

Accident nucléaire de Fukushima Daiichi
Les enseignements pour la sûreté des installations
françaises

Dès le 23 mars 2011, soit 12 jours après l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, le Premier ministre français a demandé aux exploitants d'installations nucléaires la réalisation d'évaluations complémentaires de sûreté (ECS).

Ces ECS ont consisté à évaluer la réponse de ces installations à des situations extrêmes, ciblées essentiellement sur les thématiques du séisme, de l'inondation, de la perte des alimentations électriques ou de la source de refroidissement et de la gestion des accidents graves affectant de façon durable tout ou partie des installations d'un site. À la suite d'une consultation du Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN), ces thématiques ont été enrichies d'un volet relatif aux prestataires. De son côté, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a mené en 2011, avec une large contribution de l'IRSN, une campagne d'inspections ciblées des installations nucléaires.

Les ECS ont porté sur la quasi-totalité des installations nucléaires¹ réparties en trois catégories selon l'importance des conséquences d'un accident qui les affecterait et leur vulnérabilité aux phénomènes à l'origine de l'accident de mars 2011 sur la centrale de Fukushima Daiichi.

Les éléments qui suivent mettent plus particulièrement en lumière les aspects liés à la première catégorie d'installations, dite « lot 1 », qui regroupe les installations les plus prioritaires, à savoir : les réacteurs électronucléaires d'EDF, des réacteurs de recherche du CEA et de l'Institut Laue-Langevin (ILL), ainsi que des installations du cycle du combustible d'AREVA. Pour ce lot, l'ASN a demandé aux Groupes permanents d'experts (GPE) de lui faire part, dès fin 2011, de leur avis sur les conclusions des ECS réalisées par les exploitants et sur la pertinence des propositions d'amélioration. Cet avis s'est appuyé sur l'analyse critique, faite par l'IRSN², des rapports de conclusion des évaluations complémentaires de sûreté menées par les exploitants.

Pour les installations moins prioritaires, dites du « lot 2 » (ITER, usine CIS bio...), les GPE se sont prononcés mi-2013, sur la base des conclusions de l'analyse correspondante effectuée par l'IRSN³. L'organisation de site, lorsque ce dernier regroupe plusieurs installations très différentes, a été abordée à cette occasion. Enfin, les installations dites non prioritaires (lot 3) seront examinées à l'occasion de leur prochain réexamen décennal de sûreté.

¹ Ont été exclues moins d'une dizaine d'installations dont le démantèlement était en voie d'achèvement.

² Voir http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/gp-reacteurs/Pages/Rapport-IRSN-ECS.aspx

³ Voir http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/gp-reacteurs/Pages/GPR-GPU_ECS-Lot2-Synthese-IRSN_Juillet2013.aspx

Les instructions menées par l'IRSN lui ont permis de souligner que, de par la démarche d'amélioration continue, les installations dont l'exploitation est autorisée en France peuvent être légitimement considérées comme sûres. Toutefois, l'IRSN a identifié le besoin de définir une démarche innovante, présentée ci-après, qui vise à compléter les dispositions de sûreté existantes et qui conduit à définir, pour la plupart des installations, un « noyau dur post-Fukushima ».

L'importance de la définition de ce noyau dur a conduit l'ASN à demander aux GPE de lui faire part de leur avis sur les dispositions correspondantes présentées par les exploitants. Dans des délais contraints, l'IRSN a mené une instruction afin de permettre aux GPE de délivrer leur avis en décembre 2012 pour les réacteurs électronucléaires d'EDF⁴ et en avril 2013 pour les installations du lot 1 d'AREVA, du CEA et de l'ILL⁵. D'une manière générale, l'IRSN considère que les dispositions du noyau dur doivent satisfaire à des exigences élevées afin de garantir la capacité du noyau dur à assurer ses fonctions dans les délais et sur les durées considérés.

Les avis des GPE ont conduit l'ASN à émettre à l'intention des exploitants plusieurs prescriptions techniques dont les objectifs visent à atteindre un niveau de sûreté renforcé des installations nucléaires permettant de faire face à des agressions générées par des situations extrêmes.

Après un rapide rappel des conclusions des ECS, dont les principes généraux du noyau dur, un état des lieux des actions engagées et des moyens d'ores et déjà déployés par les exploitants est présenté ci-après.

I. Les principales conclusions des évaluations complémentaires de sûreté

I-1. Conclusions générales : de la conformité au noyau dur

L'examen par l'IRSN des ECS menées par les exploitants ont permis :

- d'évaluer la conformité des dispositions prévues dans les installations, aux exigences qui leur sont applicables au regard des agressions externes (séisme et inondation) ainsi que des pertes de sources de refroidissement et d'énergie ;
- d'identifier certaines limites des référentiels de sûreté actuels des installations. Ces limites ponctuelles concernaient, par exemple, la détermination du niveau de séisme, la protection contre l'incendie ou les combinaisons d'agressions à considérer ;
- de définir une démarche, complémentaire de la démarche de sûreté habituelle fondée sur les réexamens de sûreté, visant à compléter les dispositions de sûreté existantes afin de conférer aux installations une meilleure robustesse aux agressions, pour faire face à des situations extrêmes non considérées jusqu'à présent et susceptibles d'engendrer des effets faibles ; cette démarche conduit à définir un noyau dur composé de moyens matériels, organisationnels et humains permettant d'assurer

⁴ Voir http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/gp-reacteurs/Pages/Rapport-IRSN_EDF-Noyau-Dur-Post-Fukushima.aspx

⁵ Voir http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/gp-reacteurs/Pages/GPR-GPU_ECS-Lot1-NoyauDur-Synthese-IRSN_Avril2013.aspx

de façon durable les fonctions de sûreté vitales des installations présentes sur un site notamment en cas de perte totale des sources de refroidissement ou d'alimentations électriques à la suite d'une agression externe de niveau supérieur à celui retenu dans la démonstration de sûreté en vigueur.

L'objectif du noyau dur consiste donc à disposer de moyens opérationnels pour des niveaux d'agressions dépassant ceux du référentiel en vigueur afin de renforcer la prévention des accidents, la limitation de leurs conséquences et la gestion de la crise associée.

I-2. Un éclairage particulier : le noyau dur des réacteurs à eau sous pression

À la suite de la réunion des GPE de novembre 2011, l'ASN a notamment prescrit à EDF, en juin 2012, de mettre en œuvre un « *noyau dur de dispositions matérielles et organisationnelles robustes visant, pour les situations extrêmes étudiées dans le cadre des ECS, à :*

- a. *prévenir un accident avec fusion du combustible ou en limiter la progression ;*
- b. *limiter les rejets radioactifs massifs ;*
- c. *permettre à l'exploitant d'assurer les missions qui lui incombent dans la gestion d'une crise ».*

Cette prescription a conduit EDF à mettre en place une démarche de sûreté qui vise à définir et à mettre en œuvre une ligne de défense supplémentaire, ciblée et robuste, permettant de faire face à des situations extrêmes hypothétiques allant significativement au-delà des exigences en vigueur au 1^{er} janvier 2012. Cette notion de « au-delà des exigences » s'entend à la fois en termes de gravité de la situation considérée (cumul et durée des situations accidentelles), de niveau des agressions susceptibles d'être à l'origine de cette situation et de nombre de tranches nucléaires affectées.

Ces contraintes conduisent à requérir, pour les moyens matériels du noyau dur, qui peuvent être nouveaux ou existants, un niveau d'exigences (dimensionnement aux agressions considérées, fiabilité, autonomie...) très élevé.

En définitive, le noyau dur constitue un filet ultime, que ce soit en termes de prévention de la fusion du combustible ou de limitation de ses conséquences, au regard des risques de perte de sources de refroidissement et d'alimentation électrique, dans des situations extrêmes hypothétiques allant significativement au-delà de ce qui était considéré jusqu'alors.

II. Le déploiement des mesures pour les réacteurs électronucléaires

II-1. Calendrier / phases de déploiement

EDF a annoncé la mise en place progressive des mesures « post-Fukushima » sur l'ensemble du parc de réacteurs électronucléaires en renforçant à chaque phase le niveau de sûreté de ses installations. Il a ainsi prévu trois phases de déploiement, dont le contenu est présenté en II-2 à II-4 ci-après :

- phase 1 (de 2012 à 2015) : elle concerne de premières dispositions, matérielles et organisationnelles, permettant de faire face à des situations de perte totale de la source de refroidissement (dites « situations H1 ») ou de perte totale des alimentations électriques (dites « situations H3 »), plus

sévères que celles considérées par les référentiels de sûreté en vigueur en termes de situations cumulées, de nombre de tranches concernées sur un même site et de durée. Cette phase est achevée ;

- phase 2 (de 2015 à 2020 environ) : elle a pour objectif de compléter et de renforcer les moyens déployés en phase 1. Concrètement, elle concerne des moyens définitifs, de conception et d'organisation robustes aux agressions extrêmes. Ces moyens constituent les premiers éléments du noyau dur et permettent d'accroître, par rapport à la phase 1, la couverture des situations H1 ou H3 en allant significativement au-delà des référentiels de sûreté en vigueur. Cette phase est actuellement en cours de déploiement ;
- phase 3 (à partir de 2019) : à la fin de cette phase, l'ensemble des moyens déployés sur les installations permettra de couvrir les situations les plus extrêmes considérées dans le cadre des ECS. L'ensemble du noyau dur sera installé et opérationnel.

Compte tenu de l'ampleur et du nombre de chantiers simultanés que la mise en place de ces nouveaux moyens implique, EDF propose d'articuler ce déploiement autour des réexamens de sûreté décennaux. Ainsi, les premières installations à bénéficier de la totalité des équipements du noyau dur associés à la phase 3 seraient les réacteurs du palier de 900 MWe à l'occasion de leur quatrième visite décennale.

II-2. Améliorations de sûreté des installations à l'échéance de la phase 1

La première phase d'amélioration de la sûreté a été réalisée de 2012 à 2015. Au cours de cette phase, EDF a mis en place des moyens matériels et organisationnels, pour certains provisoires, permettant pour l'essentiel de renforcer les capacités d'appoint en eau et en électricité. Sur le plan organisationnel, l'une des dispositions majeures mises en œuvre par EDF consiste en la création de la force d'action rapide nucléaire (FARN, voir II-5), dont l'objectif est de déployer des moyens complémentaires sur un site accidenté en moins de 24 heures.

Les principaux moyens matériels sont :

- pour chaque tranche de 900 MWe, un dispositif mobile d'appoint en eau borée du circuit primaire dans l'hypothèse d'une perte totale de l'alimentation électrique du site. Ce dispositif dédié aux phases où le circuit primaire est ouvert, notamment afin de réaliser les opérations de maintenance périodiques, équipait déjà les tranches des autres types de réacteur ;
- pour chaque tranche, quel que soit le type de réacteur :
 - un groupe électrogène supplémentaire provisoire (dans l'attente du groupe définitif prévu en phase 2) permettant, sous 1 heure, en situation de perte totale des alimentations électriques internes et externes, de réalimenter la salle de commande et certaines fonctions du contrôle-commande, en particulier les mesures de niveau de la piscine de désactivation du combustible et de pression dans l'enceinte ;
 - la création de piquages spécifiques afin que la FARN puisse connecter et effectuer des appoints en air et en eau aux systèmes qui le nécessitent ;

- la mise à disposition sur site de matériels de gestion de crise complémentaires (compresseur d'air mobile, pompe mobile d'appoint pour le système de sauvegarde d'alimentation en eau des générateurs de vapeur et pour la piscine de désactivation du combustible, flexibles d'alimentation en eau, flexibles de distribution d'air comprimé).

Cette phase comprend également le renforcement de la robustesse de certains matériels existants, en particulier le renforcement des locaux de gestion de crise et le remplacement de certains matériels par des équipements plus performants (exemple : certaines batteries sont remplacées pour garantir une autonomie minimale de 2 heures, contre 1 heure requise par le référentiel en vigueur).

II-3. Améliorations de sûreté des installations attendues en phase 2

Le déploiement de la deuxième phase d'amélioration de la sûreté est programmé de 2015 à 2020 environ. L'objectif de cette phase est de compléter et de renforcer les moyens de la phase 1 par la mise en œuvre de moyens matériels et organisationnels définitifs, robustes aux agressions extrêmes, correspondant aux premiers éléments du noyau dur.

Les principaux moyens matériels qui seront mis en œuvre en phase 2 sont :

- pour chaque tranche, le raccordement d'un groupe électrogène à moteur diesel d'ultime secours (DUS). Cet équipement du noyau dur sera installé dans un nouveau bâtiment dédié capable de résister à toutes les agressions extrêmes prises en compte au titre du noyau dur. L'objectif de ce nouvel équipement est de faire face à des situations extrêmes de perte totale des alimentations électriques et d'alimenter à terme (phase 3) l'ensemble des équipements du noyau dur ;
- la mise en œuvre, pour chaque tranche, d'un système d'appoint ultime en eau associé à une nouvelle source d'eau. Ce nouvel équipement du noyau dur est dit « site-dépendant ». En effet, cet appoint ultime pourra, selon les sites, être effectué par exemple à partir d'un pompage en nappe phréatique ou à partir d'une réserve d'eau artificielle dédiée (bâches ou bassins) ;
- la mise en place de protections contre les inondations extrêmes ;
- la construction et l'exploitation des nouveaux centres de crise locaux (CCL) sur certains sites (le déploiement des CCL s'étend sur les phases 2 et 3). Cet équipement répondra aux exigences de conception du noyau dur.

À l'échéance de la phase 2, la robustesse des installations aura été notablement améliorée au regard des agressions extrêmes de type séisme et inondation. Par ailleurs, les dispositions mises en œuvre en phase 2 devraient permettre de renforcer la gestion des situations avec fusion du cœur.

II-4. Améliorations de sûreté des installations attendues en phase 3 - principales études en cours

Les modifications associées à la phase 3, dont le déploiement débutera en 2019, compléteront et renforceront les dispositions précédentes afin que, à la fin de cette phase, l'ensemble du noyau dur soit installé et opérationnel. Du point de vue matériel, chaque installation disposera alors d'un ensemble de moyens

permettant de couvrir les situations les plus extrêmes considérées dans le cadre des ECS, composé principalement :

- d'un système ultime d'alimentation de secours des GV (ASG ultime) permettant l'évacuation de la puissance résiduelle par les générateurs de vapeur (GV) ;
- d'un système ultime permettant l'évacuation de la puissance résiduelle de l'enceinte (EASu) afin d'éviter sa mise en surpression, complété par un système en permettant le refroidissement (SFu) ;
- d'une pompe dite « noyau dur » permettant d'injecter de l'eau borée dans le circuit primaire pour maîtriser la réactivité et, si nécessaire, d'assurer la recirculation du fluide primaire dans le bâtiment du réacteur (cette pompe contribue alors au fonctionnement de l'EASu) ;
- d'un appoint ultime en eau permettant de réalimenter la piscine de désactivation des éléments combustibles et les réserves d'eau nécessaires aux systèmes de refroidissement du circuit primaire (SEu) ;
- d'un système de contrôle commande ultime (CCu) ;
- du DUS, déjà mentionné en phase 2.

La figure ci-après donne une représentation de principe tel qu'il pourrait être en fin de phase 3.

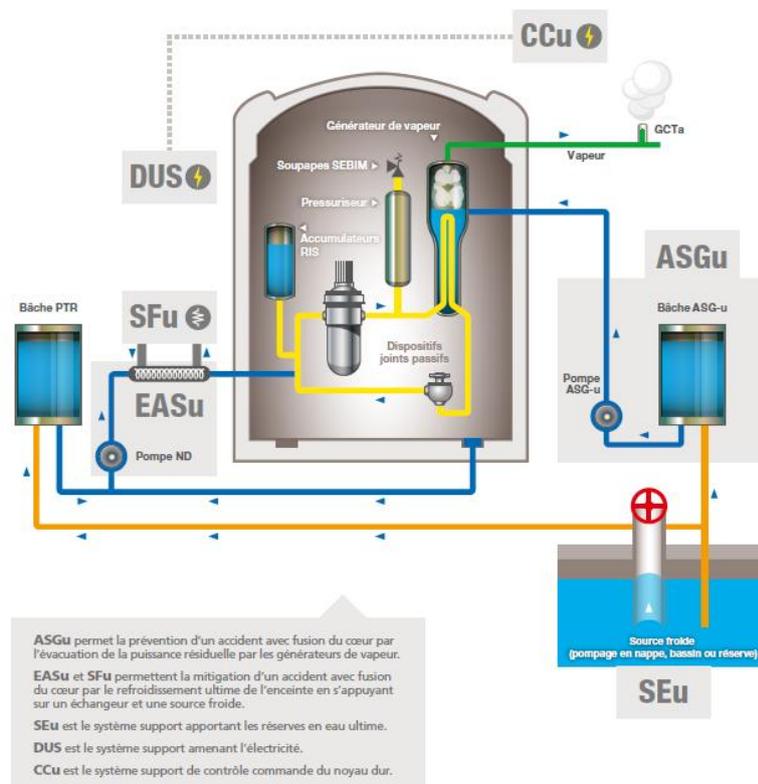


Schéma de principe du noyau dur en fin de phase 3 (source EDF)

La définition par EDF des moyens ultimes nécessaires à l'atteinte des objectifs de la phase 3 est en cours. Elle nécessite des études, dont certaines font déjà l'objet d'un examen de l'IRSN dans la mesure où elles revêtent un caractère structurant pour cette phase 3 - voire pour la phase 2. Il s'agit notamment de :

- la définition des niveaux d'aléas naturels extrêmes à retenir pour la caractérisation des agressions prises en compte au titre du noyau dur ;
- la stratégie de conduite de l'installation et des systèmes du noyau dur du réacteur et de la piscine de désactivation des éléments combustibles en cas de situations extrêmes ;
- les exigences de conception et d'exploitation des moyens du noyau dur ;

II-4-1. Définition des niveaux d'aléas naturels extrêmes

Afin de répondre aux exigences fixées par l'ASN, les équipements du noyau dur devront résister à des agressions dont la sévérité dépasse celle considérée dans le référentiel de sûreté de l'installation, notamment pour ce qui concerne le séisme, l'inondation (dont les pluies de forte intensité), les vents extrêmes, la foudre, la grêle et la tornade.

Par ailleurs, le noyau dur devra être opérable dans les conditions d'installation, de site et de son environnement résultant des agressions ainsi définies et dans les situations résultant du cumul de ces agressions et de :

- la perte totale des alimentations électriques n'appartenant pas au noyau dur ;
- la perte totale de la source de refroidissement n'appartenant pas au noyau dur.

Le spectre du séisme à prendre en compte dans ce cadre doit être significativement au-delà du séisme majoré de sécurité (SMS) retenu pour chaque site. À ce titre, l'ASN a émis la prescription technique qui fixe les exigences de définition du niveau de séisme extrême (SND), à savoir :

« L'aléa sismique, à prendre en compte pour les structures, systèmes et composants (SSC) du noyau dur, défini par un spectre de réponse, doit :

- être enveloppe du séisme majoré de sécurité (SMS) de site, majoré de 50 % ;
- être enveloppe des spectres de site définis de manière probabiliste avec une période de retour de 20 000 ans ;
- prendre en compte pour sa définition, les effets de site particuliers et notamment la nature des sols.

Pour les SSC nouveaux du noyau dur, l'exploitant retient un spectre majoré par rapport au spectre de réponse défini ci-dessus ».

Pour ce qui concerne les risques liés à l'inondation, EDF a réévalué les niveaux marins des sites situés en bord de mer. Par ailleurs, pour tous les sites, les effets des pluies de forte intensité sont désormais cumulés avec ceux issus de la défaillance d'équipements internes tels que les réservoirs sous l'effet d'un séisme.

Enfin, pour les autres aléas climatiques, EDF propose de retenir, pour chacun d'eux, des niveaux significativement supérieurs à ceux retenus dans les référentiels de sûreté en vigueur.

La justification des choix d'EDF pour l'ensemble des niveaux d'aléas naturels extrêmes a fait l'objet d'une analyse de l'IRSN dont les conclusions seront présentées lors d'une réunion du GPE pour les réacteurs prévue en fin janvier 2016.

II-4-2. Stratégie de conduite des équipements du noyau dur

EDF a présenté des éléments sur les stratégies de conduite envisagées en fonction des principaux états initiaux possibles des réacteurs. En particulier, EDF souhaite, même en cas de situation extrême, pouvoir utiliser d'autres équipements que ceux du noyau dur, s'ils sont disponibles, et ainsi permettre une conduite dite « progressive », moins sévère pour l'installation.

Les modalités pratiques de mise en œuvre des stratégies de conduite envisagées par EDF pour atteindre les objectifs associés au noyau dur font l'objet d'une analyse par l'IRSN dont les conclusions seront présentées lors d'une réunion du GPE pour les réacteurs prévue en 2016.

II-4-3. Exigences de conception et d'exploitation des moyens du noyau dur

En juin 2012, EDF a fourni un premier dossier présentant le contenu du noyau dur pour les réacteurs du parc en exploitation et pour l'EPR de Flamanville, ainsi que les principes de définition et les exigences associées. Ces propositions ont fait l'objet d'un examen par le GPE pour les réacteurs en décembre 2012. Des conclusions de cette réunion, il ressortait principalement que les dispositions retenues par EDF devaient être complétées afin de limiter significativement les conséquences pour l'environnement en cas d'accident de perte totale et durable des sources d'alimentation électrique ou des sources de refroidissement. Le GPE a également conclu que les exigences associées au noyau dur doivent permettre de garantir, avec un bon niveau de confiance, la capacité des dispositions retenues à assurer leurs fonctions. Le GPE a précisé que « *cette confiance passe par des exigences à définir et à appliquer au noyau dur, en termes de :*

- *fiabilité et disponibilité des fonctions assurées par le noyau dur ; celles-ci peuvent s'apprécier en fonction des différentes exigences retenues, en termes de conception, de réalisation, de qualification et de suivi en exploitation des équipements du noyau dur,*
- *robustesse aux agressions extrêmes ; dans ce cadre, il convient à la fois :*
 - *d'établir la liste des agressions extrêmes auxquelles le noyau dur devra permettre de faire face, leurs niveaux, les effets induits par ces agressions (inondation interne, incendie...),*
 - *de définir les méthodes et les critères à mettre en œuvre pour justifier la capacité du noyau dur à remplir ses fonctions, pour les sollicitations dues aux agressions extrêmes et à leurs effets ».*

En particulier, l'atteinte des objectifs de fiabilité et de disponibilité élevés nécessite :

- *« la mise en œuvre de plusieurs lignes de défense totalement ou en partie redondantes entre elles et diversifiées par rapport à l'existant ;*
- *l'utilisation privilégiée d'équipements nouveaux pour les fonctions à assurer, ainsi que pour leurs fonctions supports ».*

A la suite de cet examen, l'ASN a émis, en janvier 2014, des demandes complémentaires, dites « prescriptions techniques noyau dur », dont certaines portent sur la démarche générale de conception du noyau dur.

Les éléments présentés par EDF en juin 2014 en réponse à ces prescriptions font actuellement l'objet d'un examen par l'IRSN.

II-5. Les organisations spécifiques aux situations extrêmes

Les principales modifications organisationnelles concernent la création d'une force nationale d'EDF en capacité d'intervenir sur un site en difficulté (la FARN, force d'action rapide nucléaire) et la prise en compte d'une crise multi-tranches au sein des plans d'urgence interne des sites.

Depuis le 31 décembre 2014, la FARN - qui dispose de moyens matériels et humains - est en capacité d'intervenir sur quatre réacteurs d'un même site en moins de 24 heures, avec un début des opérations sur site dans un délai de 12 heures après sa mobilisation. Depuis fin 2015, elle a étendu sa capacité à 6 réacteurs afin de couvrir le site de Gravelines dans son ensemble.

Les équipes de la FARN viennent en appui des équipes présentes sur site pour :

- prêter main forte aux équipes locales pour mettre en œuvre, surveiller et maintenir les moyens locaux de crise (raccordement, alimentation en carburant et petite maintenance) et pour épauler (voire relever dans certaines conditions) les équipes de conduite ;
- mettre en œuvre, surveiller et maintenir en fonctionnement les moyens régionaux de crise (motopompes, groupes électrogènes, compresseurs d'air, moyens de télécommunication, moyens de transport et de manutention).

Enfin, à l'échéance de la phase 3, la totalité des CCL seront opérationnels et les organisations de crise de chaque site pourront opérer depuis ce nouvel équipement dimensionné aux situations du noyau dur.

III. Le déploiement des mesures pour les réacteurs de recherche

III-1. Réacteurs du CEA

Les réacteurs du CEA ont fait l'objet d'évaluations complémentaires de sûreté entre 2011 et 2012. Selon le cahier des charges de l'ASN, les réacteurs PHENIX (CEA/Marcoule), MASURCA (CEA/Cadarache), OSIRIS (CEA/Saclay) et RJH (CEA/Cadarache) relevaient du lot 1, tandis qu'ORPHEE et CABRI faisaient partie du lot 2.

Les conclusions de l'examen mené par l'IRSN ont conduit l'ASN à demander aux exploitants de définir un noyau dur pour les quatre réacteurs relevant du lot 1. Les réacteurs PHENIX (en cours de démantèlement), OSIRIS (arrêté depuis fin 2015), ORPHEE (en fonctionnement) et RJH (en cours de construction) sont d'ores et déjà ou seront prochainement dotés d'un noyau dur de dispositions matérielles et organisationnelles.

- S'agissant du réacteur PHENIX, malgré la diminution progressive des risques engendrée par le retrait progressif des éléments combustibles du réacteur, la présence d'une quantité importante de sodium pour encore plusieurs années a conduit le CEA à doter l'installation d'un noyau dur de dispositions axées sur la

surveillance de l'installation (dispositifs de détection de fuite de sodium, détection de présence d'eau dans les bâtiments nucléaires de l'installation, mesures d'activité radiologique). Ces dispositions de surveillance seront en 2016 directement reportées au poste de commandement et de direction local (PCD-L) du bâtiment de surveillance centralisée de Marcoule. Le CEA a par ailleurs installé des protections amovibles pour limiter les risques d'entrée d'eau par les portes en cas d'inondation générée par des pluies extrêmes.

Outre ces dispositions, le CEA a mené des études visant à conforter la robustesse aux agressions extrêmes des capacités contenant du sodium et des équipements qui pourraient constituer des agresseurs des matières radioactives encore présentes. Ces études ont notamment concerné les ponts de manutention des bâtiments nucléaires et la cheminée principale de l'installation dont la tenue en cas de tornade, de séisme et de vents extrêmes a été évaluée. L'examen de ces études est en cours par l'IRSN.

- L'installation MASURCA (réacteur dédiée à la recherche en neutronique) a fait l'objet, en 2011, d'une ECS axée uniquement sur son bâtiment de stockage et de manutention (BSM). En effet, le réacteur est actuellement à l'arrêt et doit faire l'objet d'une rénovation prévue sur une durée de plusieurs années. Les conclusions de l'ECS ont confirmé que le BSM ne serait pas en mesure de résister à un séisme extrême. Face à ce constat, l'ASN a demandé au CEA de déplacer l'ensemble des matières fissiles contenues dans ce bâtiment vers une installation apte à résister au séisme. Ces opérations de « désentreposage » ont été réalisées entre 2013 et 2014, les conditions de réalisation de celles-ci ayant fait l'objet d'un examen par l'IRSN.

Dans les années à venir, le CEA prévoit de construire un nouveau bâtiment de stockage et de manutention dimensionné au séisme extrême afin de pouvoir réceptionner à nouveau les matières fissiles nécessaires au fonctionnement du réacteur. Par ailleurs, le CEA doit encore réaliser une ECS pour le réacteur en fonctionnement.

- Le réacteur OSIRIS, qui a fait l'objet d'une ECS en 2011, est arrêté depuis la fin de l'année 2015. Au titre du noyau dur, le CEA avait notamment prévu d'installer des lignes d'appoint en eau de la piscine du réacteur et des canaux d'entreposage ainsi qu'un panneau de surveillance et de diagnostic de l'état de l'installation protégé des agressions extrêmes (alimenté par une source électrique dédiée). Ce panneau permet de suivre notamment la position des clapets de convection naturelle du réacteur, de la température et du niveau de la piscine du réacteur.

Ces dispositions sont en place et opérationnelles. Par ailleurs, des détecteurs mobiles de radioprotection et des moyens de communication fixes et mobiles entre ce panneau et le PCD-L du centre de Saclay ont été déployés.

- Le réacteur RJH, en cours de construction, a également fait l'objet d'une ECS. À la suite de celle-ci, des évolutions ont été apportées dans la conception ou la réalisation de certains systèmes ou équipements.

Ces évolutions ont principalement consisté à renforcer les dispositions de prévention et de limitation des conséquences d'un éventuel accident grave dans le réacteur. Pour ce faire, le CEA a en particulier prévu la mise place d'un arrêt d'urgence sismique du réacteur. De même, le refroidissement du cœur du RJH pourra être assuré, à la suite d'un séisme extrême, par une pompe de brassage spécifique ajoutée au circuit principal de refroidissement du cœur. Enfin, grâce à la ligne de dégonflage de l'enceinte, dont le dimensionnement a

été renforcé pour résister au séisme extrême, l'enceinte du réacteur pourra faire face à des risques de surpression interne susceptibles d'être induits à la suite d'un accident grave.

- Le réacteur CABRI a fait l'objet ces dernières années d'importants travaux visant à remplacer la boucle expérimentale en sodium par une boucle à eau. L'ECS de ce réacteur n'a pas conduit à retenir de noyau dur.

Toutefois, en vue de la reprise de son fonctionnement, le CEA a mis en œuvre des dispositions visant à renforcer la sûreté de l'installation, telles qu'un appoint en eau complémentaire à la piscine du réacteur et un second capteur de détection sismique renforçant la fiabilité du système d'arrêt d'urgence du réacteur en cas de séisme. Ces dispositions sont opérationnelles depuis juin 2015.

- Enfin, à la suite de l'ECS du réacteur ORPHEE, le CEA a réalisé des études complémentaires au regard du risque d'inondation externe. Il a également mis en place des dispositions de protection telles que des batardeaux à l'intérieur des locaux et des murets de protection à l'extérieur des bâtiments.

Un noyau dur a été défini pour cette installation, comprenant notamment de nouveaux moyens d'appoint en eau, un nouveau panneau de surveillance et de diagnostic de l'installation ainsi qu'un nouveau groupe électrogène de secours permettant l'alimentation de ce panneau en situation extrême. Le noyau dur d'ORPHEE comprend également des dispositifs mobiles de mesures de radioprotection ainsi que des moyens de communication assurant le report des informations de ce panneau vers le PCD-L du site de Saclay.

III-2. Réacteur RHF exploité par l'ILL

Le réacteur à haut flux (RHF) exploité par l'ILL est situé en périphérie de l'agglomération grenobloise à la confluence des rivières Drac et Isère. Compte tenu de sa situation géographique, il a été considéré comme une installation prioritaire du lot 1 pour laquelle une ECS devait être menée dès 2011.

Dans ce cadre, l'ILL a rapidement proposé des évolutions significatives de l'installation visant à renforcer sa capacité de résistance aux agressions extrêmes.

C'est ainsi que l'ILL a construit, début 2012, un nouveau bâtiment destiné à accueillir un nouveau centre de crise de l'installation (appelé PCS3). Ce bâtiment a été dimensionné aux niveaux d'aléas extrêmes pour le séisme et l'inondation, ainsi qu'aux agressions pouvant être induites par ces agressions naturelles telles que l'explosion ou l'incendie d'origine externe.

Entre 2012 et 2013, l'ILL a défini plus précisément les dispositions matérielles et organisationnelles qu'il allait retenir au titre du noyau dur. À cet égard, il s'est attaché à préciser les exigences de sûreté et les options techniques qui devaient être retenues pour les nouveaux équipements de sûreté constitutifs du noyau dur de l'installation. Leur examen par l'IRSN a conduit à faire évoluer certaines options de conception ou certaines méthodes de démonstration.

La justification de la fonctionnalité du noyau dur en cas d'agression extrême nécessitant la définition des aléas qui caractérisent les agressions extrêmes, l'ILL a mené entre 2012 et 2014 des études techniques, fondées sur des analyses et modélisations complexes, visant à définir les grandeurs caractéristiques de ces agressions. Sur cette base, l'ILL a engagé les études détaillées de dimensionnement des nouveaux équipements du noyau dur et analysé la robustesse des structures de génie civil des bâtiments et structures existants à ces sollicitations

extrêmes (enceinte interne en béton du réacteur et enceinte externe métallique en particulier). Ces dernières analyses sont en cours d'évaluation par l'IRSN.

La mise en place effective des nouveaux équipements du noyau dur de l'ILL s'est poursuivie entre 2014 et 2015. Ainsi, le nouveau PCS3 a été complètement équipé afin que l'ILL puisse être en mesure de maîtriser la sûreté de l'installation et d'assurer ses missions de gestion de crise en cas d'agression extrême.

La maîtrise de la sûreté de l'installation en situation extrême reposant en premier lieu sur la prévention de l'occurrence d'un accident grave, l'ILL a notamment mis en place, au titre du noyau dur, un système additionnel d'arrêt d'urgence du réacteur dimensionné aux séismes extrêmes et installé un nouveau circuit d'appoint en eau alimenté par la nappe phréatique située sous l'installation. Ces nouveaux systèmes, dont la mise en œuvre est associée au fonctionnement de certains autres équipements existants, dont l'ILL prévoit de démontrer la fonctionnalité suite à des agressions extrêmes, permettront de prévenir le risque d'accident grave (de type fusion du cœur en particulier) en cas d'agression extrême.

L'ILL a par ailleurs renforcé la sûreté du RHF en installant, au titre du noyau dur, un nouveau circuit de ventilation post-accidentel dont l'objectif est de limiter les conséquences d'un accident grave sur l'environnement. Ce circuit permettra notamment de limiter les rejets radiologiques non filtrés à l'extérieur du bâtiment réacteur.

Au final, le noyau dur du RHF sera pleinement opérationnel au premier semestre de l'année 2016.

IV. Le déploiement des mesures pour les installations du cycle du combustible

En septembre 2011, AREVA a transmis ses conclusions des ECS des installations nucléaires suivantes du lot 1 :

- les usines de conversion, d'enrichissement et de traitement de l'uranium du site du Tricastin ;
- les usines de fabrication de combustible nucléaire du site de Romans-sur-Isère ;
- les usines de traitement de combustibles usés du site de La Hague ;
- l'usine MELOX de fabrication de combustible MOX du site de Marcoule.

IV-1. Principales dispositions du noyau dur pour les installations AREVA du lot 1

Le cycle du combustible se caractérise par une très grande diversité d'installations, de matières mises en œuvre et de procédés utilisés. Aussi, AREVA a distingué, pour chaque installation, les scénarios (dénommés situations redoutées) pouvant conduire à des conséquences importantes notamment en termes de rejets ou de niveau d'irradiation en cas de survenue d'une situation extrême considérée dans les ECS. AREVA a ensuite défini, au cas par cas, les dispositions correspondantes du noyau dur. Cette démarche a fait l'objet d'analyses détaillées de l'IRSN.

En parallèle, AREVA a engagé des actions de renforcement des moyens de gestion d'une crise en construisant sur ses sites un nouveau centre de gestion de crise et en mettant en place une force d'intervention nationale d'AREVA (FINA) assurant la mise en œuvre rapide de moyens d'intervention sur les sites en cas de situation

extrême. AREVA vise ainsi à déployer, sous 48 heures, un ensemble de moyens humains et matériels (compresseur d'air, éclairage, pompe, groupe électrogène...). Ces moyens sont complémentaires à ceux présents sur les sites qui doivent permettre à ces derniers d'être autonomes en attendant le déploiement de la FINA.

IV-2. État des lieux du déploiement du noyau dur sur les sites d'AREVA

IV-3-1. Usines AREVA de La Hague

Ce site met en œuvre des matières radioactives présentant des puissances thermiques et des activités radiologiques très importantes (assemblages de combustibles usés, solutions issus de leur traitement...) ou nécessitant des dispositions de confinement particulières (poudres, solutions...).

Aussi, les situations redoutées pour ce site sont liées à des scénarios :

- de perte des moyens de refroidissement des piscines d'entreposage des combustibles usés (avec perte possible de l'inventaire en eau assurant notamment la protection contre les rayonnements ionisants) et des cuves d'entreposage des solutions de produits de fission et des équipements utilisés pour leur concentration (risque d'ébullition de ces solutions pouvant entraîner des rejets) ;
- de perte des moyens de refroidissement des entreposages d'oxyde de plutonium, pouvant conduire à la dégradation des dispositions de confinement du fait de leur échauffement ;
- de perte de la fonction de décolmatage de l'équipement permettant de clarifier les solutions de dissolution des combustibles usés (risque d'échauffement des matières solides accumulées dans ces équipements pouvant entraîner un rejet gazeux) ;
- de perte des moyens de limitation de l'accumulation d'hydrogène issu de la radiolyse de l'eau sous rayonnement ionisant (balayage par de l'air) dans les cuves contenant des résidus insolubles issus de la dissolution des combustibles usés (risque d'explosion entraînant la dispersion de matières) ;
- de dégradation des structures de génie civil des silos d'entreposage de déchets anciens, assurant le confinement des matières radioactives ;
- de dégradation des barrières de confinement assurées par les bâtiments des installations contenant du plutonium ou par les structures des silos d'entreposage de déchets anciens, suite à un incendie.

AREVA a engagé un renforcement de ses dispositions au regard de ces situations, en particulier par l'accroissement de moyens permettant de réalimenter en eau les piscines d'entreposage des combustibles, par la mise en place de moyens de refroidissement de secours des cuves d'entreposage de solutions de produits de fission et des équipements utilisés pour leur concentration. Ces moyens devraient être opérationnels en fin d'année 2016.

Certains travaux pour la mise en place de ces moyens ont fait l'objet d'échanges entre l'IRSN et AREVA. La prise en compte des événements internes et externes induits par des agressions extrêmes, de même que la justification de l'exclusion de certaines situations redoutées, sont en cours d'examen.

IV-3-2. Usine MELOX de Marcoule

Ce site met notamment en œuvre de l'oxyde de plutonium qui nécessite des dispositions de confinement particulières, assurées en fonctionnement normal par les équipements du procédé et les bâtiments. Par ailleurs, compte tenu de la puissance thermique de l'oxyde de plutonium, certains entreposages de matières requièrent des moyens de refroidissement pour assurer l'absence de dégradation de leur structure.

Aussi, les situations redoutées pour ce site concernent :

- la dégradation des barrières de confinement de la matière, en particulier si elle est cumulée avec un incendie ;
- la perte du refroidissement d'un des entreposages de crayons combustibles (risque de dégradation de ses structures compte tenu de la quantité de matières entreposée).

Les actions engagées par AREVA concernent plus particulièrement la détection et l'intervention en cas d'incendie, le rétablissement rapide du confinement dynamique des bâtiments et le refroidissement de l'entreposage de crayons combustibles précité. Les moyens correspondants devraient être opérationnels mi-2018.

Par ailleurs, en réponse aux prescriptions de l'ASN, AREVA a transmis un dossier visant à justifier la robustesse aux séismes de certains ouvrages de génie civil de l'usine MELOX (locaux en toiture, galeries de liaison, cheminée). Les échanges techniques entre l'IRSN et AREVA se poursuivent sur ce dossier.

IV-3-3. Usine de Romans-sur-Isère

Ce site met en œuvre de l'uranium à différents enrichissements en isotope 235, notamment sous forme d'hexafluorure d'uranium (UF_6). Lors des opérations, l' UF_6 est transformé en oxyde d'uranium, conduisant à la production de solutions concentrées d'acide fluorhydrique (HF) qui présentent des risques de nature chimique particuliers.

Les situations redoutées pour ce site concernent donc les fuites d' UF_6 liquide ou d'HF ainsi qu'un accident de criticité (déclenchement d'une réaction en chaîne incontrôlée) lié à l'uranium enrichi.

AREVA a ainsi notamment engagé des actions concernant en particulier le confinement de l' UF_6 liquide, la limitation de l'évaporation d'HF dans les rétentions des stockages et la récupération de solution d'HF.

Par ailleurs, AREVA a transmis, en réponse aux prescriptions de l'ASN, des justifications de la robustesse de certains ouvrages de génie civil et de certains équipements en cas d'aléa extrême. Ce dossier est en cours d'examen par l'IRSN.

IV-3-4. Installations du Tricastin

Ce site met en œuvre de l'uranium, notamment sous forme d'hexafluorure d'uranium (UF_6). Dans le contexte de la fermeture et du remplacement des installations les plus anciennes de ce site engagés par AREVA (nouveaux entreposages d'HF, rénovation des unités contenant de l' UF_6 liquide...), les situations redoutées définies pour ce site, similaires à celles du site de Romans-sur-Isère, concernent :

- la fuite d' UF_6 liquide dans l'usine Georges Besse II et dans l'usine COMURHEX II ;

- la fuite d'HF dans l'usine COMURHEX II.

AREVA a engagé des actions pour renforcer les moyens de prévention de ces situations, similaires sur le principe à celles retenues pour le site AREVA de Romans-sur-Isère. Ces dispositions devraient être opérationnelles fin 2016.