ou revues.

A l'issue de cette instruction, l'ASN a prévu de rédiger en 2013 des prescriptions applicables aux centrales nucléaires d'EDF, complémentaires à celles déjà émises en juin 2012.

Pour approfondir, consulter le dossier IRSN sur les ECS :

http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/La_surete_Nucleaire/evaluations-complementaires-surete/Pages/sommaire.aspx

Renforcement des radiers des réacteurs de la centrale de Fessenheim

Les radiers des réacteurs de la centrale de Fessenheim ont la particularité d'être de plus faible épaisseur que ceux des autres réacteurs du parc en exploitation. A l'occasion du troisième réexamen de sûreté décennal des réacteurs de 900 MWe, l'IRSN et le Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires ont examiné la situation particulière de ces réacteurs dans le cas d'un accident de fusion du cœur (accident grave) au cours duquel le combustible fondu percerait la cuve et se déverserait sur le radier en béton. A la suite de cet examen, l'ASN a prescrit à EDF de renforcer les radiers des réacteurs de la centrale de Fessenheim avant juin 2013 pour le réacteur n°1 et décembre 2013 pour le réacteur n°2. En 2012, l'IRSN a examiné la pertinence des renforcements proposés par EDF.

Pourquoi renforcer les radiers des réacteurs de la centrale de Fessenheim ?

Pour les réacteurs en exploitation, la prévention des accidents graves et le renforcement des dispositions permettant de limiter les conséquences d'un tel accident sont des préoccupations majeures de l'IRSN depuis de nombreuses années. En France, les réexamens de sûreté décennaux constituent le cadre privilégié pour discuter des renforcements à réaliser.

Lors du troisième réexamen de sûreté décennal des réacteurs de 900 MWe, l'IRSN a examiné la situation particulière des réacteurs de la centrale de Fessenheim (cf. rapport de synthèse de l'IRSN http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN_Reexamen_Surete_REP_VD3_900.pdf ou http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/gp-reacteurs/Pages/Synthese-rapport-IRSN-bilan-reexamen-surete-troisieme-visite-decennale-VD3-reacteurs-900MWe.aspx).

En effet, les radiers des enceintes de ces réacteurs ont une épaisseur de 1,50 m alors que ceux des enceintes des autres réacteurs du parc en exploitation, construits postérieurement, ont une épaisseur variant entre 2,50 et 4,70 m. En cas d'accident grave conduisant à une percée de la cuve par un mélange de matériaux fondus composé notamment de combustible et d'acier (corium), les radiers des réacteurs de la centrale de Fessenheim pourraient être à leur tour percés dans un délai pouvant être inférieur à 24 heures.

↳ Le radier d'un réacteur est une plate-forme en béton armé sur laquelle s'élève le bâtiment du réacteur.



Le site de Fessenheim abrite la centrale nucléaire exploitée par EDF dans le département du Haut-Rhin. Cette centrale nucléaire comporte deux réacteurs à eau sous pression d'une puissance unitaire de 900 MWe qui ont été mis en service en 1977. Ces réacteurs ont été les premiers réacteurs à eau sous pression d'une telle puissance installés en France.

Dans ces conditions, après le troisième réexamen de sûreté, l'ASN a, compte tenu de cette particularité, prescrit que les radiers des enceintes des réacteurs de Fessenheim soient renforcés, avant fin juin 2013 (réacteur n° 1) et avant la fin de l'année 2013 (réacteur n° 2), afin d'augmenter leur résistance en cas d'accident de fusion du cœur avec percement de la cuve.

Description de la modification

La solution retenue par EDF consiste, d'une part à accroître la surface d'étalement disponible pour le corium, d'autre part à épaissir la portion du radier sous cette surface.

Pour ce faire, EDF a décidé :

- de créer, dans un local adjacent au puits de cuve, une zone complémentaire d'étalement du corium, délimitée par des murets ;
- de relier cette zone au puits de cuve par un canal de transfert obturé en fonctionnement normal par un « bouchon fusible » en béton pour des raisons de radioprotection ;
- d'épaissir de 50 cm le radier du puits de cuve et de la zone d'étalement.

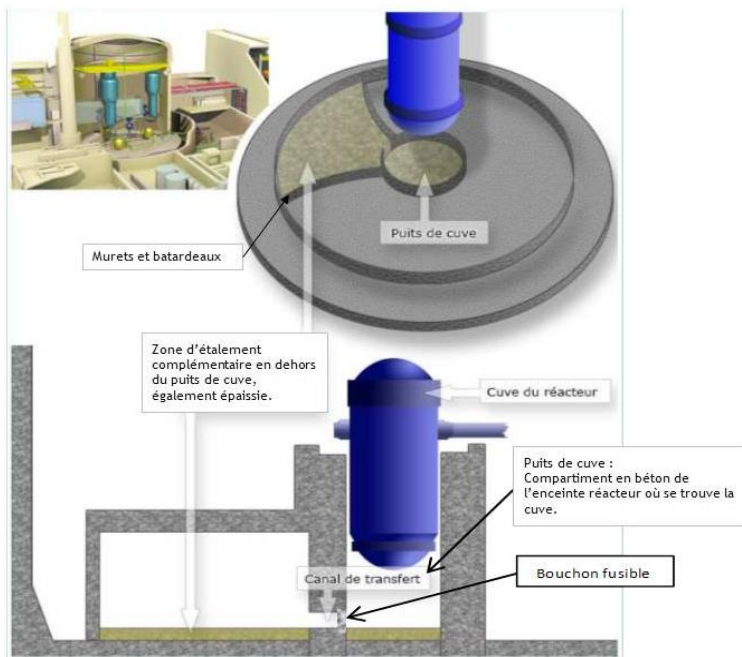


Figure 1 : Vue d'ensemble de la modification

En cas d'accident avec fusion du cœur, le corium s'accumulerait dans le fond du puits de cuve, tout en érodant latéralement le « bouchon fusible ». Lorsque ce dernier serait fondu, le corium s'écoulerait dans la zone complémentaire d'étalement.

L'étalement du corium étant perturbé en présence d'eau, des batardeaux ont été placés sur les murets afin d'éviter l'arrivée d'eau dans la zone d'étalement complémentaire avant la fusion du « bouchon fusible ».

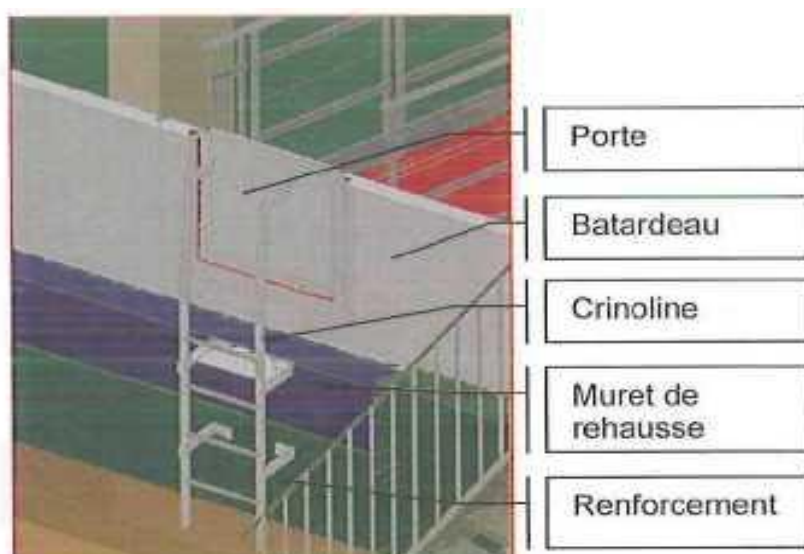


Figure 2 : Batardeau et porte d'accès au local d'étalement

Quels sont les bénéfices de la modification en termes de délai avant le percement du radier ?

L'analyse de la modification par l'IRSN et plus précisément des interactions entre le corium et le béton a conduit à distinguer deux types de situations :

1. les situations pour lesquelles le corium ne vient pas en contact avec de l'eau avant son étalement sur la totalité de la surface du puits de cuve et de la zone complémentaire, appelées situations « à sec » ;
2. les autres situations pour lesquelles le corium vient en contact avec de l'eau présente dans le puits de cuve avant la défaillance de la cuve, appelées situations « en présence d'eau ».

L'IRSN a estimé que la modification proposée par EDF apporterait un réel bénéfice en termes de délai de percement du radier en cas d'accident de fusion du cœur pour les situations « à sec ». EDF a évalué à environ deux jours le gain minimal apporté par la modification en termes de délai nécessaire au percement du radier pour la pire situation « à sec ». Les évaluations de l'IRSN donnent le même ordre de grandeur et a, de plus, indiqué que ce gain pourrait être augmenté par un noyage volontaire du corium complètement étalé.

En revanche, pour les situations « en présence d'eau », l'IRSN a estimé que l'eau pourrait perturber sensiblement les différentes étapes menant à l'étalement complet du corium. En effet, cette eau pourrait conduire à :

- retarder l'ouverture du « bouchon fusible », entraînant ainsi une érosion verticale plus importante du béton du puits de cuve ;
- solidifier prématurément une partie du corium et réduire, voire boucher, la section de passage du canal de transfert ;
- limiter l'étalement du corium.

Selon l'IRSN, la présence d'eau dans le puits de cuve avant le percement de la cuve pourrait donc réduire le bénéfice de la modification à l'effet de l'épaississement du radier si l'étalement du corium n'est pas complet. Par conséquent, afin de maximiser l'intérêt de la modification, l'IRSN a considéré que des dispositions devaient être prises par EDF pour éviter les situations « en présence d'eau », sachant de plus que la présence d'eau dans le puits de cuve avant percement de la cuve pourrait entraîner un risque d'explosion par interaction entre le corium en fusion et l'eau.

Quelles sont les contraintes liées à la réalisation de la modification ?

Les contraintes liées au chantier de réalisation de la modification concernent :

- l'exposition aux rayonnements ionisants des intervenants (rayonnements provenant de la cuve) ;
- le risque d'endommagement d'équipements dans le puits de cuve.

Pour ce qui concerne le premier point, l'exploitant a présenté les principales dispositions de radioprotection qu'il a retenues pour limiter l'exposition des intervenants lors des travaux d'exécution du chantier. Selon EDF, ces dispositions ont permis de réduire la dose collective, initialement estimée à 280 H.mSv, à une dose collective prévisionnelle de l'ordre de 90 H.mSv. L'IRSN a considéré que la radioprotection avait été correctement traitée dans les phases d'étude, notamment dans le choix des procédés. A titre d'exemple, l'injection de béton depuis l'extérieur du puits de cuve permet de limiter le temps d'intervention dans ce local. Des essais réalisés sur une maquette à l'échelle 1 du puits de cuve ont permis de préciser les durées d'intervention et les gestes à réaliser.

Concernant le deuxième point, l'IRSN a estimé que les dispositions retenues par l'exploitant permettaient de réduire les risques d'endommagement du système d'instrumentation du cœur dont les tubes de mesure cheminent à proximité des lieux d'intervention.

Conclusions de l'IRSN

En conclusion de son avis, l'IRSN a considéré que la modification proposée par EDF apportera un réel bénéfice en termes de délai de percement du radier, dans l'éventualité d'un accident de fusion du cœur entraînant la percée de la cuve (cf. avis sur le site IRSN : <http://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/avis-reacteurs/Pages/Avis-IRSN-2012-00519-EDF-Fessenheim.aspx>). Néanmoins, l'IRSN a souligné que des dispositions empêchant la présence d'eau dans le puits de cuve avant le percement de la cuve, puis noyant le corium complètement étalé dans le local dédié adjacent au puits de cuve, permettraient d'améliorer encore l'intérêt de la modification.

Cette modification a été mise en place en 2013 pour les deux réacteurs de la centrale de Fessenheim.

Guide sur la protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes

Les principes de protection des réacteurs à eau sous pression contre les inondations externes ont été définis en 1984 dans une règle fondamentale de sûreté (RFS I.2.e). La tempête de la fin de l'année 1999 et l'inondation partielle de la centrale du Blayais qui en a résulté ont mis en évidence la nécessité de revoir ces principes. Un guide applicable à toutes les installations nucléaires de base, destiné à remplacer la RFS précitée, a alors été rédigé à partir de propositions élaborées par un groupe de travail constitué de représentants de l'ASN, de l'IRSN et des exploitants nucléaires français ainsi que d'experts compétents dans les domaines de l'hydrologie, de l'hydraulique et de la météorologie. Ce guide comporte un ensemble de recommandations concernant la définition et la caractérisation des inondations externes, ainsi que les dispositions de protection à mettre en œuvre.

Les principes de protection des réacteurs à eau sous pression contre les inondations externes ont été définis dans la Règle Fondamentale de Sûreté (RFS) I.2.e du 12 avril 1984, publiée par l'Autorité de sûreté nucléaire (à l'époque le Service central de sûreté des installations nucléaires).

La tempête de la fin du mois de décembre 1999 et l'inondation partielle de la centrale nucléaire du Blayais (Gironde) qui en a résulté (cf. rapport de l'IRSN consultable sur le site de l'IRSN à l'adresse suivante http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiqués_et_dossiers_de_presse/Pages/inondation_centrale_Blayais_0999.aspx) ont amené les exploitants nucléaires français ainsi que l'ASN et l'IRSN à réaliser un vaste réexamen des dispositions de protection des installations contre les inondations externes. Ce réexamen a conduit les exploitants, en particulier EDF, à proposer des modifications de leurs installations qui, après analyse par l'IRSN, ont été approuvées par l'ASN puis déployées pour les différentes installations. (cf. l'article « La protection des centrales nucléaires contre les inondations externes » dans le [rapport public IRSN 2007 page 44](#)).

Ce réexamen a également mis en évidence la nécessité de réviser la RFS I.2.e. A cet effet, un groupe de travail constitué de représentants de l'ASN, de l'IRSN et des exploitants nucléaires français ainsi que d'experts dans les domaines de l'hydrologie, de l'hydraulique et de la météorologie, a été créé. Une collaboration de plusieurs années a permis d'élaborer un guide destiné à remplacer la RFS, applicable à toutes les installations nucléaires de base.

L'inondation externe est définie, pour ce guide, « *comme une inondation ayant une origine extérieure aux ouvrages, aires ou bâtiments de l'installation nucléaire de base (INB) recevant des systèmes ou des composants à protéger, quelles que soient la ou les causes (pluies, crues, tempêtes, rupture de tuyauteries...).* Les inondations externes couvrent donc les inondations trouvant leur origine à l'extérieur du périmètre de l'INB, mais aussi certaines inondations trouvant leur origine dans le périmètre de l'INB ».

Le guide comporte un ensemble de recommandations concernant la définition et la caractérisation des inondations externes contre lesquelles les installations nucléaires doivent être protégées, ainsi que les dispositions de protection à mettre en œuvre.

Les risques induits par une inondation externe

Les inondations externes (crue d'un fleuve, pluies...) induisent divers risques pour les installations nucléaires et peuvent affecter simultanément l'ensemble des installations nucléaires d'un même site :

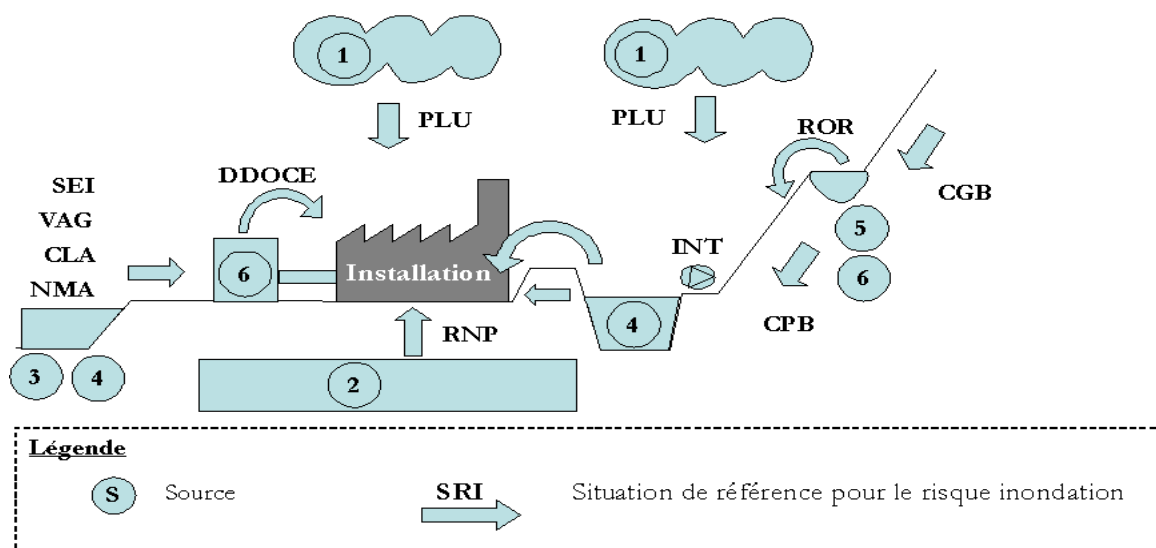
- la submersion de la plateforme supportant les installations, notamment les bâtiments de l'îlot nucléaire pour les centrales nucléaires, peut dégrader la sûreté des installations si l'eau pénètre dans des locaux abritant des équipements importants pour la sûreté de ces installations (moteurs de pompes nécessaires au refroidissement du cœur d'un réacteur nucléaire...);
- certaines inondations (crues, ruptures de barrage) peuvent être accompagnées d'un transport de débris de toutes sortes (branches, feuilles...) susceptibles de s'accumuler devant une prise d'eau et de dégrader ainsi la capacité de l'installation correspondante à pomper l'eau dont elle a besoin pour ses circuits de refroidissement ;
- la submersion de postes électriques, la chute de lignes ou de pylônes électriques, notamment si l'inondation s'accompagne de vents violents, sont de nature à perturber ou interrompre l'alimentation électrique des installations ;
- la coupure des voies d'accès à une installation peut compromettre l'acheminement de moyens de secours, humains ou matériels, et affecter les moyens de communication.

Diversité des phénomènes et situations à retenir

Dans un premier temps, le groupe de travail a recensé tous les phénomènes pouvant conduire à une inondation externe et a retenu ceux pouvant affecter les sites où sont implantées les installations nucléaires françaises.

Dans un deuxième temps, le groupe de travail a établi un état de l'art des méthodes permettant de déterminer les caractéristiques des « événements extrêmes » (par exemple la « crue millénale »), résultant des « phénomènes » d'inondation retenus (dans le cas présent la « crue »). Dans ce cadre, une attention particulière a été portée aux dépendances entre différents phénomènes, aux incertitudes associées aux données et aux méthodes, ainsi qu'à l'influence des évolutions climatiques.

Ces deux étapes ont amené le groupe de travail à définir 11 « situations de référence pour le risque d'inondation externe » (SRI) contre lesquelles les installations nucléaires doivent être protégées ainsi qu'à recommander des méthodes de caractérisation de ces situations d'inondation.



- CGB** Crue dans un grand bassin versant (région drainée par un cours d'eau et ses affluents dont elle constitue l'aire d'alimentation ; la surface drainée est généralement supérieure à 5 000 km²)
- CLA** Clapot (vague résultant d'un vent local sur un cours d'eau)
- CPB** Crue dans un petit bassin versant (région drainée par un cours d'eau et ses affluents dont elle constitue l'aire d'alimentation ; la surface drainée est généralement comprise entre 10 et 5 000 km²)
- DDOCE** Dégradations ou dysfonctionnements d'ouvrages, de circuits ou d'équipements
- INT** Intumescence – Dysfonctionnement d'ouvrages hydrauliques (onde de déformation de la surface libre de l'eau dans un canal, induite par une variation brutale de la vitesse (ou du débit) de l'écoulement)
- NMA** Niveau marin
- PLU** Pluies locales
- RNP** Remontée de la nappe phréatique
- ROR** Rupture d'un ouvrage de retenue (par exemple, un barrage)
- SEI** Seiche (onde stationnaire dans un plan d'eau fermé ou semi-fermé : port, bassin, lac, baie etc.)
- VAG** Vagues (sites au bord de la mer ou d'un estuaire)

Liste des 11 situations de référence pour le risque d'inondation externe (SRI)

Une SRI est définie à partir d'un événement ou d'une conjonction d'événements dont les caractéristiques sont éventuellement majorées. Il a été retenu de viser, en ordre de grandeur, une probabilité annuelle estimée de dépassement de chaque SRI de 1 pour 10 000, en tenant compte des incertitudes inhérentes à sa détermination.

Par ailleurs, les principes de protection des installations préconisés par la RFS I.2.e ont été complétés dans le guide, afin de couvrir de façon plus large les conséquences envisageables des inondations externes sur les INB, telles que par exemple l'isolement du site ou encore l'indisponibilité de fonctions supports (alimentations électriques externes, moyens de secours externes, etc.).

Après une large consultation, le projet de guide de protection des installations nucléaires de base contre les inondations externes a été présenté aux groupes permanents d'experts chargés respectivement des réacteurs nucléaires et des laboratoires et usines (GPR, GPU). Le rapport d'analyse de l'IRSN est consultable à l'adresse suivante :

http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/gp-reacteurs/Pages/Guide-inondations_GPR-GPU_24052012.aspx.

Le guide (n° 13), modifié en tenant compte de l'avis des groupes permanents, constitue un document de référence en matière de protection des installations nucléaires contre les inondations externes ; il a été publié par l'ASN au début de l'année 2013.

Protection des centrales nucléaires en cas de températures extrêmes

A la suite des étés particulièrement chauds de 2003 et 2006, EDF s'est réinterrogé sur la protection de ses centrales nucléaires en cas de canicule et a mis en œuvre un projet « grands chauds » pour pouvoir assurer la production d'électricité en cas de canicule dans des conditions sûres de fonctionnement de ses installations. En 2007, 2008 et 2012, l'IRSN a réalisé des analyses concernant les différents éléments de la démarche élaborée par EDF pour vérifier le bon fonctionnement, en cas de canicule, des équipements importants pour la sûreté des réacteurs de 900 MWe. Cette démarche est également mise en œuvre pour les réacteurs de 1300 MWe et de 1450 MWe.

Les épisodes caniculaires peuvent avoir des incidences sur les centrales, notamment :

- une réduction de leur puissance de fonctionnement ou leur mise à l'arrêt de façon à :
 - respecter les règles générales d'exploitation qui spécifient, par exemple, des températures maximales admissibles dans certains locaux,
 - limiter les rejets thermiques, notamment en cas de température déjà élevée de l'eau d'un fleuve ;
- une dégradation voire des défaillances d'équipements importants pour la sûreté des centrales.

Vérification de la tenue en température des équipements

Dans le cadre de son projet « grands chauds », EDF a vérifié par des calculs thermiques des températures atteintes dans les locaux que tous les équipements importants pour la sûreté peuvent fonctionner à des températures plus élevées que prévu et que leurs performances restent suffisantes sous l'effet de la température maximale envisageable dans les locaux. Plus précisément, EDF a comparé les températures maximales admissibles pour ces équipements avec les températures maximales, déterminées par calcul, susceptibles d'être atteintes dans les locaux contenant ces équipements, compte tenu des températures extérieures envisagées.

L'IRSN a examiné les éléments qu'EDF a pris en compte pour le calcul de la température maximale d'un local, dont :

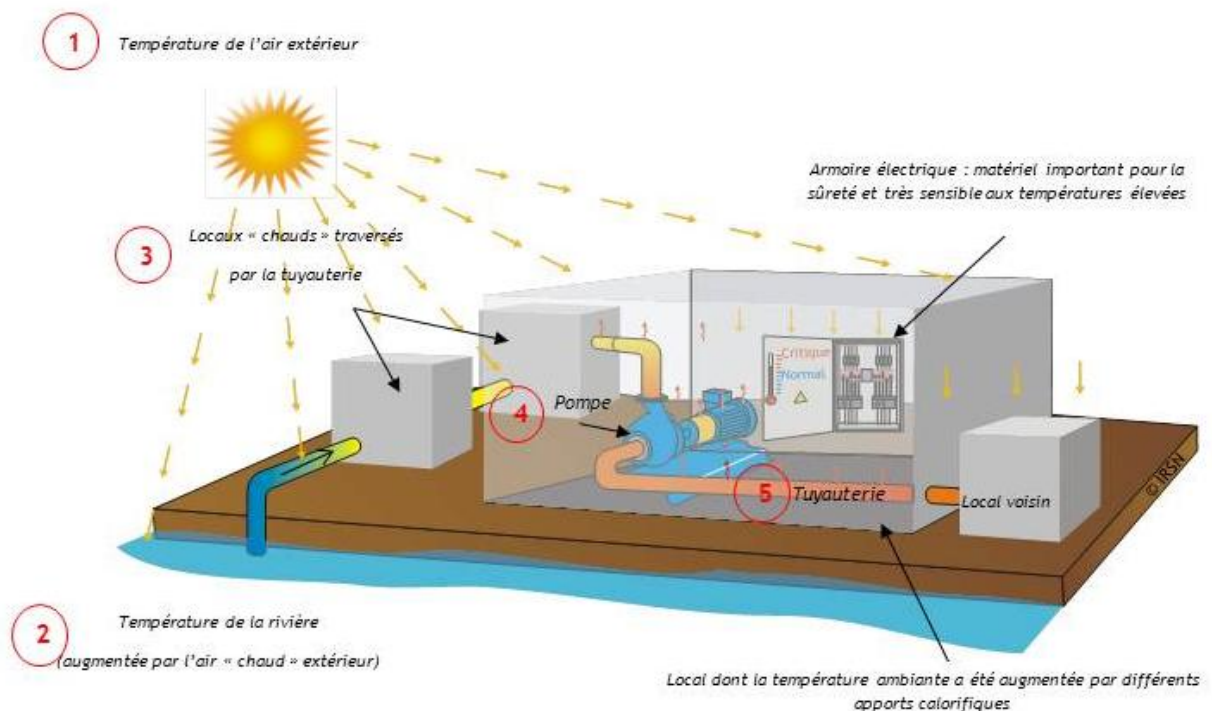
- les températures maximales de l'air extérieur envisagées d'ici 2030 ;
- les températures maximales de l'eau de refroidissement des centrales (rivière, fleuve, mer...) qu'il serait possible d'observer d'ici 2030 ;
- les états de la centrale (réacteur en puissance ou à l'arrêt) qui conduisent aux températures les plus élevées dans les locaux et les circuits ;

↳ Ces températures maximales ont été déterminées selon une méthode d'extrapolation qui tient compte à la fois des températures élevées observées depuis 1970 et des évolutions du climat prévisibles jusqu'en 2030.

- les scénarios qui conduisent aux températures les plus élevées dans les locaux et les circuits (en fonctionnement normal, lors d'un incident ou lors d'un accident tel que la perte totale des alimentations électriques...);
- les tuyauteries traversant les locaux et participant aux échanges de chaleur avec l'air ambiant de ces locaux;
- les matériels dont le fonctionnement entraîne une augmentation de la température ambiante dans les locaux : pompes, moteurs, compresseurs, transformateurs électriques...

À titre d'exemple, le schéma ci-dessous présente de façon simplifiée le cas d'une armoire électrique importante pour la sûreté située dans un local dont la température ambiante est augmentée par les apports calorifiques :

- de l'air extérieur (1) ;
- d'une pompe (4) ;
- d'une tuyauterie (5) dont la température est elle-même augmentée du fait de :
 - l'eau de la rivière chauffée par le soleil (2) ;
 - les locaux « chauds » qu'elle a précédemment traversés (3) ;
 - le passage de son fluide à l'intérieur de la pompe (4).



Matériel important pour la sûreté soumis à la température ambiante de son local

Des actions d'amélioration

Sur la base des résultats des calculs des températures maximales envisageables dans les locaux, EDF a identifié des équipements dont le bon fonctionnement pourrait être mis en cause par des températures ambiantes élevées et a engagé une vingtaine de modifications pour renforcer la résistance des installations à des situations de « grands chauds ».

A titre d'exemples, EDF a réalisé ou prévoit de réaliser :

- une augmentation des performances des échangeurs thermiques entre l'eau fluviale ou maritime et l'eau utilisée pour refroidir les équipements importants pour la sûreté ;
- le remplacement des vannes thermostatiques du circuit de lubrification des pompes d'injection de sécurité (cf. l'article « Température ambiante élevée pour les pompes d'injection de sécurité » dans le [rapport public IRSN 2008 page 48](#)) ;
- le remplacement et l'augmentation des performances des groupes de production de froid ;
- la mise en place de procédures d'arrêt de matériels non importants pour la sûreté dont le fonctionnement est susceptible d'entraîner une augmentation de la température de locaux.

Avis de l'IRSN

L'IRSN estime que les modifications réalisées ou à réaliser par EDF devraient notablement améliorer la résistance des centrales en période de canicule.

Toutefois, l'IRSN considère qu'EDF n'a pas démontré de façon satisfaisante le caractère suffisant des marges entre les températures maximales de tenue des matériels et les températures ambiantes maximales calculées pour les locaux, ce qui ne permet pas de conclure au bon fonctionnement des matériels dans toutes les situations de canicule. Par conséquent, l'IRSN a estimé nécessaire qu'EDF justifie les marges disponibles en tenant compte notamment des incertitudes liées aux données et aux hypothèses utilisées pour les calculs thermiques. En l'absence de marges suffisantes, EDF pourrait être amené à réaliser des modifications complémentaires (cf. avis de l'IRSN transmis à l'ASN : <http://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/avis-reacteurs/Pages/Avis-IRSN-2012-00353-EDF-palier-CPY.aspx>).

Les centrales nucléaires face aux vagues de froid

A l'instar des évaluations menées par l'IRSN sur la démarche d'EDF associée aux « grands chauds », l'IRSN a examiné dès le début des années 1990 le référentiel élaboré par EDF pour la protection des installations face à des situations de « grands froids ».

Les réacteurs à eau sous pression de 900 MWe et ceux de 1300 MWe ont été conçus jusqu'au début des années 1980 pour une température de dimensionnement au froid de - 15 °C. Aucune démarche particulière n'existait alors pour la prise en compte de températures plus basses.

Un certain nombre d'incidents dus au gel (ayant affecté notamment des instrumentations situées à l'extérieur des locaux) sont survenus en France lors des hivers rigoureux de 1985-1986 et 1986-1987 et ont conduit EDF à s'assurer de la tenue des installations face à des températures bien inférieures à celle du dimensionnement (avec des pics pouvant durer 6 heures et atteindre - 33 °C pour certains sites). Une démarche nationale applicable en conditions de « grands froids » a alors été établie en 1986 par EDF. Elle a été appliquée dès la conception des réacteurs de 1450 MWe et mise en œuvre pour les réacteurs en exploitation de 900 MWe et ceux de 1300 MWe lors de leurs réexamens de sûreté. Les études réalisées par EDF et les analyses menées par l'IRSN ont abouti à plusieurs modifications matérielles (installation de moyens de chauffage supplémentaires ou diminution des débits de ventilation dans certains locaux, amélioration de la protection contre le froid de matériels présents dans les stations de pompage...) et organisationnelles (mise en œuvre de consignes d'exploitation en cas de grands froids, applicables du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril de l'année suivante).

Depuis les hivers de 1985-1986 et 1986-1987, la France a connu plusieurs vagues de froid dont la plus récente a été observée en février 2012. Cet épisode de froid a été à l'origine, pour six centrales du parc nucléaire, d'événements significatifs sans conséquence réelle sur la sûreté compte tenu des dispositions déployées. Ces événements ont différentes causes, telles qu'un entretien insuffisant d'équipements ou une programmation d'opérations de maintenance à une période inadaptée.



Compte tenu des conséquences possibles sur la sûreté des réacteurs mais aussi des autres installations nucléaires de base, l'IRSN examine attentivement les causes des événements ainsi que les actions correctives mises en œuvre par les exploitants pour éviter que de tels événements ne se reproduisent. (Lire l'article du rapport public LUDD + RR 2011-2012 sous <http://www.irsn.fr/Ludd-2011-2012/>)

Traitement des écarts de conformité

A la conception, lors de la construction ou lors de l'exploitation d'un réacteur, des écarts peuvent survenir par rapport à l'état de référence de l'installation. Ces écarts, appelés « écarts de conformité », peuvent invalider la démonstration de la sûreté de l'installation présentée dans le rapport de sûreté. Leur traitement fait l'objet à EDF d'un processus particulier. L'IRSN a examiné ce processus et a participé à des inspections menées par l'ASN sur son application par EDF, ce qui a permis une amélioration notable de la gestion des écarts de conformité. L'IRSN est par ailleurs attentif à la bonne appréciation par EDF de l'impact de ces écarts sur la sûreté ainsi qu'aux traitements associés.

L'état des installations

EDF doit apporter la démonstration de la sûreté de ses installations nucléaires aux différentes étapes de leur vie. La démonstration est établie sur la base du respect d'un ensemble d'exigences de sûreté composant le référentiel de sûreté en vigueur et suppose la conformité des installations au référentiel de conception. Or, lors de la construction ou à la suite d'activités d'exploitation ou de maintenance, l'état réel des installations peut se trouver différent de l'état supposé. Par exemple, certains matériels doivent pouvoir fonctionner après un séisme ou en cas d'accident, c'est-à-dire dans des conditions ambiantes de température, de pression et d'irradiation dégradées ; ces matériels font donc l'objet d'une qualification préalable à leur mise en service, consistant à démontrer leur capacité à fonctionner dans de telles conditions. S'il s'avère que cette qualification n'est plus acquise pour l'un d'entre eux, alors celui-ci pourrait ne plus être en mesure d'assurer des fonctions sur lesquelles est fondée la démonstration de sûreté. Le maintien d'un niveau satisfaisant de sûreté nécessite donc que les écarts de conformité soient identifiés, analysés et corrigés par l'exploitant. Pour cela, EDF a défini au plan national un processus de traitement des écarts.

Les écarts de conformité, une famille à part

Dans les années 2000, les actions de vérification et de contrôle menées dans le cadre des deuxièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe ont mis en évidence un nombre important d'écarts au référentiel de conception des installations. De par leur nature, ces écarts sont souvent génériques, c'est-à-dire qu'ils affectent plusieurs réacteurs sur des sites différents, compliquant ainsi leur résorption qui, dans certains cas, ne peut pas être effectuée rapidement. EDF a décidé, dès 2001, de les considérer comme une famille particulière d'écarts, dits « écarts de conformité », pour laquelle il a mis en place un processus de traitement dédié (cf. description ci-dessous), permettant d'adapter les délais de remise en conformité à l'importance des écarts du point de vue de la sûreté.

↳ A chaque réexamen de sûreté décennal, les réacteurs font l'objet :

d'un « examen de conformité », qui consiste en une vérification de leur conformité au référentiel de sûreté qui leur est applicable ;

d'une « réévaluation de sûreté », c'est-à-dire d'une mise à jour de leur référentiel en prenant en compte les meilleures pratiques internationales, l'évolution des connaissances, l'actualisation de l'appréciation des risques ou inconvénients présentés par l'installation, les enseignements tirés de l'exploitation des réacteurs et les règles applicables aux installations similaires.

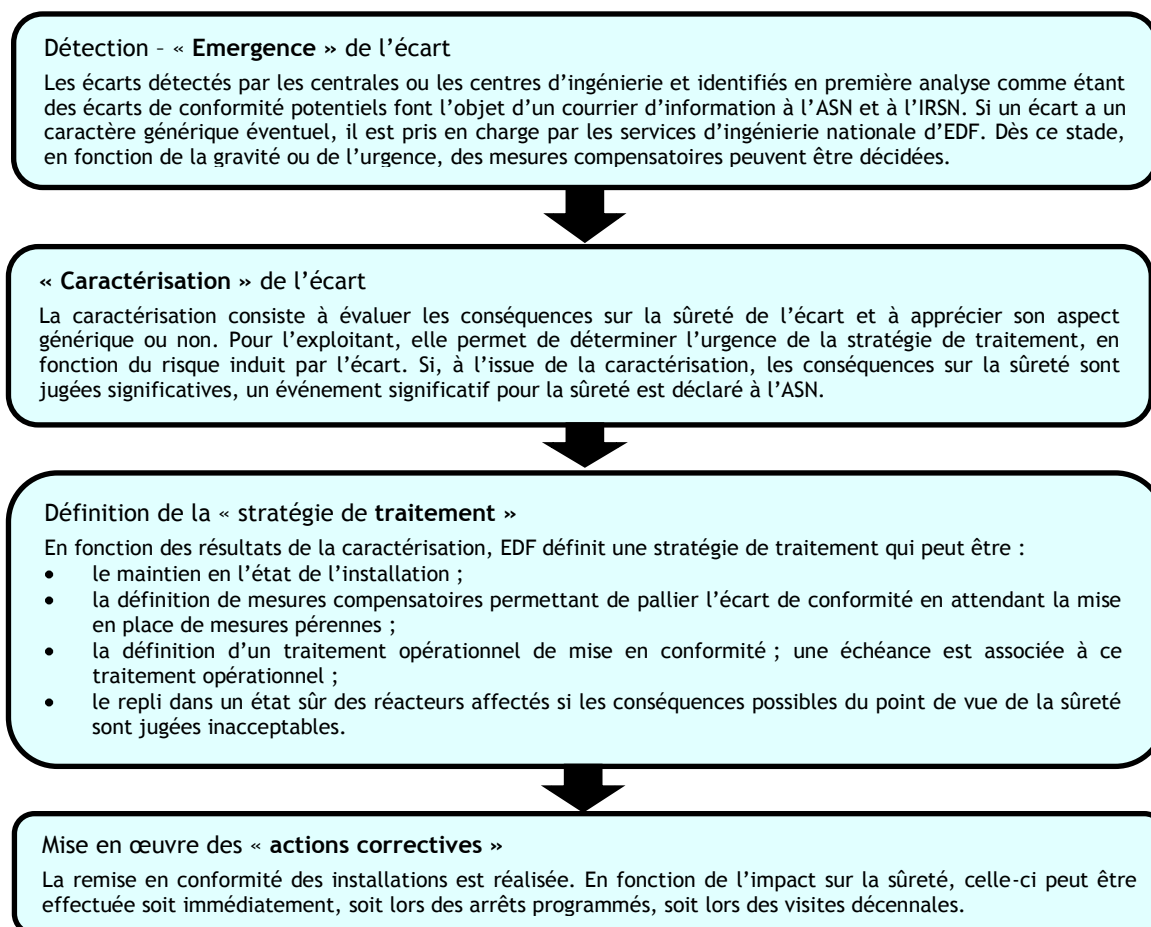
Selon EDF, un écart de conformité est « un écart au référentiel de conception qui justifie le niveau de sûreté des installations ». Les écarts concernant les équipements sous pression du circuit primaire et des circuits secondaires (pour lesquels un processus spécifique existait déjà), la sécurité, la radioprotection ou l'environnement, la conduite des installations et le référentiel d'exploitation associé, ne sont pas considérés comme des écarts de conformité.

Les écarts de conformité résultent généralement :

- de faiblesses d'origine de l'installation (conception, fabrication, montage) ;
- d'opérations de maintenance ;
- de l'intégration de modifications ;
- du vieillissement de matériels ;
- d'anomalies d'études en support de la démonstration de sûreté (cf. l'article « Anomalie d'études dans la démonstration de sûreté » dans le [Rapport public IRSN 2011 page 27](#)) ;
- d'une évolution du référentiel liée, par exemple, à une meilleure connaissance des phénomènes physiques.

Le processus EDF de traitement des écarts de conformité

Le processus mis en place par EDF, issu de son référentiel « *Politique de traitement des écarts de conformité* » du 5 juillet 2001, comporte quatre étapes qu'il décline ainsi :



Une évaluation du processus de traitement défini par EDF a été réalisée par l'IRSN qui a également examiné le traitement de certains écarts eux-mêmes, compte tenu de leurs conséquences possibles.

En 2010, l'IRSN a examiné le processus d'EDF de traitement des écarts de conformité et considéré alors que celui-ci répondait bien aux exigences réglementaires. Il avait cependant souligné qu'EDF devait tenir à jour un bilan exhaustif des écarts présents sur les différents réacteurs, ceci afin d'être en mesure d'établir des analyses de sûreté plus pertinentes notamment en cas de cumul de plusieurs écarts de conformité. L'IRSN avait également estimé que l'exploitant devait prendre en compte les écarts de conformité dans les déclarations de modification temporaire des règles générales d'exploitation (RGE) qu'il peut être amené à adresser à l'ASN.

En avril 2011, EDF a donc diffusé la disposition transitoire (DT) n° 320, demandant aux responsables des différentes centrales de recenser, d'ici le 1^{er} juillet 2011, l'ensemble des écarts de conformité présents dans leurs installations, puis d'assurer la mise à jour permanente de cette liste. De leur côté, l'IRSN et l'ASN ont établi conjointement une liste, qu'ils actualisent régulièrement.

Durant l'année 2012, l'IRSN a accompagné l'ASN lors d'inspections dans les centrales françaises portant sur la bonne application de la DT n° 320 et plus généralement du processus de traitement des écarts de conformité. Lors des premières visites, une méconnaissance de la notion d' « écart de conformité » ainsi que des lacunes dans le processus de détection de ces écarts ont été constatées. Les visites suivantes ont permis d'observer une amélioration notable due au travail important d'accompagnement des centrales réalisé par l'ingénierie nationale d'EDF tout au long de l'année 2012.

L'analyse de l'impact sur la sûreté d'un cumul d'écarts de conformité restait néanmoins à organiser. Aussi, l'ingénierie nationale d'EDF a élaboré en 2012 une démarche d'analyse des conséquences sur la sûreté d'un cumul d'écarts de conformité, consignée dans un guide examiné par l'IRSN en 2013. Elle prévoit également d'établir en 2013 une nouvelle version de la directive prescrivant aux responsables des centrales de mettre en œuvre les actions nécessaires à l'application de cette démarche.

Lorsqu'un écart de conformité est déclaré par EDF, l'IRSN examine le traitement de cet écart par l'exploitant à chacune des étapes du processus présenté ci-avant. L'IRSN s'attache notamment à apprécier l'analyse des conséquences sur la sûreté, l'efficacité des mesures correctives mises en œuvre et l'acceptabilité des échéances de remise en conformité proposées. Certains écarts de conformité sont par ailleurs découverts par l'IRSN lors de l'accompagnement des inspections menées par les inspecteurs de l'ASN ou lors de l'examen des programmes d'arrêt pour rechargement, par exemple.

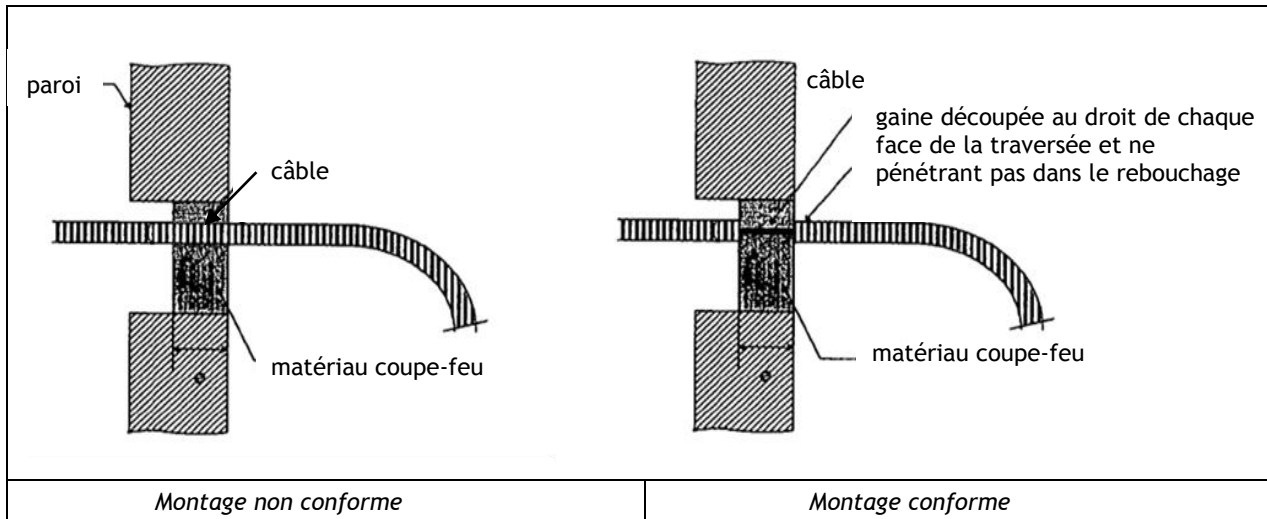
Des exemples d'écarts de conformité

Pour illustrer le traitement des écarts de conformité, trois exemples sont développés ci-après ; ils concernent :

- un défaut de sectorisation « incendie » au niveau des traversées électriques de l'enceinte de confinement ;
- une anomalie des moteurs diesel des groupes électrogènes de secours et d'ultime secours des réacteurs de 900 MWe ;
- le défaut de tenue aux séismes de robinets à commande pneumatique.

Défaut de « sectorisation incendie » au niveau des traversées électriques

Le référentiel EDF des exigences relatives à la protection contre les risques d'incendie prévoit que les gaines de protection des câbles électriques s'arrêtent au droit des traversées aménagées dans les parois, sans pénétrer dans le matériau coupe-feu utilisé pour le rebouchage de ces traversées. En effet, en cas d'incendie, les jeux entre câbles et gaines de protection peuvent faciliter la propagation des fumées.



Entre 2001 et 2008, des travaux ont été réalisés dans le cadre de la mise à niveau des centrales en matière de protection contre les risques d'incendie. Ces travaux prévoyaient notamment de déposer les gaines situées à l'intérieur des traversées. Cependant, en juillet 2010, sur le site de Cattenom, des agents spécialisés d'EDF ont découvert que des gaines n'étaient pas interrompues au droit des traversées entre la salle de commande du réacteur n° 2 et l'étage inférieur. A la suite de ce constat, des contrôles ont été réalisés sur les quatre réacteurs du site. Une centaine d'écarts du même type ont alors été détectés, ce qui a conduit le site de Cattenom à déclarer un événement significatif pour la sûreté le 6 août 2010.

La « sectorisation incendie » est destinée à limiter la propagation d'un éventuel incendie. Plus précisément, elle correspond à l'ensemble des dispositions prises pour qu'un incendie survenant à l'intérieur d'un volume donné ne puisse pas se propager à l'extérieur et vice versa.

Dès la découverte de l'écart sur le site de Cattenom, l'IRSN a conclu à son caractère potentiellement générique et recommandé que des contrôles soient effectués dans l'ensemble des centrales.

Les premiers contrôles réalisés dans les autres centrales ont mis en évidence des écarts similaires. Aussi, le 20 décembre 2010, les services centraux d'EDF ont informé l'ASN de l'émergence d'un écart de conformité à caractère générique (voir la description du processus EDF de traitement des écarts de conformité expliquée précédemment). La caractérisation de l'écart a montré que 13 centrales étaient concernées avec au total 1170 traversées en écart ; la conséquence était, en cas d'incendie, une possible propagation des fumées, notamment en salle de commande. Le 7 juin 2012, EDF a officiellement déclaré un écart de conformité générique. A la suite des recommandations de l'IRSN, l'ASN a demandé la remise en conformité rapide des traversées ; les travaux ont été achevés à la fin de l'année 2012.

Guide IRSN d'analyse des risques d'incendie dans les installations nucléaires de base (INB)

Pour ce qui concerne l'analyse des risques d'incendie dans les INB, l'IRSN a publié un guide, consultable sur le site de l'IRSN, pour faire connaître sa position sur la façon de procéder à cette analyse (http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN_Rapport-Analyse-risques-incendies_DSU-240_062011.pdf).

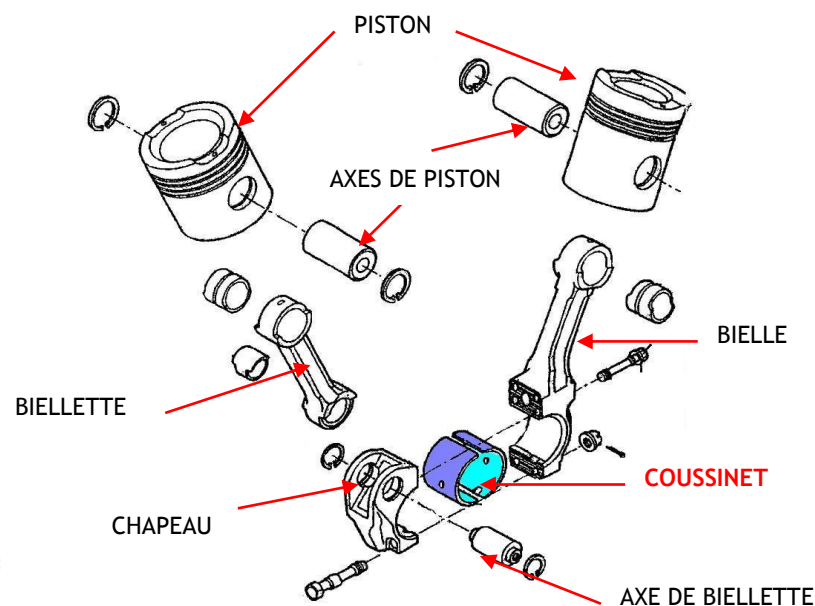
La démarche décrite comprend en particulier une étape de vérification de la robustesse de la démonstration de sûreté, postulant la défaillance de dispositions de protection contre l'incendie, comme celles relatives à la limitation de la propagation du feu.

Le guide de l'IRSN concernant la protection contre l'incendie, intitulé « Démarche d'analyse des risques d'incendie dans les installations nucléaires », présente la position de l'IRSN sur les principes qui devraient être appliqués pour la réalisation d'une analyse des risques d'incendie, quel que soit le type d'installation nucléaire, en précisant notamment la démarche à suivre et les éléments de démonstration attendus.



Anomalie des moteurs diesel des groupes électrogènes de secours et d'ultime secours des réacteurs de 900 MWe

En 2008 et 2009, une usure prématurée des coussinets de tête de bielle de plusieurs moteurs diesel des groupes électrogènes de secours des réacteurs de 900 MWe a été constatée par EDF. Cette usure pouvant conduire à l'indisponibilité du moteur diesel, les coussinets endommagés ont été remplacés par des coussinets dits « de deuxième génération ».



Représentation de l'implantation des coussinets de tête de bielle (en bleu)

Cependant, en octobre 2010, une avarie a affecté deux moteurs diesel équipés de ces nouveaux coussinets et les contrôles effectués par EDF sur deux autres moteurs diesel ont révélé une usure anormale des nouveaux coussinets. Afin de maintenir une fiabilité acceptable des moteurs, des dispositions de surveillance et de maintenance renforcées ont été prises par EDF à titre préventif, sur lesquelles l'IRSN a transmis à l'ASN un premier avis en 2011 (cf. l'article « Anomalie des moteurs diesel des groupes électrogènes de secours et d'ultime secours des réacteurs de 900 MWe » dans le [Rapport public IRSN 2010 page 42](#)).

Toutefois, depuis avril 2011, les coussinets de deuxième génération de cinq moteurs ont dû être remplacés en raison de leur dégradation prématurée. Pour l'un de ces moteurs, les coussinets ont même été remplacés trois fois. Les coussinets de deuxième génération ne pouvant donc pas constituer une solution pérenne, EDF a mené des investigations approfondies durant l'année 2011. Celles-ci l'ont conduit à conclure que la dégradation rapide des coussinets pouvait être causée par une lubrification insuffisante, due à un écart de géométrie. En 2012, EDF et ses partenaires industriels ont donc défini un coussinet dit « 2 bis » pour lequel les différences géométriques subsistant entre les coussinets de deuxième génération et les coussinets d'origine ont été corrigées.

Dans un second avis transmis au début de l'année 2013, l'IRSN a estimé, au regard des résultats des essais de qualification réalisés, que la définition des coussinets 2 bis apparaissait pertinente. Il a toutefois formulé des recommandations relatives à la qualification de ces coussinets et au suivi de leur exploitation.

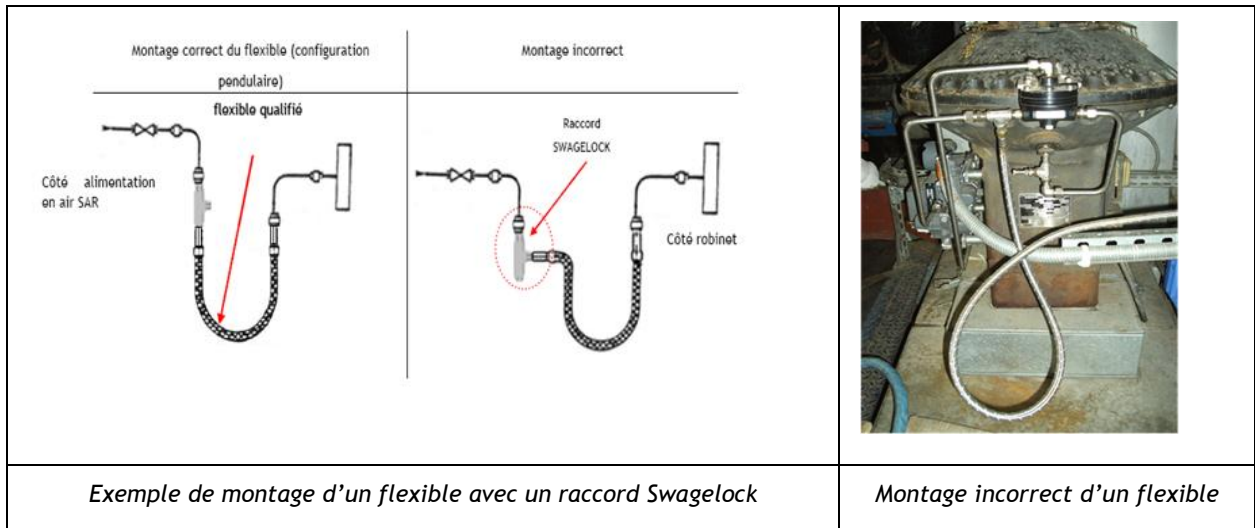
Défaut de tenue aux séismes de robinets à commande pneumatique

Certains robinets à commande pneumatique (actionnés par de l'air comprimé) doivent rester opérationnels après un séisme car ils sont nécessaires pour ramener le réacteur dans un état sûr ; à ce titre, ils ont fait l'objet d'un programme de qualification permettant de garantir leur fonctionnement dans un tel cas. Or, la plupart de ces robinets sont raccordés au réseau de distribution d'air comprimé par des flexibles. Pour que la qualification des robinets soit assurée, ces flexibles doivent respecter des règles de montage. En effet, en cas d'anomalie de montage, le flexible pourrait se rompre lors d'un séisme et le robinet ne serait alors plus manœuvrable.

↳ La longueur du flexible doit être suffisante et un rayon de courbure minimum doit être respecté pour éviter un cintrage excessif du flexible. Un tel flexible ne permet pas de mouvement de compression ou d'extension selon son axe. Un flexible vrillé peut se rompre ou entraîner un desserrage de ses raccords. Le montage du flexible doit éviter les frottements sur une partie fixe ou le chevauchement d'autres flexibles.

En 2011, lors de l'arrêt du réacteur n° 2 de la centrale de Cruas, plusieurs écarts de montage de flexibles ont été découverts. Ces écarts étaient dus à la présence de raccords en forme de T sur la tuyauterie d'alimentation en air comprimé de certains actionneurs de robinets pneumatiques servant à l'isolement de l'enclaustré de confinement en cas d'accident. Après vérification, il s'est avéré que les procédures utilisées pour la mise en place de ces raccords ne donnaient aucune information sur les règles à respecter concernant la configuration du flexible. Un écart similaire a ensuite été détecté à la centrale de Civaux. En 2012, considérant que l'écart pouvait présenter un caractère générique, l'IRSN a recommandé à l'ASN de demander à EDF, pour toutes les centrales :

- la réalisation en début d'arrêt de contrôles du flexible d'alimentation en air comprimé pour tous les robinets à commande pneumatique qualifiés au séisme ;
- le remplacement des flexibles trouvés en écart de nature à mettre en cause le bon fonctionnement de robinets à commande pneumatique nécessaires à la conduite du réacteur après un séisme.



Le nombre de flexibles trouvés en écart étant important, EDF a cherché à définir les robinets à remettre en conformité en priorité, ce qui a donné lieu à de nombreux échanges avec l'IRSN. Finalement, le 31 mai 2012, EDF a demandé aux responsables des centrales de remettre en conformité, dès le premier arrêt à partir du 1^{er} juillet 2012, les flexibles en écart qui pourraient mettre en cause le bon fonctionnement de robinets à commande pneumatique nécessaires à la conduite du repli du réacteur après un séisme, cumulé à une défaillance des alimentations électriques externes, puisqu'il s'agit de la situation la plus sévère. Les autres robinets seront remis en conformité à l'occasion de la première visite partielle ou de la visite décennale suivante.

Contribution des hommes et des organisations à la fiabilité des matériels

EDF déclare régulièrement des événements lors desquels la disponibilité de matériels importants pour la sûreté a été mise en cause. Ces événements ont de multiples origines, certaines de nature technique, d'autres liées à des interventions humaines. En 2012, l'IRSN a analysé un échantillon d'événements de ce type en se focalisant plus particulièrement sur ceux liés à des activités de maintenance ou à des manœuvres d'exploitation. La prise en compte, lors de la définition de matériels ou de la conception des modifications, des activités des hommes qui auront à les exploiter et à en assurer la maintenance, apparaît comme une voie d'amélioration de la fiabilité de ces matériels.

Dans la démarche d'analyse de la sûreté des installations, il est fréquent de distinguer la fiabilité « technique des matériels » de la fiabilité « humaine » et de traiter séparément ces deux composantes. Bien que cette distinction soit souvent utile, une approche plus globale intégrant ces deux composantes pourrait déboucher sur des dispositions plus efficaces et plus durables. La fiabilité technique d'un matériel est en effet fortement liée aux activités humaines de montage initial, d'essais et de contrôles périodiques, ainsi que de maintenance. Améliorer la fiabilité de ces activités humaines contribue à améliorer la fiabilité technique, mais la fiabilité de ces activités humaines repose en partie sur la conception des matériels. Certains choix de conception peuvent rendre la réalisation d'activités de maintenance ou d'exploitation plus complexe, notamment en imposant des environnements de travail contraignants, et contribuer à dégrader la fiabilité de ces activités et celle des matériels concernés.

Les condamnations administratives

Chaque année, environ 50 000 poses ou déposes de condamnations administratives sont réalisées dans les centrales d'EDF. Entre 2006 et 2011, 125 déclarations d'événement significatif pour la sûreté (ESS) ont concerné des condamnations administratives.

L'analyse menée par l'IRSN a fait apparaître que la conception des matériels faisant l'objet de condamnations administratives a contribué à environ un quart de ces événements.

↳ **Condamnation administrative** : une condamnation administrative vise à garantir le maintien dans une position déterminée d'un matériel important pour la sûreté. La condamnation est assurée physiquement par des dispositifs tels que des cadenas, des chaînes, des scellés, dont la fonction est d'empêcher que l'organe ne soit manœuvré de manière intempestive. Les condamnations administratives sont posées pour des matériels dont la position ne peut pas être connue depuis la salle de commande. Il s'agit souvent de matériels mécaniques de type robinet et plus rarement de matériels électriques (disjoncteurs) ou d'éléments de contrôle-commande.

En effet, la conception de certains matériels rend difficile, voire impossible, la connaissance de la position exacte de l'organe à manœuvrer (par exemple : vanne ouverte ou vanne fermée), faute de repère physique adapté indiquant cette position. Dans ce cas, avant la pose de la condamnation, l'intervenant peut être amené à manœuvrer l'organe dans le but de connaître sa position ou doit se référer à la position que l'organe est censé avoir après les manœuvres effectuées lors des précédentes interventions. Ceci complique la pose des condamnations administratives, accroît la possibilité d'erreurs de positionnement des organes et rend également difficile le contrôle de leur position.

En complément des dispositions concernant la formation des intervenants ou l'organisation des actions de pose et de dépose des condamnations administratives, des modifications techniques peuvent être envisagées pour éviter des difficultés de positionnement des organes : installation de capteurs de position sur les organes en question, transmission de leurs positions en salle de commande, amélioration de la signalisation relative à la position des vannes et des robinets, motorisation des organes, etc.

Des difficultés relèvent aussi de la séquence d'actions à effectuer pour manœuvrer l'organe ou vérifier sa position. Ces actions peuvent devoir être réalisées dans un ordre inhabituel par rapport à ce qui est nécessaire pour des organes analogues. Pour les réacteurs de 900 MWe, une vingtaine d'organes présentent des difficultés de cet ordre. Par exemple, la technologie particulière de la vanne d'armement du turbo-alternateur de secours appelé LLS rend délicate sa manœuvre par les intervenants chargés de la condamner fermée. Sept ESS entre 2006 et 2011 ont concerné l'indisponibilité de cette vanne. EDF a prévu de la remplacer par un matériel plus standard.

Les activités de maintenance

Les activités de maintenance impliquées dans les ESS analysés sont les activités de maintenance et les activités de réglage de robinets ou de pompes.

L'analyse de l'IRSN a mis en évidence que les difficultés de réglage de certains robinets sont à l'origine de nombreux ESS comme, par exemple, celui survenu à Cruas 4 le 3 juin 2012, qui a conduit à un déversement d'eau dans le bâtiment du réacteur (lire l'article dédié à cet événement, page 45 du présent rapport). En effet, la conception des matériels peut parfois rendre les activités de réglage délicates : de plus, les méthodes à utiliser peuvent être différentes d'un robinet à l'autre. Ceci peut amener les équipes de maintenance (mécanique, automatisme, robinetterie) à effectuer des réglages inadaptés qui peuvent entraîner, lors de la sollicitation des matériels concernés, soit une fermeture incomplète, soit un refus de manœuvre.

Des caractéristiques de conception des matériels ont également facilité ou n'ont pas permis d'empêcher l'apparition d'un certain nombre de défauts de remontage après maintenance (par exemple : montage non conforme de l'élément interne d'une vanne du circuit d'huile d'une pompe de charge à Tricastin 3 le 24 avril 2006, inversion du sens de montage d'un diaphragme du circuit de refroidissement auxiliaire à Cattenom 2

↳ L'événement du 7 mai 2008 à Bugey 5

Une intervention a nécessité la fermeture de la vanne d'isolement du tube de transfert par lequel les assemblages combustibles sont acheminés entre le bâtiment du combustible et le bâtiment du réacteur. Cette vanne est située dans la partie basse du compartiment de transfert et n'est pas directement accessible physiquement. Elle ne peut être manœuvrée qu'à distance, à l'aide d'une perche. Par ailleurs, le témoin de position de la vanne n'est pas visible depuis l'endroit où est réalisée la fermeture. Enfin, pour condamner en position ouverte ou fermée cette vanne, il est nécessaire de réaliser environ 80 tours de volant. Dans ce contexte, la probabilité d'une erreur de positionnement de la vanne est significative.

↳ Paluel 4 le 23 octobre 2008

Une visite de la pompe RIS 052 PO a permis de détecter une inversion des deux parties d'une pièce mécanique dont la demi-partie inférieure présente une forme de lunule permettant un démarrage sans prégraissage de la pompe.

Cet écart qui aurait pu entraîner une dégradation des coussinets, et donc de la pompe, aurait pu être évité par la mise en place, à la conception, de moyens de détrompage permettant d'éviter que celles-ci soient inversées lors de leur remontage.

le 19 juillet 2011, inversion des diaphragmes situés sur le circuit d'alimentation de secours des générateurs de vapeur, le 14 août 2012, à Dampierre 1). De tels défauts pourraient être évités par un détrompage adéquat ou par la présence de repères physiques rendant plus aisée l'identification, par les opérateurs de maintenance, de leur sens de montage. Afin d'éviter la répétition de ces événements, EDF met l'accent sur la sensibilisation des intervenants et la mise en œuvre de points de contrôle au cours de la réalisation des activités. Toutefois, des modifications matérielles permettraient de les éliminer pratiquement. En l'absence de telles modifications, certains événements pourront se reproduire.

Les activités de graissage sont régulièrement à l'origine d'ESS : mélange de graisses dans des servomoteurs de vannes à Nogent 2 le 13 juillet 2008, erreur de cartouche d'une pompe à graisse à Civaux 2 le 29 octobre 2008, ajout d'une graisse non utilisée à Golfech 2 le 12 novembre 2008, présence d'un mélange de graisse à Blayais 3 et 4 le 25 août 2010. Lors de ces différents événements, des moyens de graissage inadéquats ont été utilisés et des produits mélangés, mettant en cause la qualification ou le fonctionnement du matériel concerné (vannes motorisées ou groupes motopompes). Compte tenu des risques induits et de l'importance pour la sûreté de certains de ces événements, une modification matérielle a été proposée par EDF et acceptée par l'ASN en 2009. Le déploiement de cette modification devrait être achevé en 2019. En attendant, pour limiter les risques de nouvelles erreurs, EDF met en œuvre des mesures palliatives de type contrôle et signalétique. En 2012, une partie des matériels concernés par les risques d'erreurs de graissage reste donc encore à modifier et l'IRSN continue à suivre cette question avec attention.

Conclusion

L'analyse par l'IRSN du retour d'expérience des centrales d'EDF montre que certaines activités de maintenance ou d'exploitation peuvent affecter la fiabilité de matériels ou de systèmes importants pour la sûreté. Des dispositions techniques parfois simples peuvent permettre de limiter les risques d'erreurs lors de ces activités : signalétique, détrompage, etc.

Les possibilités d'amélioration des condamnations administratives ont fait l'objet en 2012 d'une attention particulière et de recommandations de la part de l'IRSN, notamment dans le cadre de l'examen du retour d'expérience d'exploitation et des réexamens de sûreté décennaux des réacteurs. Les expérimentations menées et les dispositions proposées par EDF dans ce cadre ont été analysées par l'IRSN et ont été considérées satisfaisantes.

Plus généralement, la sûreté des centrales pourrait être renforcée par une meilleure prise en compte des contraintes que la conception des matériels peut faire peser sur la réalisation des interventions. La conception des matériels doit intégrer, de façon à la fois systématique, extensive et minutieuse, le retour d'expérience. Un tel travail peut aboutir à des modifications des matériels concernés qui permettent de limiter les sources d'erreurs.

Enfin, l'IRSN souligne que nombre des activités d'exploitation et de maintenance évoquées ci-dessus reposent sur des gestes et des savoir-faire qui ne sont pas décrits explicitement dans les documents opératoires à la disposition des intervenants. Ces connaissances font partie intégrante des règles de l'art ou des savoir-faire de métier. Dans un contexte de renouvellement du personnel, la maîtrise de ces gestes pourrait se trouver dégradée. L'amélioration de la conception des matériels peut donc aider à en limiter les effets.